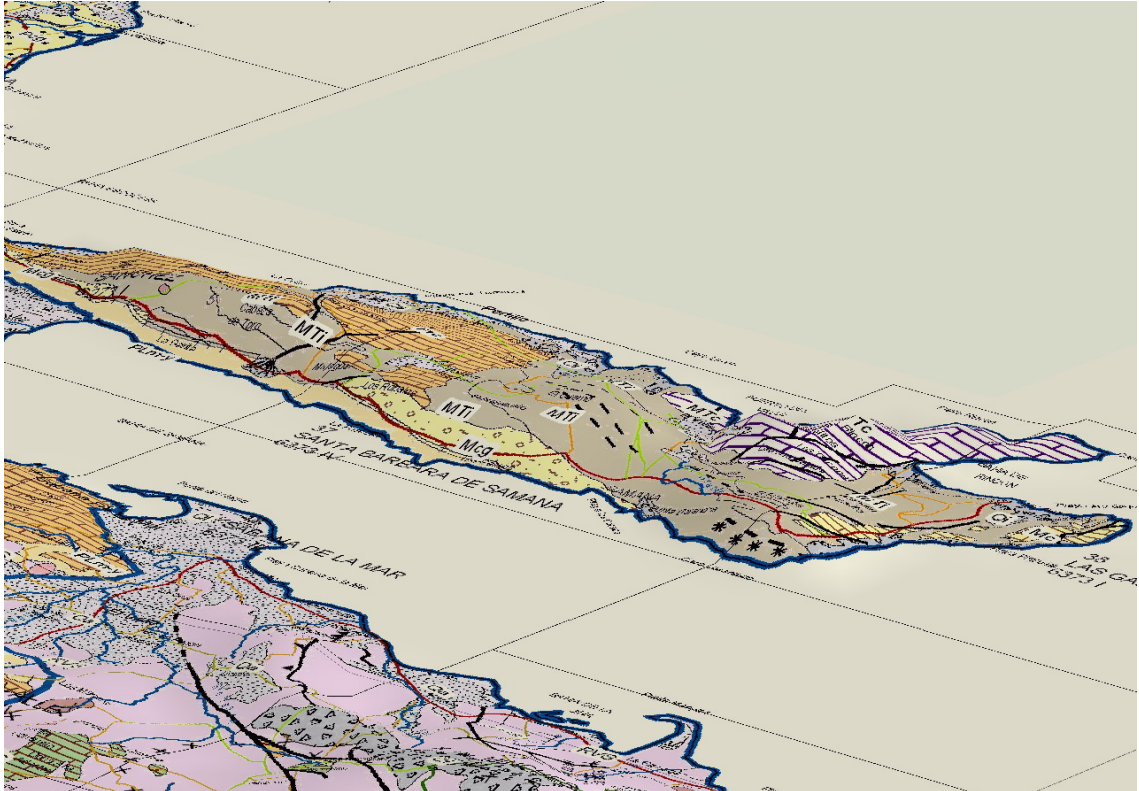


# **INFORME DE LA UNIDAD HIDROGEOLÓGICA DE LA PENÍNSULA DE SAMANÁ**



## **PROGRAMA SYSMIN**



NOVIEMBRE 2004

## **ÍNDICE**

<b>1.</b>	<b>INTRODUCCIÓN, OBJETIVOS E INFORMACIÓN DE PARTIDA .....</b>	<b>1</b>
<b>2.</b>	<b>MARCO GEOGRÁFICO Y SOCIOECONÓMICO .....</b>	<b>4</b>
<b>2.1.</b>	<b>SITUACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO .....</b>	<b>4</b>
<b>2.2.</b>	<b>CARACTERÍSTICAS OROGRÁFICAS E HIDROLÓGICAS .....</b>	<b>6</b>
<b>2.3.</b>	<b>ESTRUCTURA ADMINISTRATIVA Y DEMOGRÁFICA .....</b>	<b>8</b>
<b>3.</b>	<b>ESTUDIO AGRONÓMICO EN LA UNIDAD DE LA PENÍNSULA DE SAMANÁ .....</b>	<b>13</b>
<b>3.1.</b>	<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>13</b>
<b>3.2.</b>	<b>DISTRITOS DE RIEGO .....</b>	<b>13</b>
<b>3.3.</b>	<b>USO AGRÍCOLA ACTUAL .....</b>	<b>16</b>
<b>3.4.</b>	<b>DEMANDAS DE AGUA PARA RIEGO .....</b>	<b>17</b>
<b>4.</b>	<b>CLIMATOLOGÍA E HIDROLOGÍA SUPERFICIAL .....</b>	<b>20</b>
<b>4.1.</b>	<b>CLIMATOLOGÍA .....</b>	<b>20</b>
<b>4.1.1.</b>	<b>Información de partida .....</b>	<b>20</b>
<b>4.1.2.</b>	<b>Aplicación informática .....</b>	<b>23</b>
<b>4.1.3.</b>	<b>Análisis de la precipitación .....</b>	<b>23</b>
<b>4.1.4.</b>	<b>Análisis de la temperatura .....</b>	<b>26</b>
<b>4.1.5.</b>	<b>Evapotranspiración y lluvia útil .....</b>	<b>27</b>
<b>4.2.</b>	<b>HIDROLOGÍA SUPERFICIAL .....</b>	<b>33</b>
<b>4.2.1.</b>	<b>Análisis de datos de aforos históricos .....</b>	<b>33</b>
<b>4.2.2.</b>	<b>Red foronómica del estudio: Resultados de las campañas realizadas.....</b>	<b>35</b>
<b>4.2.3.</b>	<b>Relación entre los aforos históricos y los actuales.....</b>	<b>38</b>
<b>4.2.4.</b>	<b>Cálculo de los aportes subterráneos.....</b>	<b>39</b>
<b>5.</b>	<b>ESTUDIO DE EXTRACCIONES Y USOS.....</b>	<b>40</b>
<b>5.1.</b>	<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>40</b>
<b>5.2.</b>	<b>INFORMACIÓN DE PARTIDA .....</b>	<b>43</b>
<b>5.2.1.</b>	<b>Estimación de extracciones .....</b>	<b>43</b>
<b>6.</b>	<b>SÍNTESIS GEOLÓGICA .....</b>	<b>45</b>
<b>6.1.</b>	<b>INTRODUCCIÓN Y MARCO GEOLÓGICO REGIONAL.....</b>	<b>45</b>
<b>6.2.</b>	<b>ESTRATIGRAFÍA Y LITOLOGÍA.....</b>	<b>45</b>
<b>6.3.</b>	<b>ESTRUCTURA TECTÓNICA. ....</b>	<b>46</b>

6.4.	RELACIÓN ENTRE LA DISPOSICION LITOLOGICO-ESTRUCTURAL Y SU FUNCIONAMIENTO HIDROGEOLOGICO. ....	49
7.	HIDROGEOLOGÍA.....	51
7.1.	MARCO HIDROGEOLOGICO .....	51
7.2.	DEFINICIÓN GEOMÉTRICA DE LA UNIDAD: SUBUNIDADES Y FORMACIONES ACUÍFERAS.....	52
7.3.	INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA .....	62
7.3.1.	Análisis de datos previos existentes.....	62
7.3.2.	Inventario de puntos de agua de la Unidad.....	62
7.4.	PARÁMETROS HIDRÁULICOS .....	67
7.5.	PIEZOMETRÍA E HIDROMETRÍA: CORRELACIONES PRECIPITACIONES-HIDROMETRÍA.....	68
7.6.	RELACIÓN CON UNIDADES CONTIGUAS.....	71
7.7.	RELACIÓN CON CAUCES SUPERFICIALES .....	73
8.	CARACTERIZACIÓN HIDROQUÍMICA .....	75
8.1.	DEFINICIÓN DE LA RED DE CONTROL DE CALIDAD DEL AGUA SUBTERRÁNEA.....	75
8.2.	CAMPAÑAS DE MUESTREO HIDROQUÍMICO Y REALIZACIÓN DE ANÁLISIS <i>IN SITU</i> .....	78
8.2.1.	Primera campaña.....	78
8.2.2.	Segunda campaña.....	79
8.3.	ANÁLISIS DE LABORATORIO.....	81
8.3.1.	Determinaciones analíticas.....	81
8.3.2.	Laboratorios y Métodos de análisis .....	81
8.3.3.	Control de calidad analítica: error analítico .....	81
8.3.4.	Resultados analíticos de laboratorio .....	83
8.4.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS .....	83
8.4.1.	Caracterización hidroquímica general .....	83
8.5.	APTITUD DE LAS AGUAS PARA DISTINTOS USOS.....	92
8.5.1.	Abastecimiento .....	92
8.5.2.	Regadío.....	96
8.5.3.	Distribución espacial de la calidad del agua subterránea.....	98
8.6.	INTRUSIÓN MARINA .....	100
8.6.1.	Red de control de la intrusión.....	101
8.6.2.	Campañas de muestreo .....	101
8.6.3.	Resultados obtenidos .....	101

<b>9.</b>	<b>FUNCIONAMIENTO HIDROGEOLÓGICO Y BALANCE HÍDRICO.....</b>	<b>103</b>
<b>9.1.</b>	<b>RECARGA .....</b>	<b>103</b>
<b>9.2.</b>	<b>DESCARGA .....</b>	<b>109</b>
<b>9.3.</b>	<b>ESTIMACIÓN DEL BALANCE HÍDRICO SUBTERRÁNEO .....</b>	<b>112</b>
<b>10.</b>	<b>RESUMEN, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES DE ACTUACIÓN FUTURAS .....</b>	<b>118</b>
<b>10.1.</b>	<b>RESUMEN Y CONCLUSIONES.....</b>	<b>118</b>
<b>10.2.</b>	<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>134</b>

## **PLANOS**

## UNIDAD HIDROGEOLÓGICA DE LA PENÍNSULA DE SAMANÁ

### **1. INTRODUCCIÓN, OBJETIVOS E INFORMACIÓN DE PARTIDA**

Como primera actividad realizada para el estudio hidrogeológico de esta unidad, se ha procedido a analizar y sintetizar toda la información bibliográfica recopilada en la fase inicial del estudio, en la que pudiera existir alguna referencia sobre la unidad de la Península de Samaná, con objeto de poder valorar el estado de conocimiento actual sobre la citada unidad y utilizar dicha información para los diseños de redes de control hidrogeológico del proyecto y para servir de base de partida para las diferentes actividades del estudio.

La información de interés disponible responde, fundamentalmente, a estudios de carácter nacional o regional y a nivel de zonas más amplias que las del ámbito estricto de la unidad (cuencas o regiones completas), siendo muy escasa la información específica sobre esta unidad, en lo referente a su caracterización geométrica, hidrodinámica y de funcionamiento hidrogeológico, o sobre sus inventarios de puntos de agua, resultados de campañas de aforos, geofísica, sondeos, estudios de extracciones, agronómicos y planes de explotación.

Los estudios disponibles y con información de cierto interés, proceden, en su mayoría, del INSTITUTO NACIONAL DE RECURSOS HIDRÁULICOS (INDRHI), de la UNIÓN EUROPEA/INDRHI, de la SECRETARÍA GENERAL DE LA OEA, de la SECRETARÍA DE ESTADO DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES, de la DIRECCIÓN GENERAL DE LA MINERÍA (DGM), del INSTITUTO GEOGRÁFICO UNIVERSITARIO y del INSTITUTO CARTOGRÁFICO MILITAR, y contienen, fundamentalmente, información relativa a redes de control existentes a nivel nacional y regional (climatología y aforos) y a síntesis cartográficas geológica e hidrogeológica (a escala 1:250.000), planos topográficos (a escalas 1:500.000, 1:250.000 y 50.000), climatología (distribución de pluviometría y temperatura a escalas 1:500.000), vegetación, uso de la tierra y capacidad productiva (a escalas 1:500.000).

Por último, en el presente estudio se ha recopilado y analizado también determinada información original y sin elaborar, como han sido los casos de los datos en bruto aportados por las estaciones meteorológicas del INDRHI (en concreto de las Estaciones nº 1701: Samaná y nº 1702: Sánchez).

Los citados estudios de carácter nacional o regional de los que se ha obtenido algún tipo de información e interés sobre la unidad de la Península de Samaná han sido los siguientes (en el Anexo 1 de este informe se incluyen fichas bibliográficas de cada estudio utilizado):

Cuadro 1.1.1. Trabajos de interés para el estudio de la U.H.

<b>TÍTULO</b>	<b>ORGANISMO / AUTOR</b>	<b>AÑO DE REALIZACIÓN</b>
Intensidades Máximas y Erosividad de Lluvias en la República Dominicana	SEA/IICA/INDRHI	1982
Plan Nacional de Investigación, aprovechamiento y Control de Aguas Subterráneas (PLANIACAS)	Tahal Consulting Engineers Ltd/INDRHI	1983
Información sobre el Inventario de las Estaciones Hidrológicas y Meteorológicas a Nivel Nacional	INDRHI/GTZ	1988
Anuario Hidrológico	INDRHI (Departamento de Hidrología)	1990
Planificación de la red Pluviométrica de la República Dominicana	INDRHI/GTZ	1990
Proyecto de Código de Agua para la República Dominicana	INDRHI/GTZ	1990
Inventario Nacional de los Recursos Hidráulicos Superficiales	INDRHI	1990
Red Nacional de Monitoreo de Calidad de Aguas para la República Dominicana	INDRHI/GTZ	1993
Plan Nacional de Ordenamiento de recursos Hidráulicos (DIAGNOSTICO)	OEA/INDRHI	1994
Evolución del Conocimiento de las Aguas Subterráneas en la República Dominicana	Ing. Héctor Rodríguez Morillo (CODIA)	1994
Distritos de Riego de la República Dominicana	INDRHI	1995
Vegetación y uso de la tierra	SECRETARÍA DE ESTADO DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES	1988-1996
Resumen Nacional del Movimiento Agrícola en las Áreas de Cultivo Bajo Riego correspondiente al periodo agrícola 01/02 y 02/03.	INDRHI	2003

Para la realización del estudio de población de la unidad hidrogeológica se han utilizado los datos obtenidos de la página de internet [www.one.gov.do](http://www.one.gov.do) en la que se tiene el censo completo para el año 1993.

No se tiene constancia de la existencia de estudios hidrogeológicos o hidrológicos de detalle del entorno geográfico de la Península de Samaná y ni siquiera existe una red de control

foronómica con datos históricos de medidas de caudal de los principales cauces superficiales de la unidad hidrogeológica.

Finalmente, en lo referente a redes de control periódico, bases de datos y bases cartográficas y temáticas y estudios de infraestructuras consultados, se ha obtenido alguna información de interés referente a la citada unidad en las siguientes fuentes documentales:

- Inventario de Estaciones Hidrológicas y Meteorológicas a Nivel Nacional. INDRHI. 1988.
- Mapa de Estaciones Climáticas e Hidrométricas. INDRHI. 1995.
- Mapa Topográfico General de la República Dominicana (escala 1:250.000). Instituto Geográfico Universitario (Universidad Autónoma de Santo Domingo). 2001. Serie 1501. 1 hoja: Hoja NE 19-2.
- Mapas Topográficos (escala 1:50.000). Instituto Cartográfico Militar. Diferentes años. (Hojas topográficas 6273 I: Sánchez; 6373 IV: Santa Bárbara de Samaná; 6373 I: Las Galeras.
- Mapa Geológico de la República Dominicana 1:250.000. Mapa Geológico General. Secretaría de Estado de Industria y Comercio. Dirección General de Minería. Instituto Geográfico Universitario. En colaboración con el Bundesanstalt Fur Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR). República Federal de Alemania. 1991. 1 Hoja: Hoja NE 19-2.
- Mapa Hidrogeológico Escala 1:500.000. República Dominicana. INDRHI.1989.
- Mapa Hidrogeológico Escala 1:250.000. República Dominicana. INDRHI.1989. 1 Hoja: Hoja NE 19-2.
- Mapa de Presas en Operación en la República Dominicana. INDRHI. Departamento de Seguridad de Presas. División de Hidrogeología. Versión 2003.

## **2. MARCO GEOGRÁFICO Y SOCIOECONÓMICO**

### **2.1. SITUACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO**

La unidad hidrogeológica de Península de Samaná se sitúa al noreste de la isla, ocupando íntegramente la península de Samaná, limitando al sur por la Bahía de Samaná, al norte y este por el océano Atlántico y unida al resto de la isla por el istmo de Samaná, en el extremo oeste. Su poligonal ocupa una superficie próxima a los 600 km<sup>2</sup>, que se distribuyen, en su totalidad, por la provincia de Samaná (2 términos municipales, 1 distrito municipal, 16 secciones y 159 parajes). Cuya distribución espacial se observa en la figura 2.1.

Los cursos de agua superficiales más significativos y relacionados con esta unidad son (de oeste a este) los siguientes;

- Ríos Cosón y Las Terrenas, de escaso recorrido Sur-Norte, y vertientes directamente al océano Atlántico.
- Ríos Limón, Cantón y San Juan, afluentes de distribución Sur-Norte y también vertientes directamente al océano Atlántico.
- Río Majagual, afluente de distribución Norte-Sur y vertiente a la Bahía de Samaná.
- Pequeños arroyos entre los núcleos de población de Majagual y Sánchez (arroyos El Rancho, Los Chicharrones, La Jagua, Agua Buena, Las Canoas, La Cabilma, Los Naranjos y Los Remedios), de distribución Norte-Sur, con poco recorrido y vertientes a la cuenca del río Yuna por su margen izquierda, en su tramo final y próximo en su desembocadura al mar.
- Pequeños ríos y arroyos entre los núcleos de población de Sánchez y Punta Balandra (Arroyos Punta Gorda, Higüero, Salado, Hondo, Juana Vicenta, Las Flechas, Los Limones y los ríos Santa Capuza, Los Cocos, Busni y Balandra), de distribución Norte-Sur con poco recorrido y vertientes directamente a la Bahía de Samaná.

En rasgos generales, la zona se incluye dentro de la subdivisión hidrográfica de la Península Samaná, que se caracteriza por un relieve no muy escarpado, formado por una sierra central de dirección E-O con pendiente sur más acusada que la norte, con innumerables hoyas entre colinas redondeadas en la mitad septentrional oeste, y un peñón abrupto de dirección SO-NE en el cuadrante noroccidental cuyas variaciones topográficas oscilan entre los 606 m.s.n.m. de el Monte Mesa en este cuadrante, los 528 m.s.n.m. del Pan de Azúcar, en la Loma La Cordillera en la zona central, y los 10 m.s.n.m. de la Laguna Salada próxima la localidad de Los Tocones en el sector este de la península.



La región corresponde a una formación montañosa situada en el extremo noreste de la República Dominicana, entre la Bahía de Samaná y la Bahía Escocesa. Se extiende en una dirección oeste-este a lo largo de 58 km. La anchura es variable: la mínima de 7.5 km desde Sánchez hacia el norte y la máxima de 18.5 km desde Los Cacaos en el sur, hasta Las Tres Puntas al norte. Casi toda el área de la Península de Samaná se encuentra ocupada por montañas relativamente bajas y escabrosas, caracterizándose por sus lomas de baja altura, promediando entre 300 y 600 metros.

Los principales ríos que de ella nacen son El San Juan y el Arroyo Limón, ambos de escasa longitud y caudal.

La población del área de estudio es de 71.856 habitantes, según la información del censo de 1993 a nivel de parajes, publicado por la Oficina Nacional de Estadística del Gobierno Dominicano, cuyos habitantes se distribuyen irregularmente por las poblaciones de la provincia de Samaná, como se indica en el cuadro 2.1.1:

Cuadro 2.2.1. Población de la unidad hidrogeológica distribuida por provincias según censo 1993

Provincia Samaná		Población en 1993 (*)			Población en 2001 (*)	
		Rural	Urbana	Total	Urbana	Total
Samaná (población total de la provincia)		52 094	23 159	75 253		90 800
Municipios	Santa Bárbara de Samaná	32 570	8 543	41 113	10 400	
	Sánchez	12 767	10 714	23 481	13 100	
Distrito Municipal	Las Terrenas	6 757	3 902	10 659		
<b>Municipios</b>	<b>Secciones</b>	<b>Parajes</b>		<b>Población total de parajes</b>		
Santa Bárbara de Samaná	Samaná	3		8 197		
	Acosta	15		4 617		
	Arroyo Barril	12		7 882		
	Las Galeras	22		4 510		
	Los Cacaos	10		4 719		
	Honduras	20		4 041		
	Juana Vicenta	19		3 264		
	El Limón	10		3 137		

Provincia Samaná		Población en 1993 (*)			Población en 2001 (*)	
		Rural	Urbana	Total	Urbana	Total
<i>Total</i>	<i>8</i>	<i>111</i>		<i>40 367</i>		
Sánchez	Sánchez	4		9 537		
	La Majagua	13		5 110		
	Las Garitas	6		3 783		
	Majagual	9		3 114		
<i>Total</i>	<i>4</i>	<i>32</i>		<i>21 544</i>		
Las Terrenas D.M.	Las Terrenas	1		3 591		
	El Jaimito	7		3 638		
	El Cosson	4		1 080		
	La Barbacoa	4		1 636		
<i>Total</i>	<i>4</i>	<i>16</i>		<i>9 945</i>		
<b>Población total de la provincia en la unidad</b>				<b>71 856</b>		

\* Población total de la provincia, según información obtenida de la página de internet ([www. one.gov.do](http://www.one.gov.do))

Por último y desde el punto de vista de las comunicaciones, todos los accesos a la unidad se realizan desde la carretera principal de Nagua a Sánchez por el extremo oriental de la península.

## **2.2. CARACTERÍSTICAS OROGRÁFICAS E HIDROLÓGICAS**

El área que comprende la unidad hidrogeológica de Samaná se sitúa dentro de la Península de Samaná, contigua a la U.H. del Valle del Cibao, y separada de la Cordillera Septentrional por el istmo de Samaná, (faja pantanosa, conocida por el nombre de Pantanos del Gran Estrecho). Se trata de una pequeña península alargada en dirección O-E de aproximadamente 55 km de larga por 12 de ancha, formada por una sierra central también en dirección O-E, diseccionada por numerosas vaguadas conformada a su vez por numerosas lomas, la cual está formada en ambos extremos por materiales calizos y al centro por esquistos. Presenta, en la parte sur, desde Sánchez hasta las proximidades de Samaná, una angosta faja costera que asume

rápidamente pendientes pronunciadas y que se corta por el macizo montañoso. En el extremo norte se forman algunos valles costeros, siendo el más importante el Valle de Guázuma. En el extremo oriental presenta una importante zona de terrenos con topografía llana a ondulada y suelos de textura ligera. En las pendientes de la porción suroeste, que corresponden a materiales coluviales del macizo kárstico. El relieve central desciende de cota hacia el norte y sur, formando playas en la línea de costa, excepto en el sector nororiental, en el cual sobresale de la península un peñón de dirección SO-NE en el cual se observan las mayores cotas de la península (606 m.s.n.m.). Además, el sector noroccidental se caracteriza por un relieve en forma de cerros o mogotes de unos 30 a 40 metros de altura, con altitudes medias entre 200 a 300 m.s.n.m.

En el borde costero norte de la península se han formado valles, como los de los ríos San Juan y Limón, en los que se presentan suelos de textura mediana y mal drenaje. En este mismo borde costero es donde se han formado las principales playas costeras, como efecto de la continua deposición marina. Las más importantes están situadas en el extremo occidental, en Jackson; también son de extensión apreciable las situadas en Punta El Astillero, Boca del Río Limón, Playa de las Canas, Punta de San Juan y Punta Frillet.

En la península hay numerosos arroyos y ríos, aunque poco caudalosos y de corto recorrido. La mayoría desemboca en la vertiente sur (por ejemplo, Santa Capuza, Río Majagual, Los Róbalos, Pueblo Viejo, etc.), pero los de mayor importancia por su longitud y caudal desembocan en la vertiente norte (Río Limón, Cantón, San Juan, El Cossón y Balatá, por ejemplo).

En cuanto a las características hidrológicas, dentro de la unidad se diferencian cuatro zonas:

- El sector suroccidental, en el cual los arroyos que nacen en el borde meridional de la unidad descargan fuera de ella, en la margen izquierda de la cuenca del río Yuna.
- El sector meridional, en el cual la red hidrográfica nace en la mitad del borde meridional de la unidad, de escaso recorrido, descarga hacia la Bahía de Samaná.
- El cuadrante noroccidental, que debido a su morfología tipo karst, los arroyos son de pequeña entidad y descargan directamente al océano Atlántico.
- El cuadrante nororiental, donde aparecen los tres ríos más largos de la península, los cuales nacen en la mitad norte meridional y descargan en dirección sur-norte hacia el océano Atlántico.

### **2.3. ESTRUCTURA ADMINISTRATIVA Y DEMOGRÁFICA**

Desde el punto de vista administrativo, el área de estudio se sitúa dentro de la región Norte o Cibao del país y, a su vez, formando parte de la subregión de San Francisco de Macoris, ocupando prácticamente todo el territorio de la provincia de Samaná.

En lo referente a distribución de municipios, en el área de estudio se incluyen dos términos municipales y un distrito municipal. A estos municipios comprenden un total de 16 secciones y 159 parajes, cuya distribución, por términos municipales, se presenta en el cuadro 2.3.1.

Cuadro 2.3.1. Distribución de municipios, secciones y parajes, dentro del área de estudio

<b>PROVINCIA</b>	<b>TERMINOS MUNICIPALES</b>	<b>DISTRITOS MUNICIPALES</b>	<b>Nº de SECCIONES</b>	<b>Nº de PARAJES</b>	<b>POBLACIÓN (1993)</b>
Samaná	Santa Bárbara de Samaná		8	111	40 367
	Sánchez		4	32	21 544
		Las Terrenas	4	16	9 945
<b>Total población en la unidad</b>					<b>71 856</b>

El incremento de población es variable según los datos consultados, así pues, la FAO incrementa la población en 1.7% en el período 1990/1997 para todo el país y el incremento obtenido de los datos de población entre los años 1993 y 2001 publicados por la Oficina nacional de Estadística del Gobierno Dominicano, en el área de estudio es del 2.58% anual en la provincia que se encuentra dentro de la unidad, estimándose una población de unos 92 249 habitantes, según se indica en el cuadro 2.3.2.

En cuanto a su distribución, la mayor parte (56.18%) se integra en el municipio de Santa Bárbara de Samaná (51823 habitantes), el 29.98% en el término de Sánchez (27658 habitantes) y el 13.84% restante en el distrito municipal de Las Terrenas (12 768 habitantes).

La densidad de población en el área de estudio es de 154 hab/km<sup>2</sup>, muy próxima a la media del país de 168 hab/km<sup>2</sup>.

Cuadro 2.3.2. Población estimada por municipios para el año 2004

PROVINCIA	TERMINOS MUNICIPALES	DISTRITOS MUNICIPALES	Nº de SECCIONES	Nº de PARAJES	POBLACIÓN (2004)
Samaná	Santa Bárbara de Samaná		8	111	51 823
	Sánchez		4	32	27 658
		Las Terrenas	4	16	12 768
<b>Total población en la unidad</b>					<b>92 249</b>

En cuanto al número de habitantes por subunidades hidrogeológicas, queda recogido en los cuadros 2.3.3. a 2.3.6.

Cuadro 2.3.3. Población de la subunidad Calizas de Naranjito

SUBUNIDAD CALIZAS DE NARANJITO	Provincia de Samaná			Población en 1993	Población en 2004
	Municipios	Secciones	Parajes		
Santa Bárbara de Samaná		Honduras	3	225	289
		Juana Vicenta	18	3 264	4 190
		El Limón	10	3 137	4 027
	<i>Total</i>	<i>3</i>	<i>31</i>	<i>6 626</i>	<i>8 506</i>
Sánchez		La Majagua	2	461	592
		Majagual	5	633	813
		<i>Total</i>	<i>2</i>	<i>7</i>	<i>1 094</i>
Las Terrenas		Las Terrenas	1	3 591	4 610
		El Jaimito	7	3 638	4 670
		El Cosson	4	1 080	1 387
		La Barbacoa	4	1 636	2 100
		<i>Total</i>	<i>4</i>	<i>16</i>	<i>9 945</i>
<b>Población total en la subunidad</b>				<b>17 665</b>	<b>22 678</b>

Cuadro 2.3.4. Población de la subunidad Mármoles de Los Guanos-Atravesada

SUBUNIDAD MÁRMOLES DE LOS GUANOS-ATRAVESADA	Provincia de Samaná			Población en 1993	Población en 2004
	Municipios	Secciones	Parajes		
	Santa Bárbara de Samaná	Acosta	15	4 617	5 927
	Las Galeras	5	1 469	1 886	
	Honduras	5	1 763	2 263	
	<i>Total</i>	<i>3</i>	<i>7 849</i>	<i>10 077</i>	
<b>Población total en la subunidad</b>			<b>7 849</b>	<b>10 077</b>	

Cuadro 2.3.5. Población de la subunidad Calizas de las Galeras

SUBUNIDAD CALIZAS DE LAS GALERAS	Provincia de Samaná			Población en 1993	Población en 2004
	Municipios	Secciones	Parajes		
	Santa Bárbara de Samaná	Las Galeras	17	3 041	3 904
	Los Cacaos	9	4 430	5 687	
	<i>Total</i>	<i>2</i>	<i>7 471</i>	<i>9 591</i>	
<b>Población total en la subunidad</b>			<b>7 471</b>	<b>9 591</b>	

Cuadro 2.3.6. Población de la subunidad Conglomerados de Samaná-Majagual

SUBUNIDAD CONGLOMERADOS DE SAMANÁ- MAJAGUAL	Provincia de Samaná			Población en 1993	Población en 2004
	Municipios	Secciones	Parajes		
Samaná		Samaná	3	8 197	10 523
	Santa Bárbara de Samaná	Arroyo Barril	12	7 882	10 119
		Los Cacaos	1	289	371
		Honduras	12	2 053	2 636
		<i>Total</i>	<i>8</i>	<i>111</i>	<i>18 421</i>
Sánchez		Sánchez	4	9 537	12 244
	Sánchez	La Majagua	11	4 649	5 968
		Las Garitas	6	3 783	4 857
		Majagual	4	2 481	3 185
		<i>Total</i>	<i>5</i>	<i>32</i>	<i>20 450</i>
<b>Población total en la subunidad</b>			<b>38 871</b>	<b>49 903</b>	

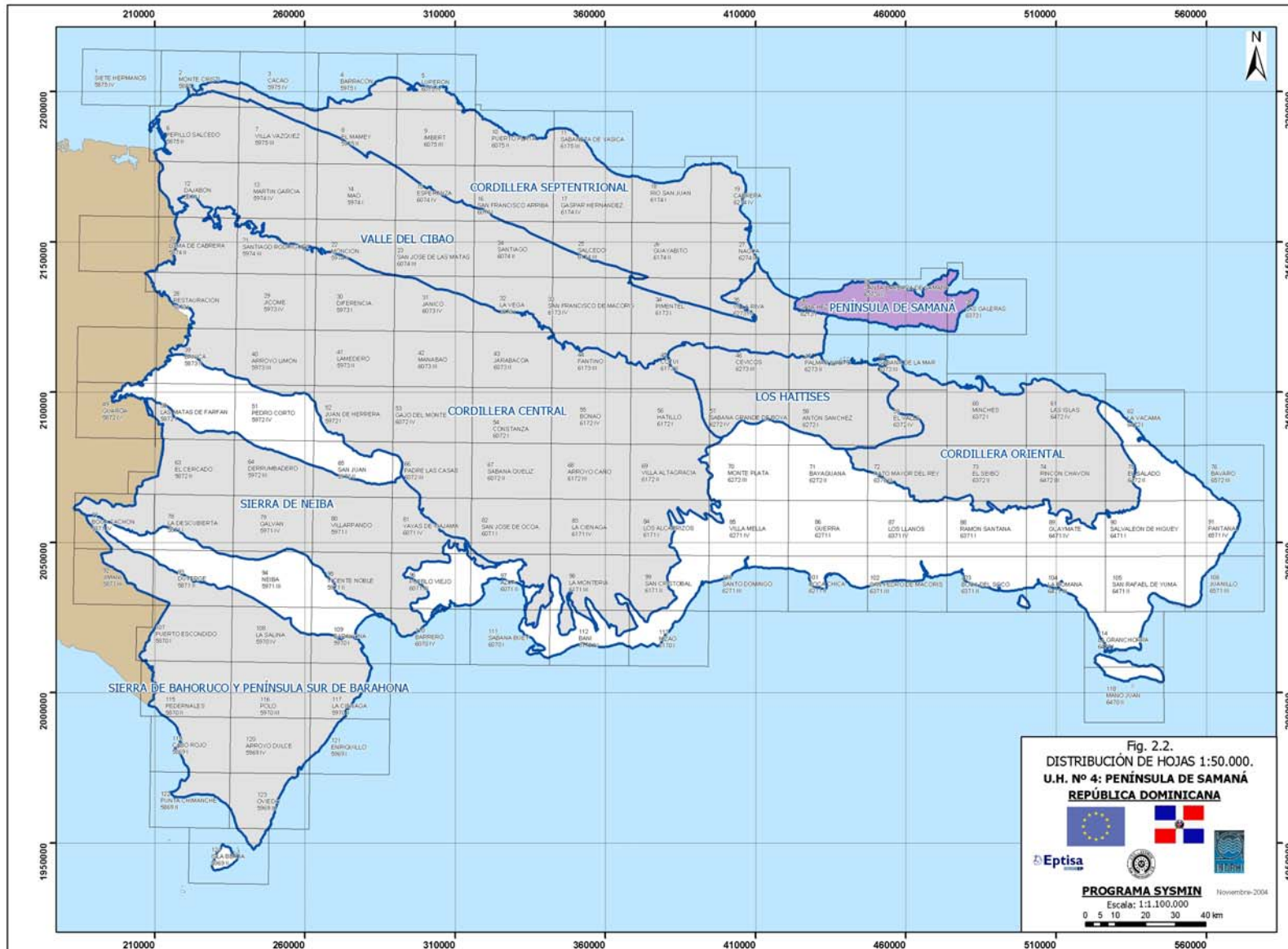
En cuanto a la distribución de la población por subunidades, la mayor parte (54.10%), se integra en la subunidad Conglomerados de Samaná-Majagual (49 903 habitantes), el 24.58% en la subunidad Calizas de Naranjito (22 678 habitantes), el 10.92% en la subunidad Mármoles de Los Guanos-Atravesada (10 077 habitantes), el 10.40% en la subunidad Calizas de Las Galeras (9 591 habitantes).

Finalmente, en lo referente a la distribución de hojas topográficas (Figura 2.1), la U.H. Samaná se incluye, de forma parcial, en las siguientes 3 hojas topográficas a escala 1:50.000 (de oeste a este):

- Hoja nº 36 Sánchez 6273 I
- Hoja nº 37 Santa Bárbara de Samaná 6373 IV
- Hoja nº 38 Las Galeras 6373 I







### **3. ESTUDIO AGRONÓMICO EN LA UNIDAD DE LA PENÍNSULA DE SAMANÁ**

#### **3.1. INTRODUCCIÓN**

La práctica totalidad de la superficie bajo riego en la República Dominicana está constituida por Sistemas de Riego Públicos (SRP) divididos en pequeños (menores de 1 000 ha) y grandes (mayores de 1 000 ha), bajo la gestión del INDRHI. Esta clasificación también coincide con los sistemas de riego tradicionales y modernos, respectivamente. Los primeros ocupan una superficie cercana a las 97 710 ha, y los segundos ocupan una extensión de 172 000 ha. Existen diez áreas administrativas denominadas Distritos de Riego (DR). Estos DR no coinciden en sus límites con las cuencas hidrográficas, ni con la poligonal de las unidades hidrogeológicas, estando compuestos por un total de 290 sistemas de riego, diferenciados generalmente por la fuente de suministro de agua. El número de usuarios de estos sistemas de riego asciende a un total de 69 652.

El distrito de riego está subdividido en zonas y las zonas en sectores. El sector es la última expresión territorial y en su perímetro están comprendidas distintas haciendas. La hacienda está subdividida luego en parcelas de riego de 15 tareas (aproximadamente 1 ha) de extensión promedio cada una.

Se entienden por superficies agrarias aquéllas actualmente cultivadas o aquéllas que revelan haberlo sido hasta hace algunos años atrás, en estos casos es difícil efectuar una precisa delimitación de las superficies agrícolas, en cuanto se encuentran áreas muy extensas que han sido parcialmente cultivadas por algunos años y luego han sido abandonadas al bosque hasta la reconstitución de una cierta fertilidad.

#### **3.2. DISTRITOS DE RIEGO**

Dentro de la unidad, se encuentra parte del distrito de riego del Bajo Yuna, uno de los diez en que esta dividido el territorio del país. Este distrito a su vez está dividido en zonas y subzonas de riego (Nagua, Aglipo, Limón del Yuna y Villa Rivas), en las cuales encontramos sistemas de riego, diferenciados generalmente por la fuente de suministro de agua.

En la U.H. de Samaná tan solo existen 563.45 hectáreas de terreno dedicados a la agricultura.

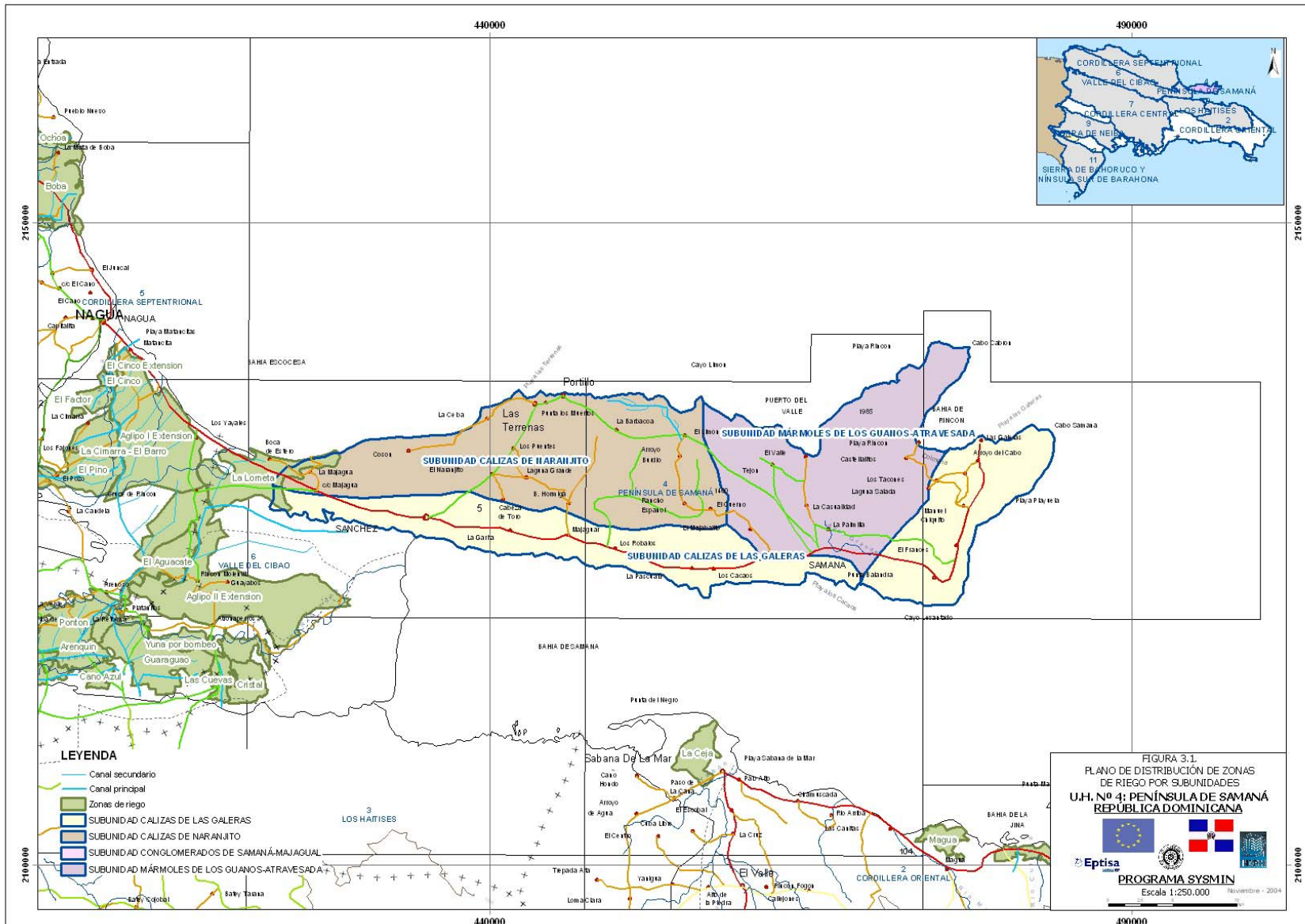
En el cuadro 3.2.1. se presenta la información del sistema de riego que encontramos dentro de la unidad, con su denominación, superficie de riego y fuente de suministro de agua.

