

Potencial hidrogeológico de la República Dominicana

H. Rodríguez Morillo y J.F. Febrillet Huertas

Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos.
Ave. Jiménez Moya esq. Juan de Dios Ventura Simò, Centro de los Héroes, Santo Domingo, República Dominicana
E-mails: hectorrodriguez@yahoo.es - josfebrillet@yahoo.com

RESUMEN

El potencial hidrogeológico de la República Dominicana representa el 60% de la disponibilidad de los recursos hídricos del país, mientras que el grado de presión sobre el recurso es del orden del 49% de la oferta hídrica, lo que manifiesta la importancia de este vital recurso y la necesidad de promover su protección y conservación. Se presenta una descripción de las unidades hidrogeológicas del país, su infraestructura hidrogeológica, balance hídrico y redes de piezometría y calidad. Los recursos subterráneos renovables proceden en un 77% de la recarga directa de la lluvia o de la infiltración desde los cauces fluviales, un 15% corresponden a los retornos o infiltración desde las zonas de riego y canales y el 8% restante procede de conexiones laterales con zonas o unidades contiguas. La calidad de las aguas subterráneas es muy variada, encontrándose contaminación bacteriológica en el 87% de los pozos someros por carecer de perímetros de protección adecuados. Asimismo, se desarrollan aspectos generales relativos a la disponibilidad de los recursos hídricos, su problemática y se describen algunas singularidades hidrogeológicas de la República Dominicana como el lago Enriquillo.

Palabras clave: conservación, potencial hidrogeológico, protección, recursos hídricos, República Dominicana

Hydrogeological potential of the Dominican Republic

ABSTRACT

The hydrogeological potential of the Dominican Republic represents 60% of the availability of the water resources of the country, while the degree of pressure on the resource is 49% of the water supply, which shows the importance of this vital resource, so it is needed to promote its protection and conservation. A description of the hydrogeological units of the country, its hydrogeological infrastructure, water balance and piezometric and chemical networks are presented. About 77% of the underground renewable resources are originated from direct rain discharge or river bed infiltration, 15% correspond to irrigated zones or channels infiltration or return, and the remaining 8% proceed from lateral connection with contiguous units or zones. Underground water quality is rather varied, 87% of shallow wells are contaminated by bacteria due to the lacking of adequate protection perimeters. General aspects about the availability of water resources, its problematic and some hydrogeological singularities of The Dominican Republic, like lago Enriquillo, are developed.

Key words: conservation, Dominican Republic, hydrogeological potential, protection, water resources

Introducción

La República Dominicana comparte la isla Española con la República de Haití. La isla, segunda en tamaño del archipiélago de las Antillas Mayores, conformado además por Cuba, Puerto Rico y Jamaica, tiene una extensión de 77.914 km², de los cuales la República Dominicana ocupa 48.670,82 km², incluidas islas anexas, en la porción oriental de la isla, encontrándose entre los 18° y 20° N y los 68° y 72° W.

El sistema orográfico es complejo y está formado por cinco sistemas montañosos con orientación preferencial noroeste-sureste tanto en alineaciones geológicas como en estructura y geografía. La orografía varía desde 46 m b.n.m., en el Lago Enriquillo,

hasta 3.175 m s.n.m., en el pico Duarte. Las llanuras del país ocupan un 40% del territorio.

El objetivo principal de este documento es dar a conocer la hidrogeología de la República Dominicana, su potencial y su importancia en el desarrollo de los recursos hídricos del país.

Marco físico

El clima es tropical, registrándose una temperatura media anual de 25,4° C que oscila entre los 28° y 33° C, la máxima, y entre 16° y 20° C, la mínima, aunque la heterogeneidad topográfica genera cierta diversidad de temperatura llegando a los 0°C en las zonas

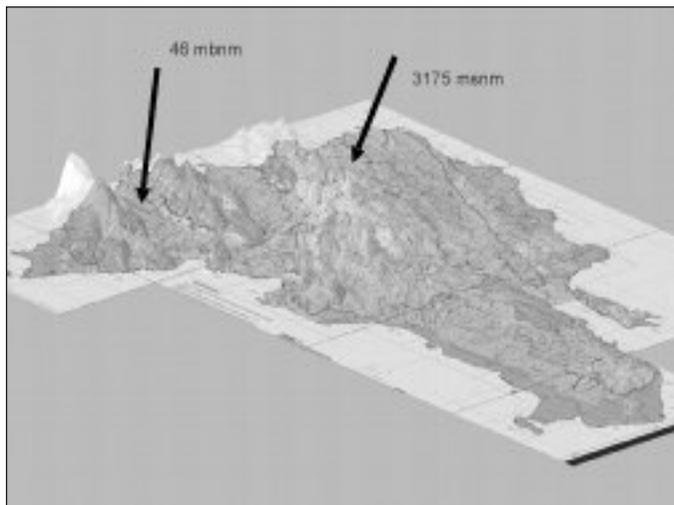


Fig. 1. Representación esquemática del relieve de la República Dominicana

Fig. 1. Schematic representation of the Dominican Republic topographie

más elevadas. Las horas de sol anual varían desde 2.500 en las zonas montañosas a 3.400 en los valles y costas, y la humedad relativa promedio es del orden del 80% con variaciones diarias de 50% a 100% (Núñez, 1968).

El índice de aridez, cociente entre precipitación y evapotranspiración, aporta una caracterización areal y porcentual de las categorías climáticas en la República Dominicana, como puede apreciarse en la tabla 1.

El patrón de lluvias está influenciado por los vientos alisios del noroeste, con precipitación media anual de unos 1.500 mm, con oscilación desde los 313 mm/a en las zonas secas, a más de 2.795 mm/a en la zona húmeda, y con mínimos y máximos extremos de 119 mm en 1991, en Tamayo, y 4.652 mm en 1960, en Restauración. Para el cálculo de la lluvia útil o escorrentía total (superficial y subterránea) mostrada en la tabla 2, se utilizó el método del Balance Mensual de Agua en el Suelo, utilizando la ETP según

Categoría	Área (km ²)	Porcentaje
Árido	1,000	2.1
Semi-árido	7,500	15.5
Húmedo-seco	8,750	18.0
Semi-húmedo	13,750	28.4
Húmedo	17,500	36.0

Tabla 1. Áreas y porcentajes de las categorías climáticas de la Rep. Dominicana

Table 1. Areas and rates of the Dominican Republic climatic domains

Hargreaves y considerando varias hipótesis de reserva de agua en el suelo.

Para el diseño de los drenajes, en la década de 1950 se utilizaba una intensidad de 60 mm/h, pero después del huracán David (1979) se usó 80 mm/h, que fue la intensidad máxima cuando se colapsaron las compuertas de la presa de Valdesia, en la cuenca del río Nizao. El huracán George (1998) cambió nuevamente este valor al registrarse una intensidad máxima de 120 mm/h.

