

Estado de las aguas subterráneas en El Salvador

M. Guevara, W. Hernández, C. Rivas y E. Márquez

Servicio Nacional de Estudios Territoriales.

Avenida y Colonia Las Mercedes Edificio SNET. Ctra. a Santa Tecla, km 5½. San Salvador (El Salvador).

E-mails: mguevara@snet.gob.sv - Whernandez@snet.gob.sv - carorivas@snet.gob.sv - emarquez@snet.gob.sv

RESUMEN

El Salvador tiene una superficie de 21.041 km², drenada por ríos que desembocan en el Océano Pacífico y que para fines del estudio de los recursos y demandas potenciales de agua se ha dividido en 10 regiones hidrográficas. La región hidrográfica más importante es, sin duda, la del Río Lempa, que ocupa el 49% del territorio, con una producción de escorrentía promedio anual equivalente al 63%, siguiéndole en tamaño la del Río Grande de San Miguel, que abarca el 11%, con una escorrentía promedio anual equivalente al 7%. De las 10 cuencas, son internacionales la del Río Lempa, que se comparte con las Repúblicas de Honduras y Guatemala; la del Río Paz, que es compartida con Guatemala, y la del Río Goascorán, con Honduras. En lo referente a recursos de aguas subterráneas existen acuíferos que están generalmente constituidos por materiales cuaternarios de origen volcánico. Así, en la cuenca del Río Lempa se pueden diferenciar tres áreas: la ubicada en la margen derecha y aguas arriba de la cola del embalse Cerrón Grande, donde hay agua subterránea localizada en las subcuencas del Sucio, Acelhuate, Suquiapa y Taxis; el área comprendida entre los embalses Cerrón Grande y 15 de Septiembre, en donde el recurso de agua subterránea es pobre; y el área comprendida desde el último embalse hasta el Océano Pacífico, en donde el agua subterránea vuelve a tener interés. Otras cuencas en las que es importante la presencia de acuíferos son las del Grande de San Miguel, Río Paz, afluentes a la Bahía de Jiquilisco, la comprendida entre los ríos Comalapa y Guayabo, y la ubicada entre los ríos Grande de Sonsonate y San Pedro.

Palabras clave: cartografía hidrogeológica, control de aguas subterráneas, cuencas transfronterizas, depósitos volcanoclásticos, El Salvador

Analysis of groundwater in El Salvador

ABSTRACT

El Salvador's surface area is 21.041 km². The country is divided in 10 hydrographic regions in which all rivers drain to the Pacific Ocean. The most important hydrographic region is, without doubt, the one known as Lempa River. The surface extension of this basin is approximately 49% of the country. It shows an annual mean surface runoff of about 63%. The second largest basin is Rio Grande de San Miguel with a surface area of 11% of the country and a mean surface runoff of 7%. Three out of ten basins are international. The Lempa River basin is shared with Honduras and Guatemala. The Paz River basin is shared with Guatemala and the Goascorán with Honduras. About groundwater resources in the country, most of aquifers are found in quaternary material of volcanic origin. In the Lempa basin three areas can be clearly differentiated: The first one located up and at the right side of Cerrón Grande. There is groundwater in the smaller basins of Sucio, Acelhuate, Suquiapa and Taxis. The second one is located between Cerrón Grande and 15 de Septiembre hydroelectrical dams, here the groundwater resources are scarce. The third area is located at southern part of the country between 15 de Septiembre hydroelectrical dam and the Pacific Ocean, where aquifers are quite important. Others basins with important aquifers are: Rio Grande de San Miguel, Río Paz, Jiquilisco Bay, Comalapa and Guayabo rivers and the zone between Grande de Sonsonate and San Pedro rivers.

Key words: El Salvador, groundwater monitoring, hydrogeological cartography, transboundary basins, volcanoclastic deposits

Marco físico, socioeconómico e institucional

Climatología

Son varios los factores que determinan el clima de El Salvador. Por estar situado en la latitud 13° 9' N se ubica dentro del cinturón tropical donde se producen pocas variaciones en la duración del día y está más expuesto a la radiación solar. Los aspectos orográficos juegan un papel importante en las corrientes

atmosféricas, exponiendo el territorio a sotavientos de los alisios del NE, razón por la cual se manifiesta una disminución de las lluvias y una sequía más severa en la estación seca, en comparación con los países situados en la vertiente del Atlántico. Los frentes fríos del Polo Norte manifiestos por vientos se desplazan hasta Centroamérica, lo cual lo hace muy particular pues no se da en otras regiones tropicales. El acercamiento de la Alta del Atlántico de julio-agosto, provoca una disminución de las llu-

vias, llegando a condiciones de sequía en algunas partes del país y que se conoce como canícula (Guevara, 1985).

Geología

A excepción de una pequeña porción inferior al 5% en el extremo noroeste de El Salvador, donde las rocas aflorantes son sedimentarias y las más antiguas de edad jurásica, el resto del territorio del país está cubierto por formaciones constituidas por materiales de origen volcánico y por depósitos de aluviones. Los grandes dominios geológicos de El Salvador pueden representarse en seis unidades geológicas principales, tal como se muestra en el mapa geológico de la figura 1, cuya descripción de la más reciente a la más antigua es la siguiente:

- *Aluviones Cuaternarios*: se encuentran en aquellas áreas donde operan los fenómenos de deposición de sedimentos procedentes de regiones topográficamente más altas, sometidas a desgaste por erosión de las lluvias, transportadas y depositadas por los ríos en las áreas más bajas. La zona de mayor depósito de aluviones es la planicie costera.
- *Rocas Volcánicas Plio-Pleistocénicas y Holocénicas*: comprenden los edificios volcánicos en su mayor parte estrato-volcanes de composición andesítica, y algunas estructuras caldéricas con sus productos riolíticos, y algunos domos dacíticos que se han establecido en el interior de la estructura del Graben Central. Existen otras estructuras volcánicas localizadas en la proyección hacia el sur del Graben de Ipala (Guatemala) en noroeste de El Salvador. Los primeros se disponen paralelamente al eje del graben y evolucionaron conforme se establecía el graben. Los segundos constituye una serie de conos cineríticos con eventuales emisiones de lavas de olivina basaltos que se establecieron a lo largo de fallamientos distensivos de rumbo norte-sur, dando origen al complejo volcánico de Metapán-Candelaria de la Frontera. Las lavas están fracturadas y tanto éstas como las escorias se encuentran sanas (Fig. 1).
- *Rocas Volcánicas Mio-Pliocénicas*: esta unidad ocupa la mayor parte de la superficie del país y conforma los altos estructurales del Graben Central y sobre las que descansan los aparatos volcánicos más modernos. Los materiales que constituyen esta unidad pertenecen a la Formación El Bálsamo. El alto estructural sur morfológicamente está representado por la Sierra de Tacuba, Sierra del Bálsamo y las Colinas de Jucuarán. El alto estructural norte es un bloque

de trazo bastante irregular y que contiene los edificios volcánicos antiguos que aún preservan sus rasgos estructurales, cuyos mejores representantes son La Joya, Chilamatal, Guazapa, Siguatepeque y Cahahuatique.

- *Rocas Volcánicas Oligocénicas*: En el sector norte se localiza la serie más antigua de las rocas volcánicas existentes en El Salvador. Forman parte de la Cadena Volcánica del Norte, en la cual los efectos tectónicos y erosivos han enmascarado los rasgos estructurales de los antiguos volcanes que formaron este cinturón montañoso. Las condiciones climáticas producen una meteorización alta y permiten el desarrollo de suelos residuales de color rojizo, café, y amarillento de hasta 10 m de espesor (Fig. 1).
- *Intrusivo Oligo-Miocénico*: en el sector noroeste del país afloran pequeños cuerpos de rocas intrusivas del tipo granodiorítico y gabros, los cuales se encuentran muy meteorizados a caolín. Estas unidades cortan las calizas del Cretácico en las que han producido metamorfismo de contacto.
- *Sedimentario Mesozoico*: corresponden a esta unidad las series de rocas sedimentarias más antiguas en el país, que afloran en la cercanía de Metapán y del lago de Guija; son de edad Jurásico-Cretácico y están constituidas por aglomerados de cuarzo, calizas, calizas margosas y capas rojas y areniscas. Las calizas se alternan con lutitas continentales (capas rojas), están fracturadas por el tectonismo y muestran procesos de karstificación muy incipiente (Fig. 1).

