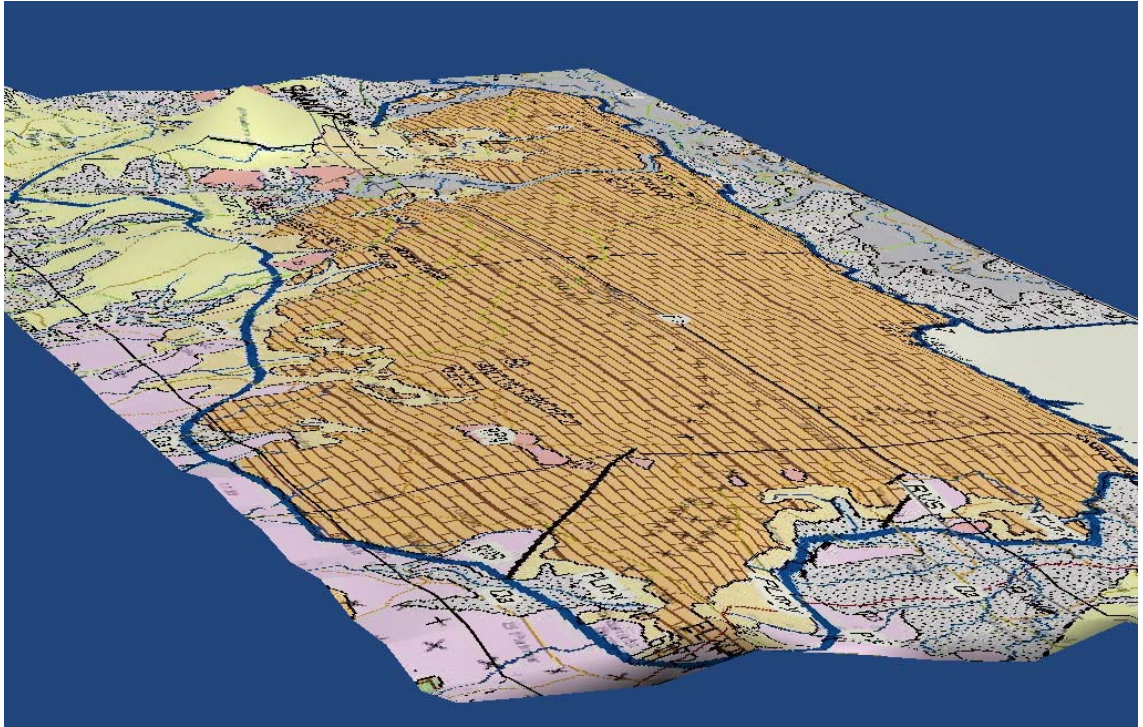


INFORME DE LA UNIDAD HIDROGEOLÓGICA DE LOS HAITISES



PROGRAMA SYSMIN



NOVIEMBRE 2004

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN, OBJETIVOS E INFORMACIÓN DE PARTIDA	1
2. MARCO GEOGRÁFICO Y SOCIOECONÓMICO.....	4
2.1. SITUACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	4
2.2. CARACTERÍSTICAS OROGRÁFICAS E HIDROLÓGICAS	7
2.3. ESTRUCTURA ADMINISTRATIVA Y DEMOGRÁFICA	8
3. ESTUDIO AGRONÓMICO EN LA UNIDAD DE LOS HAITISES	15
3.1. INTRODUCCIÓN	15
3.2. DISTRITOS DE RIEGO	15
4. CLIMATOLOGÍA E HIDROLOGÍA SUPERFICIAL.....	17
4.1. CLIMATOLOGÍA	17
4.1.1. Información de partida.....	17
4.1.2. Aplicación informática	19
4.1.3. Análisis de la precipitación	19
4.1.4. Análisis de la temperatura.....	22
4.1.5. Evapotranspiración y lluvia útil	23
4.2. HIDROLOGÍA SUPERFICIAL	30
4.2.1. Red Hidrográfica e Infraestructura Hidráulica	30
4.2.2. Análisis de datos de aforos históricos	32
4.2.3. Red foronómica del estudio: Resultados de las campañas realizadas.....	36
4.2.4. Relación entre los aforos históricos y los actuales.....	44
5. ESTUDIO DE EXTRACCIONES Y USOS	47
5.1. INTRODUCCIÓN	47
5.2. INFORMACIÓN DE PARTIDA	50
5.3. ESTIMACIÓN DE EXTRACCIONES.....	50
5.3.1. Usos Urbanos	50
6. SÍNTESIS GEOLÓGICA	52
6.1. INTRODUCCIÓN Y MARCO GEOLÓGICO REGIONAL	52
6.2. ESTRATIGRAFÍA Y LITOLOGÍA.....	52

6.3.	ESTRUCTURA TECTÓNICA.....	53
6.4.	ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS.....	54
7.	HIDROGEOLOGÍA.....	58
7.1.	MARCO HIDROGEOLÓGICO.....	58
7.2.	DEFINICIÓN GEOMÉTRICA DE LA UNIDAD: SUBZONAS Y NIVELES ACUÍFEROS.....	58
7.3.	INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA	66
7.3.1.	Análisis de datos existentes	66
7.3.2.	Inventario de puntos de agua de la Unidad.....	66
7.4.	PARÁMETROS HIDRÁULICOS.....	73
7.5.	PIEZOMETRÍA E HIDROMETRÍA: CORRELACIONES PRECIPITACIONES-HIDROMETRÍA.....	73
7.6.	RELACIÓN CON UNIDADES CONTIGUAS.....	74
7.7.	RELACIÓN CON CAUCES SUPERFICIALES.....	79
8.	CARACTERIZACIÓN HIDROQUÍMICA.....	82
8.1.	DEFINICIÓN DE LA RED DE CONTROL DE CALIDAD DEL AGUA SUBTERRÁNEA	82
8.2.	CAMPAÑA DE MUESTREO HIDROQUÍMICO Y REALIZACIÓN DE ANÁLISIS <i>IN SITU</i>	84
8.2.1.	Primera campaña.....	84
8.2.2.	Segunda campaña.....	85
8.3.	ANÁLISIS DE LABORATORIO	87
8.3.1.	Determinaciones analíticas.....	87
8.3.2.	Laboratorios y Métodos de análisis	87
8.3.3.	Control de calidad analítica: error analítico	87
8.3.4.	Resultados analíticos de laboratorio	89
8.4.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	90
8.4.1.	Caracterización hidroquímica general.....	90
8.5.	APTITUD DE LAS AGUAS PARA DISTINTOS USOS	97
8.5.1.	Abastecimiento	97
8.5.2.	Aptitud de las aguas para riego	101
8.5.3.	Distribución espacial de la calidad del agua subterránea.....	103

9. FUNCIONAMIENTO HIDROGEOLÓGICO	105
9.1. CONSIDERACIONES GENERALES SOBRE LA INFLUENCIA DEL DESARROLLO CÁRSTICO DE LA UNIDAD DE LOS HAITISES EN SU FUNCIONAMIENTO HIDROGEOLÓGICO.....	105
9.1.1. Introducción	105
9.1.2. Formas de absorción.....	105
9.1.3. Formas de emisión.....	106
9.1.4. Evolución del carts.....	108
9.1.5. Circulación kárstica y tipologías del karst de Los Haitises	109
9.2. RECARGA	112
9.3. DESCARGA	115
9.4. ESTIMACIÓN DEL BALANCE HÍDRICO SUBTERRÁNEO	118
10. RESUMEN, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES DE ACTUACIÓN FUTURAS.....	124
10.1. RESUMEN Y CONCLUSIONES.....	124
10.2. RECOMENDACIONES DE ACTUACIÓN FUTURAS	141

PLANOS

1. INTRODUCCIÓN, OBJETIVOS E INFORMACIÓN DE PARTIDA

Como primera actividad se procedió 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 Los Haitises, 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 general y a nivel de 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 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).

Por último, en el presente estudio se ha recopilado y analizado también determinada información original, como han sido los casos de los datos originales aportados por las estaciones climáticas y foronómicas del **INDRHI** (en concreto de las Estaciones nº 1814: Barraquito; nº 1815: La Angelina; y nº 1811: Abadesa; todas ellas en la cuenca del río Yuna).

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

Estudio Hidrogeológico Nacional de la República Dominicana Fase II. Unidad Hidrogeológica de Los Haitises

Cuadro 1.1. Estudios de carácter nacional o de recopilación y síntesis consultados

TÍTULO	ORGANISMO / AUTOR	AÑO DE REALIZACIÓN
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 Nacionales	INDRHI	1990
Situación Hídrica de los Sistemas Cerrados en la República Dominicana	INDRHI	1992
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

Dentro de los estudios de ámbito regional consultados, hasta la fecha solamente uno ha aportado alguna información relacionada con la unidad de Los Haitises, y este es el "*Estudio Hidrogeológico Nacional de la República Dominicana, Fase I*", en el que se incluye una somera información sobre el funcionamiento hidrogeológico del sector meridional de dicha unidad, en lo referente a su relación con el borde norte de la unidad de la Planicie Costera Oriental.

Por su parte, no se ha localizado ningún estudio de detalle (en relación con los temas de interés del proyecto) que aporte información sobre la citada unidad.

Estudio Hidrogeológico Nacional de la República Dominicana Fase II. Unidad Hidrogeológica de Los Haitises

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 unidad de Los Haitises en las siguientes fuentes documentales:

- Inventario de Estaciones Hidrológicas y Meteorológicas a Nivel Nacional. INDRHI. 1988.
- Mapa de Estaciones Climáticas e Hidrométricas. INDRHI. 1995.
- Base de Datos del Estudio Hidrogeológico Nacional de la República Dominicana. Fase I. Actualizada (U.H. Planicie Costera Oriental). AQATERS.P.A. 2000. INDRHI 2001-2003.
- Mapa Topográfico General de la República Dominicana (escala 1:250.000). Instituto Geográfico Universitario (Universidad Autónoma de Santo Domingo). 2001. Serie 1501. 2 hojas: Hojas NE 19-2 y NE 19-6.
- Mapas Topográficos (escala 1:50.000). Instituto Cartográfico Militar. Diferentes años. (Hojas topográficas 6173 II: Cotuí; 6273 III: Cevicos; 6273 II: Palmal Nuevo; 6273 III: Sabana de la Mar; 6172 I: Hatillo; 6272 IV: Sabana Grande de Boya; 6272 I: Antón Sánchez; 6372 IV: El Valle; Bayaguama: 6272 II y 6372 III: Hato Mayor del Rey).
- 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. 2 Hojas: Hojas de Península de Samaná y Santo Domingo.
- Mapa Hidrogeológico Escala 1:500.000. República Dominicana. INDRHI.1989.
- Mapa Hidrogeológico Escala 1:250.000. República Dominicana. INDRHI.1989. 2 Hojas: Hojas NE 19-2 y NE 19-6.
- 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 Los Haitises se sitúa al noreste de la isla, formando parte del límite sur de la Bahía de Samana, al norte se encuentra limitada por el extremo oriental de la unidad del Valle del Cibao, al oeste por el extremo noreste de la unidad de la Cordillera Central, al sur por la unidad de la Planicie Costera Oriental y al este por la unidad de la Cordillera Oriental. Cuya poligonal ocupa una superficie próxima a los 1682 km², que se distribuyen, en su totalidad por las provincias de Sánchez Ramírez (2 término municipal, 1 distrito municipal, 6 secciones y 89 parajes) en el sector occidental, Duarte (1 distrito municipal, 1 sección y 4 parajes) y Samana (1 termino municipal, 2 secciones y 3 parajes) en el sector septentrional, Monte Plata (2 términos municipales, 1 distrito municipal, 8 secciones y 101 parajes) en el sector meridional, y Hato Mayor (2 términos municipales, 2 secciones y 11 parajes) en el sector oriental. 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 Chacuey, Cevicos, Payabo y Ara, de distribución Sur-Norte y vertientes, por su margen derecha, hacia la cuenca baja del Río Yuna.
- Río Cristal, vertiente al río Barracote, tributario, por su margen derecha, del citado Río Yuna, en su tramo final y próximo en su desembocadura al mar.
- Arroyos Pilancón, Sabana, Capita y el río Casui, de distribución Norte- Sur y vertientes, por su margen izquierda, a la cuenca del Río Ozama.
- Arroyos del Agua y la Jagua y ríos Yanigua y Chiquito, de distribución Sur-Norte y vertientes a la cuenca del río Yabón, en su cuenca baja y por su margen izquierda .

En rasgos generales, la zona se incluye dentro de la subdivisión hidrográfica de Miches y Sabana de la Mar, que se caracteriza por una marcada topográfica tipo "karst", formada por innumerables hoyas entre colinas redondeadas, cuyas variaciones topográficas oscilan entre los 467 m.s.n.m. del pico de la Deseada, próximo a la población de La Lomita, y los 17 m.s.n.m. en los Manaties de Caño Claro, junto al cauce del río Payabo.

La región corresponde a una extensa plataforma kárstica de más de 80 kilómetros de longitud, compuesta por calizas duras del Oligoceno-Mioceno, que buzanan ligeramente hacia el norte. Las elevaciones son suaves y oscilan entre los 200 y los 250 metros. La mayor parte de la estructura fisiográfica de la región es del tipo kárstico tropical maduro. No obstante, en las

Estudio Hidrogeológico Nacional de la República Dominicana Fase II. Unidad Hidrogeológica de Los Haitises

cercanías de Sabana Grande de Boyá se localiza un llano ondulado con erosión kárstica avanzada, topográficamente más bajo.

El río Payabo, cruza la región por un estrecho cauce lleno de depósitos aluviales, y el río Cevicos se infiltra en un sumidero próximo al núcleo de población La Primera Boca, y surge al norte a unos 5 kilómetros en la laguna Cienaga el Junco.

La población del área de estudio es de 57995 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 las provincias de Sánchez Ramírez, Duarte, Monte Plata, Samaná y Hato Mayor, como se indica en el cuadro 2.1.1:

Cuadro 2.1.1. Población del área de estudio según el censo de población de 1993 a nivel de parajes

Provincia Sánchez Ramírez		Población en 1993 (*)			Población en 2001 (*)	
		Rural	Urbana	Total	Urbana	Total
Sánchez Ramírez (población total de la provincia)		98358	64808	163166		197600
<i>Municipios</i>	<i>Secciones</i>	<i>Parajes</i>		<i>Población total de parajes (1993)</i>		
Cotui	Chacuey Maldonado	21		6343		
<i>Total</i>	<i>1</i>	<i>21</i>		<i>6343</i>		
Cevicos	Cevicos	2		1958		
	Abadesa	28		3951		
	Batero	17		3354		
<i>Total</i>	<i>3</i>	<i>47</i>		<i>9263</i>		
La Cueva D.M.	La Cueva D.M.	4		3346		
	La Cueva	17		1833		
<i>Total</i>	<i>2</i>	<i>21</i>		<i>5179</i>		
Población total de la provincia en la unidad				20785		

Provincia Duarte		Población en 1993 (*)			Población en 2001 (*)	
		Rural	Urbana	Total	Urbana	Total
Duarte (población total de la provincia)		134750	147129	281879		340800
<i>Municipios</i>	<i>Secciones</i>	<i>Parajes</i>		<i>Población total de parajes (1993)</i>		
Hostos D.M.	Cerrejon	4		1970		

Estudio Hidrogeológico Nacional de la República Dominicana Fase II. Unidad Hidrogeológica de Los Haitises

Provincia Duarte	Población en 1993 (*)			Población en 2001 (*)	
	Rural	Urbana	Total	Urbana	Total
<i>Total</i>	<i>1</i>	<i>4</i>		1970	
Población total de la provincia en la unidad				1970	

Provincia Monte Plata		Población en 1993 (*)			Población en 2001 (*)	
		Rural	Urbana	Total	Urbana	Total
Monte Plata (población total de la provincia)		115755	51393	167148		202500
Municipios	Secciones	Parajes		Población total de parajes (1993)		
Bayaguana	Hidalgo	16		3643		
	Trinidad	18		1986		
<i>Total</i>	<i>2</i>	<i>34</i>		<i>5629</i>		
Sabana Grande de Boya	Sabana Grande de Boya	6		14001		
	Cabeza de Toro	17		1193		
	Juan Sánchez	14		3676		
	Payabo	10		3628		
	Majagual	14		2729		
<i>Total</i>	<i>5</i>	<i>61</i>		<i>25227</i>		
Don Juan D.M.	Sabana de Payabo	6		1653		
<i>Total</i>	<i>1</i>	<i>6</i>		<i>1653</i>		
Población total de la provincia en la unidad				32509		

Provincia Samaná		Población en 1993 (*)			Población en 2001 (*)	
		Rural	Urbana	Total	Urbana	Total
Samaná (población total de la provincia)		52094	23159	75253		90800
Municipios	Secciones	Parajes		Población total de parajes (1993)		
Sánchez	La Majagua	2		298		
	Trujillo de Yuma	1		237		
<i>Total</i>	<i>2</i>	<i>3</i>		<i>535</i>		
Población total de la provincia en la unidad				535		

Provincia Hato Mayor		Población en 1993 (*)			Población en 2001 (*)	
		Rural	Urbana	Total	Urbana	Total
Hato Mayor (población total de la provincia)		39044	41030	80074		97700
<i>Municipios</i>	<i>Secciones</i>	<i>Parajes</i>		<i>Población total de parajes (1993)</i>		
Sabana de la Mar	El Centro	6		910		
<i>Total</i>	<i>1</i>	<i>6</i>		<i>910</i>		
El Valle	San Rafael	5		1286		
<i>Total</i>	<i>1</i>	<i>5</i>		<i>1286</i>		
Población total de la provincia en la unidad				2059		

* Población total de la provincia, según información obtenida de la página de Internet (www.one.gov.do)

Por último y desde el punto de vista de las comunicaciones, todos los accesos a la unidad se realizan por caminos vecinales, desde las siguientes carreteras: principal de Santo Domingo a Bayaguana-Monte Plata por el sector meridional; secundaria de Monte Plata a Sabana Grande de Boya por el sector occidental; y por la principal de Hato Mayor a Sabana del Mar por el sector oriental.