En la figura 3.1 se observa la distribución espacial del sistema y canales de riego por subunidades hidrogeológicas

Cuadro 3.2.1. Sistema de riego dentro de la unidad de Samaná

<b>Distrito de Riego</b>	<b>Zona de Riego</b>	<b>Sistema de Riego</b>	<b>Superficie irrigada (ha)</b>	<b>Fuente suministro de agua</b>
Bajo Yuna	Nagua	La Lometa	563,45	Caño Gran Estero

La zona de riego de Nagua se encuentra a una altitud entre los – 2 y los 20 m.s.n.m., el relieve de la zona es suave, con pendientes que varían entre 0 y 1.5%. Los suelos varían desde superficiales hasta profundos, con texturas ligeras, francas y pesadas, con predominancia de suelos con texturas medianas. En general, presentan problemas de drenaje interno.



### **3.3. USO AGRÍCOLA ACTUAL**

A continuación se detalla el uso agrícola de la zona regada dentro de la unidad.

- En las zonas de riego del distrito del Bajo Yuna los cultivos que ocupan la mayor extensión son el arroz y, de forma residual, la yautia y la batata.

En la zona de riego de Nagua y en concreto en el sistema de riego de la Lometa se localiza un área entorno a la sección de la Majagua del municipio de Sánchez, en la cual el cultivo principal es el arroz, realizando dos ciclos agrícolas durante el año (ciclo de invierno y ciclo de verano). Las técnicas de cultivo son iguales para ambos, siembra en almáciga y trasplante (en algunas zonas) 45 días después en un terreno preparado adecuadamente para el riego por sumersión, a veces el cultivo se repite sin rotaciones.

Los rendimientos oscilan para el cultivo estival alrededor de 32 quintales por ha (2 q por tarea) y 18 q por ha (1.12 q por tarea) para la segunda cosecha; para el cultivo otoño-invernal 50 q por ha (3.12 q por tarea). Los rendimientos del arroz varían notablemente según las variedades (desde el momento que las semillas son muy impuras, más que de variedad sería mejor hablar de tipos).

El riego de esta zona se efectúa con aguas superficiales procedentes del Caño Gran Estero.

Como consecuencia, se establecen dos usos agrícolas de la tierra:

- 1 – Arroz (Primer ciclo)
- 2 – Arroz (Segundo ciclo)

El calendario de cultivo de los distintos productos que se dan en la zona de riego de este distrito dentro de la unidad, queda recogido en el siguiente cuadro:

Cuadro 3.3.1. Calendario de los cultivos zona de Nagua

<b>cultivos</b>	<b>N</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>F</b>	<b>M</b>	<b>A</b>	<b>M</b>	<b>J</b>	<b>J</b>	<b>A</b>	<b>S</b>	<b>O</b>
arroz												
arroz												
yautia												
batata												

### **3.4. DEMANDAS DE AGUA PARA RIEGO**

Las demandas de agua para riego dependen de las necesidades hídricas de cada cultivo, las cuales se han obtenido del documento del Estudio Hidrogeológico Nacional de la República Dominicana del año 2000. En dicho estudio, el cálculo de los volúmenes de agua necesarios para cada tipo de cultivos en los distintos distritos de riego se determinó mediante la realización de un balance hídrico agronómico promedio para cada tipo de cultivo.

Este balance, requirió información sobre los suelos, clima y, sobre todo, de las características de los cultivos.

Para calcular las demandas de agua de cada cultivo por área fue necesario conocer: el área a regar, el programa de cultivos, el ciclo vegetativo de cada cultivo, las precipitaciones y demás aportes hídricos, y la eficiencia total del sistema de riego.

El balance hídrico ha permitido determinar los probables volúmenes de agua que pueden ser utilizados por los cultivos para cada una de las zonas de riego que se incluyen dentro de la unidad, como queda reflejado en el cuadro 3.4.1.

Cuadro 3.4.1. Volúmenes de agua que pueden ser utilizados por los cultivos para cada una de las zonas de riego.

Tipo de cultivo	Zonas de riego
	Nagua
	Demanda de agua en m <sup>3</sup> /ha/año
arroz	7 072
yautia	6 865
batata	5 170

Una vez obtenidas las demandas de agua necesarias para cada tipo de cultivo en las diferentes zonas de la unidad, se elaboró el promedio del movimiento agrícola (datos obtenidos del documento "Resumen Nacional del Movimiento Agrícola en las Áreas de Cultivo Bajo Riego" correspondiente al periodo agrícola 01/02. y 02/03), considerando para cada especie la superficie sembrada y aquellas bajo siembra al final de cada año agrícola. El valor obtenido así, se indica en el cuadro 3.4.2.

Cuadro 3.4.2. Promedio de superficie sembrada y cosechada en los dos últimos años en las zonas de riego que se incluyen dentro de la unidad

CULTIVOS	NAGUA (ha).	
	SEMBRADA	COSECHADA
Arroz F	11 043	11 659
Arroz R	1 779	0
Yautia	355	171
<b>TOTALES</b>	<b>13 178</b>	<b>11 830</b>

Obtenidas las superficies de cultivos sembradas por zonas de riego, e identificadas las superficies irrigadas por subunidades hidrogeológicas, según se indica en el cuadro 3.4.3. Se calcularon las demandas de agua medias por hectarea para cada una de las subunidades hidrogeológicas, obteniéndose el volumen total demandado por cada sistema de riego, según se indica en el cuadro 3.4.4.

Cuadro 3.4.3. Superficies irrigadas por subunidades hidrogeológicas

Subunidad	Distrito de Riego	Zona de Riego	Sistema de Riego	Superficie irrigada (ha)
Calizas de Naranjito	Bajo Yuna	Nagua	La Lometa	409.18
Conglomerados de Samaná-Majagual	Bajo Yuna	Nagua	La Lometa	154.27
<b>TOTAL DE SUPERFICIE IRRIGADA EN LA UNIDAD</b>				<b>563.45</b>

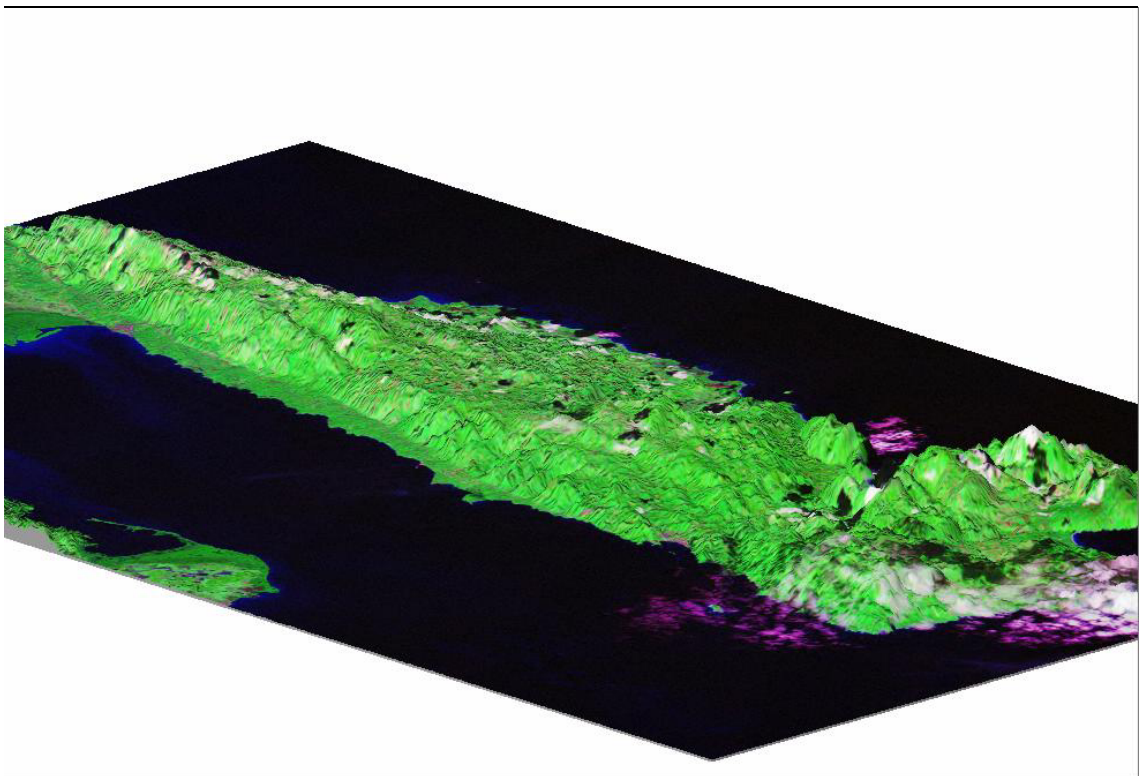
Cuadro 3.4.4. Volumen total de agua demandada por cada sistema de riego

Subunidad	Distrito de Riego	Zona de Riego	Sistema de Riego	Superficie irrigada (ha)	Demanda (m <sup>3</sup> /ha/año)	Total volumen (hm <sup>3</sup> /año)
Calizas de Naranjito	Bajo Yuna	Nagua	La Lometa	409.18	7 072	2.89
Conglomerados de Samaná-Majagual	Bajo Yuna	Nagua	La Lometa	154.27	7 072	1.09
<b>TOTAL DE SUPERFICIE IRRIGADA EN LA UNIDAD</b>				<b>563.45</b>		<b>3.98</b>

El volumen total de agua demandada para riego dentro de la unidad es del orden de 3.98 hm<sup>3</sup>/año, cuyo origen es, en su totalidad, de aguas superficiales.

La siguiente figura está tomada a partir de una imagen de satélite Landsat de la República Dominicana. Los colores rojizos muestran zonas de riego, que tal y como se aprecia en esta imagen, son prácticamente inexistentes dentro de los límites de esta unidad.

Figura 3.2. Imagen de satélite de la Península de Samaná.





## **4. CLIMATOLOGÍA E HIDROLOGÍA SUPERFICIAL**

### **4.1. CLIMATOLOGÍA**

El objetivo del estudio hidroclimático es la identificación, caracterización y cuantificación de los volúmenes hídricos relacionados con las variables climáticas en la zona de estudio. El planteamiento del estudio es eminentemente práctico, de forma que los resultados obtenidos son aplicables al modelo de funcionamiento hidrogeológico de la zona y, por tanto, al correspondiente balance hídrico.

Para alcanzar los objetivos propuestos se han realizado, de una forma consecutiva, las siguientes actividades:

- Selección de las estaciones pluviométricas y termométricas a utilizar.
- Restitución y completado de las series de datos pluviométricos de las estaciones seleccionadas para el periodo 1961-2003 y termométricos para el periodo 1977-1998.
- Análisis de los datos pluviométricos, considerando años tipo.
- Análisis de los datos termométricos.
- Cálculo de la evapotranspiración potencial.
- Cálculo de la evapotranspiración real y lluvia útil mediante el método del balance de agua en el suelo.

#### **4.1.1. Información de partida**

La información de partida que se ha empleado para la realización del presente estudio hidroclimático consiste en series de datos de precipitación y temperatura de las dos estaciones meteorológicas disponibles procedentes del INDRHI. Además de estas dos estaciones, existen otras dos (1703 – Hato Viejo y 1704 – La Laguna) situadas en zonas altas del centro de la península, de las que no se dispone de datos para la realización del estudio (ver Anexo 2). No existen estaciones que representen toda la zona del estudio, estando las dos estaciones utilizadas situadas en cotas bajas (7 y 17 m.s.n.m.) de manera que las zonas altas de la Península de Samaná, así como la zona norte, carecen de datos. Se ha considerado como parte del estudio una estación situada en la Unidad Hidrogeológica 06 Valle del Cibao, al oeste de la península de Samaná, para completar la falta de datos termométricos de la Unidad (estación

1814 – Barraquito). En la figura 4.1 se muestran las estaciones meteorológicas existentes en la unidad hidrogeológica de Península de Samaná.



#### **4.1.2. Aplicación informática**

El tratamiento de los datos de precipitación y temperatura, que permite obtener la lluvia útil, se ha realizado utilizando el conjunto de programas informáticos HIDROBAS, realizado por el Instituto Geológico y Minero de España y la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas de la Universidad Politécnica de Madrid. En la Memoria General se describe con detalle esta aplicación informática.

#### **4.1.3. Análisis de la precipitación**

##### 4.1.3.1. Estaciones pluviométricas utilizadas

Para la realización del presente estudio se han utilizado las series mensuales de precipitación de dos estaciones meteorológicas (ver figura 4.1), ambas situadas en la Unidad Hidrogeológica 04: Península de Samaná. En el cuadro 4.1.1 se enumeran las estaciones utilizadas, con sus principales datos de localización.

Cuadro 4.1.1. Estaciones pluviométricas seleccionadas

<b>CÓDIGO</b>	<b>NOMBRE DE LA ESTACIÓN</b>	<b>TIPO(*)</b>	<b>LATITUD</b>	<b>LONGITUD</b>	<b>ALTITUD(m)</b>
1071	SAMANÁ	LD	19° 12' 0"	69° 20' 0"	7
1072	SANCHEZ	LD	19° 13' 0"	69° 36' 0"	17

(\*) LD: Estación pluviométrica

##### 4.1.3.2. Módulos pluviométricos anuales y años tipo

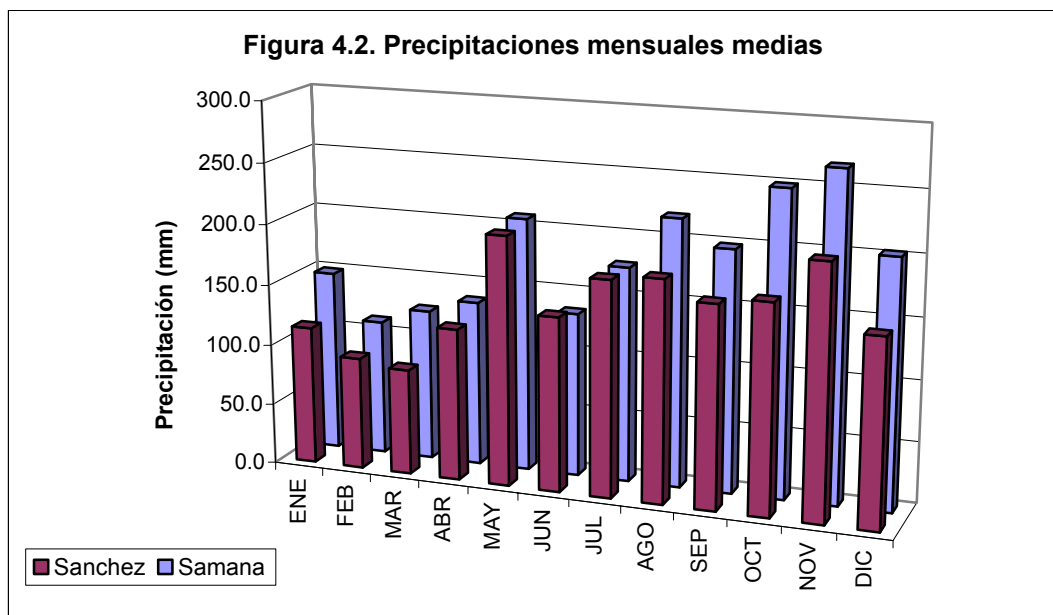
El período de años considerado para el estudio de la precipitación es de 1961 a 2003, ambos incluidos, lo que representa un total de 43 años.

Las series originales de precipitación se pueden ver en la Documentación Complementaria. Para cubrir las lagunas de información de las series se procedió a su completado, que se realizó con una corrección ortogonal entre estaciones. Las series mensuales tratadas y completas de precipitación total de las dos estaciones para el período de 43 años considerado se encuentran en el Anexo 3.1. Los módulos pluviométricos anuales para cada estación en el período de años considerado se observan en el cuadro 4.1.2, donde se obtiene una media de precipitación en la zona de estudio de 1997.9 mm.

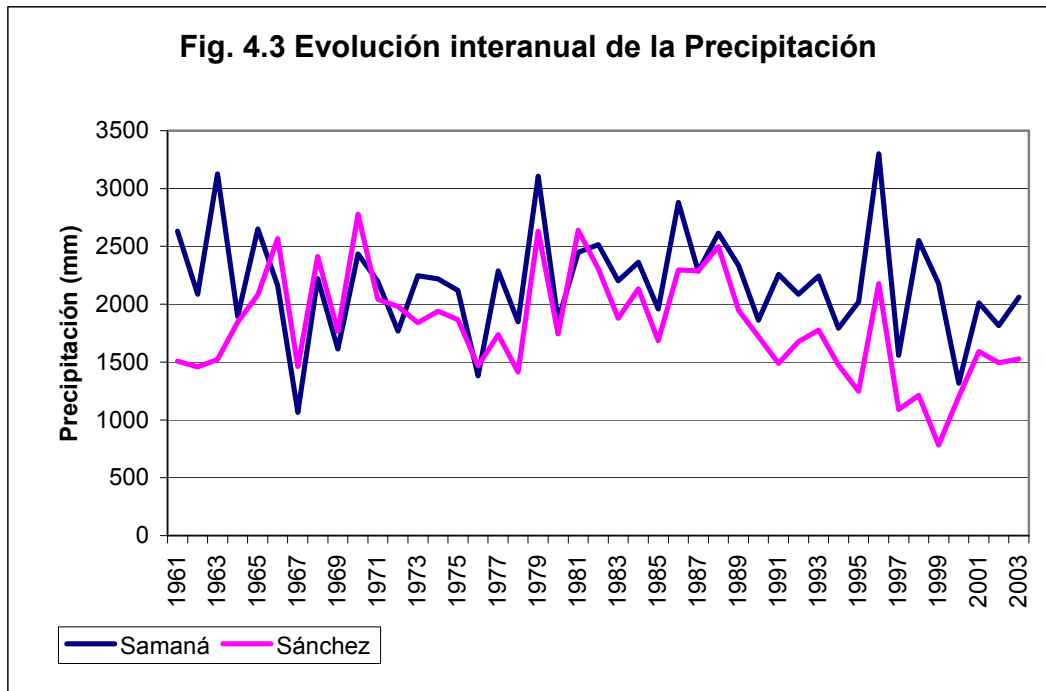
Cuadro 4.1.2. Módulo pluviométrico anual (en mm)

INDICATIVO	NOMBRE DE LA ESTACIÓN	MÓDULO PLUVIOMÉTRICO ANUAL (mm)
1701	SAMANÁ	2176.0
1702	SANCHEZ	1819.9
	MEDIA	1997.9

En la figura 4.2. se representa la distribución mensual de la precipitación de las dos estaciones: 1701- Samaná (7 m.s.n.m) y 1702- Sánchez (17 m.s.n.m.). Puede observarse que la distribución mensual de las precipitaciones presenta un régimen bimodal, con un pico máximo en noviembre y otro en mayo. Los meses más secos son febrero y marzo. La estación de Samaná (1701) presenta los valores más elevados de pluviometría, tanto en los meses más lluviosos como en los más secos.



La evolución interanual de la precipitación en las estaciones de Samaná y Sánchez para los 43 años analizados, se representa en la figura 4.3. En general, la pluviometría evoluciona de forma similar en las dos estaciones seleccionadas.



Para la definición de los años tipo (seco, medio y húmedo) de cada estación se han ajustado las series de valores de precipitación total anual obtenidas para cada estación a una distribución de Goodrich. Aquellos años con un valor de pluviometría anual menor que el correspondiente a la probabilidad de 0.35 son considerados secos, y aquellos con una pluviometría mayor que la correspondiente a la probabilidad de 0.65 se consideran húmedos. En el Anexo 3.1 se presentan las series de los años tipo para cada una de las estaciones, con indicación de los valores medios mensuales que conforman el año tipo medio (toda la serie), año tipo seco (años secos) y año tipo húmedo (años húmedos). Los valores anuales de precipitación para los años tipo de cada estación se presentan en el cuadro 4.1.3.

Cuadro 4.1.3. Precipitación anual (en mm) para los años tipo

<b>CÓDIGO</b>	<b>NOMBRE DE LA ESTACIÓN</b>	<b>AÑO SECO</b>	<b>AÑO MEDIO</b>	<b>AÑO HÚMEDO</b>
1071	SAMANÁ	1671.0	2176.0	2718.0
1072	SANCHEZ	1372.3	1819.9	2376.3
	MEDIA	1521.7	1998.0	2547.2

#### 4.1.4. Análisis de la temperatura

Para la realización del presente estudio ha sido utilizada la serie de temperaturas medias mensuales de una estación climática. No se dispone de datos de ninguna estación con datos termométricos en la unidad hidrogeológica de Samaná, por lo que se han utilizado aquellos de la estación climática más cercana, es decir, la estación 1814 Barraquito (figura 4.4) situada en la Unidad Hidrogeológica de 06 Valle del Cibao, al oeste de la Unidad Hidrogeológica de Samaná. El período de años considerado es de 20 años, entre 1977 y 1998. La estación utilizada, así como sus principales datos de localización, se indican en el cuadro 4.1.4.

Cuadro 4.1.4. Estaciones termométricas

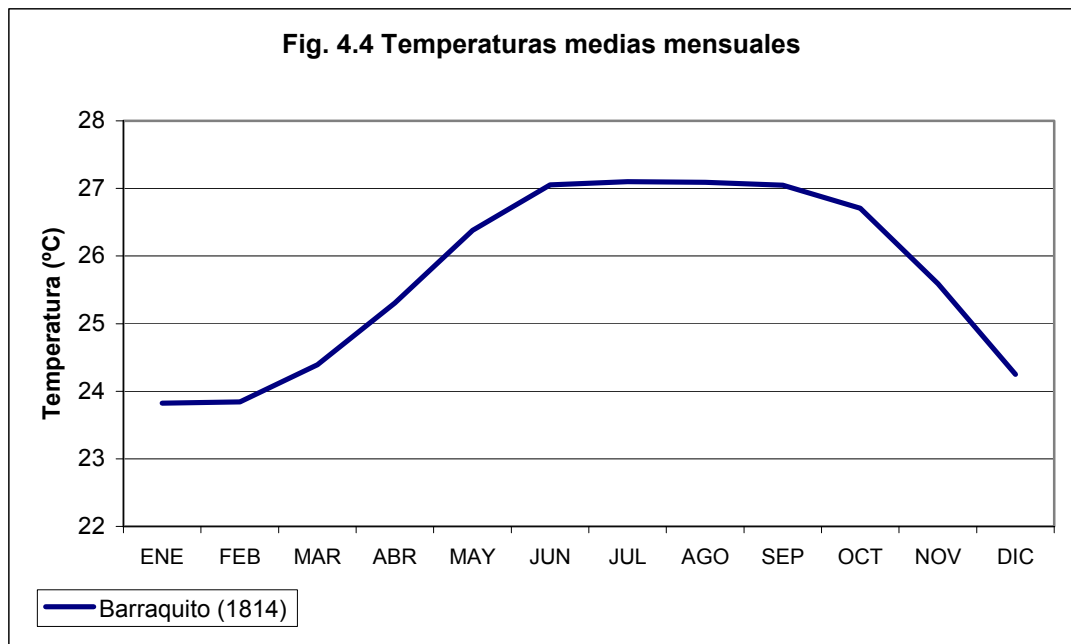
CÓDIGO	NOMBRE DE LA ESTACIÓN	LATITUD	LONGITUD	ALTITUD (m)
1814	BARRAQUITO	19° 7' 50"	69° 47' 20"	8

Los datos de esta estación han sido tomados del estudio de la Unidad Hidrogeológica 03 – Los Haitises. En la Documentación Complementaria se presenta la serie de temperatura media original, mientras que en el Anexo 3.2 se muestra esta serie mensual tratada y completa para el período considerado. Los valores medios anuales de temperatura para la estación seleccionada se presenta en el cuadro 4.1.5.

Cuadro 4.1.5. Temperatura media anual

CÓDIGO	NOMBRE DE LA ESTACIÓN	TEMPERATURA MEDIA ANUAL (°C)
1814	BARRAQUITO	25.7

En la figura 4.4. se muestra la distribución mensual de las temperaturas medias para la estación de Barraquito. Los meses de enero y febrero son los meses más fríos y de junio a septiembre los meses más cálidos.



#### 4.1.5. Evapotranspiración y lluvia útil

##### 4.1.5.1. Evapotranspiración potencial

La evapotranspiración potencial (ETP) ha sido calculada utilizando el método de Hargreaves que, comparándolo con otros métodos, se considera apropiado para zonas tropicales. Con este método se obtiene el valor de la ETP mensual a partir de la temperatura media mensual, la media mensual de las temperaturas máximas diarias y de las mínimas diarias, y la radiación solar extraterrestre. En la Memoria General se describe este método empírico con más detalle. En el Anexo 3.3 se resumen los valores mensuales de temperatura y ETP para la estación considerada. Dicha ETP ha sido calculada utilizando la hoja de cálculo diseñada en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos de la Universidad Politécnica de Madrid.

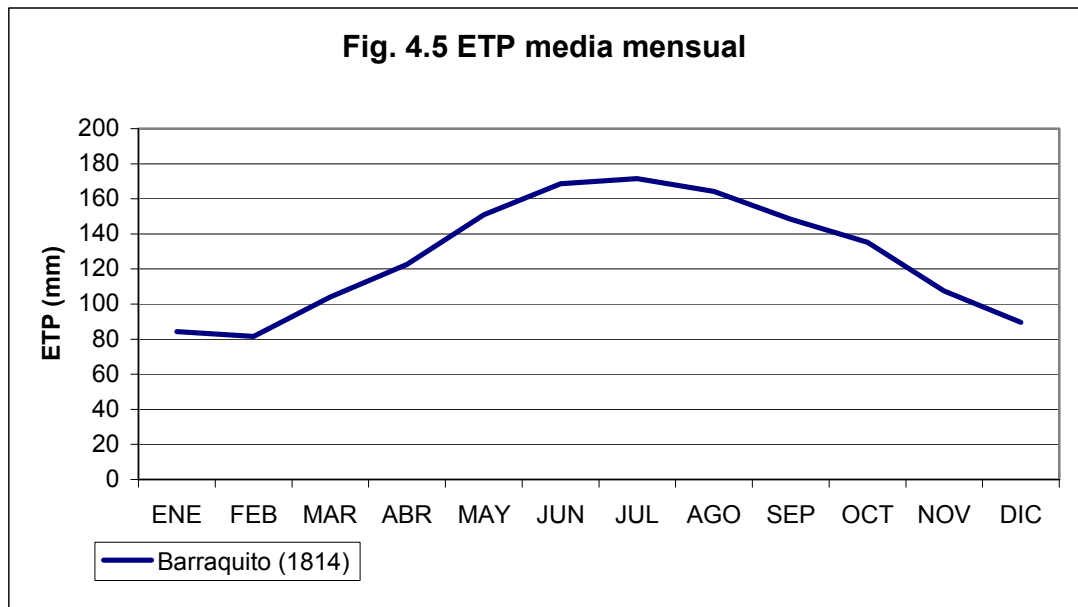
Los valores de la ETP media anual para la estación termométrica considerada se presenta en el cuadro 4.1.6. La ETP media de la zona es de 1632.4 mm.

Cuadro 4.1.6. Evapotranspiración potencial media anual

INDICATIVO	NOMBRE DE LA ESTACIÓN	ETP MEDIA ANUAL (mm)
1814	BARRAQUITO	1632.4



En la figura 4.5 se puede observar la distribución mensual de la ETP para la estación de Barraquito. Siguiendo una distribución muy similar a la temperatura mensual, los valores mínimos de ETP se encuentran en enero y febrero, mientras que los máximos aparecen entre junio y agosto.



#### 4.1.5.2. Evapotranspiración real y lluvia útil

Para el establecimiento de la evapotranspiración real (ETR) y de la lluvia útil o escorrentía total (superficial y subterránea) se ha utilizado el método del Balance Mensual de Agua en el Suelo, utilizando la ETP según Hargreaves y considerando varias hipótesis de reserva máxima de agua en el suelo. La aplicación de este método requiere la confrontación de los datos pluviométricos con los termométricos o los correspondientes a la ETP, de manera que tanto a la estación de Sánchez como a la de Samaná se les asignan aquellos valores pertenecientes a la estación de Barraquito.

El cálculo del Balance Mensual de Agua en el Suelo ha sido realizado para las dos estaciones pluviométricas consideradas, utilizando sus respectivas series de valores mensuales de precipitación para cada uno de los años tipo (medio, seco y húmedo), y las series mensuales de ETP calculadas por el método de Hargreaves. El programa permite la introducción de cinco hipótesis de reserva máxima de agua en el suelo o capacidad de campo. Se han tomado los valores 0, 25, 50, 75 y 100 mm como representativos de los posibles suelos desarrollados sobre los materiales presentes en la zona. En la Documentación Complementaria se encuentran los

resultados del balance hídrico mensual de cada una de las estaciones, para cada uno de los tres años tipo y de las hipótesis de reserva de agua en el suelo. En la Memoria General se describe este método de cálculo de la lluvia útil con detalle.

En este punto es necesario puntualizar que los datos de lluvia útil obtenidos están referidos a balances mensuales, de manera que a nivel diario ha podido generarse escorrentía y que esta no se detecte en el balance mensual. De esta manera, en aquellas estaciones donde el balance de agua en el suelo determina que su lluvia útil es cero, no quiere decir que no se genere escorrentía alguna.

En el Anexo 3.4 se encuentran, como resumen de valores anuales, los resultados obtenidos correspondientes a la ETR, lluvia útil y coeficiente de escorrentía para cada estación pluviométrica, según las diferentes capacidades de campo y los años tipo. La capacidad de campo que se aplica a cada estación se realiza en base al conocimiento geológico y edafológico de la zona en la que se sitúa.

En las figuras 4.6 y 4.7 se presenta la distribución mensual de estos datos, que conforman el balance de agua en el suelo, para las dos estaciones. La lluvia útil en los años secos en la estación de Sánchez es inexistente, aunque hay que tener en cuenta la consideración hecha anteriormente sobre el carácter mensual de los balances aquí expuestos. La lluvia útil en la estación de Samaná es superior a la calculada en la estación de Sánchez

Figura 4.6. Balance de agua en el suelo. Estación 1701 – SAMANÁ CC= 50 mm

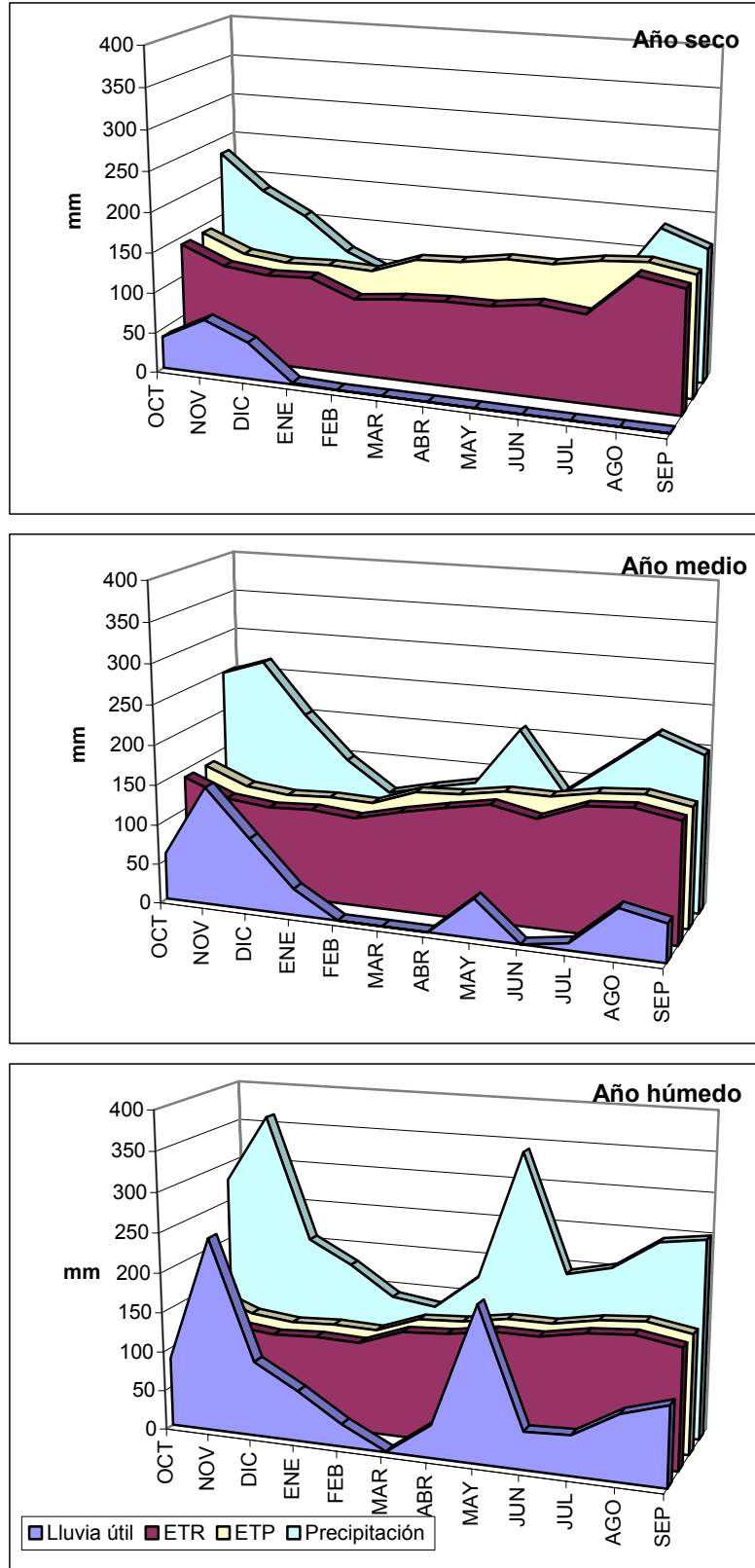
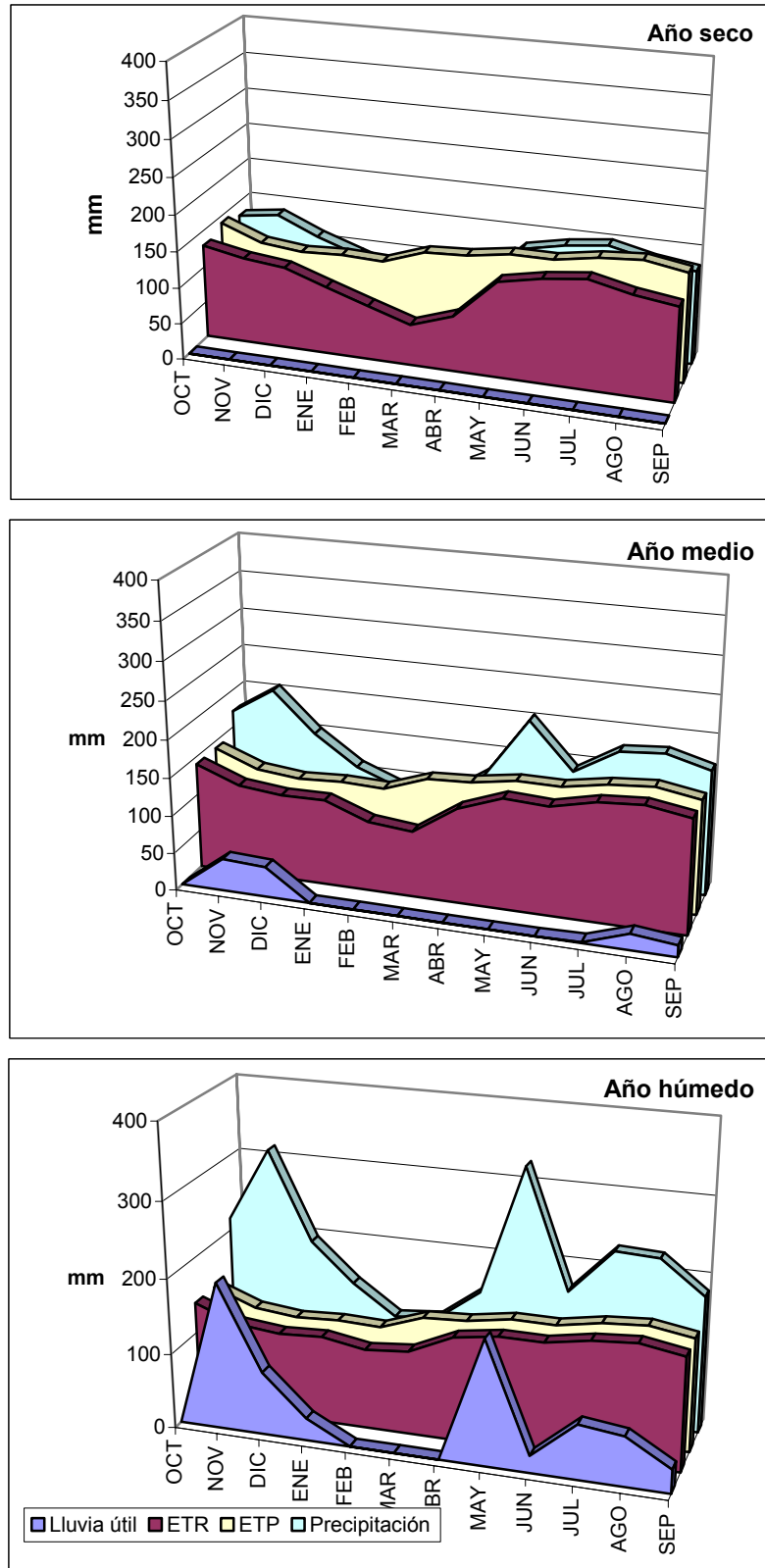


Figura 4.7. Balance de agua en el suelo. Estación 1702 – SÁNCHEZ CC= 75 mm



En el cuadro 4.1.7 se resumen los valores de lluvia útil obtenidos para cada una de las subunidades hidrogeológicas y para cada año tipo. Estos valores se han obtenido multiplicando el valor de lluvia útil entre isolíneas por la superficie de los afloramientos permeables.

Cuadro 4.1.7. Lluvia útil anual (mm) para las subunidades hidrogeológicas

<b>Subunidades</b>	<b>Año medio</b>	<b>Año húmedo</b>	<b>Año seco</b>
<i>Calizas de las Galeras</i>	534	1076	191
<i>Calizas de Naranjito</i>	479	1023	153
<i>Conglomerados de Samaná</i>	477	1022	193
<i>Mármoles de los Guanos</i>	534	1076	180
<b>MEDIA DE LA UNIDAD (*)</b>	<b>506</b>	<b>1049</b>	<b>179</b>

\* La Media de la unidad ha sido ponderada con la superficie de materiales permeables.

Estos valores de lluvia útil representan la escorrentía total en la zona. A partir de la descomposición de hidrogramas efectuada en aquellos puntos donde existen datos de aforo, se determinará qué parte de esta lluvia útil es escorrentía superficial y cual es subterránea.

## **4.2. HIDROLOGÍA SUPERFICIAL**

La infraestructura hidráulica de estaciones de aforo históricos del INDRHI es nula en esta unidad hidrogeológica.