Hidrografía. Cuencas hidrográficas

El país cuenta con unos 360 ríos, agrupados en 10 regiones hidrográficas, de las cuales la más importante es la cuenca del río Lempa (Región Hidrográfica A) con 18.240 km², perteneciendo a El Salvador 10.255 km² (56%) y el resto a Guatemala y Honduras (14 y 30% respectivamente). Dentro del territorio nacional la cuenca del Lempa representa el 49% del país. Sus aguas son utilizadas para generación de energía eléctrica, uso agrícola, ganadero, industrial y abastecimiento de agua potable (Fig. 2).

De acuerdo al Plan Maestro de Aprovechamiento y Desarrollo de los Recursos Hídricos, (PLAMDARH), elaborado en 1982 por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) y que calculaba el balance hídrico para cada región hidrográfica, la disponibilidad de agua considerando las provenientes de Guatemala y Honduras a través de las cuencas transfronterizas de los ríos Lempa, Paz y Goascorán,

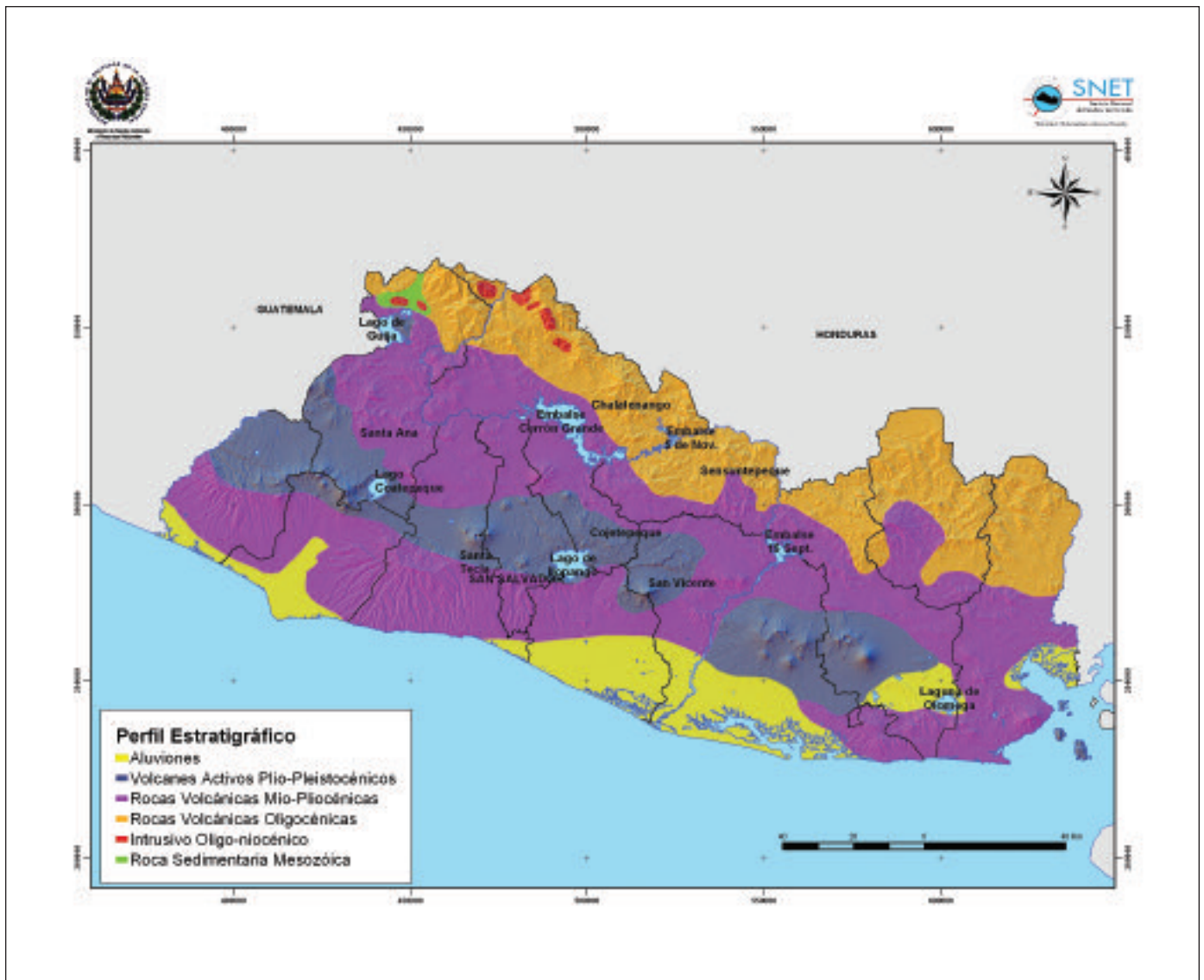


Fig. 1. Mapa geológico simplificado (Hernández, 2004)
 Fig. 1. Simplified geologic map (Hernández, 2004)

es de 17.971 millones de m³ anuales, totalizando su área de drenaje 31.341 km². De acuerdo a este cálculo y conociendo que la población de El Salvador es de 6,5 millones de habitantes, la disponibilidad total de agua es de 2.765 m³/persona/año, aproximadamente (PNUD-GOES, 1982).

Durante un año medio, el total de agua superficial que fluye desde El Salvador hasta el Océano Pacífico promedia 18 millones de m³. Aunque si bien los volúmenes totales de agua escurridos durante un año hidrológico pueden no variar considerablemente año tras año, las distribuciones temporales y geográficas de las lluvias están produciendo tormentas de mayores intensidades reduciendo la cantidad de

agua infiltrada y aumentando la escorrentía superficial y consecuentemente la erosión. Esto, aunado al cambio de uso del suelo en las cuencas altas de los ríos y al aprovechamiento del agua de manantiales para abastecimiento humano, ha ocasionado que ciertos ríos del país tengan disminuciones considerables de caudal.

Lagos, lagunas, embalses

Entre los lagos y lagunas principales están: lago de Ilopango (70,4 km²) y lago de Coatepeque (24,8 km²), ambos de origen volcánico, mientras que el lago

