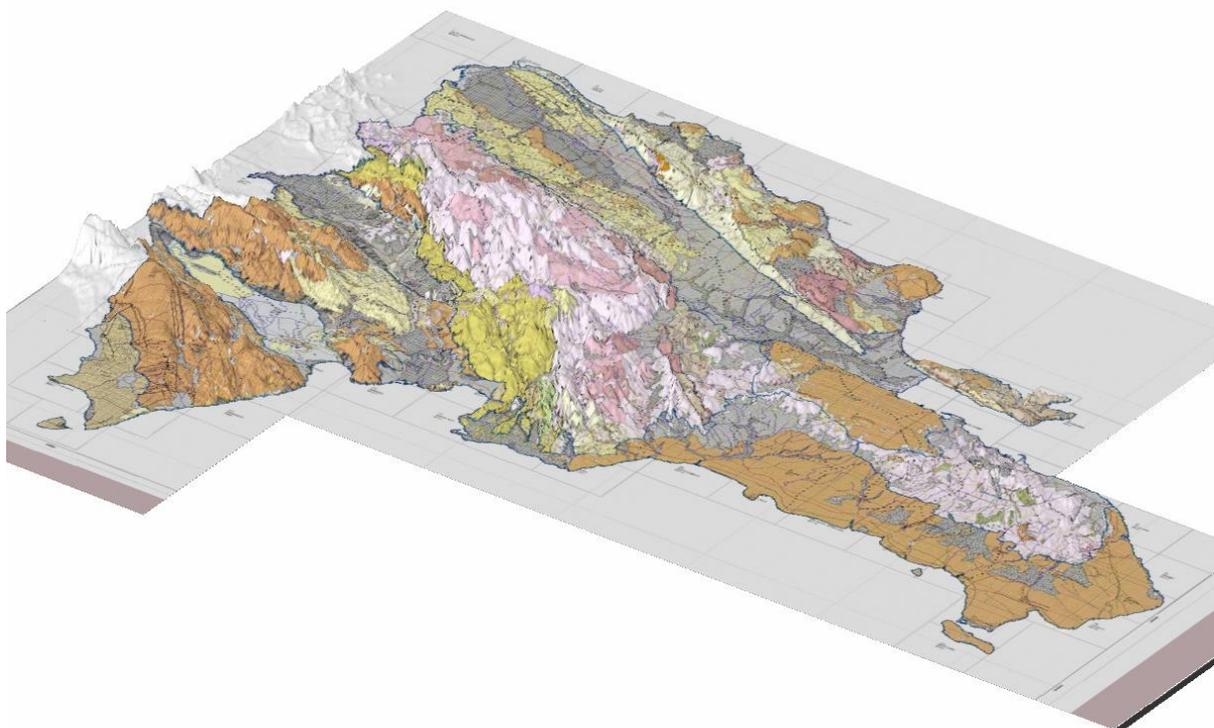


***ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO NACIONAL DE LA  
REPÚBLICA DOMINICANA. FASE II  
VOLUMEN O: RESUMEN, CONCLUSIONES Y  
RECOMENDACIONES***



**PROGRAMA SYSMIN**



NOVIEMBRE 2004

## **ÍNDICE**

<b>1. RESUMEN, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES DE ACTUACIÓN FUTURA DE CARÁCTER GENERAL.....</b>	<b>1</b>
<b>1.1. RESUMEN, CONCLUSIONES.....</b>	<b>1</b>
<b>1.2. RECOMENDACIONES DE ACTUACIÓN FUTURA DE CARÁCTER GENERAL .....</b>	<b>32</b>

## **1. RESUMEN, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES DE ACTUACIÓN FUTURA DE CARÁCTER GENERAL**

### **1.1. RESUMEN, CONCLUSIONES**

#### **Objetivos, Definición del Área de Estudio y Actividades realizadas**

El *“Proyecto N: Estudio Hidrogeológico Nacional en la República Dominicana, Fase II”*, forma parte del **Programa de Desarrollo Geológico y Minero en la República Dominicana**, con cargo al **Fondo Europeo de Desarrollo**, y su objetivo principal ha sido conocer la potencialidad de las aguas subterráneas en su área de estudio, para su explotación y utilización en abastecimiento a núcleos de población y agricultura.

El área de estudio contemplada por el citado estudio abarca una superficie total de 37 157 km<sup>2</sup> (que supone, aproximadamente, el 77% de la superficie total del país), en la que se integran las nueve zonas o unidades hidrogeológicas siguientes:

Cuadro 11.1.1. Unidades Hidrogeológicas en estudio y superficie de la poligonal de las mismas.

<b>ZONA O UNIDAD HIDROGEOLÓGICA</b>	<b>DENOMINACIÓN</b>	<b>SUPERFICIE TOTAL DE LA UNIDAD(en km<sup>2</sup>)</b>
2	Cordillera Oriental	3 127
3	Los Haitises	1 823
4	Samaná	651
5	Cordillera Septentrional	4 774
6	Valle del Cibao	6 642
7	Cordillera Central	12 240
9	Sierra de Neiba	3 800
11 y 12	Sierra de Bahoruco y Península Sur de Barahona	4 100
<b>Total</b>	<b>Nueve unidades hidrogeológicas</b>	<b>37 157</b>

Para la consecución de los citados objetivos se han realizado las siguientes actividades principales:

- Inventario de puntos de agua: un total de 2 533 puntos.
- Red meteorológica: se han adquirido, instalado y controlado durante el proyecto 20 estaciones climatológicas completas, provistas de pluviógrafo, termohigrógrafo, heliógrafo, evaporímetro de tanque y anemómetro.

- Red piezométrica, compuesta por 420 puntos de control mensual, durante un año hidrológico completo (octubre de 2003 a septiembre de 2004). Se han realizado un total de 5 357 medidas piezométricas.
- Red hidrométrica, compuesta por 101 puntos de aforo de aguas superficiales de control mensual, durante un año hidrológico completo (octubre de 2003 a septiembre de 2004). Se han realizado un total de 1 410 aforos.
- Red de calidad general y de intrusión marina, compuesta por 260 puntos de control semestral (dos campañas a lo largo del proyecto), y estudio de la calidad del agua en los abastecimientos urbanos. Se han tomado en campo y analizado en laboratorio un total de 520 muestras de agua.
- Evaluación de zonas regables.
- Estudios hidrológicos.

### **Antecedentes e Información de Partida**

La información de partida recopilada y analizada ha sido muy amplia y valiosa, pudiéndose clasificar en seis grandes grupos, en función del ámbito geográfico que abarcan, de los objetivos pretendidos en los respectivos estudios y de sus contenidos y resultados específicos. Estos seis grandes grupos son los siguientes:

- Estudios o información de carácter nacional o de recopilación y síntesis
- Estudios de ámbito regional
- Estudios de detalle y específicos
- Estudios de redes de control periódico y bases de datos.
- Cartografías geológicas e hidrogeológicas a diferentes escalas

La información más destacable procede, en su mayoría, de organismos oficiales, como el INSTITUTO NACIONAL DE RECURSOS HIDRÁULICOS (**INDRHI**), la DIRECCIÓN GENERAL DE LA MINERÍA (**DGM**), el INSTITUTO NACIONAL DE AGUAS POTABLES (**INAPA**), la SECRETARIA DE ESTADO DE AGRICULTURA (**SEA**), la SUBSECRETARÍA DE SUELOS Y AGUAS, la SUBSECRETARÍA DE ESTADO DE RECURSOS NATURALES (**SURENA**), el INSTITUTO CARTOGRÁFICO DOMINICANO y el INSTITUTO CARTOGRÁFICO MILITAR, así como de otras instituciones y empresas públicas y privadas del país.

---

Además de la información de tipo general, se ha analizado toda la información de interés existente sobre cada una de las zonas o unidades hidrogeológicas incluidas en el área de estudio, siendo, también, de especial interés, la información aportada por los mapas geológicos y de síntesis hidrogeológica a diferentes escalas (1:500.000, 1:250.000 y 50.000), así como diversa información sobre situación de las diferentes redes de control (estaciones meteorológicas e hidrométricas, piezométricas y de calidad de las aguas), inventarios de puntos de agua, embalses y distritos, sistemas y canales de riego, consumos de agua, vegetación, capacidad productiva y uso de la tierra, censos de población y vivienda, etc., todo lo cual ha resultado de gran utilidad para el proyecto.

En cuanto a la valoración global de la documentación existente sobre aspectos relacionados con las aguas subterráneas de las zonas en estudio, cabría destacar que, por lo general, esta presenta una limitada homogeneidad, en cuanto a objetivos, distribución territorial y alcances. Se dispone de una importante y valiosa información sobre datos climatológicos, infraestructura y planificación hidráulica, y evaluación de recursos superficiales, aunque en lo referente a los recursos subterráneos, la información a nivel nacional es muy general y no excesivamente actualizada (PLANIACAS, 1983, Inventario Nacional de Recursos Hidráulicos Nacionales, 1990, y Plan Nacional de Ordenamiento de Recursos Hidráulicos, Diagnóstico, 1994), y la regional y de detalle queda limitada a aproximadamente una tercera parte del país (fundamentalmente la banda costera meridional del país), en la que se han realizado estudios hidrogeológicos específicos y con alcances suficientes para conocer su caracterización y funcionamiento hidrogeológico, y en las que se dispone de un importante inventario selectivo de puntos de agua y de redes de control hidrogeológico (piezometría, hidrometría y calidad). En el resto del país (las otras dos terceras partes del mismo), coincidente, en su mayor parte, con las zonas o unidades hidrogeológicas del presente proyecto (zonas norte, centro y suroeste del país), la información e infraestructura hidrogeológica actualmente existente es escasa (y, en algunos casos, incluso inexistente) y presenta importantes deficiencias, en cuanto a aspectos básicos como los inventarios de puntos de agua y de extracciones de recursos subterráneos, establecimiento y explotación de redes de control periódico, determinación de parámetros hidráulicos, identificación de sus funcionamientos hidrogeológicos y de problemáticas específicas, etc. Este aspecto ha condicionado el que en la mayor parte de las zonas o unidades hidrogeológicas en estudio se haya partido de un grado de conocimiento muy limitado y que se hayan tenido que diseñar sus diferentes redes de control hidrogeológico (piezometría, hidrometría y calidad) con información aportada por el inventario de puntos de agua (el primero

que se realizaba en algunas de las citadas unidades) y por la interpretación técnica de los mapas geológicos e hidrogeológicos existentes.

### **Estudio Meteorológico y Climatológico**

Del total de estaciones climáticas del INDRHI disponibles en la zona (437 estaciones), únicamente se han podido utilizar, para la realización del estudio hidroclimático realizado, 44 estaciones, que son las que disponen de series de datos suficientemente completas y representativas. Por consiguiente, para un área tan extensa en estudio ( 37 157 km<sup>2</sup>), esta densidad de estaciones debe considerarse como baja ( una estación por cada 844.5 Km<sup>2</sup>), sobre todo, teniendo en cuenta la gran heterogeneidad de los parámetros que pueden influir en las condiciones climáticas (variado e irregular relieve, distancia a la línea de costa, situación respecto a la entrada de vientos y frentes de humedad, etc.)

A lo largo del presente proyecto se han adquirido, instalado y controlado 20 estaciones climáticas, compuestas por el siguiente equipamiento:

Las estaciones climáticas instaladas disponen del siguiente equipamiento:

- Datalogger BABUC ABC DGB107.E de 10 entrada para Instalar en mástil de Ø50 mm
- Memoria Ram de 256 Kb + software DSA401 para comunicación y gestión de datos.
- Batería auxiliar externa de 15 Ah MG0558
- Panel solar de 20 W con regulador DYA100 y soporte para instalación en mástil, cable de comunicación para RS232 PC
- Anemómetro modelo C100S
- Goniómetro modelo C500D "a banderola",
- Termohigrómetro C500 TH (DMA570)
- Heliómetro C300R. Sensor de duración solar DPD504. Latitud de funcionamiento 0...60°.
- Pluviómetro C100A (DQA030) preparado para su instalación en el suelo.
- Evaporímetro automático clase A DYI010 completo con base de madera, recipiente de acero inoxidable y sensor de nivel hidrostático.
- Mástil de diámetro 50 mm, de 3 metros de altura DYA010.1 completo con base para fijación en suelo de hormigón, tres tensores de acero y soportes al mástil y etiquetas para fijación.