2.2. CARACTERÍSTICAS OROGRÁFICAS E HIDROLÓGICAS

El área que comprende la unidad hidrogeológica de Los Haitises se sitúa dentro del Parque Nacional de Los Haitises en una zona de tránsito entre las unidades del Valle de Cibao y la Cordillera Oriental, formando parte de la Sierra del Seibo, aunque con unas características morfológicas especialmente particulares de los cárst tropicales, como es su relieve en forma de cerros o mogotes de unos 30 a 40 metros de altura, con altitudes medias bajas próximas a los 200 m.s.n.m.

Desde el punto de vista de las características geomorfológicas, se distingue una morfología externa con dolinas corredores y valles, y una morfología interna con cavidades, algunas de ellas de grandes dimensiones, como las del litoral, que dan lugar a dos tipos de unidades fisiográficas:

- La Unidad de Páramos calcáreos carstificados de edad Plio-Pleistoceno, que viene representada por un importante desarrollo de mogotes, dolinas y corredores.

En el área de estudio se distribuye prácticamente por toda la zona, excepto en el cuadrante meridional oeste. Dentro de ella predominan las masas forestales de caoba, cedro y copey.

Estudio Hidrogeológico Nacional de la República Dominicana Fase II. Unidad Hidrogeológica de Los Haitises

- La Unidad de Sabana Grande de Boyá, constituida por los mismos materiales que la unidad anterior, pero con un desarrollo cárstico más avanzado, dando un relieve llano ondulado.

En el área de estudio se localiza, básicamente, en el sector meridional oeste, siendo el uso del suelo fundamentalmente ganadero o con aprovechamiento de los pastos extensivos de la zona.

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

- El sector occidental, en el cual los ríos que nacen fuera de la unidad (en el sector de La Naviza) se encajan en ella y la atraviesan en algunos sectores (río Payabo-Ara), mientras que en otros (caso del río Cevico) se infiltran en las calizas y surgen nuevamente en su flanco norte (sector de El Atoro, Los Peinados, Guaraguao y Laguna Cristal-Barracote).
- En el sector suroriental, en el cual la red hidrográfica nace en el borde meridional de la unidad y descarga hacia la margen izquierda de la cuenca del río Ozama (ríos Boyá, Sabana y Comate).
- En el sector oriental, en el cual la red hidrográfica nace en el borde la unidad y descarga en dirección suroeste-noreste y norte-sur, hacia la margen izquierda de la cuenca del río Yabón (río Yanigua y arroyo La Jagua).

2.3. ESTRUCTURA ADMINISTRATIVA Y DEMOGRÁFICA

Desde el punto de vista administrativo, el área de estudio se sitúa dentro de la región sureste de la isla, ocupando, a su vez, parte del territorio de cinco provincias: Samaná, Duarte, Sánchez Ramírez, Monte Plata y Hato Mayor.

En lo referente a distribución de municipios, en el área de estudio se incluyen siete términos municipales y tres distrito municipal en las cinco provincias mencionadas. A estos municipios comprenden un total de 19 secciones y 208 parajes, cuya distribución, por términos municipales y provincias, se presenta en el cuadro 2.3.1.

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

PROVINCIA	TERMINOS MUNICIPALES	DISTRITOS MUNICIPALES	Nº DE SECCIONES	Nº DE PARAJES	POBLACIÓN (1993)
Sánchez Ramírez	Cotui		1	21	6343
	Cevicos		3	47	9263
		La Cueva	2	21	5179
<i>Total población de la provincia en la unidad</i>					<i>20785</i>
Duarte		Hostos	1	4	1970
<i>Total población de la provincia en la unidad</i>					<i>1970</i>
Monte Plata	Bayaguana		2	34	5629
	Sabana Grande De Boya		5	61	25227
		Don Juan	1	6	1653
<i>Total población de la provincia en la unidad</i>					<i>32509</i>
Samaná	Sánchez		2	3	535
<i>Total población de la provincia en la unidad</i>					<i>535</i>
Hato Mayor	Sabana de la Mar		1	6	910
	El Valle		1	5	1286
<i>Total población de la provincia en la unidad</i>					<i>2059</i>
<i>Total población en las Unidades</i>					<i>57995</i>

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 1.92% para el periodo 93/04 de media entre las provincias que se encuentran dentro de la unidad, estimándose una población total de 59109 habitantes, según se indica en el cuadro 2.3.2.

En cuanto a su distribución la mayor parte de la población (56.05%), se integra en la provincia de Monte Plata (33133 habitantes), el 35.84% en la provincia de Sánchez Ramírez (21184 habitantes), el 3.79% en la provincia de Hato Mayor (2238 habitantes), el 3.40% en la provincia de Duarte (2008 habitantes), el 0.92% restante en la provincia de Samaná (545 habitantes).

La densidad de población en el área de estudio es muy baja (35 hab/km²), comparada con la media de todo el país (182 hab/km²), debido al relieve escabroso de la mayor parte de la zona.

Estudio Hidrogeológico Nacional de la República Dominicana Fase II. Unidad Hidrogeológica de Los Haitises

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)
Sánchez Ramírez	Cotui		1	21	6465
	Cevicos		3	47	9441
		La Cueva	2	21	5278
<i>Total población de la provincia en la unidad</i>					<i>21184</i>
Duarte		Hostos	1	4	2008
<i>Total población de la provincia en la unidad</i>					<i>2008</i>
Monte Plata	Bayaguana		2	34	5737
	Sabana Grande De Boya		5	61	25711
		Don Juan	1	6	1685
<i>Total población de la provincia en la unidad</i>					<i>33133</i>
Samaná	Sánchez		2	3	545
<i>Total población de la provincia en la unidad</i>					<i>545</i>
Hato Mayor	Sabana de la Mar		1	6	927
	El Valle		1	5	1311
<i>Total población de la provincia en la unidad</i>					<i>2238</i>
<i>Total población en las Unidades</i>					<i>59109</i>

En cuanto al número de habitantes por subunidades hidrogeológicas, queda recogido en los cuadros 2.3.3 a 2.3.7.

Cuadro 2.3.3. Población de la subunidad Oeste

SUBUNIDAD OESTE	Provincia Sánchez Ramírez			Población (1993)	Población (2004)
	Municipios	Secciones	Parajes		
	Cotui	Chacuey Maldonado	21	6343	6465
	<i>Total</i>	<i>1</i>	<i>21</i>	<i>6343</i>	<i>6465</i>
	Cevicos	Cevicos	2	1958	1996
		Abadesa	28	3951	4027
		Batero	17	3354	3418
	<i>Total</i>	<i>3</i>	<i>47</i>	<i>9263</i>	<i>9441</i>
	La Cueva D.M.	La Cueva D.M.	4	3346	3410
		La Cueva	17	1833	1868
	<i>Total</i>	<i>2</i>	<i>21</i>	<i>5179</i>	<i>5278</i>
	Población total de la provincia en la unidad			20785	21184
	Provincia Duarte			Población	Población

Estudio Hidrogeológico Nacional de la República Dominicana Fase II. Unidad Hidrogeológica de Los Haitises

	Municipios	Secciones	Parajes		
Hostos D.M.	Cerrejon		4	1970	2008
	<i>Total</i>	<i>1</i>	<i>4</i>	<i>1970</i>	<i>2008</i>
Población total de la provincia en la unidad				1970	2008
POBLACIÓN TOTAL SUBUNIDAD				22755	23192

Cuadro 2.3.4. Población de la subunidad Septentrional Central

SUBUNIDAD SEPTENTRIONAL CENTRAL	Provincia Samaná			Población (1993)	Población (2004)
	Municipios	Secciones	Parajes		
	Sánchez	Trujillo de Yuma	1	237	242
		<i>Total</i>	<i>1</i>	<i>237</i>	<i>242</i>
	Población total de la provincia en la unidad			237	242
	Provincia Monte Plata			Población (1993)	Población (2004)
	Municipios	Secciones	Parajes		
	Sabana Grande de Boya	Payabo	10	3628	3698
		Juan Sánchez	14	3676	3747
		Majagual	14	2729	2781
	<i>Total</i>	<i>3</i>	<i>10033</i>	<i>10226</i>	
Don Juan D.M.	Sabana de Payabo	6	1653	1685	
	<i>Total</i>	<i>1</i>	<i>1653</i>	<i>1685</i>	
Población total de la provincia en la unidad			11686	11910	
POBLACIÓN TOTAL SUBUNIDAD			11923	12152	

Cuadro 2.3.5. Población de la subunidad Septentrional Costera

SUBUNIDAD SEPTENTRIONAL COSTERA	Provincia Samaná			Población (1993)	Población (2004)
	Municipios	Secciones	Parajes		
	Sánchez	La Majagua	2	298	304
		<i>Total</i>	<i>1</i>	<i>298</i>	<i>304</i>
	Población total de la provincia en la unidad			298	304
	Provincia Hato Mayor			Población (1993)	Población (2004)
	Municipios	Secciones	Parajes		
	Sabana de la Mar	El Centro	1	137	140
		<i>Total</i>	<i>1</i>	<i>137</i>	<i>140</i>
	Población total de la provincia en la unidad			137	140
POBLACIÓN TOTAL SUBUNIDAD			435	443	

Cuadro 2.3.6. Población de la subunidad Noreste

SUBUNIDAD NORESTE	Provincia Hato Mayor			Población (1993)	Población (2004)
	Municipios	Secciones	Parajes		
	Sabana de la Mar	El Centro	5	773	788
	<i>Total</i>	<i>1</i>	<i>773</i>	<i>788</i>	
El Valle	San Rafael	5	1286	1311	
	<i>Total</i>	<i>1</i>	<i>1286</i>	<i>1311</i>	
	Población total de la provincia en la unidad			2059	2099
	POBLACIÓN TOTAL SUBUNIDAD			2059	2099

Cuadro 2.3.7. Población de la subunidad Meridional

SUBUNIDAD MERIDIONAL	Provincia Monte Plata			Población (1993)	Población (2004)
	Municipios	Secciones	Parajes		
	Bayaguana	Hidalgo	16	3643	3713
Trinidad		18	1986	2024	
	<i>Total</i>	<i>2</i>	<i>5629</i>	<i>5737</i>	
Sabana Grande de Boya	Sabana Grande de	6	14001	14270	
	Cabeza de Toro	17	1193	1216	
	<i>Total</i>	<i>2</i>	<i>15194</i>	<i>15486</i>	
	Población total de la provincia en la unidad			20823	21223
	POBLACIÓN TOTAL SUBUNIDAD			20823	21223

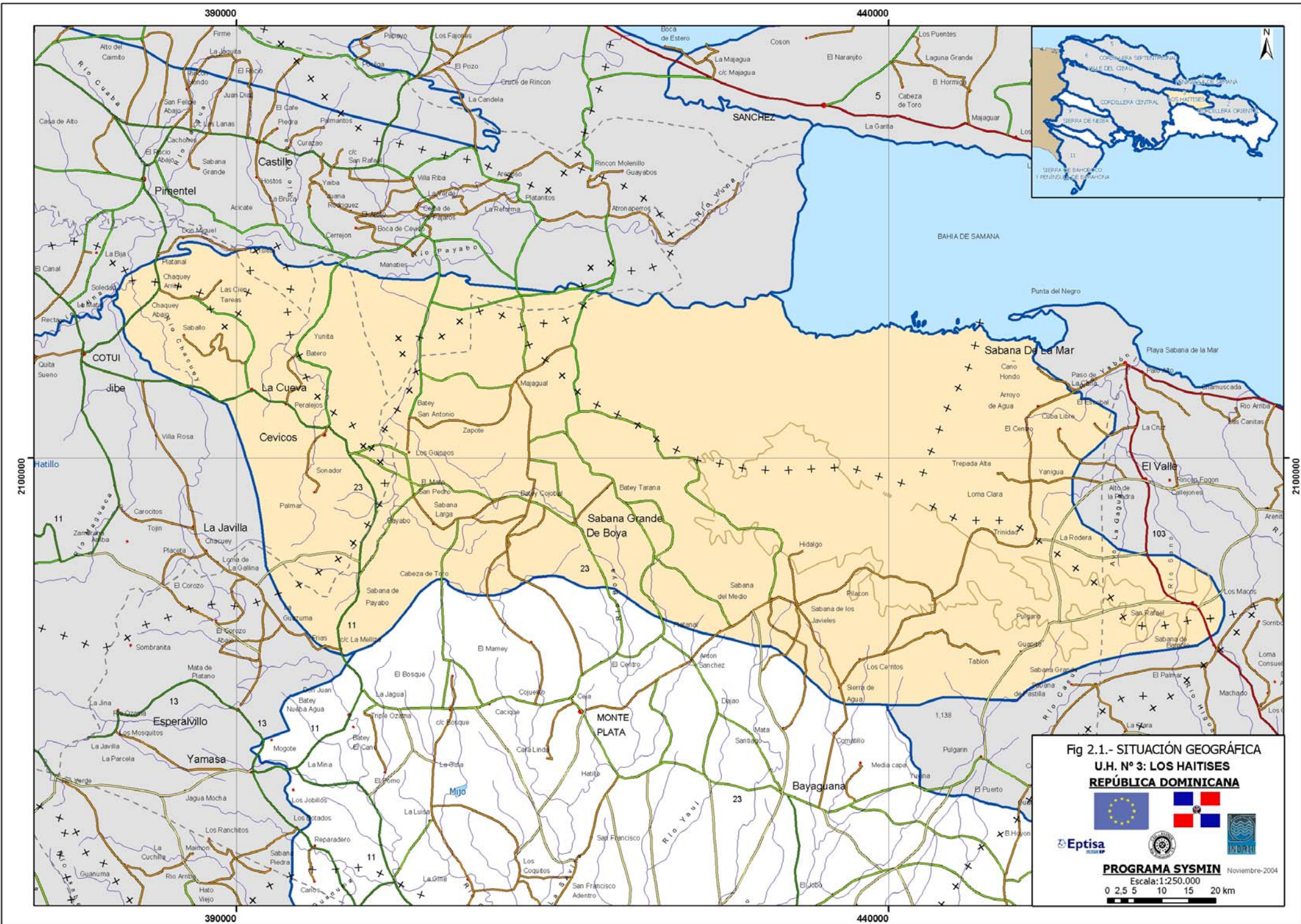
En cuanto a la distribución de la población por subunidades, tres de ellas acaparan más del 95% del total, el 39.24% se integra en la subunidad Oeste (23192 habitantes), el 35.90% en la subunidad Meridional (12223 habitantes), el 20.56% en la subunidad Septentrional Central (12152 habitantes), el 3.55% en la subunidad Noreste (2099 habitantes), y el 0.75% restante en la Septentrional Costera (443 habitantes).