En cuanto a la infraestructura de riego, esta unidad dispone de un único canal de riego principal del que parten una serie de canales secundarios. La longitud total de la red de canales (tanto principales como secundarios) es de 12 894 Km. La denominación de los canales principales, así como su longitud y la de sus secundarios queda descrito en el siguiente cuadro 4.2.1:

Cuadro 4.2.1. Canales principales

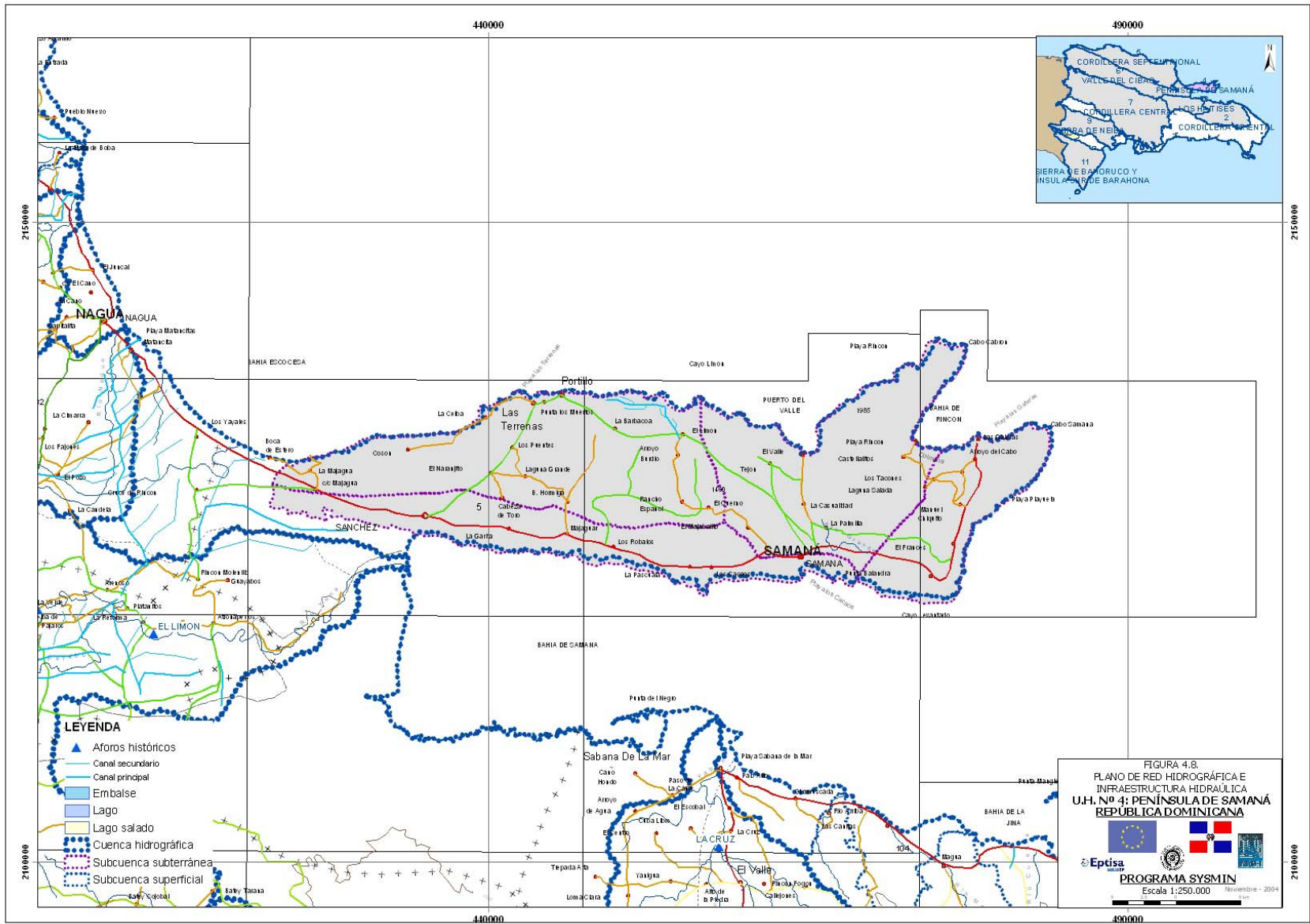
<b>NOMBRE DEL CANAL</b>	<b>LONGITUD (Metros)</b>
EL LIMÓN	7 509
OTROS	5 385
<b><i>TOTAL</i></b>	<b><i>12 894</i></b>

Dentro de los límites de la unidad no existen infraestructuras hidráulicas de regulación y almacenamiento de agua.

En la figura 4.8 puede verse la infraestructura hidráulica existente dentro de los límites de la unidad hidrogeológica.

### **4.2.1. Análisis de datos de aforos históricos**

No existe constancia de ningún punto de aforo de aguas superficiales, ni del INDRHI ni de ningún otro organismo competente, que aporten datos históricos de caudal de salida de la unidad hidrogeológica de la Península de Samaná, ya sea a través de cauces superficiales o de manantiales. Este hecho probablemente se deba a la escasa red hidrográfica existente en esta unidad hidrogeológica y a la poca entidad de sus cauces.



#### **4.2.2. Red foronómica del estudio: Resultados de las campañas realizadas.**

La red hidrográfica de la Península de Samaná está enormemente influenciada por la geomorfología existente. Se trata de una península estrecha y alargada que es consecuencia de un fuerte relieve longitudinal. La divisoria de agua se encuentra desplazada hacia el sur de la unidad, vertiendo los cauces de agua más importantes hacia el norte. La vertiente sur de la sierra central presenta unas fuertes pendientes con una red hidrográfica poco desarrollada, siendo en su mayoría cauces o arroyos temporales o permanentes de escasa entidad. Para el control foronómico de la Unidad Hidrogeológica de la Península de Samaná se han realizado medidas mensuales de caudal en 5 puntos de aforo (dos en la vertiente norte y 3 en la vertiente sur), cuyas características principales se describen a continuación.

En la figura 4.9 puede verse su distribución geográfica con respecto a la poligonal de la unidad hidrogeológica y sobre la base hidrogeológica de referencia. Asimismo, en la Documentación Complementaria se incluye una ficha de cada punto de aforo en la que además de sus datos generales de situación y descripción, aparecen los datos de caudal y medidas *in situ* tomados en cada una de las campañas realizadas. Asimismo en el Anexo 6 se incluyen los resultados de las mediciones de cada una de las campañas de aforo.

##### ***El Limón-1***

Este punto de aforo se sitúa en la zona central de la unidad hidrogeológica controlando la salida que se produce de la misma a través del río El Limón. Este cauce constituye una de las salidas de agua más importantes, drenando los materiales carbonatados del sector oeste de la unidad hidrogeológica.

<b>Coord X</b>	<b>Coord Y</b>	<b>Cuenca Hidrográfica</b>	<b>Nombre del río</b>
455002	2133048	Vertiente norte de la Península de Samaná	Río Limón

Los datos de caudal medidos en las sucesivas campañas oscilan entre 12.885 y 0.679 m<sup>3</sup>/s. El caudal medido en el mes de abril se considera anómalo por estar influenciado por las fuertes lluvias caídas en la zona días antes de la realización del aforo. Lo mismo ocurre con el caudal del mes de noviembre, cuya medida se realizó después de varios días de lluvias fuertes en la zona.



Considerándose que el resto de los caudales se han medido en condiciones normales, se aprecia un ascenso de los mismos entre los meses de noviembre y diciembre, con una reducción posterior de los mismos entre enero y marzo.

<b>DATOS DE CAUDAL (<math>m^3/s</math>)</b>												
<b>Oct</b>	<b>Nov</b>	<b>Dic</b>	<b>Ene</b>	<b>Feb</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>May</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Sep</b>	<b>Media Anual</b>
0.679	3.161	1.991	1.735	0.897	0.918	12.885	3.509	2.206	1.438	0.979	0.827	<b>2.60</b>

### **Grande-1**

Este aforo se localiza al norte de la Unidad Hidrogeológica controlando las salidas que se producen a través del arroyo Grande y el río San Juan. Ambos cauces drenan materiales de permeabilidades muy bajas, por lo que la mayor parte del caudal proviene de la escorrentía superficial producida por las abundantes precipitaciones de la zona.

<b>Coord X</b>	<b>Coord Y</b>	<b>Cuenca Hidrográfica</b>	<b>Nombre del río</b>
464542	2129967	Vertiente norte de la Península de Samaná	Río San Juan

El caudal medido en el mes de octubre se considera anómalo por haber sido aforado en un punto aguas arriba del actual que únicamente controlaba las aguas del arroyo Grande. Asimismo, al igual que ocurre con el anterior punto de aforo, los caudales medidos en los meses de noviembre y abril también se consideran anómalos, por estar influenciados por periodos de fuertes lluvias en la zona durante los días previos a la realización de las campañas de aforo. Entre los meses de enero y marzo se aprecia una ligera disminución de los caudales.

Los caudales controlados a lo largo del año hidrológico oscilan entre 0.568 y 1.904  $m^3/s$ .

<b>DATOS DE CAUDAL (<math>m^3/s</math>)</b>												
<b>Oct</b>	<b>Nov</b>	<b>Dic</b>	<b>Ene</b>	<b>Feb</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>May</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Sep</b>	<b>Media Anual</b>
0.043	1.389	0.909	0.936	0.715	0.616	1.904	1.997	0.881	0.626	0.568	0.584	<b>0.93</b>

### **Los Remedios-1**

Este punto de aforo se sitúa en la zona suroeste de la unidad, controlando el caudal que sale a través del río Santa Capuza. Se trata de un cauce con una cuenca de recepción muy pequeña, por lo que una parte importante de su caudal podría deberse a salidas difusas de aguas subterráneas procedentes de los materiales carbonatados que conforman esta zona de la sierra central de la unidad.

Coord X	coord. Y	Cuenca Hidrográfica	Nombre del río
440380	2126044	Vertiente sur de la Península de Samaná	Río Santa Capuza

La medida de caudal del mes de abril está influenciada por las fuertes precipitaciones ocurridas en la zona los días previos a la campaña de aforo. Los datos de caudal controlados en las distintas campañas varían entre 0.058 y 1.077 m<sup>3</sup>/s.

<b>DATOS DE CAUDAL (m<sup>3</sup>/s)</b>												
<i>Oct</i>	<i>Nov</i>	<i>Dic</i>	<i>Ene</i>	<i>Feb</i>	<i>Mar</i>	<i>Abr</i>	<i>May</i>	<i>Jun</i>	<i>Jul</i>	<i>Ago</i>	<i>Sep</i>	<b>Media Anual</b>
0.347	0.387	0.584	0.438	0.184	0.133	1.077	0.745	0.133	0.066	0.085	0.058	<b>0.35</b>

### ***Majagual***

Este punto de aforo se sitúa próximo al anterior y también controla las salidas que se producen de los materiales carbonatados a través del río Majagual. La cuenca de drenaje de este punto de aforo es bastante mayor que la del anterior, aunque no así los caudales medidos.

Coord X	coord. Y	Cuenca Hidrográfica	Nombre del río
445395	2125016	Vertiente sur de la Península de Samaná	Río Majagual

Al igual que ocurre en los anteriores puntos de aforo, los caudales controlados en las campañas de noviembre y abril están influenciados por las fuertes lluvias caídas en la zona durante los días previos a la realización de los aforos.

Las variaciones de caudal producidas a lo largo del año hidrológico controlado presentan oscilaciones importantes, existiendo periodos en los que el cauce está casi seco (0.03 m<sup>3</sup>/s), que contrastan con fuertes subidas en periodos más lluviosos (0.989 m<sup>3</sup>/s).

<b>DATOS DE CAUDAL (<math>m^3/s</math>)</b>												
<i>Oct</i>	<i>Nov</i>	<i>Dic</i>	<i>Ene</i>	<i>Feb</i>	<i>Mar</i>	<i>Abr</i>	<i>May</i>	<i>Jun</i>	<i>Jul</i>	<i>Ago</i>	<i>Sep</i>	<b>Media Anual</b>
0.147	0.989	0.278	0.180	0.060	0.030	0.857	0.696	0.08	0.47	0.027	0.019	<b>0.32</b>

### **Los Cocos-1**

Este punto de aforo se sitúa en la zona central de la vertiente sur de la unidad controlando el caudal de salida del río Los Cocos. En esta zona existen numerosos arroyos y ríos de escasa entidad que presentan caudales muy reducidos, incluso estacionarios, que funcionan a modo de ramblas que descargan agua de escorrentía superficial en periodos de fuertes precipitaciones.

<b>Coord X</b>	<b>Coord. Y</b>	<b>Cuenca Hidrográfica</b>	<b>Nombre del río</b>
460023	2122634	Vertiente sur de la Península de Samaná	Río Los Cocos

De todas las salidas controladas en la unidad esta es la que menores caudales presenta. Se trata de un río de con una pequeña cuenca de recepción constituida, en su mayor parte, por materiales de baja permeabilidad. Los caudales medidos en cada una de las campañas varían entre 0.163 y 0.03  $m^3/s$ .

<b>DATOS DE CAUDAL (<math>m^3/s</math>)</b>												
<i>Oct</i>	<i>Nov</i>	<i>Dic</i>	<i>Ene</i>	<i>Feb</i>	<i>Mar</i>	<i>Abr</i>	<i>May</i>	<i>Jun</i>	<i>Jul</i>	<i>Ago</i>	<i>Sep</i>	<b>Media Anual</b>
0.039	0.097	0.087	0.163	0.076	0.03	0.064	0.217	0.066	0.061	0.042	0.026	<b>0.08</b>

### **4.2.3. Relación entre los aforos históricos y los actuales**

En esta unidad hidrogeológica no se puede realizar este análisis, dada la ausencia de redes de control de aforos históricos.

#### **4.2.4. Cálculo de los aportes subterráneos.**

Para la realización del cálculo de aportes subterráneos en otras unidades hidrogeológicas se ha utilizado el método de la descomposición de hidrogramas de las estaciones de aforos históricos. La ausencia de una red foronómica previa con series de datos históricos suficientes impide que se pueda realizar este cálculo de forma directa, con lo que ha tenido que ser estimado de forma indirecta. Para ello se ha tenido en cuenta los datos de aportes subterráneos calculados en otras unidades hidrogeológicas para materiales de características similares teniendo además en cuenta las características orográficas de la unidad (fuertes pendientes), régimen de precipitaciones (lluvias diarias de cierta intensidad) y vegetación. En este sentido se considera que las aportaciones subterráneas deben ser en torno a un 30%, ya que las elevadas pendientes y precipitaciones favorecen la escorrentía superficial. Asimismo, la mayor parte de los cauces superficiales discurren a través de materiales impermeables o de muy baja permeabilidad.

Estos porcentajes de aportes subterráneos aproximados han de ser corroborados por los datos del balance hidrogeológico realizado con los volúmenes de salida obtenidos en el presente estudio (cálculo de aforos, estudio de extracciones...) y aplicando unas entradas estimadas para un año hidrológico medio.

## **5. ESTUDIO DE EXTRACCIONES Y USOS**

### **5.1. INTRODUCCIÓN**

El consumo de agua por sectores en 1993 para todo el país, según el Plan Nacional de Ordenamiento de los Recursos Hídricos (PNORH), estaba distribuido de la siguiente forma: el sector agropecuario demandaba 7 384 Hm<sup>3</sup> del recurso utilizado en el país, aproximadamente 916 Hm<sup>3</sup> eran utilizados para el abastecimiento a la población y 39 Hm<sup>3</sup> para los restantes usos (industrial, pecuario y turístico). La extracción de aguas subterráneas en 1993 eran de 386 Hm<sup>3</sup>

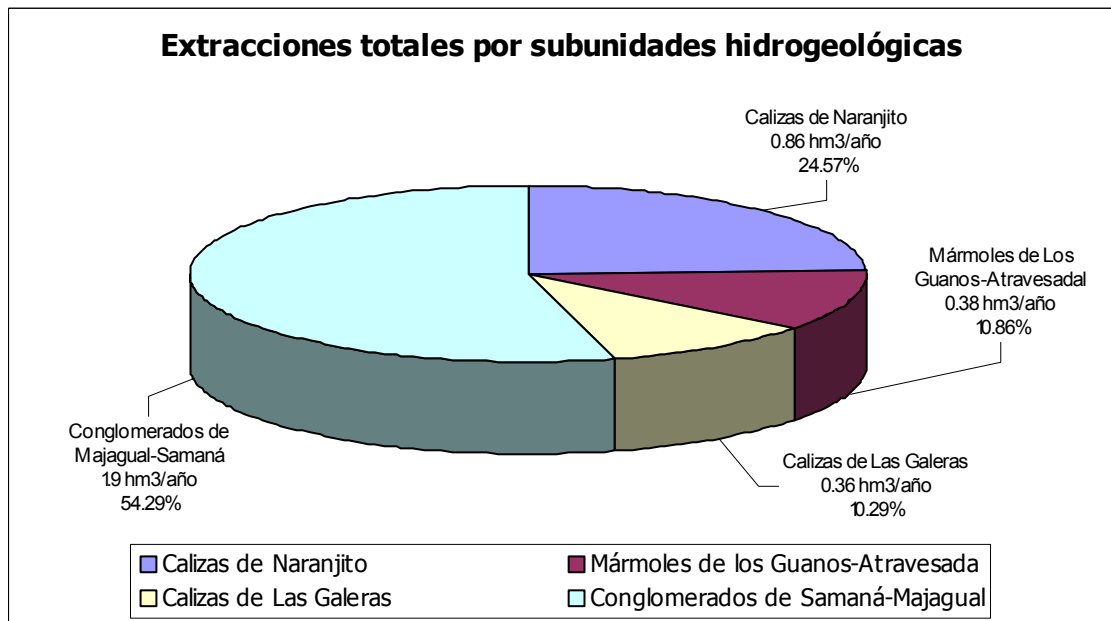
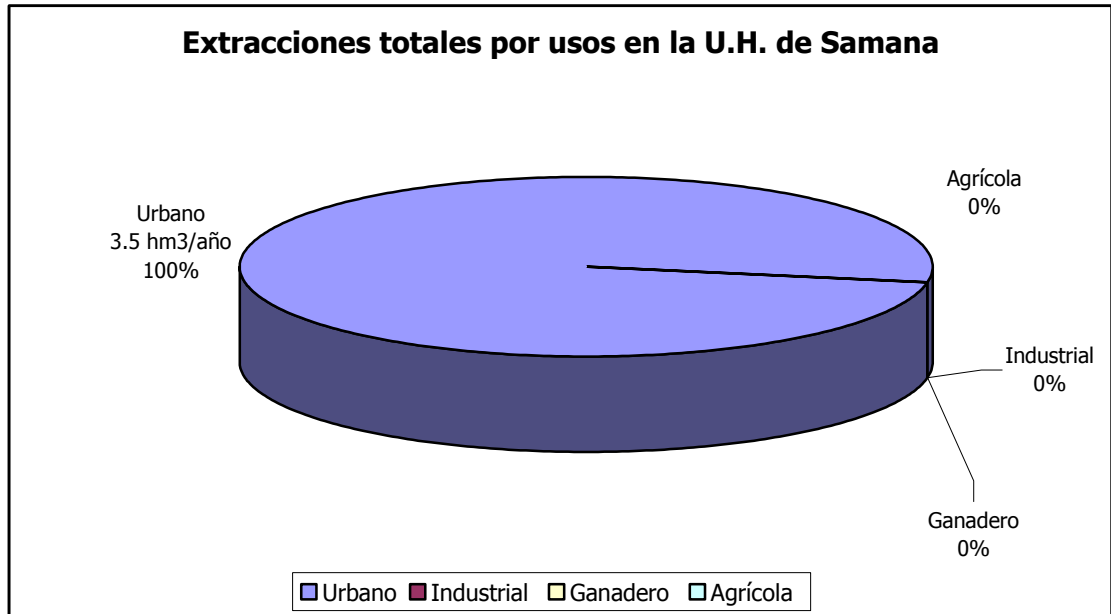
El volumen total de recursos hídricos de origen subterráneo utilizados en el área de la Unidad Hidrogeológica de Samaná en el año 2004, para los distintos tipos de usos, es del orden de 3.5 hm<sup>3</sup>/año, cuya distribución por tipos de usos se incluye en el cuadro 5.1.1 y en la figura 5.1.

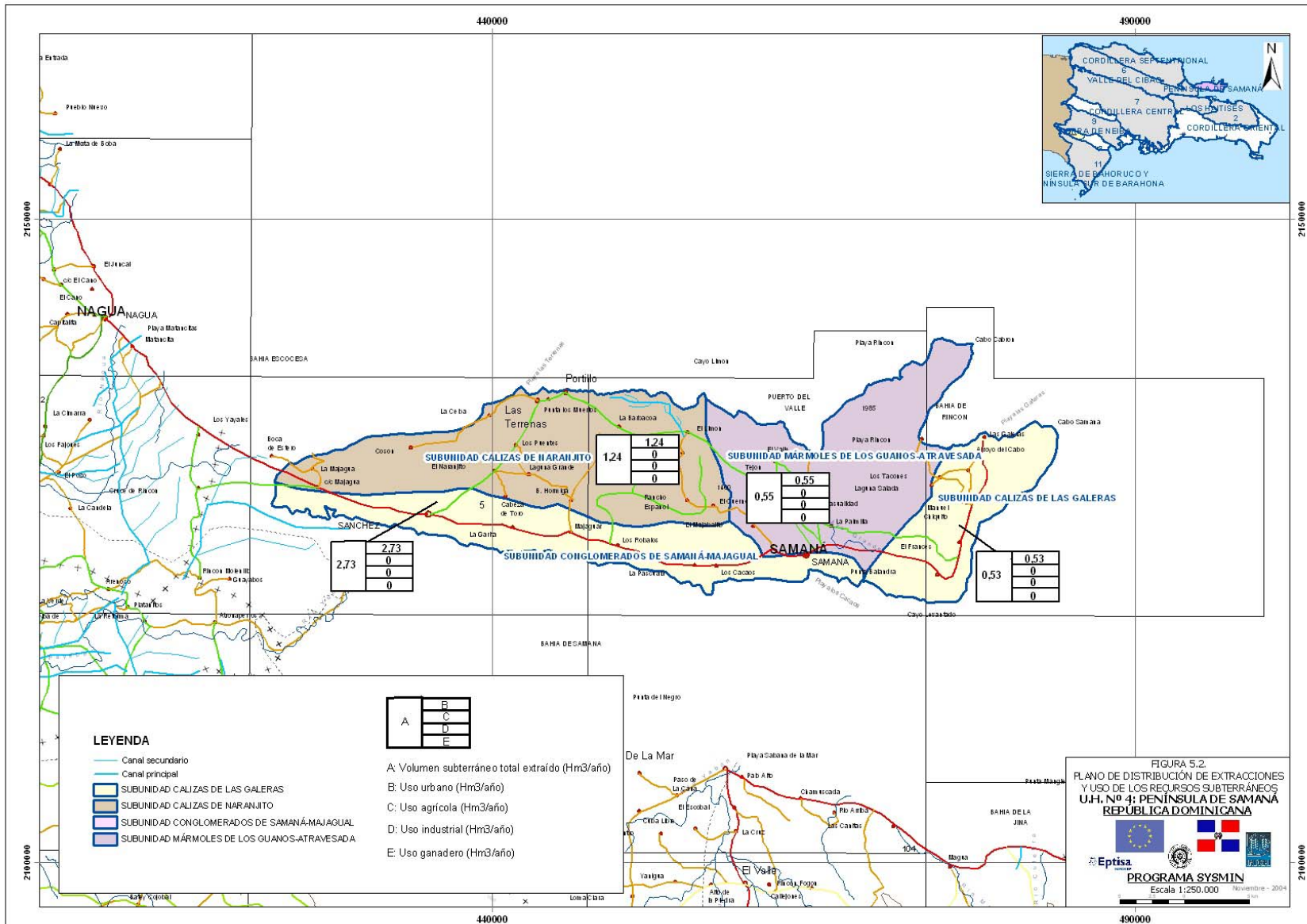
Por tipos de usos, el volumen total de origen subterráneo utilizado para abastecimiento o uso urbano es de 3.5 hm<sup>3</sup>/año, para agricultura la demanda de agua es de origen superficial. La industria es residual y, por tanto, se ha despreciado su consumo, y el uso ganadero no se ha podido estimar, dado el escaso número de datos que se dispone. La distribución espacial de las extracciones por subunidades se ha representado en la figura 5.2.

Cuadro 5.1.1. Distribución de volúmenes de agua subterránea utilizados en el área de la Unidad Hidrogeológica de Samaná

Subunidad	Volumen de recursos subterráneos utilizados por usos				
	Urbano (hm <sup>3</sup> /año)	Industrial (hm <sup>3</sup> /año)	Ganadero (hm <sup>3</sup> /año)	Agrícola (hm <sup>3</sup> /año)	TOTAL (hm <sup>3</sup> /año)
Calizas de Naranjito	0.86	0	0	0	0.86
Mármoles de Los Guanos-Atravesada	0.38	0	0	0	0.38
Calizas de las Galeras	0.36	0	0	0	0.36
Conglomerados de Samaná-Majagual	1.90	0	0	0	1.90
<b>Total U.H. de Samaná</b>	<b>3.5</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>3.5</b>

Figura 5.1. Distribución de los volúmenes extraídos por tipo de uso y totales extraídos por subunidades hidrogeológicas





## **5.2. INFORMACIÓN DE PARTIDA**

Los principales estudios utilizados como documentación bibliográfica de partida han sido:

Vegetación y usos de la tierra. Secretaria de Estado de Medio Ambiente y Recursos Naturales 1988/1996.

Distritos de Riego de la Republica Dominicana. INDRHI. 1995.

Oficina Nacional de Estadística y Censo de la Republica Dominicana. Santo Domingo (Censo Nacional de Población y Vivienda de 1993, a nivel de paraje).

Sistema de Información sobre el Uso del Agua en la Agricultura de la FAO. AQUASTAT. 2000.

Inventario de Puntos de Agua del presente Proyecto. 2003/2004.

Relación de consumos de agua aportados por el Instituto de Aguas Potables y Alcantarillados (INAPA).

### **5.2.1. Estimación de extracciones**

Partiendo de los informes anteriormente citados, y dado los escasos datos reales de extracciones para los diferentes tipos de usos, ha sido necesario utilizar estimaciones teóricas basadas en dotaciones hipotéticas.

#### **5.2.1.1. Usos Urbanos**

El volumen anual de recursos subterráneos utilizados para abastecimiento urbano se ha estimado en **3.50 hm<sup>3</sup>/año**, teniendo como referencia los datos aportados por INAPA en relación con los consumos de agua para la ZONA III en la cual el consumo medio por persona es de 222 l/habitante/día, de los cuales el 46.88% corresponden a aguas subterráneas y a una población de 92249 habitantes para el año 2004, obtenida a partir de los datos demográficos elaborados por la Oficina Nacional de Estadística para los años 1993 y 2001, con un incremento poblacional del 2.58% en el periodo 93/04.

Las extracciones por subunidades hidrogeológicas se recogen en el siguiente cuadro:



Cuadro 5.2.1. Extracciones para uso urbano por subunidades hidrogeológicas

Subunidad	Población (2004)	Demanda según dotación 222 l/hab/día	Extracciones de aguas subterráneas
		hm <sup>3</sup> /año	hm <sup>3</sup> /año
Calizas de Naranjito	22678	1.84	0.86
Mármoles de los Guanos- Atravesada	10077	0.82	0.38
Calizas de las Galeras	9591	0.78	0.36
Conglomerados de Samaná- Majagual	49903	4.04	1.90
<b>TOTAL</b>		<b>7.47</b>	<b>3.50</b>

#### 5.2.1.2. Usos agrícolas

El volumen anual de recursos subterráneos utilizados para regadío es nulo dada la poca superficie de terreno dedicada a al agricultura, y el carácter superficial de las aguas destinadas al regadío de estas áreas.

## **6. SÍNTESIS GEOLÓGICA**

### **6.1. INTRODUCCIÓN Y MARCO GEOLÓGICO REGIONAL**

La Península de Samaná presenta una forma alargada en sentido E-O, de unos 50 Km de longitud y unos 15 de anchura, localizada en la parte nororiental del territorio de la República Dominicana. Sus alturas máximas oscilan entre los 400 y 600 metros, presentando la vertiente sur una mayor pendiente que la norte.

La red de drenaje se encuentra muy poco desarrollada, sobre todo en la vertiente sur, en la que apenas existen cauces continuos de importancia, siendo en su mayor parte arroyos encajados en pequeñas cuencas que discurren en sentido norte-sur. La vertiente norte tiene pendientes menores y presenta un ligero incremento del desarrollo de la red de drenaje, con algunos ríos de escasa entidad que discurren desde la sierra central de la unidad hacia el norte de la misma.

### **6.2. ESTRATIGRAFÍA Y LITOLOGÍA.**

La sucesión estratigráfica de la unidad hidrogeológica de la Península de Samaná puede subdividirse en dos agrupaciones, que son:

- Un zócalo de edad desconocida, aunque probablemente cretácica, en el que se distinguen un conjunto de esquistos y de esquistos con intercalaciones marmóreas (Mti), básicamente impermeables, en el que se individualizan unos mármoles masivos (MTc), localizados en el extremo noreste de la península, cuyo espesor puede superar los 300 metros.
- Unos materiales de cobertera, que se subdividen en dos grupos bien diferenciados por sus características litológicas y estructurales. El primer grupo está formado por conglomerados (Mcg) y calizas miocenos y margas pliocenas (PLm-y). El segundo grupo lo constituyen calizas arrecifales detríticas de edad Plio-Pleistocena (PLc).

Los materiales del primer grupo afloran en una estrecha banda, generalmente limitada por fallas, en el borde sur y en el oriental de la península. Por lo general se encuentran buzando fuertemente hacia el mar (en el norte).

Los materiales del segundo grupo se encuentran sólo en la mitad occidental de la península, donde se presentan discordante sobre el zócalo. Su espesor no sobrepasa los 200 metros.

Desde el punto de vista hidrogeológico, los materiales más interesantes, dentro de la unidad hidrogeológica de la Península de Samaná, son los mármoles masivos (MTc) y las calizas

arrecifales detríticas Plio-Pleistocenas (PLc). Ambas formaciones presentan un grado de permeabilidad alto por fisuración y karstificación.

Al final de este informe se incluye el plano de Síntesis Hidrogeológica (Plano 6.1 Síntesis hidrogeológica de la Unidad Hidrogeológica de la Península de Samaná).

### **6.3. ESTRUCTURA TECTÓNICA.**

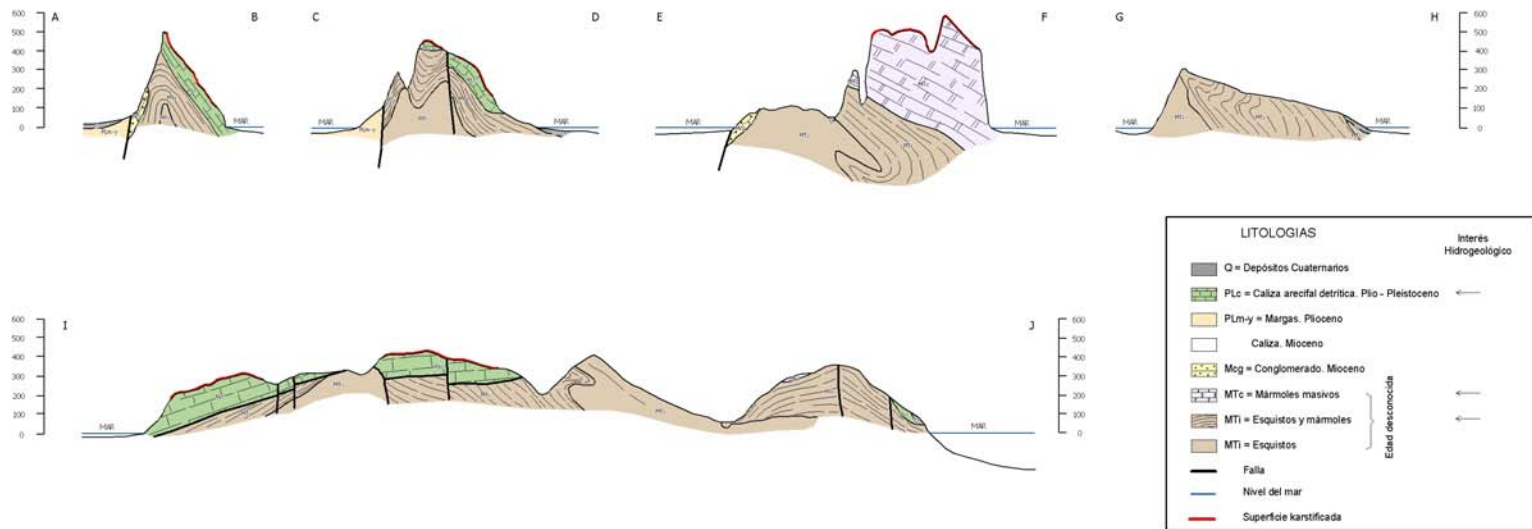
Desde el punto de vista estructural, la Península de Samaná es un fragmento de zócalo, plegado o replegado, con cobertera sedimentaria del primer grupo dispuesta fuertemente buzante hacia el exterior (hacia el sur o hacia el oeste, y siempre hacia el mar) y cuya extensión está condicionada por fallas normales.

Las calizas arrecifales detríticas plio-pleistocenas (PLc) únicamente están presentes en la mitad occidental de la península, estando ligeramente inclinadas hacia el norte. Esta misma disposición es la que presentan los mármoles masivos del zócalo (MTc).

En la figura 6.2 se puede ver la disposición estructural de la península a través de cinco cortes hidrogeológicos, cuya orientación viene definida en la figura 6.1 (Orientación de los perfiles hidrogeológicos).



PENINSULA DE SAMANÁ



Escala horizontal 1: 250.000

Fig 6.2.- CORTES GEOLÓGICOS  
U.H. Nº 4: PENÍNSULA DE SAMANÁ  
REPÚBLICA DOMINICANA



#### **6.4. RELACIÓN ENTRE LA DISPOSICION LITOLOGICO-ESTRUCTURAL Y SU FUNCIONAMIENTO HIDROGEOLOGICO.**

Las zonas de recarga más importante de la unidad hidrogeológica son fundamentalmente los afloramientos de calizas arrecifales detríticas plio-pleistocenas (PLC) y los afloramientos de mármoles masivos (MTc), que representan las dos mayores superficies de materiales permeables.

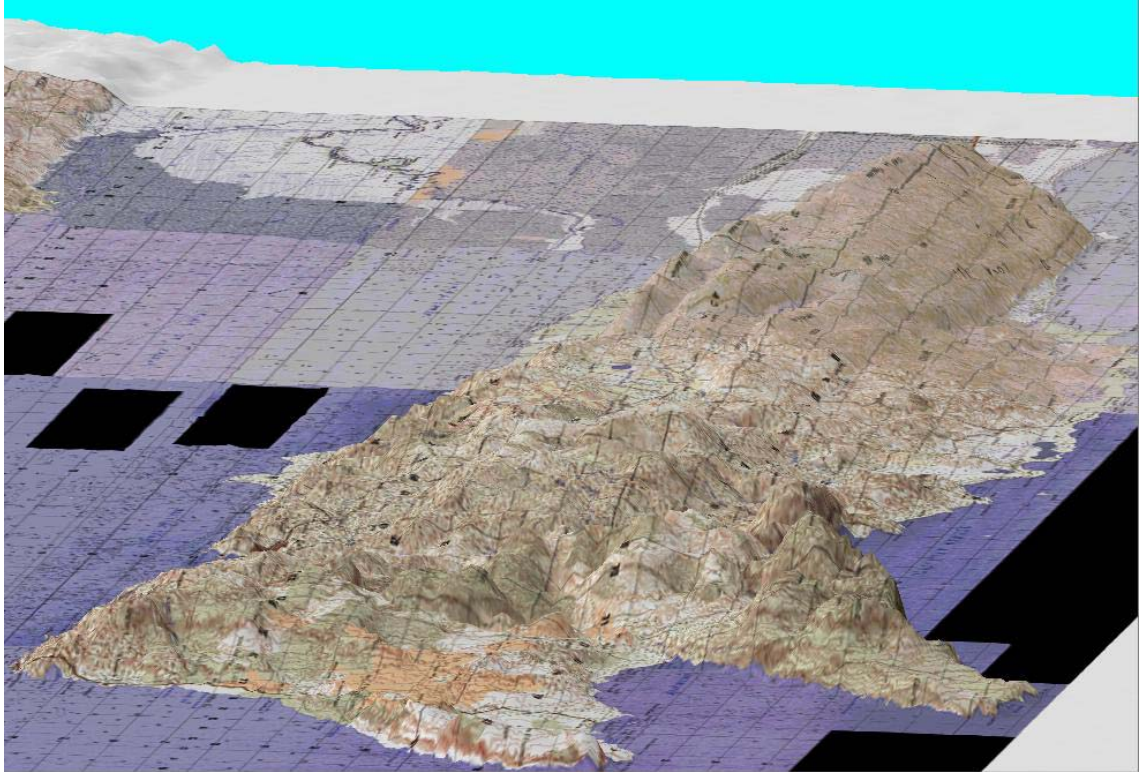
El buzamiento norte que presentan ambas formaciones provoca que su base se encuentre bajo el nivel del mar en la costa norte de la península. Este hecho unido a la ausencia generalizada de cursos de agua que disecten las formaciones, provoca que la mayor parte de los flujos sean en dirección al mar.

Los dos cursos de agua más importantes de la península (arroyo Grande y río Limón) discurren a través de materiales impermeables en dirección norte, por lo que la mayor parte de su caudal procede de la escorrentía superficial.

En la vertiente sur de la península únicamente se considera permeable la formación de conglomerados, arenas y margas arenosas, aunque la superficie de estos depósitos es pequeña y su grado de permeabilidad medio, con lo que la recarga producida sobre estos materiales va a ser escasa.

En el sector oriental de la unidad también afloran calizas arrecifales miocenas muy próximas a las líneas de costa, que van a estar descargando fundamentalmente al mar. En esta zona apenas existe desarrollo de la red de drenaje.

Figura 6.3. Bloque diagrama de la topografía de la Península de Samaná.



## **7. HIDROGEOLOGÍA**

### **7.1. MARCO HIDROGEOLÓGICO**

La Unidad o Zona Hidrogeológica nº 4 : Península de Samaná se encuentra emplazada al noreste del país. Esta unidad hidrogeológica tiene una superficie de 651 Km<sup>2</sup>, abarcando la totalidad de la península, con una longitud aproximada de 50 Km y una anchura de 15 Km.

Esta península se caracteriza por la existencia de una sierra central que la atraviesa de este a oeste, cuyas cotas máximas se encuentran en torno a 400 y 600 m.s.n.m. La divisoria de esta sierra se encuentra desplazada al sur con respecto a los límites de la península, por lo que la pendiente en la vertiente sur es muy superior a la de la vertiente norte.

La unidad hidrogeológica se encuentra limitada al sur por la bahía de Samaná y al este y norte por el océano Atlántico, estando unida al resto de la isla por el istmo de Samaná en el extremo oeste.

En este conjunto con materiales de diversa naturaleza, que alcanzan una superficie total próxima a los 652 km<sup>2</sup>, habría que destacar, por su interés desde el punto de vista hidrogeológico, las calizas arrecifales Pliocenas, situadas en la parte occidental de la península, y los materiales metamórfico-carbonatados (mármoles), situados al noreste. Ambas formaciones se caracterizan por presentar un proceso de karstificación avanzado con un alto grado de permeabilidad por fisuración y karstificación, siendo su superficie conjunta superior a 220 Km<sup>2</sup> (134 Km<sup>2</sup> las calizas arrecifales y 85 Km<sup>2</sup> los mármoles). Las calizas del Mioceno aflorantes en la zona oriental de la península también se consideran de interés desde el punto de vista hidrogeológico, aunque su importancia es mucho menor, por su escasa superficie de afloramiento (13 Km<sup>2</sup>).

No existen niveles acuíferos por debajo de estos materiales, ya que el zócalo de la península se encuentra formado por materiales metamórficos indiferenciados (esquistos y esquistos marmóreos) de baja permeabilidad.

Otros materiales que pueden presentar cierto interés hidrogeológico local son los depósitos de origen detrítico, dentro de los cuales destacan los conglomerados y areniscas del Mioceno situados al sur de la península, que tienen una superficie de afloramientos superior a 35 Km<sup>2</sup>. Asimismo, existen una serie de afloramientos detríticos cuaternarios de origen fluvial o indiferenciado, que se localizan fundamentalmente en los bordes de la unidad, aunque también aparecen en algunos valles del interior. Estos materiales presentan buenas características hidrogeológicas, con permeabilidades altas por porosidad intersticial, pudiendo constituir



pequeños acuíferos de interés local. La suma total de los afloramientos cuaternarios se encuentra en torno a los 60 Km<sup>2</sup>.

## **7.2. DEFINICIÓN GEOMÉTRICA DE LA UNIDAD: SUBUNIDADES Y FORMACIONES ACUÍFERAS.**

Los límites hidrogeológicos de esta unidad o zona hidrogeológica y, dentro de ella, los de sus subunidades o sectores de funcionamiento y niveles o formaciones acuíferas, se han definido a partir de la cartografía de síntesis hidrogeológica elaborada para el presente proyecto, que, a su vez, tomó como cartografía geológica de base el Mapa Geológico de la República Dominicana, a escala 1:250.000, elaborado por la Secretaría de Estado de Industria y Comercio (Dirección General de Minería e Instituto Geográfico Universitario), en colaboración con el Bundesanstalt Fur Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR).

A partir de las citadas cartografías, y de diversa información adicional procedente de los Mapas Geológicos a escala 1:50.000 actualmente disponibles, elaborados, asimismo, por la Secretaría de Estado de Industria y Comercio (Dirección General de Minería), se han definido las mencionadas delimitaciones, de acuerdo con los siguientes criterios básicos:

- Definir límites de la unidad y de sus subunidades en función de criterios eminentemente prácticos de funcionamiento hidrogeológico (recarga, descarga y balance hídrico) y de posible explotación de sus recursos.
- Hacer coincidir, siempre que ha sido posible, los citados límites con contactos o barreras hidrogeológicas, dando prioridad a las negativas (límites estancos o cerrados) sobre las positivas (límites abiertos) y, entre estas últimas, aquellas que establezcan una equipotencial constante.
- Los límites de las barreras negativas se han extendido, siempre que ha sido razonablemente posible, hasta las divisorias hidrográficas.
- Establecer los límites en las divisorias hidrográficas cuando las estructuras hidrogeológicas no permitían su cierre mediante barreras.
- Las unidades y subunidades hidrogeológicas del tipo aluviales se han extendido a toda la superficie del afloramiento de los citados depósitos cuaternarios.
- Diferenciar materiales por criterios de permeabilidad (estimativa y relativa) y de posible potencialidad de explotación de sus recursos.