La distribución de estaciones climáticas por unidades hidrogeológicas queda de la siguiente manera:

Cuadro 11.1.2. Distribución de las estaciones climáticas instaladas en el proyecto

NOMBRE ESTACIÓN	N° REGISTRO	UNIDAD HIDROGEOLÓGICA	PARAJE	MUNICIPIO	PROVINCIA	COORDENADAS		ALTITUD	FECHA INSTALACIÓN
						UTM - X	UTM - Y		
Diego de Ocampo	7315	Cordillera Septentrional	Diego de Ocampo		Santiago	317150	2167007	951	26/01/04
La Caoba	7317	Cordillera Septentrional	La Caoba	Moca	Espailat	345242	2167308	342	26/01/04
Los Cajules	7321	Cordillera Septentrional	Los Cajules	Rio San Juan	María Trinidad Sánchez	388448	2164669	104	30/01/04
Tenares	7323	Cordillera Septentrional	El Bombillo	Tenares	Salcedo	365672	2150608	377	21/02/04
Naranja Dulce	7310	Cordillera Septentrional	Naranja Dulce	San Francisco de Macoris	Duarte	371427	2139304	176	23/01/04
El Gómez	7312	Valle del Cibao	El Gómez	Monte Cristi	Monte Cristi	236063	2195899	98	30/01/04
Cercadillo	7318	Valle del Cibao	Cercadillo	Guayubin	Monte Cristi	269819	2167853	80	18/01/04
Cebu	7313	Valle de Cibao	Cebu	Janico	Santiago	307993	2139880	256	22/01/04
La Cueva	7306	Los Haitises	La Cueva de Cevico	Cotui	Juan Sánchez Ramírez	386314	2106054	71	25/01/04
Majagual	7308	Los Haitises	Batey Nuevo	Sabana Grande de Boya	Monte Plata	413380	2103343	19	27/01/04
Trepada Alta	7320	Los Haitises	Trepada Alta	Sabana de la Mar	Hato Mayor	451699	2098245	230	03/02/04
La Piñata Arriba	7305	Cordillera Oriental	La Piñata Arriba	Hato Mayor del Rey	Hato Mayor	466028	2089617	342	02/04/04
El Rodeo	7311	Cordillera Central	El Rodeo	Partido	Dajabon	238633	2154440	181	18/01/04
La Cabirma	7322	Cordillera Central	La Cabirma	Cotui	Sánchez Ramírez	382406	2099943	60	11/02/04
La Placeta	7300	Cordillera Central	La Placeta	San José de la Mata	Santiago	301563	2124899	837	16/02/04
La Petaca	7314	Sierra de Neiba	La Petaca	Neiba	Bahoruco	241543	2057295	960	09/02/04
Las Mercedes	7319	Sierra de Bahoruco	Las Mercedes	Pedernales	Pedernales	217863	2006300	19	10/02/04
Higuerito	7307	Sierra de Bahoruco	Higuerito	Arroyo Dulce	Barahona	254681	1988402	258	11/02/04
Los Copeyes	7316	Cordillera Central	Los Copeyes	Las Matas de Farfán		243072	2102549	622	08/02/04
Isla Cabritos	7309	Cordillera Central	Isla Cabritos	La Descubierta	Independencia	212599	2047172	11	22/02/04

Los resultados obtenidos en las citadas 20 nuevas estaciones instaladas durante el presente proyecto, han sido utilizados únicamente de forma comparativa, debido a que sus series son, de momento, demasiado cortas.

En general, tanto la precipitación, como la temperatura y la lluvia útil en las unidades en estudio, son poco homogéneas al tratarse de un área muy extensa con influencia marina e importantes variaciones topográficas (alternancia de cordilleras o sistemas elevados y depresiones o valles).

En la siguiente tabla quedan resumidos los valores máximos, mínimos y medios anuales de precipitación, temperatura y lluvia útil para las unidades hidrogeológicas del proyecto:

Cuadro 11.1.3. Valores máximos, mínimos y medios de precipitación, temperatura y lluvia util.

UNIDAD	Precipitación (mm)			Temperatura (°C)			Lluvia útil (mm)		
	Mínimo	Medio	Máximo	Mínimo	Medio	Máximo	Mínimo	Medio	Máximo
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 de Samaná	1 372	1 998	2 718	20	26	31	153	506	1 076
Cordillera 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 y Península de Barahona	324	1 253	2 795	16	25	33	52	157	488

De acuerdo con los datos obtenidos, se deduce que las precipitaciones medias oscilan, en el ámbito de las unidades estudiadas, entre 900 y 2000 mm/año, las temperaturas medias entre 23 y 26 °C, y los porcentajes de lluvia útil, dentro del área de estudio, entre el 5 y el 25% de las precipitaciones totales, correspondiendo los índices más bajos a las unidades del suroeste (Sierras de Neiba y Bahoruco y Península de Barahona), Valle del Cibao y Cordillera Oriental, y los valores más altos a la Península de Samaná y a la Cordillera Septentrional.

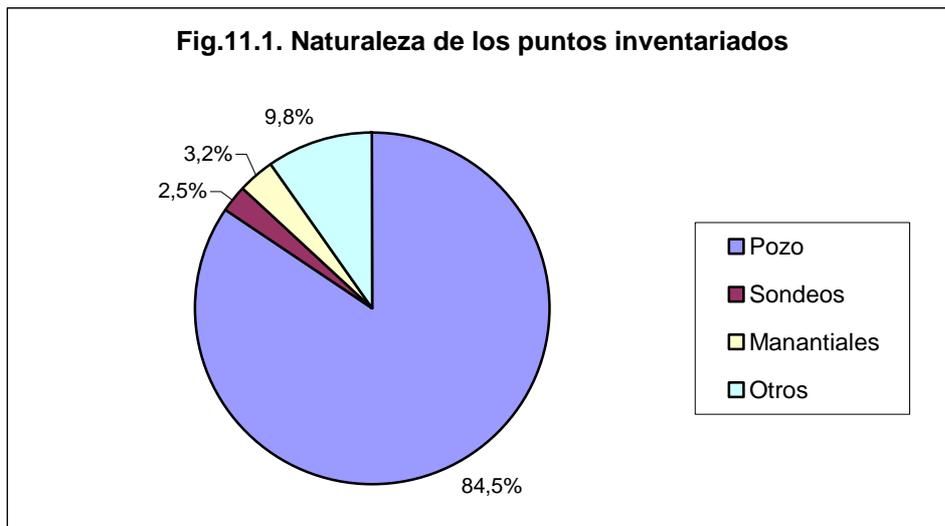
## **Inventario de puntos de Agua**

La realización de un inventario selectivo de puntos de agua constituía uno de los elementos básicos del proyecto, al tratarse de zonas o unidades hidrogeológicas donde apenas existía un inventario previo y en los que la información hidrogeológica era muy escasa.

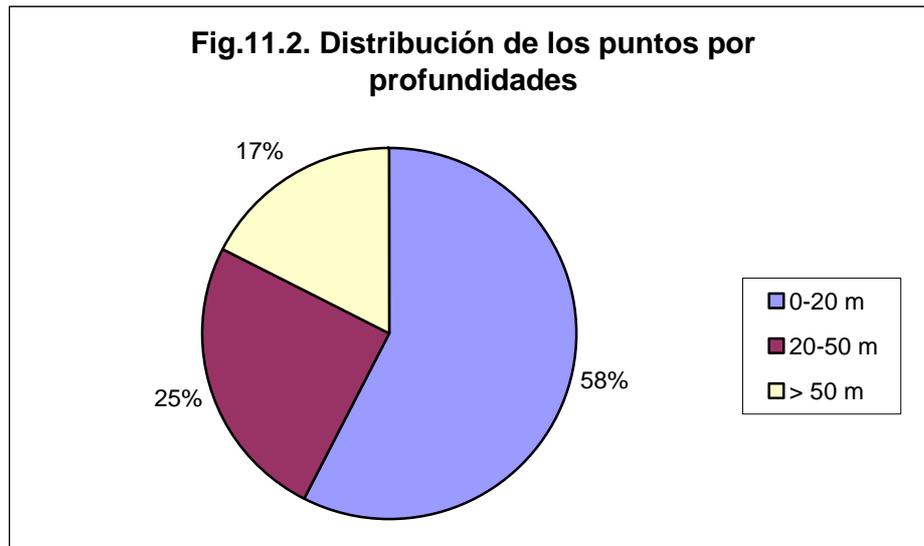
Por consiguiente, los objetivos básicos del inventario realizado han sido los siguientes:

- Obtener la máxima información posible sobre los puntos de agua existentes en las diferentes zonas o unidades hidrogeológicas a estudiar, mediante la revisión y actualización de los inventarios ya realizados en estudios anteriores, y el completado de nuevos puntos de interés que pudieran localizarse.
- Seleccionar, de entre todo el inventario final disponible, los puntos de agua que, por sus características, pudieran formar parte de las redes de control periódico del proyecto (piezometría, aforos directos, hidroquímica e intrusión marina), o que pudieran ser utilizados en la realización de posibles ensayos hidráulicos o como referencia para futuros sondeos de investigación.
- Integrar toda la información resultante en las bases de datos de aguas subterráneas que se generen, y que podrán ir completándose con la procedente de trabajos que se realicen en etapas y proyectos futuros.

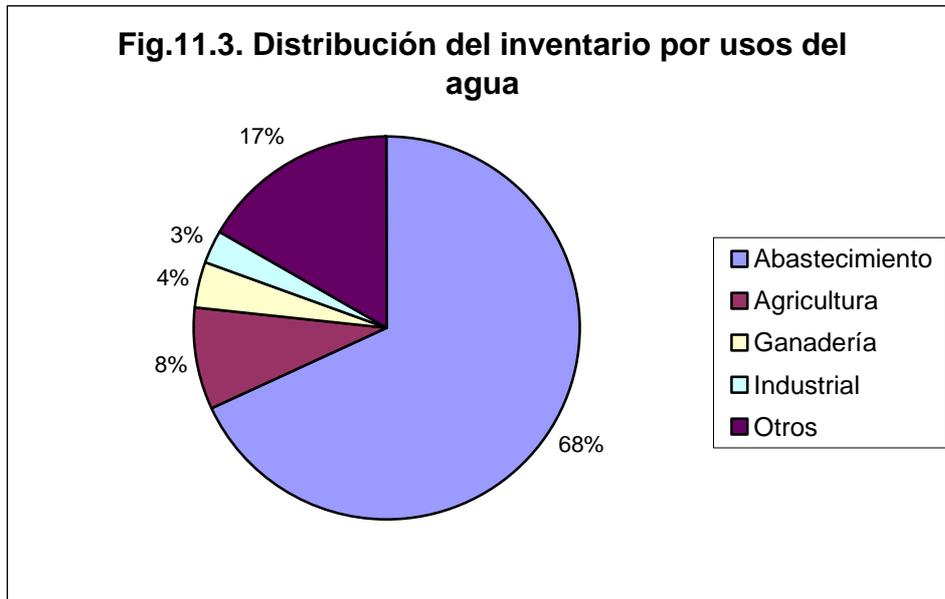
Con estos objetivos, se ha realizado un inventario selectivo, compuesto por 2 534 puntos de agua, que en su mayor parte (84.5%) corresponden a pozos o similares, siendo el resto de las tipologías inventariadas los manantiales (3.2%), los sondeos (2.5%) y otras de diversas naturaleza (9.8%).



En cuanto a la profundidad de los puntos de agua inventariados, 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 al respecto superan los 50 m de profundidad.



Finalmente, en lo referentes a los usos del agua, se ha constatado que la mayor parte de los puntos inventariados se utilizan para abastecimiento (68%), y fundamentalmente para uso doméstico (1 644 puntos). Para fines agrícolas solamente se usa el 8.5% de los puntos de agua inventariados (215 puntos) y para ganadería el 5% (102 puntos), siendo el uso industrial prácticamente residual, con un 2.6% (66 puntos). El resto de los puntos del inventario (425) corresponde a otros usos minoritarios o se desconoce su uso, representando un 16.7% del total.