Finalmente, en lo referente a la distribución de hojas topográficas, la U.H. de Los Haitises se incluye, de forma parcial, en las siguientes 7 hojas topográficas a escala 1:50.000 (de oeste a este y de norte a sur):

- Hoja nº 45 Cotui 6173 II
- Hoja nº 46 Cevicos 6273 III
- Hoja nº 47 Palmar Nuevo 6273 II
- Hoja nº 48 Sabana de la Mar 6373 IV
- Hoja nº 57 Sabana Grande Boya 6272 IV

Estudio Hidrogeológico Nacional de la República Dominicana Fase II. Unidad Hidrogeológica de Los Haitises

- Hoja nº 58 Antón Sánchez 6272 I
- Hoja nº 59 El Valle 6372 IV



**Fig 2.1.- SITUACIÓN GEOGRÁFICA
U.H. N° 3: LOS HAITISES
REPÚBLICA DOMINICANA**

PROGRAMA SYSMIN Noviembre-2004
 Escala: 1:250,000
 0 2.5 5 10 15 20 km

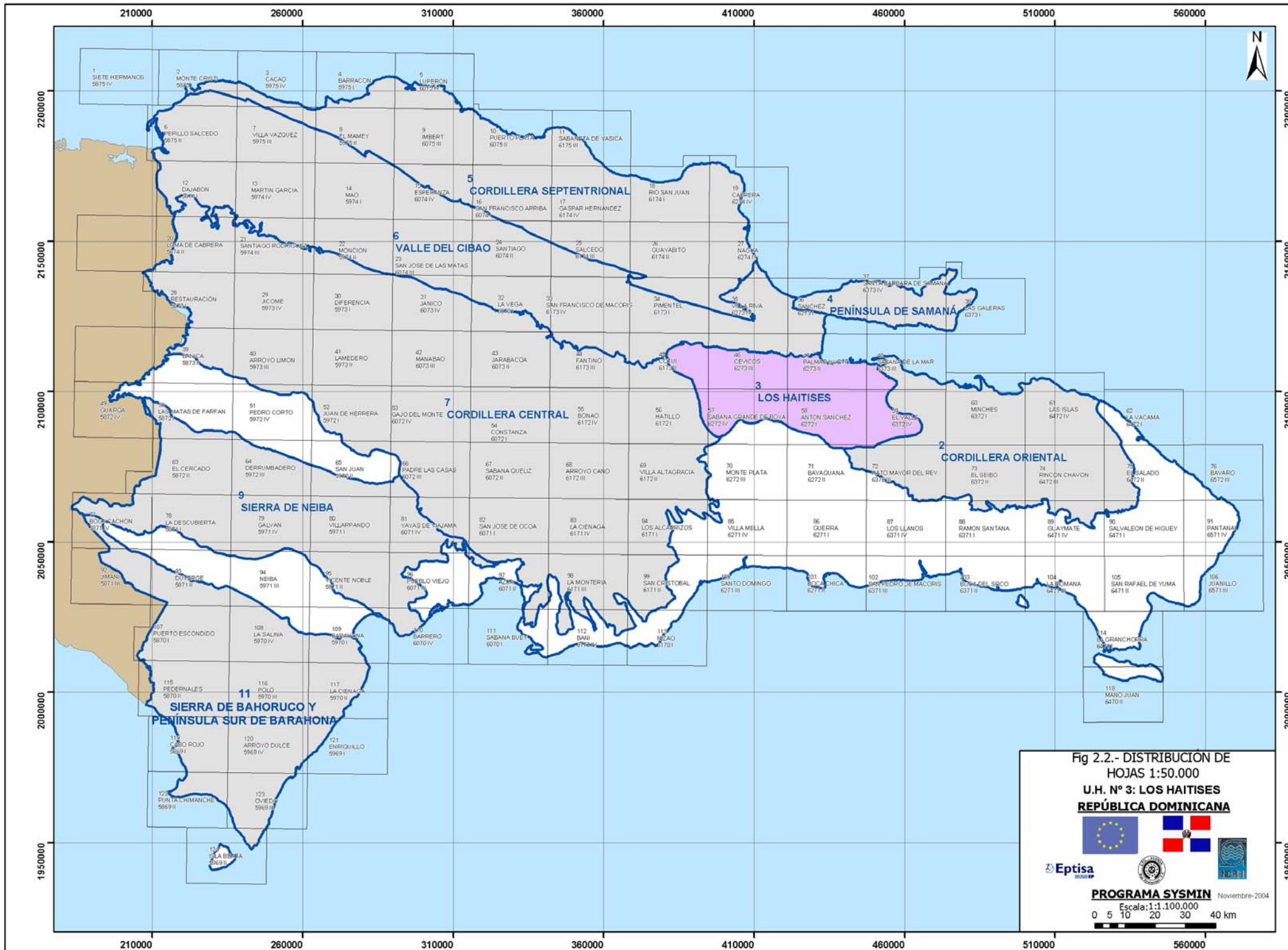


Fig 2.2.- DISTRIBUCIÓN DE HOJAS 1:50.000
 U.H. N° 3: LOS HAITISES
 REPÚBLICA DOMINICANA



PROGRAMA SYSMIN Noviembre-2004
 Escala: 1:1.100.000
 0 5 10 20 30 40 km

3. ESTUDIO AGRONÓMICO EN LA UNIDAD DE LOS HAITISES

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 aquellas actualmente cultivadas o aquellas 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.

En el área de las unidad hidrogeológica de Los Haitises en la actualidad no hay áreas agrícolas, la vegetación está constituida por un bosque tropical húmedo de latifoliadas en el seno de sus depresiones, pasando a un bosque tropical semidecíduo en los mogotes y cayos del litoral. Es uno de los espacios con mayor biodiversidad del país, con más de 700 plantas vasculares, vegetación tipo manglar en todo el litoral.

3.2. DISTRITOS DE RIEGO

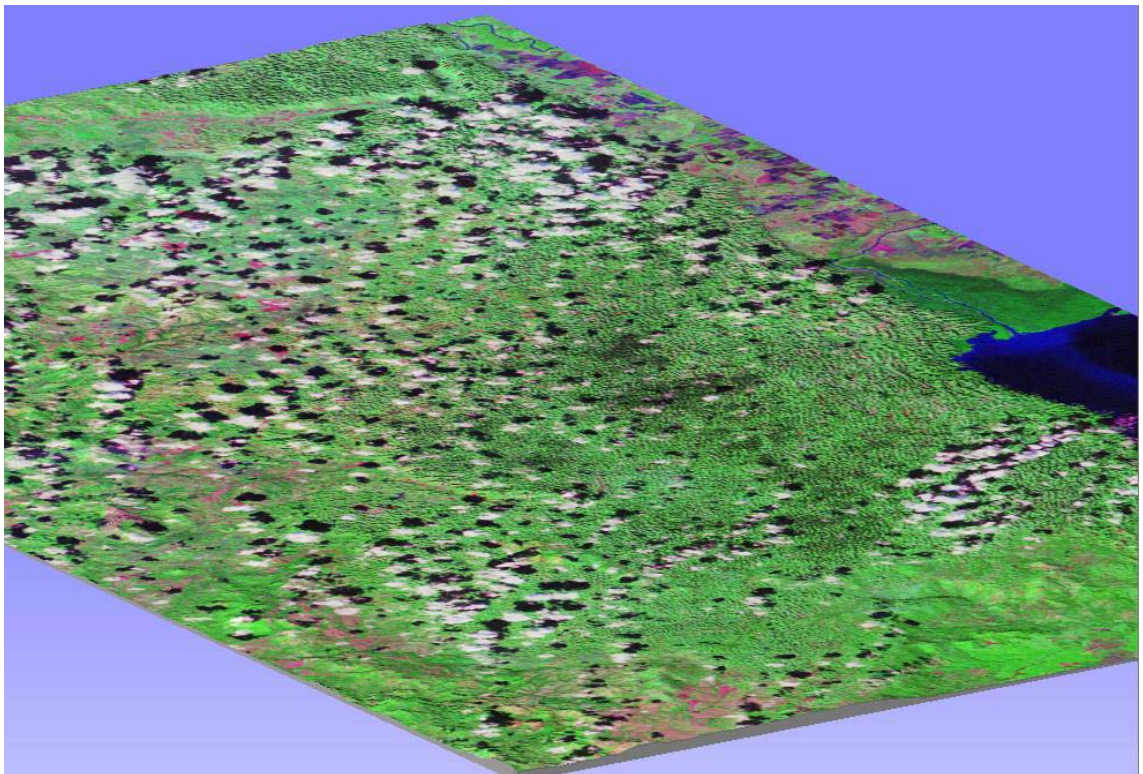
Dentro de la unidad, se encuentra parte de los distritos de riego de Yuma-Camu, Bajo Yuma y la Unidad Operativa del Este, tres de los diez en que esta dividido el territorio del país. Estos distritos a su vez está divididos en zonas de riego, en las cuales se encuentran sistemas de riego, diferenciados generalmente por la fuente de suministro de agua.

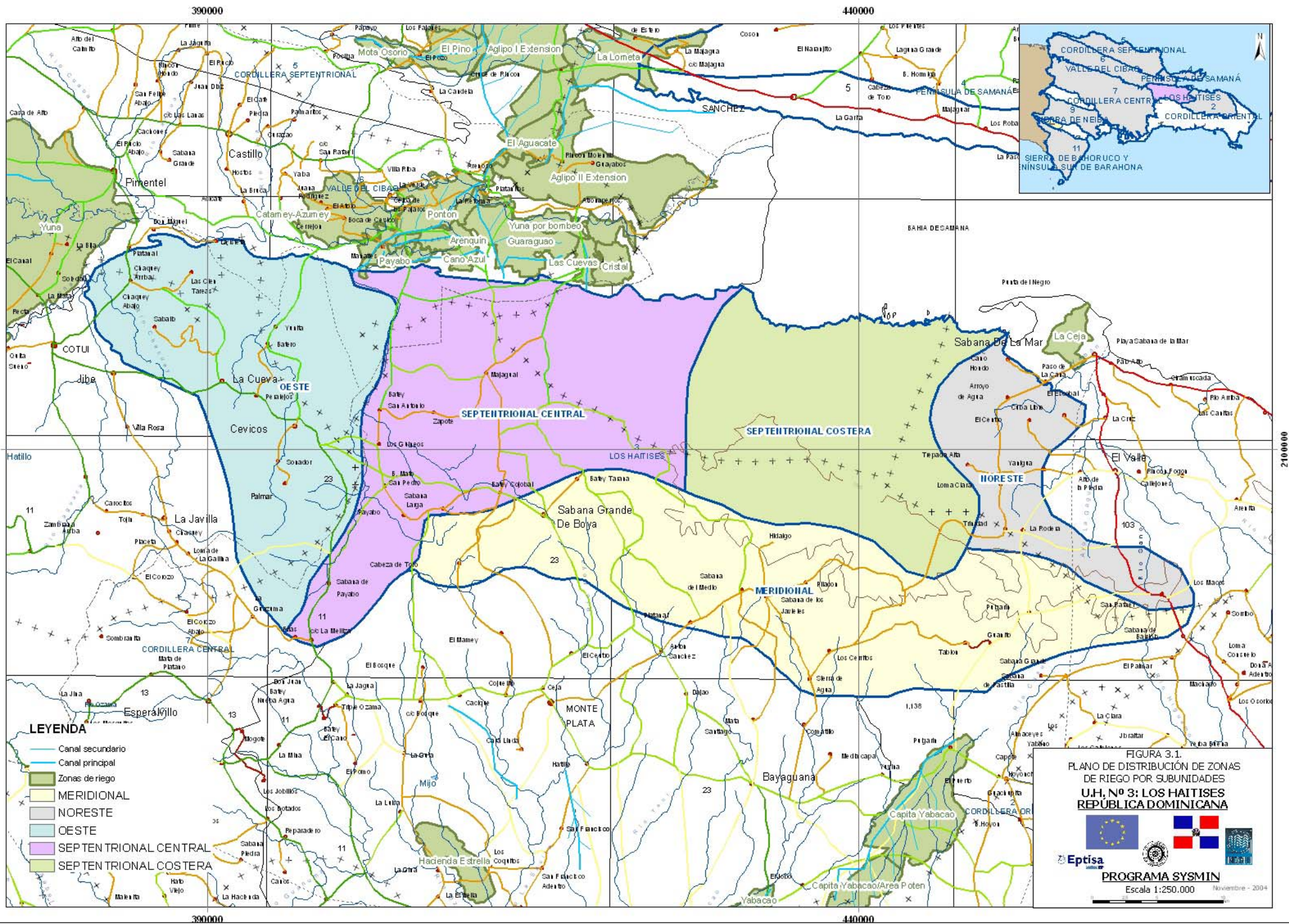
Estudio Hidrogeológico Nacional de la República Dominicana Fase II. Unidad Hidrogeológica de Los Haitises

En la U.H. de Los Haitises, en la actualidad, no hay ningún sistema de riego, dada la peculiaridad de la mayor parte de extensión de terreno de la unidad. Existiendo varias áreas en la unidad con posibilidad de regadío, como son: los aluviales de los ríos Payabo-Ara, Chacuey, Comate, Casui y el límite este de la unidad, cuyos datos se recogen en el capítulo de recomendaciones.

La siguiente figura está tomada a partir de la imagen de satélite Landsat de la República Dominicana. Los colores rojizos muestran zonas de riego, que tal y como se aprecia en la imagen, únicamente aparecen en las zonas de borde de la unidad hidrogeológica.

Figura 3.1. Imagen de satélite de Los Haitises





4. CLIMATOLOGÍA E HIDROLOGÍA SUPERFICIAL

4.1. CLIMATOLOGÍA

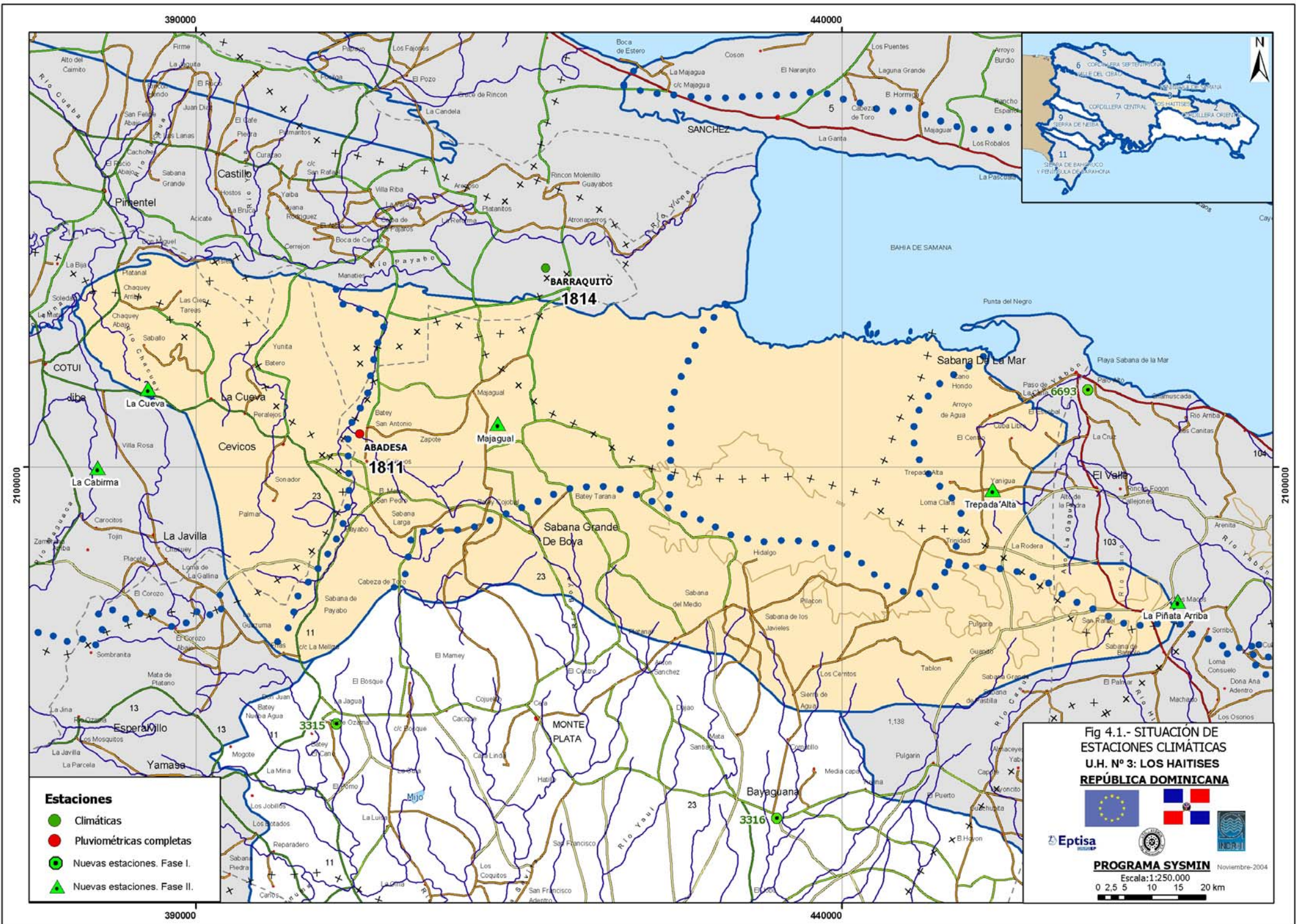
El objetivo del estudio hidroclimático es la identificación, caracterización y cuantificación de los volúmenes hídricos relacionados con las variables climáticas en la zona de estudio. El planteamiento del estudio es eminentemente práctico, de forma que los resultados obtenidos son aplicables al modelo 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 1977-1998 y termométricos para el periodo 1977-1996.
- Análisis de los datos pluviométricos, considerando años tipo.
- Análisis de los datos termométricos.
- Cálculo de la evapotranspiración potencial utilizando el método de Hargreaves.
- Cálculo de la evapotranspiración real y lluvia útil mediante el método del balance de agua en el suelo.
- Contraste de los resultados obtenidos por los diferentes métodos y establecimiento de los valores de la lluvia útil.

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 unas estaciones climáticas, procedentes de tres organismos públicos dominicanos: el INDRHI, el Departamento Meteorológico y el Consejo de Estado del Azúcar (CEA). Asimismo, se han utilizado como referencia los datos de medias mensuales de las estaciones climáticas del proyecto. En concreto, los datos de precipitación, temperatura y evaporación de las estaciones climáticas 3: Majagual; y 4: Trepada Alta. Las características de dichas estaciones se pueden observar en el Anexo 2.



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 tres estaciones climáticas: 1811- Abadesa (33 m.s.n.m.), 1814- Barraquito (8 m.s.n.m.) y 1815- La Angelina (48 m.s.n.m.) (ver figura 4.1). La estación 1811 es la única que se ubica en la Unidad Hidrogeológica de Los Haitises, mientras que las otras dos, 1814 y 1815 se sitúan al norte de ésta, dentro de la Unidad Hidrogeológica 06 Valle del Cibao. En el cuadro 4.1.1 se enumeran las estaciones utilizadas, con sus principales datos de localización.

Cuadro 4.1.1. Estaciones pluviométricas seleccionadas

CÓDIGO	NOMBRE DE LA ESTACIÓN	TIPO(*)	LATITUD	LONGITUD	ALTITUD
1811	ABADESA	LD	19° 00' -50"	69° 55' 30"	33
1814	BARRAQUITO	CL	19° 07' 50"	69° 47' 20"	8
1815	LA ANGELINA	CL	19° 07' 35"	70° 13' 20"	48

(*) LD: estación pluviométrica; CL: estación climática

4.1.3.2. Módulos pluviométricos anuales y años tipo

El período de años considerado para el estudio de la precipitación es de 1977 a 1998, ambos incluidos, lo que representa un total de 22 años.