La variabilidad orográfica y climática genera una diversidad de ecosistemas que incluyen nueve zonas de vidas, según la clasificación de Holdridge. El bosque seco subtropical, el bosque húmedo subtropical y el bosque muy húmedo subtropical representan el 80% de la cobertura boscosa potencial del país.

Existen 1.576 km de litoral costero y una plataforma insular de 8.950 km². La zona costera alberga el 70% de las ciudades con más de 10.000 habitantes y el 75% de la industria pesada y el turismo.

En el país se genera un volumen de precipitación media anual de aproximadamente 73 km³, de los cuales 22 km³ escurren por los 1.197 ríos perennes de la nación, agrupándose en 97 cuencas hidrográficas principales, quedando una disponibilidad per cápita de 2.673 m³/hab/año, reduciéndose a 1.421 m³/hab/año en años secos, lo que sitúa al país con tensión hídrica. El grado de presión (cociente entre demanda y oferta) sobre el recurso agua se torna elevado en la mitad oeste del país (66 a 86%), mediano-alto en la zona central (32 a 39%) y mediano en la costa atlántica y la llanura costera oriental (16 a 19%). Las cuencas hidrográficas del país poseen un potencial hidroeléctrico del orden de 12.972 Gwh/año, usándose actualmente solamente el 10%.

Entre los principales recursos naturales del país destacan los minerales, de los cuales se encuentran yacimientos en explotación de oro, plata, ferroníquel, sal gema, yeso, mármol, ámbar, bauxita, calizas, arcillas y agregados aluvionales extraídos de los ríos, cañadas y canteras, entre otros.

Desde el punto de vista geológico (Fig. 2), la Isla tiene su origen en el Cretácico (de material volcánico) con la formación de las Cordilleras Central y Oriental y la Sierra de Samaná, parcialmente. Posteriormente fue rellenándose a través de los períodos Eoceno, Oligoceno, Mioceno (calizas cristalizadas y por erosión rocas sedimentarias), con las Cordillera Septentrional y las Sierras de Neiba y Bahoruco. Los levantamientos del Mioceno-Plioceno parcialmente rellenaron los valles del Cibao, de San Juan y Los Haitises, completado en el Plioceno con las Llanuras

Unidad Hidrogeológica	Precipitación (mm)			Temperatura (°C)			Lluvia útil (mm)		
	Mín.	Medi.	Máx.	Mín.	Med.	Máx.	Mín.	Med.	Máx.
Cordillera Oriental	1,240	1,434	2,017	20	25	30	34	66	87
Los Haitises	1,272	1,707	2,109	18	26	28	130	272	597
Península Samaná	1,372	1,998	2,718	20	26	31	153	506	1,076
Cord. Septentrional	658	1,502	2,004	17	25	29	11	334	1,383
Valle del Cibao	481	1,179	2,330	18	26	32	0	90	381
Cordillera Central	821	1,517	1,656	17	23	31	1	244	1,077
Sierra de Neiba	313	922	2,203	17	25	32	5	42	284
Sierra de Bahoruco Península Barahona	324	1,253	2,795	16	25	33	52	157	488
Valores Medios	810	1,439	2,229	17.9	25.1	30.8	48	214	672

Tabla 2. Valores máximos, mínimos y medios de precipitación, temperatura y lluvia útil, para el 77% de la República Dominicana (INDRHI-EPTISA, 2004)

Table 2. Maximum, minimum and average values of the rainfall, temperature and effective rainfall for the 77% of the Dominican Republic (INDRHI-EPTISA, 2004)

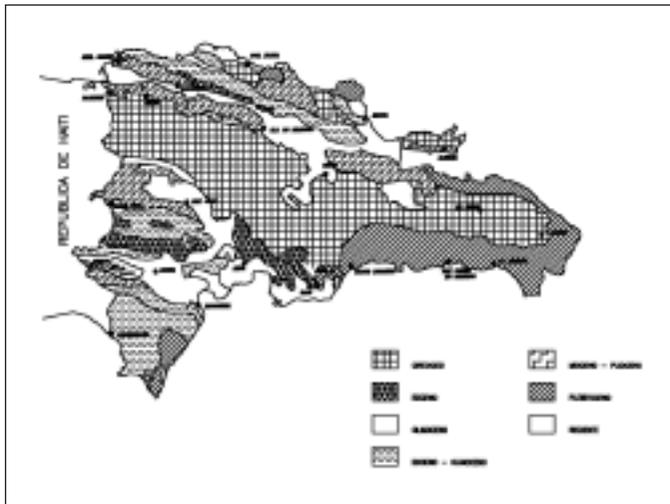


Fig. 2. Mapa geológico de la República Dominicana
Fig. 2. Geological map of the Dominican Republic

Costeras Oriental, Oviedo y Cabrera. En el Cuaternario, Pleistoceno-Reciente, se secaron los canales marinos que atravesaban el área y se completaron los valles del Yaque del Norte, Yaque del Sur, Yuna, Bajabonico, Nagua, Neiba y las planicies de Azua y Baní.

Marco socio-económico

La población dominicana, según cifras del último Censo (ONE-2002), es de 8.230.722 habitantes, siendo la densidad poblacional de 170 habitantes/km², y la tasa promedio anual de crecimiento entre los últimos censos (1993-2002) es de 13 por mil habitantes.

La República Dominicana sufre frecuentemente el embate de fenómenos naturales altamente destructivos,

encontrándose en la ruta de los huracanes y en el centro de los movimientos sísmicos de la región, con una frecuencia de un sismo importante cada 7,4 años. Las tormentas tropicales y huracanes que se forman en la temporada de huracanes, de junio a noviembre, ocasionan muchas pérdidas de vidas y enormes daños al medio natural; a los árboles por el viento, a las costas por las marejadas, en las montañas derrumbes y en los valles inundaciones (Febrillet y Saldaña, 2001).

La agricultura y el turismo inciden en la dinámica económica del país, representando el 12% y el 30% del Producto Interno Bruto respectivamente, siendo la explotación de los recursos hídricos claves para sustentar estas actividades.

El crecimiento sin previsión de la demanda de agua, el deterioro progresivo de las cuencas y las complejidades de la contaminación y degradación de la calidad del agua, en un ambiente en el que todavía quedan insatisfechos o mal servidos importantes segmentos de la población, ponen en riesgo las oportunidades de desarrollo y amenazan el patrimonio de los recursos naturales del país.

Marco institucional

La Ley 64-2000 sobre el Medio Ambiente y los Recursos Naturales fue promulgada en el año 2000, con el objetivo de regular la gestión de los recursos naturales del país, para lo cual se crea la Secretaría de Estado de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

El Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos, INDRHI, fue creado mediante la Ley 6, del 8 de septiembre de 1965, como la entidad responsable de la administración del recurso agua, del desarrollo hidráulico y la gestión del riego en el país.