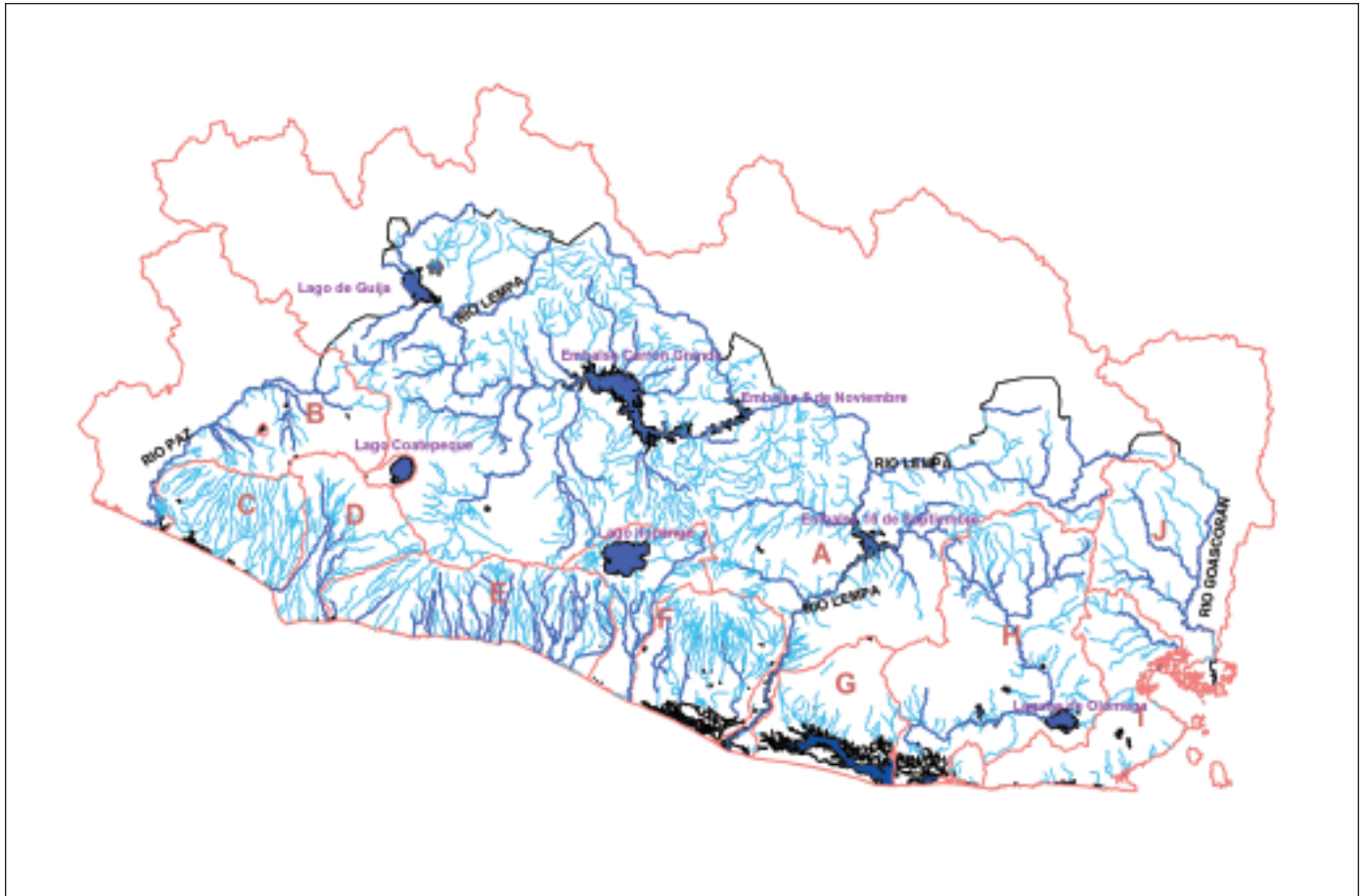


Fig. 2. Regiones hidrográficas de El Salvador. (PNUD-GOES, 1982)
Fig. 2. Hydrographic regions of El Salvador. (PNUD-GOES, 1982)

de Güija compartido con Guatemala (44,1 km²), laguna de Olomega (24,2 km²) y laguna El Jocotal (15 km²) son de origen tectónico. Los embalses hidroeléctricos son: Cerrón Grande (135 km²), 5 de Noviembre (17 km²), 15 de Septiembre (35 km²) y Guajoyo (32,5 km²).

Población

Situación actual, evolución, distribución espacial

El Salvador es un país ubicado en la región central del continente americano. La delimitación de su territorio ha estado matizada de conflictos políticos principalmente con la República de Honduras, razón por la cual, la misma Dirección General de Estadísticas y Censos de El Salvador, recomienda usar la cifra de 21.040,79 km² por no estar a la fecha totalmente definido. En lo que a su dinámica demográfica reciente se refiere resaltan dos aspectos importantes:

- a) El brusco desaceleramiento del crecimiento demográfico. En cada uno de los períodos la población ha experimentado grandes crecimientos. Entre 1950-71 la población casi se duplicó y en el período 1971-92, pese a que el país atravesó una fuerte crisis política, debido a la guerra civil, se produjo un crecimiento de un 42%, muy similar al experimentado en el período 1992-04. Sin embargo, cuando se observa el comportamiento de las tasas de crecimiento, el panorama se vuelve diferente, ya que éstas tuvieron un progresivo crecimiento hasta el período 1961-71 y luego una reducción drástica hasta el último período intercensal, 1971-92.
- b) Otro aspecto significativo en la dinámica poblacional salvadoreña son los desplazamientos internos, los cuales han venido modificando radicalmente el patrón de asentamiento humano en el territorio. Esta migración interna se ha dado de las zonas rurales a las urbanas, y su explicación se fundamenta en el escenario donde se desarrolló más

fuertemente el conflicto político de nuestro país, que coincide con las zonas rurales. Las urbes mayormente receptoras de población fueron las más grandes del país: Área Metropolitana de San Salvador (AMSS), San Miguel y Santa Ana.

En la tabla 1 se observa que la población del AMSS en el período 1971-92, se duplicó; ya en el período 1992-2004 ha crecido en más de un 50%. También se observan crecimientos significativos en las urbes de San Miguel y Santa Ana. La relación territorial que se está tejiendo entre este crecimiento poblacional y el patrón de asentamiento, está provocando grandes impactos a nuestros ya escasos recursos naturales, especialmente al recurso agua.

Producción y estructura económica

El Salvador para el año 2004 alcanzó una producción interna bruta de 15.823,90 millones de dólares. El producto interno bruto (PIB), per cápita alcanzó los US\$ 2.341,71.

Participación sectorial en la producción 2004

En cuanto a la participación productiva de los sectores, el aporte principal está dado por doce grandes sectores del país: Agricultura, Productos de la Minería, Industria Manufacturera, Electricidad y Agua, Construcción, Comercio, Transporte y comunicación, Financieros y seguros, Bienes inmuebles y servicios, Alquileres de vivienda, Servicios comunales y servicios de gobierno. De éstos, 3 son los que imponen y determinan el ritmo y crecimiento. El sector industrial es el de mayor relevancia con 23,6%, seguido de los sectores Comercio y Agropecuario, con 19,7% y 11,5%, respectivamente.

Comportamiento de la producción e inflación (1990-2004)

En los últimos años la producción del país medida por el PIB, ha venido mostrando un ritmo de crecimiento bastante errático, la tasa de crecimiento promedio del 2000 al 2004 asciende al 1,8%. Siendo los últimos dos años los de menor crecimiento, con 1,8% y 1,5%, respectivamente.

El comportamiento y el leve desempeño de la economía estuvieron apoyados por el consumo, compensando la caída en la inversión y el menor dinamismo de las exportaciones. Los sectores económicos que sustentaron su desempeño fueron: agro-

	1971	1992	CAMBIO (%)	2004	CAMBIO (%)
AMSS	585.000	1.275.000	118	2.100.141	65
Santa Ana	160.382	210.970	32	265.944	26
San Miguel	120.640	191.116	58	266.562	39

FUENTE: Dirección General de Estadísticas y Censos (DIGESTYC).

Tabla 1. Cambios poblacionales para el AMSS, Santa Ana y San Miguel. (Dirección General de Estadísticas y Censos, 1995)
Table 1. Poblational changes in AMSS, Santa Ana and San Miguel. (Dirección General de Estadísticas y Censos, 1995)

pecuario, comercio e industria manufacturera, que compensaron la caída observada en el sector de la construcción.

Normativa básica en materia de aguas

Se carece de una Ley de Aguas de carácter general o especial, aunque dentro del proceso de modernización del sector de recursos hídricos hay anteproyectos de ley elaborados al respecto y que se encuentran a nivel de discusión legislativa y gubernamental. No obstante, existen algunas leyes específicas en materia de recursos hídricos, aunque con muchos vacíos (Guerra, 2003). A continuación se mencionan algunas de ellas:

Ley sobre Gestión Integrada de los Recursos Hídricos

Esta ley (Decreto No. 886 de la Junta Revolucionaria de Gobierno, de fecha 2 de dic/1981) fue el producto del PLAMDARH, ejecutado por el gobierno de El Salvador (GOES) y PNUD. Su finalidad, atribuir al ministerio de Planificación la responsabilidad de la gestión integrada de los recursos hídricos, referidos a todos los usos, mediante una política hídrica nacional establecida por el Presidente de la República en Consejo de Ministros. Aseguraba la coordinación entre todas las Agencias Ejecutoras que controlan algún uso activo o pasivo del agua, y facultaba al Ministerio para dictar normas técnicas sobre los usos del agua. El Reglamento de esta Ley Decreto No. 144 de aquel mismo Gobierno, del 23 de marzo de 1982, en su Art. 4 No. 3, establece que el extinto Ministerio de Planificación y Coordinación Económica (MIPLAN), a través de la Oficina Especializada del Agua, estaba facultado para elaborar proyectos de normas sobre calidad del agua y sobre control de vertidos de aguas residuales, desechos fabriles, mineros y cualquier otro uso activo o pasivo del agua que

pueda contaminar el recurso. En el Artículo 2 de esta misma ley, y para los fines anteriores, creó la "Oficina Especializada del Agua", adscrita al extinto Ministerio de Planificación, dependiente directamente del Ministro. Lamentablemente no ha existido dentro de los Planes de Desarrollo Nacional, esa "Política Hídrica" que ordena el artículo 1, y que la atribuye al Presidente de la República y al Consejo de Ministros, razón por la cual dicha oficina dejó de funcionar. La ley comentada permanece vigente e inalterable, sin que se hayan dado las reformas para cambiar la competencia que tenía el Ministerio de Planificación para desarrollar las funciones que le otorgaba la citada ley.