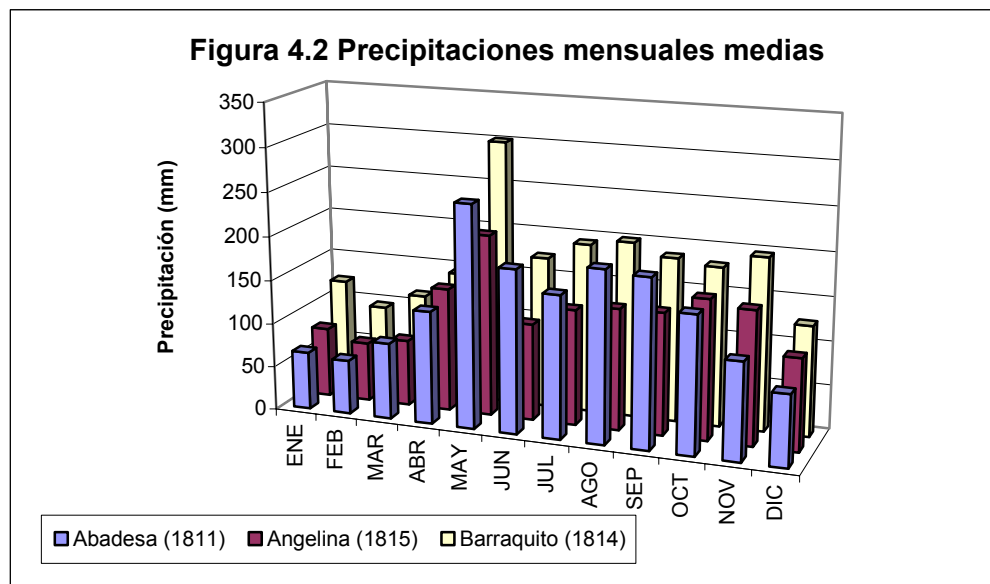
Las series iniciales de las que se dispone se presentan en la Documentación Complementaria. Estas series han sido restituidas y completadas, previa correlación entre ellas. Esta correlación no se ha considerado satisfactoria, pero que aún así se ha realizado por no existir otras alternativas. Las series mensuales tratadas y completas de precipitación total de cada estación para el período de 22 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 puede observarse que los valores anuales calculados son muy variables, obteniéndose una media de precipitación en la zona de estudio de 1707.5 mm.

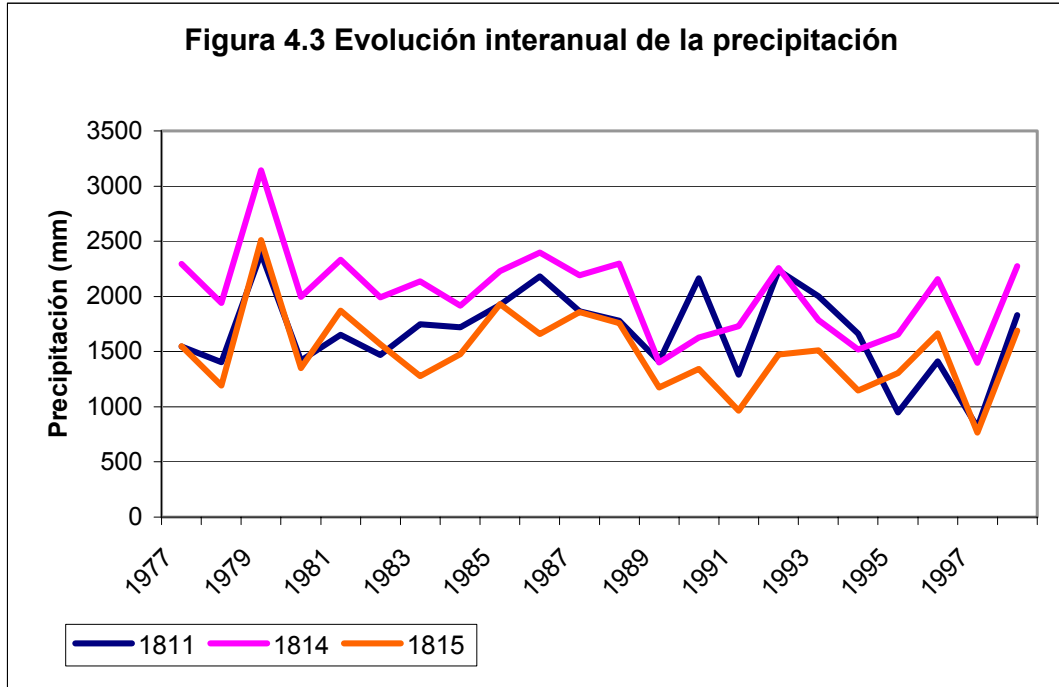
Cuadro 4.1.2. Módulo pluviométrico anual (en mm)

INDICATIVO	NOMBRE DE LA ESTACIÓN	MÓDULO DE PLUVIOMETRÍA ANUAL (mm)
1811	ABADESA	1676.2
1814	BARRAQUITO	2007.1
1815	LA ANGELINA	1439.3
	MEDIA	1707.5

En la figura 4.2 se representa la distribución mensual de la precipitación de las tres estaciones. Puede observarse que la distribución mensual de las precipitaciones presenta un régimen bimodal, con un pico máximo en mayo y otra época de lluvias importantes de agosto a noviembre. Los meses más secos son enero y febrero. La estación de Barraquito (1814) presenta los valores más elevados de pluviometría, mientras que las precipitaciones de La Abadesa (1811) superan a las de la Angelina (1815) en los meses más lluviosos, mientras que la relación se invierte en los más secos.



La evolución interanual de la precipitación en las estaciones de Abadesa, Barraquito y La Angelina para los 22 años analizados, se representa en la figura 4.3. En general, la pluviometría evoluciona de forma similar en las tres 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 la Documentación Complementaria se indican 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

CÓDIGO	NOMBRE DE LA ESTACIÓN	AÑO SECO	AÑO MEDIO	AÑO HÚMEDO
1811	ABADESA	1271.8	1676.2	2108.8
1814	BARRAQUITO	1624.4	2007.1	2329.7
1815	LA ANGELINA	1114.2	1439.3	1782.7
	MEDIA	1336.8	1707.5	2073.7

4.1.4. Análisis de la temperatura

Para la realización del presente estudio han sido utilizadas las series de temperaturas medias mensuales de 2 estaciones climáticas. No se dispone de datos de ninguna estación con datos termométricos en la unidad hidrogeológica de Los Haitises, por lo que se han utilizado aquellos de las dos estaciones climáticas más cercanas: 1814 Barraquito y 1815 La Angelina (figura 4.3.1). Se asume que las temperaturas de la estación 1811-La Abadesa son iguales a las de Barraquito debido a su cercanía. Estas temperaturas se utilizarán más adelante para el cálculo de la evapotranspiración potencial y real. El período de años considerado es de 20 años, entre 1977 y 1998. Las estaciones utilizadas, 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	TIPO(*)	LATITUD	LONGITUD	ALTITUD
1814	BARRAQUITO	CL	19° 07' 50"	69° 47' 20"	8
1815	LA ANGELINA	CL	19° 07' 35"	70° 13' 20"	48

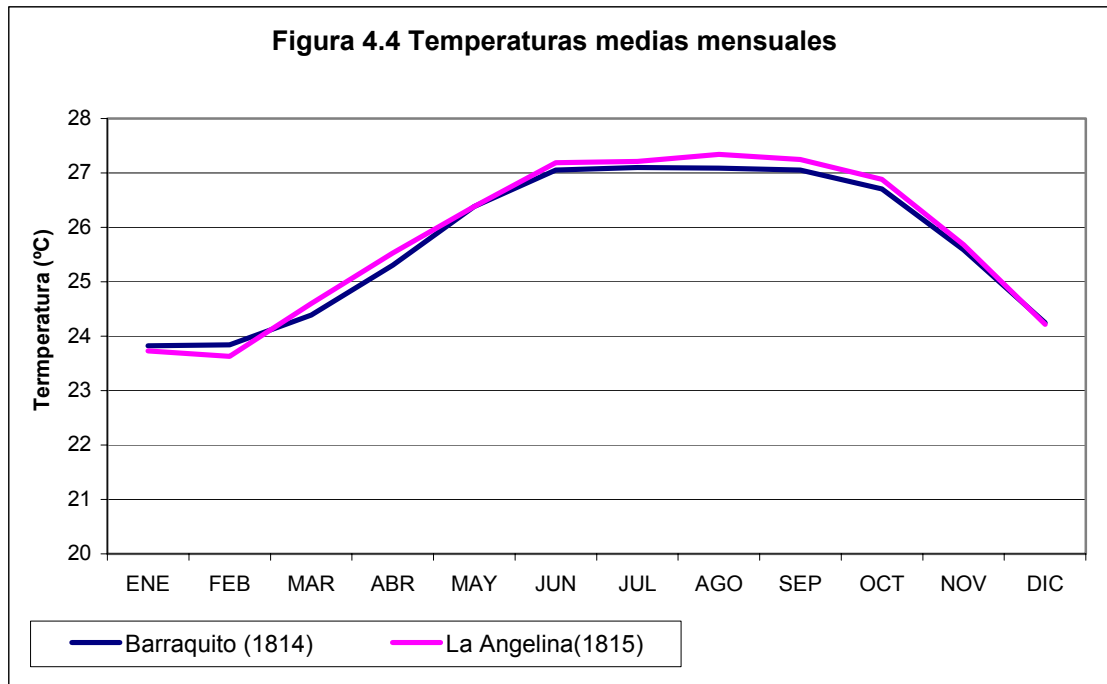
(*) CL: climática

Al igual que en las series pluviométricas, y utilizando la misma metodología, se procedió a la correlación y restitución de las series de temperatura incompletas. En la Documentación Complementaria se presentan las series de temperatura media originales, mientras que en el Anexo 3.2 se muestran estas series mensuales tratadas y completas para el período considerado. Los valores medios anuales de temperatura para las estaciones seleccionadas se presentan en el cuadro 4.1.5, obteniéndose con una temperatura media anual de 25.7 °C.

Cuadro 4.1.5. Temperatura media anual

CÓDIGO	NOMBRE DE LA ESTACIÓN	TEMPERATURA MEDIA ANUAL (°C)
1814	BARRAQUITO	25.7
1815	LA ANGELINA	25.8
	MEDIA	25.75

En la figura 4.4 se muestra la distribución mensual de las temperaturas medias para dos estaciones: 1814- Barraquito (8 m.s.n.m.) y 1815- La Angelina (48 m.s.n.m.). La distribución de las temperaturas es muy similar en las dos estaciones, siendo enero y febrero 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. Al no disponer en el estudio actual de los datos de temperatura máximas y mínimas, se ha procedido a calcularlos a partir de las temperaturas medias mensuales. En el Anexo 3.3 se resumen los valores mensuales de temperatura y ETP para cada una de las estaciones consideradas.

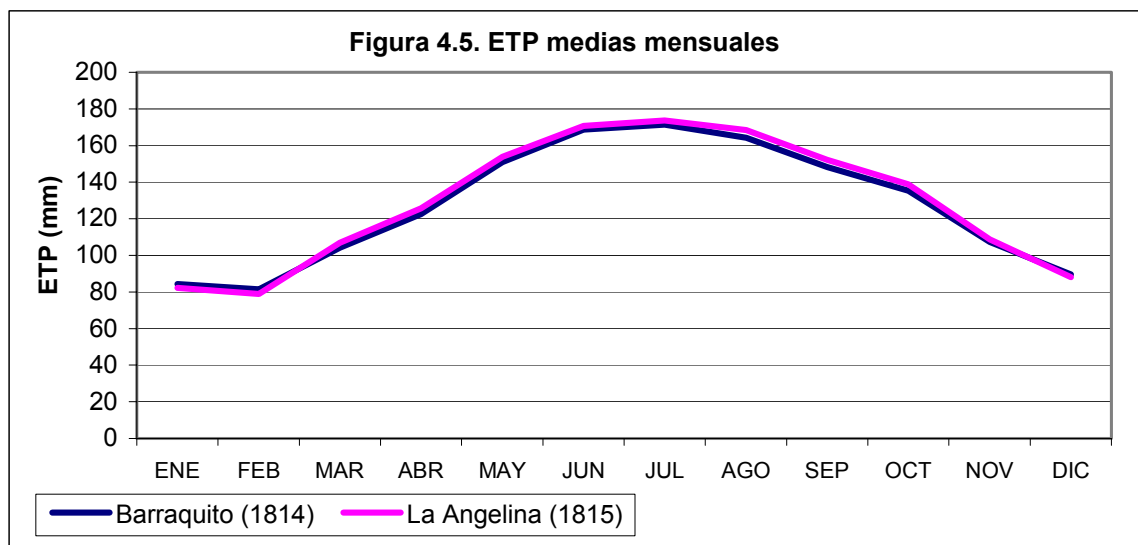
Los valores de la ETP media anual para las estaciones termométricas consideradas se presentan en el cuadro 4.1.6. La ETP media de la zona es de 1648.4 mm.

Cuadro 4.1.6. Evapotranspiración potencial media anual

CÓDIGO	NOMBRE DE LA ESTACIÓN	ETP MEDIA ANUAL (mm)
1814	BARRAQUITO	1641.8
1815	LA ANGELINA	1655.1
	MEDIA	1648.4

Como ya se ha dicho en el apartado de análisis de la temperatura, se supone una serie de temperaturas para la estación 1811 Abadesa igual a la de la estación 1814 Barraquito. Por tanto, sus ETP también serán iguales.

En la figura 4.5 se puede observar la distribución mensual de la ETP para las dos estaciones termométricas. 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.

El cálculo del Balance Mensual de Agua en el Suelo ha sido realizado para todas las 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, 4.7 y 4.8 se presenta la distribución mensual de estos datos, que conforman el balance de agua en el suelo, para las tres estaciones existentes en la Unidad. La lluvia útil en los años secos es inexistente en las estaciones de Abadesa (1811) y La Angelina (1815) y prácticamente inexistente en la estación de Barraquito (1814) aunque hay que tener en cuenta la consideración hecha anteriormente sobre el carácter mensual de los balances aquí expuestos. La estación de La Angelina carece también de lluvia útil en los años medios. En los años húmedos lógicamente la pluviometría es mayor y, considerando que la evapotranspiración potencial es igual a los otros dos años tipo, la lluvia útil es mayor. La estación de Barraquito (1814) es la que presenta mayores valores de lluvia útil.

Figura 4.6. Balance de agua en el suelo. Estación 1811 - ABADESA CC= 50 mm

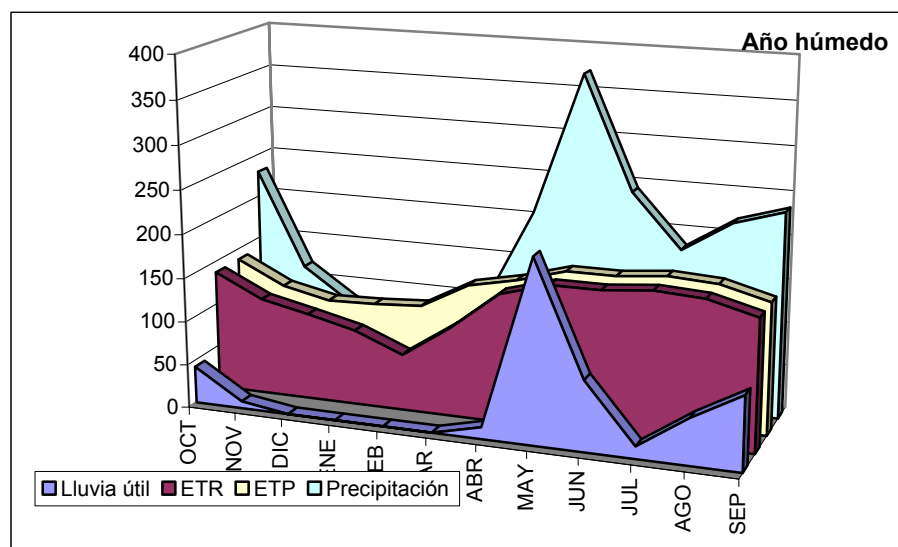
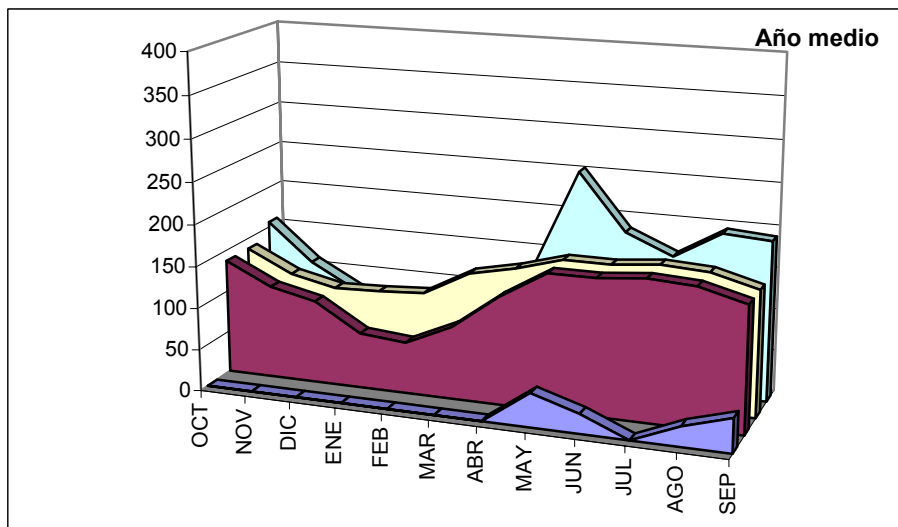
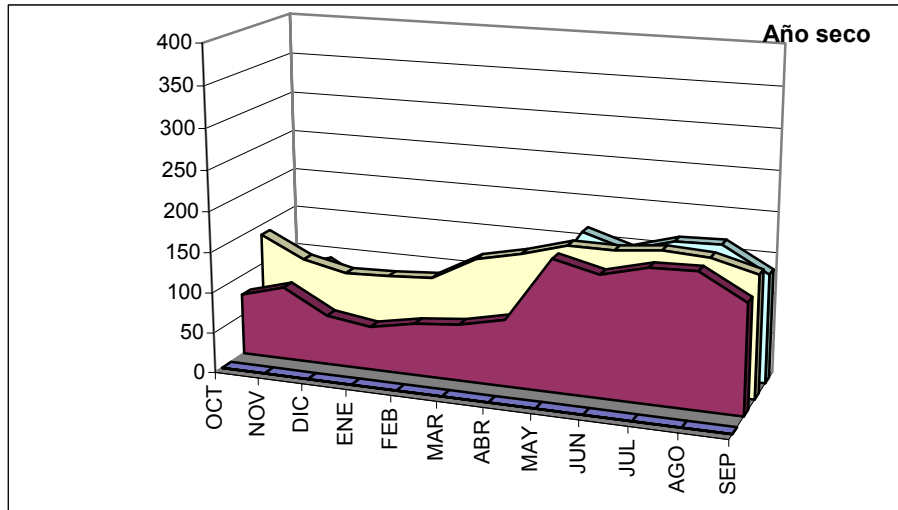