### **Piezometría**

Los objetivos fundamentales de las redes de control piezométrico establecidas en cada una de las unidades hidrogeológicas estudiadas, han sido los siguientes:

- Conocer la distribución piezométrica espacial de cada una de las unidades hidrogeológicas, así como su evolución temporal, tanto estacional, dentro de un mismo año (aguas altas, medias y bajas), como interanual (siempre que exista información histórica).
- Determinar en cada unidad hidrogeológica las zonas saturadas y no saturadas, así como las zonas de recarga y descarga, direcciones de flujo subterráneo y gradientes hidráulicos sectoriales.

La inexistencia de redes de control piezométrico previas en la mayor parte de las zonas en estudio, condicionó el que, salvo con escasas excepciones, no haya sido posible incluir puntos de control que dispusieran de una serie histórica de datos. Así pues, la red del proyecto debió definirse a partir del inventario de puntos de agua realizado, con el condicionante ya comentado sobre la escasa profundidad de la mayor parte de los puntos de agua disponible.

Para facilitar el análisis y la interpretación de los datos que han proporcionado las distintas campañas de control piezométrico, se optó por agrupar los puntos de la red por subsectores dentro de las unidades hidrogeológicas estudiadas, de manera que respondieran a conjuntos de formaciones acuíferas con similares comportamientos hidrogeológicos.

La red piezométrica controlada estuvo compuesta por 420 puntos de control mensual, durante un año hidrológico completo (octubre de 2003 a septiembre de 2004), lo que ha dado como resultado un total de 5 357 medidas piezométricas. La distribución de dicha red por zonas o unidades hidrogeológicas ha sido la siguiente:

Cuadro 11.1.4. Número de puntos de control piezométrico por UU.HH.

<b>UNIDAD HIDROGEOLÓGICA</b>	<b>Nº PUNTOS DE LA RED PIEZOMÉTRICA</b>
Cordillera Oriental	58
Los Haitises	2
Samaná	5
Cordillera Septentrional	70
Valle del Cibao	190
Cordillera Central	65
Sierra de Neiba	18
Sierra de Bahoruco	19
<b>TOTAL</b>	<b>420</b>

En el siguiente cuadro se incluyen los valores mínimos, medios y máximos del nivel piezométrico y las medidas in situ realizadas en cada uno de los subsectores piezométricos definidos por unidades hidrogeológicas.

Cuadro 11.1.5. Valores mínimos, medios y máximos del nivel piezométrico y de medidas in por subsectores piezométricos y por UU.HH.

UU.HH	Subsectores	Nivel Piezométrico (m.s.n.m)			Tª Aire			Tª Agua			Conductividad (mS/cm)			pH		
		Máx	Mín	Medio	Máx	Mín	Medio	Máx	Mín	Medio	Máx	Mín	Medio	Máx	Mín	Medio
CORDILLERA ORIENTAL	El Valle-Palo Alto	9,79	3,19	6,35	30	22	27,52	31	21	25,99	1,04	0,17	0,44	11	2,2	6,58
	Aluvial del Magua	8,66	7,82	8,31	31	29	29,89	29	29	29,00						
	Los Tocones-La Zanja	26,70	-8,39	7,23	31	25	29,11	29	24	26,63	0,82	0,47	0,60	7,9	6,2	6,95
	Loma del Peñón	159,23	75,00	124,70	31	24	28,97	30	21	25,21	1,29	0,68	0,83	8,5	6,3	7,52
	Santa Lucia	173,31	166,86	169,41	31	25	28,44	28	24	26,00	1,29	0,57	0,77	7,8	5,9	7,10
	Los Botados	172,74	125,87	149,16	31	26	28,43	31	22	26,36	1,33	0,6	1,12	8,6	6,1	7,19
	Aluvial del Seibo	167,73	92,73	123,98	31	27	29,19	31	29	29,80						
	Peña Blanca (U.H 2)	241,49	73,37	124,68	31	25	28,76	33	22	26,78	1,8	0,77	0,94	9,4	7,2	8,59
	Hato Mayor	174,05	93,01	125,75	30	23	28,64	30	21	26,09	1,89	0,02	0,92	9,2	2,72	7,24
	Magua-Mata de Palma	56,17	21,50	40,77	31	25	28,43	30	22	26,29	3,81	0,33	1,06	8,2	5,3	7,06
	Los Algarrobos-San Miguel	76,45	14,00	55,62	31	25	28,74	31	21	26,60	3,11	0,29	1,18	9,3	5,5	7,22
	La Fuente	92,22	69,30	78,46	30	26	28,62	31	23	26,50	1,34	0,71	0,81	9	6,6	7,44
Yerba Buena	180,50	100,48	147,30	30	26	28,06	30	23	27,50	0,59	0,54	0,56	7,7	6,3	6,87	
LOS HAITISES	Cevicos	110,80	105,20	107,71	32	25	28,00	28	25	26,45	0,18	0,08	0,13	9,9	7,2	7,85
	Laguna Cristal	54,00	54,00	54,00	28	28	28,00	31	31	31,00	1,19	1,19	1,19	7,8	7,8	7,80
SAMANÁ	Las Terrenas	13,00	2,00	6,62	30	23	27,06	32	22	26,11	1,58	0,42	0,88	10,1	7,2	8,18
	Las Galeras	-3,07	-5,50	-4,01	30	26	28,08	32	25	27,17	6,95	4,85	5,79	10,5	7,2	7,88
	La Majagua	5,70	-1,40	3,73	30	23	26,64	26	22	25,27	1,48	0,38	0,58	10,5	6,9	8,00
CORDILLERA SEPTENTRIONAL	Cambiaso-San Marco	33,80	0,05	11,73	32	20	24,87	29	19	24,88	8,24	0,118	2,37	8,6	1,02	7,67
	Aluvial del Camú (U.H 5)	35,68	4,00	31,50	30	20	23,75	28	20	23,72	0,92	0,38	0,66	8,1	6,1	7,10
	Sabaneta-El Choco	19,09	-0,33	7,09	29	18	23,89	30	19	22,92	1,86	0,47	1,07	8,2	6,1	7,19
	Alto Yasica	126,32	45,00	87,25	32	23	27,79	32	22	26,21	2,44	0,66	1,45	11,2	6,7	8,04
	Aluvial del Veragua	14,90	-0,60	7,48	32	18	24,31	34	19	23,93	2,76	0,36	1,11	11,5	2,4	7,29
	Magante	21,62	8,76	15,62	30	20	24,09	29	20	23,71	9,4	0,32	1,42	10,7	6	7,28
	Loma de Cabo Frances	11,60	-9,75	-0,31	29	23	24,92	30	21	24,40	1,71	0,39	0,72	10,1	6,2	7,32
	Guayabito	33,00	26,00	30,76	33	21	25,08	30	20	24,66	8,8	0,1	0,91	10,3	5	6,72

UU.HH	Subsectores	Nivel Piezométrico (m.s.n.m)			Tª Aire			Tª Agua			Conductividad (mS/cm)			pH		
		Máx	Mín	Medio	Máx	Mín	Medio	Máx	Mín	Medio	Máx	Mín	Medio	Máx	Mín	Medio
	Juan Díaz	98,60	76,60	87,57	29	24	26,58	27	23	25,45	1,11	0,3	0,70	9,4	7,6	8,27
	La Lomaza	200,70	176,20	185,19	29	20	23,87	30	20	23,46	1,22	0,48	0,88	10	6	7,10
	Loma El Suzo	191,71	185,46	188,43	28	22	24,04	28	20	24,15	2,22	0,43	1,16	9,6	5,9	7,43
	Altamira	177,95	176,72	177,65	28	19	22,27	26	18	21,58	1,07	0,48	0,68	8,3	7	7,36
	Imbert	127,35	124,30	126,49	24	19	21,55	26	19	22,27	1,53	0,75	0,94	7,6	6,5	6,97
	Ranchete-Cabía	248,30	114,20	162,46	33	19	23,35	30	19	23,17	3,53	0,29	1,20	8,6	6,1	7,45
	Guayacanes-Tachuela	277,60	197,50	235,74	27	22	25,00	29	24	26,33	11,2	0,64	1,39	8,6	7,1	7,77
	El Papayo	169,90	153,40	163,25	32	23	25,33	29	25	27,00	15,73	0,7	5,64	9,1	7,6	8,33
VALLE DEL CIBAO	Caño Hondo-Castañuelas	28,40	12,30	19,94	35	21	25,47	30	23	27,26	5,48	0,97	2,60	9,3	7	7,82
	Cerro Gordo	36,90	33,50	35,57	29	20	24,31	30	20	24,23	0,97	0,44	0,71	10	6,2	7,41
	Terciario Detritico Borde Norte	165,00	48,10	88,22	32	21	25,50	30	24	26,69	15,32	0,37	4,43	9,9	7,2	8,00
	Detritico de Maimón	78,75	54,75	72,90	30	21	25,69	34	23	27,02	6,67	0,18	1,92	9,1	7	7,95
	Aluvial del Medio Yaque del	78,80	-8,54	66,13	32	19	24,97	33	21	25,97	8,5	0,21	1,71	10,7	2,67	7,96
	Esperanza	181,00	108,58	162,43	33	17	24,16	32	20	23,80	5,13	0,25	1,67	10,9	1,02	7,49
	Tamboril-Moca	266,50	136,00	222,06	32	19	23,81	32	18	23,44	8,3	0,129	1,31	11	1,07	7,46
	Salcedo	237,80	141,67	188,61	29	19	23,47	30	18	23,26	3,87	0,24	1,03	11,1	5,8	7,44
	Aluvial del Cenoví	107,95	44,78	73,68	38	20	27,72	32	20	26,39	10,1	0,05	1,94	11,6	2,4	8,39
	San Francisco de Macoris-Cotui	107,60	21,00	43,25	33	23	27,66	35	21	26,70	2,96	0,07	0,76	12,2	6,9	8,28
	Pontón-Las Taranas	79,00	40,00	61,94	30	22	26,43	32	21	25,70	2,95	0,1	1,05	11,4	7,2	8,28
	Aluvial de Nagua	19,80	10,40	14,74	32	21	27,40	30	19	25,28	1,12	0,19	0,62	10,4	6,6	7,81
	Aluvial del Bajo Yuna	16,60	-63,00	4,52	33	21	28,46	30	22	26,38	11,5	0,07	0,83	10,7	6,6	7,96
	Aluvial del Camú (U.H 6)	75,00	41,20	57,13	33	20	26,51	29	21	25,57	121	0,16	2,28	10,7	6,8	7,97
	La Vega	234,10	56,70	120,82	34	20	26,55	34	18	25,93	3,3	0,102	1,14	12,4	6	7,96
	Guayacanal	301,30	281,25	290,84	32	25	28,33	29	22	26,08	2,13	0,02	1,12	11,5	7,7	8,63
	Medio Aluvial Zona Monción	381,64	342,00	375,18	27	23	24,80	28	22	24,40	1,6	0,72	1,24	9,9	7,3	7,97
	Aluvial del Guayabín	151,40	-22,50	104,27	30	21	24,82	29	24	26,31	4,06	0,21	1,84	9,3	6,9	7,65
Aluvial del Guajabo	40,10	23,60	32,72	34	24	27,11	31	23	26,89	0,98	0,34	0,71	8,7	7	7,63	