Constitución de la República de diciembre de 1983

Cuando se promulgó la Ley sobre Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (2/Dic/81), aún no existía un asidero constitucional, como para ordenar la Ley General de Aguas; sin embargo, su fundamento se basó en que según el Art. 3 de la Ley de Riego y Avenamiento, se habían nacionalizado todos los recursos hídricos, superficiales y subterráneos; corrientes o detenidas; y que la Constitución de 1950 había nacionalizado el subsuelo, por lo que los acuíferos adquirieron la connotación de dominio público. Pero en la Constitución de 1983, la justificación de legislar especialmente sobre los recursos naturales quedó expresa cuando establece en el Art. 117: "Se declara de interés social la protección, restauración, desarrollo y aprovechamiento de los recursos naturales. El Estado creará los incentivos económicos y proporcionará la asistencia técnica necesaria para el desarrollo de programas adecuados". "La protección, conservación y mejoramiento de los recursos naturales y el medio (léase medio ambiente), serán objeto de leyes especiales". En consecuencia el legislador puede optar por dos alternativas: a) Promulgar Leyes Especiales en forma separada sobre cada recurso natural renovable (agua, suelo, flora y fauna) o b) Promulgar un solo cuerpo legal sistemático que comprende todos los recursos naturales renovables.

Estado actual del marco legal

En la actualidad se cuenta con la ley del Medio Ambiente y algunos de sus Reglamentos vigentes como Reglamento especial de aguas residuales y el Reglamento especial en materia de sustancias, residuos y desechos peligrosos. Sin embargo la competencia sobre el uso y gestión de los Recursos Hídricos es tan dispersa, que no la alcanza a integrar ningún

Marco Legal. No obstante, la Ley de Aguas se está elaborando con alta prioridad en una mesa de discusión interministerial.

Instituciones y organizaciones

En la actualidad existen varias entidades públicas que tienen competencias sobre el recurso hídrico, entre ellas: la Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados (ANDA) a través de la explotación del recurso hídrico para abastecimiento público, Comisión Ejecutiva Hidroeléctrica del Río Lempa (CEL) a través de la operación de los embalses para generación de energía eléctrica, Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) a través de la Ley de Riego y Avenamiento, Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN) a través de reglamentos y políticas para la protección del recurso hídrico, Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social (MSPAS) a través del monitoreo de la calidad de las aguas de consumo humano y las Municipalidades a través de ordenanzas municipales.

Como se mencionó anteriormente, se carece de la Institución Reguladora o Autoridad del Agua que dé las concesiones y que realice la gestión integral de los recursos hídricos, que satisfaga las demandas actuales y futuras del país dentro del contexto de desarrollo sostenible. De igual manera que los aspectos institucionales, la normativa de los recursos hídricos del país se encuentra en forma diversa y dispersa, por lo que la gestión del recurso es muy deficiente.

Hidrogeología descriptiva

Provincias hidrogeológicas

En El Salvador se reconocen cinco provincias hidrogeológicas principales, las cuales están fuertemente definidas por las condiciones geológicas, geomorfológicas y tectónicas de la región, éstas son:

- *Provincia costera*: está dispuesta en la zona costera y limitada por el Océano Pacífico; tiene una extensión de 2.100 km² y posee un espesor de sedimentos con intercalaciones de depósitos de cenizas volcánicas y algunos flujos piroclásticos, secuencia que posee desde pocas decenas de metros hasta unos 400 m.
- *Provincia del Cinturón de Volcanes Jóvenes*: estratovolcanes, estructuras caldéricas y domos que cruzan al territorio salvadoreño este-oeste.
- *Provincia de valles y montañas interiores*: situada entre el Cinturón de Volcanes Jóvenes y las Montañas volcánicas antiguas.

- *Provincia Montañas Fronteras*: situada en la parte norte del país en la frontera que divide Honduras y El Salvador.
- *Provincia de Metapán*: está situada en la porción noroeste del país, donde se encuentran las rocas sedimentarias del Jurásico: Cretácico y volcánicas básicas del Pleistoceno.

Principales unidades y estructuras hidrogeológicas

Las unidades hidrogeológicas principales que constituyen los mejores acuíferos están asociadas a las coladas lávicas de edad Plio-Pleistocénica y Reciente, las cuales están asociadas al Cinturón Volcánico Joven, que corre paralelo a la planicie costera. Estas lavas de naturaleza andesítica, (andesitas basálticas y basaltos), están asociados al desarrollo de estrato-volcanes y conos cineríticos, emplazados dentro de la estructura regional denominada Graben Centroamericano que localmente se llama Graben Central (Wiesemann, 1975) y su formación se estima que ocurrió entre el Plioceno y el Pleistoceno Inferior (9-2 m.a). El Graben Central es un bajo estructural que en El Salvador tiene un ancho irregular que varía de 15 a 30 km, en cuyo interior y sobre el borde sur se ha desarrollado una cadena de volcanes activos. La otra unidad importante la constituye los depósitos de aluviones que forman la planicie costera (Fig. 3).

Descripción litoestratigráfica

Los estrato-volcanes se caracterizan por una sucesión de lavas y depósitos piroclásticos que pueden estar conectados entre sí por fallas y diques, o éstos también pueden convertirse en barreras hidrogeológicas. Los contactos de lavas con superficie escoriácea con abundantes cavidades y las fracturas que están asociadas a estas lavas, son los canales preferenciales para el transporte, acumulación y descargas de aguas subterráneas; o la presencia de depósitos piroclásticos de eventos pocos explosivos tipo estromboliano de grano grueso de espesor importante, constituyen la condición favorable para el establecimiento de acuíferos en el cinturón volcánico cuaternario.

Características hidrogeológicas de las principales formaciones que constituyen acuíferos

Las lavas andesítico-basálticas, depósitos de pómez de caída y depósitos aluviales costeros forman los principales acuíferos. Las lavas cuando están fractu-

radas y con superficies escoriáceas constituyen excelentes acuíferos las cuales presentan muy altos rendimientos. Los depósitos piroclásticos compuestos por escorias o pómez y con gran espesor constituyen muy buenos acuíferos; por otro lado, los aluviones de las zonas costeras cuando poseen una potencia importante llegan a tener muy altos rendimientos.

Infraestructura del conocimiento hidrogeológico

Estado del conocimiento de los acuíferos

En la década de los 70 y 80 del siglo pasado, se realizaron estudios muy importantes en el país con el objetivo de cuantificar los recursos hídricos subterráneos y superficiales para realizar una gestión más eficiente de su aprovechamiento, evaluándose tanto la oferta como la demanda; sin embargo, dichos estudios aunque de muy buen nivel técnico, carecieron de muchas informaciones básicas que sólo pueden conocerse mediante un programa de investigación sistemático. Aquellos estudios debieron convertirse en la base o punto de partida para lograr la institucionalización de las metodologías contenidas en los mismos, pero debido a la situación de guerra que vivió el país durante casi 15 años, estas informaciones quedaron guardadas en unas pocas instituciones y las unidades encargadas de la evaluación de este recurso se mantuvieron olvidadas o desaparecieron. Es hasta hace unos 4 años, con la creación del Servicio Nacional de Estudios Territoriales, SNET, que se ha retomado la función del monitoreo de los recursos hídricos y con el apoyo de la cooperación internacional se está logrando fortalecer las estructuras técnicas y tecnológicas para desarrollar investigaciones científicas y lograr un mejor conocimiento de los acuíferos; sin embargo, dichas estructuras son aún insuficientes, sobre todo por la escasa planificación de los gobiernos locales.

Planes de cartografía hidrogeológica

Durante el período de 1979 a 1981 se ejecutó el estudio del PLAMDARH, el cual incluyó la cartografía de las unidades hidrogeológicas de El Salvador a escala 1:200.000 y ha sido hasta hoy el mapa de referencia para la investigación de acuíferos.