El Subsector de Agua Potable y Saneamiento esta a cargo del Instituto Nacional de Aguas Potables y Alcantarillados, INAPA, con responsabilidad de diseñar, construir y operar los sistemas de abastecimiento de agua potable y plantas de tratamiento de aguas residuales en las provincias del país, a excepción de cinco ciudades que han creado su propia corporación municipal.

La generación de hidroelectricidad es una competencia exclusiva de la Empresa Generadora de Hidroelectricidad Dominicana, EGEHID, creada mediante la Ley General de Electricidad, Ley 121, de 2001, bajo el marco de la Corporación Dominicana de Empresas Eléctricas Estatales.

La organización de los usuarios de riego es competencia del INDRHI, quien ha organizado diez (10) Distritos de Riego con unos 320 sistemas de riego que cubren una superficie de 278.000 hectáreas, siendo estos sistemas, casi en su totalidad, por gravedad.

La política para el desarrollo y aprovechamiento sustentable de los recurso hídricos de la nación se ha enunciado en los siguientes ejes principales: a) desarrollo de capacidades institucionales y modernización del marco jurídico, b) aumento de la capacidad de regulación de las fuentes de agua, incrementando la capacidad de almacenamiento y optimizando la operación de los embalses con el objetivo de garantizar un suministro estable de agua para consumo humano y agrícola, entre otros usos, c) aumento de la eficiencia en el uso del agua y preservación de las fuentes de agua, d) mejorar la capacidad de actuación ante fenómenos extremos de origen hídrico, e) mejorar el acceso al agua potable y saneamiento, atendiendo la población no abastecida y mejorando los servicios para la población urbano-marginal y rural, f) alcanzar eficiencia operativa y económica en los servicios de agua potable, saneamiento y riego, g) descentralización del sector riego, consolidando el proceso de transferencia de los sistemas a usuarios organizados, h) reconversión agrícola en las áreas bajo riego, incorporando tecnología e incentivos financieros para promover el aumento de la rentabilidad y el desarrollo parcelario, i) aumento de la capacidad de generación hidroeléctrica para reducir la dependencia de hidrocarburos en la generación de energía eléctrica y j) combate y mitigación de la pobreza, como objetivo subyacente de todas las actuaciones.

Hidrogeología descriptiva

Los acuíferos en la República Dominicana han sido

divididos en tres grandes grupos de acuerdo a su importancia:

- Acuíferos regionales: 25.462 Km²
- Acuíferos con extensión reducida: 3.239 Km²
- Acuíferos locales: 19.810 Km²

Acuíferos regionales:

- Caliza Arrecifal Cuaternaria: 5.703 Km²
- Calizas Terciarias: 14.768 Km²
- Aluvión Reciente: 4.991 Km²

Acuíferos con extensión reducida:

- Sedimentos Terciarios: 568 Km²
- Areniscas: 1.126 Km²
- Conglomerados: 225 Km²
- Calizas Intercaladas con Lutitas: 1.320 Km²

Acuíferos locales:

- Lentas de material aluvial entre capas de arcilla: 5.682 Km²
- Zonas de fallas (fracturas, pliegues) en rocas ígneas: 14.128 Km²

Desde 1982, el INDRHI ha dividido al país en 14 zonas hidrogeológicas (Fig. 3). Algunas de estas zonas constituyen unidades morfotectónicas evidentes, en tanto que las otras son zonas geomorfológicas definidas. En ambos casos, la definición de las regiones tienen un significado hidrogeológico claro, donde las sierras representan las principales regiones de recarga, en tanto que los valles, tectónicos y geomorfológicos, constituyen las vías de drenaje.

Estudios recientes realizados dentro del marco de la cooperación europea, SYSMIN 2004 (INDRHI-AQUATER, 2000) han recomendado dividir la zona 6,

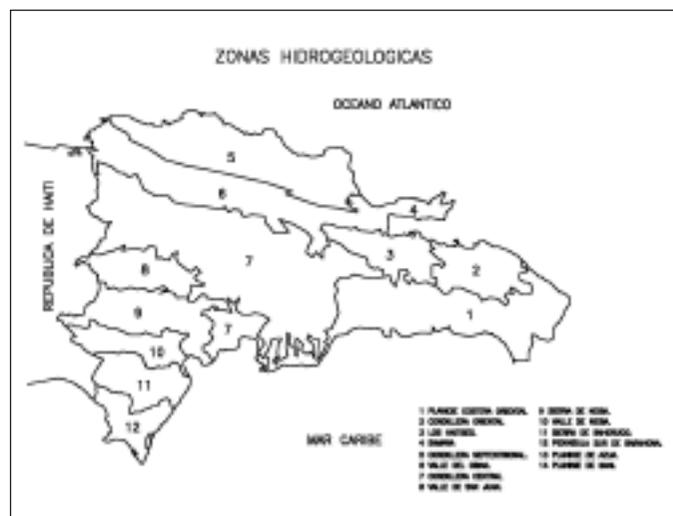


Fig. 3. Zonas Hidrogeológicas de la República Dominicana (INDRHI-TAHAL, 1983)

Fig. 3. Hydrogeological units of the Dominican Republic (INDRHI-TAHAL, 1983)