UU.HH	Subsectores	Nivel Piezométrico (m.s.n.m)			Tª Aire			Tª Agua			Conductividad (mS/cm)			pH		
		Máx	Mín	Medio	Máx	Mín	Medio	Máx	Mín	Medio	Máx	Mín	Medio	Máx	Mín	Medio
	Detrítico Loma de Zamba	248,30	244,95	247,40	29	21	24,67	28	23	25,00	2,23	0,91	1,44	8,1	7,2	7,69
CORDILLERA CENTRAL	Sabaneta	138,50	89,80	115,95	29	23	25,50	28	20	26,18	0,82	0,09	0,46	8,9	6,7	7,88
	Jarabacoa	533,45	532,40	532,95	24	22	23,00	25	22	23,25	0,58	0,31	0,44	10,1	6,7	7,75
	Aluvial del Camú (U.H 7)	407,65	80,33	192,07	29	21	24,75	27	21	24,86	1,22	0,16	0,58	10,7	6,5	8,17
	Pontón-Rincón	117,30	39,25	87,03	33	18	26,41	29	19	25,46	1,73	0,09	0,59	10,8	7	8,12
	Aluvial del Alto Yuna	155,50	113,50	140,87	33	20	26,19	28	23	24,97	0,69	0,19	0,32	10,7	6,3	8,00
	Chacuey-Cevicos	61,30	35,00	47,97	31	23	27,06	29	23	26,03	0,77	0,06	0,23	10,2	6,8	7,79
	Loma de La Mina	137,50	100,00	128,56	32	24	27,36	28	24	26,00	0,26	0,12	0,16	8,4	6,5	7,66
	Sonador	180,80	168,70	175,09	32	22	26,29	28	21	24,82	0,48	0,1	0,30	10,4	6,3	7,76
	Aluvial del Isabela	83,43	27,78	61,63	33	27	29,53	32	25	27,50	0,85	0,16	0,43	8,7	6,6	7,44
	Hato Damas	226,56	219,59	223,38	31	24	27,09	25	24	24,55	0,9	0,76	0,80	8,9	6,6	7,36
	El Platano	72,42	51,44	60,68	31	24	28,11	26	23	25,17	0,84	0,34	0,49	8,3	6,5	7,00
	Cambita-Borbón	257,48	27,50	118,77	31	22	27,57	33	20	25,49	1,34	0,5	0,78	8,9	6	7,68
	La Montería	109,88	107,63	108,48	33	26	28,80	25	25	25,00						
	Galeón-Los Ranchitos	248,66	131,10	184,50	33	21	27,72	36	21	26,96	2,41	0,59	0,98	8,5	6,4	7,39
	Bajo Ocoa	38,69	10,36	23,03	33	26	29,35	33	25	28,05	1,11	0,72	0,86	8,7	6,6	7,39
La Sabana-El Limón	667,87	461,84	574,43	33	19	27,69	30	19	24,12	4,82	0,41	1,21	9	6	7,30	
Tireo-Constanza	1300,50	1146,00	1218,19	25	17	20,09	22	18	19,61	0,93	0,17	0,48	10	5,4	7,28	
SIERRA DE NEIBA	Aluvial de Los Baos	530,69	425,88	466,19	31	18	25,44	32	18	24,79	1,68	0,97	1,38	9,9	6,5	7,40
	Carrizal-Viajama	297,67	199,24	260,13	31	23	27,16	31	19	25,32	0,91	0,37	0,74	8,9	6,5	7,62
	Aluviales Manguito-Panzo	335,64	98,69	194,91	32	22	27,16	25	23	24,50	0,77	0,53	0,67	9	7,6	8,27
	La Descubierta	6,06	0,25	2,90	34	23	28,44	28	28	28,00						
	Tierra Nueva	37,02	-59,84	14,46	36	22	29,95	32	24	27,75	1,56	0,6	1,07	8,7	6,8	7,69
SIERRA DE BAHORUCO	Juan Ciprian-Malagueta	426,35	351,37	397,68	31	20	25,76	31	19	22,07	0,57	0,32	0,40	9,2	6,5	7,93
	Pedernales	76,32	1,00	22,19	35	23	27,12	29	19	25,26	1,8	0,42	1,02	8,7	6	7,48
	Loma El Guano	13,55	8,53	10,88	35	22	26,74	36	21	25,32	44,8	1,64	8,03	8,7	4,68	7,31
	Loma del Derrico	46,68	0,67	12,67	35	23	29,96	30	22	25,82	1,19	0,44	0,81	8,8	7,7	8,05

Como valoración general de la información piezométrica obtenida, habría que indicar que ésta ha sido muy valiosa, al constituir la primera información sistemática de ese tipo que se dispone sobre algunas zonas y formaciones acuíferas de las unidades en estudio, aunque debe considerarse, asimismo, muy escasa en cuanto a la representación espacial de los principales acuíferos existentes.

En general, en prácticamente la totalidad de las unidades estudiadas solamente se dispone, en la actualidad, de información piezométrica correspondiente a acuíferos superficiales (depósitos de aluvial cuaternarios y zonas de alteración superficial), debido a la escasa profundidad de los pozos y sondeos de control existentes. Este hecho, condiciona el que prácticamente no se haya podido disponer de información piezométrica de los principales acuíferos carbonatados de las unidades en estudio (las calizas arrecifales del Eoceno, Mioceno y Plioceno) y el que sea imposible realizar, en la actualidad, sus correspondientes mapas de isopiezas (con la excepción de la unidad del Valle del Cibao y del Valle de Constanza, en la unidad de la Cordillera Central). Por ello, en el apartado de Recomendaciones de Actuación Futura (tanto de esta Memoria Final, como de las correspondientes a cada unidad hidrogeológica) se incluye una propuesta concreta de incremento de la red de control piezométrico, para lo que resultaría imprescindible disponer, previamente, de al menos 80 nuevos sondeos piezométricos, construidos con unas características especiales para su finalidad y emplazados en las zonas de mayor interés hidrogeológico.

## **Hidroquímica e Intrusión Marina**

En el capítulo 6 "Hidroquímica e Intrusión Marina" se presentan los trabajos desarrollados dentro del Proyecto, tanto para caracterizar las aguas subterráneas de las unidades hidrogeológicas objeto de estudio, como para analizar si la composición del agua en zonas costeras está afectada por procesos de intrusión marina.

En dicho capítulo se incluye la interpretación global de los resultados obtenidos, con la caracterización general de las aguas subterráneas analizadas en cuanto a tipología de facies hidroquímicas y problemas de contaminación detectados y, en las memorias elaboradas para cada unidad hidrogeológica objeto de estudio, se tratan con detalle y de forma independiente, los resultados analíticos de los puntos de agua muestreados en cada unidad y su relación con distintos factores (litología, potabilidad química, contaminación, etc.).

- **Diseño de la red de control hidroquímico y realización de campañas de muestreo**

Como punto de partida del estudio hidroquímico se ha considerado la definición de una red de control, constituida por una serie de puntos de agua, en las que llevar a cabo un muestreo y posterior análisis.

---

La red de control hidroquímico del Proyecto está formada por 260 puntos de control, cuya distribución espacial se observa en el plano de situación de la red de control hidroquímico (Plano 8.), que se incluye al final de este informe y en el Anexo 5.1. se incluyen algunas características de los puntos que la integran.

Una vez definida la red de control de calidad del agua subterránea en las distintas unidades hidrogeológicas, y aprobada por el Supervisor del Estudio, se iniciaron las campañas de muestreo y análisis del agua.

A lo largo del Proyecto se han llevado a cabo dos campañas de muestreo y realización de análisis "in situ". La primera campaña se llevó a cabo entre noviembre de 2003 y enero de 2004, y la segunda campaña se realizó entre abril y junio de 2004.

En general se han seleccionado puntos en los que es posible tomar muestras de agua representativas de las condiciones existentes en el acuífero que explotan, recogidas tras un bombeo previo que permita renovar el agua almacenada en el propio pozo o en sus inmediaciones.

Por su parte, en las zonas costeras se ha evitado realizar un bombeo previo prolongado, que pudiera distorsionar los resultados en el estudio de la posible afección de los acuíferos con respecto al grado de avance de la intrusión marina.

- **Parámetros analizados y laboratorios de análisis**

Durante las campañas de muestreo se analizaron *in situ* la temperatura, pH y conductividad del agua y se tomaron muestras de agua para su análisis en laboratorio de parámetros fisicoquímicos (conductividad y pH), constituyentes mayoritarios (carbonatos, bicarbonatos, cloruros, sulfatos, nitratos, nitritos, amonio, sodio, potasio, calcio, magnesio) y fosfatos.

Además, en 11 puntos se tomaron muestras para análisis de plaguicidas organoclorados, organofosforados y triazinas. Los puntos seleccionados se sitúan en los Valles de Tireo-Constanza (8 puntos), en la zona de Monte Cristi (1 punto en Dajabón y 1 punto en Villa Vasquez), y 1 punto en el bajo Yuna.

En 17 puntos se tomaron muestras adicionales para la determinación de algunos metales pesados (cromo total, cromo hexavalente, hierro y manganeso). Y, por último, en 9 puntos se realizó un muestreo para llevar a cabo análisis bacteriológicos (coliformes totales, coliformes fecales, mesófilos y pseudomonas).

Las determinaciones analíticas se han realizado en el Laboratorio de Control de Calidad de Aguas del INDRHI en Santo Domingo (República Dominicana), excepto los análisis de plaguicidas y bromuros, que se realizaron en el Laboratorio de Análisis y Control AYCON, S.A. en Madrid (España).

- **Caracterización hidroquímica general**

Las aguas analizadas presentan una mineralización que varía desde baja a elevada, con conductividades que oscilan entre 103 y 14350 microS/cm en la primera campaña (entre 55 y 1370 microS/cm en la segunda) y no presentan variaciones significativas de su composición entre ambos muestreos.

A partir del diagrama de Piper correspondiente a las aguas subterráneas analizadas, se han clasificado las muestras 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 composicional, 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 descritas en el desarrollo de este Proyecto.

Para estudiar la variación espacial que presentan las aguas subterráneas analizadas, se ha elaborado un plano de distribución de facies hidroquímicas (Plano 10.), que incluye el diagrama de Stiff correspondiente a cada muestra de agua. Para facilitar la comparación entre los distintos tipos de agua se ha utilizado la misma escala para todos los puntos. La forma del diagrama de Stiff da idea del tipo de agua y su tamaño permite apreciar con rapidez el grado de salinidad que presentan las aguas en cada caso.

Las muestras de menor salinidad se relacionan con materiales carbonatados, y las más salinas con aquellos puntos de agua relacionados principalmente con depósitos cuaternarios o evaporíticos.

Las muestras de agua que presentan las conductividades más elevadas se sitúan en el sector noroeste del Valle del Cibao (diagramas de mayor tamaño).

Las muestras de menor salinidad se relacionan, en general, con los materiales carbonatados de Los Haitises, Cordillera Oriental y Cordillera Central.

- **Potabilidad del agua**

Con respecto a la calidad del agua subterránea para abastecimiento humano, en el desarrollo de este trabajo se consideran los límites establecidos para una serie de parámetros de interés, tanto en las Guías OMS para la calidad del Agua Potable (1995), como en República Dominicana (NORDOM, 1980), o en España (2003).

La información referente a los valores que fija la OMS, así como los establecidos en República Dominicana proceden de la Biblioteca Virtual Salud y Ambiente (BVSA), de la EPA, con datos actualizados hasta 2002. Los límites establecidos en España corresponden a la legislación vigente (Real Decreto 140/2003, de 7 de febrero). No obstante, hay que indicar que actualmente en República

Dominicana la normativa para aguas de abastecimiento está en proceso de revisión y los límites considerados en la interpretación pueden sufrir variaciones.

Los resultados analíticos correspondientes a la primera campaña indican que las aguas subterráneas analizadas superan los límites establecidos 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 74 muestras. En el resto de las muestras (186 muestras, que suponen el 72 % del total), los valores obtenidos se encuentran dentro de los límites establecidos en la normativa de aguas de abastecimiento humano.

Por su parte, los resultados analíticos correspondientes a la segunda campaña indican que las aguas subterráneas analizadas superan los límites establecidos 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 71 de muestras. En el resto de las muestras (195 muestras, que suponen el 70 % del total), los valores obtenidos se encuentran dentro de los límites establecidos en la normativa de aguas de abastecimiento humano.

Con respecto a los análisis bacteriológicos efectuados, se observa que las aguas subterráneas analizadas no son aptas para abastecimiento, puesto que la calidad bacteriológica que presentan no es adecuada. Se han detectado Coliformes totales cuyo NMP/100 ml alcanza valores superiores a 1100. Por su parte, los Coliformes Fecales se encuentran en algunas muestras. Lo mismo sucede con Mesófilos y Pseudomonas.

La presencia de estos microorganismos e indicadores de calidad reflejan que, en estas muestras, el agua está contaminada en mayor o menor grado y su utilización puede constituir una vía de transmisión de enfermedades infecciosas.