Figura 4.7. Balance de agua en el suelo. Estación 1814- BARRAQUITO CC= 100mm

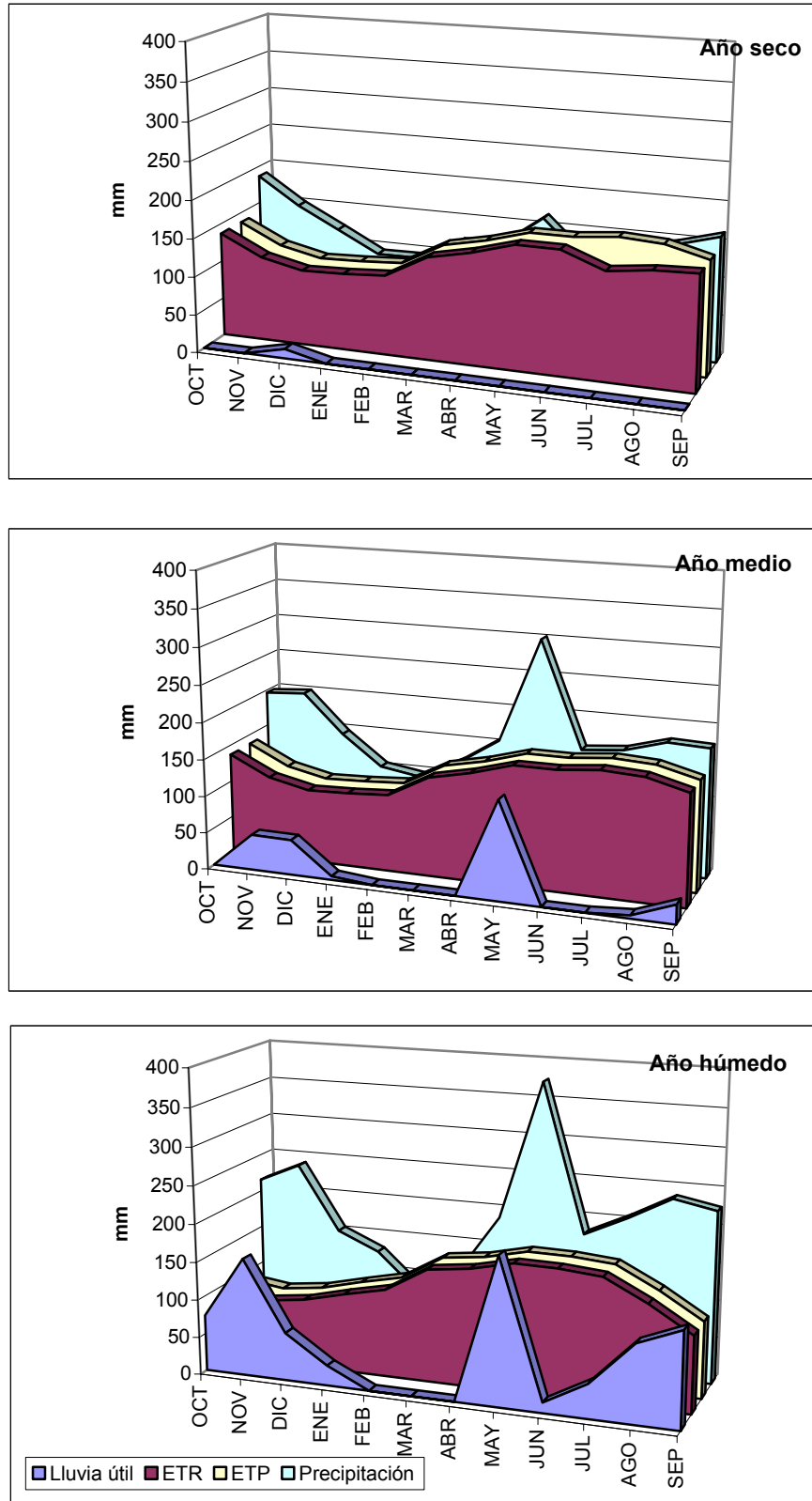
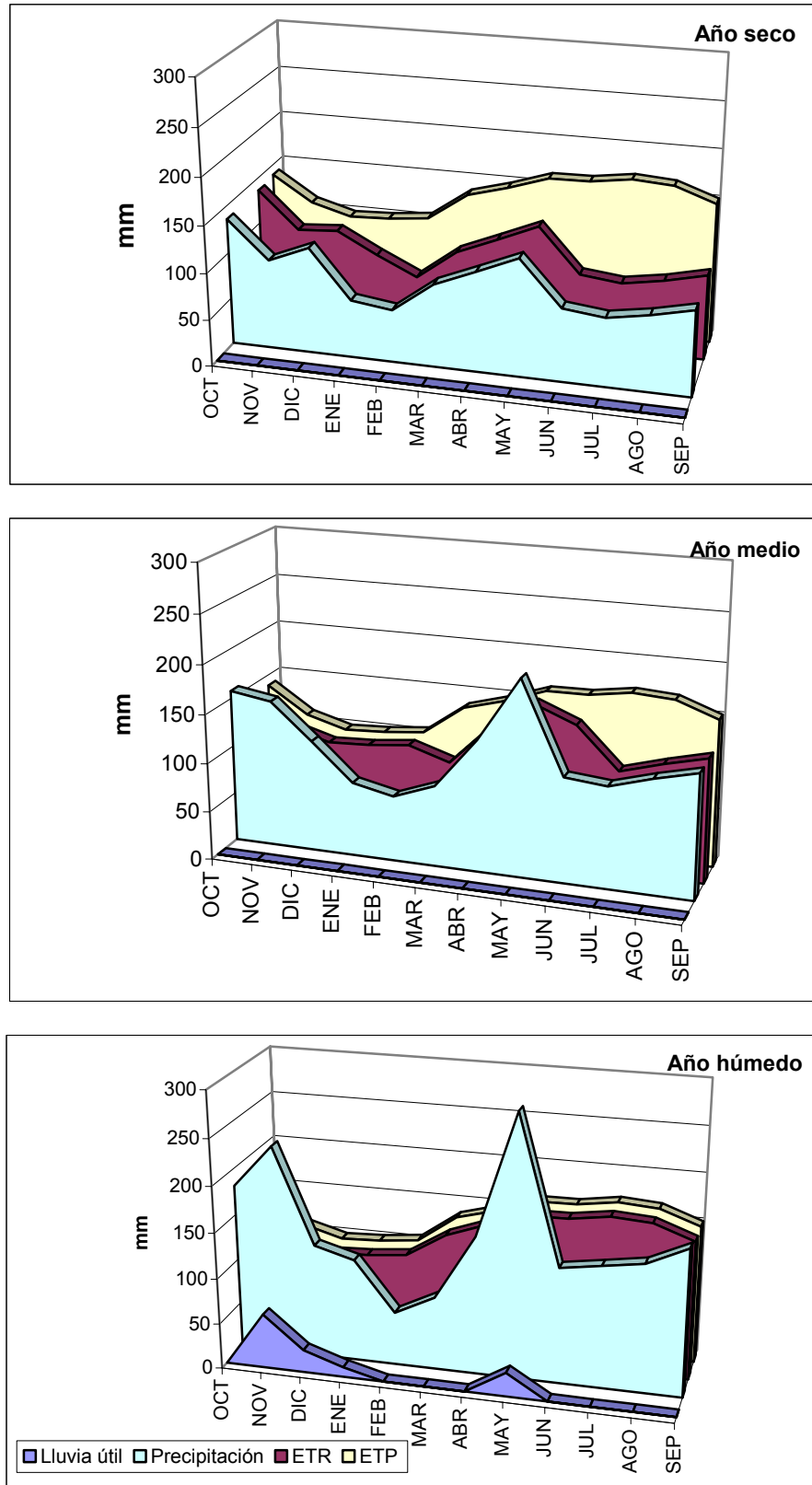


Figura 4.8. Balance de agua en el suelo. Estación 1815 - LA ANGELINA CC= 100 mm



Estudio Hidrogeológico Nacional de la República Dominicana Fase II. Unidad Hidrogeológica de Los Haitises

En el cuadro 4.1.7 se resumen los valores de lluvia útil obtenidos para la unidad hidrogeológica 03 – Los Haitises para cada año tipo. Se han utilizado los mismos valores de lluvia útil para todas las subunidades debido a la carencia de datos climáticos.

Cuadro 4.1.7. Lluvia útil anual (mm) para la Unidad Hidrogeológica de Los Haitises

Año medio	Año húmedo	Año seco
272	597	130

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

4.2.1. Red Hidrográfica e Infraestructura Hidráulica

La red hidrológica relacionada con la unidad de Los Haitises está definida por tres ejes y sectores de descarga principales:

- El eje de distribución predominante SSO-NNE y SSE-NNO, localizado en el sector occidental de la unidad (zona oeste), en el cual los ríos que nacen fuera de la unidad (en el sector de La Naviza), se encajan en ella y la atraviesan en algunos sectores (ríos Payabo-Ara y Chacuey), mientras que en otros (caso del río Cevico) se infiltran en las calizas y surgen nuevamente en su flanco norte (sector de El Atoro, Los Peinados y Guaraguao).
- El eje de distribución predominante N-S, localizado en el sector meridional de la unidad (zonas de Antón Sánchez- Los Limones), en el cual la red hidrográfica nace en el borde meridional de la unidad y descarga hacia la margen izquierda de la cuenca del río Ozama (ríos Boyá, Sabana y Comate).
- El eje de distribución predominante S-N, localizado en el sector oriental de la unidad (zonas de El Valle y Sabana de la Mar), en el cual la red hidrográfica nace en el borde la unidad y descarga en dirección suroeste-noreste y sur-norte, hacia la margen izquierda de la cuenca del río Yabón (río Yanigua y arroyo La Jagua).

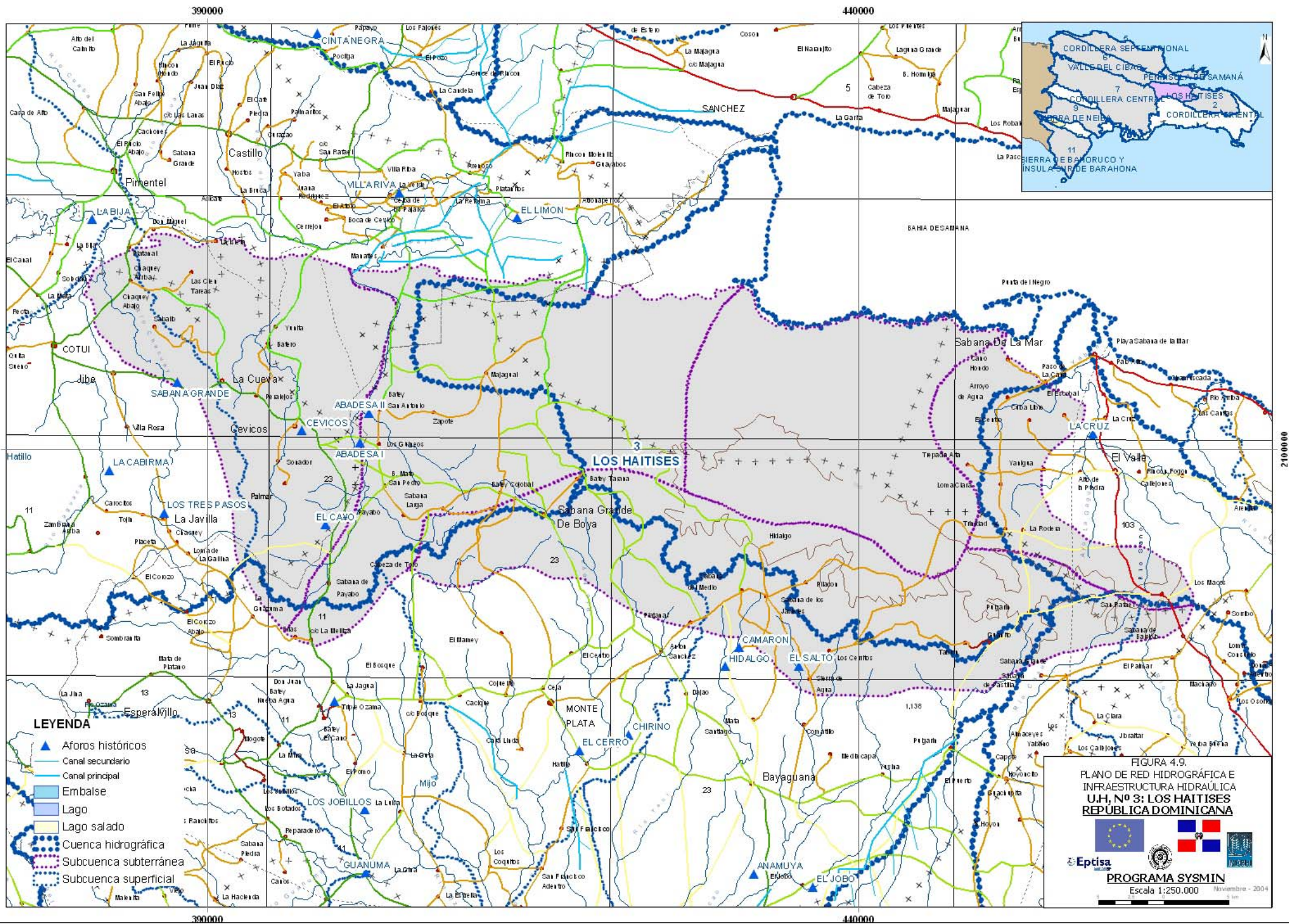


FIGURA 4.9.
 PLANO DE RED HIDROGRÁFICA E
 INFRAESTRUCTURA HIDRÁULICA
 U.H. Nº 3: LOS HAITISES
 REPÚBLICA DOMINICANA

PROGRAMA SYSMIN
 Escala 1:250.000 Noviembre - 2004

- LEYENDA**
- Aforos históricos
 - Canal secundario
 - Canal principal
 - Embalse
 - Lago
 - Lago salado
 - Cuenca hidrográfica
 - Subcuenca subterránea
 - Subcuenca superficial

4.2.2. Análisis de datos de aforos históricos

El Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INDRHI), dispone de una amplia red de aforos distribuida a lo largo de la superficie de esta Unidad Hidrogeológica. Estos aforos se han controlado históricamente, existiendo registro mensual continuo en la mayor parte de ellos desde los años 70 y 80 (dependiendo de los puntos). La distribución de dicha red, responde a criterios fundamentalmente hidrológicos, por lo que no se tuvo en cuenta la geología e hidrogeología de la unidad a la hora de situar las estaciones de aforo. No obstante, la información que aportan dichos puntos es de gran utilidad y merece la pena su análisis detallado, tanto para poder analizar la evolución histórica de los caudales medidos en cada estación, como para compararlos con los resultados de las campañas de medida de caudal mensual realizadas en los puntos de aforo próximos controlados en el presente estudio.