Con estos criterios de partida, se ha establecido la delimitación de la unidad, que alcanza una superficie total de 651.93 km<sup>2</sup>, de los cuales el 50.2% (unos 327.37 km<sup>2</sup>) corresponden a formaciones permeables de diferentes tipos (y con permeabilidades variables entre muy alta, alta y media) y el resto (unos 324.56 km<sup>2</sup>) a formaciones de baja permeabilidad y escaso interés hidrogeológico.

Asimismo, se han diferenciado dentro de los citados límites de la unidad y de sus correspondientes subunidades ocho tipos distintos de formaciones permeables o niveles acuíferos y tres formaciones de baja permeabilidad, las cuales se han clasificado hidrogeológicamente de acuerdo con los criterios y especificaciones de la Leyenda UNESCO (año 1970), en los que se combinan diferentes parámetros hidrogeológicos de referencia, basados en el tipo y grado de permeabilidad (composición litológica, permeabilidad por porosidad intersticial o por fisuración y carstificación, etc.) y en la potencialidad real de explotación (extensión superficial y de recarga, geometría y condicionantes estructurales, y recursos explotables, tanto de renovación anual, como de reservas estimadas).

De acuerdo con dichos criterios, las formaciones permeables o niveles acuíferos definidos que se han identificado dentro de los límites de esta unidad, son los siguientes:

#### **Formaciones con permeabilidad por porosidad intersticial:**

En este primer grupo se han distinguido dos subgrupos y cinco tipos de formaciones:

- **Formaciones porosas con permeabilidad de muy alta a media-alta y productividad (potencialidad real de explotación) medias:**

**Qa:** compuestos por depósitos de terrazas fluviales del Cuaternario, que se distribuyen por las depresiones próximas a los cauces del río Limón y San Juan y del arroyo Grande. En su conjunto alcanzan una superficie total de 30 km<sup>2</sup>, que suponen el 9.1% de la superficie total de materiales permeables y el 4.6% de la superficie total de la unidad. Sus litologías (arenas y gravas, en una matriz arcillosa) y su escasa cementación le confieren una permeabilidad de alta a muy alta y el que funcionen como un acuífero libre, del tipo detrítico y con permeabilidad primaria por porosidad intersticial. Su productividad y potencialidad de explotación se considera media, ya que, a pesar de la excelente permeabilidad de sus materiales, los volúmenes de recarga no son elevados por tratarse de cauces superficiales de poca entidad.

**Mcg:** Formación de conglomerados poligénicos, areniscas y margas del Mioceno, que dan nombre a la Subunidad Conglomerados de Samaná-Majagual. Afloran en la zona centro-sur de la península, alcanzado una superficie total de 35.07 Km<sup>2</sup>, que supone el 10.7% de la superficie de materiales permeables y el 5.4% de la superficie total de la unidad.

Estos materiales son considerados como de permeabilidad media, constituyendo un acuífero libre, y en la mayor parte de los casos del tipo detrítico o mixto, con permeabilidad por porosidad intersticial o por fracturación, según los casos.

Su productividad y potencialidad real de explotación se considera media como consecuencia de la escasa recarga que se produce sobre ellos, debido fundamentalmente a lo reducido del afloramiento y al escaso desarrollo de la red de drenaje, constituida por pequeños arroyos de poca entidad que actúan a modo de ramblas que descargan al mar rápidamente después de producirse las precipitaciones.

Los materiales infrayacentes (metamórfico indiferenciado) se consideran impermeables, lo que provoca la existencia de numerosos manantiales en el contacto entre ambas formaciones.

**Qab:** Se trata de depósitos de abanicos cuaternarios, compuestos por cantos de carbonato (calizas arrecifales) englobados en una matriz arcillo-arenosa. Únicamente se localizan en el tramo final del río Majagual, dentro de la subunidad Conglomerados de Samaná-Majagual. La superficie que ocupan estos materiales es de 1.75 Km<sup>2</sup>, lo que supone el 0.5% de la superficie total de los materiales permeables y el 0.26% de la superficie total de la unidad.

Se consideran materiales de permeabilidad media-alta por porosidad intersticial, que constituyen excelentes acuíferos detríticos de tipo libre y superficiales, aunque dada la pequeña superficie de afloramientos de estos materiales en la unidad y, por lo tanto, su escasa recarga, se les ha asignado un grado medio de productividad y potencialidad de explotación.

**Qi:** compuesto por materiales indiferenciados del Cuaternario, que se localizan en varios afloramientos a lo largo de la unidad hidrogeológica, estando la mayor parte de ellos en la subunidad Calizas de Las Galeras.

Ocupan una superficie total próxima a los 23.97 Km<sup>2</sup>, que supone el 7.3% de la superficie total de materiales permeables y el 3.67% de la superficie total de la unidad. La variedad de las litologías de sus materiales hacen muy difícil su valoración hidrogeológica conjunta, aunque se le ha estimado una permeabilidad media-alta y un funcionamiento como un acuífero libre con permeabilidad por porosidad intersticial.

- **Formaciones porosas con permeabilidad media-baja y productividad (potencialidad real de explotación) baja:**

**QI:** Se trata de depósitos Cuaternarios Holocenos desarrollados en zonas de marisma y lagunas costeras, considerados de permeabilidad media-baja por porosidad intersticial debido al alto contenido de finos (limos y arcillas). La superficie que ocupa dentro de la unidad es de 3.41 Km<sup>2</sup>, que supone un 1% de la superficie total de materiales permeables y un 0.5% de la superficie total de la unidad.

Únicamente existe un afloramiento de estos materiales al norte de la Península en el paraje conocido como Ciénaga La Barbacoa, localizada dentro de la subunidad Calizas de Naranjito.

**Formaciones con permeabilidad por fisuración-carstificación:**

- **Formaciones fisuradas de alta permeabilidad y productividad media-alta:**

**Plc:** Formación de caliza arrecifal detrítica, muy karstificada y de edad Plioceno-Pleistoceno, conocida como la caliza de Los Haitises por ocupar la mayor parte de la superficie de esta unidad hidrogeológica. Ocupa la mayor parte de la superficie dentro de los materiales permeables de la unidad, con una extensión de afloramientos de 134.68 Km<sup>2</sup>, que suponen el 41.1% de la superficie total de materiales permeables y el 20.65% de la superficie total de la unidad.

Su espesor (estimativo) puede ser del orden de 100-150 m. Por su avanzado grado de karstificación se le ha asignado una permeabilidad alta y constituye un acuífero libre, del tipo kárstico y con permeabilidad secundaria por fracturación-karstificación.

Estas calizas se disponen discordantemente sobre un tramo metamórfico indiferenciado de edad desconocida y baja permeabilidad, que en determinadas zonas llegan a aflorar, actuando como nivel impermeable de base.

Casi la totalidad de la superficie de afloramiento se encuentra situada dentro de la subunidad Calizas de Naranjito (a la que dan nombre), que constituye la vertiente norte del sector occidental de la península de Samaná. Estas calizas se encuentran buzando fuertemente al norte, con el muro de la formación situado bajo el nivel del mar. En algunas zonas quedan recubiertas por depósitos cuaternarios detríticos (Qa).

En estos materiales se aprecian diferentes elementos geomorfológicos característicos del modelado kárstico como la sima de Laguna Grande, y las lagunas de La Filipina, de Juan García, de Arroyo Chico Abajo y otras de menor entidad.

**Mc:** Formación de caliza arrecifal muy karstificada del Mioceno. Ocupa la mayor parte de los afloramientos permeables de la subunidad Calizas de Las Galeras (a las que da nombre). Su superficie aflorante es de 12.99 Km<sup>2</sup>, lo que supone un 3.96% de la superficie total de materiales permeables de la unidad y un 2% de la superficie total de la unidad.

Estos materiales poseen un alto grado de karstificación y se les ha asignado una permeabilidad alta. Constituyen un acuífero libre de tipo kárstico y con permeabilidad secundaria por fracturación-karstificación.

Su productividad y potencialidad de explotación es media, ya que a pesar de tener un alto grado de permeabilidad, su escasa superficie de afloramientos y reducido espesor, impiden un elevado volumen de recarga.

- **Formaciones fisuradas de permeabilidad media-alta y productividad moderada:**

**MTc:** Se trata de una formación metamórfica carbonatada de edad desconocida, constituida por mármol masivo o en bancos gruesos, altamente karstificados, cuya potencia puede superar los 300 metros.

La totalidad de los afloramientos de estos materiales se encuentran localizados dentro de la subunidad Mármoles de Los Guanos-Atravesada (a la que dan nombre), situada en el extremo nororiental de la península de Samaná.

La superficie de afloramientos de estos materiales es de 85.51 Km<sup>2</sup>, lo que supone el 26.1% de la superficie total de materiales permeables y el 13.1% de la superficie total de la unidad.

Por debajo de los mármoles se encuentran materiales metamórficos indiferenciados de edad desconocida, considerados impermeables o de muy baja permeabilidad. Los mármoles están buzando suavemente hacia el norte y noreste, siendo estas las principales direcciones de flujo subterráneo. El muro de los mármoles se encuentra situado por debajo del nivel del mar, por lo que la mayor parte de las descargas de este acuífero se van a producir directamente al mar, descargando un porcentaje menor hacia el río San Juan, que drena el acuífero por el oeste.

Su productividad y potencialidad de explotación se considera moderada ya que a pesar de poseer una superficie de afloramiento razonable, el grado de permeabilidad estimado es medio-alto.

Complementariamente a estas formaciones permeables, existirán dentro de los límites de esta unidad otras formaciones de baja permeabilidad o con extensión superficial muy reducida, que se consideran como no acuíferas o como acuíferos muy puntuales y de escasa o nula potencialidad de explotación. Dentro de este grupo habría que incluir las rocas plutónicas indiferenciadas (RPi), las rocas metamórficas indiferenciadas (MTi) y las margas y yesos del Plioceno (PLm-y) 324.56 Km<sup>2</sup> que equivale a un 49.8% del total de la unidad.

Con estos mismos criterios metodológicos, se han identificado y establecido los límites de cuatro subunidades o sectores de funcionamiento hidrogeológico, dentro de la unidad de la Península de Samaná. Su denominación, distribución superficial, límites y principales características de funcionamiento son las siguientes (Figura 7.1 y Cuadro 7.2.1):

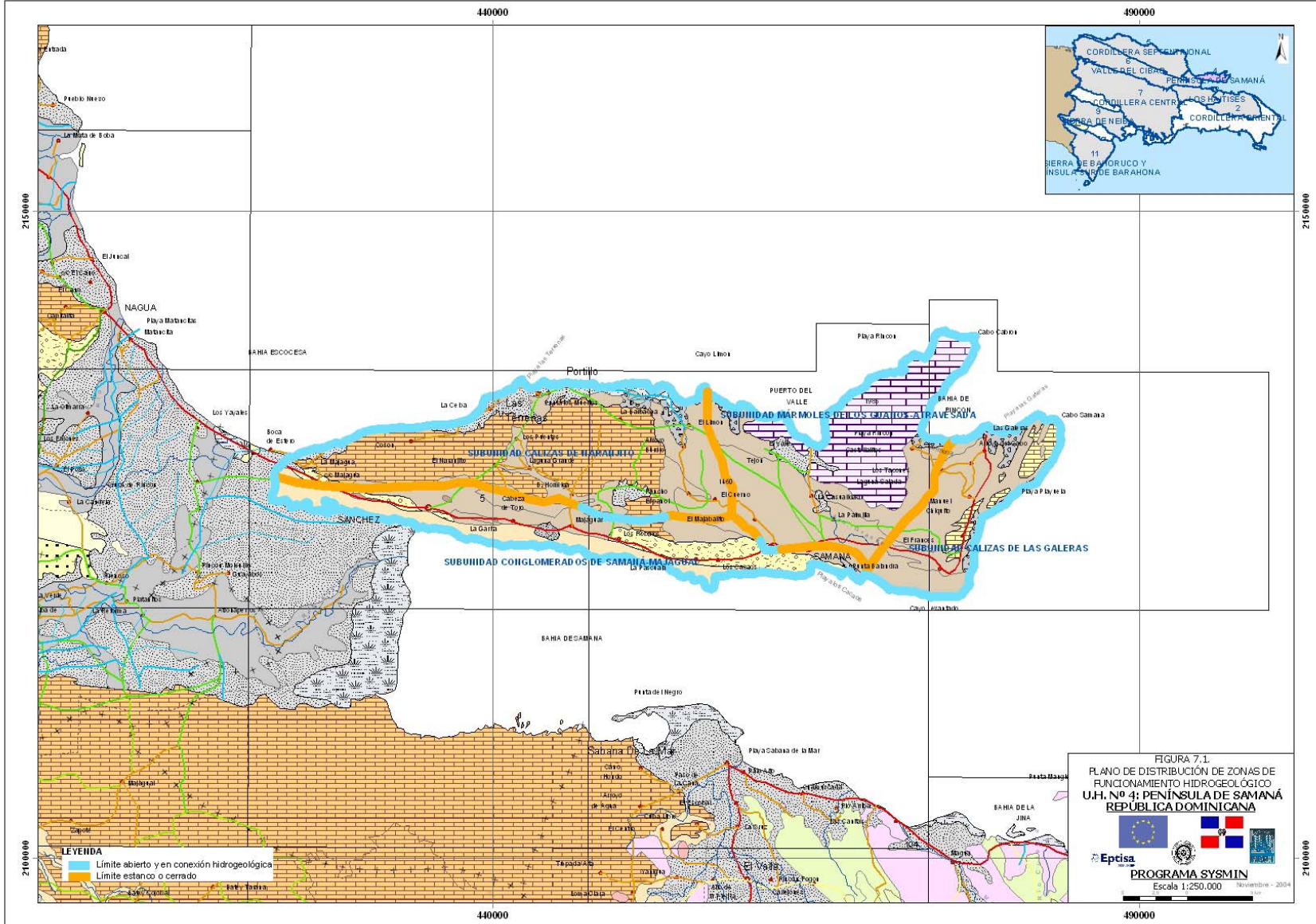


FIGURA 7.1.  
 PLANO DE DISTRIBUCIÓN DE ZONAS DE  
 FUNCIONAMIENTO HIDROGEOLÓGICO  
 U.H. Nº 4: PENINSULA DE SAMANA  
 REPUBLICA DOMINICANA

  
**PROGRAMA SYSMIN**  
 Escala 1:250.000    Noviembre - 2004

**LEYENDA**

- Límite abierto y en conexión hidrogeológica
- Límite estanco o cerrado

Cuadro 7.2.1. Subunidades o sectores de funcionamiento hidrogeológico establecidos dentro de la unidad de la Península de Samaná

SUBUNIDADES O SECTORES DE FUNCIONAMIENTO HIDROGEOLÓGICO	SUPERFICIES (km <sup>2</sup> )		LÍMITES	FORMACIONES O NIVELES ACUÍFEROS
	Materiales permeables	Materiales de baja permeabilidad		
<b>Calizas de Naranjito</b>	167.61 km <sup>2</sup>	64.29 km <sup>2</sup>	<p>- Norte: Es todo abierto y en conexión hidráulica con el mar, tanto los depósitos cuaternarios detríticos (Qa) como las calizas del Plioceno (Plc).</p> <p>- Oeste: Cerrado y estanco con el metamórfico indiferenciado (MTi) de la subunidad Mármoles de Los Guanos-Atravesada.</p> <p>- Sur: La mayor parte del límite sur es cerrado y estanco por contacto con el metamórfico indiferenciado (MTi) de la subunidad Conglomerados de Samaná-Majagual. Únicamente hay un pequeño tramo abierto y en conexión hidráulica en el contacto de las calizas arrecifales del Plioceno de ambas subunidades.</p>	<p>- Mcg: 2.43 km<sup>2</sup></p> <p>- Plc: 130.18 km<sup>2</sup></p> <p>- Qa: 23.13 km<sup>2</sup></p> <p>- Qi: 8.46 km<sup>2</sup></p> <p>- Ql: 3.41 km<sup>2</sup></p>
<b>Mármoles de Los Guanos-Atravesada</b>	97.28 km <sup>2</sup>	89.71 km <sup>2</sup>	<p>- Norte: abierto y en conexión hidráulica con el mar tanto los mármoles (MTc) como los depósitos cuaternarios indiferenciados (Qi), menos una estrecha franja en la que el límite es cerrado por estar en contacto el metamórfico indiferenciado (Mti) con el mar.</p> <p>- Este: Cerrado y estanco con el metamórfico indiferenciado (MTi) de la subunidad Calizas de Las Galeras.</p> <p>- Sur: abierto y en conexión hidráulica con los depósitos de conglomerados y areniscas Miocenos (Mcg) y cerrado en el contacto con el metamórfico indiferenciado (MTi) de la subunidad Conglomerados</p>	<p>- MTc: 85.5 km<sup>2</sup></p> <p>- Mcg: 0.55 km<sup>2</sup></p> <p>- Qa: 6.86 km<sup>2</sup></p> <p>- Qi: 4.37 km<sup>2</sup></p>



SUBUNIDADES O SECTORES DE FUNCIONAMIENTO HIDROGEOLÓGICO	SUPERFICIES (km <sup>2</sup> )		LÍMITES	FORMACIONES O NIVELES ACUÍFEROS
	Materiales permeables	Materiales de baja permeabilidad		
			de Samaná-Majagual. - Oeste: Cerrado y estanco con el metamórfico indiferenciado (MTi) de la subunidad Calizas de Naranjito.	
<b>Calizas de Las Galeras</b>	23.32 km <sup>2</sup>	70.68 km <sup>2</sup>	- Norte: Abierto y en conexión hidráulica con el mar tanto los depósitos cuaternarios indiferenciados (Qi), como los Miocenos carbonatados (Mc) y el Metamórfico indiferenciado (MTi). - Este: Abierto y en conexión hidráulica con el mar tanto los depósitos cuaternarios indiferenciados (Qi), como los Miocenos carbonatados (Mc) y el Metamórfico indiferenciado (MTi). - Sur: Abierto y en conexión hidráulica con el mar tanto los depósitos cuaternarios indiferenciados (Qi), como los Miocenos carbonatados (Mc) y el Metamórfico indiferenciado (MTi). - Oeste: Cerrado y estanco con el metamórfico indiferenciado (MTi) de la subunidad Calizas de Naranjito.	- Mc: 12.99 km <sup>2</sup> - Qi: 10.33 km <sup>2</sup>
<b>Conglomerados de Samaná-Majagual</b>	39.14 km <sup>2</sup>	148.37 km <sup>2</sup>	- Norte: La mayor parte del límite norte es cerrado y estanco por contacto con el metamórfico indiferenciado (MTi) impermeable. Únicamente hay un pequeño tramo abierto y en conexión hidráulica en el contacto de las calizas arrecifales del Plioceno con el contacto de la subunidad de las Calizas de Naranjito. - Sureste: Abierto y en conexión hidráulica con el mar	- Mcg: 32.09 km <sup>2</sup> - Plc: 4.5 km <sup>2</sup> - Qab: 1.75 km <sup>2</sup> - Qi: 0.80 km <sup>2</sup>

SUBUNIDADES O SECTORES DE FUNCIONAMIENTO HIDROGEOLÓGICO	SUPERFICIES (km <sup>2</sup> )		LÍMITES	FORMACIONES O NIVELES ACUÍFEROS
	Materiales permeables	Materiales de baja permeabilidad		
			<p>tanto los depósitos de conglomerados y areniscas miocenos (Mcg) como el Plioceno Margo-yesífero (PLm-y).</p> <p>- Suroeste: Abierto y en conexión hidráulica con los depósitos cuaternarios detríticos de origen fluvial (Qa) de la parte oriental de la Unidad Hidrogeológica del Valle del Cibao.</p>	
<b>TOTAL</b>	<b>327.37 km<sup>2</sup></b>	<b>324.56 km<sup>2</sup></b>		<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Mc: 12.99 km<sup>2</sup></b></li> <li>- <b>Mcg: 35.07 km<sup>2</sup></b></li> <li>- <b>PLc: 134.68 km<sup>2</sup></b></li> <li>- <b>MTc: 85.51 km<sup>2</sup></b></li> <li>- <b>Qa: 29.99 km<sup>2</sup></b></li> <li>- <b>Qab: 1.75 km<sup>2</sup></b></li> <li>- <b>Qi: 23.97 km<sup>2</sup></b></li> <li>- <b>Ql: 3.41 km<sup>2</sup></b></li> </ul>

### **7.3. INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA**

#### **7.3.1. Análisis de datos previos existentes.**

La información de partida asociada al inventario de puntos de agua de la Unidad Hidrogeológica de la Península de Samaná ha sido muy escasa. Los pocos datos útiles existentes a la hora de realizar el inventario de puntos de agua, han sido indicaciones verbales aproximadas de la existencia de pozos de poca profundidad y algunos manantiales, realizadas tanto por personal del INDRHI como por las personas que han participado en la realización de los mapas geológicos de la zona.

Por otro lado, tampoco se tiene constancia de la existencia de un registro físico de la información (ya sea en papel, o en formato digital) referente al inventario de puntos de agua. Esto ha generado que la práctica totalidad de puntos inventariados dentro de la unidad sean de nueva incorporación.

#### **7.3.2. Inventario de puntos de agua de la Unidad.**

La realización y completado de datos del inventario de puntos de agua realizado en esta unidad, se ha llevado a cabo durante los dos primeros trimestres del presente proyecto (junio a diciembre de 2003).

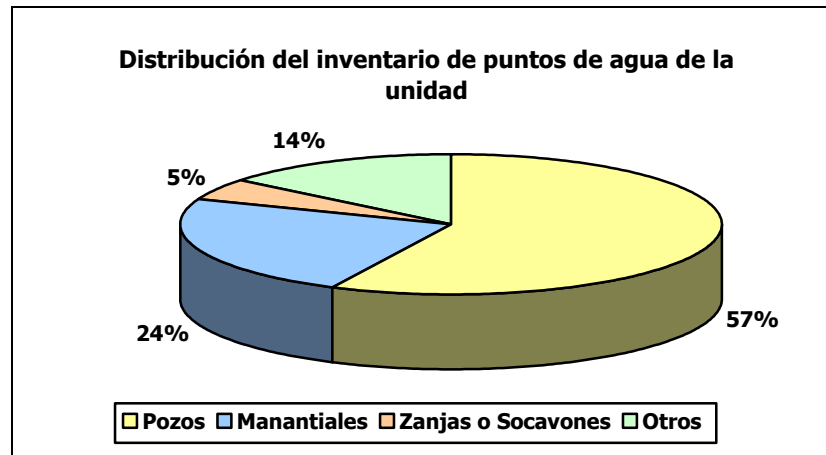
En total, se han inventariado 42 puntos de agua, todos ellos incluidos dentro de los límites de la poligonal de la unidad hidrogeológica. La distribución de puntos del inventario realizado en esta zona, según su naturaleza, queda resumida en el siguiente cuadro:

Cuadro 7.3.1. Distribución de puntos del inventario

<b>Naturaleza del punto</b>	<b>Nº de puntos</b>
Pozos	24
Manantiales	10
Zanjas o socavones	2
Otros	6
<i>Total</i>	<i>42</i>

En el siguiente gráfico queda representada la distribución de puntos de agua según su naturaleza indicándose además el porcentaje que supone respecto al total.

Figura 7.2. Distribución del inventario de puntos de agua según naturaleza



La distribución geográfica del inventario de puntos de agua realizado está claramente influenciada por las características fisiográficas y geológicas propias de esta unidad hidrogeológica, constituida por una elevada zona central que presenta unas fuertes pendientes, sobre todo en la vertiente sur, de difícil acceso y en la que no existen apenas infraestructuras viarias (carreteras, caminos, etc.), ni zonas agrícolas, ni núcleos de población significativos. La mayor parte del inventario de esta unidad hidrogeológica se encuentra localizado en los bordes de esta sierra central, sobre materiales miocenos y cuaternarios que constituyen los derrubios de dicha sierra.

La totalidad de los manantiales inventariados en la unidad se encuentran situados en el borde sur de la misma, en el contacto de los conglomerados del mioceno con las margas del Plioceno, que actúan como material impermeable, provocando la aparición de diversas surgencias por las diferencias de permeabilidad.

El resto de los puntos (pozos en su mayoría) se encuentran en las zonas de borde de la sierra, concentrándose fundamentalmente en las zonas donde se encuentran los mayores asentamientos poblacionales y turísticos (Las Terrenas, La Majagua y Las Galeras). En general se trata de pozos de poca profundidad que captan aguas de materiales detríticos cuaternarios o del borde de las calizas arrecifales (algunos de los puntos de la zona de Majagua y Las Terrenas).

La distribución de puntos de agua por hojas topográficas 1:50.000 es la siguiente:

Cuadro 7.3.2. Distribución de puntos de agua por hojas topográficas 1:50.000

<b>Nº Hoja</b>	<b>Nombre Hoja</b>	<b>Pozo</b>	<b>Manantial</b>	<b>Zanja o Socavón</b>	<b>Otros</b>	<b>Total</b>
6273 I	Sánchez	21		2	3	26
6373 I	Las Galeras	3	1			4
6373 IV	Santa Bárbara de Samaná		9		3	12

En cuanto a la distribución según usos de los puntos de agua inventariados, esta queda de la siguiente manera:

- 24 Abastecimiento doméstico (14 pozos y 10 manantiales)
- 1 Ganadería (1 pozo)
- 1 Agricultura (1 pozo)
- 1 Otros (1 pozo)
- 15 Desconocido (7 pozos, 2 zanjas o socavones, 5 cauces superficiales y 1 desconocido)

El único uso que es significativo dentro de la unidad es el abastecimiento doméstico, que representa casi un 57% de los usos totales, y prácticamente el 90% de los usos conocidos. En el 35% de los puntos inventariados no se tiene dato de su utilización.

En cuanto a los volúmenes utilizados para cada uno de los usos, no se pueden determinar ya que no se disponen de datos suficientes como para poder estimar los caudales de explotación. La falta de contadores en los puntos de agua, así como el desconocimiento de los propietarios de las características de las bombas (capacidad, potencia, tiempo de utilización, etc.) hace que no sea posible calcular los volúmenes de extracción de los puntos inventariados.

En el siguiente cuadro quedan descritas las características más importantes de cada uno de los puntos de agua inventariados en esta unidad. Además del código del punto, se especifican sus coordenadas U.T.M, así como su cota (en metros sobre el nivel del mar), número de hoja topográfica 1:50.000, naturaleza del punto y uso del mismo.

En el plano 6.1 incluido al final de este informe se puede observar el inventario de puntos de agua pertenecientes a la Unidad Hidrogeológica, indicándose además la naturaleza del mismo.

Cuadro 7.3.3. Principales características de cada uno de los puntos de agua inventariados en esta unidad

CodPunto	Nº Hoja 1:50000	Nombre Hoja topográfica	Coord.X	Coord. Y	Cota	Naturaleza	Uso
6273110001	6273 I	Sánchez	426870	2128986		POZO	ABASTECIMIENTO (DOMESTICO)
6273110002	6273 I	Sánchez	426104	2129950		POZO	ABASTECIMIENTO (DOMESTICO)
6273110003	6273 I	Sánchez	426106	2129950		ZANJAS O SOCAVONES	
6273110004	6273 I	Sánchez	425994	2130068		POZO	ABASTECIMIENTO (DOMESTICO)
6273110005	6273 I	Sánchez	425915	2130160		ZANJAS O SOCAVONES	
6273110006	6273 I	Sánchez	425620	2130139		POZO	GANADERÍA
6273110007	6273 I	Sánchez	425319	2131015	64	POZO	ABASTECIMIENTO (DOMESTICO)
6273110008	6273 I	Sánchez	426230	2129840		POZO	ABASTECIMIENTO (DOMESTICO)
6273110009	6273 I	Sánchez	427228	2129230			
6273110010	6273 I	Sánchez	424876	2129179		POZO	ABASTECIMIENTO (DOMESTICO)
6273110011	6273 I	Sánchez	424876	2129179		POZO	ABASTECIMIENTO (DOMESTICO)
6273120001	6273 I	Sánchez	443080	2135728	25	POZO	
6273120002	6273 I	Sánchez	443681	2136523	68	POZO	
6273120003	6273 I	Sánchez	443597	2136042	14	POZO	
6273120004	6273 I	Sánchez	442631	2136004	15	POZO	
6273120005	6273 I	Sánchez	443579	2135960	10	POZO	
6273120006	6273 I	Sánchez	443712	2136001	10	POZO	
6273130001	6273 I	Sánchez	444016	2136028		POZO	
6273130025	6273 I	Sánchez	443666	2136522	3	POZO	OTRO
6273140001	6273 I	Sánchez	425330	2128960		POZO	ABASTECIMIENTO (DOMESTICO)
6273140002	6273 I	Sánchez	425330	2128960		POZO	ABASTECIMIENTO (DOMESTICO)
6273140003	6273 I	Sánchez	425040	2129078	23	POZO	ABASTECIMIENTO (DOMESTICO)
6273140004	6273 I	Sánchez	424480	2129238	15	POZO	ABASTECIMIENTO (DOMESTICO)
6273140005	6273 I	Sánchez	424173	2129111		POZO	ABASTECIMIENTO (DOMESTICO)
6273160001	6273 I	Sánchez	445395	2125016		CAUCE SUPERFICIAL	
6273160002	6273 I	Sánchez	440380	2126044		CAUCE SUPERFICIAL	
6373110001	6373 I	Las Galeras	478524	2132332	18	POZO	ABASTECIMIENTO (DOMESTICO)

CodPunto	Nº Hoja 1:50000	Nombre Hoja topográfica	Coord.X	Coord. Y	Cota	Naturaleza	Uso
6373110002	6373 I	Las Galeras	478512	2132543	11	POZO	ABASTECIMIENTO (DOMESTICO)
6373140001	6373 I	Las Galeras	476407	2122892	45	MANANTIAL	ABASTECIMIENTO (DOMESTICO)
6373140002	6373 I	Las Galeras	478466	2128466	64	POZO	AGRICULTURA
6373410001	6373 IV	Santa Bárbara de Samaná	455002	2133048		CAUCE SUPERFICIAL	
6373420001	6373 IV	Santa Bárbara de Samaná	464542	2129967		CAUCE SUPERFICIAL	
6373440001	6373 IV	Santa Bárbara de Samaná	455960	2122994	21	MANANTIAL	ABASTECIMIENTO (DOMESTICO)
6373440002	6373 IV	Santa Bárbara de Samaná	455801	2123048	39	MANANTIAL	ABASTECIMIENTO (DOMESTICO)
6373440003	6373 IV	Santa Bárbara de Samaná	455680	2123075		MANANTIAL	ABASTECIMIENTO (DOMESTICO)
6373440004	6373 IV	Santa Bárbara de Samaná	455232	2123106	36	MANANTIAL	ABASTECIMIENTO (DOMESTICO)
6373440005	6373 IV	Santa Bárbara de Samaná	454898	2123214	47	MANANTIAL	ABASTECIMIENTO (DOMESTICO)
6373450001	6373 IV	Santa Bárbara de Samaná	456039	2122995	35	MANANTIAL	ABASTECIMIENTO (DOMESTICO)
6373450002	6373 IV	Santa Bárbara de Samaná	456330	2123028	44	MANANTIAL	ABASTECIMIENTO (DOMESTICO)
6373450003	6373 IV	Santa Bárbara de Samaná	456427	2123103	85	MANANTIAL	ABASTECIMIENTO (DOMESTICO)
6373450006	6373 IV	Santa Bárbara de Samaná	458360	2123441	53	MANANTIAL	ABASTECIMIENTO (DOMESTICO)
6373450007	6373 IV	Santa Bárbara de Samaná	460023	2122634		CAUCE SUPERFICIAL	

#### **7.4. PARÁMETROS HIDRÁULICOS**

La información disponible sobre parámetros hidráulicos de la U.H. de Samaná es muy escasa. No existen datos disponibles sobre ensayos o pruebas de bombeo realizados en ninguno de los materiales de la unidad y la única información con posibilidad de utilizarse procede de las interpretaciones obtenidas de las formas y del funcionamiento cárstico de la unidad. Las permeabilidades asignadas a los materiales son, por tanto, estimativas (basadas en materiales similares de otras zonas) y relativas (en comparación de unos materiales con otros).

En la Unidad Hidrogeológica de Samaná, el material más permeable (además de los depósitos cuaternarios) es la caliza plio-pleistocena (PLc) localizada fundamentalmente en la subunidad de Calizas de Naranjito. Su alto grado de karstificación y las formas kársticas que desarrolla (dolinas, sumideros, emergencias, etc., comentadas en apartados posteriores) le asignan una permeabilidad alta, de tipo secundario por karstificación. También presenta características similares la caliza Miocena (Mc) de la subunidad Calizas de Las Galeras.

Los mármoles de la subunidad de Los Guanos-Atravesada se consideran permeables por fisuración y karstificación de grado medio-alto, por estar más recristalizadas que las calizas. Estos materiales presentan signos geomorfológicos claros de karstificación, con la presencia de simas, dolinas, etc.

A los conglomerados y areniscas del Mioceno (Mcg) se les ha asignado un grado de permeabilidad medio, del tipo primario y por porosidad intersticial. Se trata de unos conglomerados poligénicos envueltos en una matriz arenisco-margosa.

Las margas y yesos del Plioceno (PLm-y) y los materiales que constituyen el metamórfico indiferenciado (Mi) son considerados como depósitos impermeables o de muy baja permeabilidad, de manera que actúan como el nivel de base del aparato cárstico calizo suprayacente.

Por último, a los depósitos cuaternarios se les han asignado permeabilidades de muy alta a media-baja, del tipo primario y por porosidad intersticial, en función de los materiales que contienen y de sus supuestos grados de cementación. En este sentido, a los cuaternarios que constituyen las terrazas fluviales (Qa) se les ha asignado una permeabilidad muy alta, al cuaternario indiferenciado (Qi) y a los abanicos cuaternarios (Qab) se les ha asignado permeabilidad media-alta y al Cuaternario Holoceno (Ql) una permeabilidad media-baja.



## **7.5. PIEZOMETRÍA E HIDROMETRÍA: CORRELACIONES PRECIPITACIONES-HIDROMETRÍA**

La red de piezometría definida para esta unidad hidrogeológica ha estado condicionada por dos factores de partida. Por un lado, la ausencia de inventario previo realizado en la zona de estudio, y por lo tanto, la falta de redes de control piezométrico que pudieran aportar series de información históricas. A este factor hay que añadir el hecho de que de la práctica totalidad de los puntos inventariados se desconocen los datos de profundidad de la obra, lo cual dificulta la realización de un correcto diseño de la red de control piezométrico.

La red de piezometría definida consta de un total de cinco puntos de control que han sido agrupados en tres subsectores, en función de su situación geográfica y los materiales que captan, dentro de los cuales se suponen comportamientos similares en su evolución piezométrica.

En el cuadro 7.5.1 se incluyen los puntos seleccionados para la red de control piezométrico agrupados según subsectores. Además se incluyen los valores máximos, mínimos y medios tanto del nivel piezométrico (en metros sobre el nivel del mar), como de los análisis *in situ* (Tª aire y agua, Conductividad Eléctrica y pH) tomados del total de medidas realizadas durante la realización del presente proyecto.

Cuadro 7.5.1. Valores tipo de la red de control piezométrico

Subsector	CodPunto	Nivel piezométrico (ms.n.m)			T <sup>a</sup> Aire °C			T <sup>a</sup> Agua °C			Conductividad Eléctrica (mS/cm)			pH		
		Máx	Mín	Media	Máx	Mín	Media	Máx	Mín	Media	Máx	Mín	Media	Máx	Mín	Media
Las Terrenas	6273120004	13.00	3.00	6.20	27	25	26.17	27	23	24.83	0.6	0.52	0.56	9.3	7.7	8.30
	6273120005	9.30	2.00	6.17	28	25	26.14	29	23	25.43	1.41	0.54	1.07	10.1	7.6	8.54
	6273120006	9.50	3.50	7.13	28	23	25.71	29	22	25.00	1.48	0.72	0.93	9.9	7.5	8.54
Las Galeras	6373110001	-3.07	-5.50	-4.02	29	26	27.29	30	25	26.43	6.95	4.85	5.46	10.5	7.2	8.21
La Majagua	6273140004	5.60	-1.40	3.59	27	23	25.83	26	22	25.00	1.48	0.38	0.68	10.5	6.9	8.39

En el Anexo 4 de este informe se incluyen los datos de las campañas de piezometría realizadas para este estudio.

En el siguiente cuadro se indican los niveles piezométricos máximos, mínimos y medios agrupados por subsectores, calculados a partir de la lectura de todos los niveles medidos en las sucesivas campañas de piezometría.

Cuadro 7.5.2. Niveles piezométricos agrupados por subsectores

Subsector	Nivel piezométrico (ms.n.m)		
	Máximo	Mínimo	Medio
Las Terrenas	13	2	6.5
Las Galeras	-3.07	-5.50	-4.02
La Majagua	5.60	-1.40	3.59

En los gráficos de evolución de niveles para cada uno de los puntos de control de la red piezométrica, incluidos en la Documentación Complementaria, se pueden observar las tendencias que han sufrido dichos niveles en cada uno de los subsectores a lo largo del año hidrológico.

En general, la tendencia de los niveles piezométricos es diferente en cada uno de los subsectores. Así, en la zona de Las Terrenas se aprecia un descenso de los niveles entre agosto y octubre y entre enero y marzo, produciéndose recuperaciones de los mismos entre estos periodos. En la zona de Las Galeras los niveles medidos se encuentran por debajo del nivel del mar y existe una tendencia al descenso de los niveles entre los meses de noviembre a febrero. A partir de este mes no se pudieron seguir las medidas piezométricas por haberse instalado una bomba en la captación, quedando la entubación sin espacio para la entrada del hidronivel. En la zona de La Majagua, los niveles de aguas altas se dan entre los meses de noviembre y enero, produciéndose un descenso puntual en el mes de marzo por debajo del nivel del mar.

A continuación se realiza una breve descripción de cada uno de los subsectores definidos:

Subsector Las Terrenas:

Este subsector está controlado por 3 piezómetros situados en las proximidades de la localidad de Las Terrenas. Los materiales sobre los que se encuentran emboquillados estos pozos son los depósitos cuaternarios de origen fluvial (Qa). Aunque se desconoce la profundidad de las captaciones, estas deben ser de tipo superficial (inferiores a 20 metros), ya que debajo de los depósitos cuaternarios se encuentran los depósitos

metamórficos indiferenciados que no presentan interés desde el punto de vista hidrogeológico.

Los niveles piezométricos controlados en este subsector oscilan entre 13 y 2 metros sobre el nivel del mar, apreciándose un descenso de los niveles entre agosto y octubre y entre enero y marzo, con recuperaciones de los mismos entre estos periodos.

Subsector Las Galeras:

Este subsector está localizado en la zona oriental de la unidad hidrogeológica, junto a la localidad de Las Galeras. Únicamente se tienen los datos de un punto de control ya que el inventario en la zona es escaso. Se trata de un pozo de 36 metros de profundidad que capta las aguas de los depósitos del cuaternario indiferenciado (Q<sub>i</sub>).

El nivel piezométrico controlado en este punto oscila entre -3 y -5.5 metros por debajo del nivel del mar, apreciándose una tendencia al descenso de los niveles entre los meses de noviembre a febrero. A partir del mes de marzo no se pudo continuar con la medida de niveles, ya que el pozo fue instalado sin dejar hueco para la entrada del hidronivel.

Subsector La Majagua:

Este subsector se sitúa en el extremo occidental de la Unidad Hidrogeológica, estando controlado por un único punto. Este pozo se encuentra emboquillado sobre los depósitos de margas y yesos del Plioceno considerados como impermeables y sin interés hidrogeológico, por lo que probablemente esté captando los conglomerados y areniscas miocenas infrayacentes.

Los niveles piezométricos controlados oscilan entre 5.40 metros sobre el nivel del mar y -1.40 metros por debajo del nivel del mar. Los niveles de aguas altas se dan entre los meses de noviembre y enero, produciéndose un descenso puntual en el mes de marzo por debajo del nivel del mar.