Era	Edad Período	Formación	Ubicación	Litología y permeabilidad
Cuaternario	Reciente	Aluvión Ciénaga Dep. de Terraza Dep. Lacustre	Valles de ríos V. bajos ríos Depresiones Depresiones	Aluvión y depósitos de playas, permeable Ciénagas, impermeable Depósitos de terrazas y abanicos aluviales, permeable Arcillas, a veces calcáreas con arenas y gravas. Impermeable (=Imp.).
	Plio-Pleistoceno	Caliza Arrecifal	Sureste	Caliza arrecifal costera con transición gradual tierra adentro a depósitos clásticos, permeable
Terciario	Plioceno	Las Matas Jimaní	Suroeste Suroeste	Arcilla rojiza, Caliza margosa y cascajos, Imp. Calizas fosilíferas y conglomerados, permeable
		Plioceno-Mioceno Superior	Caimito	Norte
	Mao		Norte	Areniscas grises, arcilla gris, conglomerados, limos, lutitas arcillosas encima de arena y limos
	Mioceno Superior	Las Salinas	Suroeste	Yeso con lutita, sal, areniscas con calizas, Imp.
		Vía	Sur-suroeste	Conglomerado calcáreo, ligeramente cementado con arcilla rojiza y arenisca gris, algo permeable
	Mioceno Medio	Gurabo	Norte	Limonita fina intercalada por caliza, arenisca y conglomerado. Poco permeable.
		Arroyo Seco	Sur-Suroeste	Lutitas intercaladas con caliza modular roja encima de conglomerado y areniscas. Imp.
	Mioceno Inferior	Cercado Baitoa	Norte Norte	Arenisca, limonita y conglomerado basal. Algo permeable Conglomerado arenaceo fosilífero. Permeable
		Arroyo Blanco Angostura	Sur-suroeste Suroeste	Lutitas grises, calizas coralinas, conglomerado Lutitas yesíferas con capas gruesas de areniscas
	Mioceno Indiviso		Norte	Calizas carsticas, calizas con esquistos. Permeable
	Mioceno I	Florentino	Sur	Caliza coralina rosada hasta brechoide. Permeable
	Oligoceno Superior	Cevicos	Noreste	Caliza arcillosa amarillenta de origen arrecifal
	Oligoceno Superior	Lemba Villa Trina Trinchera	Sur Norte Suroeste	Caliza cretosa en capas delgadas. Poco permeable Margas, lutitas y calizas, impermeable Lutita, lutita atenaceas, areniscas y conglomerado
		Oligoceno Medio e Inferior	Sombrerito	Oeste
	Tavera		Norte	Lutitas grises, carbonosas alterando con calizas, areniscas y conglomerados. Poco permeable
	Oligoceno Indiviso		Este, Sur y Norte	Calizas, areniscas y esquistos arcillosos. Permeable-Impermeable
Oligoceno Eoceno S.	Neiba	Oeste Suroeste	Calizas. Poco permeable Caliza litográfica. Permeable	
Eoceno Medio	Hidalgo Plaisance	Norte Oeste-Suroeste	Calizas clásticas, conglomerados y macizas: poco permeable Calizas cristalinas. Permeable	
Eoceno Inferior	Abuillot	Suroeste	Gres y arcilloesquistos arenáceos y calcáreos. Imp.	
Eoceno Indiviso		Norte y Sur	Calizas, esquistos, arcillas y algunas rocas volcánicas. Permeable-impermeable	
Terciario Indiviso	Sedimentarias	Cordillera Central sur		
Secundario	Cretáceo	Sedimentarias	Cord. Central y Samaná	Calizas margosas y gris. Poco permeable
		Volcánicas Terciarias	Cord. Oriental y Bahoruco	Volcánicas, principalmente Tobas. Impermeable
		Volcánicas	Cord. Central y Sept.	Volcánicas, principalmente Tobas. Impermeable
		Metamórficas	Samaná	Rocas ácidas y calizas metamórficas. Impermeable
Primario	Pérmico		Pueblo Viejo, Cord. Central	Esquito arcilloso, sericítico y grafito. Impermeable
Desconocida		Volcánicas	Cordillera Central y Septentrional	Tobas, derrames basaltitos y andesíticos. Imp.
		Intrusivas Metamórfica		Tonalita, dioritas, moritas, gabro y peridotitos Rocas ácidas y básicas metamórficas

Tabla 3. Unidades y estructuras hidrogeológicas, de la República Dominicana
Table 3. Units and hydrogeological structures of the Dominican Republic

Valle del Cibao, en dos unidades (Yaque del Norte y Bajo Yuna), también dividir la zona 9 en dos unidades, separadas por el Río Yaque del Sur. Otra recomendación es unir las zonas hidrogeológicas 11 y 12 por ser formaciones de caliza del Eoceno y del Cuaternario, con funcionamiento hidrogeológico conjunto (Fig. 3).

Las principales unidades y su estructura hidrogeológica pueden apreciarse en la tabla 3, que incluye su edad, nombre de la formación, ubicación, litología y permeabilidad.

Infraestructura del conocimiento hidrogeológico

Los inicios de la hidrogeología moderna en la República Dominicana datan de los años 60 del siglo pasado, con investigaciones en el acuífero del valle de Azua, en la zona sur del país y la planicie costera oriental en el área de la Golf and Western, hoy Central Romana.

En el primer tercio de la década de los 80, concretamente en 1983, se desarrolló el Plan Nacional de Investigación Aprovechamiento y Control de las Aguas Subterráneas, conocido por sus siglas como PLANIACAS (INDRHI-TAHAL, 1983), que integra las informaciones hidrogeológicas antes y durante el estudio y las proyecta al año 2000.

En el año 1997 se inicia la primera fase del Estudio Hidrogeológico Nacional en la República Dominicana, dentro del marco del Proyecto de Desarrollo Geológico y Minero en la República Dominicana, SYSMIN 2000, con cargo al Fondo Europeo de Desarrollo, que investigó un 30% del territorio nacional, en concreto las regiones hidrogeológicas: Planicie Costera Oriental, Planicie de Baní, Planicie de Azua, Valle de San Juan, Valle de Neiba y Península Sur de Barahona. En la segunda fase y última de este proyecto, SYSMIN 2004, se estudiaron las restantes zonas hidrogeológicas (INDRHI-EPTISA, 2004).

En el país existe el Colegio Dominicano de Ingenieros, Arquitectos y Agrimensores, CODIA, dentro del cual se encuentra los Capítulos de Recursos Hidráulicos, Geología, Fundaciones y Mecánica de Suelos, entre otros, que incluye las diferentes vertientes de los recursos hídricos, entre ellos la hidrogeología.

Aunque no existe una publicación regular sobre hidrogeología, en la Revista CODIA, ocasionalmente, los miembros del Capítulo de Recursos Hidráulicos escriben algún tema sobre los recursos hídricos y sobre la hidrogeología, entre otros. Eventualmente el

Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos, INDRHI, edita una revista sobre la situación de los recursos hídricos, pero no de manera regular, y con nombre variado, según la administración de turno.

En los últimos años se han estado realizando algunos trabajos de tesina sobre hidrogeología, tanto para obtener la titulación de ingeniero civil, como para la titulación de especialidad.

Dentro del contexto de las actividades universitarias, la hidrología subterránea o hidrogeología en la República Dominicana, todavía no forma parte de los pensa (pensum) que se desarrollan en las distintas carreras universitarias. En la conformación de los programas de clases de la hidrología general, los departamentos o escuelas incluyen un tercio del programa de hidrogeología (teoría elemental del flujo de agua en los medios porosos, acuíferos, su clasificación, pruebas de bombeos, cálculo de los parámetros hidrogeológicos de los acuíferos, etc.). Frente a este panorama, resulta evidente la necesidad de introducir la Hidrogeología como asignatura en los programas de las universidades.

La administración pública posee una plantilla de profesionales en estos temas muy reducida, la demanda de capacidad en la hidrogeología cada día es más importante por parte de las instituciones del Estado. Existe una cantidad de profesionales que han realizado entrenamientos, cursos, especialidades y maestrías en estos temas fuera del País (España, Israel, Italia, etc.), que en la actualidad trabajan en la administración o de forma individual.

Consideraciones cuantitativas del recurso

La recarga de acuíferos y el potencial aprovechable del agua subterránea en cada unidad hidrogeológica se presenta en la tabla 4.

La distribución de la recarga puede apreciarse en la Fig. 4 y el grado de presión sobre el recurso hídrico en las principales zonas de planificación hidrológica se refleja en la figura 5.