Actualmente, la Administración de Acueductos y Alcantarillados (ANDA) con el soporte financiero y técnico de la Agencia Suiza para la Cooperación y el Desarrollo (COSUDE), ejecuta el proyecto Fortalecimiento Institucional en Investigación de Aguas

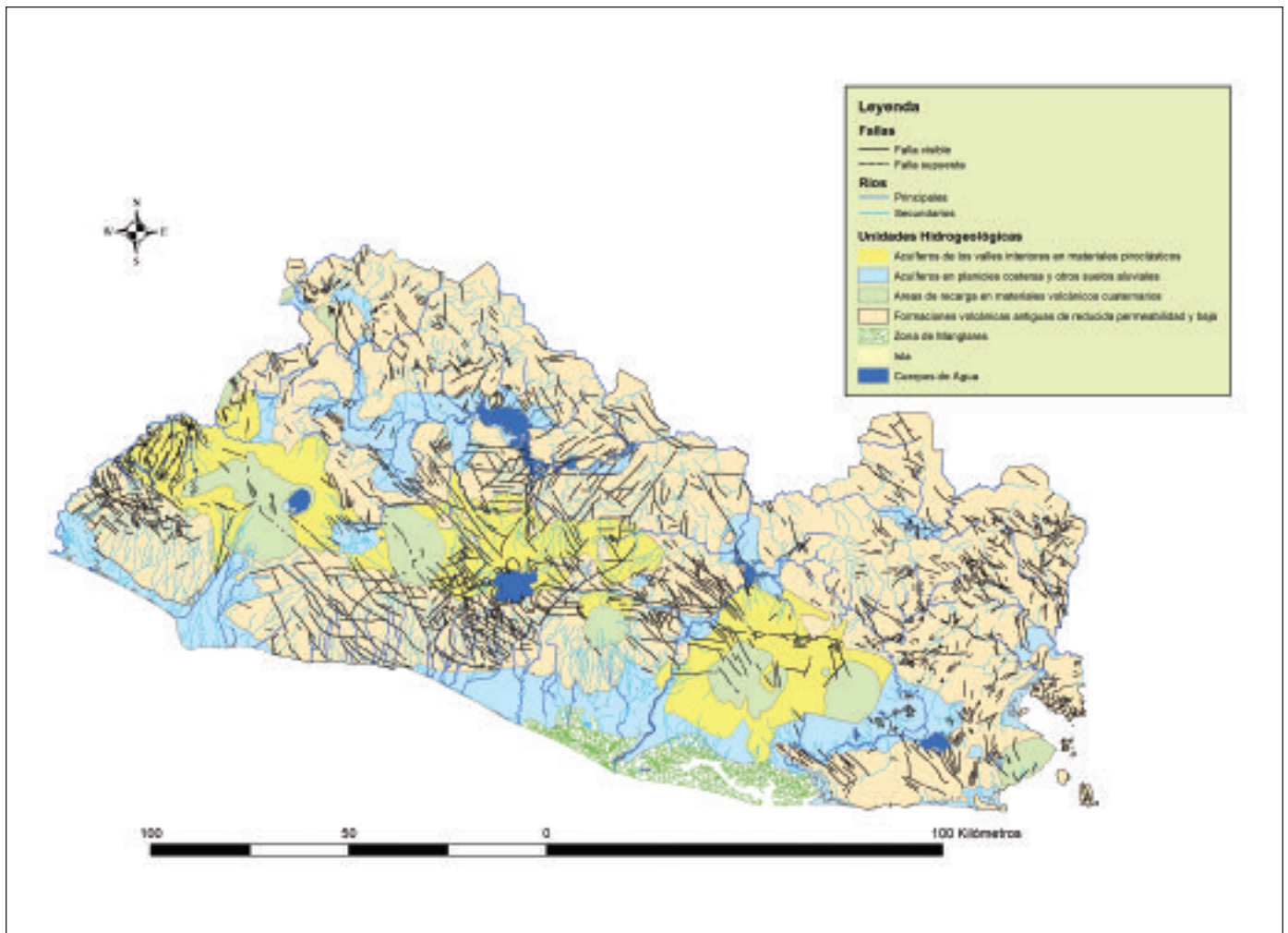


Fig. 3. Mapa hidrogeológico de El Salvador. (PNUD-GOES, 1982)
 Fig. 3. Hydrogeologic map of El Salvador. (PNUD-GOES, 1982)

Subterráneas (FIAS) el cual tiene como objetivo principal la elaboración del Mapa Hidrogeológico de El Salvador a escala 1:100.000. Dicho proyecto finaliza en el 2005, pero el objetivo aún no se ha alcanzado, por lo que se prevé una ampliación del plazo del proyecto para completar el mapa.

Asociaciones científicas y profesionales en recursos hídricos

Existen pocas asociaciones nacionales de profesionales trabajando en el tema de recursos hídricos, aunque se tiene representación de algunas asociaciones científicas internacionales, tales como Asociación Internacional de Ingeniería Sanitaria (AIDIS), Comité Regional de Recursos Hídricos (CRRH) y el Comité Nacional de Instituciones de

Agua Potable y Saneamiento (CONIAPOS). Además de las ya mencionadas, existen otras asociaciones científicas que están iniciando su actividad en El Salvador, tales como la Red Iberoamericana de Ciencia y Tecnología (CYTED) en el tema de evaluación de la vulnerabilidad de acuíferos, Asociación Internacional de Hidrogeólogos (AIH), Capítulo Centroamericano y la más reciente la Red Centroamericana del Recurso Agua (CARA), con el apoyo financiero y tecnológico de la Agencia Canadiense de Cooperación Internacional (ACDI) y las Universidades Canadienses de Waterloo y Calgary.

Actividades de investigación y desarrollo en recursos hídricos

Entre las instituciones y proyectos que trabajan

actualmente en estudios de investigación de las aguas subterráneas se tiene: MARN a través del programa de Descontaminación de Áreas Críticas (DAC) realiza estudios detallados en tres acuíferos importantes (Stimson, 2005; Espinoza, 2005), también a través del programa Fortalecimiento de la Gestión Ambiental en El Salvador (FORGAES) ha elaborado un método y el mapa de recarga acuífera para todo el territorio nacional, con el apoyo de la Unión Europea (UE); SNET realiza el balance hídrico y monitoreo de los recursos hídricos, también realiza estudios de aplicación de técnicas isotópicas en dos regiones importantes del país, con el apoyo del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA); ANDA realiza el mapa hidrogeológico de El Salvador en escala 1:100.000; la Oficina de Planificación del Área Metropolitana de San Salvador (OPAMSS) junto con la organización Geólogos del Mundo realizan estudios de riesgos ambientales en los 14 municipios que constituyen el AMSS. Las Universidades apoyan estas iniciativas por medio de trabajos de tesis.

Actividades universitarias y formación en hidrogeología

En El Salvador no existe la carrera de geología, por ende, la formación en hidrogeología tampoco; solamente se hacen pequeños esfuerzos aislados en algunas universidades locales sobre trabajos de graduación para estudiantes de ingeniería civil, con el apoyo de personal de SNET, ANDA y algunos consultores independientes. Por las razones expuestas, los profesionales del área de Geociencias han tenido que formarse fuera del país, estudiando carreras como Geología y Maestría en Hidrogeología en el extranjero. Sin embargo, ésta última impulsa la creación de la Maestría en Hidrogeología en Universidades Nacionales de Centro América, así como el intercambio de información y experiencias en investigación y gestión del recurso agua al nivel regional.

Consideraciones cuantitativas del recurso

Recarga natural de acuíferos

La recarga de los acuíferos más importantes del Cinturón Volcánico del Pacífico, está relacionada a las cimas de los volcanes, compuesta por materiales lávicos y materiales balísticos gruesos (bombas y escorias), con o sin vegetación. En estas zonas hay inci-

dencia de una de las mayores precipitaciones del país. Las fallas con el desarrollo de conos cineríticos y zonas de fallas regionales, son otras zonas de recarga natural para los acuíferos.

Recursos subterráneos

En la tabla 2 se presentan las características promedio de algunos de los acuíferos más importantes del país (PNUD-ANDA, 1972; Losilla *et al.*, 2001), con base a información de sondeos.

Recursos disponibles

En lo concerniente a los acuíferos intervenidos actualmente, es imperativo dar una definición clara de los límites y de sus parámetros, con el objeto de cuantificar con más exactitud los volúmenes en almacenamiento y asegurar la sostenibilidad de los sistemas de agua para los diversos usos, así como definir límites permisibles de explotación.