- **Contaminación de las aguas subterráneas por nitratos**

Para estudiar la situación existente con respecto al contenido en nitratos en las aguas subterráneas se han determinado los contenidos en nitratos en todos los puntos de la red de control hidroquímico.

En la primera campaña las especies nitrogenadas analizadas presentan valores de nitratos que oscilan entre 0 y 303 mg/l de  $\text{NO}_3^-$ . En el Plano 9. (que se adjunta al final de este informe) se observa la distribución espacial del contenido en nitratos, correspondiente al primer muestreo realizado.

Los valores se han agrupado en cuatro rangos de concentraciones (0-10, 11-25, 26-44 y >45 mg/l). Se observa que predominan las aguas subterráneas con contenidos inferiores a 45 mg/l, en especial, los valores más frecuentes corresponden al rango de menor concentración (0-10 mg/l de  $\text{NO}_3^-$ ).

Los valores comprendidos entre 26 y 44 mg/l se distribuyen por todo el ámbito de estudio, 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).

- **Contaminación de las aguas subterráneas por plaguicidas**

Para estudiar la situación en que se encuentran las aguas subterráneas con respecto a los plaguicidas utilizados en las prácticas agrícolas, se han seleccionado 11 puntos de control en distintos sectores, siguiendo las indicaciones de la dirección del estudio y de acuerdo con las sugerencias del INDRHI. Ocho de los puntos se sitúan en los Valles de Tireo-Constanza; dos en la zona de Monte Cristi, en Dajabón y Villa Vasquez; y uno en el bajo Yuna.

Se ha reforzado el número de puntos de control en los valles de Tireo y Constanza, donde se han tomado 8 muestras para análisis de plaguicidas, puesto que existe un desarrollo importante de cultivos hortícolas, y se adicionan este tipo de compuestos de forma frecuente.

De los compuestos analizados (18 plaguicidas organoclorados, 20 organofosforados y 11 triazinas) únicamente se han encontrado tres compuestos, uno organoclorado (DELTA-HCH) y dos organofosforados (NALED y DISULFOTON), en bajas concentraciones.

Así, se han detectado DELTA-HCH (0.0001 mg/l) y NALED (0.0001 mg/l) en la muestra número 6 y DISULFOTON (0.0006 mg/l) en la muestra número 9. En ambos casos proceden de pozos muestreados en el Valle de Constanza, durante la primera campaña.

Cabe destacar, que en general los parámetros analizados (plaguicidas organoclorados, organofosforados y triazinas) se encuentran por debajo de los límites de detección.

No obstante, hay que considerar que la movilidad de los pesticidas en los acuíferos depende entre otros, de la litología y potencia de la zona no saturada, y de la composición química del plaguicida. Así, aunque en la actualidad no se observe contaminación por pesticidas en el agua subterránea, puede detectarse en un futuro, debido al tiempo necesario para que alcancen la zona saturada.

- **Contaminación de las aguas subterráneas por metales pesados**

Las zonas de interés para el estudio de la contaminación industrial se seleccionaron, siguiendo las indicaciones del INDRHI, en el Valle del Cibao (en el entorno de Santiago, Bonaó, en el bajo Yuna entre Cotuí y Maimón, y en el Yaque del norte), sectores en los que "a priori" las aguas subterráneas pueden presentar una contaminación potencial por metales pesados. Por tanto, los resultados obtenidos en las aguas subterráneas analizadas con este objeto no se pueden generalizar a todo el

ámbito de estudio, ya que el muestreo es sesgado (realizado en zonas que presentan ya una degradación del medio por efecto de la actividad antrópica) y se ha llevado a cabo para detectar si existen problemas de contaminación en las situaciones más desfavorables.

La selección de los puntos de agua para análisis de metales pesados (hierro, manganeso, cromo total y cromo hexavalente) se llevó a cabo dando prioridad a las captaciones que destinan el agua subterránea para uso industrial, si bien se incluyeron otros pozos de abastecimiento doméstico, agricultura o ganadería, para tener información de contraste en otras zonas.

Los resultados obtenidos en la primera campaña indican que hierro y manganeso se encuentran siempre por debajo de los límites 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 segunda campaña de muestreo y análisis se supera el límite considerado en la normativa para el hierro en una muestra número dentro de la Cordillera Oriental, donde 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).

Los valores elevados de cromo que se registran en las aguas subterráneas analizadas ponen de manifiesto la necesidad de llevar a cabo estudios de detalle con respecto a los contenidos de cromo en las aguas subterráneas de la República Dominicana, no solo en zonas industriales, sino también en zonas sin alterar por la actividad antrópica, para determinar el origen del mismo y analizar si la contaminación que se registra en estas muestras está generalizada a todo el territorio.

- **Intrusión marina**

Para analizar en detalle si existen procesos de intrusión marina en el ámbito de estudio, se ha definido una red de control que considera varios sectores:

Depósitos costeros del sector este de Samaná, en las Galeras

Materiales carbonatados del borde norte de los Haitises

Materiales carbonatados del suroeste de la Sierra de Bahoruco y Península sur de Barahona.

En los puntos de agua propuestos para la red de control de la intrusión, la composición del agua podría presentar una relación con el agua de mar.

Se descartan, por tanto, los sectores en los que se registran aguas de elevada salinidad correspondientes a la Cordillera Septentrional y Valle del Cibao, que se asocian con procesos de disolución de evaporitas y de materiales sulfatados.

En estas zonas se han llevado a cabo (al igual que en la red de control hidroquímico) dos campañas de muestreo. Durante la segunda campaña de muestreo (abril-junio de 2004) se realizaron análisis de parámetros fisicoquímicos, constituyentes mayoritarios y bromuros en los puntos de agua que forman parte de la red de control de la intrusión. Además, se tomaron muestras de agua de mar en tres localizaciones próximas a los sectores estudiados.

Se observa que la composición química del agua subterránea ha permanecido estacionaria entre ambos muestreos, con una salinidad similar en la zona de Pedernales, dentro de la UH. 11 (Sierra de Bahoruco y Península sur de Barahona) y en Las Galeras, dentro de la UH. 4 (Samaná).

Por su parte, en el borde norte de la UH. 3 (Los Haitises), se observa una disminución significativa de la salinidad del agua subterránea, que pasa de 3030 microS/cm a 931 microS/cm en la segunda campaña de muestreo. En este sector se observa que la muestra de agua de mar M-2 refleja también una menor salinidad (conductividad de 35000 microS/cm, frente a 61700 microS/cm en M-1 y M-3). Esta situación refleja que se produce una descarga importante de agua subterránea al mar procedente de las calizas de la unidad, como consecuencia de las lluvias abundantes que se produjeron durante ese periodo.

Así pues, se puede concluir que en las zonas consideradas, la composición del agua subterránea refleja una cierta influencia del agua del mar, si bien esta afección actualmente tiene poca importancia, limitada:

- a una zona reducida del acuífero aluvial que explotan los pozos muestreados en Samaná
- a puntos específicos de los Haitises (manantial) y de Sierra de Bahoruco y Península sur de Barahona (simas y cavernas), en los que no es previsible que aumente la intrusión, al menos de forma inmediata, puesto que en su entorno la extracción de aguas subterráneas es despreciable.

### **Aforos de Aguas Superficiales**

Las redes de aforos directos del proyecto han tenido los siguientes objetivos prioritarios:

- Proporcionar la información necesaria, con el soporte documental y técnico suficiente, para el conocimiento del régimen hídrico de las distintas unidades hidrogeológicas en estudio, sobre todo en lo referente a la relación entre los cauces superficiales y las formaciones permeables aflorantes.

- Evaluar las escorrentías superficiales y las subterráneas drenadas por los ríos, con objeto de poder plantear un balance hídrico tentativo para cada unidad hidrogeológica y para diferentes años tipos y subunidades o sectores de funcionamiento.

La red hidrométrica controlada durante el presente proyecto ha estado compuesta de 119 puntos de aforo de control mensual, durante un año hidrológico completo (octubre de 2003 a septiembre de 2004), que han supuesto un total de 1 410 aforos.

La distribución de dichos puntos por zonas o unidades hidrogeológicas ha sido la siguiente:

Cuadro 11.1.6. Número de puntos de control foronómico por UU.HH.

<b>ZONA O UNIDAD HIDROGEOLÓGICA</b>	<b>Nº DE PUNTOS DE CONTROL FORONÓMICO</b>
Cordillera Oriental	22
Los Haitises	17
Samaná	5
Cordillera Septentrional	23
Valle del Cibao	12
Cordillera Central	20
Sierra de Neiba	14
Sierra de Bahoruco y Península Sur de Barahona	6
<b>TOTAL</b>	<b>119</b>

Asimismo, durante el presente proyecto se ha utilizado y analizado información procedente de un buen número de puntos de la red de control foronómico del **INDRHI**. En concreto, se ha utilizado información de las 84 estaciones que disponían de una serie histórica de datos más larga y continuada, con objeto de poder analizar la evolución histórica de sus caudales (y para diferentes años tipo), así como para compararlos con los resultados mensuales de la red del proyecto. Dicho estudio comparativo se ha completado con la utilización de una serie de estaciones próximas y de características de cuencas similares a las del proyecto, con cuya información histórica se han realizado una serie de descomposiciones de hidrogramas, con objeto de obtener los porcentaje de aportaciones subterráneas a los ríos.

Como resultado final, podría concluirse que la red de foronómica controlada durante el proyecto (119 puntos de control mensual) es escasa para poder controlar la totalidad de las escorrentías subterráneas procedentes de las nueve unidades en estudio. En rasgos generales, se estima que los actuales 119 puntos (condicionados por las especificaciones del Pliego de Prescripciones Técnicas del Proyecto) podrían estar controlando entre el 50 y el 70% (dependiendo de las unidades) de la

totalidad de las escorrentías de procedencia subterránea. Por ello, en el apartado de Recomendaciones de Actuación Futura (tanto de esta Memoria Final, como de las correspondientes a cada unidad hidrogeológica) se incluye una propuesta concreta de incremento de la red de control foronómico.

### **Estudios de Regadíos**

De la información obtenida durante la realización del proyecto se desprende que la superficie total de riego (en la actualidad) dentro del ámbito de las unidades hidrogeológicas en estudio es del orden de los 280 000 ha., de las cuales más del 65% se concentran en la unidad hidrogeológica del Valle del Cibao.

Cuadro 11.1.7 Superficie total irrigada por unidades hidrogeológicas

<b>SUPERFICIE TOTAL IRRIGADA POR UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS</b>	
<b>UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS</b>	<b>SUPERFICIE (ha)</b>
U.H. Cordillera Septentrional	14 147.20
U.H. Samana	563.45
U.H. Valle del Cibao	182 680.34
U.H. Los Haitises	0.00
U.H. Cordillera Oriental	4 438.46
U.H. Cordillera Central	29 249.68
U.H. Sierra de Neiba	28 262.60
U.H. Sierra de Bahoruco	15 994.33
U.H. Peninsula Sur de Barahona	3 147.55
<b>TOTAL</b>	<b>278 483.61</b>

Asimismo, en las unidades en estudio se han identificado varias categorías de orden de cultivo, que, básicamente, corresponden a plantaciones de caña de azúcar, tanto estatales como privadas, platanares (plátano y guineo), comúnmente asociados con palmera de coco o plantas herbáceas, áreas de cultivos de arroz y maíz, ocupadas además por cultivos mixtos de especies hortofrutícolas, guandul y yuca, y pastos artificiales y naturales.

Por lo general, se trata de superficies ampliamente indicativas, pero que varían notablemente también en el tipo de cultivo de unos años a otros, como se ha podido comprobar en la información procedente del Movimiento Agrícola Nacional

En cuanto al volumen total de agua demandada para riego en el conjunto de las unidades en estudio, este se estima en 1 147.01 hm<sup>3</sup>/año, aunque tan solo el 19% de dicho volumen (216.75 hm<sup>3</sup>/año) corresponde a extracciones de agua subterránea, en su mayor parte concentrado en la citada unidad hidrogeológica del Valle del Cibao.