Regiones hidrológicas

Para fines de planificación, el país ha sido dividido en seis (6) regiones hidrológicas, determinándose la disponibilidad de agua y la demanda para cada una de ellas. Las zonas del Yaque del Norte y Yaque del Sur, prácticamente han utilizado todo el agua disponible (66% y 86%), debido básicamente a la ineficiencia de operación de los sistemas de riego.

Zona	Unidad hidrogeológica	Área (km ²)	Tipos de acuíferos	Recarga (hm ³ /a)	Potencial aprovechable (hm ³ /a)
1	Planicie Costera Oriental	6.534	Aluvión y caliza cuaternaria	1.465	921
2	Cordillera Oriental	3.127	Aluvión y roca volcánica	37	23
3	Los Haitises	1.823	Caliza oligocena	432	272
4	Península de Samaná	651	Caliza y aluvión	51	32
5	Cordillera Septentrional y Costa Atlántica	4.774	Calizas y aluvión	292	184
6	Valle del Cibao	6.642	Aluvión	423	266
7	Cordillera Central	12.240	Rocas volcánicas, calizas y aluvión	289	182
8	Valle de San Juan	1.600	Aluvión	276	166
9	Sierra de Neiba	3.800	Caliza terciaria	175	114
10	Valle de Neiba	2.200	Aluvión y caliza	270	170
11-12	Sierra de Bahoruco y Península Sur	4.100	Caliza eocena-oligocena	253	64
13	Valle de Azua	560	Aluvión	103	43
14	Planicie de Baní	460	Aluvión	95	32
	TOTAL	48.511		4.161	2.469

Tabla 4. Actualización de la recarga total y del potencial aprovechable de los acuíferos de la República Dominicana. Valores en hm³/a
 Table 4. Updating of the total recharge and the exploitation possibilities of the groundwater resources in the Dominican Republic. Values in hm³/y

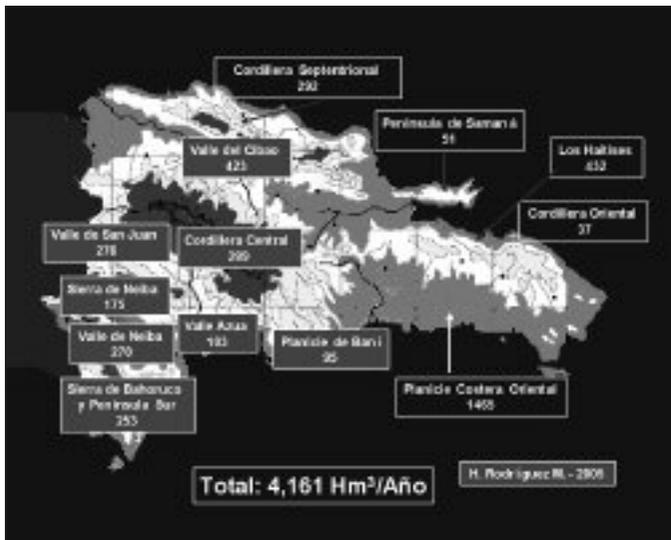


Fig. 4. Recarga de agua subterránea (hm³/a) de la República Dominicana
 Fig. 4. Groundwater recharge (hm³/y) of the Dominican Republic



Fig. 5. Distribución del grado de presión sobre el recurso agua en la República Dominicana
 Fig. 5. Distribution of the pressure on water resources in the Dominican Republic

Redes de monitoreo

Los recursos hídricos superficiales ascienden a un total de aproximadamente 22 km³/a, siendo monitoreados en las estaciones de aforo que se exponen en la Fig. 6.

En la actualidad, se monitorea una red de observación de niveles piezométricos que supera los 420 puntos en toda la geografía nacional, con una frecuencia de medición trimestral, aunque los pozos con información ascienden a más de 1.000. De igual modo, la red de monitoreo de calidad de agua subte-



Fig. 6. Principales estaciones de aforo en la República Dominicana
Fig. 6. Main gauging stations in the Dominican Republic

rránea supera los 300 puntos con una frecuencia de medición semestral.

En cuanto a la profundidad de los pozos, únicamente se dispone de información sobre 568 puntos, destacando entre estos los pozos de menos de 20 m de profundidad (58%) y los de profundidades comprendidas entre 20 y 50 m (25%). Solamente un 17% de los puntos inventariados, con información, superan los 50 m de profundidad (fig. 7).

Su distribución por usos es la la reflejada en la figura 8.

En la actualidad no se aprovechan los recursos asociados a la desalación, la reutilización de las aguas, ni la recarga artificial.

Balance hídrico subterráneo

Dentro del marco del Estudio Hidrogeológico Nacional, fase II, financiado por el Programa SYSMIN

del Fondo Europeo de Desarrollo, se realizó un balance hídrico para 38 cuencas hidrográficas principales y dentro de estas, 79 subcuencas, así como 107 porciones de cuencas o subcuencas que corresponden a los puntos de aforo controlados durante el proyecto, cuyos resultados se presentan en las tablas 5 y 6.

Las principales conclusiones que pueden obtenerse de los balances hídricos realizados son las siguientes:

- Los recursos subterráneos renovables, para la totalidad de las nueve unidades estudiadas y para años hidrológicamente medios, son del orden de los 1.950 hm³/a, y de ellos un 77% (1.509 hm³/año) proceden de recarga directa de la lluvia o de infiltración desde cauces fluviales, un 15% (283 hm³/a) corresponden a retornos o infiltraciones desde zonas de regadío y canales y el 8% restante (160 hm³/a) a conexiones laterales con zonas o unidades contiguas.

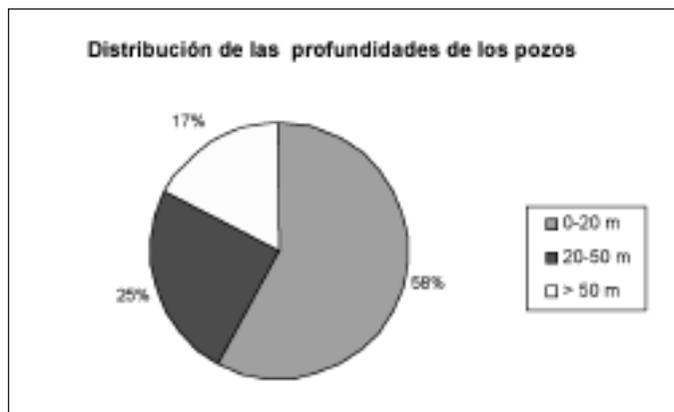


Fig. 7. Distribución de las profundidades de los pozos de la red piezométrica

Fig. 7. Distribution of the piezometers depth network in the aquifers



Fig. 8. Distribución de los pozos por usos de agua en la República Dominicana

Fig. 8. Groundwater uses distribution of the Dominican Republic wells

Zonas o unidades hidrogeológicas	Infiltración lluvia (IP)	Infiltración cauces (IRC)	Retornos riego (IRR)	Entradas laterales (QAC)	Entradas totales
CORDILLERA ORIENTAL		29	8	-	37
HAITISES	399	33	-	-	432
SAMANÁ	50	-	1	-	51
CORDILLERA SEPTENTRIONAL	273	-	19	-	292
VALLE DEL CIBAO	92	35	139	157	423
CORDILLERA CENTRAL		258	31	-	289
SIERRA DE NEIBA	123	-	52	-	175
SIERRA DE BAHORUCO Y PENÍNSULA SUR DE BARAHONA	217	-	33	3	253
TOTALES		1.509	283	160	1.952