Del total de puntos de aforo controlados por parte del INDRHI, se ha creído conveniente analizar un total de 6 estaciones de aforo (Figura 4.9) cuya denominación, situación geográfica y cauce que controlan puede verse en la siguiente tabla:

Cuadro 4.2.1. Estaciones de aforo analizadas

Denominación	Coord X	Coord Y	Cuenca Hidrográfica	Nombre del río	Superficie de la cuenca aforada (km ²)
<i>El Limón</i>	413858	2117807	Yuna	Río Yuna	5.130
<i>Villa Riva</i>	404783	2119697	Yuna	Río Yuna	4.680
<i>La Cruz</i>	458046	2101210	Yabón	Río Yabón	263
<i>El Salto</i>	435501	2083387	Ozama	Río Comatillo	17
<i>Hidalgo</i>	429824	2083346	Ozama	Río Sabana	45
<i>Abadesa II</i>	402473	2102803	Yuna	Río Ara	219

Las series de datos de cada una de las estaciones de aforo son muy heterogéneas, variando enormemente el número de medidas, así como los años de control de las mismas. En el siguiente cuadro se indica, para cada punto de aforo el periodo de control de las series (Año de inicio-Año de finalización), así como los caudales (expresados en m³/s) máximos y mínimos históricos y la media mensual obtenida a partir del total de medidas.

Estudio Hidrogeológico Nacional de la República Dominicana Fase II. Unidad Hidrogeológica de Los Haitises

Cuadro 4.2.2. Datos de las estaciones de aforo

Denominación	Año Inicio	Año Final	Máx Histórico	Mín Histórico	Media Mensual
<i>El Limón</i>	1968	2002	374.68	7.2	101.35
<i>Villa Riva</i>	1955	1992	417.14	6.08	89.38
<i>La Cruz</i>	1969	1974	22.42	0.33	7.10
<i>El Salto</i>	1986	1987	5.45	0.12	1.74
<i>Hidalgo</i>	1975	1989	4.24	0.07	0.79
<i>Abadesa II</i>	1971	1996	22.68	0.47	5.79

En la siguiente tabla se indican los caudales medios mensuales (en m³/s) obtenidos para cada punto de control, utilizando el total de las medidas de la serie.

Cuadro 4.2.2. Caudales medios mensuales (m³/s)

Estación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Media Anual
<i>El Limón</i>	88.6	95.72	75.60	79.19	142.77	104.59	75.90	86.13	93.98	101.66	145.06	127.51	101.35
<i>Villa Riba</i>	70.70	72.75	55.94	78.80	155.15	113.56	74.61	82.33	60.58	86.29	124.11	97.73	89.38
<i>La Cruz</i>	4.83	4.35	5.73	2.38	4.80	9.00	8.96	9.95	8.60	9.40	10.12	7.08	7.10
<i>El Salto</i>	1.19	0.58	0.89	0.72	2.20	2.53	1.80	2.30	2.78	2.74	2.08	1.08	1.74
<i>Hidalgo</i>	0.46	0.39	0.30	0.33	0.77	1.11	1.02	0.95	1.22	1.16	0.98	0.83	0.79
<i>Abadesa II</i>	2.62	2.47	2.84	3.15	9.13	7.85	6.65	9.13	9.03	7.89	5.26	3.48	5.79

En general se observa la existencia de dos periodos de aguas más altas, el primero de ellos en los meses de mayo y junio, y el segundo desde septiembre-octubre a diciembre. En los primeros meses del año (entre enero y abril) se localizan los volúmenes de caudal más bajos, que por lo general suelen ser del orden del 20 a un 50% menores que los volúmenes medios anuales. Las oscilaciones en los caudales medidos coinciden plenamente con las variaciones existentes en el registro de precipitaciones tal y como se aprecia en el estudio climatológico realizado para la zona.

Del análisis de los caudales medios mensuales puede deducirse que los puntos de menor caudal son los situados en la salida sur de la Unidad Hidrogeológica (El Salto e Hidalgo), fundamentalmente por tratarse de puntos de aforo con cuencas de drenaje muy pequeñas (17 y 45 km² respectivamente).

Estudio Hidrogeológico Nacional de la República Dominicana Fase II. Unidad Hidrogeológica de Los Haitises

El punto de aforo *La Cruz*, situado en el límite oriental de la Unidad Hidrogeológica, posee unos caudales medios bastante elevados (del orden de los 7 m³/s), que en su mayor parte corresponden a salidas de la Unidad Hidrogeológica de Los Haitises, aunque existe un pequeño porcentaje que proviene de cauces que drenan materiales de la Unidad Hidrogeológica contigua (Cordillera Oriental).

El punto de aforo Abadesa II controla el caudal del río Ara (más adelante pasa a llamarse Payabo) antes de drenar el paquete de calizas de la Unidad Hidrogeológica de Los Haitises. La falta de un punto de aforo a la salida de la unidad impide conocer con exactitud las ganancias de caudal que se producen como consecuencia del drenaje de las calizas. Sin embargo, este dato se puede obtener de forma indirecta por comparación entre los caudales de los puntos de aforo del río Yuna (*Villa Riva* y *El Limón*) entre los cuales confluye el río Payabo a la salida de la unidad. Este hecho explica el incremento notable de caudal entre ambos puntos de aforo en un tramo tan corto de río. De esta manera se puede afirmar que el río Payabo se comporta como ganador a su paso por la Unidad Hidrogeológica de Los Haitises, aumentando su caudal una media de 6 m³/s.

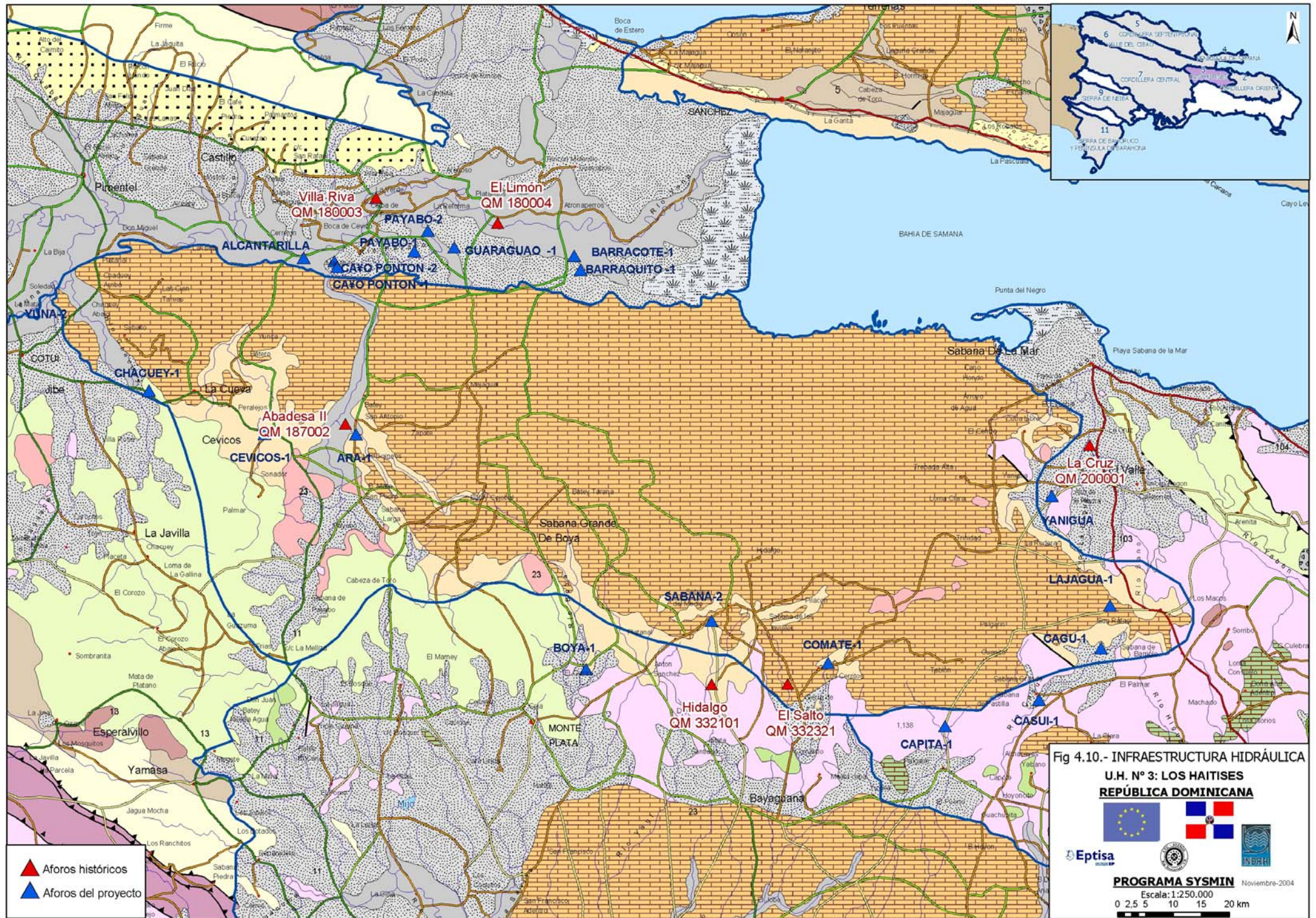


Fig 4.10.- INFRAESTRUCTURA HIDRÁULICA
U.H. N° 3: LOS HAITISES
REPÚBLICA DOMINICANA



PROGRAMA SYSMIN Noviembre-2004

Escala: 1:250,000

0 2.5 5 10 15 20 km

4.2.3. Red foronómica del estudio: Resultados de las campañas realizadas.

Para el control foronómico de la Unidad Hidrogeológica de Los Haitises se han realizado medidas mensuales de caudal en 17 puntos de aforo, cuyas características principales se describen a continuación.

En la figura 4.10 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 el 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 hasta la fecha. Asimismo en el Anexo 6 se incluyen los resultados de las mediciones de cada una de las campañas de aforo.

Alcantarilla

Este punto de aforo se sitúa en el límite noroeste de la Unidad controlando la salida que se produce de la misma a través del río Cevicos (antes de incorporarse al río Yuna), el cual discurre de forma subterránea a través de las calizas, volviendo a renacer a la salida de la unidad.

Coord X	Coord Y	Cuenca Hidrográfica	Nombre del río
399360	2115225	Yuna	Río Cevicos

Los datos de caudal medidos en las sucesivas campañas oscilan entre 0.25 y 4 m³/s, produciéndose, en la mayor parte de las campañas, incrementos de caudal a la salida de las calizas (ganancias de entre 0.027 y 2.6 m³/s), con respecto al punto de aforo Cevicos-1 situado aguas arriba del mismo.

DATOS DE CAUDAL EN m³/s												
<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>	<i>Media Anual</i>
		1.864	1.373	0.939	0.257	0.293	1.117	4.648	1.255	4.091	1.284	1.71

Caño Pontón-1

Este punto de aforo se sitúa en el límite noroeste de la unidad, muy próximo a los puntos de control de Alcantarilla y Caño Pontón-2. Controla el caudal de salida del Caño Pontón, que nace

Estudio Hidrogeológico Nacional de la República Dominicana Fase II. Unidad Hidrogeológica de Los Haitises

de las calizas de la unidad de Los Haitises en la zona de los manatíes. Este cauce desemboca aguas arriba en el Cevicos, justamente antes de la confluencia de este con el río Yuna.

Coord X	Coord Y	Cuenca Hidrográfica	Nombre del río
401646	2114966	Yuna	Caño Pontón

Los datos de caudal medidos sufren oscilaciones importantes con mínimos de 0.30 m³/s y máximos de 2.6 m³/s.

DATOS DE CAUDAL EN m³/s												
<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>	<i>Media Anual</i>
		1.274	0.931	0.506	0.889	0.305	1.278	2.621	1.472	1.643	1.163	1.21

Caño Pontón-2

Este punto de aforo se sitúa muy próximo al punto anteriormente descrito y controla una de las salidas del Caño Pontón antes de su confluencia con el río Yuna.

Coord X	Coord Y	Cuenca Hidrográfica	Nombre del río
401891	21114560	Yuna	Caño Pontón

Los caudales medidos en las sucesivas campañas son ligeramente inferiores a los del punto de aforo Caño Pontón-1, con unos valores que oscilan entre 0.79 y 1.1 m³/s.

DATOS DE CAUDAL EN m³/s												
<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>	<i>Media Anual</i>
		0.79	0.994	0.286	0.151	0.288	1.129	2.045	1.133		1.143	0.88

Payabo-1

Este punto de aforo se sitúa en el límite norte de la unidad y controla la salida del río Payabo que drena las calizas arrecifales de Los Haitises al atravesarlas de sur a norte.

Estudio Hidrogeológico Nacional de la República Dominicana Fase II. Unidad Hidrogeológica de Los Haitises

Coord X	Coord Y	Cuenca Hidrográfica	Nombre del río
407637	2115713	Yuna	Río Payabo

Los caudales medidos en cada una de las campañas oscilan entre 0.024 y 8.6 m³/s, viéndose incrementado notablemente su caudal con respecto al punto de aforo Ara-1, situado aguas arriba antes de la entrada del río en los materiales carbonatados.

DATOS DE CAUDAL EN m³/s												
<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>	<i>Media Anual</i>
		6.9	8.602	0.056	0.024	0.386	0.079	1.595	0.582	0.86	0.861	1.99

Payabo-2

Este punto de aforo se encuentra situado aguas abajo del punto anteriormente descrito, aunque muy próximo a este. Entre ambos puntos se produce la incorporación al cauce de varios caños que provocan un aumento considerable del caudal del río con valores que oscilan entre los 0.156 y 22 m³/s.

Coord X	Coord Y	Cuenca Hidrográfica	Nombre del río
408636	2117233	Yuna	Río Payabo

El aumento de caudal en esta zona del río se debe a la conexión existente con el aluvial cuaternario del río Yuna.

DATOS DE CAUDAL EN m³/s												
<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>	<i>Media Anual</i>
19.065	14.311	22.409		0.408	0.24	0.185	0.156	5.285	3.846	6.606	9.051	7.41

Guaragua-1

Este punto de aforo se sitúa al norte de la Unidad Hidrogeológica, y controla las salidas que se producen a través del arroyo Guaragua, el cual desemboca aguas abajo en el río Payabo.

Estudio Hidrogeológico Nacional de la República Dominicana Fase II. Unidad Hidrogeológica de Los Haitises

Coord X	coord. Y	Cuenca Hidrográfica	Nombre del río
410601	2116003	Yuna	Arroyo Guaragua

Los caudales medidos en este punto de aforo oscilan entre 0.31 y 2.9 m³/s, los cuales puede decirse que proviene en su totalidad del drenaje de las calizas de Los Haitises.

DATOS DE CAUDAL EN m³/s												
<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>	<i>Media Anual</i>
		2.106	1.006	2.925	1.026	1.266	0.31	2.807	1.065	1.94	1.181	1.56

Barracote-1

Este punto de aforo se sitúa en el límite norte de la unidad y controla las salidas que se producen a través del arroyo El Ercado y de otros caños de menor importancia que desembocan en éste.

Coord X	coord. Y	Cuenca Hidrográfica	Nombre del río
420028	2114332	Yuna	Arroyo Barracote

Los caudales de salida controlados en las sucesivas campañas de aforo son bastante constantes oscilando entre 0.7 y 1.1 m³/s.

DATOS DE CAUDAL EN m³/s												
<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>	<i>Media Anual</i>
		0.849	1.043	1.104	0.917	0.768	0.803	0.904	0.951	0.984	1.107	0.94

Barraquito-1

Este punto de aforo se sitúa muy próximo al anterior pero controla las salidas que se producen de la unidad a través del Caño Limón y del Caño Barraquito.

Estudio Hidrogeológico Nacional de la República Dominicana Fase II. Unidad Hidrogeológica de Los Haitises

Coord X	Coord. Y	Cuenca Hidrográfica	Nombre del río
419576	2115380	Yuna	Arroyo El Ercado

Los caudales medidos se mantiene bastante constantes con pequeñas oscilaciones de entre 0.4 y 1.6 m³/s.

DATOS DE CAUDAL EN m³/s												
<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>	<i>Media Anual</i>
		1.632	1.573	0.703	0.422	0.509	0.892	1.137	0.954	1.504	1.037	1.04

Yanigua

Este es uno de los dos puntos de control que existen en el límite este de la unidad. Está situado sobre el río Yanigua antes de confluir con el Yabón.

Coord X	Coord Y	Cuenca Hidrográfica	Nombre del río
455213	2097436	Yabón	Río Yanigua

Los caudales medidos en las sucesivas campañas varían considerablemente, con máximos de 3.3 m³/s y mínimos de 0.24 m³/s.

DATOS DE CAUDAL EN m³/s												
<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>	<i>Media Anual</i>
1.494	3.317	1.321	0.415	0.351	0.24	0.568	0.925	0.815	0.723	1.494	0.632	1.02

La Jagua-1

Este es el otro punto de aforo situado en el límite este de la unidad. Se considera un punto de descarga minoritaria tal y como lo demuestran los escasos caudales medidos, que oscilan entre 0 y 1.6 m³/s.

Estudio Hidrogeológico Nacional de la República Dominicana Fase II. Unidad Hidrogeológica de Los Haitises

Coord X	coord. Y	Cuenca Hidrográfica	Nombre del río
459553	2089257	Yabón	Arroyo Hicagua

Estos caudales tan pequeños están justificados por la escasa cuenca de drenaje que abarca dicho aforo, por situarse muy próximo a la divisoria de las cuencas del Yabón y el Casui.

DATOS DE CAUDAL EN m³/s												
<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>	<i>Media Anual</i>
	0.009	0.007		1.577	1.456	1.655	0.31		0	0.112		0.64

Cagu-1

Este punto de aforo se sitúa en el límite sureste de la unidad. Está controlando las salidas de las calizas de Los Haitises en este sector junto al límite de la unidad.