## **7.6. RELACIÓN CON UNIDADES CONTIGUAS**

De acuerdo con la distribución de unidades o zonas hidrogeológicas establecidas por el PLANIACAS (1989), la única zona o unidad hidrogeológica limítrofe con la U.H. n° 4: Península de Samaná, es la unidad hidrogeológica n° 6: Valle del Cibao, en su sector oriental (Figura 7.3):



Desde el punto de vista hidrogeológico, y en función de los límites de funcionamiento definidos en apartados anteriores, la relación de la Zona o U.H. de la Península de Samaná con la citada Zona o U.H. limítrofe es la siguiente:

- El único sector que presenta relación hidrogeológica con otra U.H., es el extremo occidental de la subunidad Calizas de Naranjito. En este borde entran en contacto los depósitos margo-yesíferos pliocenos pertenecientes a la Península de Samaná con los depósitos detríticos cuaternarios de origen fluvial pertenecientes a la unidad hidrogeológica del Valle del Cibao. Se ha considerado como límite abierto hidráulicamente, aunque el posible intercambio hídrico entre ambas unidades va a ser escaso, por la baja permeabilidad de los depósitos margo-yesíferos. Este límite es abierto unidireccionalmente desde la U.H. de la Península de Samaná hacia la U.H. del Valle del Cibao, considerándose como límite estanco en la dirección contraria.

El resto de la Unidad Hidrogeológica limita con el mar, habiéndose considerado toda la zona de contacto como límite abierto hidráulicamente unidireccional, produciéndose descargas subterráneas al mar desde los depósitos permeables, y descargas superficiales desde los materiales impermeables.

### **7.7. RELACIÓN CON CAUCES SUPERFICIALES**

Como ya se ha venido comentado en apartados anteriores, la unidad hidrogeológica de la Península de Samaná está relacionada con tres ejes principales de descarga superficial, que están, a su vez, íntimamente condicionados por los principales sistemas de fracturación de la citada unidad.

- En el sector o subunidad de Las Calizas de Naranjito el principal eje de descarga presenta una distribución predominante SO-NE, siendo el cauce más importante el río Limón, que tiene el origen principal de sus aportaciones en las calizas arrecifales Pliocenas que drena en su tramo superior.

El resto de la red de drenaje de la subunidad está constituida por pequeños arroyos de corto recorrido en dirección S-N desarrollados fundamentalmente en el sector noroccidental de la subunidad, y cuyo origen de aportaciones son las calizas arrecifales pliocuaternarias.

- En la subunidad Mármoles de Los Guanos-Atravesada existen dos ejes principales de descarga (SE-NO y SO-NE), que terminan por unirse en uno único de dirección S-N. Los

cauces superficiales que dan origen a estos ejes de descarga son el río San Juan y el arroyo Grande, que confluye en este aguas abajo.

El origen de las aportaciones a estos cauces es fundamentalmente por escorrentía superficial, ya que la mayor parte de ambas cuencas discurren a través de materiales impermeables (Metamórfico indiferenciado), excepto el tramo final del río San Juan, que drena el sector oeste de los mármoles de Los Guanos-Atravesada y algunos depósitos de materiales detríticos cuaternarios.

- En la subunidad de las Calizas de Las Galeras no existen ejes de descarga predominantes, estando la red de drenaje compuesta de pequeños arroyos y cañadas de corto recorrido desarrollados únicamente en la zona sur de la subunidad y cuyo origen está asociado a materiales metamórficos indiferenciados de baja permeabilidad.
- En la subunidad Conglomerados de Samaná-Majagual la mayor parte de los cauces tienen dirección N-S y corto recorrido, estando su origen en los depósitos de conglomerados y areniscas del Mioceno. El cauce más importante de todos es el del río Majagual, aunque discurre en su totalidad a través de materiales metamórficos indiferenciados (Mti) de baja permeabilidad.

## **8. CARACTERIZACIÓN HIDROQUÍMICA**

El estudio de las características que presentan las aguas subterráneas de la unidad hidrogeológica 04. Samaná se ha llevado a cabo partiendo de los datos obtenidos en dos campañas de muestreo realizadas, entre noviembre y diciembre de 2003 (primera campaña) y mayo de 2004 (segunda campaña).

### **8.1. DEFINICIÓN DE LA RED DE CONTROL DE CALIDAD DEL AGUA SUBTERRÁNEA**

En el informe correspondiente al segundo trimestre del "Estudio Hidrogeológico Nacional de la República Dominicana" (diciembre, 2003) se presentó una propuesta de red de control de calidad del agua subterránea para su aprobación por parte de la Supervisión del Estudio.

Tras presentar la propuesta a la UTG, y a los técnicos del INDRHI, y una vez incorporadas sus sugerencias y realizada la revisión de campo, se seleccionaron 11 puntos de muestreo en la unidad, que corresponden a pozos y a descargas a través de manantiales.

En la figura 8.1. se observa la distribución espacial de los puntos de control hidroquímico y en el cuadro 8.1.1 se incluye una relación de los puntos de agua que constituyen la red de control en la unidad.

Cuadro 8.1.1. Puntos de la red de control hidroquímico en Samaná.

<b>Nº lab</b>	<b>Código</b>	<b>Naturaleza</b>	<b>Paraje</b>	<b>Municipio</b>
25	6273120004	Pozo		Las Terrenas
26	6273130025	Pozo	LA CAÑA DE AZÚCAR	Las Terrenas
114	6273140004	Pozo	EL CATEY	Sánchez
115	6273110007	Pozo	EL TUNIO	Sánchez
116	6373140001	Manantial	EL CACHON	Las Galeras
117	6373110001	Pozo	LA GALERA	Las Galeras
118	6373110002	Pozo	LA GALERA	Las Galeras
119	6373440005	Manantial	ARROYO BARIL	Santa Bárbara de Samaná
120	6373440001	Manantial	LA PÀCUALA	Santa Bárbara de Samaná
121	6273110002	Pozo	MAJAGUA	Sánchez
122	6273140003	Pozo	EL CATEY	Sánchez



El estudio que aquí se presenta se basa en el análisis de los datos obtenidos durante el desarrollo del proyecto, con el muestreo y posterior análisis químico de las muestras de aguas procedentes de los puntos de control seleccionados.



## **8.2. CAMPAÑAS DE MUESTREO HIDROQUÍMICO Y REALIZACIÓN DE ANÁLISIS *IN SITU***

La recogida, transporte y almacenamiento de muestras de agua, así como los análisis "in situ" se realizaron siguiendo las indicaciones recogidas en *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* y las normas recomendadas por AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA), AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION (AWWA) y WATER POLLUTION CONTROL FEDERATION (WPCF).

Los recipientes de polietileno de 2000 ml de capacidad utilizados para el muestreo se enjuagaron varias veces con el agua del punto a muestrear, y se llenaron completamente, evitando que quedasen burbujas de aire.

Como método de preservación, todos los envases se mantuvieron refrigerados en neveras portátiles hasta su entrega en el laboratorio, realizada en las 24-48 horas siguientes a la toma.

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

### **8.2.1. Primera campaña**

La primera campaña de muestreo hidroquímico se ha llevado a cabo entre noviembre y diciembre de 2003.

Los resultados analíticos obtenidos en los análisis "in situ" de los parámetros inestables: conductividad, temperatura y pH se recogen en el Cuadro 8.2.1.

La conductividad de las muestras de agua analizadas está comprendida entre 530 y 5890 microS/cm. El valor más alto corresponde a la muestra nº 117, procedente de un pozo situado en el municipio de Las Galeras. El valor mínimo se registra en la muestra nº 114 procedente del municipio de Sánchez, en el extremo oeste de la unidad.

En el caso de la temperatura, las aguas de la zona de estudio tienen valores que oscilan entre 23 y 27 °C, con un valor mínimo en la muestra número 25 y máximo en la muestra número 26. Los valores extremos corresponden a puntos muestreados en Las Terrenas.

Por último, los valores de pH oscilan entre 7.0 y 8.3. El valor mínimo se ha registrado en las muestras números 117, 118 y 120 en Las Galeras y Santa Bárbara de Samaná. Por su parte, el

valor máximo corresponde a la muestra nº 26 procedente de un pozo muestreado en Las Terrenas.

Cuadro 8.2.1 Resultados de los análisis "in situ" de la primera campaña (UH. 04. Samaná)

Nº lab	CodPunto	Municipio	Fecha de muestreo	Temp °C		Conduc (mS/cm)	pH
				Aire	Agua		
25	6273130004	LAS TERRENAS	26/11/2003	25	23	0.57	8
26	6273130002	LAS TERRENAS	26/11/2003	27	27	0.91	8.3
114	6273140004	SÁNCHEZ	17/12/2003	25	26	0.53	7.9
115	6273110007	SÁNCHEZ	17/12/2003	30	24	0.58	7.3
116	6373140001	LA GALERA	18/12/2003	24	24	0.82	7.7
117	6373110001	LA GALERA	18/12/2003	26	24	5.89	7
118	6373110002	LA GALERA	18/12/2003	28	26	5.6	7
119	6373440005	SANTA BÁRBARA DE SAMANÁ	18/12/2003	26	25	0.74	7.7
120	6373440001	SANTA BARBARA DE SAMANÁ	18/12/2003	28	26	0.7	7
121	6273110002	SÁNCHEZ	18/12/2003	33	26	0.59	7.2

### 8.2.2. Segunda campaña

La segunda campaña de muestreo hidroquímico se ha llevado a cabo en mayo de 2004.

Los resultados analíticos obtenidos en los análisis "in situ" de los parámetros inestables: conductividad, temperatura y pH se recogen en el Cuadro 8.2.2.

La conductividad de las muestras de agua analizadas está comprendida entre 610 y 6910 microS/cm. El valor más alto corresponde a la muestra nº 117, procedente de un pozo situado en el municipio de Las Galeras. El valor mínimo se registra en la muestra nº 115 procedente del municipio de Sánchez, en el extremo oeste de la unidad.

En el caso de la temperatura, las aguas de la zona de estudio tienen valores que oscilan entre 23 y 26 °C, con un valor mínimo en la muestra número 116 y máximo en la muestra número 120.

Por último, los valores de pH oscilan entre 6.8 y 7.6. El valor mínimo se ha registrado en la muestra número 118 en Las Galeras. Por su parte, el valor máximo corresponde a la muestra nº 116.

Cuadro 8.2.2 Resultados de los análisis "in situ" de la segunda campaña (UH. 04. Samaná)

<i>Codigo</i>	<i>Paraje</i>	<i>Municipio</i>	<i>Fecha de muestreo</i>	<i>Temp °C</i>		<i>Conduc (mS/cm)</i>	<i>pH</i>
				<i>Aire</i>	<i>Agua</i>		
6273130002	Restaurante La Caña De Azúcar	Las Terrenas	13/05/2004	25	25	0,91	7,3
6273130004	Las Terrenas	Las Terrenas	13/05/2004	32	26	0,64	7,1
6273110002	Majagua	Sánchez	12/05/2004	27	25	0,65	6,9
6273110007	El Tunio	Sánchez	12/05/2004	26	25	0,61	7,4
6373110001	La Galera	La Galera	13/05/2004	25	25	6,91	7,1
6373110002	La Galera	La Galera	13/05/2004	23	25	4,1	6,8
6373140001	El Cachón	La Galera	13/05/2004	23	23	0,9	7,6
6373440001	La Pàcuala	Santa Bárbara De Samaná	12/05/2004	24	26	0,72	6,9
6373440005	Arroyo Baril	Santa Bárbara De Samaná	12/05/2004	25	24	0,76	7

### **8.3. ANÁLISIS DE LABORATORIO**

#### **8.3.1. Determinaciones analíticas**

En todos los puntos de la red se ha llevado a cabo un análisis de parámetros físico-químicos (conductividad y pH) y constituyentes mayoritarios (sodio, potasio, calcio, magnesio, amonio, nitritos, nitratos, carbonatos, bicarbonatos, cloruros, sulfatos y fosfatos).

#### **8.3.2. Laboratorios y Métodos de análisis**

Las determinaciones analíticas se han realizado en el laboratorio de control de calidad de aguas del INDRHI en Santo Domingo (República Dominicana).

La metodología analítica empleada en el laboratorio del INDRHI se ha ajustado a los Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 18th Edition (1992).

#### **8.3.3. Control de calidad analítica: error analítico**

El control de calidad analítica se ha llevado a cabo por medio del cálculo del error analítico de cada una de las muestras de agua subterránea disponible.

Dicho error se ha calculado a partir del balance de masas y se expresa en tanto por ciento:

$$\text{Error (\%)} = \frac{\sum r_{\text{cationes}} - \sum r_{\text{aniones}}}{\sum r_{\text{cationes}} + \sum r_{\text{aniones}}} * 200$$

donde:  $\sum r_{\text{cationes}}$  es la suma de las concentraciones de los cationes en meq/l

$\sum r_{\text{aniones}}$  es la suma de las concentraciones de los aniones en meq/l

Los valores obtenidos están comprendidos, en valor absoluto, entre 0.49 y 14.35 % en la primer campaña (Cuadro 8.3.1.) y entre 0.20 y 9.28 % en la segunda campaña (Cuadro 8.3.2.). El error admisible depende de la concentración y del tipo de agua, pero a título indicativo puede establecerse (modificado de Anderson, 1966, pág. 54, en Custodio y Llamas, 1983, pág. 223):

Conductividad (microS/cm)	50	200	500	> 2000
Error admisible (%)	30	10	8	4

Se observa que en la primera campaña, en la muestra nº 26, el error analítico es elevado (14.35 %), para el valor de conductividad que presenta (873  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ). En la segunda campaña los errores analíticos son menores, con un valor máximo de 9.28 % en la muestra número 116.

Cuadro 8.3.1 Errores analíticos de las muestras de aguas subterráneas en la primera campaña (UH. 04. Samaná)

No. Lab,	Código	CE ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	Error analítico (%)
25	6273130004	556	-0.49
26	6273130002_D	873	-14.35
114	6273140004	461	-7.55
115	6273110007	504	-0.56
116	6373140001	694	-5.53
117	6373110001	5420	-5.49
118	6373110002	4350	-1.84
119	6373440005	636	-3.41
120	6373440001	592	-4.02
121	6273110002	502	-3.21
122	6273140003	138	7.23

Cuadro 8.3.2 Errores analíticos de las muestras de aguas subterráneas en la segunda campaña (UH. 04. Samaná)

Nº orden asignado	Nº lab 2ª	Código	Fecha de Muestreo	CE ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	Error
25	102	6273120004	13/05/2004	480	-4,59
26	101	6273130025	13/05/2004	677	-8,52
114	92	6273140004	12/05/2004	439	-7,21
115	94	6273110007	12/05/2004	478	-1,67
116	97	6373140001	13/05/2004	645	-9,28
117	98	6373110001	13/05/2004	5810	-4,56
118	99	6373110002	13/05/2004	4720	-1,34
119	95	6373440005	12/05/2004	562	-4,16
120	96	6373440001	12/05/2004	535	-3,95
121	93	6273110002	12/05/2004	478	-0,20
122	91	6273140003	12/05/2004	104	-3,05

#### **8.3.4. Resultados analíticos de laboratorio**

En el Anexo 5. Hidroquímica se recogen los resultados analíticos de las muestras de agua correspondientes a las campañas de muestreo realizadas durante el desarrollo del Proyecto.

En esta memoria se presenta la interpretación de los resultados dentro de la UH. 04. Samaná.

### **8.4. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS**

A continuación se incluye la interpretación de los resultados analíticos proporcionados por los laboratorios de análisis. Los datos de análisis químicos de aguas subterráneas se han sometido a un tratamiento tanto numérico, como gráfico.

Para la representación gráfica de datos de análisis hidroquímicos se han utilizado programas no comercializados, desarrollados en entorno DOS, utilizando el software de la casa GOLDEN, con salidas gráficas por plotter o impresora. Estos programas generan distintos tipos de gráficos (PIPER, STIFF, SCHOELLER .. etc.) a partir de un fichero de datos con estructura similar. Como datos de entrada se incluyen las concentraciones de los iones mayoritarios calcio, magnesio, sodio, cloruros, sulfatos, bicarbonatos, potasio, carbonatos y nitratos, en mg/l, seguidas de la denominación de la muestra y del valor de la conductividad eléctrica en :S/cm.

#### **8.4.1. Caracterización hidroquímica general**

En los cuadros 8.4.1 y 8.4.2 se incluyen los resultados analíticos proporcionados por el laboratorio de análisis correspondientes a las campañas de control realizadas.

Las aguas analizadas presentan una mineralización que varía desde baja a elevada, con conductividades que oscilan entre 138 y 5420 microS/cm en la primera campaña y entre 104 y 5810 microS/cm en la segunda.

En el caso de los aniones, las concentraciones de bicarbonatos tienen un margen de variación que oscila entre 18 y 415 mg/l de  $\text{HCO}_3^-$  en la primera campaña (entre 12 y 397 en la segunda); los sulfatos varían entre 5 y 201 mg/l de  $\text{SO}_4^{=}$  en la primera campaña (entre 5 y 27 en la segunda) y, los cloruros oscilan entre 16 y 1717 mg/l de  $\text{Cl}^-$  en la primera campaña (entre 14 y 1789 en la segunda).

En cuanto a los cationes, el calcio presenta un rango de variación que oscila entre 4 y 163 mg/l de  $\text{Ca}^{++}$  en la primera campaña (entre 2 y 157 en la segunda); el sodio, por su parte, varía entre 10 y 896 mg/l de  $\text{Na}^+$  en la primera campaña (entre 4 y 828 en la segunda); el potasio



tiene un margen de variación comprendido entre 0.5 y 27 mg/l de  $K^+$  en la primera campaña (entre 0.3 y 41 en la segunda) y el magnesio se encuentra en concentraciones comprendidas entre 2 y 99 mg/l de  $Mg^{++}$  en la primera campaña (entre 3 y 124 en la segunda).

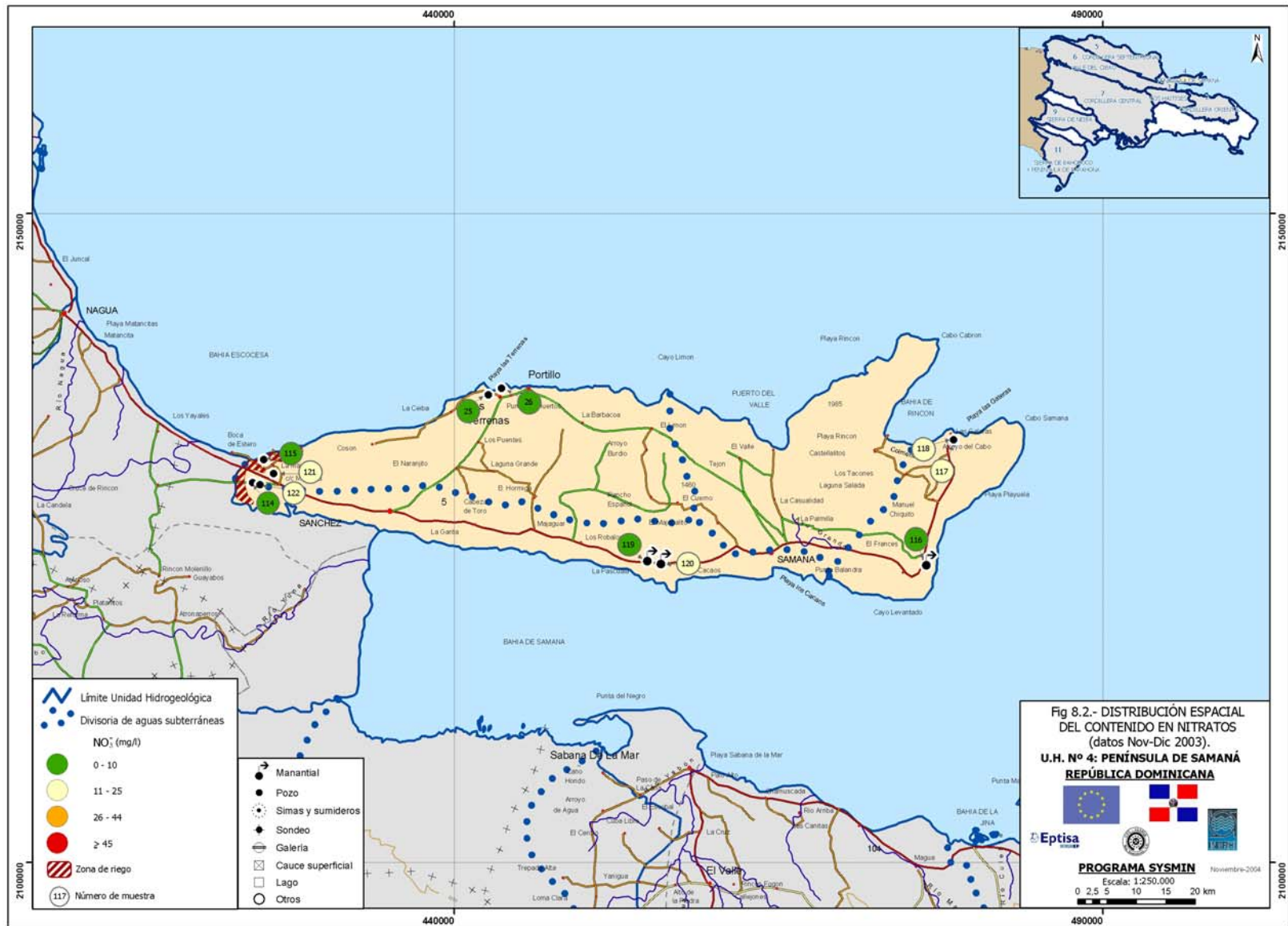
Las especies nitrogenadas analizadas presentan valores de nitratos que oscilan entre 4 y 24 mg/l de  $NO_3^-$  en la primera campaña (entre 5 y 18 en la segunda). En la figura 8.2. se observa la distribución espacial de los valores de nitratos. Los valores que se registran en la unidad son bajos, inferiores a 25 mg/l, si bien, las concentraciones comprendidas entre 11 y 25 mg/l muestran en unos casos (muestras números 121 y 122) la influencia de los abonos aportados en zonas agrícolas próximas, y en otros (muestras números 117 y 118) estos iones pueden proceder de la oxidación de  $NH_4^+$  originado en fosas sépticas existentes en el entorno de estos puntos de agua.

Cuadro 8.3.1 Resultados analíticos de laboratorio de la primera campaña de muestreo (UH. 04. Samaná). Datos en mg/l, excepto conductividad (microS/cm) y pH.

No. asignado	Código	CE	pH	Ca	Mg	Na	K	CO3	HCO3	Cl	SO4	NO3	NO2	Amonio
25	6273130004	556	6.4	76.2	9.6	18.7	0.6	0.0	250.2	40.4	4.6	7.0	0.01	<LD
26	6273130002_D	873	7.1	90.4	18.7	47.1	1.5	0.0	414.9	77.3	16.8	4.4	0.02	<LD
114	6273140004	461	7.5	73.8	5.6	10.1	1.0	0.0	262.4	15.6	6.1	6.6	0.02	0.26
115	6273110007	504	6.9	75.4	3.7	24.8	4.0	0.0	256.3	28.7	8.7	5.3	0.02	<LD
116	6373140001	694	6.9	85.4	14.9	34.1	3.8	0.0	366.0	38.3	14.2	6.2	0.03	0.04
117	6373110001	5.420	6.6	161.0	99.0	896.0	26.5	0.0	378.2	1716.8	200.6	11.0	0.02	0.21
118	6373110002	4.350	6.6	163.0	73.3	691.0	24.9	0.0	347.7	1310.7	129.1	20.7	0.03	0.22
119	6373440005	636	6.4	104.0	6.5	17.0	1.1	0.0	347.7	23.8	11.2	7.5	0.03	<DL
120	6373440001	592	6.6	56.6	19.6	36.0	1.0	0.0	317.2	23.8	9.0	13.6	0.02	<DL
121	6273110002	502	6.6	81.4	7.0	9.5	0.5	0.0	250.1	22.0	6.3	23.8	0.00	<DL
122	6273140003	138	4.5	3.8	2.4	25.4	1.9	0.0	18.3	25.2	11.7	11.0	0.09	<DL

Cuadro 8.3.2 Resultados analíticos de laboratorio de la segunda campaña de muestreo (UH. 04. Samaná). Datos en mg/l, excepto conductividad (microS/cm) y pH.

Nº orden asignado	Nº lab 2ª	Código	Fecha de Muestreo	CE (µS/cm)	pH	Ca	Mg	Na	K	CO3	HCO3	Cl	SO4	NO3	NO2	Amonio
25	102	6273120004	13/05/2004	480	7,2	73	9	21	0,8	0,0	275	30	6	8	0,02	<LD
26	101	6273130025	13/05/2004	677	7,3	83	21	24	0,8	0,0	348	43	23	7	0,00	0,06
114	92	6273140004	12/05/2004	439	7,6	77	8	4	0,4	0,0	268	14	6	7	0,02	<LD
115	94	6273110007	12/05/2004	478	7,0	71	9	9	3,1	0,0	250	23	2	5	0,02	<LD
116	97	6373140001	13/05/2004	645	7,0	77	18	22	2,7	0,0	342	45	3	5	0,02	<LD
117	98	6373110001	13/05/2004	5810	7,0	157	124	828	41,4	0,0	397	1789	27	12	0,64	<LD
118	99	6373110002	13/05/2004	4720	6,4	154	115	672	32,8	0,0	372	1454	22	18	0,01	<LD
119	95	6373440005	12/05/2004	562	6,8	90	10	18	0,8	0,0	329	22	10	12	<LD	<LD
120	96	6373440001	12/05/2004	535	6,8	90	8	17	0,8	0,0	323	18	8	12	0,03	<LD
121	93	6273110002	12/05/2004	478	7,0	81	7	8	0,3	0,0	256	22	4	5	<LD	<LD
122	91	6273140003	12/05/2004	104	4,2	2	3	17	0,8	0,0	12	20	4	18	0,01	<LD



En la figura 8.3. se incluye el diagrama de Piper correspondiente a las aguas subterráneas analizadas, que permite clasificar a las muestras atendiendo a los aniones y cationes predominantes.

Atendiendo al anión predominante se observa que la composición de las aguas analizadas es de carácter bicarbonatado. No obstante, hay tres muestras que presentan una composición netamente clorurada (muestras números 117, 118 y 122).

En cuanto a los cationes, las aguas subterráneas tienen una composición cálcica en la mayor parte de los casos, si bien se observan tres muestras de carácter sódico (muestras números 117, 118 y 122) y una de carácter mixto cálcico-magnésico (nº 120).

En las figuras 8.4. y 8.5. se incluye el diagrama de Schöeller-Berkaloff de distintas muestras de agua analizadas en la unidad de Samaná.

Se observa, como cabía esperar, que las muestras corresponden a varias familias hidroquímicas: por un lado, aguas de facies bicarbonatadas cálcicas (figura 8.4.), y por otro, aguas de facies cloruradas sódicas (figura 8.5.).

Figura 8.3. Diagrama de Piper (UH. 04. Samaná)

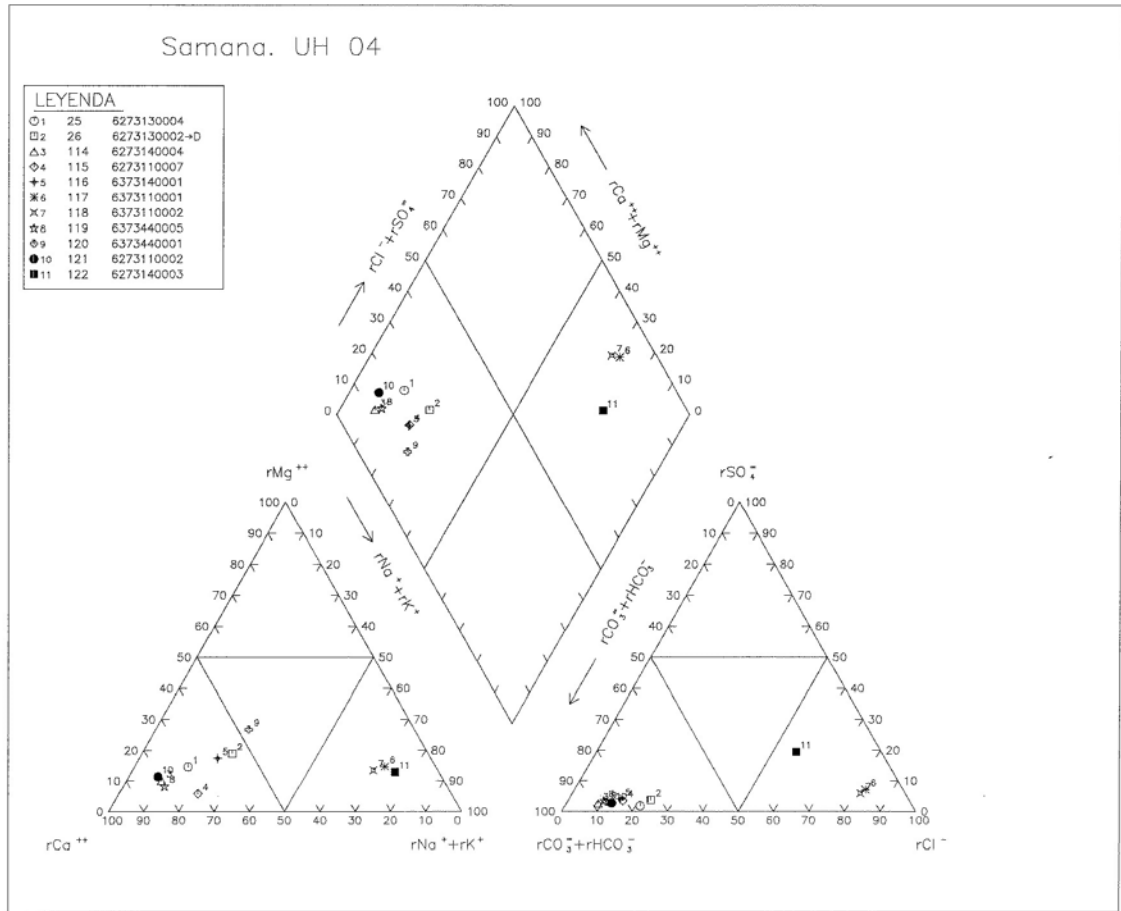


Figura 8.4 Diagrama de Schöeller-Berkaloff de las muestras números 25, 26 y 121 (UH. 04. Samaná)

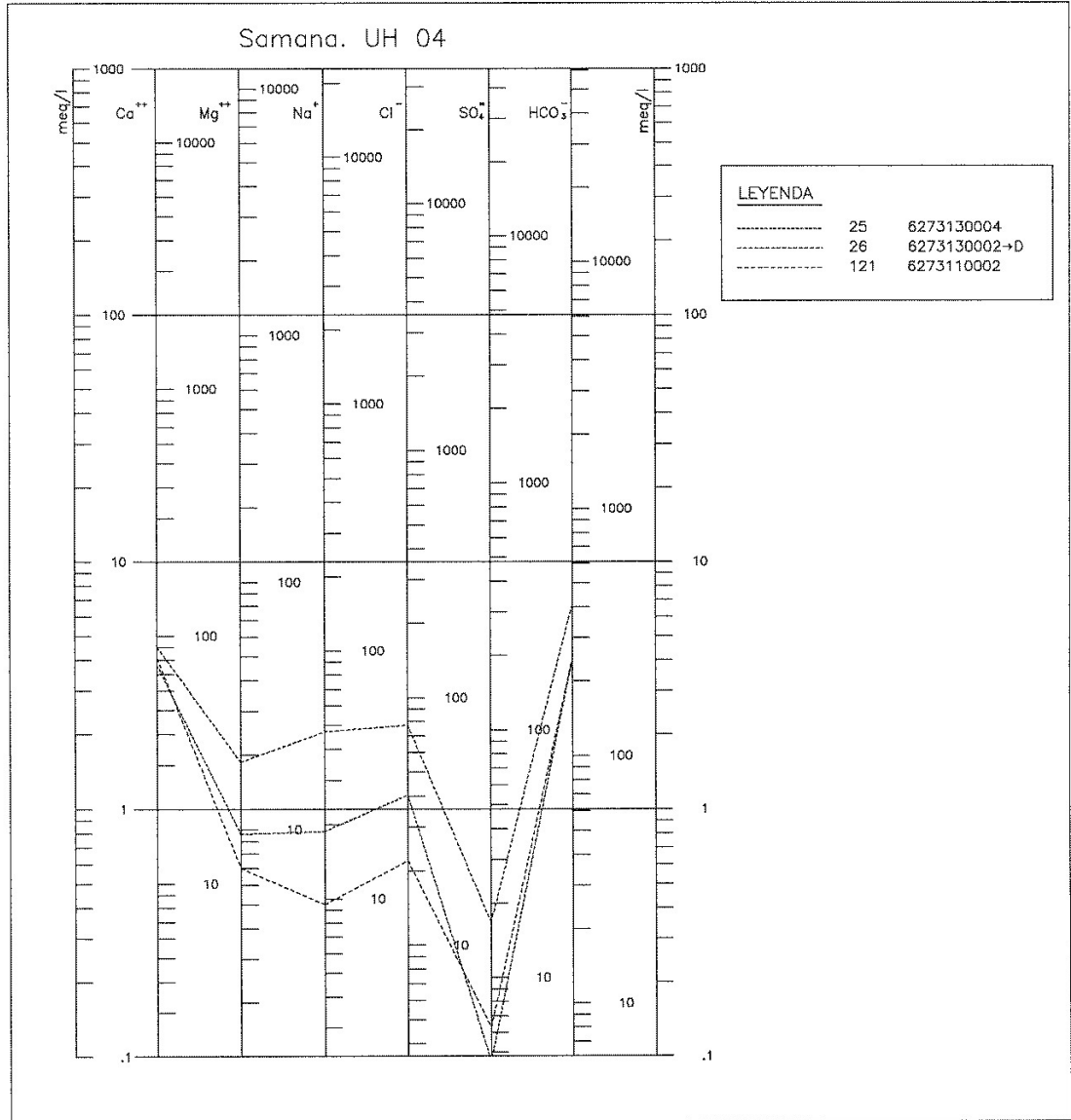
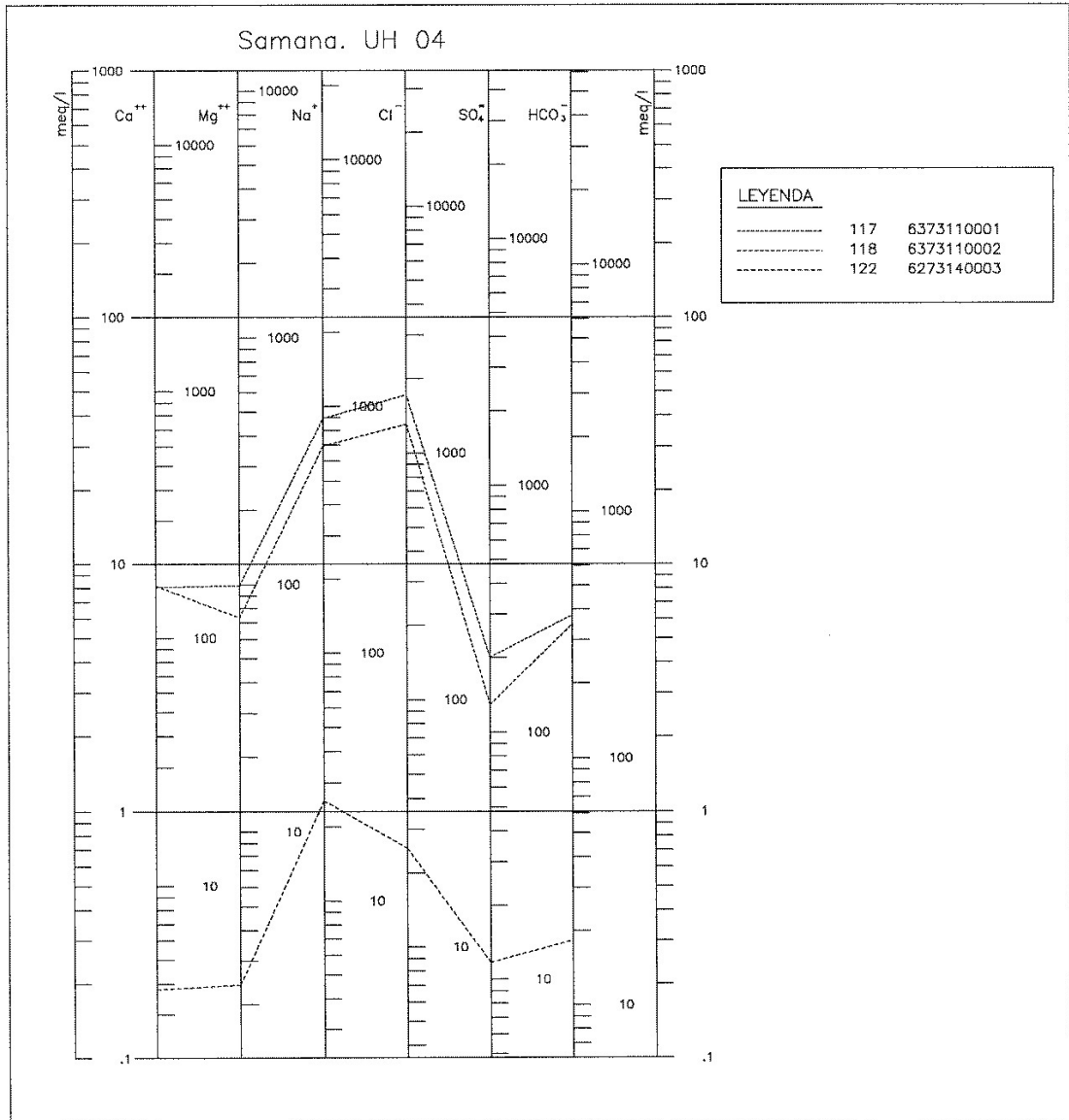


Figura 8.5. Diagrama de Schöeller-Berkaloff de las muestras números 117, 118 y 122 (U.H. 04. Samaná).





## **8.5. APTITUD DE LAS AGUAS PARA DISTINTOS USOS**

### **8.5.1. Abastecimiento**

Para analizar la aptitud de las aguas analizadas para abastecimiento humano se ha llevado a cabo un estudio de las normas internacionales al respecto. Así, se consideran los límites establecidos para una serie de parámetros de interés, tanto en las Guías de la Organización Mundial de la Salud (OMS) para la calidad del agua potable (1995), como en la República Dominicana (NORDOM, 1980) o en España (Real Decreto 140/2003 de 7 de febrero). Los límites considerados se refieren a la última actualización realizada en cada caso. La OMS publica las modificaciones realizadas con una cadencia de unos 12 años.

Con respecto a la calidad de las aguas analizadas, los resultados obtenidos se han comparado con los valores recogidos en las normas NORDOM (1980) de la República Dominicana. En algunos constituyentes no recogidos en NORDOM (sodio, amonio) se utilizan los valores fijados por la OMS.

Los resultados analíticos de los puntos de agua muestreados en Samaná indican que las aguas subterráneas analizadas superan los límites establecidos en dos de las muestras (números 117 y 118) para el total de sólidos disueltos, dureza, sodio y cloruros (Cuadro 8.5.1 y Cuadro 8.5.2.). En el resto de las muestras los valores obtenidos se encuentran dentro de los límites establecidos en la normativa de aguas de abastecimiento humano.

En la figura 8.6. se observa la distribución espacial de las muestras en las que se superan los límites establecidos para aguas de abastecimiento. En cada una de las muestras se ha representado un círculo con tantos sectores como parámetros superan los límites de potabilidad para consumo humano.

Cuadro 8.5.1. Aptitud de las aguas subterráneas analizadas en la primera campaña en la UH. 04 Península de Samaná para abastecimiento humano.