A continuación se presenta un resumen de los recursos hídricos subterráneos por Región Hidrográfica (tabla 3).

El conocimiento cuantitativo de los recursos subterráneos. Redes de control de aguas subterráneas y aguas superficiales

El SNET está realizando con fondos propios el balance hídrico de todo el territorio nacional, distribuido por regiones hidrográficas. Se cuenta con un registro de datos meteorológicos e hidrométricos bastante amplio, aunque la mayor cobertura se logró en la década de los 70 del siglo pasado cuando la red meteorológica constaba de unas 300 estaciones distribuidas en todo el territorio y la red hidrométrica contaba con 70 estaciones ubicadas en los principales ríos del país. Actualmente, la red meteorológica cuenta con unas 100 estaciones pluviométricas y la red hidrométrica cuenta con 30 estaciones, 15 de las cuales transmiten los datos en tiempo real y funcionan en un Sistema de Alerta Temprana (SAT) generando pronósticos diarios y extendidos para prevención contra inundaciones, los primeros y para gestión de embalses, los segundos.

En el período de 1975 a 1985 el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) realizó un control de los acuíferos costeros y algunos acuíferos del interior del país, que consistió básicamente de medición de niveles piezométricos y sólo en algunos casos se rea-

COD	NOMBRE DE ACUÍFERO	UNIDAD HIDROGEOLÓGICA	EXTENSIÓN km ²	ESPESOR m	RECARGA m ³ /año x 10 ⁶
A-1	Singüil	Piroclastos cuaternarios redepositados	24	30	7,00
A-2	Texistepeque	Piroclastos cuaternarios redepositados	40	40	10,00
A-3	Santa Ana-Chalchuapa	Lavas cuaternarias y piroclastos	200	80	90,00
A-4	Aguilares	Piroclastos cuaternarios redepositados	60	60	30,00
A-5	Coatepeque	Piroclastos cuaternarios	45	60	23,00
A-6	San Salvador	Lavas cuaternarias y piroclastos	160	100	42,00
A-7	Zapotitán	Depósitos piroclásticos y sedimentos lacustres	200	100	200,00
A-8	Quezaltepeque-Nejapa	Lavas cuaternarias y piroclastos	130	60	100,00
A-9	San Vicente	Lavas cuaternarias y piroclastos	100	100	55,00
B-1	Chalchuapa-Ahuachapán	Lavas cuaternarias y piroclastos	250	80	114,00
B-2	Omoa	Piroclastitas cuaternarias y lavas intercaladas	100	60	9,00
C-1	Paz-Acajutla	Depósitos sedimentarios aluviales	185	60	81,00
D-1	Izalco	Lavas cuaternarias y piroclastos	160	40	55,00
D-2	Sonsonate	Lavas cuaternarias y piroclastos	300	40	143,00
D-3	San Julián	Lavas cuaternarias y piroclastos	20	20	41,00
E-1	Libertad-Comalapa	Depósitos sedimentarios aluviales	85	40	30,00
F-1	Comalapa-Lempa	Depósitos sedimentarios aluviales y piroclastitas cuaternarias	400	60	418,00
F-2	Ilopango	Piroclásticos cuaternarios	40	100	20,00
G-1	Lempa-Usulután	Sedimentos costeros, piroclastitas cuaternarias y lavas	450	100	298,00
H-1	Usulután	Piroclásticos cuaternarios	150	100	200,00
H-2	El Jocotal	Lavas y depósitos sedimentarios aluviales	130	60	100,00
H-3	San Miguel	Lavas cuaternarias y piroclastos	150	100	57,00
H-4	Olomega	Depósitos aluviales	100	60	30,00
H-5	Quelepa	Lavas cuaternarias y piroclastitas	150	60	30,00

Tabla 2. Acuíferos más importantes de El Salvador. (PNUD-ANDA, 1972)

Table 2. Best aquifers in El Salvador. (PNUD-ANDA, 1972)

lizaron muestreos y análisis físico-químicos. La unidad de hidrogeología de esa institución desapareció y durante veinte años ninguna otra retomó la función del monitoreo de acuíferos hasta hoy. El SNET ha retomado esta función, pero con escasos recursos, por lo que el control es muy limitado. Todas estas redes de control funcionan bajo la responsabilidad del SNET. Durante 2005 se midió el nivel piezométrico en 150 pozos excavados o domésticos.

NOMBRE	ESCORRENTÍA SUBTERRÁNEA MEDIA ANUAL X 10 ⁶ m ³
A: LEMPA	4.189,00
B: PAZ	403,20
C: CARA SUCIA-SAN PEDRO	92,90
D: GRANDE DE SONSONATE-BANDERAS	249,80
E: MANDINGA-COMALAPA	67,10
F: JIBOA-ESTERO DE JALPETEQUE	378,80
G: BAHÍA DE JIQUILISCO	271,20
H: GRAMDE DE SAN MIGUEL	419,10
I: SIRAMA	-
J: GOASCORAN	84,60
TOTAL	6155,7

Tabla 3. Recursos hídricos subterráneos por región hidrográfica. (PNUD-GOES, 1982)

Table 3. Groundwater resources in watersheds. (PNUD-GOES, 1982)

La calidad de las aguas subterráneas

Calidad natural de las masas de agua subterránea

En términos generales, las aguas subterráneas son de mejor calidad que las aguas superficiales, por lo que representan un recurso importante para el desarrollo socio-económico nacional. En El Salvador, las aguas superficiales de los acuíferos ubicados en el interior del país son poco mineralizadas, con valores de temperaturas que oscilan entre 25 y 27°C, el pH varía entre 6,0 y 7,5 y la conductividad eléctrica varía entre 0,1 y 0,5 mS/cm. Por otra parte, las aguas subterráneas de acuíferos costeros son más mineralizadas, con temperaturas que oscilan entre 27 y 30°C, el pH varía entre 7,0 y 8,5 y la conductividad eléctrica varía de 0,25 hasta 1,5 mS/cm (Guevara, 2004); por supuesto hay valores extremos, pero aquí se han mencionado los valores más representativos. Conviene aclarar que las temperaturas del agua son típicas de la región y no reflejan termalismo.

Contaminación puntual y contaminación difusa

Existen dos tipos de captaciones de aguas subterráneas (sin mencionar los manantiales) son los pozos

excavados o artesanales y los sondeos. Los primeros captan los acuíferos freáticos y son de poca profundidad, ya que por lo general, sólo profundizan un metro en el acuífero; los sondeos pueden ser de poca profundidad cuando captan un acuífero freático, pero también pueden ser profundos, cuando la producción requerida es importante; en El Salvador los pozos más profundos para abastecimiento de agua de consumo humano, riego e industrial son de 200 metros.

En el primer caso, debido a la poca profundidad del nivel freático, las aguas subterráneas pueden ser fácilmente impactadas por una contaminación puntual, tales como granjas, establos, fosas sépticas, etc. De hecho, casi todas las aguas de pozos domésticos están contaminadas con bacterias coliformes y los pozos profundos también tienen riesgo de contaminarse, por diseños inadecuados de pozos y por contaminación regional, ya que también existe una

contaminación difusa que se da en los campos de cultivo, por la aplicación de fertilizantes y pesticidas, algunos de los cuales están prohibidos en países desarrollados.

En la actualidad, la investigación de contaminación en acuíferos no se realiza de manera sistemática, pero es el siguiente paso que el SNET debe dar, ya que ésta es una función de su competencia.