Coord X	coord. Y	Cuenca Hidrográfica	Nombre del río
454250	2086043	Casui	Río Casui

Los caudales controlados presentan oscilaciones considerables con máximos de 343 l/s y mínimos de 3 l/s.

DATOS DE CAUDAL EN m³/s												
<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>	<i>Media Anual</i>
	0.343	0.141	0.060					0.045	0.03	0.025	0.126	0.11

Comate-1

Aforo situado en el límite sur de la unidad, controlando una de las principales salidas de la misma a través del río Comate, cuyo nacimiento se produce en las calizas de Los Haitises.

Estudio Hidrogeológico Nacional de la República Dominicana Fase II. Unidad Hidrogeológica de Los Haitises

Coord X	coord. Y	Cuenca Hidrográfica	Nombre del río
438519	2084964	Yabacao	Río Comate

Los caudales controlados en este punto tienen oscilaciones importantes con máximos de 1.89 m³/s y mínimos de 0.45 m³/s.

DATOS DE CAUDAL EN m³/s												
<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>	<i>Media Anual</i>
0.68	1.697	1.893	0.644	0.631	0.499	0.451	0.486	0.907	1.735	1.374	1.259	1.02

Sabana-2

Este aforo también se encuentra situado en el límite sur de la unidad, próximo al nacimiento del río Sabana, que toma sus aguas de las calizas de Los Haitises.

Coord X	coord. Y	Cuenca Hidrográfica	Nombre del río
429825	2088088	Yabacao	Río Sabana

Las salidas que se producen por este punto son algo menores que las realizadas a través del río Comate, aunque sus valores son más constantes, oscilando entre 2.8 y 0.074 m³/s.

DATOS DE CAUDAL EN m³/s												
<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>	<i>Media Anual</i>
0.507		0.904	0.53	0.202	0.074	2.867	0.71	0.691	0.572	0.681	0.714	0.77

Boya-1

Este es el último de los puntos que controlan las salidas del sur de la unidad. Se ha situado bastante alejado de los límites de la unidad para controlar varios cursos de agua (fundamentalmente arroyos) que confluyen en el propio río Boyá antes del punto de aforo.

Estudio Hidrogeológico Nacional de la República Dominicana Fase II. Unidad Hidrogeológica de Los Haitises

Coord X	coord. Y	Cuenca Hidrográfica	Nombre del río
420457	2084486	Ozama	Río Boyá

Los caudales medidos en este punto oscilan bastante con unos valores máximos del orden de los 1.5 m³/s y mínimos de 0.3 m³/s.

DATOS DE CAUDAL EN m³/s												
<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>	<i>Media Anual</i>
0.896	1.078	1.582	0.434	0.405	0.309	0.331	0.579	1.271	0.828	0.75	0.992	0.79

Ara-1

Este punto de aforo se sitúa dentro de los límites de la unidad, en su parte occidental y controla el caudal del río Ara antes de entrar en las calizas de Los Haitises. Este río atraviesa la unidad de Los Haitises de sur a norte, pasando a llamarse río Payabo. Mediante la diferencia de caudal entre este punto de control y de la suma de los caudales del Payabo-1 y Caño Pontón 1 y 2, se puede deducir el agua que drena el río Ara a su paso por las calizas.

Coord X	coord. Y	Cuenca Hidrográfica	Nombre del río
403289	2102037	Yuna	Río Ara

Los caudales controlados en este punto son muy variables (oscilan entre 0.57 y 7.7 m³/s), sobre todo porque algunos de los aforos fueron realizados en periodos de crecida.

DATOS DE CAUDAL EN m³/s												
<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>	<i>Media Anual</i>
0.569	7.717	2.204			1.026							2.88

Cevicos-1

Este punto de aforo se encuentra situado en la zona occidental de la unidad y controla el caudal del río Cevicos antes de entrar en los materiales calcáreos. Este río no llega a atravesar la

unidad en superficie tal y como ocurre con el río Ara, sino que se infiltra para salir posteriormente en el límite norte de la unidad. Esta salida se controla mediante el aforo Alcantarilla, por lo que la diferencia de caudal entre el punto Cevicos-1 y el Alcantarilla, da el incremento de caudal del río a su paso por las calizas de Los Haitises.

Coord X	Coord Y	Cuenca Hidrográfica	Nombre del río
396441	2102056	Yuna	Río Cevicos

Los caudales aforados en este punto permanecen bastante estables, oscilando entre 2.2 y 0.4 m³/s.

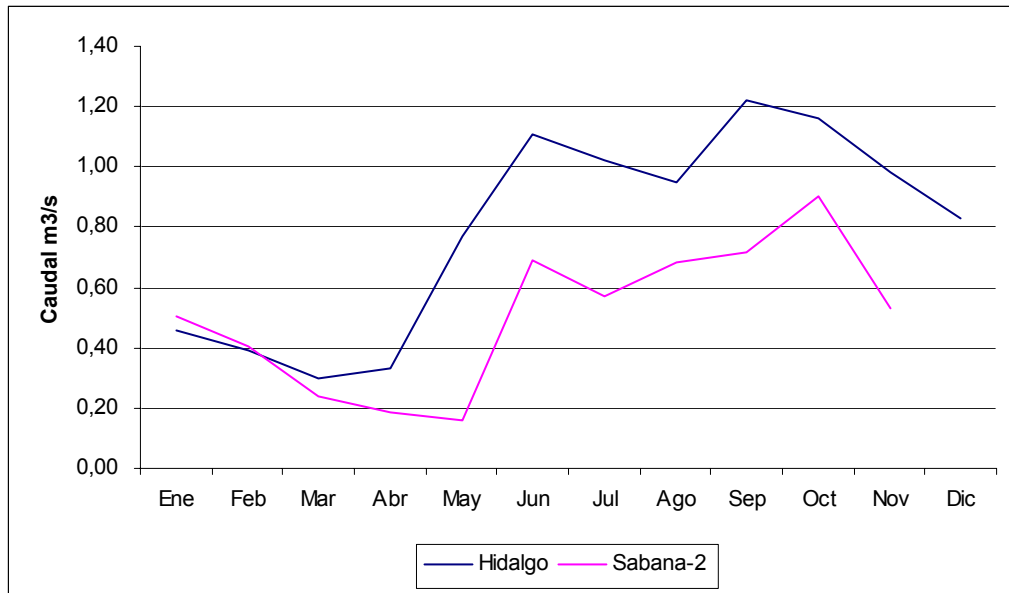
DATOS DE CAUDAL EN m³/s												
<i>Oct</i>	<i>Nov</i>	<i>Dic</i>	<i>Ene</i>	<i>Feb</i>	<i>Mar</i>	<i>Abr</i>	<i>May</i>	<i>Jun</i>	<i>Jul</i>	<i>Ago</i>	<i>Sep</i>	<i>Media Anual</i>
		1.209	1.007	0.413	0.327	0.541	0.709	2.281	1.983	1.477	1.243	1.06

4.2.4. Relación entre los aforos históricos y los actuales

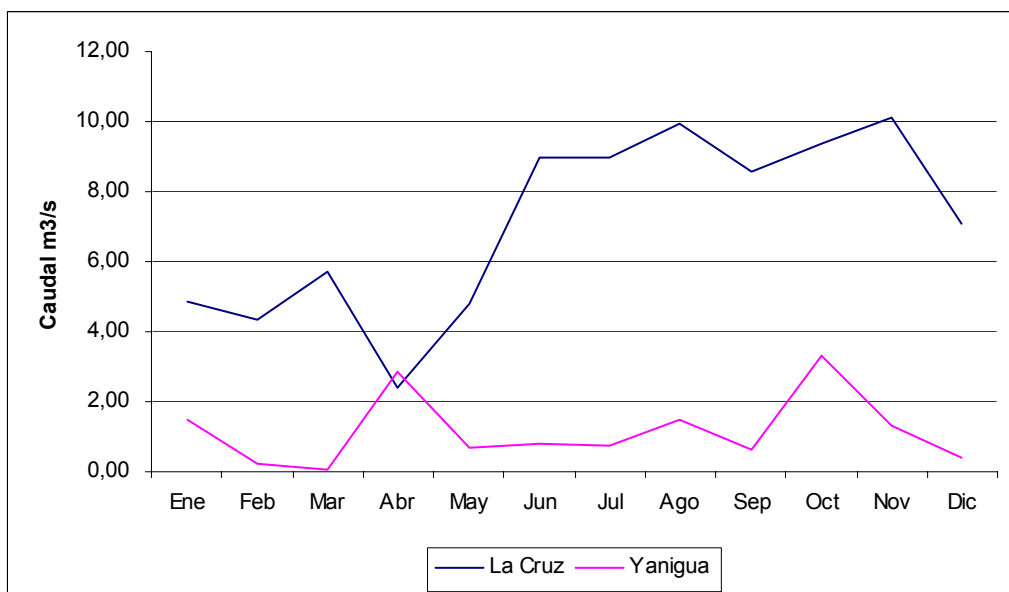
De las 6 estaciones de aforo históricas contempladas en el presente estudio, únicamente la estación Abadesa II tiene una situación geográfica lo suficientemente próxima al punto de aforo Ara-1 como para poder comparar su serie histórica con los caudales medidos en el presente estudio (aunque únicamente se han podido realizar 4 medidas puntuales a lo largo del presente estudio). No obstante, la mayor parte de los aforos históricos restantes pueden ser comparados de alguna manera con los puntos de aforo de este estudio.

La salida sur de la unidad a través del punto Sabana-2, podría compararse con el aforo histórico denominado Hidalgo situado sobre el mismo cauce superficial (río Sabana). El hecho de que los datos de caudal medidos durante las campañas de aforo del presente estudio aparezcan por debajo de los valores medios de la serie del punto Hidalgo se podría explicar por el hecho de que este aforo se encuentra situado aguas abajo del punto de control Sabana-2, con lo que recibe mayores aportes superficiales.

Estudio Hidrogeológico Nacional de la República Dominicana Fase II. Unidad Hidrogeológica de Los Haitises

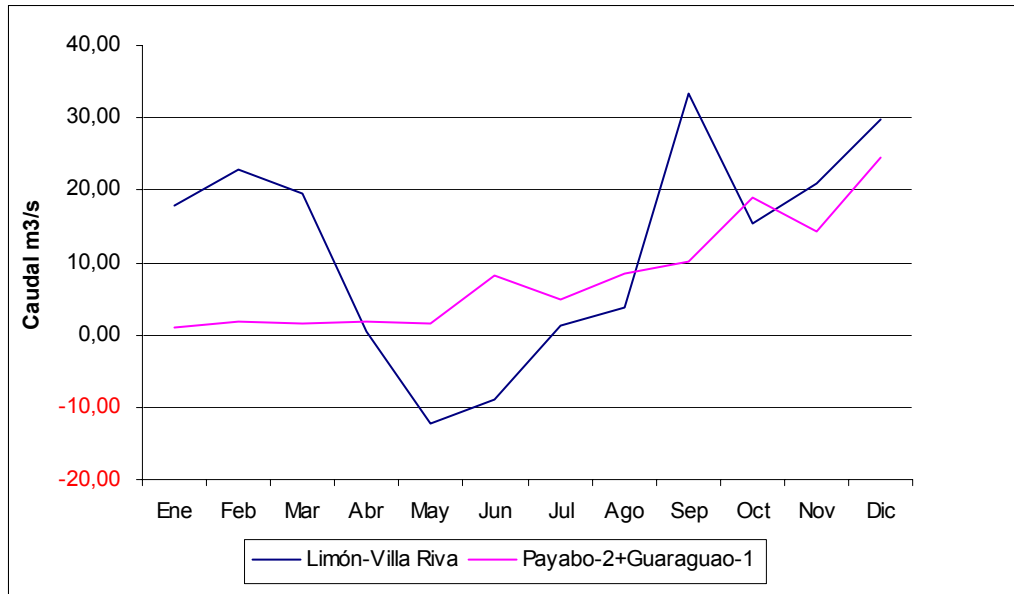


En el caso del punto de control histórico La Cruz, únicamente podría compararse con el punto de aforo de Yanigua. Sin embargo, ambos puntos se encuentran bastante separados, estando el punto La Cruz situado aguas abajo del punto Yanigua y una vez que se le han incorporado a dicho cauce el Arroyo de la Jagua y el Río Sano. Esto explica la diferencia de caudal existente entre ambos puntos, siendo claramente superior en el punto La Cruz. No obstante si se puede apreciar cierta homogeneidad en las líneas de tendencia de ambos puntos.



Estudio Hidrogeológico Nacional de la República Dominicana Fase II. Unidad Hidrogeológica de Los Haitises

La ultima comparativa que se podría realizar es entre la diferencia de los aforos históricos de Villa Riva y Limón, situados en el río Yuna y la suma de los caudales controlados en los aforos actuales de Payabo-2 y Guaraguao-1, que desembocan en el río Yuna en el tramo situado entre los dos aforos históricos.



Se puede observar como los valores medidos en las actuales campañas son similares, a partir del segundo semestre, con las diferencias medias históricas entre los puntos Limón y Villa Riva. No obstante, durante los primeros meses del año existe una importante discrepancia de los valores de ambas series, permaneciendo prácticamente estables en el caso del Payabo-2 + Guaraguao-1, y sufriendo importantes oscilaciones la diferencia de la serie histórica entre Limón y Villa Riva.

5. ESTUDIO DE EXTRACCIONES Y USOS

5.1. INTRODUCCIÓN

Para todo el ámbito del país, el consumo de agua por sectores en 1993, según el Plan Nacional de Ordenamiento de los Recursos Hídricos (PNORH), estaba distribuido de la siguiente forma: el sector agropecuario demandaba 7384 Hm³ del volumen total de recursos utilizados, aproximadamente 916 Hm³ eran utilizados para el abastecimiento a la población y 39 Hm³ para los restantes usos (industrial, pecuario y turístico). Para dicho año de 1993, la extracción total de aguas subterráneas eran del orden de los 386 Hm³.

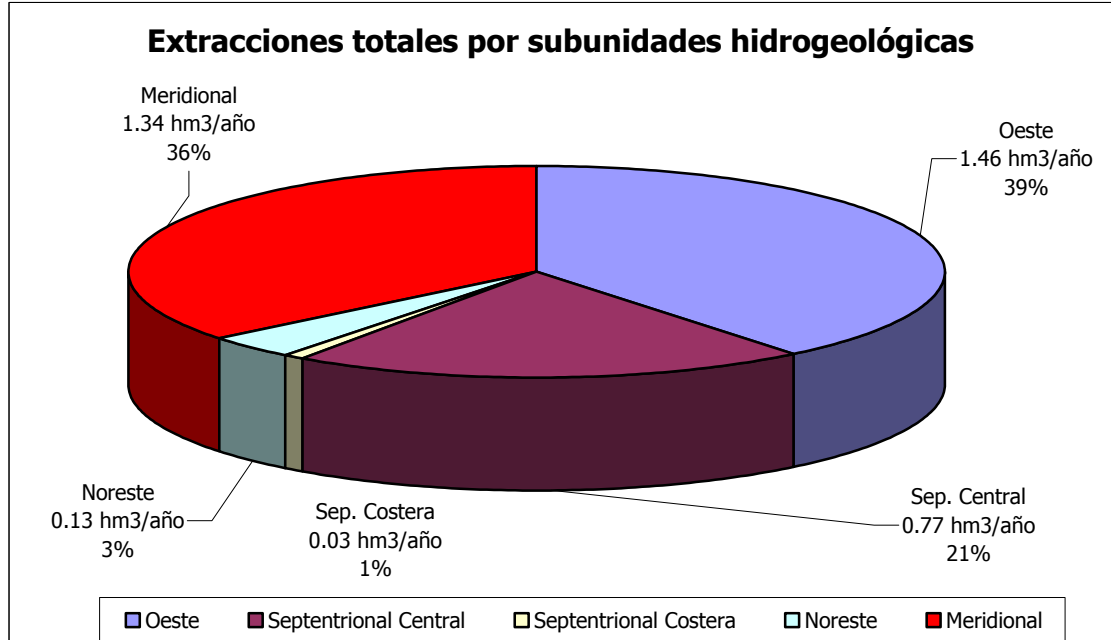
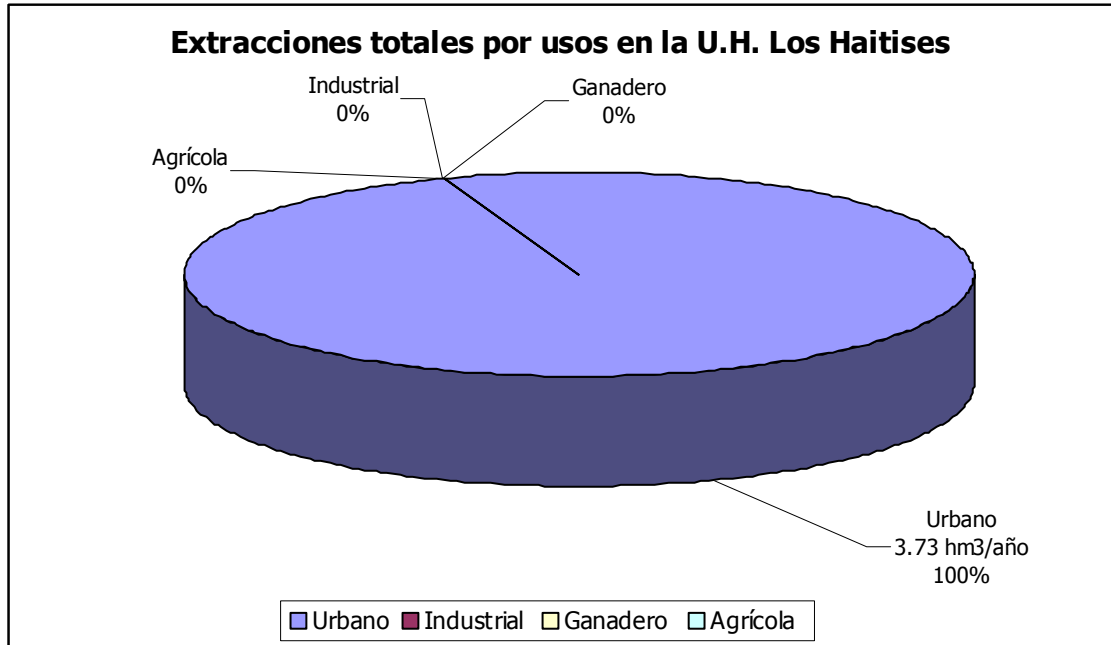
Para el área concreta de la Unidad Hidrogeológica de Los Haitises, y de acuerdo con las estimaciones realizadas en el marco del presente estudio, el volumen total de recursos hídricos de origen subterráneo utilizados en el año 2004, para los distintos tipos de usos, es del orden de 3.73 hm³/año, cuya 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 3.73 hm³/año. La agricultura y la industria tienen un carácter 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 Los Haitises