Límites NORDOM-80 u OMS-95			9,2	200	150	200 (OMS)				600	400	45	3,00	1,5 (OMS)			500		1500
No. Lab	Código	CE (µS/cm)	pH	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	Na (mg/l)	K (mg/l)	CO3 (mg/l)	HCO3 (mg/l)	Cl (mg/l)	SO4 (mg/l)	NO3 (mg/l)	NO2 (mg/l)	Amonio (mg/l)	PO4 (mg/l)	Si (mg/l)	DT (mg/l)	Alc. (mg/l)	STD (mg/l)
25	6273130004	556	6.4	76.15	9.6	18.68	0.579	0	250	40	5	7	0.01	<LD	0.22	N/A	229.5	205	315
26	6273130002_D	873	7.1	90.38	18.71	47.1	1.482	0	415	77	17	4	0.02	<LD	0.09	N/A	303	340	500
114	6273140004	461	7.5	73.75	5.59	10.1	1.014	0	262	16	6	7	0.02	0.26	0.26	N/A	207	215	329
115	6273110007	504	6.9	75.35	3.65	24.8	3.991	0	256	29	9	5	0.02	<LD	0.22	N/A	203	210	342
116	6373140001	694	6.9	85.4	14.88	34.1	3.794	0	366	38	14	6	0.03	0.04	0.30	N/A	275.5	300	422
117	6373110001	5.420	6.6	161	99	896	26.53	0	378	1717	201	11	0.02	0.21	0.11	N/A	815	310	3575
118	6373110002	4.350	6.6	163	73.32	691	24.85	0	348	1311	129	21	0.03	0.22	0.26	N/A	713	285	2871
119	6373440005	636	6.4	104	6.48	17	1.1	0	348	24	11	7	0.03	<DL	0.11	N/A	287	285	405
120	6373440001	592	6.6	56.6	19.56	36	1.04	0	317	24	9	14	0.02	<DL	0.14	N/A	223	260	379
121	6273110002	502	6.6	81.4	6.96	9.5	0.534	0	250	22	6	24	0.00	<DL	0.01	N/A	232.5	205	323
122	6273140003	138	4.5	3.8	2.4	25.4	1.91	0	18	25	12	11	0.09	<DL	0.12	N/A	19.5	15	112
	<b>Min</b>	<b>138</b>	<b>4.5</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>10</b>	<b>0.5</b>	<b>0</b>	<b>18</b>	<b>16</b>	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>0.00</b>	<b>0.04</b>	<b>0.01</b>	<b>0</b>	<b>20</b>	<b>15</b>	<b>112</b>
	<b>Max</b>	<b>5420</b>	<b>7.5</b>	<b>163</b>	<b>99</b>	<b>896</b>	<b>26.5</b>	<b>0</b>	<b>415</b>	<b>1717</b>	<b>201</b>	<b>24</b>	<b>0.09</b>	<b>0.26</b>	<b>0.30</b>	<b>0</b>	<b>815</b>	<b>340</b>	<b>3575</b>

 Límites establecidos en la normativa de aguas de abastecimiento humano

 Valores que superan los límites establecidos en la normativa (NORDOM-80 u OMS-95)

 Rangos de variación de cada parámetro

Cuadro 8.5.2. Aptitud de las aguas subterráneas analizadas en la segunda campaña en la UH. 04 Península de Samaná para abastecimiento humano.

Límites NORDOM-80 u OMS-95				9,2	200	150	200 (OMS)	600	400	45	3,00	1,5 (OMS)	500	1500		
Nº orden asignado	Nº lab 2ª	Código	Fecha de Muestreo	CE (µS/cm)	pH	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	Na (mg/l)	Cl (mg/l)	SO4 (mg/l)	NO3 (mg/l)	NO2 (mg/l)	Amonio (mg/l)	DT (mg/l)	STD (mg/l)	
25	102	6273120004	13/05/2004	480	7,2	73	9	21	30	6	8	0,02	<LD	221	307	
26	101	6273130025	13/05/2004	677	7,3	83	21	24	43	23	7	0,00	0,06	293	411	
114	92	6273140004	12/05/2004	439	7,6	77	8	4	14	6	7	0,02	<LD	226	294	
115	94	6273110007	12/05/2004	478	7,0	71	9	9	23	2	5	0,02	<LD	216	295	
116	97	6373140001	13/05/2004	645	7,0	77	18	22	45	3	5	0,02	<LD	269	387	
117	98	6373110001	13/05/2004	5810	7,0	157	124	828	1789	27	12	0,64	<LD	912	3726	
118	99	6373110002	13/05/2004	4720	6,4	154	115	672	1454	22	18	0,01	<LD	854	2999	
119	95	6373440005	12/05/2004	562	6,8	90	10	18	22	10	12	<LD	<LD	269	306	
120	96	6373440001	12/05/2004	535	6,8	90	8	17	18	8	12	0,03	<LD	259	388	
121	93	6273110002	12/05/2004	478	7,0	81	7	8	22	4	5	<LD	<LD	231	276	
122	91	6273140003	12/05/2004	104	4,2	2	3	17	20	4	18	0,01	<LD	19	89	
				<b>Min</b>	<b>104</b>	<b>4,2</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>14</b>	<b>2</b>	<b>5</b>	<b>0,00</b>	<b>0,06</b>	<b>19</b>	<b>89</b>
				<b>Max</b>	<b>5810</b>	<b>8</b>	<b>157</b>	<b>124</b>	<b>828</b>	<b>1789</b>	<b>27</b>	<b>18</b>	<b>0,64</b>	<b>0,06</b>	<b>912</b>	<b>3726</b>

	Límites establecidos en la normativa de aguas de abastecimiento humano
	Valores que superan los límites establecidos en la normativa (NORDOM-80 u OMS-95)
	Rangos de variación de cada parámetro



### **8.5.2. Regadío**

A continuación se analiza la aptitud de las aguas subterráneas para regadío, considerando los problemas que en ocasiones puede plantear su utilización.

En la figura 8.7. se presenta la clasificación de las aguas analizadas para usos agrícolas, según la clasificación del U.S. Salinity Laboratory Staff (S.A.R.). Se trata de aguas con peligro de salinización bajo (C1), medio (C2), alto (C3) o muy alto (C4) y de alcalinización bajo (S1) o alto (S3).

La clasificación del U.S. Salinity Laboratory Staff (S.A.R.) no considera las muestras que tienen conductividades extremadamente elevadas, superiores a 6000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , puesto que no tiene sentido su utilización para uso agrícola.

Las aguas de la clase C1 tienen una salinidad baja, con conductividades comprendidas entre 100 y 250  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , que corresponden aproximadamente a 64-160 mg/l de sólidos disueltos. Pueden usarse para la mayor parte de los cultivos.

Las aguas de la clase C2 tienen una salinidad media, con conductividades comprendidas entre 250 y 750  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , que corresponden aproximadamente a 160-480 mg/l de sólidos disueltos. Pueden usarse para cultivos moderadamente tolerantes a las sales (alfalfa, trigo, zanahoria, cebolla, coliflor, etc.).

Las aguas de la clase C3 son altamente salinas, con conductividades que oscilan entre 750 y 2250  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , que corresponden a un total de sólidos disueltos comprendido entre 480 y 1440 mg/l aproximadamente. Estas aguas no pueden usarse en suelos de drenaje deficiente. Es preciso elegir plantas muy tolerantes a las sales (cebada, remolacha, espárragos, espinacas, etc.) y con posibilidad de controlar la salinidad del suelo, aún con drenaje adecuado.

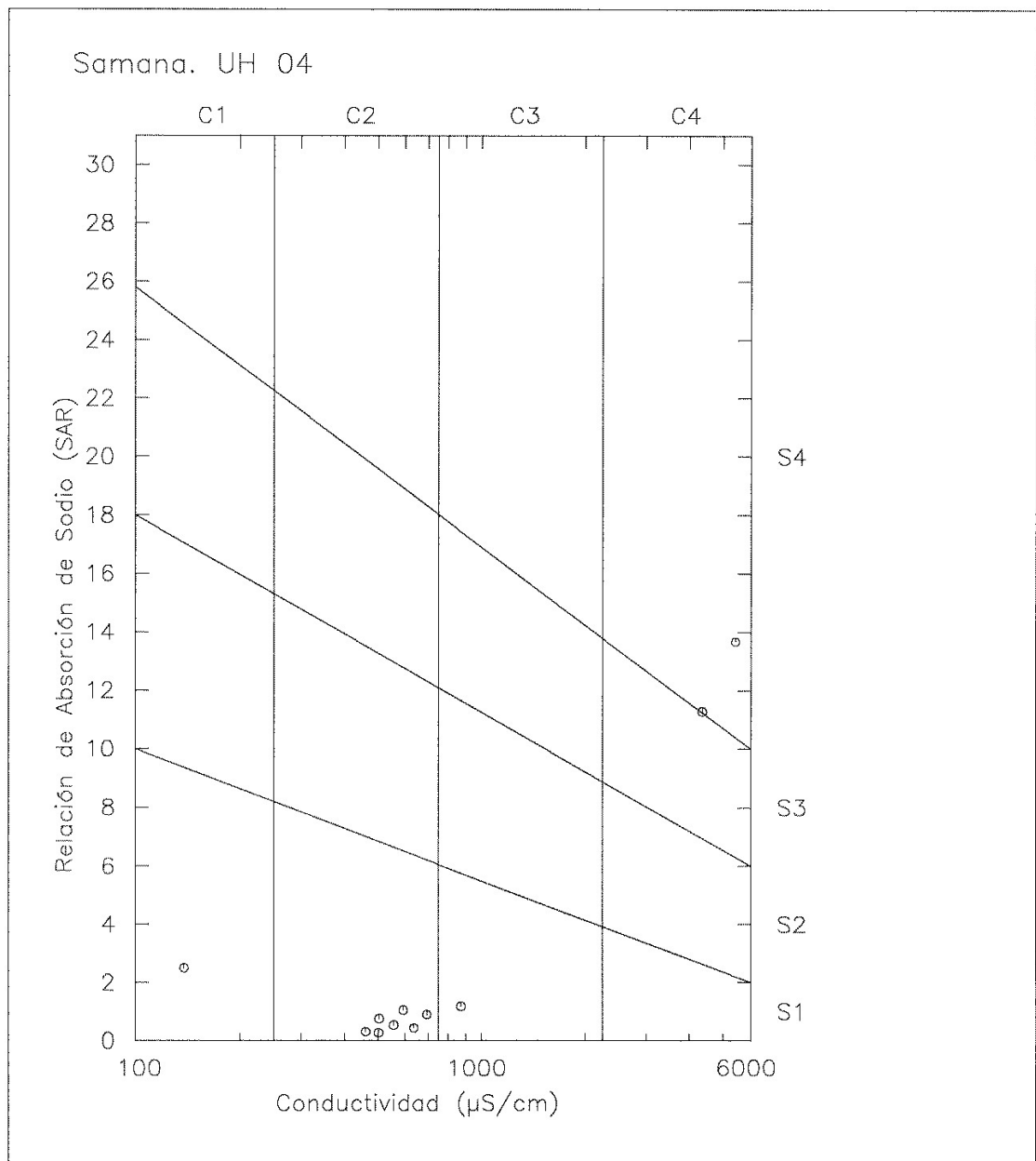
Las aguas de la clase C4 son extremadamente salinas, con conductividades comprendidas entre 2250 y 6000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . No son apropiadas en condiciones normales para el riego, sin embargo pueden utilizarse en algunos cultivos, si se trata de suelos permeables y de buen drenaje.

Con respecto al peligro de alcalinización del suelo, las aguas de la clase S1 son aguas bajas en sodio. Pueden usarse en la mayor parte de los suelos con escasas posibilidades de alcanzar elevadas concentraciones de sodio intercambiable. Los cultivos sensibles, como los frutales de pipa, pueden acumular cantidades perjudiciales de sodio.

Las aguas de la clase S3 son aguas de contenidos altos en sodio. Con su utilización agrícola puede alcanzarse un límite de toxicidad de sodio intercambiable en la mayor parte de los

suelos, por lo que es preciso un buen drenaje y realizar lavados intensos y adiciones de materia orgánica. En los suelos yesíferos el riesgo es menor.

Figura 8.7 Clasificación de las aguas para riego según el procedimiento del U.S. Salinity Laboratory Staff.



### **8.5.3. Distribución espacial de la calidad del agua subterránea**

Para estudiar la distribución espacial que presentan las aguas subterráneas analizadas, se ha elaborado un mapa hidroquímico de distribución de facies.

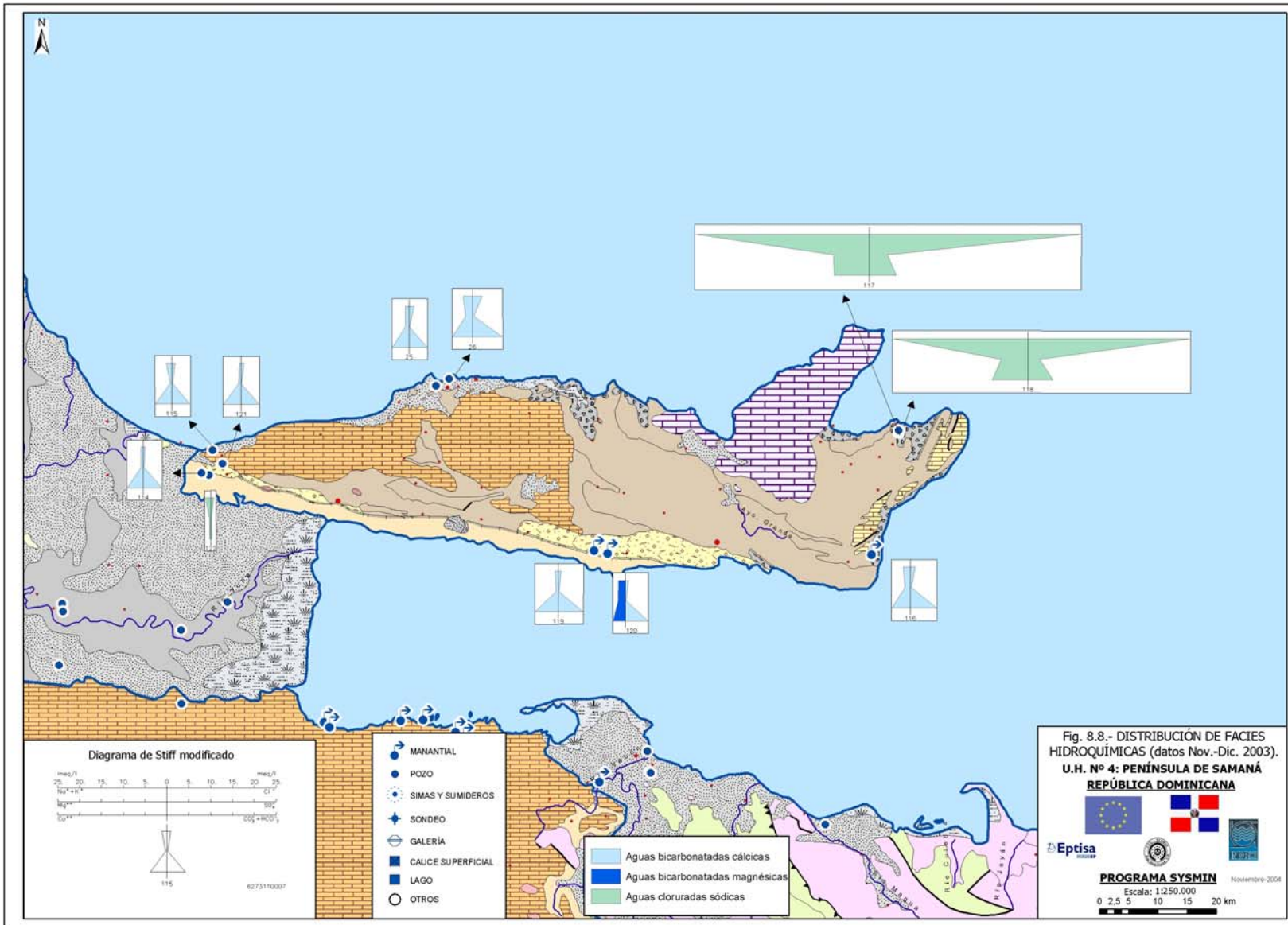
En la figura 8.8. se representa el diagrama de Stiff correspondiente a cada uno de los puntos muestreados.

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. Para facilitar la comparación entre los distintos tipos de agua se ha utilizado la misma escala para todos los puntos.

En la figura 8.8. se observan aguas de distinta naturaleza, tanto en lo que se refiere a la salinidad que presentan, como a las facies hidroquímicas reflejadas, si bien existe un predominio de aguas bicarbonatadas cálcicas de baja salinidad dentro de la unidad hidrogeológica.

Por su parte, en la zona oriental de la UH, al norte de Las Galeras se registran aguas de salinidad elevada (diagramas de Stiff de mayor tamaño). Se trata de aguas de facies cloruradas sódicas (muestras números 117 y 118), que parecen ser reflejo de procesos de mezcla con agua de mar. Por ello, se han incluido en la red de control de la intrusión, si bien se trata de un fenómeno muy local, limitado a los depósitos cuaternarios que explotan estos pozos.

Por último, en el sector oeste de la unidad hidrogeológica se observa una muestra (la número 122) de facies clorurada sódica y conductividad extremadamente baja. Se trata de un pozo muestreado al oeste del núcleo de Sánchez.





## **8.6. INTRUSIÓN MARINA**

En los acuíferos costeros el agua salada del mar, debido a su mayor densidad, se introduce por debajo del agua dulce en forma de cuña. En la zona de separación entre el agua salada y la dulce se forma una zona de mezcla, de salinidad intermedia, conocida como interfase.

Cuando existe un equilibrio natural, el agua marina permanece estacionaria, mientras que el agua dulce fluye hacia el mar. Sin embargo, cuando se produce una extracción intensa de agua dulce, el flujo hacia el mar disminuye, provocando un avance de la cuña de agua salada tierra adentro, y si la extracción aumenta, se produce un ascenso de la zona de mezcla, que puede afectar a los pozos existentes, que empezarán a captar aguas salobres.

La salinización de los pozos es un problema que puede llegar a generalizarse en las zonas costeras si los recursos no se gestionan de forma adecuada. Las consecuencias de este proceso no solo afectan al suministro doméstico, sino también a las distintas actividades económicas que se desarrollan en su entorno, especialmente al turismo y a la agricultura. En este último campo, la salinización puede suponer un auténtico desastre, pues provoca fuertes mermas en las producciones, e incluso puede llegar a impedir el riego. La utilización de aguas salinas en agricultura obliga a aumentar las dosis de riego, con el fin de lavar las sales en profundidad, pero esto supone un aumento de consumo que lleva a una mayor extracción en los pozos, y por tanto a un avance del proceso de intrusión marina.

La existencia de procesos de intrusión marina se manifiesta por un aumento de la salinidad, en especial, se produce un incremento rápido de la concentración de cloruros y de los contenidos de sulfatos, sodio o magnesio en proporciones variables dependiendo de la composición del agua marina local. No obstante, si existen depósitos salinos o evaporíticos, la utilización de los cloruros o de la conductividad como índices de intrusión se puede ver limitada.

Por tanto, en los estudios hidrogeológicos en los que se detectan aguas de salinidad elevada con respecto a su entorno, es preciso determinar si la mineralización que presenta está o no relacionada con procesos de intrusión. En este sentido, sería interesante disponer de constituyentes o parámetros que permitieran identificar el agua marina, pero es difícil, puesto que hay aguas saladas y salmueras que no tienen relación con el agua marina actual y pueden ser parecidas en su composición química. No obstante, puede ayudar el estudio de la concentración de los bromuros, y de los valores que presentan algunas relaciones iónicas ( $rMg/rCl$ ,  $rCl/rHCO_3$ ,  $rBr/rCl$ , etc.), si bien, no siempre presentan variaciones relevantes.

### **8.6.1. Red de control de la intrusión**

En el informe correspondiente al tercer trimestre del "Estudio Hidrogeológico Nacional de la República Dominicana" (marzo, 2004) se presentó una propuesta de red de control de la intrusión para su aprobación por parte de la Supervisión del Estudio.

Tras presentar la propuesta a la UTG, y a los técnicos del INDRHI, y una vez incorporadas sus sugerencias y realizada la revisión de campo, se seleccionaron 2 puntos de agua en la Subunidad Calizas de las Galeras, que corresponden a pozos.

A continuación se incluye una relación de los puntos de control considerados en la unidad:

<b>Nº</b>	<b>UH</b>	<b>Código</b>	<b>Naturaleza</b>
117	Península de Samaná	6373110001	Pozo
118	Península de Samaná	6373110002	Pozo

### **8.6.2. Campañas de muestreo**

Los puntos considerados se muestrearon entre noviembre y diciembre de 2004, durante la primera campaña de muestreo hidroquímico, puesto que también forman parte de la red de control de la calidad del agua subterránea en la Península de Samaná. Además, se ha llevado a cabo un segundo muestreo en los citados puntos de agua en mayo de 2004.

Para estudiar la composición química que presentan y su posible relación con procesos de intrusión marina, se ha tomado muestra de agua del mar en la zona considerada y se ha incluido el análisis de bromuros, tanto en el agua de mar, como en las aguas subterráneas.

### **8.6.3. Resultados obtenidos**

En el cuadro 8.6.1 se recoge el valor que presentan algunos parámetros e índices hidroquímicos de los puntos de interés en relación con los muestreados dentro de la unidad.

Cuadro 8.6.1. Valores de parámetros e índices hidroquímicos de los puntos de la red de control de la intrusión.

No. asignado	Código	CE ( $\mu\text{S/cm}$ )	rCl	rNa	rMg/rCl	rCl/rHCO <sub>3</sub>	rMg/rCa	rCa	rMg
25	6273130004	556	1.14	0.81	0.69	0.28	0.21	3.81	0.79
26	6273130002_D	873	2.18	2.05	0.71	0.32	0.34	4.52	1.54
114	6273140004	461	0.44	0.44	1.05	0.10	0.12	3.69	0.46
115	6273110007	504	0.81	1.08	0.37	0.19	0.08	3.77	0.30
116	6373140001	694	1.08	1.48	1.13	0.18	0.29	4.27	1.22
117	6373110001	5420	48.43	38.96	0.17	7.81	1.01	8.05	8.15
118	6373110002	4350	36.97	30.04	0.16	6.49	0.74	8.15	6.03
119	6373440005	636	0.67	0.74	0.79	0.12	0.10	5.20	0.53
120	6373440001	592	0.67	1.57	2.40	0.13	0.57	2.83	1.61
121	6273110002	502	0.62	0.41	0.92	0.15	0.14	4.07	0.57
122	6273140003	138	0.71	1.10	0.28	2.37	1.04	0.19	0.20

Los valores de la mineralización que presenta el agua indican que, en caso de reflejar una influencia del agua del mar, esta afección se limitaría a una zona reducida en el acuífero aluvial que explotan estos pozos.

## **9. FUNCIONAMIENTO HIDROGEOLÓGICO Y BALANCE HÍDRICO**

### **9.1. RECARGA**

La recarga de la Zona o U.H. de la Península de Samaná se produce, fundamentalmente, por tres vías preferenciales:

- Infiltración directa del agua de la lluvia precipitada sobre los afloramientos permeables.
- Retornos de riego e infiltración desde canales.
- Infiltración desde cauces superficiales (de forma muy localizada y minoritaria, como es en el caso del sumidero de Laguna Grande y de otros pequeños arroyos de escasa entidad).

La evaluación de los distintos tipos de recarga, que, posteriormente, servirán para elaborar los balances tentativos realizados, se han realizado tanto a nivel general de zona o unidad hidrogeológica, como, de forma pormenorizada, por subzonas o subunidades de funcionamiento hidrogeológico.

#### **Recarga por infiltración directa del agua de la lluvia**

Constituye, sin duda, la componente más importante de la recarga de esta unidad hidrogeológica, que se produce por infiltración de la lluvia precipitada sobre las superficies de los materiales permeables aflorantes, tanto de tipo carbonatado (233.18 km<sup>2</sup>), como detrítico (94.19 km<sup>2</sup>). Estas superficies constituirán las áreas de recarga, en las que se producirá la infiltración en función del tipo de permeabilidad que presenten los diferentes materiales aflorantes.

En el caso de los materiales carbonatados (calizas arrecifales del Mioceno-Plioceno y mármoles de edad desconocida) la infiltración y circulación se producirá a través de la fisuración y fracturación, y a partir de la cual se ha desarrollado un importante aparato cárstico, con abundantes formas de absorción (cerradas o dolinas, y abiertas o simas).

Con estas condiciones, en determinados sectores en los que la potencia sea suficiente, ha podido desarrollarse un karst completo, en el cual se identifican tres zonas de funcionamiento, en la vertical:

- Zona superior seca, en la cual predomina la circulación vertical descendente.

- Zona intermedia o semihúmeda, con dominio de la circulación vertical ascendente o descendente, alternativamente, y tendencia a la horizontal.
- Zona húmeda, con dominio de la circulación ascendente y cuya parte superior está limitada y definida por la superficie piezométrica.

Por su parte, en el caso de los materiales detríticos (conglomerados y areniscas del Mioceno y del Plioceno, y depósitos cuaternarios de diferente tipo), la infiltración y circulación se producirá a través de la porosidad intersticial, conformando unas zonas saturadas menos potentes (con menores espesores) que en los acuíferos cársticos, pero que presentarán una circulación más lenta y, por tanto, con un mayor efecto regulador.

La distribución, por subunidades, de las superficies de recarga, es la siguiente:

Cuadro 9.1.1. Distribución de las superficies de recarga por subunidades

<b>SUBUNIDADES DE FUNCIONAMIENTO HIDROGEOLÓGICO</b>	<b>SUPERFICIE DE MATERIALES PERMEABLES CARBONATADOS (en km<sup>2</sup>)</b>	<b>SUPERFICIE DE MATERIALES PERMEABLES DETRÍTICOS (en km<sup>2</sup>)</b>
<b>CALIZAS DE NARANJITO</b>	130.18	35
<b>MÁRMOLES DE LOS GUANOS-ATRAVESADA</b>	85.5	11.78
<b>CALIZAS DE LAS GALERAS</b>	12.99	12.76
<b>CONGLOMERADOS DE SAMANÁ-MAJAGUAL</b>	4.5	34.64
<b>TOTALES</b>	<b>233.17</b>	<b>94.18</b>

En lo referente a la estimación del volumen de recarga por infiltración directa del agua de la lluvia, éste se ha realizado de la siguiente forma:

- La superficie de recarga total (de la unidad completa), así como su distribución por las denominadas subunidades de funcionamiento, se han calculado mediante la cuantificación de sus áreas ocupadas por materiales permeables (en km<sup>2</sup>) con el Sistema de Información Geográfica utilizado (ARC/INFO). Con el citado método, aplicado sobre la cartografía de síntesis hidrogeológica elaborada en los primeros meses del proyecto, se ha estimado una superficie total de materiales permeables para todo el ámbito de la unidad de la Península de Samaná de 327.37 km<sup>2</sup>, que suponen el 50.2% de la superficie total de la unidad (651.93 km<sup>2</sup>).
- La lluvia útil se ha obtenido del análisis de series históricas de datos de precipitaciones y temperaturas aportados por las estaciones meteorológicas existentes en el área de la

unidad (o en sus proximidades) y desarrollado en el capítulo de Climatología. Dicho estudio ha dado como resultado una lluvia útil anual media, para año medio, de 506 mm, lo cual representa el 25.3% de la precipitación anual media (1997 mm), de 1049 mm para año húmedo (41% de los 2.547 mm de precipitación media de año húmedo), y de 179 mm para año seco (11.7% de los 1521 mm de precipitación media de año seco).

- Al contrario de lo que ocurre en otras unidades, el cálculo de la estimación de la componente subterránea de dicha lluvia útil o aportaciones totales no se ha podido obtener a partir de los datos presentados en el estudio climatológico e hidrológico, ya que no existen datos de aforo históricos con los que poder realizar la descomposición de hidrogramas. Este cálculo se ha estimado por comparación de los materiales permeables de esta unidad hidrogeológica con otras formaciones conocidas y de características similares existentes en otras unidades hidrogeológicas, teniendo además en cuenta las características orográficas de la unidad (fuertes pendientes), régimen de precipitaciones (lluvias diarias de cierta intensidad) y vegetación. En este sentido se considera que las aportaciones subterráneas deben ser en torno a un 30%, ya que las elevadas pendientes y precipitaciones favorecen la escorrentía superficial. Asimismo, la mayor parte de los cauces superficiales discurren a través de materiales impermeables o de muy baja permeabilidad.

Con este porcentaje de aportación subterránea se calcula que en años de aportación mínima, la componente subterránea será de 53 mm, mientras que en años de aportación máxima, la componente subterránea resultante será de 314 mm. En año medio, la aportación subterránea será de 151 mm.

- Finalmente, la recarga por lluvia se ha estimado como producto de la componente subterránea de la lluvia útil media de cada subunidad por su superficie permeable de recarga en  $\text{km}^2$ , lo cual supone un volumen anual renovable para año medio del orden de los  $49 \text{ hm}^3$  para año medio, de  $102 \text{ hm}^3$  para año húmedo y de  $17 \text{ hm}^3$  para año seco.

La distribución de dichos recursos por subunidades, para año medio, es la siguiente:

Cuadro 9.1.2. Distribución de recursos por subunidades para año medio

<b>SUBUNIDAD</b>	<b>COMPONENTE SUBTERRÁNEA DE LA LLUVIA ÚTIL MEDIA ANUAL (en mm)</b>	<b>SUPERFICIE DE MATERIALES PERMEABLES (en km<sup>2</sup>)</b>	<b>VOLUMEN DE RECARGA ANUAL POR INFILTRACIÓN DE LA LLUVIA (en hm<sup>3</sup>)</b>
<b>CALIZAS DE NARANJITO</b>	160	165.18	26.5
<b>MÁRMOLES DE LOS GUANOS-ATRAVESADA</b>	144	97.38	14
<b>CALIZAS DE LAS GALERAS</b>	143	25.75	3.7
<b>CONGLOMERADOS DE SAMANÁ-MAJAGUAL</b>	160	39.14	6.3
<b>TOTALES/MEDIAS</b>	<b>152</b>	<b>327.37</b>	<b>49.7</b>

Para año húmedo, la distribución de dichos recursos por subunidades es la siguiente:

Cuadro 9.1.3. Distribución de recursos por subunidades para año húmedo

<b>SUBUNIDAD</b>	<b>COMPONENTE SUBTERRÁNEA DE LA LLUVIA ÚTIL MEDIA ANUAL (en mm)</b>	<b>SUPERFICIE DE MATERIALES PERMEABLES (en km<sup>2</sup>)</b>	<b>VOLUMEN DE RECARGA ANUAL POR INFILTRACIÓN DE LA LLUVIA (en hm<sup>3</sup>)</b>
<b>CALIZAS DE NARANJITO</b>	323	165.18	53.3
<b>MÁRMOLES DE LOS GUANOS-ATRAVESADA</b>	307	97.38	29.9
<b>CALIZAS DE LAS GALERAS</b>	307	25.75	7.9
<b>CONGLOMERADOS DE SAMANÁ-MAJAGUAL</b>	323	39.14	12.6
<b>TOTALES/MEDIAS</b>	<b>315</b>	<b>327.37</b>	<b>103.1</b>

Para año seco, la distribución de dichos recursos por subunidades es la siguiente:

Cuadro 9.1.4. Distribución de recursos por subunidades para año seco

SUBUNIDAD	COMPONENTE SUBTERRÁNEA DE LA LLUVIA ÚTIL MEDIA ANUAL (en mm)	SUPERFICIE DE MATERIALES PERMEABLES (en km <sup>2</sup> )	VOLUMEN DE RECARGA ANUAL POR INFILTRACIÓN DE LA LLUVIA (en hm <sup>3</sup> )
<b>CALIZAS DE NARANJITO</b>	57	165.18	9.5
<b>MÁRMOLES DE LOS GUANOS-ATRAVESADA</b>	46	97.38	4.5
<b>CALIZAS DE LAS GALERAS</b>	58	25.75	1.5
<b>CONGLOMERADOS DE SAMANÁ-MAJAGUAL</b>	54	39.14	2.1
<b>TOTALES/MEDIAS</b>	<b>54</b>	<b>327.37</b>	<b>17.6</b>

#### **Recarga por retorno de riego e infiltración desde canales**

Dada la escasa superficie de regadío existente en la unidad hidrogeológica de la Península de Samaná (tal y como aparece en el apartado 3 de este estudio), las recargas producidas por retorno de riegos e infiltración desde canales va a ser muy escasa y va a estar localizada únicamente en la zona más occidental de la península de Samaná dentro de la subunidad de las Calizas de Naranjito. Existen también regadíos en la zona occidental de la subunidad Conglomerados de Majagual-Samaná, aunque en este caso no se van a considerar retornos de riego por estar situados sobre los depósitos impermeables de margas y yesos del Plioceno.

La superficie actual de riego dentro de todo el ámbito de la unidad se estima en 563.45 ha, distribuidas en su totalidad en un único distrito, zona y sistema de riego:

Cuadro 9.1.5. Superficies irrigadas por subunidades hidrogeológicas

DISTRITOS DE RIEGO	ZONAS DE RIEGO	SISTEMAS DE RIEGO	SUPERFICIE IRRIGADA (en ha)	FUENTE DE SUMINISTRO DEL AGUA
<b>Bajo Yuna</b>	Nagua	La Lometa	563.45	Aguas Superficiales

Para la cuantificación de la recarga por retorno de riego e infiltración desde canales se ha partido de la mencionada identificación de las superficies de riego existentes actualmente dentro del ámbito de cada subunidad y de los volúmenes de agua que aplican en cada distrito y zona de riego (todo ello estudiado, con detalle, en el apartado 3 de esta Memoria), a los que se ha aplicado, posteriormente, la estimación de la proporción o parte de los mismos que se termina infiltrando y retornando a la zona saturada del acuífero.



Para una dotación de riego de 7072 m<sup>3</sup>/ha/año (ver apartado 3), el volumen total de agua aplicada en riego dentro del ámbito de la unidad es del orden de 3.98 hm<sup>3</sup>/año, la cual, en su mayor parte, se aplica con riego a manta y por inundación. Con este tipo de riego se estima que el volumen infiltrado o de retorno de riego debe de estar comprendido entre el 15 y el 20% del volumen total aplicado, salvo en aquellas zonas en las que los cultivos estén situados sobre materiales impermeables en los que el retorno por riego será nulo.

La distribución de dichos recursos por subunidades es la siguiente:

Cuadro 9.1.6. Distribución de recursos por subunidades

<b>SUBUNIDAD</b>	<b>SUPERFICIE DE RIEGO (en Ha)</b>	<b>VOLUMEN ANUAL DE AGUA APLICADA (en hm<sup>3</sup>/a)</b>	<b>VOLUMEN DE RECARGA ANUAL POR RETORNOS DE RIEGO (en hm<sup>3</sup>)</b>
<b>Calizas de Naranjito</b>	409.18	2.89	0.43-0.58
<b>Conglomerados de Samaná-Majagual</b>	154.27	1.09	0
<b>TOTALES</b>	<b>563.45</b>	<b>3.98</b>	<b>0.43-0.58</b>

Estas recargas se incorporarán a la zona saturada de las diferentes formaciones permeables infrayacentes (generalmente depósitos fluviales cuaternarios) y a sus flujos subterráneos, cuyas descargas se comentarán en el apartado de descargas.

### **Recarga por infiltración desde cauces superficiales**

La recarga por infiltración desde cauces superficiales únicamente se ha identificado en un sector muy localizado de la unidad, aunque no se ha considerado a efectos del balance hídrico, al tratarse de recursos generados dentro de la unidad que ya se contabilizan dentro del término de recarga por infiltración de la lluvia.

Este sector se encuentra en la zona meridional de la subunidad Calizas de Naranjito, donde se identifica el sumidero de Laguna Grande, situado entre la Loma El Coco y la Loma de Laguna Grande, a una cota de 300 m.s.n.m. Este sumidero se produce sobre los depósitos de calizas arrecifales pliocenas (Plc).

Esta mínima recarga por infiltración desde cauces superficiales se debe al hecho de que los principales cauces superficiales relacionados con la unidad funcionan como cauces drenantes y como ejes de descarga de los recursos superficiales y subterráneos de los acuíferos de la unidad.

## **9.2. DESCARGA**

Las descargas de la U.H. de la Península de Samaná se producen, básicamente, por cuatro vías preferenciales:

- Drenajes por cauces superficiales.
- Salidas por manantiales y emergencias de distintos tipos, tanto subaéreas, como submarinas (descarga fundamental de la unidad).
- Extracciones por bombeos.
- Descargas laterales por conexiones con unidades hidrogeológicas contiguas.

Al igual que se hizo en el apartado de recarga, la evaluación de los distintos tipos de descargas, que, posteriormente, servirán para elaborar los balances tentativos realizados, se han realizado tanto a nivel general de zona o unidad hidrogeológica, como, de forma pormenorizada, por subzonas o subunidades de funcionamiento hidrogeológico.

### **Drenajes por cauces superficiales**

La ausencia de datos de aforos históricos en los principales cauces de la unidad hace que sea difícil el cuantificar las descargas producidas para diferentes años tipo (medio, húmedo y seco). Así pues, ha sido necesario hacer una estimación de los mismos a partir de los datos procedentes de las campañas de control foronómico del presente estudio.

Como ya se ha comentado en distintos apartados anteriores, los principales cauces superficiales relacionados con la unidad funcionan como ejes de descarga de los recursos superficiales y en menor medida de los subterráneos de los acuíferos de la unidad.

La red foronómica controlada en el presente proyecto no consta de aforos diferenciales con lo que no se pueden determinar las ganancias o pérdidas producidas a su paso por los materiales permeables. Así pues, los datos de aforo no van a dar una idea real de los aportes subterráneos, sino que van a tener que ser estimados mediante un porcentaje comparativo con los aportes subterráneos de materiales similares de otras unidades hidrogeológicas, en los que se han podido realizar cálculos de aporte subterráneo mediante la descomposición de los hidrogramas a partir de las series históricas.

Con los 5 puntos de la red de aforos diseñada en el presente estudio, se estima que quedan controladas del orden del 85% de las salidas a través de la red hidrográfica (105 hm<sup>3</sup>/año), con

lo que el volumen total de salidas calculado para el presente año debe ser en torno a 120 hm<sup>3</sup>/año.

Las mayores salidas controladas se producen en la vertiente norte de la unidad, y dentro de esta a través del río El Limón, con un volumen anual controlado en torno a 52 hm<sup>3</sup>/año. Este río drena las calizas arrecifales pliocenas (Plc) de Naranjito entre cotas de 240 y 20 m.s.n.m. El otro cauce de importancia en la vertiente norte es el río San Juan que únicamente drena materiales permeables en su tramo último a una cota de 30 m.s.n.m. El volumen anual controlado es en torno a 30 hm<sup>3</sup>/año.

En la vertiente sur se producen salidas menos cuantiosas aunque a través de una red de drenaje más intensa constituida por numerosos ríos y arroyos, de los que únicamente se han controlado los tres de mayor entidad. La suma de los caudales controlados en esta vertiente es de unos 24 hm<sup>3</sup>/año.

Considerando el volumen total anual de salidas por escorrentía superficial (120 hm<sup>3</sup>/año) y teniendo en cuenta el porcentaje de aporte subterráneo estimado (30%), los drenajes subterráneos producidos a través de cauces superficiales para este año (considerado como medio por carecer de series históricas comparativas) se consideran en torno a un 30% con respecto al volumen total, lo que implica que unos 36 hm<sup>3</sup>/año son salidas subterráneas producidas a los cauces superficiales o a través de manantiales que van a parar a estos.

### **Salidas por manantiales y emergencias de distintos tipos**

Las salidas a través de manantiales y otras emergencias de distintos tipos se consideran de escasa entidad y de difícil cuantificación. No obstante, la mayor parte de estas surgencias pasan a escorrentía superficial siendo controladas por la red foronómica.

Existen una serie de manantiales situados en las proximidades de Los Cacaos, en la subunidad de los Conglomerados de Samaná-Majagual en el contacto entre los conglomerados del Mioceno y las margas y yesos del Plioceno, que son utilizados para abastecimientos domésticos y cuyos caudales son bajos (inferiores a 2 l/s), calculándose en conjunto que no superen los 10 l/s. Asimismo deben existir más manantiales que no han sido controlados, estimándose unas salidas anuales en torno a los 0.5-0.6 hm<sup>3</sup>/año

Las emergencias de mayor importancia dentro de la unidad son las de tipo subterráneo que se producen directamente al mar. La mayor parte de las descargas subterráneas de la unidad hidrogeológica (el 20%) se producen de esta manera, siendo la vertiente norte la zona de mayor descarga al mar, por estar 2/3 de su superficie costera sobre materiales muy

permeables. Así, en los mármoles de Los Guanos-Atravesada la práctica totalidad de las salidas se producen a través de surgencias subterráneas al mar, ya que no existe desarrollo de una red de drenaje superficial de ningún tipo, y las extracciones por bombeos representan un pequeño porcentaje respecto del total.

### **Extracciones por bombeos.**

Las extracciones por bombeos se distribuyen, fundamentalmente, por las zonas de borde de la unidad, que es donde se concentran las mayores demandas para usos humanos. La mayor densidad de pozos se localiza en el oeste de la unidad hidrogeológica en el contacto entre las subunidades de Calizas de Naranjito y Conglomerados de Samaná-Majagual. También en las proximidades de Las Terrenas, situado al norte de la subunidad Calizas de Naranjito, existe una zona con bastantes pozos inventariados.

Fundamentalmente responden a extracciones efectuadas con pozos de escasa profundidad (menores de 30 m) y limitado diámetro de entubación (inferior a 150 mm), que explotan acuíferos superficiales y libres, básicamente del tipo depósitos cuaternarios (aluviales y terrazas fluviales, abanicos, zonas de alteración superficial, etc.), y muy raramente las calizas arrecifales del Plioceno y Mioceno.