*Todos los datos son en hm³/a

Tabla 5. Balance de las entradas a las unidades hidrogeológicas de aguas subterráneas para años medios

Table 5. Water inputs to the hydrogeological units for middle years

Zonas o unidades hidrogeológicas	Descarga a ríos (DR)	Manantiales (QM)	Descargas al mar y conexiones laterales (QS)	Extracción bombeos	Salidas totales
CORDILLERA ORIENTAL		26	-	11	37
HAITISES		121	306	5	432
SAMANÁ	35	1	12	3	51
CORDILLERA SEPTENTRIONAL	239	-	22	31	292
VALLE DEL CIBAO	176	-	38	209	423
CORDILLERA CENTRAL		207		82	289
SIERRA DE NEIBA	88		71	16	175
SIERRA DE BAHORUCO Y PENÍNSULA SUR DE BARAHONA	91	-	122	40	253
TOTALES		1.055	500	397	1.952

*Todos los datos son en hm³/a

Tabla 6. Balance de las salidas de las unidades hidrogeológicas de aguas subterráneas para años medios

Table 6. Water outputs to the hydrogeological units for middle years

- Las descargas o salidas subterráneas son similares en orden de magnitud a las recargas (al considerarse que las unidades estudiadas, con la salvedad del Valle del Cibao, funcionan, en su mayor parte, en régimen prácticamente natural), correspondiendo el 54% de las mismas (1.055 hm³/a) a descargas a ríos o por manantiales, el 26% (500 hm³/a) a descargas al mar o a conexiones laterales con unidades contiguas y solamente el 20% restante (397 hm³/a) a extracciones por bombeos.

El posible aprovechamiento de una parte de estos recursos excedentarios, que actualmente se vierten al mar, debería ser objeto de futuros estudios de detalle, en los que se contemple la forma sostenible de explotarlos, para su posible utilización en determinados sectores de dichas unidades o de otras contiguas (Samaná, Cordillera Septentrional, Valle del Cibao, Planicie Costera Oriental, Valle de Neiba, Península Sur de Barahona, etc.). Dichos estudios deberían incluir no solo los posibles métodos de explotación, desde el punto de vista hidrogeológico, sino también el posible impacto ecológico y ambiental que podrían producir dichos bombeos en sus diferentes áreas de influencia, al reducirse la aportación de agua dulce a las zonas costeras.

Calidad de las aguas subterráneas

Las aguas subterráneas analizadas presentan una mineralización que varía desde baja a elevada, con conductividades que oscilan entre 55 y 14.350 $\mu\text{S}/\text{cm}$, no presentan variaciones significativas de su composición entre muestreos sucesivos. Las muestras de agua que presentan las conductividades más elevadas se sitúan en el sector noroeste del Valle del Cibao. Las muestras de menor salinidad se relacionan, en general, con los materiales carbonatados de Los Haitises, Cordillera Oriental y Cordillera Central.

Atendiendo a los aniones y cationes predominantes, de forma global se observa que, tanto en lo que se refiere a los aniones, como a los cationes, existe una gran variación en su composición, desde términos puros (bicarbonatados, sulfatados, clorurados, cálcicos, sódicos o magnésicos), hasta otros, mezcla entre dos o más términos aniónicos o catiónicos, que responden a las variaciones litológicas del país.

En el caso de los aniones, las concentraciones de bicarbonatos tienen un margen de variación que oscila entre 6 y 1.342 mg/l de HCO_3^- ; los sulfatos varían entre 1 y 3.756 mg/l de SO_4^{2-} y los cloruros oscilan entre 4 y 3.020 mg/l de Cl (Rodríguez, 1997).

En cuanto a los cationes, el calcio presenta un rango de variación que oscila entre 2 y 512 mg/l de Ca^{++} ; el sodio varía entre 2 y 1.890 mg/l de Na^+ ; el potasio tiene un margen de variación comprendido entre 0 y 152 mg/l de K^+ y el magnesio se encuentra en concentraciones comprendidas entre 2 y 760 mg/l de Mg^{++} .

Con respecto a la calidad del agua subterránea para abastecimiento humano, los resultados analíticos indican que las aguas subterráneas analizadas superan los límites establecidos en la normativa de aguas de abastecimiento humano en distintos parámetros. Así, se superan los límites en cuanto a calcio, magnesio, sodio, cloruros, sulfatos, nitratos, amonio, dureza o total de sólidos disueltos en 70% de los puntos de la red. En el resto de las muestras los valores obtenidos se encuentran dentro de los límites establecidos en la mencionada normativa.

Debido a que la mayoría de los pozos observados (83%) son someros, en los análisis bacteriológicos se observa la presencia de coliformes totales cuyo NMP/100 ml alcanza valores superiores a 1.100. Por su parte, los coliformes fecales se encuentran en algunas muestras. Lo mismo sucede con mesófilos y pseudomonas.

En cuanto a las especies nitrogenadas se han obtenido valores de nitratos que oscilan entre 0 y 303 mg/l de NO_3^- . Se observa que predominan las aguas subterráneas con contenidos inferiores a 45 mg/l, los valores más frecuentes corresponden al rango de menor concentración (0-10 mg/l de NO_3^-). Los valores comprendidos entre 26 y 44 mg/l se distribuyen por gran parte del país, a excepción de Los Haitises, Península de Samaná y Sierra de Bahoruco y Península sur de Barahona. Por su parte, los valores más elevados, superiores 45 mg/l, se registran en varias unidades hidrogeológicas (Valle del Cibao, Valle de Constanza y Cordillera Septentrional).

Los plaguicidas que se han analizado son: organoclorados, organofosforados y triazinas, cuyos resultados se encuentran por debajo de los límites de detección.

En cuanto a los metales pesados, sólo se han analizado en el entorno de Santiago, Bonaó, en el bajo Yuna, entre Cotui y Maimón y en el Yaque del Norte, zonas que presentan degradación del medio por efecto de la actividad antrópica. Los resultados obtenidos indican que el hierro y el manganeso se encuentran siempre por debajo de los límites de las normas dominicanas, NORDOM-80. Sólo hay una muestra dentro del Valle del Cibao en la que se supera el límite establecido para el cromo, presentando una concentración de 0,10 mg/l de Cr. En la Cordillera

Oriental, el hierro alcanza un valor de 2,75 mg/l de Fe. Para el cromo se supera el límite de 0,05 mg/l en una buena parte de los puntos muestreados (61% del total).