La distribución por unidades hidrogeológicas de volúmenes totales de agua demandados para agricultura y de los procedentes de agua subterránea se incluyen en el siguiente cuadro:

Cuadro 11.1.8: Distribución por unidades hidrogeológicas del volumen total de agua demandada y de la de origen subterráneo utilizada

<b>Unidades Hidrogeológicas</b>	<b>Volumen total demandado (hm<sup>3</sup>)</b>	<b>Volumen total extraído (hm<sup>3</sup>)</b>
U.H. Cordillera Septentrional	105.51	9.49
U.H. Samana	3.98	0
U.H. Cordillera Oriental	40.39	2.02
U.H. Valle del Cibao	662.91	132.58
U.H. Cordillera Central	99.35	45.60
U.H. Sierra de Neiba	73.83	5.48
UU.HH. Sierra de Bahoruco y Península Sur de Barahona	161.04	21.58
<b>TOTAL</b>	<b>1 147.01</b>	<b>216.75</b>

Finalmente, y de acuerdo con toda la información manejada, se estima que existen zonas con condiciones favorables (litológicas, topográficas y con excedentes de recursos subterráneos) para establecer nuevos regadíos, cuya distribución espacial se incluye en la Plano 14 de esta Memoria Final. Las nuevas zonas de regadío propuestas alcanzan una superficie total próxima a las 291.000 has, cuya distribución por unidades hidrogeológicas se presenta en el siguiente cuadro:

Cuadro 11.1.9: Distribución por unidades hidrogeológicas de las superficies potenciales para nuevos regadíos

<b>Unidades Hidrogeológicas</b>	<b>Superficie de las áreas potenciales de regadío (ha)</b>
U.H. Cordillera Septentrional	31 276.44
U.H. Samana	6 451.04
U.H. Valle del Cibao	61 442.43
U.H. Cordillera Central	110 460.74
U.H. Haitises	15 477.82
U.H. Cordillera Oriental	22 897.70
U.H. Sierra de Neiba	19 647.48

UU.HH. Sierra de Bahoruco y Península Sur de Barahona	23 124.81
<b>TOTAL</b>	<b>290 778.15</b>

## **Estudios Hidrológicos**

Los principales objetivos del Estudio Hidrológico del proyecto consistían en:

Caracterizar hidrológicamente, y con carácter general, las zonas o unidades en estudio.

Definir los rasgos principales hidrológicos de las cuencas representadas y sus infraestructuras hidráulicas, así como de las subcuencas diferenciadas en la red de afloramientos controlada a lo largo del proyecto.

De acuerdo con dichos objetivos, los trabajos básicos realizados han consistido en la realización de una caracterización hidrológica de las cuencas hidrográficas superficiales de toda el área de estudio, así como de las porciones de cuencas que corresponden a cada punto de la red de afloramientos controlada durante el proyecto.

A partir de esta información se han definido 38 cuencas hidrográficas de primer orden y, dentro de estas, 79 de segundo orden o subcuencas, así como 107 porciones de cuencas o de subcuencas que corresponden a cada punto de la red de afloramientos controlada durante el proyecto. La identificación superficial por unidades hidrogeológicas se incluyen en el cuadro 9.1.1 del capítulo de Estudios Hidrológicos de la Memoria Final y en el *Plano General de Distribución de Cuencas hidrográficas en las Áreas de Estudio*.

Asimismo, y para caracterizar las diferentes cuencas hidrográficas diferenciadas, se han calculado los siguientes índices: coeficiente de torrencialidad, pendiente media, alejamiento medio, densidad de drenaje e índice de compacidad, cuyos resultados se incluyen también en el citado capítulo.

## **Evaluación de los Recursos Subterráneos y estimación de los Balances Hídricos de las Unidades Hidrogeológicas en estudio**

Uno de los aspectos de indudable interés de este proyecto ha sido el realizar una nueva evaluación de los recursos subterráneos de las zonas o unidades en estudio, basada en la nueva información obtenida durante el mismo (reestimación de las superficies de recarga, lluvia útil, infiltración eficaz, datos de las redes de control y funcionamiento hidrogeológico).

Asimismo, se ha realizado una estimación actualizada de los balances hídricos subterráneos de las zonas o unidades hidrogeológica en estudio, aunque solamente han podido establecerse estos (en la actual fase de conocimiento de las unidades), de forma estimativa o tentativa, debido a que, hasta la fecha, no se conocen suficientemente, y con el grado de exactitud necesario, una serie de parámetros básicos para la cuantificación detallada de determinados términos de los balances, como son la infiltración eficaz en las distintas formaciones permeables y acuíferas, la totalidad de las importantes descargas subterráneas a los cauces fluviales, las posibles conexiones con unidades contiguas y la variación de almacenamiento o reservas.

No obstante de las mencionadas limitaciones de partida, se han planteado balances hídricos tentativos, basado en los datos históricos disponibles y en los proporcionados por el presente estudio, para el que se ha utilizado la ecuación clásica del balance hídrico:

Entradas - Salidas - Variación de Almacenamiento (Reservas) = Error de Cierre.

Al tratarse de balances hídricos de aguas subterráneas, en los que se desconocen la Variación de Reservas de las respectivas unidades (al no disponerse de información suficiente sobre la geometría de los acuíferos en profundidad y sobre la evolución histórica de sus zonas saturadas) se han considerado, únicamente, los siguientes términos del balance hídrico subterráneo:

#### Entradas

- IP: Infiltración o recarga en el terreno procedente de la precipitación sobre los afloramientos permeables.
- IRC: Infiltración o recarga procedente de aguas superficiales (ríos, arroyos y lagunas).
- IRR: Infiltración o recarga procedente de retornos de riego e infiltración desde canales.
- QAC: Entradas laterales y subterránea procedentes de zonas o unidades hidrológicas colindantes.

#### Salidas

- DR: Descarga de agua subterránea por cauces superficiales.
- QM: Salida de agua subterránea por manantiales y emergencias de distintos tipos, tanto subaéreas, como submarinas.
- Qs: Salida de agua subterránea por conexión con unidades limitrofes.
- B: Extracciones de agua subterránea por bombeos.

Como **límites** de las regiones o zonas en las cuales se han efectuado los balances se han utilizado el de los dos niveles de identificación de funcionamiento hidrogeológico incluidos en las memorias de las respectivas unidades: el de la zona o unidad hidrogeológica y, dentro de esta, el de las subunidades o sectores de funcionamiento. Como intervalo de tiempo de los balances hídricos se ha establecido el **interanual**, para intervalos de varios años hidrológicos tipos de la serie histórica disponible (años secos, medios y húmedos) y como **unidades del balance** se ha establecido el  $\text{hm}^3/\text{año}$ , al tratarse de la unidad más apropiada para los volúmenes manejados en los intervalos o períodos de tiempo considerados.

Se ha considerado de interés el establecer balances estimativos para intervalos de varios años hidrológicos tipos de la serie histórica disponible (años secos, medios y húmedos), como referencia para posibles planificaciones de recursos subterráneos de la unidad, así como por considerarse que en intervalos de varios años los posibles cambios en el almacenamiento tendrán una menor incidencia en la ecuación del balance, frente a otros términos del mismo. Estos balances hídricos subterráneos, y como ya se ha comentado anteriormente, responden únicamente a cálculos estimativos y proporcionales, en función de los siguientes parámetros: superficies de recarga (de materiales permeables) de cada unidad y subunidad, datos de lluvia útil, porcentaje de escorrentía subterránea de dicha lluvia útil, aforos históricos y del proyecto, y extracciones. La descripción de la metodología y de las diferentes estimaciones volumétricas aplicadas a cada uno de los mencionados parámetros ya se han incluido en los apartados de Climatología, Aforos y Funcionamiento Hidrogeológico (Recarga y Descarga).

Por otra parte, los términos difícilmente cuantificables de forma directa (como son las conexiones con unidades limítrofes y las descargas al mar) se han estimado como diferencias en la ecuación del balance y solamente podrán establecerse con mayor precisión cuando, en el futuro, se disponga de datos reales y suficientes sobre la infiltración eficaz en las distintas formaciones permeables y acuíferas, la totalidad de las importantes descargas subterráneas a los cauces fluviales, las posibles conexiones con unidades contiguas y la variación del almacenamiento o reservas en las distintas formaciones acuíferas que se han diferenciado dentro de los límites de la unidad.

Como resumen de los balances de aguas subterráneas realizados, cuyo detalle por subunidades de funcionamiento y para diferentes años tipo (secos, medios y húmedos) se incluye en las Memorias de las correspondientes unidades, en el presente resumen se presenta el balance de años medios, para la serie de años disponible y analizada.

Entradas:

Cuadro 11.1.10. Balance de aguas subterráneas para años medios (entradas)

ZONAS O UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS	INFILTRACIÓN LLUVIA (IP)	INFILTRACIÓN CAUCES (IRC)	RETORNOS RIEGO (IRR)	ENTRADAS LATERALES (QAC)	ENTRADAS TOTALES
<b>CORDILLERA ORIENTAL</b>	29		8	-	<b>37</b>
<b>HAITISES</b>	399	33	-	-	<b>432</b>
<b>SAMANÁ</b>	50	-	1	-	<b>51</b>
<b>CORDILLERA SEPTENTRIONAL</b>	273	-	19	-	<b>292</b>
<b>VALLE DEL CIBAO</b>	92	35	139	157	<b>423</b>
<b>CORDILLERA CENTRAL</b>	258		31	-	<b>289</b>
<b>SIERRA DE NEIBA</b>	123	-	52	-	<b>175</b>
<b>SIERRA DE BAHORUCO Y PENÍNSULA SUR DE BARAHONA</b>	217	-	33	3	<b>253</b>
<b>TOTALES</b>	<b>1 509</b>		<b>283</b>	<b>160</b>	<b>1 952</b>

\*Todos los datos son en hm<sup>3</sup>/año

Salidas:

Cuadro 11.1.11. Balance de aguas subterráneas para años medios (salidas)

ZONAS O UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS	DESCARGA A RÍOS (DR)	MANANTIALES (QM)	DESCARGAS AL MAR Y CONEXIONES LATERALES (QS)	EXTRACCIÓN BOMBEO (B)	SALIDAS TOTALES
CORDILLERA ORIENTAL	26		-	11	<b>37</b>
HAITISES	121		306	5	<b>432</b>
SAMANÁ	35	1	12	3	<b>51</b>
CORDILLERA SEPTENTRIONAL	239	-	22	31	<b>292</b>
VALLE DEL CIBAO	176	-	38	209	<b>423</b>
CORDILLERA CENTRAL	207			82	<b>289</b>
SIERRA DE NEIBA	88	71		16	<b>175</b>
SIERRA DE BAHORUCO Y PENÍNSULA SUR DE BARAHONA	91	-	122	40	<b>253</b>
<b>TOTALES</b>	<b>1 055</b>		<b>500</b>	<b>397</b>	<b>1 952</b>

\*Todos los datos son en hm<sup>3</sup>/año

En términos generales, y con los datos disponibles, el año hidrogeológico controlado durante el presente estudio (octubre 2003 a septiembre 2004) corresponde hidrológicamente, y para la mayor parte de las unidades en estudio, a un año medio, salvo en los casos de las unidades de la Cordillera Oriental y de la Sierra de Bahoruco y la Península Sur de Barahona, en las que corresponderá a un año medio-seco.

Por consiguiente, el balance hídrico general del citado año de control puede asimilarse, básicamente, al balance de año medio presentado.

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 hm<sup>3</sup>/año**, y de ellos un 77% (1 509 hm<sup>3</sup>/año) proceden de recarga directa de la lluvia o de infiltración desde cauces fluviales, un 15% (283 hm<sup>3</sup>/año) corresponden a retornos o infiltraciones desde zonas de

regadío y canales, y el 8% restante (160 hm<sup>3</sup>/año) a conexiones laterales con zonas o unidades contiguas.

- 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 hm<sup>3</sup>/año) a descargas a ríos o por manantiales, el 26% (500 hm<sup>3</sup>/año) a descargas al mar o a conexiones laterales con unidades contiguas, y solamente el 20% restante (397 hm<sup>3</sup>/año) a extracciones por bombeos.
- De dichas cifras se concluye que las actuales extracciones por bombeos solamente constituyen el 20% de los recursos anuales subterráneos disponibles a nivel general y que en algunas unidades concretas ni tan siquiera alcanzan el 10% (casos de Los Haitises, Samaná y Sierra de Neiba). Solamente en el Valle del Cibao se aproximan las extracciones al 50% de los recursos subterráneos disponibles. Por tanto, es evidente que las extracciones podrían incrementarse de manera importante y, sobre todo, en determinadas unidades (como Los Haitises, Samaná, Cordillera Septentrional, Valle del Cibao, Sierra de Bahoruco y Península Sur de Barahona), en las que actualmente se producen importantes descargas al mar (cerca de 500 hm<sup>3</sup>/año, en su conjunto).