Las extracciones son realizadas fundamentalmente para usos humanos. La población abastecida con aguas subterránea se estima (para el año 2004) en 92,249 habitantes dentro del ámbito de esta unidad hidrogeológica, y el volumen total extraído anualmente para dichos usos, aplicando una dotación de consumo individual de 222 l/habitante/día, entre 3.5 hm<sup>3</sup>/año, cuya distribución por subunidades es la siguiente:

Cuadro 9.2.1. Extracciones para uso urbano por subunidades hidrogeológicas

<b>SUBUNIDADES HIDROGEOLÓGICAS</b>	<b>NÚMERO DE HABITANTES ABASTECIDOS CON AGUAS SUBTERRÁNEAS</b>	<b>DOTACIÓN POR HABITANTE (en l/habitante/día)</b>	<b>VOLUMEN DE EXTRACCIONES SUBTERRÁNEAS PARA USOS HUMANOS (en hm<sup>3</sup>/año)</b>
<b>Calizas de Naranjito</b>	22,678	222	0.86
<b>Mármoles de Los Guanos-Atravesada</b>	10,077	222	0.38
<b>Calizas de Las Galeras</b>	9,591	222	0.36
<b>Conglomerados de Samaná-Majagual</b>	49,903	222	1.90
<b>TOTALES</b>	<b>92,249</b>	<b>222</b>	<b>3.5</b>

En cuanto a las extracciones para uso agrícola, no se consideran en el balance por carecer de volumen significativo, ya que la demanda existente para riego es satisfecha en su práctica totalidad con agua superficial. La demanda para uso industrial es residual y por tanto se ha despreciado su consumo, salvo la del sector turístico, que se ha contemplado en los usos domésticos. En cuanto al uso para ganadería, no se dispone de información aunque, al igual que ocurre con los demás usos, este debe ser poco significativo.

Así pues los volúmenes de extracciones de aguas subterráneas considerados para el balance de la unidad son únicamente los producidos por bombeos para usos humanos.

### **Descargas laterales por conexiones con unidades hidrogeológicas contiguas**

Como ya se comentó en el apartado de relaciones con unidades contiguas, la Unidad Hidrogeológica de la Península de Samaná únicamente podría presentar conexión hidráulica con la parte más oriental del Valle del Cibao, estando el resto de la península en contacto con el mar.

Las descargas que se pueden producir a través de este contacto son insignificativas por tratarse de materiales de muy baja permeabilidad, constituidos por margas y yesos del Plioceno, que únicamente aportarán pequeños volúmenes y de forma superficial a los depósitos detríticos de origen fluvial del Cuaternario del Valle del Cibao.

## **9.3. ESTIMACIÓN DEL BALANCE HÍDRICO SUBTERRÁNEO**

### **Introducción: Términos del balance y condicionantes de partida**

El balance hídrico subterráneo de la unidad hidrogeológica de la Península de Samaná solamente puede establecerse, en esta fase de conocimiento de la citada unidad, 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 del balance, como son la infiltración eficaz en las distintas formaciones permeables y acuíferas, la totalidad de las importantes descargas subterráneas al mar y la variación de almacenamiento o reservas.

No obstante de las mencionadas limitaciones de partida, se plantea un balance hídrico tentativo, basado en los datos 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 un balance hídrico de aguas subterráneas, en el que se desconoce la Variación de Reservas (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). No se ha considerado por tratarse de recursos generados dentro de la propia unidad que quedan contabilizados dentro de la recarga por infiltración en el terreno por precipitación.
- IRR: Infiltración o recarga procedente de retornos de riego e infiltración desde canales.

#### 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 limítrofes.
- B: Extracciones de agua subterránea por bombeos.

Como **límites** de las regiones o zonas en las cuales se efectúa el balance se ha utilizado el de los dos niveles de identificación de funcionamiento hidrogeológico presentado en los apartados anteriores: el de la unidad o zona hidrogeológica y, dentro de esta, el de las subunidades hidrogeológicas. Con ello se permitirá aplicar de forma fácil las cuantificaciones de recargas y descargas incluidas en el apartado de Funcionamiento Hidrogeológico y obtener los términos de entradas y salidas de los balances (al corresponder a zonas de funcionamientos hidrogeológicos con características particulares).

Como intervalo de tiempo de los balances hídricos presentados se ha establecido un tipo:

- **Interanuales:** para intervalos de varios años hidrológicos tipos de la serie histórica disponible (años secos, medios y húmedos).

Finalmente, 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.

### **Balances Interanuales**

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 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.

El establecimiento de los módulos de años tipo (secos, medios y húmedos) para todo el conjunto del ámbito de la unidad hidrogeológica es complejo, debido a que únicamente se disponen de datos históricos de dos estaciones climáticas, las cuales presentan características similares por estar situadas en la vertiente sur de la península y a una cota próxima al nivel del

mar. A pesar de ello se han establecido unos límites medios de referencia para cada año tipo, que son los que se han utilizado para el establecimiento de los balances interanuales.

### **Años secos**

De acuerdo con el Estudio Climatológico realizado (Capítulo 4), en el ámbito de esta unidad hidrogeológica se han considerado como años climatológicamente secos aquellos cuya pluviometría anual media no supera los 1 520 mm.

El balance de aguas subterráneas para dichos años secos (con datos medios), es el siguiente:

#### Entradas:

Cuadro 9.3.1. Balance de aguas subterráneas para años secos (entradas)

SUBUNIDADES	INFILTRACIÓN LLUVIA (IP)	RETORNOS RIEGO (IRR)	ENTRADAS TOTALES
<b>Calizas de Naranjito</b>	9.5	0.58	10
<b>Mármoles de Los Guanos-Atravesada</b>	4.5		4.5
<b>Calizas de Las Galeras</b>	1.5		1.5
<b>Conglomerados de Samaná-Majagual</b>	2.1		2.1
<b>TOTALES</b>	<b>17.6</b>	<b>0.5</b>	<b>18.1</b>

\*Todos los datos son en  $\text{hm}^3/\text{año}$

#### Salidas:

Cuadro 9.3.2. Balance de aguas subterráneas para años secos (salidas)

SUBUNIDADES	DESCARGA A RÍOS (DR)	MANANTIALES (QM)	DESCARGA AL MAR (DM)	EXTRACCIÓN BOMBEO (B)	SALIDAS TOTALES
<b>Calizas de Naranjito</b>	3.1		6	0.86	<b>10.0</b>
<b>Mármoles de Los Guanos-Atravesada</b>			4.1	0.38	<b>4.5</b>
<b>Calizas de Las Galeras</b>	0.5	0.2	0.5	0.36	<b>1.6</b>
<b>Conglomerados de Samaná-Majagual</b>	0.2			1.9	<b>2.1</b>
<b>TOTALES</b>	<b>3.8</b>	<b>0.2</b>	<b>10.6</b>	<b>3.5</b>	<b>18.1</b>

\*Todos los datos son en  $\text{hm}^3/\text{año}$



### **Años medios**

De acuerdo con el Estudio Climatológico realizado (Capítulo 4), en el ámbito de esta unidad hidrogeológica se han considerado como años climatológicamente medios aquellos cuya pluviometría media anual está comprendida entre 1 520 y 2 547 mm.

El balance de aguas subterráneas para dichos años medios (con datos medios), es el siguiente:

#### Entradas:

Cuadro 9.3.3. Balance de aguas subterráneas para años medios (entradas)

SUBUNIDADES	INFILTRACIÓN LLUVIA (IP)	RETORNOS RIEGO (IRR)	ENTRADAS TOTALES
<b>Calizas de Naranjito</b>	26.5	0.5	27
<b>Mármoles de Los Guanos-Atravesada</b>	14.2		14
<b>Calizas de Las Galeras</b>	3.7		3.7
<b>Conglomerados de Samaná-Majagual</b>	6.3		6.3
<b>TOTALES</b>	<b>50.5</b>	<b>0.50</b>	<b>51.2</b>

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

#### Salidas:

Cuadro 9.3.4. Balance de aguas subterráneas para años medios (salidas)

SUBUNIDADES	DESCARGA A RÍOS (DR)	MANANTIALES (QM)	DESCARGA A MAR (DM)	EXTRACCIÓN BOMBEOS (B)	SALIDAS TOTALES
<b>Calizas de Naranjito</b>	25		1.1	0.9	<b>27</b>
<b>Mármoles de Los Guanos-Atravesada</b>	3		10.6	0.4	<b>14</b>
<b>Calizas de Las Galeras</b>	3	0.2	0.4	0.3	<b>4.5</b>
<b>Conglomerados de Samaná-Majagual</b>	4	0.5		1.8	<b>6.3</b>
<b>TOTALES</b>	<b>35</b>	<b>0.7</b>	<b>12.1</b>	<b>3.4</b>	<b>51.2</b>

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

### **Años húmedos**

De acuerdo con el Estudio Climatológico realizado (Capítulo 4), en el ámbito de esta unidad hidrogeológica se han considerado como años climatológicamente húmedos aquellos cuya pluviometría anual media supera los 2547 mm.

El balance de aguas subterráneas para dichos años húmedos (con datos medios), es el siguiente:

Entradas:

Cuadro 9.3.5. Balance de aguas subterráneas para años húmedos (entradas)

SUBUNIDADES	INFILTRACIÓN LLUVIA (IP)	RETORNOS RIEGO (IRR)	ENTRADAS TOTALES
<b>Calizas de Naranjito</b>	53	0.43	53.5
<b>Mármoles de Los Guanos-Atravesada</b>	30		30
<b>Calizas de Las Galeras</b>	8		8
<b>Conglomerados de Samaná-Majagual</b>	12.5		12.5
<b>TOTALES</b>	<b>103.5</b>	<b>0.43</b>	<b>104</b>

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

Salidas:

Cuadro 9.3.6. Balance de aguas subterráneas para años húmedos (salidas)

SUBUNIDADES	DESCARGA A RÍOS (DR)	MANANTIALES (QM)	DESCARGA A MAR (DM)	EXTRACCIÓN BOMBEO (B)	SALIDAS TOTALES
<b>Calizas de Naranjito</b>	45		7.64	0.86	53.5
<b>Mármoles de Los Guanos-Atravesada</b>	2		27.62	0.38	30
<b>Calizas de Las Galeras</b>	6	0.6	1.04	0.36	8
<b>Conglomerados de Samaná-Majagual</b>	7	0.8	2.8	1.9	12.5
<b>TOTALES</b>	<b>60</b>	<b>1.4</b>	<b>39.1</b>	<b>3.5</b>	<b>104</b>

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

\*\* Valores estimados por diferencias en la ecuación del balance

Debido a la ausencia de datos de aforos históricos en la Península de Samaná, no se puede determinar el año tipo del estudio para el ámbito de esta zona o unidad hidrogeológica.

## **10. RESUMEN, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES DE ACTUACIÓN FUTURAS**

### **10.1. RESUMEN Y CONCLUSIONES**

La unidad hidrogeológica de Samaná se sitúa al noreste de la isla, ocupando íntegramente la península de Samaná, limitando al sur por la Bahía de Samaná, al norte y este por el océano Atlántico y unida a la isla por el istmo de Samaná en el extremo oeste. Su poligonal ocupa una superficie próxima a los 600 km<sup>2</sup>.

Se ha estimado una población total de unos 92 249 habitantes para toda la unidad, según se indica en el cuadro 10.1.1.

Cuadro 10.1.1. Población estimada por municipios para el año 2004

<b>PROVINCIA</b>	<b>TERMINOS MUNICIPALES</b>	<b>DISTRITOS MUNICIPALES</b>	<b>Nº de SECCIONES</b>	<b>Nº de PARAJES</b>	<b>POBLACIÓN (2004)</b>
Samaná	Santa Bárbara de Samaná		8	111	51 823
	Sánchez		4	32	27 658
		Las Terrenas	4	16	12 768
<b>Total población en la unidad</b>					<b>92 249</b>

La densidad de población en el área de estudio es de 154 hab/km<sup>2</sup>, muy próxima a la media del país, 168 hab/km<sup>2</sup>.

En cuanto a la distribución de la población por subunidades, la mayor parte (54.10%), se integra en la subunidad Conglomerados de Samaná-Majagual (49 903 habitantes), el 24.58% en la subunidad Calizas de Naranjito (22 678 habitantes), el 10.92% en la subunidad Mármoles de Los Guanos-Atravesada (10 077 habitantes), el 10.40% en la subunidad Calizas de Las Galeras (9 591 habitantes).

En lo referente a la información de partida existente sobre esta unidad, indicar que esta es escasa y que responde, fundamentalmente, a estudios de carácter general y sobre zonas mucho más amplias que el ámbito estricto de la unidad (cuencas o regiones completas) o, incluso, de todo el ámbito territorial del país, no existiendo, prácticamente, información específica sobre esta unidad, en lo referente a su caracterización geométrica, hidrodinámica y de funcionamiento hidrogeológico, ni sobre sus inventarios de puntos de agua, resultados de

campañas de aforos, geofísica, sondeos, estudios de extracciones, agronómicos y planes de explotación.

Los estudios precedentes disponibles y con información de cierto interés, proceden, en su mayoría, del INSTITUTO NACIONAL DE RECURSOS HIDRÁULICOS (**INDRHI**), de la SECRETARÍA DE ESTADO DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES, de la DIRECCIÓN GENERAL DE LA MINERÍA (**DGM**), del INSTITUTO GEOGRÁFICO UNIVERSITARIO y del INSTITUTO CARTOGRÁFICO MILITAR, y contienen información relativa a redes de control existentes a nivel nacional (climatología y aforos, en su mayoría en zonas de borde o, incluso, en las proximidades de los límites de la unidad), así como a síntesis cartográficas geológica e hidrogeológica (a escala 1:250.000), topografía (a escalas 1:500.000, 1:250.000 y 50.000), climatología (distribución de pluviometría y temperatura a escalas 1:500.000), vegetación, uso de la tierra y capacidad productiva (a escalas 1:500.000).

### **Estudio agronómico**

En la U.H. de Samaná tan solo existen 563.45 hectáreas de terreno dedicados a la agricultura.

El país esta dividido en distritos de riego, en el cuadro 10.1.2 se presenta la información del sistema de riego que encontramos dentro de la unidad, con su denominación, superficie de riego y fuente de suministro de agua.

Cuadro 10.1.2. Sistema de riego dentro de la unidad de Samaná

<b>Distrito de Riego</b>	<b>Zona de Riego</b>	<b>Sistema de Riego</b>	<b>Superficie irrigada (ha)</b>	<b>Fuente suministro de agua</b>
Bajo Yuna	Nagua	La Lometa	563.45	Caño Gran Estero

El volumen total de agua demandada para riego dentro de la unidad es del orden de 3.98 hm<sup>3</sup>/año, cuyo origen es en su totalidad de aguas superficiales.

En cuanto a las extracciones por usos, el volumen total de recursos hídricos de origen subterráneo utilizados en el área de la Unidad Hidrogeológica de Samaná en el año 2004, es del orden de 3.50 hm<sup>3</sup>/año, cuya distribución por tipos de usos y por subunidades hidrogeológicas se incluye en el cuadro 10.1.3.

Cuadro 10.1.3. Distribución de volúmenes de agua subterránea extraídos por usos y por subunidades hidrogeológicas de Samaná

Subunidad	Volumen de recursos subterráneos utilizados por usos				
	Urbano (hm <sup>3</sup> /año)	Industrial (hm <sup>3</sup> /año)	Ganadero (hm <sup>3</sup> /año)	Agrícola (hm <sup>3</sup> /año)	TOTAL (hm <sup>3</sup> /año)
Calizas de Naranjito	0.86				0.86
Mármoles de Los Guanos-Atravesada	0.38				0.38
Calizas de las Galeras	0.36				0.36
Conglomerados de Samaná-Majagual	1.90				1.90
<b>Total U.H. de Samaná</b>	<b>3.5</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>3.50</b>

### **Climatología e Hidrología Superficial**

El estudio climatológico de la unidad hidrogeológica 04 Península de Samaná se ha llevado a cabo a partir de una selección de estaciones climáticas procedentes del INDRHI. Estas estaciones quedan relegadas en el siguiente cuadro:

Cuadro 10.1.4. Estaciones climáticas seleccionadas

<b>CÓDIGO</b>	<b>NOMBRE DE LA ESTACIÓN</b>	<b>TIPO(*)</b>	<b>LATITUD</b>	<b>LONGITUD</b>	<b>ALTITUD (m)</b>
1071	SAMANÁ	LD	19° 12' 0"	69° 20' 0"	7
1072	SÁNCHEZ	LD	19° 13' 0"	69° 36' 0"	17

(\*) LD: Estación pluviométrica

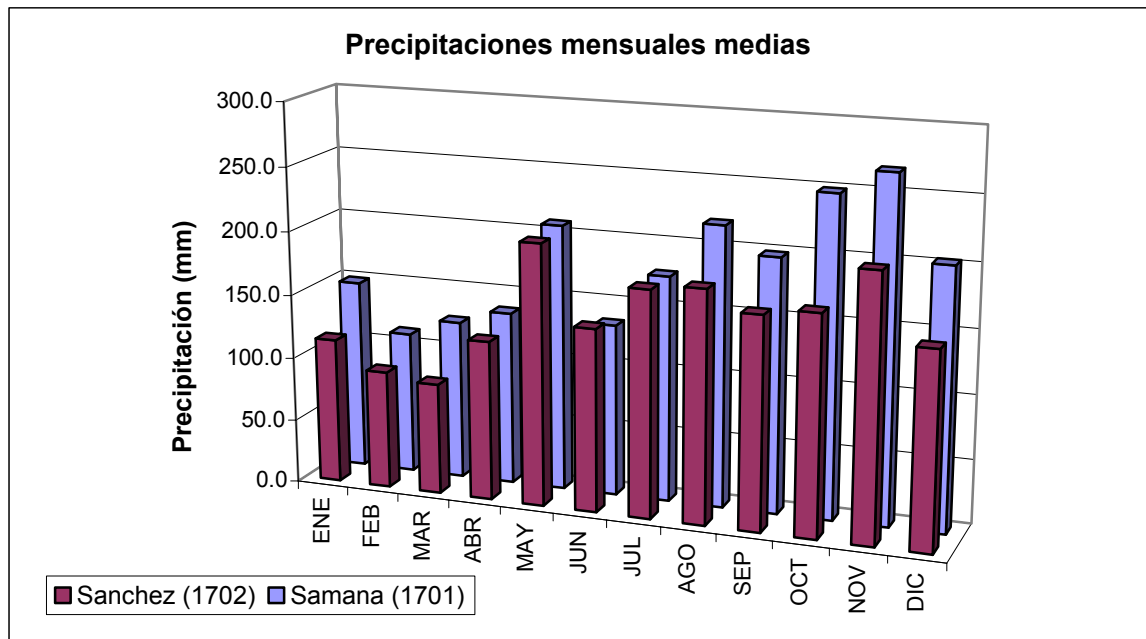
#### *Análisis de precipitación:*

La serie de años utilizada para el análisis de precipitación es de 43 años, entre 1961 y 2003. Los valores anuales de precipitación, en mm, para los años tipo de cada estación se presentan en el siguiente cuadro:

Cuadro 10.1.5. Valores anuales de precipitación, en mm

<b>CÓDIGO</b>	<b>NOMBRE DE LA ESTACIÓN</b>	<b>AÑO SECO</b>	<b>AÑO MEDIO</b>	<b>AÑO HÚMEDO</b>
1071	SAMANÁ	1671.0	2176.0	2718.0
1072	SÁNCHEZ	1372.3	1819.9	2376.3
	MEDIA	1521.7	1998.0	2547.2

En el siguiente gráfico se representa la distribución mensual de la precipitación, para año medio, de las dos estaciones, de la unidad:

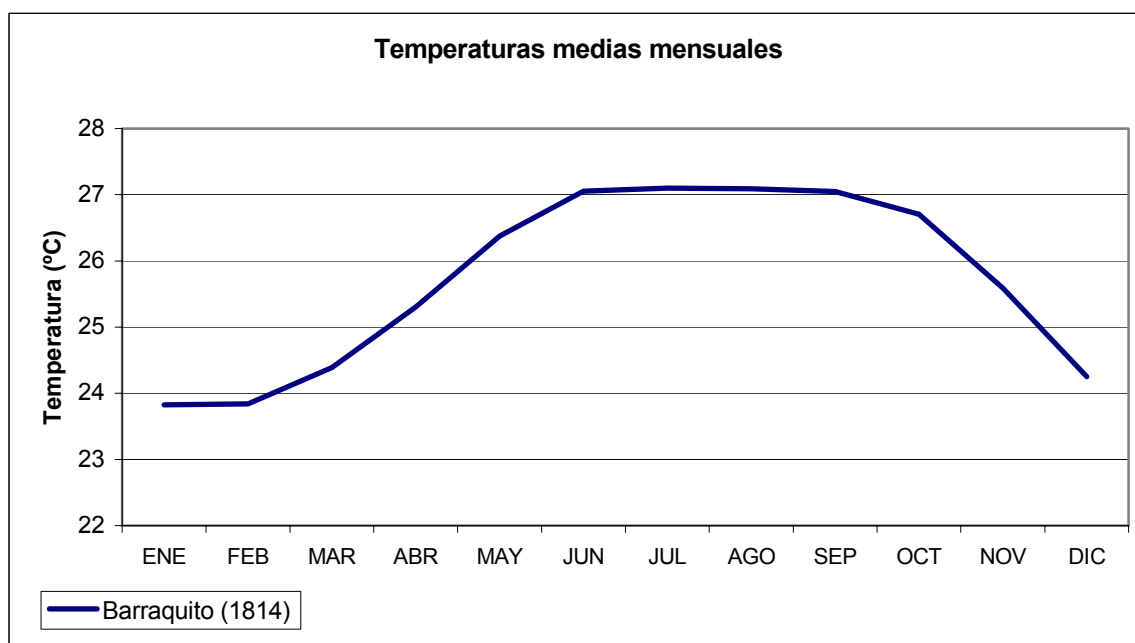


*Análisis de Temperatura:*

La serie de años utilizada para el análisis de temperatura es de 20 años, entre 1977 y 1998. Al no haber datos de temperatura en las estaciones de la Península de Samaná, se han utilizado los datos de la estación 1814 – Barraquito, perteneciente a la Unidad Hidrológica de Valle del Cibao. Los datos de temperatura media anual quedan reflejados en el siguiente cuadro:

CÓDIGO	NOMBRE DE LA ESTACIÓN	TEMPERATURA MEDIA ANUAL (°C)
1814	BARRAQUITO	25.7

La distribución mensual de las temperaturas medias de esta estación se ha representado en el siguiente gráfico:



*Lluvia útil:*

Tras el cálculo de la evapotranspiración potencial según Hargreaves, se obtiene la evapotranspiración real y los valores de lluvia útil (cantidad de agua de lluvia que pasará a formar parte de la escorrentía subterránea o superficial) mediante el método de Balance de Agua en el Suelo. Los valores de dicha lluvia útil, en mm, son los siguientes:

Cuadro 10.1.6. Valores de lluvia útil, en mm

Subunidades	Año medio	Año húmedo	Año seco
<i>Calizas de las Galeras</i>	534	1076	191
<i>Calizas de Naranjito</i>	479	1023	153
<i>Conglomerados de Samaná</i>	477	1022	193
<i>Mármoles de los Guanos</i>	534	1076	180
MEDIA DE LA UNIDAD (*)	506	1049	179

\* La Media de la unidad ha sido ponderada con la superficie de materiales permeables.

En cuanto a las características hidrológicas, dentro de la unidad se diferencian cuatro zonas:

- El sector suroccidental, en el cual los arroyos que nacen en el borde meridional de la unidad descargan fuera de ella, en la margen izquierda de la cuenca del río Yuna.

- El sector meridional, en el cual la red hidrográfica nace en la mitad del borde meridional de la unidad, de escaso recorrido, descarga hacia la Bahía de Samaná.
- El cuadrante noroccidental, que debido a su morfología tipo karst, los arroyos son de pequeña entidad y descargan directamente al océano Atlántico.
- El cuadrante nororiental, donde aparecen los tres ríos más largos de la península, los cuales nacen en la mitad norte meridional y descargan en dirección sur-norte hacia el océano Atlántico.

En esta Unidad Hidrogeológica se ha diseñado una red de control constituida por 5 puntos de aforo, cuyas características se describen en el cuadro siguiente:

Cuadro 10.1.7. Red de control diseñada

PUNTO DE AFORO	TIPO DE ACUÍFERO	PERMEABILIDAD ESTIMADA	OBSERVACIONES
GRANDE-1	DETRÍTICO	BAJA	Salida Norte de la Unidad
LIMÓN-1	CARBONATADO	ALTA	Salida Norte de la Unidad
LOS COCOS-1	DETRÍTICO	BAJA	Salida Sur de la Unidad
LOS REMEDIOS-1	CARBONATADO	BAJA	Salida Suroeste de la Unidad
MAJAGUAL-1	CARBONATADO	BAJA	Salida Sur de la Unidad

Tres de los aforos propuestos están situados en la vertiente sur de la Península y controlan las salidas de las calizas margosas. Los otros dos puntos de aforo se sitúan en la vertiente norte, controlando los aportes de las calizas y de los materiales metamórficos. Con esta red de aforos se controla aproximadamente entre un 70-80% de las salidas de la unidad.

### **Hidrogeología**

La Unidad o Zona Hidrogeológica nº 4: Península de Samaná se encuentra emplazada al noreste del país. Esta unidad hidrogeológica tiene una superficie de 651 Km<sup>2</sup>, abarcando la totalidad de la península, con una longitud aproximada de 50 Km y una anchura de 15 Km.

Esta península se caracteriza por la existencia de una sierra central que la atraviesa de este a oeste, cuyas cotas máximas se encuentran en torno a 400 y 600 m.s.n.m. La divisoria de esta sierra se encuentra desplazada al sur con respecto a los límites de la península, por lo que la pendiente en la vertiente sur es muy superior a la de la vertiente norte.



La unidad hidrogeológica se encuentra limitada al sur por la bahía de Samaná y al este y norte por el océano Atlántico, estando unida al resto de la isla por el istmo de Samaná en el extremo oeste.

En este conjunto con materiales de diversa naturaleza, que alcanzan una superficie total próxima a los 652 km<sup>2</sup>, habría que destacar, por su interés desde el punto de vista hidrogeológico, las calizas arrecifales Pliocenas, situadas en la parte occidental de la península, y los materiales metamórfico-carbonatado (mármoles), situados al noreste. Ambas formaciones se caracterizan por presentar un proceso de karstificación avanzado con un alto grado de permeabilidad por fisuración y karstificación, siendo su superficie conjunta superior a 220 Km<sup>2</sup> (134 Km<sup>2</sup> las calizas arrecifales y 85 Km<sup>2</sup> los mármoles). Las calizas del Mioceno aflorantes en la zona oriental de la península también se consideran de interés desde el punto de vista hidrogeológico, aunque su importancia es mucho menor, por su escasa superficie de afloramiento (13 Km<sup>2</sup>).

Con criterios de funcionamiento hidrogeológico se han diferenciado, dentro de los límites de esta unidad, cuatro subzonas y ocho tipos distintos de formaciones permeables o niveles acuíferos, así como tres formaciones de baja permeabilidad, cuyas principales características son las siguientes:

Cuadro 10.1.8. Tipos de formaciones diferenciadas

FORMACIONES DE PRIMER ORDEN	FORMACIONES DE SEGUNDO ORDEN	TIPO DE MATERIALES PERMEABLES	SUPERFICIE (en Km <sup>2</sup> )
Formaciones con permeabilidad por porosidad intersticial	Formaciones porosas con permeabilidad de muy alta a media-alta y productividad media	Qa: depósitos de terrazas fluviales del Cuaternario	30
		Mcg: depósitos de conglomerados, poligénicos, areniscas y margas del Mioceno.	35.07
		Qab: Abanicos cuaternarios. Cantos de carbonatos en matriz arcillo-arenosa.	1.75
		Qi: Materiales indiferenciados del cuaternario	23.97
	Formaciones porosas con permeabilidad media-baja y productividad baja	Ql: depósitos de marismas y manglares de edad Cuaternario Holoceno.	3.41

<b>FORMACIONES DE PRIMER ORDEN</b>	<b>FORMACIONES DE SEGUNDO ORDEN</b>	<b>TIPO DE MATERIALES PERMEABLES</b>	<b>SUPERFICIE (en Km<sup>2</sup>)</b>
Formaciones fisuradas con permeabilidad por fisuración-karstificación	Formaciones fisuradas de alta permeabilidad y productividad	PLc: calizas arrecifales detríticas, muy karstificadas y de edad Plioceno-Pleistoceno.	134.68
		Mc: Caliza arrecifal karstificada del Mioceno	12.99
	Formaciones fisuradas de permeabilidad media-alta y productividad moderada	MTc: Formación metamórfico carbonatada (mármol masivo muy karstificado)	85.51

En lo referente a la delimitación de subunidades de funcionamiento hidrogeológico y de las formaciones y niveles acuíferos que se integran en ellas, así como sus límites de funcionamiento, se resumen en el cuadro adjunto:

Cuadro 10.1.9. Subunidades de funcionamiento hidrogeológico delimitadas y formaciones y niveles acuíferos que se integran en ellas

SUBUNIDADES O SECTORES DE FUNCIONAMIENTO HIDROGEOLÓGICO	SUPERFICIES (km <sup>2</sup> )		LÍMITES	FORMACIONES O NIVELES ACUÍFEROS
	Materiales permeables	Materiales de baja permeabilidad		
<b>Calizas de Naranjito</b>	167.61 km <sup>2</sup>	64.29 km <sup>2</sup>	<p>- Norte: Es todo abierto y en conexión hidráulica con el mar, tanto los depósitos cuaternarios detríticos (Qa) como las calizas del Plioceno (Plc).</p> <p>- Oeste: Cerrado y estanco con el metamórfico indiferenciado (MTi) de la subunidad Mármoles de Los Guanos-Atravesada.</p> <p>- Sur: La mayor parte del límite sur es cerrado y estanco por contacto con el metamórfico indiferenciado (MTi) de la subunidad Conglomerados de Samaná-Majagual. Únicamente hay un pequeño tramo abierto y en conexión hidráulica en el contacto de las calizas arrecifales del Plioceno de ambas subunidades.</p>	<p>- Mcg: 2.43 km<sup>2</sup></p> <p>- Plc: 130.18 km<sup>2</sup></p> <p>- Qa: 23.13 km<sup>2</sup></p> <p>- Qi: 8.46 km<sup>2</sup></p> <p>- Ql: 3.41 km<sup>2</sup></p>
<b>Mármoles de Los Guanos-Atravesada</b>	97.28 km <sup>2</sup>	89.71 km <sup>2</sup>	<p>- Norte: abierto y en conexión hidráulica con el mar tanto los mármoles (MTc) como los depósitos cuaternarios indiferenciados (Qi), menos una estrecha franja en la que el límite es cerrado por estar en contacto el metamórfico indiferenciado (Mti) con el mar.</p> <p>- Este: Cerrado y estanco con el metamórfico indiferenciado (MTi) de la subunidad Calizas de Las Galeras.</p> <p>- Sur: abierto y en conexión hidráulica con los depósitos de conglomerados y areniscas Miocenos (Mcg) y cerrado en el contacto con el metamórfico indiferenciado (MTi) de la subunidad Conglomerados</p>	<p>- MTc: 85.5 km<sup>2</sup></p> <p>- Mcg: 0.55 km<sup>2</sup></p> <p>- Qa: 6.86 km<sup>2</sup></p> <p>- Qi: 4.37 km<sup>2</sup></p>

SUBUNIDADES O SECTORES DE FUNCIONAMIENTO HIDROGEOLÓGICO	SUPERFICIES (km <sup>2</sup> )		LÍMITES	FORMACIONES O NIVELES ACUÍFEROS
	Materiales permeables	Materiales de baja permeabilidad		
			de Samaná-Majagual. - Oeste: Cerrado y estanco con el metamórfico indiferenciado (MTi) de la subunidad Calizas de Naranjito.	
<b>Calizas de Las Galeras</b>	23.32 km <sup>2</sup>	70.68 km <sup>2</sup>	- Norte: Abierto y en conexión hidráulica con el mar tanto los depósitos cuaternarios indiferenciados (Qi), como los Miocenos carbonatados (Mc) y el Metamórfico indiferenciado (MTi). - Este: Abierto y en conexión hidráulica con el mar tanto los depósitos cuaternarios indiferenciados (Qi), como los Miocenos carbonatados (Mc) y el Metamórfico indiferenciado (MTi). - Sur: Abierto y en conexión hidráulica con el mar tanto los depósitos cuaternarios indiferenciados (Qi), como los Miocenos carbonatados (Mc) y el Metamórfico indiferenciado (MTi). - Oeste: Cerrado y estanco con el metamórfico indiferenciado (MTi) de la subunidad Calizas de Naranjito.	- Mc: 12.99 km <sup>2</sup> - Qi: 10.33 km <sup>2</sup>
<b>Conglomerados de Samaná-Majagual</b>	39.14 km <sup>2</sup>	148.37 km <sup>2</sup>	- Norte: La mayor parte del límite norte es cerrado y estanco por contacto con el metamórfico indiferenciado (MTi) impermeable. Únicamente hay un pequeño tramo abierto y en conexión hidráulica en el contacto de las calizas arrecifales del Plioceno con el contacto de la subunidad de las Calizas de Naranjito. - Sureste: Abierto y en conexión hidráulica con el mar	- Mcg: 32.09 km <sup>2</sup> - Plc: 4.5 km <sup>2</sup> - Qab: 1.75 km <sup>2</sup> - Qi: 0.80 km <sup>2</sup>

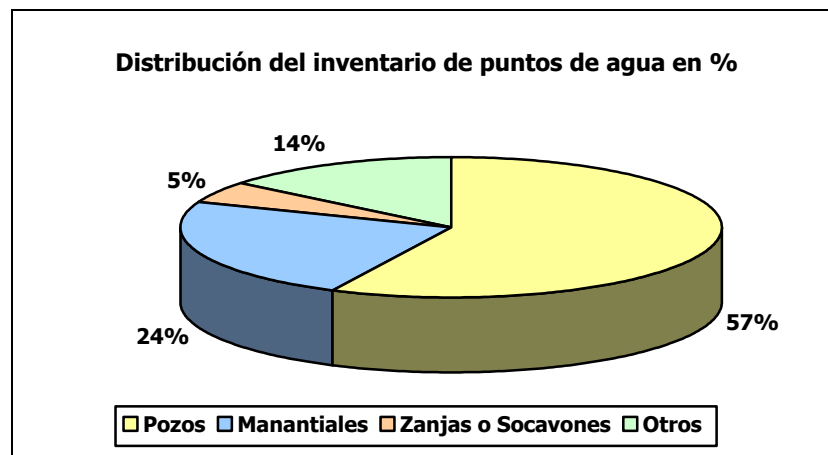
SUBUNIDADES O SECTORES DE FUNCIONAMIENTO HIDROGEOLÓGICO	SUPERFICIES (km <sup>2</sup> )		LÍMITES	FORMACIONES O NIVELES ACUÍFEROS
	Materiales permeables	Materiales de baja permeabilidad		
			<p>tanto los depósitos de conglomerados y areniscas miocenos (Mcg) como el Plioceno Margo-yesífero (PLm-y).</p> <p>- Suroeste: Abierto y en conexión hidráulica con los depósitos cuaternarios detríticos de origen fluvial (Qa) de la parte oriental de la Unidad Hidrogeológica del Valle del Cibao.</p>	
<b>TOTAL</b>	<b>327.37 km<sup>2</sup></b>	<b>324.56 km<sup>2</sup></b>		<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Mc: 12.99 km<sup>2</sup></b></li> <li>- <b>Mcg: 35.07 km<sup>2</sup></b></li> <li>- <b>PLc: 134.68 km<sup>2</sup></b></li> <li>- <b>MTc: 85.51 km<sup>2</sup></b></li> <li>- <b>Qa: 29.99 km<sup>2</sup></b></li> <li>- <b>Qab: 1.75 km<sup>2</sup></b></li> <li>- <b>Qi: 23.97 km<sup>2</sup></b></li> <li>- <b>Ql: 3.41 km<sup>2</sup></b></li> </ul>

En total, se han inventariado 42 puntos de agua, todos ellos incluidos dentro de los límites de la poligonal de la unidad hidrogeológica. La distribución de puntos del inventario realizado en esta zona, según su naturaleza, queda resumida en la siguiente tabla:

Cuadro 10.1.10. Puntos de agua inventariados

Naturaleza del punto	Nº de puntos
Pozos	24
Manantiales	10
Zanjas o socavones	2
Otros	6
<i>Total</i>	<i>42</i>

En el siguiente gráfico queda representada la distribución de puntos de agua según su naturaleza indicándose además el porcentaje que supone respecto al total.



La distribución de puntos de agua por hojas topográficas 1:50.000 es la siguiente:

Cuadro 10.1.11. Distribución de puntos de agua por hojas topográficas 1:50.000

Nº Hoja	Nombre Hoja	Pozo	Manantial	Zanja o Socavón	Otros	Total
6273 I	Sánchez	21		2	3	26
6373 I	Las Galeras	3	1			4
6373 IV	Santa Bárbara de Samaná		9		3	12

En cuanto a la distribución según usos de los puntos de agua inventariados, esta queda de la siguiente manera:

- 24 Abastecimiento doméstico (14 pozos y 10 manantiales)
- 1 Ganadería (1 pozo)
- 1 Agricultura (1 pozo)
- 1 Otros (1 pozo)
- 15 Desconocido (7 pozos, 2 zanjas o socavones, 5 cauces superficiales y 1 desconocido)

La red de piezometría definida consta de un total de cinco puntos de control que han sido agrupados en tres subsectores, en función de su situación geográfica y los materiales que captan, dentro de los cuales se suponen comportamientos similares en su evolución piezométrica.

En la siguiente tabla se indican los niveles piezométricos máximos, mínimos y medios agrupados por subsectores, calculados a partir de la lectura de todos los niveles medidos en las sucesivas campañas de piezometría.

Cuadro 10.1.12. Niveles piezométricos por subsectores

Subsector	Nivel piezométrico (m.s.n.m.)		
	Máximo	Mínimo	Medio
Las Terrenas	13	2	6.5
Las Galeras	-3.07	-5.50	-4.02
La Majagua	5.60	-1.40	3.59

En los gráficos de evolución de niveles para cada uno de los puntos de control de la red piezométrica, incluidos en la Documentación Complementaria, se pueden observar las tendencias que han sufrido dichos niveles en cada uno de los subsectores a lo largo del año hidrológico.

En general, la tendencia de los niveles piezométricos es diferente en cada uno de los subsectores. Así, en la zona de Las Terrenas se aprecia un descenso de los niveles entre agosto y octubre y entre enero y marzo, produciéndose recuperaciones de los mismos entre estos periodos. En la zona de Las Galeras los niveles medidos se encuentran por debajo del nivel del mar y existe una tendencia al descenso de los niveles entre los meses de noviembre a febrero.

A partir de este mes no se pudieron seguir las medidas piezométricas por haberse instalado una bomba en la captación, quedando la entubación sin espacio para la entrada del hidronivel. En la zona de La Majagua, los niveles de aguas altas se dan entre los meses de noviembre y enero, produciéndose un descenso puntual en el mes de marzo por debajo del nivel del mar.

### **Hidroquímica**

El estudio de las características que presentan las aguas subterráneas de la unidad hidrogeológica 04. Península de Samaná se ha llevado a cabo partiendo de los datos obtenidos en dos campañas de muestreo realizadas, entre noviembre y diciembre de 2003 (primera campaña) y en mayo de 2004 (segunda campaña), en 11 puntos de agua, que corresponden a pozos y a descargas a través de manantiales.

Las aguas analizadas presentan una mineralización que varía desde baja a elevada, con conductividades que oscilan entre 138 y 5420 microS/cm (primera campaña) y entre 104 y 5810 microS/cm (segunda campaña) y valores de nitratos que oscilan entre 4 y 24 mg/l de  $\text{NO}_3^-$  (primera campaña) y entre 5 y 18 mg/l (segunda campaña).

Existe un predominio de aguas bicarbonatadas cálcicas dentro de la unidad hidrogeológica, si bien hay facies cloruradas sódicas o bicarbonatadas calcico-magnésicas.

Atendiendo al anión predominante se observa que la composición de las aguas analizadas es de carácter bicarbonatado en la mayor parte de los casos. No obstante, hay tres muestras que presentan una composición netamente clorurada.

En cuanto a los cationes, las aguas subterráneas tienen una composición cálcica o sódica, si bien se observa una muestra de carácter mixto cálcico-magnésico.

Las aguas de mayor salinidad y facies cloruradas sódicas se registran en los pozos muestreados en la zona oriental de la UH, al norte de las Galeras. Su composición refleja la influencia de la composición del agua del mar.