Salinización de acuíferos

En los acuíferos se observan aguas de distinta naturaleza, tanto en lo que se refiere a la salinidad que presentan, como a las facies hidrogeoquímicas reflejadas. Este hecho responde a la distinta procedencia de las aguas muestreadas, que explotan acuíferos de litologías diversas, entre los que se encuentran niveles detríticos cuaternarios (gravas, arenas, depósitos de marismas), carbonatados (calizas arrecifales y areniscas calcáreas), sulfatados (margas y yesos), facies evaporíticas, etc.

En las unidades hidrogeológicas de Los Haitises, Samaná, Sierra de Bahoruco y Península sur de

Barahona existe un predominio de aguas cloruradas sódicas de salinidad media-alta, con una concentración de cloruros que oscila entre 849 y 1.717 mg/l de Cl que podrían estar relacionadas con procesos de intrusión marina.

Sin embargo, en la zona noroeste de las unidades hidrogeológicas Valle del Cibao y Cordillera Septentrional se observa una variación composicional mayor (aguas sulfatadas o cloruradas-sulfatadas sódicas o cálcicas), de elevada salinidad y conductividades que alcanzan un valor máximo de 14.350 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Intrusión marina

Existe una red de control de la intrusión marina en los depósitos costeros del sector este de Samaná, en las Galeras, en los materiales carbonatados del borde norte de los Haitises y en los materiales carbonatados del suroeste de la Sierra de Bahoruco, Península sur



Fig. 9. Intrusión marina en la República Dominicana
Fig. 9. Marine intrusion in the Dominican Republic

de Barahona y la planicie oriental, en la cual se analizan los parámetros fisicoquímicos, constituyentes mayoritarios y bromuros. Los resultados de los monitoreos se muestran en color gris en la Fig. 9, observándose penetraciones de hasta 25 kilómetros, en la planicie oriental.

Red de control hidroquímico

La red de control hidroquímico está formada por más de 300 puntos de control. Durante las campañas de muestreo se analizan *in situ* la temperatura, pH y conductividad del agua y se toman muestras de agua para su análisis en laboratorio de los siguientes parámetros: carbonatos, bicarbonatos, cloruros, sulfatos, nitratos, nitritos, amonio, sodio, potasio, calcio, magnesio y fosfatos. Las empresas distribuidoras de agua potable poseen su propia red reducida de monitoreo de la calidad de sus sistemas en sus zonas de operación.

Usos del agua

Demanda

La demanda total del recurso agua, por los diferentes usuarios, asciende a unos 9,573.1 hm³/a, correspondiendo el 81% al uso agrícola, 13% al agua potable y tan solo el 2% al uso industrial.

Disponibilidad

La naturaleza distribuye de manera muy irregular los recursos hídricos, que en valor medio anual es del orden de 19.400 x 10⁶ m³/a, que se distribuyen sobre las Regiones Hidrográficas de planeamiento de forma variada, como puede apreciarse en la tabla 8.

En el cuadro anterior se puede apreciar que el flujo base presenta la disponibilidad aproximada en los ríos en épocas de estiaje extremo, este caudal fue determinado por Planiacas en 1983.

Balance hídrico

Al relacionar la oferta hídrica con su demanda por los diversos usuarios, se observa que las demandas son satisfechas y se aprecia un aparente excedente por región de planeamiento, pero sólo se garantiza el 20% que se almacena en las presas del país, por lo que se debe aumentar el volumen almacenado en unos 7.677,03 hm³/año; además, el Índice de Escasez de Agua, que es un indicador de la presión a que esta sometido el recurso, indica que la situación no es de bonanza, encontrándose el país en un índice elevado.

Como se puede apreciar la presión sobre el recurso es fuerte a nivel nacional, en especial en las regiones Yaque del Sur y Yaque del Norte, media fuerte en las regiones del Yuna y del Ozama y moderada en las regiones Este y Atlántica (Rodríguez, 2002).

Uso conjunto de las aguas superficiales y subterráneas

La ciudad de Santo Domingo, capital de la República Dominicana, está dividida por el Río Ozama, que abastece parcialmente a la misma. El 35% del suministro está cubierto por aguas subterráneas.

En los demás sistemas de distribución del país, se estima en un 40% la proporción de acueductos dependientes del agua subterránea. El resto corresponde a toma directa de agua superficial (Rodríguez, 2004).

En el sector riego, agrícola, las extracciones de agua subterránea para los 320 sistemas de riego del país ascienden a un 26% aproximadamente.

Región	Potable	Riego	Industria	Pecuaría	Ecológica	Turista	Total
Y. del Sur	155,60	3.445	17,96	10,20	42,28	0,01	3.671,05
Y. Norte	183,70	2.533	56,00	13,62	10,39	0,07	2.796,78
Atlántica	73,00	262	1,39	15,68	35,52	2,87	390,46
Yuna	123,70	970	10,50	18,94	71,51	0,00	1.194,65
Ozama	595,90	493	46,96	29,62	33,60	1,45	1.200,53
Este	124,30	99	10,89	23,80	59,71	1,93	319,63
Totales	1.256,20	7.802	143,70	111,86	253,01	6,33	9.573,10

(Valores en hm³/a)

Tabla 7. Demandas de agua en la República Dominicana
Table 7. Water demands in the Dominican Republic

Hidrogeología y medio ambiente

Los volúmenes ecológicos en los curso de agua de la República Dominicana son del orden del 3% de la demanda total de agua, lo que representa unos 253 hm³/a, valor sólo garantizado en los ríos regulados y no respetado en las derivaciones para la irrigación, donde se trata de aprovechar toda el agua que llega.

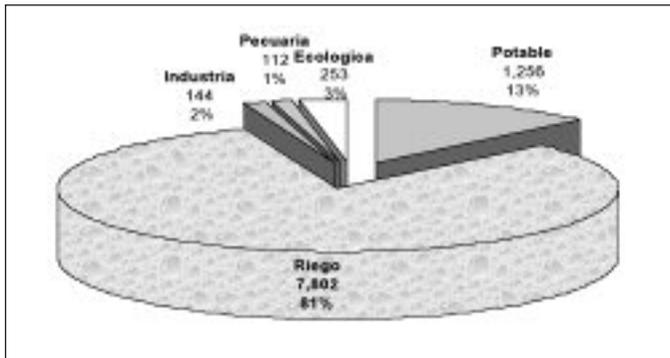


Fig. 10. Distribución de la demanda de agua en hm³/a y en porcentaje de uso por sector en la República Dominicana
 Fig. 10. Distribution of the water demand, hm³/y, and use percentages by sectors in the Dominican Republic

Región	Flujo Base (hm ³ /a)	Disponibilidad (hm ³ /a)	Relación
Yaque del Sur	2.545	4.268	60,0%
Yaque del Norte	2.752	4.210	65,4%
Atlántica	1.429	2.386	60,0%
Yuna	1.729	3.085	56,0%
Ozama	2.268	3.802	60,0%
Este	972	1.649	59,0%
Totales	11.695	19.400	60,3%

Tabla 8. Flujo base y disponibilidad de agua por región de planificación en la República Dominicana (INDRHI-TAHAL, 1983)
 Table 8. Base flow and water availability in the Dominican Republic regions

El flujo base natural representa el 60,3% (11.695 hm³/a) de la disponibilidad de escorrentía superficial a nivel nacional, lo que significa que el desarrollo del país en lo referente a recursos hídricos, esta sustentado en las aguas subterráneas, además, éste es el volumen responsable de la circulación permanente en ríos, estuarios, deltas y humedales.