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 contemplen 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 (emplazamiento y características constructivas y de instalación de los sondeos de explotación), sino también, el posible impacto ecológico y medioambiental que podrían producir dichos bombeos en sus diferentes áreas de influencia, al reducirse la aportación de agua dulce a las zonas costeras.

### **Beneficios científicos, técnicos y económicos del estudio**

Los beneficios que, desde el punto de vista técnico-científicos y económicos, se espera que pueda suponer el desarrollo y los resultados del presente estudio, son, básicamente, los siguientes:

- Identificación y delimitación de zonas de interés hidrogeológico en las nueve unidades en estudio y localización, dentro de las mismas, de subunidades hidrogeológicas, niveles acuíferos y sectores de funcionamiento.
- Establecimiento de superficies de recarga y geometrías de los principales acuíferos, límites de funcionamiento (abiertos, cerrados, etc.), relaciones con acuíferos contiguos, cauces fluviales, etc.
- Cuantificación de los recursos subterráneos disponibles en las unidades en estudio y su distribución por las citadas subunidades, niveles acuíferos y sectores identificados.
- Estimación de volúmenes de recursos utilizados dentro de las unidades en estudio y su distribución por tipologías (abastecimiento humano, agrícola, pecuario, industrial, etc.).
- Evaluación de las características químicas de las aguas subterráneas, en general, y de las bacteriológicas, en particular, de las destinadas al abastecimiento urbano.
- Identificación de los posibles focos de contaminación y de los incipientes procesos de intrusión marina.
- Establecimiento de diferentes redes de control hidrogeológico en las áreas de estudio (piezometría, foronomía, hidroquímica e intrusión marina) y explotación de las mismas durante un año hidrológico completo (octubre de 2003 a septiembre de 2004).
- Identificación de limitaciones y lagunas de información en las redes de control actuales y diseño y recomendación de nuevas redes de control futura.
- Instalación y entrada en servicio de 20 nuevas estaciones meteorológicas completas en las zonas de mayor interés hidrogeológico dentro de las áreas de estudio.
- Diseño y establecimiento de bases de datos (Banco de Datos) de los principales parámetros estudiados (inventario de puntos de agua, piezometría, aforos, hidroquímica, etc.).
- Establecimiento del funcionamiento hidrogeológico de las unidades y subunidades en estudio, identificando su recarga, principales tipos de flujos y descargas.
- Realización de balances hídricos tentativos para todas las unidades hidrogeológicas en estudio.
- Evaluación del potencial de las aguas mineromedicinales en las áreas de estudio.
- Obtención de conclusiones y recomendaciones en cuanto a unas primeras normas de explotación y planes de gestión integral (uso conjunto y sostenible) de los recursos de cada zona o unidad hidrogeológica estudiada y recomendaciones de actuación futura.

## **Posibles usuarios de los productos que se han generado**

Los posibles usuarios de los productos y resultados del estudio en realización se agrupan, básicamente, en tres grupos:

- Organismos gestores del agua en la República Dominicana (**INDRHI, INAPA, SEA, SURENA**, etc.)
- Usuarios de distinto tipo (poblaciones de municipios, distritos municipales y parajes, agricultores, ganaderos e industriales del área de estudio).
- Comunidad científica (Centros de investigación, Universidades, etc.).

## **1.2. RECOMENDACIONES DE ACTUACIÓN FUTURA DE CARÁCTER GENERAL**

### **Plan de Seguimiento General para la mejora del producto que se entrega**

Al haber constituido el presente estudio una primera investigación y evaluación general de las aguas subterráneas en las nueve unidades en estudio, es necesario que se continúen con las investigaciones en las diferentes zonas y que se establezca un plan de seguimiento para la mejora de los productos finales que se entregan. Este mencionado plan debería contemplar, al menos, los siguientes aspectos:

- Diseño y construcción de sondeos piezométricos (con el diámetro suficiente para posibilitar el muestreo hidroquímico) en zonas de interés hidrogeológico donde actualmente no existe ningún sondeo de control y sin ninguna posibilidad de realizar medidas piezométricas o muestreos hidroquímicos.
- Seguimiento y control periódico (con frecuencia mensual o trimestral) de las redes de control hidrogeológico que finalmente se establezcan (piezometría, foronomía, hidroquímica e intrusión marina), entre las que se incluyan los nuevos sondeos que se diseñen y construyan.
- Análisis de la nueva información que se obtenga y establecimiento de nuevos criterios de funcionamiento hidrogeológico de las unidades, subunidades y niveles acuíferos estudiados.
- Establecimiento de normas de explotación y perímetros de protección de detalle en las zonas o unidades, subunidades y niveles acuíferos estudiados.

- Establecimiento de planes específicos e integrales de abastecimientos urbanos con aguas subterráneas (diseño de captación, control de focos de contaminación, establecimiento de perímetros de protección, etc.).
- Elaboración de programas o planes de gestión de la demanda de agua para un uso sostenible.
- Mantenimiento y actualización de las Bases de Datos Hidrogeológicas (Bancos de Datos del **INDRHI**) que se han generado durante el presente proyecto.
- Elaboración de planes de gestión integral (uso conjunto) de los recursos, que contemplen, de forma conjunta, los perímetros de protección establecidos, los estudios de recarga artificial de agua, los modelos numéricos de simulación del flujo subterráneo, etc.).
- Elaboración de un Sistema de Información de Aguas Subterráneas (SIAS) de todo el ámbito territorial de la República Dominicana, en el que se integre toda la información disponible y generada durante las Fases I y II del Estudio Hidrogeológico Nacional de la República Dominicana.

### **Construcción de sondeos de investigación y piezométricos**

La escasa de información piezométrica actual sobre los principales acuíferos existentes en la mayor parte de las unidades en estudio (sobre todo las calizas arrecifales del Eoceno, Mioceno y Plioceno) recomienda la construcción de una serie de sondeos de investigación y piezométricos en los principales afloramientos de interés hidrogeológico, con objeto de conocer, con cierto detalle, la columna litológica de los materiales atravesados y su nivel piezométrico (techo de la zona saturada del acuífero), lo cual permitirá, posteriormente, la elaboración de mapas de distribución de isopiezas.

Con este objetivo, se recomienda la construcción de un mínimo de 80 sondeos de investigación y piezométricos, distribuidos de la siguiente manera por las nueve zonas o unidades hidrogeológicas estudiadas:

Cuadro 11.2.1. Distribución, por unidades hidrogeológicas, de los sondeos de investigación y piezométricos propuestos.

<b>UNIDAD HIDROGEOLÓGICA</b>	<b>Nº SONDEOS DE INVESTIGACIÓN Y PIEZOMÉTRICOS PROPUESTOS</b>
Cordillera Oriental	5
Los Haitises	15
Samaná	5
Cordillera Septentrional	8
Valle del Cibao	9
Cordillera Central	15
Sierra de Neiba	6
Sierra de Bahoruco	17
<b>TOTAL</b>	<b>80</b>

La ubicación concreta de los piezómetros propuestos y sus características constructivas se presentan con el detalle requerido en cada una de las correspondientes memorias de las unidades estudiadas, aunque, a modo de resumen, y con carácter general, podrían destacarse las siguientes: se recomienda perforar a rotopercusión o a percusión y con profundidades variables, según los casos, entre los 100 y los 400 m. Los diámetros de perforación deberían ser de un mínimo de 130 mm y los de entubación de 50 mm interior, entubándose con tubos de plástico en PVC-U (cloruro de polivinilo) en versión resistente, o con tubos verticales galvanizados, roscados y unidos con manguitos. Los tubos filtrantes se distribuirán en longitud de 1/3 del espesor saturado que se encuentre y, fundamentalmente, en la parte inferior del acuífero, y si la columna atravesada contiene tramos de arenas o limos, se preverá un empaque de gravilla que rellene el espacio anular a lo largo de todo el espesor saturado, con anchura mínima de 40 mm. Después de la finalización de la construcción de los sondeos se recomienda bombear desde la superficie el agua de las tuberías, para extraer el posible detritus de la perforación. Esta operación de limpieza deberá realizarse con agua limpia o aire comprimido y asegurar la homogenización completa del fluido dentro de la columna piezométrica. Asimismo, el cabezal de los sondeos se protegerá con un tapón de cemento de 2 metros de profundidad, así como con un cabezal de acero con cierre de seguridad. Finalmente, será necesario levantar una columna litológica de los materiales atravesados, con testificación de muestras cada metro atravesado, con objeto de conocer las litologías atravesadas, las posibilidades hidrogeológicas de los mismos (para el diseño de colocación de los filtros) y la posible existencia de niveles acuíferos confinados.

### **Construcción de sondeos de investigación y preexplotación, para abastecimiento a núcleos urbanos con más de 1 000 habitantes**

En la actualidad, una buena parte de los núcleos urbanos que se integran dentro de las unidades en estudio se abastecen de pozos de escasa profundidad (menores de 30 m), que explotan, en su mayoría, acuíferos detríticos y libres de dimensiones muy variables (depósitos cuaternarios o zonas de alteración superficial), con importantes variaciones estacionales de niveles y recursos, y expuestos, por lo general, a posibles acciones contaminantes desde la superficie (vertidos de residuos urbanos, fertilizantes agrícolas, etc.). Para paliar dicha situación actual, se recomienda construir sondeos de investigación y preexplotación para el abastecimiento de los citados núcleos urbanos, con unas características de diseño de construcción y de instalación que garanticen el pleno abastecimiento de los citados núcleos urbanos, en condiciones adecuadas de cantidad y calidad.

A este respecto, se recomienda la construcción de 303 sondeos de investigación y preexplotación para el abastecimiento de los núcleos urbanos que sobrepasan los 1 000 habitantes, cuya distribución por las nueve zonas o unidades hidrogeológicas estudiadas es la siguiente:

Cuadro 11.2.2. Distribución, por unidades hidrogeológicas, de los sondeos de investigación y piezométricos propuestos.

<b>UNIDAD HIDROGEOLÓGICA</b>	<b>Nº SONDEOS DE INVESTIGACIÓN Y PREEXPLORACIÓN PROPUESTOS</b>
Cordillera Oriental	17
Los Haitises	9
Samaná	17
Cordillera Septentrional	27
Valle del Cibao	60
Cordillera Central	146
Sierra de Neiba	17
Sierra de Bahoruco	10
<b>TOTAL</b>	<b>303</b>

La ubicación concreta de los sondeos de investigación y preexplotación para el abastecimiento de los núcleos urbanos propuestos y sus características constructivas se presentan con el detalle requerido en cada una de las correspondientes memorias de las unidades estudiadas, aunque, a modo de resumen, y con carácter general, podrían destacarse las siguientes: El método de perforación será a rotoperforación, percusión o circulación inversa, dependiendo de los materiales a atravesar; las profundidades y diámetros de perforación estimadas de los sondeos serán de al menos 100 m de profundidad, y los diámetros de perforación los suficientes para poder entubar con tuberías de 300 mm de diámetro interior. En lo referente a la entubación, se recomienda entubarán los primeros treinta (30) metros con tubería de emboquillado, cementando el espacio anular entre el terreno y la

tubería, y continuando la perforación por el interior de esta tubería. La entubación definitiva de cada uno de los sondeos será de PVC-U o polietileno de alta densidad de al menos 20 mm de pared, quedando una columna definitiva de entubación de PVC-U o polietileno y tramos de tubería filtrante del tipo KV-Filtro con ranuración de 2 mm. En los casos que se precise, porque el material atravesado en el sondeo sea detrítico, se dispondrá un empaque filtrante de grava calibrada (3-5 mm) en el espacio anular y se cementará este espacio en la parte superior para proteger los acuíferos de contaminaciones superficiales. Definida la columna de entubación se procederá a la numeración de cada tramo, comenzando desde el fondo del pozo, de tal forma que se evite que pueda colocarse cualquier tramo en una posición incorrecta. No se colocarán tramos filtrantes de longitud superior a tres filtros consecutivos de 3 metros cada uno. Se dejará siempre en la parte inferior de la tubería una cámara de decantación de unos 8-12 m.