Contaminación de origen urbano, agrario e industrial

La contaminación de origen urbano en muchas zonas del país puede ser importante, debido a vertidos de basura incontrolados y falta de sistemas de alcantarillados y tratamientos de aguas domésticas. Por otra parte, el uso indiscriminado de pesticidas en el sector agrícola también se constituye en un factor muy grande de contaminación, habiéndose registrado algunos

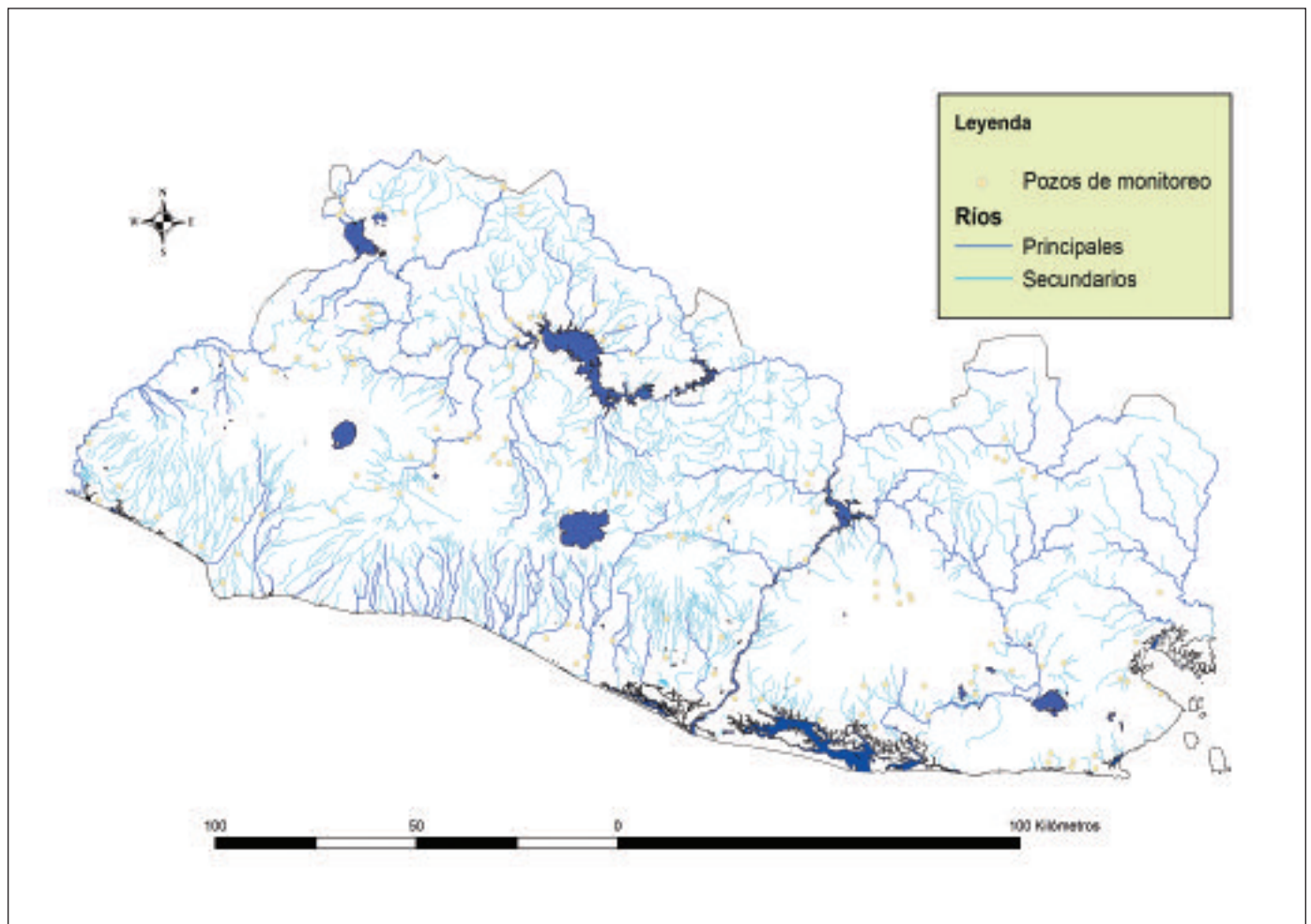


Fig. 4. Pozos de control de aguas subterráneas (Guevara, 2005)
Fig. 4. Groundwater monitoring wells (Guevara, 2005)

casos de enfermedades asociadas a estas sustancias. También existe contaminación de origen industrial que se manifiesta en las aguas subterráneas con altos contenidos de metales pesados, lo cual se ha identificado a través de algunos estudios puntuales realizados por Organizaciones No Gubernamentales.

Salinización de acuíferos

Debido a la intensiva explotación de aguas subterráneas para riego del cultivo de algodón durante la década de los 60 del siglo pasado, existen áreas de la zona costera en los departamentos de San Vicente y Usulután donde la intrusión salina ha contaminado al acuífero costero parcialmente. Este impacto no llega alcanzar las aguas subterráneas menos profundas ya que los pozos excavados no lo manifiestan. La sobreexplotación de aguas subterráneas en dichos acuíferos terminó con la caída de dicho cultivo en 1980.

Redes de control de calidad

Nunca han existido redes de control de la calidad de las aguas subterráneas, hasta que en el presente año el SNET ha iniciado el monitoreo de niveles freáticos y calidad de las aguas subterráneas en todo el territorio nacional. En esta primera fase se controlan los acuíferos freáticos a través de pozos excavados o domésticos, pues existen limitaciones de equipo y personal; además, el objetivo es caracterizar la calidad de las aguas subterráneas en cuanto a sus iones mayoritarios.

Con las aguas superficiales por el contrario, se ha monitoreado la calidad desde la década de los 60 del siglo XX, pero desde hace cinco años se hace un control con el objetivo de evaluar la contaminación de los cuerpos de aguas superficiales, para lo cual se ha desarrollado un Indicador de Calidad de Agua (ICA). Dicho monitoreo lo inició el Programa Ambiental de El Salvador (Ministerio de Agricultura y Ganadería, 2003), pero esta responsabilidad es ahora del SNET. Ya se cuenta con el diagnóstico de 5 regiones hidrográficas, por lo que sólo faltan las 5 restantes.

Usos del agua

Aprovechamiento de aguas superficiales y aguas subterráneas

La institución encargada de la generación de energía

eléctrica es la Comisión Ejecutiva Hidroeléctrica del Río Lempa (CEL), que aprovecha las aguas del río Lempa, que es el más largo y caudaloso. Este río cruza todo el país de norte a sur. Sobre el río Lempa se han construido 3 presas hidroeléctricas con una capacidad instalada de generación conjunta de 414,4 Mw. El embalse de la Presa San Lorenzo, o 15 de Septiembre, cuenta con una descarga máxima de 5 m³ canalizada para riego. Este mismo tipo de proyecto se realizará en dos futuras presas hidroeléctricas, una en el Lempa y otra en el río Torola, utilizando las aguas de las descargas.

En cuanto al aprovechamiento subterráneo, éste se ha aumentado por el incremento de unidades generadoras puestas en marcha en las dos plantas geotérmicas de Ahuachapán y Berlín, que conjuntamente generan actualmente 118 MW (Geotérmica Italiana, 1992). LaGeo es la empresa responsable de la generación geotérmica y está haciendo el esfuerzo para aumentar más esta capacidad en el campo geotérmico de Berlín.

Uso conjunto aguas superficiales-aguas subterráneas

En la salida de la parte alta de la cuenca del Río Lempa está construida la planta de tratamiento de esas aguas para abastecimiento del AMSS. Estas aguas no se distribuyen directamente sino antes son mezcladas con las aguas provenientes del Proyecto Zona Norte (PZN) en el acuífero Opico-El Playón, para después llevarlas a la red de distribución. Inicialmente las aguas tratadas del Lempa fueron enviadas directamente a la red pero debido a que producían cierto sabor y olor por la presencia de algas, estas aguas fueron rechazadas por la población. Al mezclarlas con las aguas del PZN se logró una dilución tal que el sabor y olor no fueron perceptibles.

Problemática actual y futura

Sobreexplotación

Debido a la falta de conocimiento del estado de los recursos hídricos subterráneos y la inexistencia de planes de monitoreo, se desconoce si algunos acuíferos están sobreexplotados; sin embargo, en la década 1990-2000 ANDA declaró que el acuífero de Soyapango (parte del Área Metropolitana de San Salvador) estaba sobreexplotado, por lo que se denegaron las concesiones para explotar dichos recursos y además en algunos pozos de ANDA se detuvo la explotación para que el acuífero se pudiera recuperar.

Simultáneamente, se introdujo el sistema de agua potable del Río Lempa, llevando el agua a través de 44 km de conducciones.

Los criterios para evaluar la sobreexplotación consideraron únicamente un balance hídrico superficial y las extracciones de aguas subterráneas de acuerdo a los inventarios de pozos, pero no se realizaron comprobaciones de campo, por lo que aún existen incertidumbres.