Con respecto a la calidad de las aguas analizadas, los resultados obtenidos se han comparado con los valores recogidos en las normas NORDOM (1980) de la República Dominicana. En algunos constituyentes no recogidos en NORDOM (sodio, amonio) se utilizan los valores fijados por la Organización Mundial de la Salud (OMS) en 1995.

Los resultados analíticos de los puntos de agua muestreados en la unidad indican que en dos muestras de aguas subterráneas se superan los límites establecidos en distintos parámetros (sodio, cloruros, dureza y total de sólidos disueltos). En el resto de las muestras los valores



obtenidos se encuentran dentro de los límites establecidos en la normativa de aguas de abastecimiento humano.

La clasificación del U.S. Salinity Laboratory Staff (S.A.R.) para usos agrícolas indica que se trata de aguas con peligro de salinización bajo (C1), medio (C2), alto (C3) o muy alto (C4) y de alcalinización bajo (S1) o alto (S3).

### **Funcionamiento Hidrogeológico y Balance Hídrico**

La recarga fundamental de esta unidad hidrogeológica se produce por infiltración directa del agua de lluvia precipitada sobre los afloramientos permeables. Las descargas se encuentran más repartidas, siendo tres las vías preferenciales: drenajes por cauces superficiales, salidas al mar y extracción por bombeos.

Así pues, el balance de aguas subterráneas calculado para años hidrogeológicamente medios es el siguiente:

#### Entradas:

Cuadro 10.1.13. Balance de aguas subterráneas para años medios (entradas)

<b>SUBUNIDADES</b>	<b>INFILTRACIÓN LLUVIA (IP)</b>	<b>RETORNOS RIEGO (IRR)</b>	<b>ENTRADAS TOTALES</b>
<b>Calizas de Naranjito</b>	26.5	0.5	27
<b>Mármoles de Los Guanos-Atravesada</b>	14.2		14
<b>Calizas de Las Galeras</b>	3.7		3.7
<b>Conglomerados de Samaná-Majagual</b>	6.3		6.3
<b>TOTALES</b>	<b>50.7</b>	<b>0.50</b>	<b>51.2</b>

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

Salidas:

Cuadro 10.1.14. Balance de aguas subterráneas para años medios (salidas)

SUBUNIDADES	DESCARGA A RÍOS (DR)	MANANTIALES (QM)	DESCARGA A MAR (DM)	EXTRACCIÓN BOMBEOS (B)	SALIDAS TOTALES
<b>Calizas de Naranjito</b>	25		1.1	0.9	<b>27</b>
<b>Mármoles de Los Guanos-Atravesada</b>	3		10.6	0.4	<b>14</b>
<b>Calizas de Las Galeras</b>	3	0.2	0.4	0.3	<b>4.5</b>
<b>Conglomerados de Samaná-Majagual</b>	4	0.5		1.8	<b>6.3</b>
<b>TOTALES</b>	<b>35</b>	<b>0.7</b>	<b>12.1</b>	<b>3.4</b>	<b>51.2</b>

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

## 10.2. RECOMENDACIONES

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

Se recomienda la realización de estudios detallados de usos del agua en zonas de mayor concentración de demandas actuales agrícolas y 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 de acuerdo con la información disponible, se propone el único sistema de riego existente en la unidad para los usos agrícolas, cuadro 10.2.1. Y los municipios y secciones municipales para usos humanos, cuadro 10.2.2):

Cuadro 10.2.1. Sistemas de riego para realizar estudios detallados de usos del agua

Subunidad	Distrito de Riego	Zona de Riego	Sistema de Riego	Superficie irrigada (ha)
Calizas de Naranjito	Bajo Yuna	Nagua	La Lometa	409.18
Conglomerados de Samaná-Majagual	Bajo Yuna	Nagua	La Lometa	154.27

Cuadro 10.2.2. Municipios y secciones para realizar estudios detallados de usos del agua

SUBUNIDAD	Provincia de Samaná			Población en 2004
	Municipios	Secciones	Parajes	
CALIZAS DE NARANJITO	Santa Bárbara de Samaná	El Limón	10	4 027
	Las Terrenas D.M.	Las Terrenas	1	4 610
	Provincia de Samaná			Población en 2004
MÁRMOLES DE LOS GUANOS-ATRAVESADA	Municipios	Secciones	Parajes	
	Santa Bárbara de Samaná	Acosta	15	5 927
CALIZAS DE LAS GALERAS	Provincia de Samaná			Población en 2004
	Municipios	Secciones	Parajes	
	Santa Bárbara de Samaná	Los Cacaos	9	5 687

SUBUNIDAD CONGLOMERADOS DE SAMANÁ- MAJAGUAL	Provincia de Samaná			Población en 2004
	Municipios	Secciones	Parajes	
	Santa Bárbara de Samaná	Samaná	3	10 523
		Arroyo Barril	12	10 119
	Sánchez	Honduras	12	2 636
		Sánchez	4	12 244
		La Majagua	11	5 968
		Las Garitas	6	4 857
		Majagua	4	3 185

Asimismo, y de acuerdo con la información disponible, se recomienda como posibles zonas para establecer nuevos regadíos los indicados en el cuadro 10.2.3, cuya distribución espacial se observa en la Plano 10.1:

Cuadro 10.2.3. Zonas para establecer nuevos regadíos

Subunidad hidrogeológica	Posibles zonas de nuevos regadíos		Superficie (ha)
Calizas de Naranjito	1	Nuevo sistema de riego entre La Guazara y Rancho Español	341.76
	2	Nuevo sistema de riego en la zona de la Terrenas desde Coson hasta el Portillo	1595.36
Mármoles de Los Guanos-Atravesada	1	Nuevo sistema de riego entre Las Cuchillas y El Valle, a ambos márgenes del río San Juan	625.43
	2	Nuevo sistema de riego entre La Casualidad y La Laguna, en la margen derecha del arroyo Grande y el río San Juan	115.76
Calizas de las Galeras	1	Nuevo sistema de riego en la zona de Las Galeras	568.44
Conglomerados de Samaná-Majagua	1	Nuevo sistema de riego entre Majagua y los Cacaos	3204.29

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

La inexistencia actual de información piezométrica suficiente y referente a los principales acuíferos de la unidad (las calizas arrecifales del Plioceno: Plc y el metamórfico carbonatado indiferenciado: MTc ) recomienda la construcción de una serie de sondeos de investigación y piezométricos en los principales afloramientos de dichas formaciones, 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).

Asimismo también sería de interés construir un sondeo piezométrico sobre los conglomerados y areniscas del Mioceno (Mcg) con el fin de conocer la geometría de este acuífero que puede ser de gran utilidad para el abastecimiento a la población más importante de la península: Santa Bárbara de Samaná.

Con este objetivo, se recomienda la construcción de un mínimo de cinco sondeos de investigación y piezométricos, distribuidos de la siguiente manera:

Cuadro 10.2.4. Puntos piezométricos y de investigación propuestos

SUBUNIDADES HIDROGEOLÓGICAS	SONDEO PIEZOMÉTRICO	UBICACIÓN (coord. U.T.M)			CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS
		x	y	z	
<b>CALIZAS DE NARANJITO</b>	<b>P<sub>1</sub></b>	439000	2129750	380	Profundidad: 150 Y 200 m, respectivamente. Diámetro de perforación 130 mm y de entubación 50 mm.
	<b>P<sub>2</sub></b>	442460	2133480	80	
<b>MÁRMOLES DE LOS GUANOS- ATRAVESADA</b>	<b>P<sub>3</sub></b>	464975	2130744	18	Profundidad: 100 m y 250 m, respectivamente. Diámetro de perforación 130 mm y de entubación 50 mm.
	<b>P<sub>4</sub></b>	471280	2134010	170	
<b>CONGLOMERADOS DE SAMANÁ- MAJAGUAL</b>	<b>P<sub>5</sub></b>	461230	2122830	100	Profundidad: 120 m. Diámetro de perforación 130 mm y de entubación 50 mm.
<b>TOTALES</b>	<b>5</b>				

En todos los piezómetros propuestos se recomienda lo siguiente:

- Perforar a rotoperCUSión o a percusión.
- Entubar con tubos de plástico en PVC-U (cloruro de polivinilo) en versión resistente, o 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.

- 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 del sondeo es recomendable 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.
- 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.

Asimismo, 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, la mayor parte de los núcleos urbanos que se integran dentro del área de la unidad hidrogeológica de la Península de Samaná 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 recursos y expuestos, por lo general, a posibles acciones contaminantes (vertidos de residuos urbanos, fertilizantes agrícolas, etc.), y de algunos manantiales de escaso caudal y problemática similar a la de los pozos. 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.

Para la consecución de dichos objetivos se recomienda que los sondeos que se construyan cumplan con los siguientes requisitos:

- El método de perforación será a rotoperCUSión, 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 diámetros de perforación suficientes para poder entubar con tuberías de 300 mm de diámetro interior.
- Se entubarán los primeros treinta (30) metros (0.00 – 30.00) con tubería de emboquillado. Cementando el espacio anular entre el terreno y la tubería, continuando la perforación por el interior de esta tubería.
- El Contratista deberá tener a pie de obra los equipos y medios necesarios para alcanzar la profundidad máxima prevista para cada sondeo. Será criterio del Director de Obra fijar la profundidad definitiva de la perforación, debiéndose considerar la profundidad indicada como estimativa. El Contratista deberá tener previsto varillaje suficiente para proseguir la perforación sin interrupciones en caso de que el Director de Obra lo considere necesario, hasta 300 m.
- 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.
- En el control de la ejecución se entregarán diariamente al Director de las Obras un parte diario por cada turno de perforación, en los que se indicará detalladamente diámetro, avance, litología de materiales perforados, parámetros de control de lodos, paradas, tipo y cambios de herramienta de corte, formación de la sarta y peso, así como de cuantas incidencias se produzcan en cada turno de trabajo.
- El pozo deberá ser vertical, alineado y de perfecta sección circular, admitiéndose como tolerancia dos veces el diámetro interior de la tubería por cada 100 m., en desviaciones de alineación y verticalidad.
- Una vez terminada la perforación se procederá, mediante registro continuo, a la comprobación de la verticalidad y alineación del pozo y la testificación geofísica con los registros de Gamma natural, potencial espontáneo y resistividad normal corta y larga.
- Con las diagráfias obtenidas se realizará una interpretación en campo, fijando la columna litológica con sus diversas características y dando recomendaciones sobre la columna de entubación.
- 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.

- Para que la tubería quede perfectamente centrada en la perforación se utilizarán centradores separados unos 12 m. Los centradores deberán situarse en los extremos inferior y superior de las zonas filtrantes.
- Una vez concluido el pozo, será preciso extraer todos los restos de lodos y detritus de perforación y estabilizar las formaciones acuíferas para tratar de obtener el mayor caudal específico posible, mediante desarrollo por los sistemas de pistoneo o aire comprimido.
- Se realizarán dos cementaciones; entre la tubería de emboquillado y el terreno natural (30 m), y en la parte superior del espacio anular (10 m). La primera se realizará mediante mortero rico en cemento y la segunda se realizará mediante hormigón en masa tipo H-150 con árido de 20 mm de tamaño máximo. No permitiéndose ninguna operación en el pozo durante los tiempos de fraguado.
- A través de la cementación anular se dejará instalada una tubería de 2" Ø y 40 m de longitud que permitirá, en caso necesario, añadir grava al empaque si se produjese un asentamiento del mismo.
- Una vez concluidas las operaciones de limpieza y desarrollo se procederá al aforo del pozo mediante un grupo electrobomba sumergido, accionado por un grupo electrógeno. La bomba será tal que pueda proporcionar un caudal máximo variable entre 50 y 150 l/s con altura manométrica del orden de 100 m.
- Antes de realizarse el bombeo propiamente dicho, con una duración de al menos un periodo de 72 horas y con el fin de determinar el caudal constante con que se efectuará éste, se procederá a bombear el pozo con una serie de caudales escalonados que en cada caso determinará el Director de las Obras. Estos bombeos previos tendrán una duración máxima de 12 horas. Al finalizar el ensayo de bombeo, se tomarán 2 muestras de agua en frascos esterilizados de por lo menos dos (2) litros de capacidad para su posterior análisis de laboratorio. Finalizada la extracción de agua se procederá a tomar medidas para determinar la recuperación del pozo.
- En principio se deben controlar los niveles de agua en el propio pozo y si fuese posible en algún otro punto que sirviese de piezómetro.



- Una vez concluidas las tareas de aforo, se procederá a la desinfección del pozo mediante la adición de hipoclorito sódico comercial (dosificación 1 litro de hipoclorito por metro cúbico). El pozo quedará cerrado con una brida ciega atornillada y fija con puntos de soldadura.
- Una vez concluida la desinfección y cierre del pozo el Contratista procederá a retirar sus equipos e instalaciones y al relleno de las balsas de lodos, retirada de acopios y limpieza de los terrenos afectados durante la ejecución de las obras.

Los citados municipios con más de 1.000 habitantes dentro del área de la unidad de la Península de Samaná se recomienda realizar sondeos de abastecimiento, son los siguientes:

Cuadro 10.2.5. Municipios con más de 1000 habitantes en los que se propone la realización de sondeos de abastecimiento

<b>MUNICIPIOS</b>	<b>SECCIONES</b>	<b>PARAJES</b>	<b>POBLACIÓN TOTAL</b>
Santa Bárbara de Samaná	Samaná	3	8 197
	Acosta	15	4 617
	Arroyo Barril	12	7 882
	Las Galeras	22	4 510
	Los Cacaos	10	4 719
	Honduras	20	4 041
	Juana Vicenta	19	3 264
	El Limón	10	3 137
Sánchez	Sánchez	4	9 537
	La Majagua	13	5 110
	Las Garitas	6	3 783
	Trujillo del Yuma	18	1 238
	Majagual	9	3 114
Las Terrenas D.M.	Las Terrenas	1	3 591
	El Jaimito	7	3 638
	El Cosson	4	1 080
	La Barbacoa	4	1 636

### **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,

- 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 delimitan con la suficiente amplitud para que el resultado de una actividad contaminante, una vez que llega 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 puede 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 tienen restricciones de uso tanto mayores cuanto más próximas a la captación. Así, en la Zona I solo se permiten las actividades relacionadas con el mantenimiento y explotación de las instalaciones. En la zona II se prohíben las fosas sépticas, el vertido de residuos sólidos o la existencia de granjas, industrias y mataderos, y en la Zona III se prohíbe 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 realiza 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.

### **Intrusión marina**

La red de control de la intrusión marina en la unidad hidrogeológica está constituida por dos puntos de agua, situados en la Subunidad Calizas de las Galeras, que corresponden a pozos.

Los puntos considerados se han muestreado en noviembre-diciembre de 2003 y junio de 2004, si bien sólo se dispone de los resultados analíticos de la primera campaña de muestreo.

Los valores de la mineralización que presenta el agua indican que, en caso de reflejar una influencia del agua del mar, esta afección se limitaría a una zona reducida en el acuífero aluvial que explotan estos pozos.

No obstante, el origen de la salinidad del agua será objeto de un estudio de mayor detalle a la vista de los resultados obtenidos durante la campaña de muestreo realizada en junio de 2004.

**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 algún punto de la red actual con información redundante y añadir otros nuevos de posible interés (entre ellos los sondeos piezométricos propuestos), 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 redes y frecuencias de control propuestas, para sus diferentes tipos, son las siguientes:

*Red de piezometría*

Cuadro 10.2.6. Puntos propuestos para la red de control piezométrico

Subunidad	Subsector	CodPunto	Observaciones
Calizas de Naranjito	Las Terrenas	6273120004	
		6273120005	Eliminar
		6273120006	
	En Ceiba Bonita	P <sub>1</sub>	Añadir
	Hoyo del Cacao	P <sub>2</sub>	Añadir
Mármoles de Los Guanos-Atravesada	Las Galeras	6373110001	
	Bañadero Prieto	P <sub>3</sub>	Añadir
	Cañada del Torito	P <sub>4</sub>	Añadir
Conglomerados de Samaná	La Majagua	6273140004	
	Honduras	P <sub>5</sub>	Añadir

La red de aforos existente se considera suficiente para el control foronómico de la unidad hidrogeológica ya que con ella se controla el 80% de los recursos hídricos. Por lo tanto no se recomiendan puntos nuevos de aforo que añadir a la red.

*Calidad química*

Se recomienda continuar con el muestreo y análisis de aguas subterráneas, si bien se propone realizar algunas modificaciones en los puntos de control. Las modificaciones contemplan eliminar algunos puntos en zonas que cuentan con una elevada densidad de información y proporcionan información redundante, y seleccionar otros en zonas en las que no se dispone de datos de calidad química del agua subterránea. Así, sería conveniente disponer de puntos de control en aquellos parajes en los que se realicen sondeos o se destinen pozos ya existentes para abastecimiento a la población. En el cuadro adjunto se indica la red propuesta.

Cuadro 10.2.7. Puntos propuestos para la red de control hidroquímico

Subunidades	Punto existente Código (Nº lab. 1ª campaña)	Punto propuesto	Paraje o Municipio	Observaciones
<b>Calizas de Naranjito</b>	6273130004 (25)	6273130004	Las Terrenas	
	6273130002_D (26)		Las Terrenas	Eliminar
	6273110007 (115)	6273110007	El Tunio. Sánchez	
	6273110002 (121)	6273110002	Sánchez	
		1 punto	El Limón. Santa Bárbara de Samaná	
<b>Mármoles de los Guanos-Atravesada</b>		1 punto	Acosta. Santa Bárbara de Samaná	
<b>Calizas de las Galeras</b>	6373140001 (116)		Las Galeras	Eliminar
	6373110001 (117)	6373110001	Las Galeras	
	6373110002 (118)	6373110002	Las Galeras	
		1 punto	Los Cacaos	
<b>Conglomerados de Samaná-Majagual</b>	6273140004 (114)	6273140004	El Catey. Sánchez	
	6273140003 (122)	6273140003	El Catey. Sánchez	
	6373440005 (119)	6373440005	Arroyo Barril	
	6373440001 (120)	6373440001	La Pascuala	
		1 punto	Sánchez	
		1 punto	La Garita	
		1 punto	Honduras	
Total puntos		15		

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

Se recomienda la instalación de una nueva estación climática similar a las instaladas en la Fase II del Estudio Hidrogeológico de la República Dominicana en la subunidad Calizas de Naranjito, a ser posible, sobre el afloramiento de calizas arrecifales del Plioceno (Plc), en la vertiente norte de la península y a una cota de entre 200 y 300 m.s.n.m., ya que únicamente se tienen datos de estaciones climáticas en la vertiente sur de la península y a una cota próxima al nivel del mar.

También sería recomendable la instalación de una estación climática en la subunidad de los Mármoles de Los Guanos-Atravesada, a ser posible sobre los afloramientos de los materiales metamórficos carbonatados.

### **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 de esta unidad, se recomienda seguir actualizando la Base de Datos de Agua Subterránea 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 tomar decisiones sobre planes o normas de explotación y protección de los recursos subterráneos de esta unidad.

# PLANOS

## Leyenda

- |  |                    |  |              |
|--|--------------------|--|--------------|
|  | Ciudades           |  | Red troncal  |
|  | Ayudantía          |  | Red regional |
|  | Provincias         |  | Red vecinal  |
|  | Curvas             |  | Inventario   |
|  | Costa              |  | Red vereda   |
|  | Frontera           |  | Red Haití    |
|  | Ríos               |  |              |
|  | Dirección de flujo |  |              |

- |  |                          |  |                        |
|--|--------------------------|--|------------------------|
|  | Unidades Hidrogeológicas |  | Falla                  |
|  | Hojas 1:50.000           |  | Falla supuesta         |
|  | Lago agua salada         |  | Falla normal           |
|  | Lago agua dulce          |  | Falla normal supuesta  |
|  |                          |  | Cabalgamiento          |
|  |                          |  | Cabalgamiento supuesto |
|  |                          |  | Contacto               |
|  |                          |  | Anticlinal             |



## LEYENDA HIDROGEOLÓGICA

### FORMACIONES CON PERMEABILIDAD POR POROSIDAD INTERSTICIAL

Formaciones porosas con permeabilidad y productividad (potencialidad real de explotación) elevadas:

- |  |                                   |
|--|-----------------------------------|
|  | Qal DEPÓSITOS ALUVIALES           |
|  | Qa CUATERNARIO TERRAZAS FLUVIALES |
|  | Qab CUATERNARIO ABANICOS          |

Formaciones porosas con permeabilidad variable y productividad (potencialidad real de explotación) media:

- |  |  |
|--|--|
|  | Qi CUATERNARIO INDIFERENCIADO  |
|  | Mog CONGLOMERADOS Y ARENISCAS MIOCENAS. Conglomerados, areniscas, margas arenosas.       |
|  | Eog CONGLOMERADOS Y ARENISCAS DEL EOCENO. Conglomerados poligénicos, areniscas y margas. |
|  | Nog CONGLOMERADOS NEOGENOS. Conglomerados, depósitos deltaicos.                          |
|  | Oog CONGLOMERADO OLIGOCENO. Conglomerados, areniscas y calizas arrecifales.              |

Formaciones porosas con permeabilidad variable y productividad (potencialidad de explotación) baja:

- |  |   |
|--|---|
|  | Mm MARGAS CON CALCARENITAS MIOCENAS   |
|  | Qi CUATERNARIO HOLOCENO. Depósitos de marismas, manglares.  |
|  | Ti TERCIARIO INDIFERENCIADO. Margas con intercalaciones de areniscas, areniscas y lutitas tipo Lujarón, areniscas con intercalaciones de margas, argilitas y conglomerados. |

### FORMACIONES CON PERMEABILIDAD POR FISURACIÓN- CARSTIFICACIÓN

Formaciones fisuradas de gran extensión superficial y alta permeabilidad y productividad:

- |  |  |
|--|--|
|  | Ec CALIZAS DEL EOCENO-MIOCENO  |
|  | Mc CALIZA ARRECIFAL MIOCENA. Caliza arrecifal.   |
|  | Plc CALIZAS ARRECIFALES PLIOCENAS. Calizas arrecifales, molasas, calizas detríticas areniscas. |
|  | Cc CALIZAS CRETACICAS. Calizas de color gris.  |
|  | MTc METAMÓRFICO CARBONATADO  |

Formaciones fisuradas de extensión superficial limitada (local o discontinua) y permeabilidad y productividad moderada o variable:

- |  |  |
|--|--|
|  | Qc CUATERNARIO DEPOSITOS MARINOS   |
|  | Oc NIVELES DE CALIZAS EOCENAS INTERCALADAS. Niveles de calizas eocenas intercaladas entre areniscas, conglomerados y margas. |

Formaciones fisuradas con permeabilidad variable y productividad (potencialidad de explotación) baja.

- |  |   |
|--|---|
|  | Omc CALIZAS MARGOSAS Y MARGAS DEL OLIGOCENO-MIOCENO |
|--|---|

FORMACIONES DE TIPO MIXTO CON PERMEABILIDAD MEDIA POR FISURACIÓN Y/O POROSIDAD INTERSTICIAL

- |  |   |
|--|---|
|  | Pog PLEISTOCENO/PLIOCENO. Conglomerados, arenas, molasas y calizas arrecifales.   |
|  | T-Car ARENISCAS DEL TERCIARIO-CRETACICO (Facies FLYSCH). Areniscas y margas arenosas con intercalaciones de conglomerados, olistolitos, bancos delgados de calizas pelágicas. |
|  | Cf FLYSCH CRETACICO. Facies flysch, calcarenitas, margas, calizas y areniscas.  |
|  | RPf ROCAS PLUTÓNICAS FISURADAS O ALTERADAS. Granitos fisurados o alterados, con depósitos de Lemhs.   |
|  | RVSt ROCAS VOLCANOSSEDIMENTARIAS FISURADAS. Rocas clásticas estratificadas, tobas volcánicas, basaltos, aglomerados y rocas volcánicas submarinas.                            |

FORMACIONES DE BAJA PERMEABILIDAD O CON EXTENSIÓN SUPERFICIAL MUY REDUCIDA, QUE SE CONSIDERAN COMO NO ACUIFERAS O CON ACUIFEROS MUY PUNTUALES Y DE ESCASA O NULA POTENCIALIDAD DE EXPLOTACIÓN

- |  |   |
|--|---|
|  | Qlm CUATERNARIO DEPOSITOS LACUSTRES   |
|  | PLm-y MARGAS Y YESOS DEL PLIOCENO. Margas facies litoral, yesos, sales de roca, molasas masivas, facies evaporitas.                     |
|  | RVm ROCAS VOLCANICAS MASIVAS. Riolitas, rioladitas, arriolitas y andesitas.   |
|  | Om MARGAS OLIGOCENAS. Margas con intercalaciones de areniscas.  |
|  | MTi METAMORFICO INDIFERENCIADO. Esquistos, esquistos micáceos, mármoles y facies esquistos verdes.                                      |
|  | RPi ROCAS PLUTONICAS INDIFERENCIADOS. Gabros, complejos gabroides, anfibolitas, gabroanfibolitas, dioritas, rocas ultramáficas.         |
|  | RPg ROCAS PLUTONICAS: GRANITOS  |
|  | RVS ROCAS VOLCANOSSEDIMENTARIAS. Rocas clásticas estratificadas, tobas volcánicas, basaltos, aglomerados y rocas volcánicas submarinas. |

## LEYENDA HIDROGEOLÓGICA

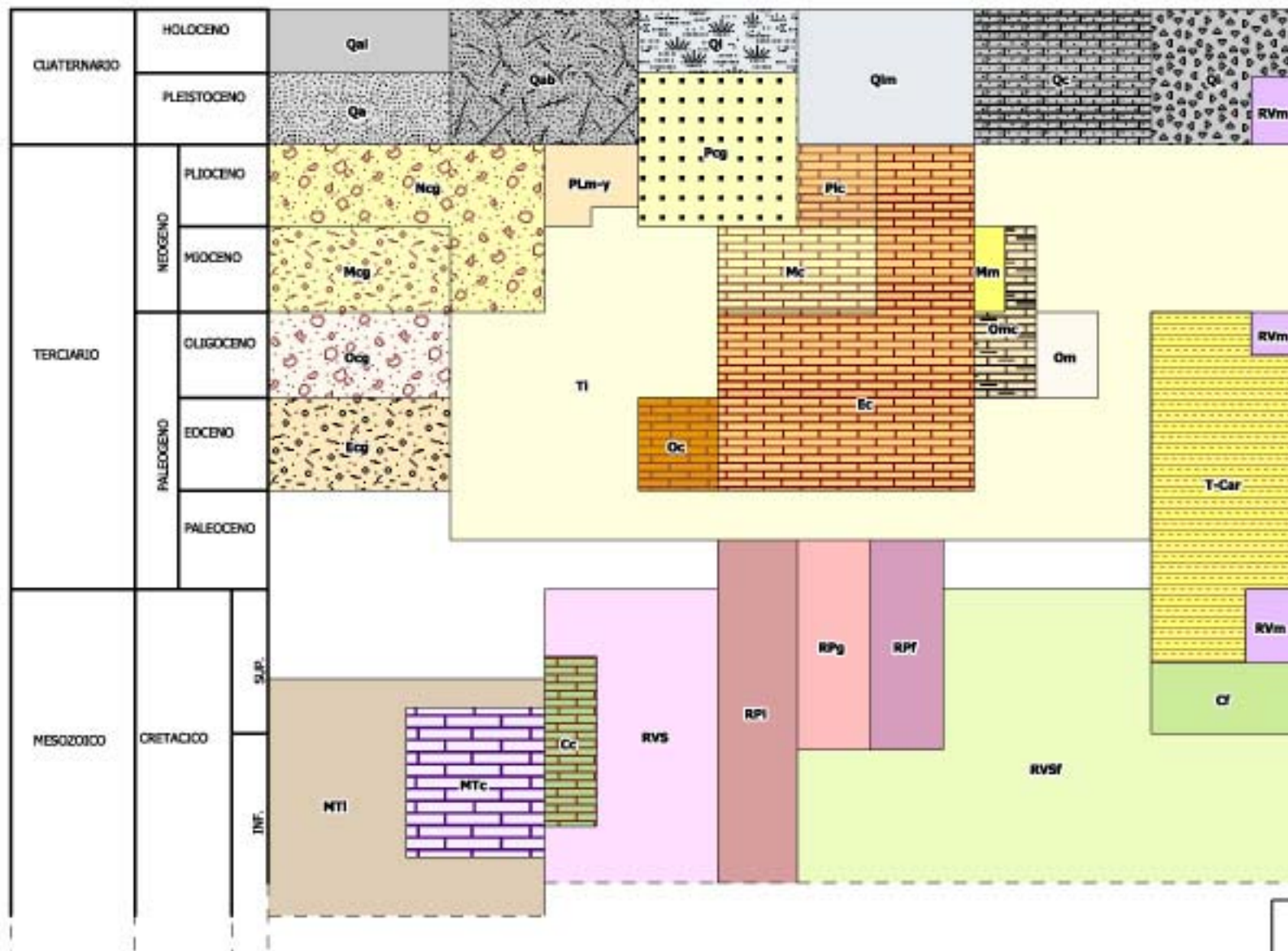
### REPÚBLICA DOMINICANA



PROGRAMA SYSMIN

OCTUBRE - 2004





LEYENDA CRONOESTRATIGRÁFICA

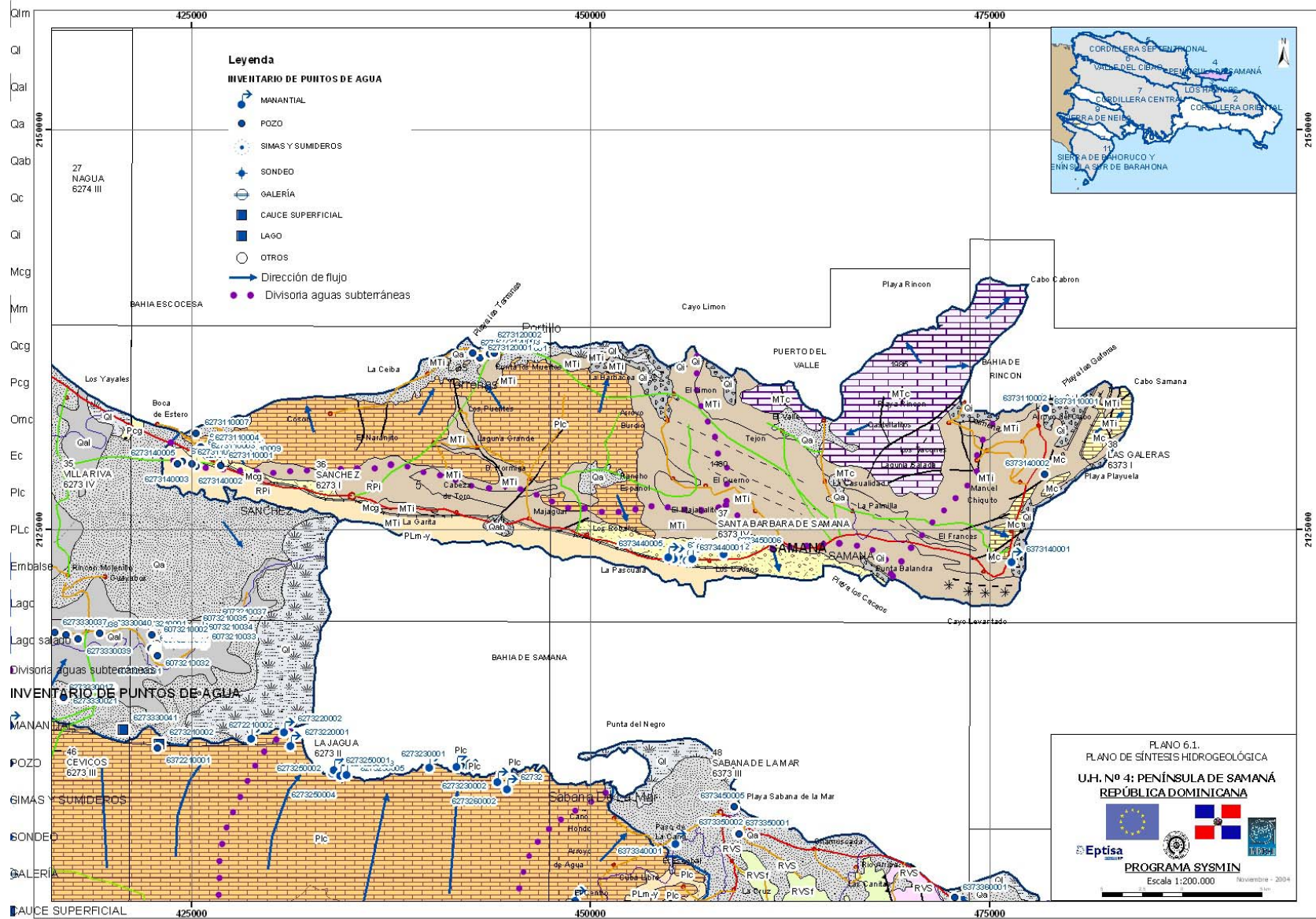
REPÚBLICA DOMINICANA



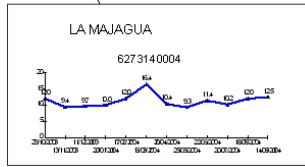
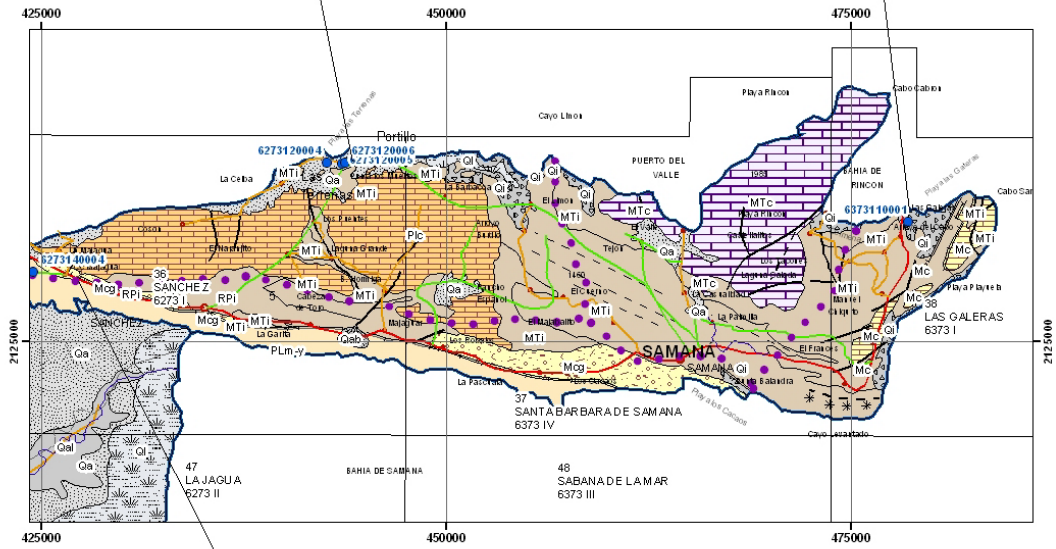
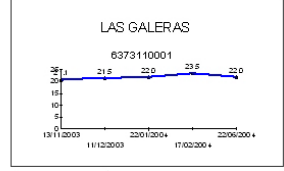
Eptisa



PROGRAMA SYSMIN Noviembre 2004



Cc  
T-Car  
PLm-y  
Om  
Ocg  
Ncg  
Mc  
Ecg  
Ti  
Oc  
Qlrm  
Ql  
Qal  
Qa  
Qab  
Qc  
Qi  
Mcg  
Mm  
Qcg  
Pcg  
Omc  
Ec  
Pic  
PLc  
Embalse

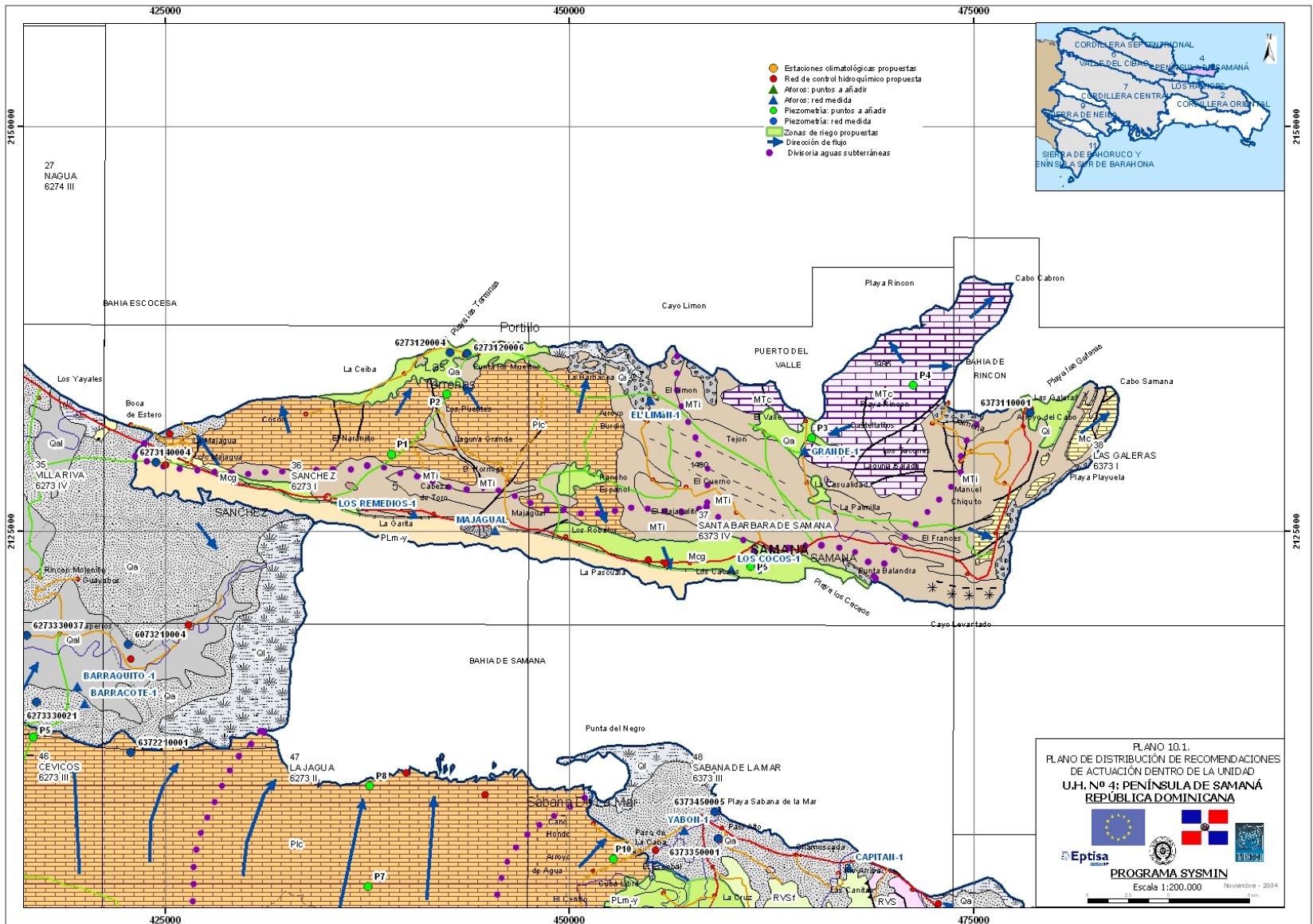


**U. H. Nº 4 PENINSULA DE SAMANA**

Superficie total	Superficie materiales permeables
652 Km <sup>2</sup>	327 Km <sup>2</sup>
Volumen anual renovable	Extracciones actuales
51 hm <sup>3</sup> /a	3.50 hm <sup>3</sup> /a

PLANO 7.1.  
PLANO DE DISTRIBUCION DE LA RED PIEZOMETRICA  
Y DE EVOLUCION DE MEDIDAS DEL PROYECTO  
**U.H. Nº 4: PENINSULA DE SAMANA**  
REPÚBLICA DOMINICANA

**PROGRAMA SYSMIN**  
Escala 1:250.000    Noviembre - 2004



27  
NAGUA  
6274 III

35  
VILLARIVA  
6273 IV

6273330037  
BARRAQUITO-1  
BARRACOTE-1

46  
CEVICOS  
6273 III

47  
LA JAGUA  
6273 II

48  
SABANA DE LA MAR  
6373 III

48  
SABANA DE LA MAR  
6373 III

48  
SABANA DE LA MAR  
6373 III

48  
SABANA DE LA MAR  
6373 III

PLANO 10.1.  
PLANO DE DISTRIBUCIÓN DE RECOMENDACIONES  
DE ACTUACIÓN DENTRO DE LA UNIDAD  
U.H. Nº 4: PENÍNSULA DE SAMANÁ  
REPÚBLICA DOMINICANA

PROGRAMA SYSMIN  
Escala 1:200.000  
Noviembre - 2004