### **Realización de ensayos de bombeo y muestreo hidroquímico a diferentes profundidades**

En todos los sondeos de investigación y preexplotación que se construyan se recomienda realizar ensayos o pruebas de bombeo, con objeto de conocer las características y parámetros hidráulicos de las formaciones acuíferas a explotar.

Los ensayos propuestos serán de dos tipos, en función de su duración y de sus objetivos a conseguir:

- Pruebas de bombeo escalonado, de unas cuatro horas de duración cada una y con un caudal ascendente. Se recomienda realizar cuatro pruebas consecutivas de este tipo (16 horas, en total), cuyos objetivos son desarrollar y limpiar los sondeos y tantear el caudal de bombeo para la siguiente prueba de larga duración.
- Ensayo de bombeo largo y a caudal constante. Este ensayo se recomienda que tenga una duración mínima comprendida entre 24 y 48 horas, y que se realice con un caudal constante, controlándose los descensos de niveles, tanto en el sondeo donde se bombea, como en otros próximos que puedan existir.

Durante la realización del ensayo de bombeo largo y a caudal constante se deberán tomar muestras de agua cada determinados tiempos, de manera que coincidan con diferentes profundidades del acuífero ensayado. Sus posteriores análisis de laboratorio determinarán sus características químicas para su uso humano.

## **Estudio de establecimiento de perímetros de protección en los sondeos para abastecimientos urbanos**

Asimismo, en todos los sondeos de investigación y preexplotación que se construyan para abastecimientos urbanos, se recomienda realizar estudios de detalle de establecimiento de perímetros de protección (zonas en torno a la captación cuyo objetivo es proteger la calidad y cantidad del agua subterránea). Para ello, es preciso determinar, al menos: características del acuífero explotado (litología, geometría, parámetros hidráulicos, etc.), inventario de puntos de agua, focos potenciales de contaminación existentes en su entorno, y actividades que puedan dar lugar a residuos sólidos o líquidos que puedan originar una degradación de la calidad del agua.

Con la delimitación de las zonas que constituyen los perímetros se pretende conseguir y mantener un adecuado nivel de calidad de las aguas e impedir la acumulación de compuestos o el desarrollo de actividades capaces de contaminar o degradar la calidad de las mismas.

Las zonas se delimitarán con la suficiente amplitud para que el resultado de una actividad contaminante, una vez que pueda llegar al acuífero, tarde en alcanzar la captación un tiempo determinado que permita su degradación, o proporcione una capacidad de reacción que haga posible un cambio temporal en la fuente de suministro a la población, hasta que la degradación de la calidad de las aguas extraídas disminuya a límites aceptables.

La zonación del perímetro se deberá realizar considerando el tiempo de tránsito de un día en la zona inmediata (Zona I), de 50-60 días en la zona próxima (Zona II) y de 10 años en la zona alejada (Zona III). Las zonas que constituyen el perímetro tendrán restricciones de uso tanto mayores cuanto más próximas a la captación. Así, en la Zona I solo se permitirán las actividades relacionadas con el mantenimiento y explotación de las instalaciones. En la zona II se prohibirán las fosas sépticas, el vertido de residuos sólidos o la existencia de granjas, industrias y mataderos, y en la Zona III se prohibirán la inyección de residuos y sustancias contaminantes, así como el almacenamiento de productos tóxicos y radiactivos.

Sin embargo, en el caso de actividades ya implantadas en el entorno de captaciones de abastecimiento, se realizará un estudio detallado en el que se considera el espesor de la zona no saturada, la litología del acuífero y el tipo de contaminación susceptible de alcanzar el nivel freático, de forma previa a la implantación de restricciones.

### **Ampliación y continuación de las redes de control hidrogeológico periódico (piezometría, foronomía y calidad química)**

Se recomienda continuar con las actuales redes de control hidrogeológico periódico (piezometría, foronomía y calidad química), aunque con algunas modificaciones en cuanto al número de sus puntos de control y su frecuencia de medida. En este sentido se propone eliminar algunos puntos de las actuales redes con información redundante y añadir otros nuevos de posible interés (entre ellos los nuevos sondeos piezométricos que se recomienda construir), así como mantener la frecuencia de control mensual en la red de aforos y semestral (dos campañas al año) en la de muestreo hidroquímico, y disminuir la de piezometría a un control trimestral (cuatro campañas al año).

Las distribución de las nuevas redes que se proponen para cada una de las unidades estudiadas es la siguiente:

Cuadro 11.2.3. Distribución, por unidades hidrogeológicas, de las redes de control propuestas.

<b>UNIDAD HIDROGEOLÓGICA</b>	<b>NUEVA RED PIEZOMÉTRICA PROPUESTA</b>	<b>NUEVA RED DE AFOROS PROPUESTA</b>	<b>NUEVA RED DE HIDROQUÍMICA PROPUESTA</b>
2 Cordillera Oriental	61	10	28
3 Los Haitises	17	17	12
4 Samaná	9	5	15
5 Cordillera Septentrional	66	40	45
6 Valle del Cibao	127	24	87
7 Cordillera Central	80	38	19
9 Sierra de Neiba	16	24	25
11 y 12 Sierra de Bahoruco y Península Sur de Barahona	24	6	16
<b>Total</b>	<b>400</b>	<b>164</b>	<b>247</b>

Estas nuevas redes, cuya distribución y justificación de detalle se incluye en las correspondientes Memorias de las unidades hidrogeológicas estudiadas, suponen, con respecto a las redes del presente estudio, un incremento de los puntos de aforo (164 puntos, frente a los 119 actuales), y una ligera disminución de los puntos de control piezométrico (400, frente a los 420 actuales) y de los de hidroquímica (247, frente a los 260 actuales), aunque con importantes variaciones en la distribución espacial los puntos piezométricos, en los que se propone incluir los 80 sondeos piezométricos de nueva construcción recomendados en apartados anteriores.

### **Instalación de nuevas estaciones climáticas**

La existencia de lagunas de información climática en algunas zonas (por inexistencia de estaciones climáticas o por escasez de series históricas de datos) obliga a recomendar la instalación de al menos 15 nuevas estaciones climáticas, de características similares a las de las Fases I y II de este estudio y distribuidas por unidades hidrogeológicas de la siguiente forma:

Cuadro 11.2.4. Distribución, por unidades hidrogeológicas, de las estaciones climáticas propuestas.

<b>UNIDAD HIDROGEOLÓGICA</b>	<b>Nº DE NUEVAS ESTACIONES CLIMÁTICAS</b>
Cordillera Oriental	1
Los Haitises	3
Samaná	2
Cordillera Septentrional	0
Valle del Cibao	0
Cordillera Central	6
Sierra de Neiba	1
Sierra de Bahoruco	2
<b>TOTAL</b>	<b>15</b>

### **Estudios detallados sobre demandas actuales y futuras y sobre las posibilidades de explotación de los recursos disponibles**

La existencia de importantes recursos excedentarios de origen subterráneo en todas las unidades estudiadas, recomienda el que se realicen estudios de detalle sobre posibilidades de utilización, sobre todo en aquellas unidades en las que existen fuertes demandas sectoriales, tanto actuales como futuras, o en sus unidades limítrofes.

Dichos estudios deberían incluir encuestas exhaustivas sobre las demandas (actuales y futuras) y los usos (con origen detallado del recurso utilizado), así como estudios detallados sobre disponibilidad sectorial de recursos (en cantidad y calidad adecuada para el uso al que destine) y sobre sus posibles métodos de explotación desde el punto de vista hidrogeológico (emplazamiento y características constructivas y de instalación de los sondeos de explotación), sin olvidar los ya citados estudios de impacto ambiental que podrían producir dichas extracciones en sus diferentes áreas de influencia, al producir una indudable afección al actual sistema de descargas, ya sea a ríos, a manantiales o al mar.

Las zonas donde previsiblemente debería de comenzar por realizarse dichos estudios podrían ser las de mayor demanda para desarrollo y uso turístico y urbano, entre los que cabría destacar los siguientes:

- En la en la unidad de la Cordillera Septentrional los sectores de Montecristi, Playa Los Cocos, Punta Rubia, Puerto Plata-Playa Dorada, Cabarete, Playa El Bretón, Playa el Diamante y Playa el Junca.
- En la en la unidad de Samaná los sectores de Playa Bonita, Las Terrenas, Playa el Portillo, Playa Morón y Playa Rincón-Las Galeras.
- En la unidad de Los Haitises, los sectores limítrofes entre las subunidades septentrional central, septentrional costera y meridional, para su posible utilización en la demanda turística y urbana en la Planicie Costera Oriental.
- En la unidad de la Sierra de Neiba los sectores septentrional, meridional y centro-oriental, para su utilización en las unidades contiguas de los Valles de San Juan y de Neiba.
- En las unidades de la Sierra de Bahoruco y de la península Sur de Barahona, para su utilización en las zonas de Playa Saladilla-Barahona, Playa de Mosquea-Punta Inglesa, Playa Blanca, Playa Caliente y Pedernales.

### **Estudios detallados de usos del agua en zonas de mayor concentración de demandas agrícolas y humanas y de ubicación de nuevas explotaciones agrícolas**

De igual manera que lo indicado en el apartado anterior para la demanda turística, se recomienda la realización de estudios detallados de demandas y usos del agua en zonas de mayor concentración de demandas actuales humanas, mediante encuestas selectivas a una serie de usuarios que se consideren representativos de las extracciones de aguas subterráneas para dichos usos.

En principio, y como ya se indicó en apartados anteriores, se recomienda realizar dichos estudios en 303 núcleos urbanos dentro del ámbito de las unidades estudiadas, que en su mayoría (206) se concentran en las unidades de la Cordillera Central y en el Valle del Cibao.

Asimismo, y de acuerdo con la información disponible, se recomienda realizar estudios de demandas y de sondeos de explotación en todas las zonas de nuevo desarrollo agrícola que se han indicado en cada unidad hidrogeológica estudiada. En total ocupan una superficie de 291.000 ha, que en su mayoría se sitúan en la unidad de la Cordillera Central.

### **Redefinición de límites de unidades hidrogeológicas:**

La identificación detallada del funcionamiento hidrogeológico de las unidades de estudio recomienda el que algunos de sus actuales límites sean redefinidos o modificados al considerarse que los límites propuestos responden más adecuadamente al mencionado funcionamiento hídrico.

Las modificaciones de límites propuestas se refieren a las siguientes unidades:

- Zona o Unidad 6: Valle del Cibao: Dividir la actual unidad en dos (Yaque del Norte y Bajo Yuna), estableciendo su límite en el de las dos subunidades definidas.
- Zona o Unidad 9: Sierra de Neiba: Dividir la actual unidad en dos, con límite en el cauce del río Yaque del Sur (que actúa de barrera hidrogeológica), separando la actual Sierra de Neiba de las subunidades emplazadas al oeste de dicho río (Noreste y Sureste), al no presentar ninguna relación hídrica con la citada Sierra de Neiba.
- Zonas o Unidades 11 y 12: Sierra de Bahoruco y Península Sur de Barahona: unir ambas unidades en una única (dado que su funcionamiento hidrogeológico es conjunto), pasando la actual unidad de la Península Sur de Barahona a constituir parte de la subunidad meridional.

### **Actualización de la base de datos de Aguas Subterráneas**

Finalmente, y como una actividad fundamental para su utilización en posibles estudios futuros y de planes de gestión y explotación de recursos hídricos que se puedan establecer dentro del ámbito de las nueve unidades estudiadas, se recomienda seguir actualizando la Base de Datos de Agua Subterránea (Banco de Datos del **INDRHI**) creada durante el presente estudio (inventario de puntos de agua, redes de control periódico, etc.). Dicha actualización permitirá disponer, en el momento concreto que se requiera, de toda la información hidrogeológica básica lo más completa posible, con todo lo que ello significa a la hora de tener que tomar decisiones sobre planes o normas de explotación y protección de los recursos subterráneos de las citadas zonas o unidades hidrogeológicas.