Problemática actual y futura

Los principales problemas de las aguas subterráneas están relacionados con la sobreexplotación, gestión inadecuada, contaminación por actividades domésticas y agrícolas y, la más problemática, la intrusión salina. El gran turismo en la República Dominicana está localizado en zonas donde la principal fuente de suministro de agua dulce es mediante pozos, lo que acelera la intrusión.

Singularidades hidrogeológicas

El 42% del territorio de la República Dominicana está constituido por roca caliza, lo que lo convierte en un verdadero laboratorio hidrogeológico.

En la Región Suroeste se encuentra el Lago Enriquillo, a cota por debajo del nivel del mar, y del lado Haitiano el Lago Saumatre, sobre el nivel del mar. En los últimos 20 años el Lago Enriquillo ha descendido su nivel de -42 a -46 m b.n.m., mientras que el Lago Saumatre subió de 12 a 16 m s.n.m.

Esta Región Suroeste recarga su acuíferos con el paso de los Huracanes, pero no todos son efectivos ya que, desde el huracán David (1979), no se ha producido una verdadera recarga de la región, ya que el Huracán George sólo aumentó el nivel del Lago Enriquillo en 1,5 metros. Los posteriores huracanes no han aportado la recarga necesaria en la zona, lo

Región	Oferta disponible	Demanda total	Balance O - D	Presión Hídrica D/O	
				Porcentaje	Grado de Presión
Yaque del Sur	4.268,0	3.671,05	596,95	86%	Fuerte
Yaque del Norte	4.210,0	2.796,78	1.413,22	66%	Fuerte
Atlántica	2.386,0	390,46	1.995,54	16%	Moderada
Yuna	3.085,0	1.194,65	1.890,35	39%	Media
Ozama	3.802,0	1.200,53	2.601,47	32%	Media
Este	1.649,0	319,63	1.329,37	19%	Moderada
Totales	19.400,0	9.573,10	9.826,90	Promedio 49%	

(Valores en hm³/a)

Tabla 9. Presión sobre los recursos hídricos de la República Dominicana
 Table 9. Pressure on the water resources in the Dominican Republic

que se manifiesta por los niveles de las aguas subterráneas, por lo que algunos pozos han dejado de ser artesianos.

En la cima de la Sierra de Bahoruco se encuentra el Hoyo del Pelempito, gran dolina kárstica de unos 300 km², que desciende de los 2.000 m s.n.m. hasta 346 m s.n.m. y por donde desaparece el equivalente a un río de 20 m³/s, por balance hídrico, sin que hasta el presente se haya encontrado su salida al mar, al Lago Enriquillo o a Haití. Algo similar, aunque en menor escala, se encuentra en la Sierra de Neyba, al norte del Lago Enriquillo, donde desaparece el río Los Bolos en otra dolina de menor tamaño.

En la Planicie Costera Oriental, Los Haitises y la Costa Atlántica, también existen múltiples singularidades hidrogeológicas.

Conclusiones

- La disponibilidad de agua per cápita en la República Dominicana es del orden de 2.673 m³/hab/a, lo que indica que el país no tiene grandes problemas de recurso hídricos. No obstante, su distribución y calidad hacen que algunas regiones hidrográficas: regiones Yaque del Norte, Yaque del Sur y Ozama-Nizao, comiencen a dar síntomas de tensión hídrica, por lo que deben tomarse medidas para reducir las pérdidas por fugas en los sistemas de agua potable, incluida la macromedición, y acelerar los cambios tecnológicos en la irrigación para mejorar la eficiencia de riego.
- La recarga anual equivale a unos 4.161 hm³, de los cuales el 77% proceden de la recarga directa de la lluvia o infiltración desde los cauces fluviales, 15% corresponde a retornos o infiltraciones desde las zonas de regadío y canales y el 8% restante a conexiones laterales con zonas o unidades contiguas.
- La calidad del agua subterránea es muy variada, con conductividades que oscilan entre los 55 y 14.350 microS/cm; el 70% de los pozos superan

los límites de potabilidad de algún parámetro (calcio, magnesio, sodio, cloruro, sulfato, nitrato, amonio, dureza o total de sólidos disueltos). En cuanto a las especies nitrogenadas se han obtenido valores de nitratos que oscilan entre 0 y 303 mg/l de NO₃.

- El 83% de los pozos someros presentan contaminación bacteriológica, lo que sugiere la necesidad de crear perímetros de protección. Además, deberían aplicarse mayores controles para evitar la salinización de los acuíferos por sobreexplotación a lo largo de toda la costa sur y este del país.

Referencias

- Febrillet, J.F. y Saldaña, J.F. 2001. *Material Básico para Ponencias*. Programa Cultura del Agua, PCA-05-01.2, Santo Domingo, República Dominicana, 30 pp.
- INDRHI-TAHAL, 1983. *Plan Nacional de Investigación, Aprovechamiento y Control de Aguas Subterráneas*, PLANIACAS. Memorias de Proyecto, 7 volúmenes.
- INDRHI-AQUATER. 2000. *Estudio Hidrogeológico Nacional de la República Dominicana*, Fase I. Memoria de Proyecto, 7 volúmenes.
- INDRHI-EPTISA. 2004. *Estudio Hidrogeológico Nacional de la República Dominicana*, Fase II. Memoria de Proyecto, 11 volúmenes.
- Núñez, L. 1968. *El Territorio Dominicana*. Santo Domingo, República Dominicana, 188 pp.
- Rodríguez, H. 1997. Contaminación de las Aguas Subterráneas en la República Dominicana. *Revista CODIA*, 73, 94 pp, 23-40.
- Rodríguez, H. 2002. Nueva Visión para la gestión de los Recursos Hídricos en la República Dominicana. *Revista CODIA*, 75, 50 pp, 39-43.
- Rodríguez, H. 2004. Planificación y Estado Actual de los Recursos Hídricos de la República Dominicana. *Revista CODIA*, 76, 202 pp, 162-166.

Recibido: julio 2005.

Aceptado: febrero 2006.