Calidad de las aguas subterráneas

Con el acelerado desarrollo urbano no controlado, en especial en las áreas metropolitanas de las principales ciudades del país, la presión sobre los recursos hídricos en general ha aumentado, afectando en la cantidad y la calidad de los mismos, ya que se han impermeabilizado áreas de recarga y se ha permitido cualquier tipo de actividad contaminante con la consecuente reducción de la disponibilidad por la pésima calidad.

El Salvador es un país con una pluviosidad elevada y con una geología relativamente joven, por lo que en teoría existen grandes reservorios de aguas subterráneas, pero esta disponibilidad está condicionada a la calidad.

Singularidades hidrogeológicas

De origen climático

Debido a las condiciones climáticas de las zonas tropicales, donde las precipitaciones son muy altas y las temperaturas altas con pequeñas variaciones diurnas, se producen en los depósitos piroclásticos y en las lavas, una meteorización química intensa que cambia las propiedades hidráulicas de las formaciones, tornándolas menos permeables por el sellamiento de los poros a causa de la generación de arcillas en las tobas y desarrollo de arcillas en las fracturas en las lavas. En la superficie del terreno esta meteorización tiene su expresión en la formación de potentes suelos residuales de color rojizo, amarillento, ocre y café-amarillento, producido por la acumulación de óxidos de hierro. Éste es el caso de la zona volcánica antigua (Mioceno-Oligoceno) fronteriza con Honduras, donde el agua para abastecimiento humano se obtiene por medio de la captación de manantiales de pequeñas descargas provenientes de acuíferos colgados. En esta región no se llevan a cabo perforaciones profundas dado el alto riesgo de no interceptar un

acuífero colgado. Además, esta región por ser rica en suelos arcillosos de espesores importantes, es bastante susceptible de sufrir recurrentes deslizamientos de tierra.

Relacionadas con la actividad neotectónica

La geodinámica interna se hace manifiesta en las aguas subterráneas por la incidencia de terremotos de magnitudes de hasta 7,6 en la Escala Richter, que llegan a producir fenómenos de licuefacción en zonas costeras y en valles con nivel freático poco profundo. En las laderas de los volcanes y calderas, la desaparición de manantiales y la surgencia de nuevos donde no había. Así mismo pueden observarse fenómenos de incremento o reducción de caudal en algunos manantiales. Debido a la fractura de lavas hay una reducción de los niveles de lagos y lagunas por mayor salida de sus aguas. En las ciudades se producen roturas de tuberías primarias de abastecimiento de agua potable y daños en las tuberías de algunos sondeos. En las zonas geotérmicas las aguas subterráneas están comúnmente enriquecidas por carbonatos y sulfatos, dado la influencia que ejercen las fumarolas al entrar en contacto con los acuíferos.

Los procesos externos más comunes están más relacionados con las aguas superficiales. El deslizamiento de unos 10 millones de m³ cerró el cauce del Río Jiboa inducido por el terremoto del 13 de febrero de 2001 (M=6,6 Richter), y originó el embalse de las aguas del río. Las fuertes sacudidas de los terremotos y sus réplicas produjeron gran cantidad de derrumbes en los suelos volcánicos a lo largo del Río Desagüe del Lago Ilopango y mucho material fue arrastrado por el río, reduciendo por completo la sección hidráulica del puente sobre el mismo.

De origen antrópico

El impacto a las aguas superficiales se ha hecho de forma directa, con las descargas de desechos sólidos, de vertidos domiciliarios y la gran mayoría de los industriales. Solamente con la aparición del Ministerio del Medio Ambiente y Recursos Naturales, en 1998, poco a poco se ha ido restringiendo este tipo de actividades, principalmente en lo concerniente a las industrias y los vertidos de los nuevos proyectos urbanísticos. Sin embargo, todavía no se logra disminuir los desechos sólidos a las quebradas y ríos por parte de la población en el AMSS, ni de la mayoría

de los municipios. Los lixiviados de estos desechos y los ríos contaminados están provocando cierta contaminación de los acuíferos, pero se desconoce el grado y tipo de contaminantes.

Conclusiones

Las aguas subterráneas están grandemente condicionadas por las estructuras volcánicas, fallas, grado de meteorización y edad de los edificios volcánicos, pues estos factores son determinantes en el modo de circulación, el grado de permeabilidad, quimismo y en la profundidad de las aguas subterráneas.

Los principales acuíferos de El Salvador se ubican sobre el graben central que atraviesa el país de Este a Oeste y sobre las planicies costeras occidental y central.

El grado del conocimiento de los recursos hídricos subterráneos es limitado, necesitándose estudios detallados para definir la geometría de los acuíferos y sus propiedades hidráulicas.

Existen varias iniciativas de investigación de las aguas subterráneas que están siendo ejecutadas por diversas instituciones, ya que no existe una institución con los recursos suficientes para realizar los estudios necesarios por propia cuenta.

Referencias

- Espinoza, M. 2005. *Desarrollo del Plan de Investigación Hidrogeológica de los Acuíferos Identificados en las Tres Zonas Prioritarias: a) Zapotitán-Opico, b) Subcuenca Río Apanchacal (Santa Ana) y c) Subcuenca Río Grande de San Miguel (específicamente el Acuífero San Miguel)*. MARN-SNET.
- Dirección General de Estadísticas y Censos. 1995. *Censos Nacionales V de Población y IV de Vivienda, 1992. Tomo General de El Salvador*. Ministerio de Economía, 427 p.
- Geotérmica Italiana, 1992. *Desarrollo de los Recursos Geotérmicos del Área Centro-Occidental de El Salvador. Informe Final*. Comisión Ejecutiva Hidroeléctrica del Río Lempa, El Salvador. Informe interno.
- Guevara, M. 2004. Monitoreo de los acuíferos Aguilares-Colima en el interior del país y Jiquilisco-Usulután en la planicie costera oriental, estudio de caracterización de

los recursos hídricos subterráneos de El Salvador por el Servicio Nacional de Estudios Territoriales, *Monitoreo de Acuíferos, Boletín N° 1*. 110 p.

Guevara M. 2005. Monitoreo de acuíferos libres en valles y planicies costeras del país. Estudio de caracterización de los recursos hídricos subterráneos de El Salvador por el Servicio Nacional de Estudios Territoriales, *Monitoreo de Acuíferos, Boletín N° 3*. 125 p.

Guevara Morán, J.A. 1985. *Perfil Ambiental de El Salvador. Estudio de Campo*. USAID. EMTECSA de CV. San Salvador, El Salvador.

Guerra y Guerra, H. 2003. *La situación de los mecanismos institucionales y de gobierno para hacer realidad la visión del agua para el hemisferio: Caso Centroamérica*. Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados, 213 p.

Hernández, W. 2004. *Características geomecánicas y vulcanológicas de las tefras Tierra Blanca Joven, Caldera de Ilopango, El Salvador*. Tesis de Maestría. Universidad Politécnica de Madrid. El Salvador.

Losilla, M., Rodríguez, H., Schosinsky, G., Stimson, J. y Bethune, D. 2001. *Los Acuíferos Volcánicos y el Desarrollo Sostenible en América Central*, Universidad de Costa Rica, 205 p.

Ministerio de Agricultura y Ganadería, 2003. *Análisis de resultados del monitoreo preliminar de contaminación de las subcuencas de los ríos Sucio, Suquiapa y Acelhuate, Programa Ambiental de El Salvador*. MAG-DGRNR-PAES, 1997-2003, 67 p.

PNUD-ANDA, 1972. *Desarrollo de los Recursos Hidráulicos en El Salvador. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo*. Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados, El Salvador.

PNUD-GOES, 1982. *Plan Maestro de Desarrollo y Aprovechamiento de los Recursos Hídricos*. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo-Gobierno de El Salvador.

Stimson, J. 2005. *Desarrollo del Plan de Investigación Hidrogeoquímica de los Acuíferos Identificados en las Tres Zonas Prioritarias: a) Zapotitán-Opico, b) Subcuenca Río Apanchacal (Santa Ana) y c) Subcuenca Río Grande de San Miguel (específicamente el Acuífero San Miguel)*. MARN-SNET.

Wiesemann, G. 1975. Remarks on the Geologic Structure of the Republic of El Salvador, Central America. *Mitt. Geol. Paleont. Inst. Univer. Hamburg*, 44, 557-574. Hamburg.

Recibido: mayo 2005.

Aceptado: junio 2005.