Subunidad	Volumen de recursos subterráneos utilizados por usos				
	Urbano (hm ³ /año)	Industrial (hm ³ /año)	Ganadero (hm ³ /año)	Agrícola (hm ³ /año)	TOTAL (hm ³ /año)
Oeste	1.46	0	0	0	1.46
Septentrional Central	0.77	0	0	0	0.77
Septentrional Costera	0.03	0	0	0	0.03
Noreste	0.13	0	0	0	0.13
Meridional	1.34	0	0	0	1.34
Total U.H. Los Haitises	3.73	0	0	0	3.73

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



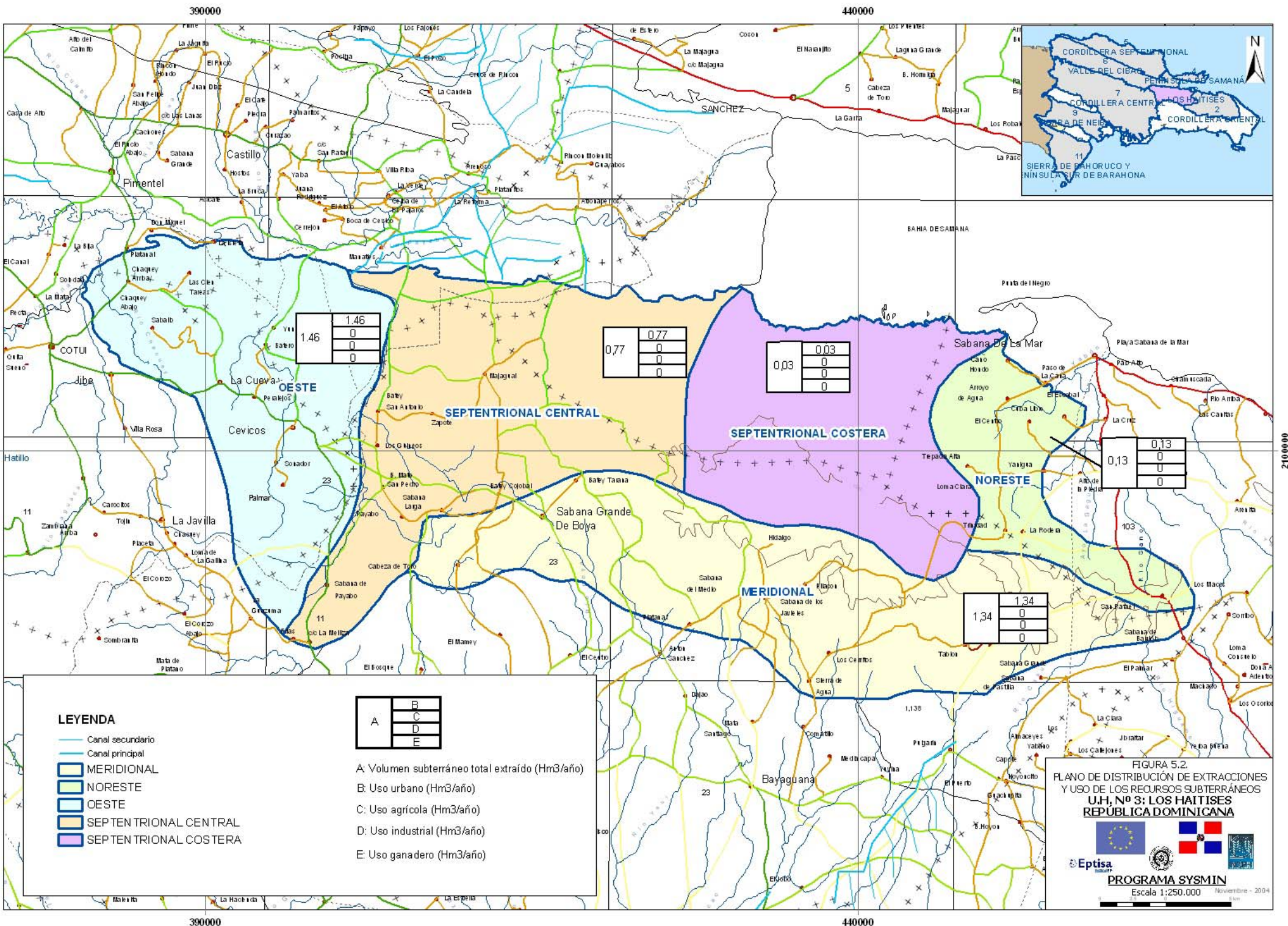


FIGURA 5.2.
 PLANO DE DISTRIBUCIÓN DE EXTRACCIONES
 Y USO DE LOS RECURSOS SUBTERRÁNEOS
 U.H. Nº 3: LOS HAITISES
 REPÚBLICA DOMINICANA

PROGRAMA SYSMIN
 Escala 1:250.000
 Noviembre - 2004

5.2. INFORMACIÓN DE PARTIDA

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

- 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).

5.3. ESTIMACIÓN DE EXTRACCIONES

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

5.3.1. Usos Urbanos

El volumen anual de recursos subterráneos utilizados para abastecimiento urbano se ha estimado en **3.73 hm³/año**, tomando como referencia los datos aportados por INAPA en relación con los consumos de agua para la ZONA III y IV, en la cual el consumo medio por persona es de 288 l/habitante/día, de los cuales el 59.95% corresponden a aguas subterráneas y a una población de 59109 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 1.92% para el periodo 93/04.

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

Cuadro 5.3.1. Extracciones para uso urbano por subunidades hidrogeológicas

Subunidad	Población (2004)	Demanda según dotación	Extracciones de aguas
		288 l/hab/día hm ³ /año	subterráneas hm ³ /año
Oeste	23192	2.44	1.46
Septentrional Central	12152	1.28	0.77
Septentrional Costera	443	0.05	0.03
Noreste	2099	0.22	0.13
Meridional	21223	2.23	1.34
TOTAL		6.21	3.73

6. SÍNTESIS GEOLÓGICA

6.1. INTRODUCCIÓN Y MARCO GEOLÓGICO REGIONAL

La Zona o Unidad Hidrogeológica de Los Haitises se localiza en la parte oriental de la República Dominicana, constituyendo, desde el punto de vista geológico, una gran plataforma cárstica limitada al norte por la importante falla meridional de la Bahía de Samaná, al sur por afloramientos de rocas volcánicas y plutónicas (Sierra de Seibo) , al este por las estribaciones más occidentales de la Cordillera Oriental (sector de El Valle) y al oeste por las estribaciones más orientales de la Cordillera Central (sector del Alto Yuna).

Geomorfológicamente, esta unidad se caracteriza por la presencia de claros elementos de morfología cárstica, con elevaciones muy acusadas producidas como residuos de fenómenos de disolución, y la identificación de importantes formas de absorción, del tipo dolinas y simas, tanto activas, como fósiles.

Su consideración de Parque Natural hace que no existan dentro de sus límites importantes núcleos de población, ni desarrollo agrícola o industrial, ni, como consecuencia de ello, demandas de extracciones de interés.

Por último, desde el punto de vista climatológico la unidad se caracteriza por la existencia de altas precipitaciones (precipitaciones medias del orden de los 2000 mm/a y máximas próximas a los 3000 mm/a) y por un número de días de lluvia al año próximo a los 150.

6.2. ESTRATIGRAFÍA Y LITOLOGÍA.

La zona de Los Haitises (y el interés hidrogeológico de la misma) está constituida por una formación de caliza arrecifal detrítica (PLC), muy carstificada y de edad Plioceno-Pleistoceno, conocida como la caliza de Los Haitises. Su espesor (estimativo) puede ser del orden de 150 m.

Estas calizas se disponen concordantemente sobre un tramo margoso (PLm-y), de edad pliocena, denominable como margas basales de Los Haitises. Este tramo es de espesor variable, probablemente inferior a los 50 m., y a veces está ausente, descansando la caliza pliocena, en dichos casos, sobre el sustrato basal.

El mencionado sustrato basal sobre el que descansan discordantemente las calizas de Los Haitises y su tramo margoso de base, está constituido por una formación de rocas magmáticas y volcano-sedimentarias (RVS), de edad Cretácico inferior, con intrusiones tonalíticas, de edad Cretácico superior. Este sustrato aflora ampliamente al sur de las calizas y margas.

Hay que destacar, por tanto, que existe una interrupción sedimentaria notable en la columna estratigráfica de la zona. Además, el hecho de que, a veces, la marga pliocena se acúñe y descansa la caliza suprayacente sobre el sustrato, o que las intrusiones tonalíticas de éste conformen la máxima altura de la zona (467 m, en el sureste de Los Haitises, en la denominada Loma Clara), debe interpretarse como que la sedimentación plioceno-pleistocena se ha realizado sobre un paleorrelieve tallado en el sustrato. Las intrusiones tonalíticas, más resistentes a la erosión, conformarían las partes más elevadas de este paleorrelieve (a manera de montes-islas). Después, la sedimentación de las margas rellenó las zonas más deprimidas del paleorrelieve y, posteriormente, las calizas lo hicieron sobre una zona más plana (el techo de las margas), de la que aún sobresaldrían algunos relieves tonalíticos.

La estratigrafía y litología de la zona se completan con la presencia de depósitos cuaternarios (aluviales -Qcg-, fondos de valle -Qa-, terrazas, etc.) relacionados con las redes fluviales mencionadas anteriormente. Los más importantes son los de la cuenca del río Yuna, que limitan por el norte y oeste las calizas de Los Haitises. Al sur de las mismas se encuentran los depósitos de los ríos Yabacao y Ozama.

6.3. ESTRUCTURA TECTÓNICA.

En el sustrato, las rocas magmáticas y volcano-sedimentarias (RVS) se presentan con vergencias generalizadas hacia el SSO, es decir, inclinadas hacia el NNO, mientras que para las intrusiones tonalíticas se estima una estructura masiva, con diaclasado de importancia variable.

La caliza de Los Haitises y su tramo margoso basal presentan una estructura tabular ligeramente inclinada hacia NNO, lo que hace que su base sea observable al sur de las mismas. Hacia el norte y oeste, su disposición inclinada hace que queden finalmente recubiertas por los depósitos cuaternarios de la red fluvial del Yuna. Hacia el norte quedan, además, limitadas por una fractura E-O reciente, cuya cuantía de salto es difícil de precisar. Esta fractura debe conformar, asimismo, la línea costera de la bahía de Samaná, al norte de las calizas pliocenas.

En la figura 6.2 se pueden ver cuatro cortes geológicos realizados para esta unidad en la que se aprecia la estructura de la unidad. La orientación de dichos cortes queda reflejada en el mapa geológico de la unidad (figura 6.1).

6.4. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS.

Las calizas de Los Haitises conforman una zona elevada y cárstificada, entre las cuencas de los ríos Yabacao-Ozama (al sur), Yabón (al este) y Yuna (al norte y oeste). Aunque erosionada y cárstificada, la parte superior de las calizas se inclina hacia el NNO, al igual que la estructura tabular que definen. De esta forma, las máximas altitudes de las mismas se encuentran próximas a su borde sur.

Las cabeceras de los ríos de la cuenca Yabacao-Ozama (vertiente al sur de la isla) y del Yabón (vertiente al norte, a la bahía de Samaná) comienzan en la parte basal de las calizas de Los Haitises o en su tramo margoso basal, y atraviesan, después, los materiales del sustrato. Para ambos, por tanto, las calizas de Los Haitises conforman las zonas más elevadas de sus cuencas de recepción.

La cuenca del Yuna presenta un dispositivo distinto del de los anteriores ríos citados. El Yuna nace al sureste de las calizas de Los Haitises (PLC), en el sustrato, las rodea por su extremo occidental y después fluye hacia el este, al norte de las calizas, hacia la bahía de Samaná. Un afluente suyo por su margen derecha, el río Payabo-Ara, nace también al sur de las calizas, en el sustrato de baja permeabilidad formado por las rocas volcano-sedimentarias (RVS), y después las atraviesa en sentido sur-norte, antes de confluir con el Yuna. La intensa karstificación de las calizas de Los Haitises propicia, además, la existencia de algunos cursos fluviales que naciendo al sur de las mismas, desaparecen al llegar a ellas, circulando el agua de forma endocárstica: el ejemplo más notable es el río Cevicos, en la parte occidental del macizo calcáreo.

Figura 6.3. Bloque diagrama de la topografía de Los Haitises



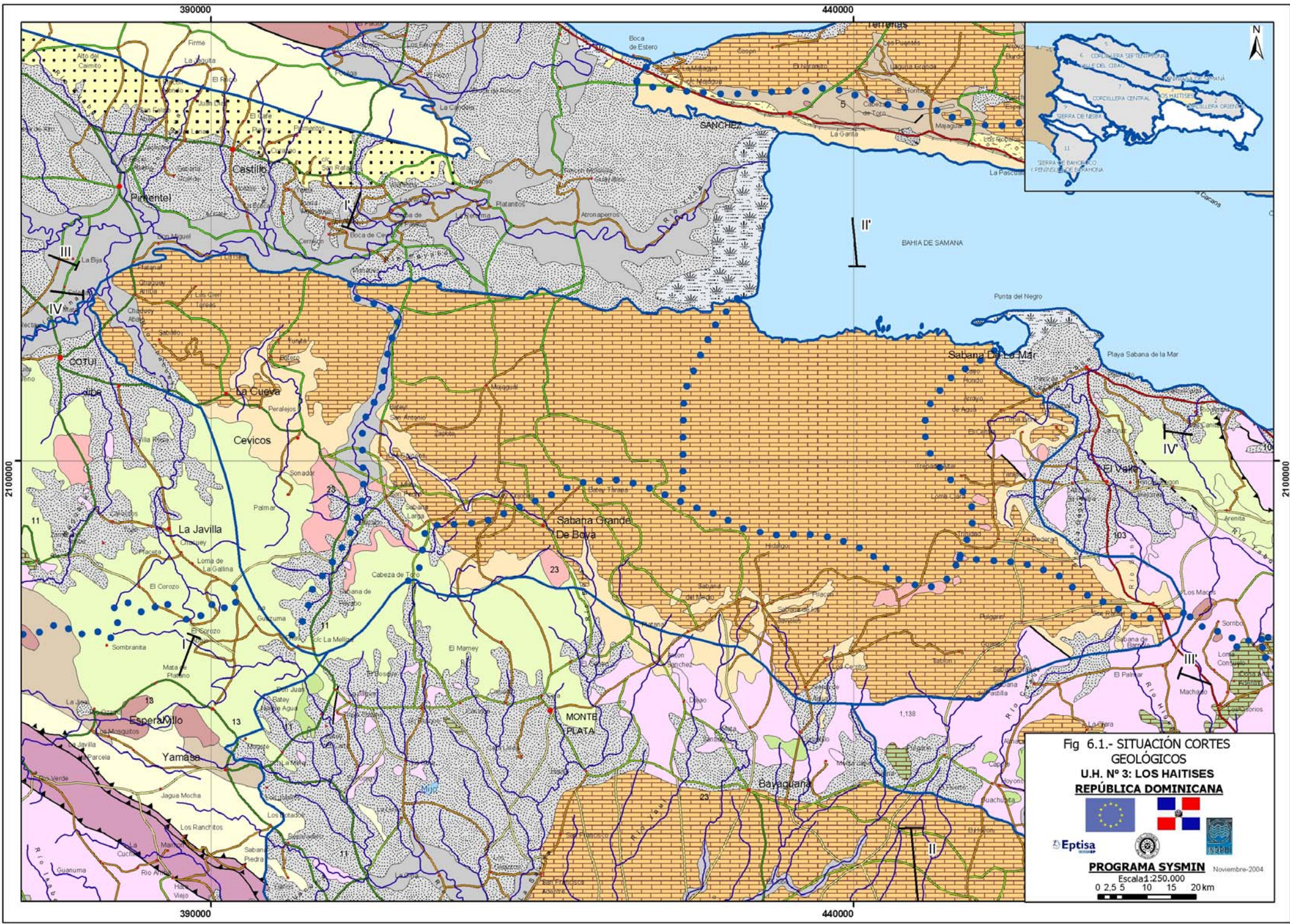


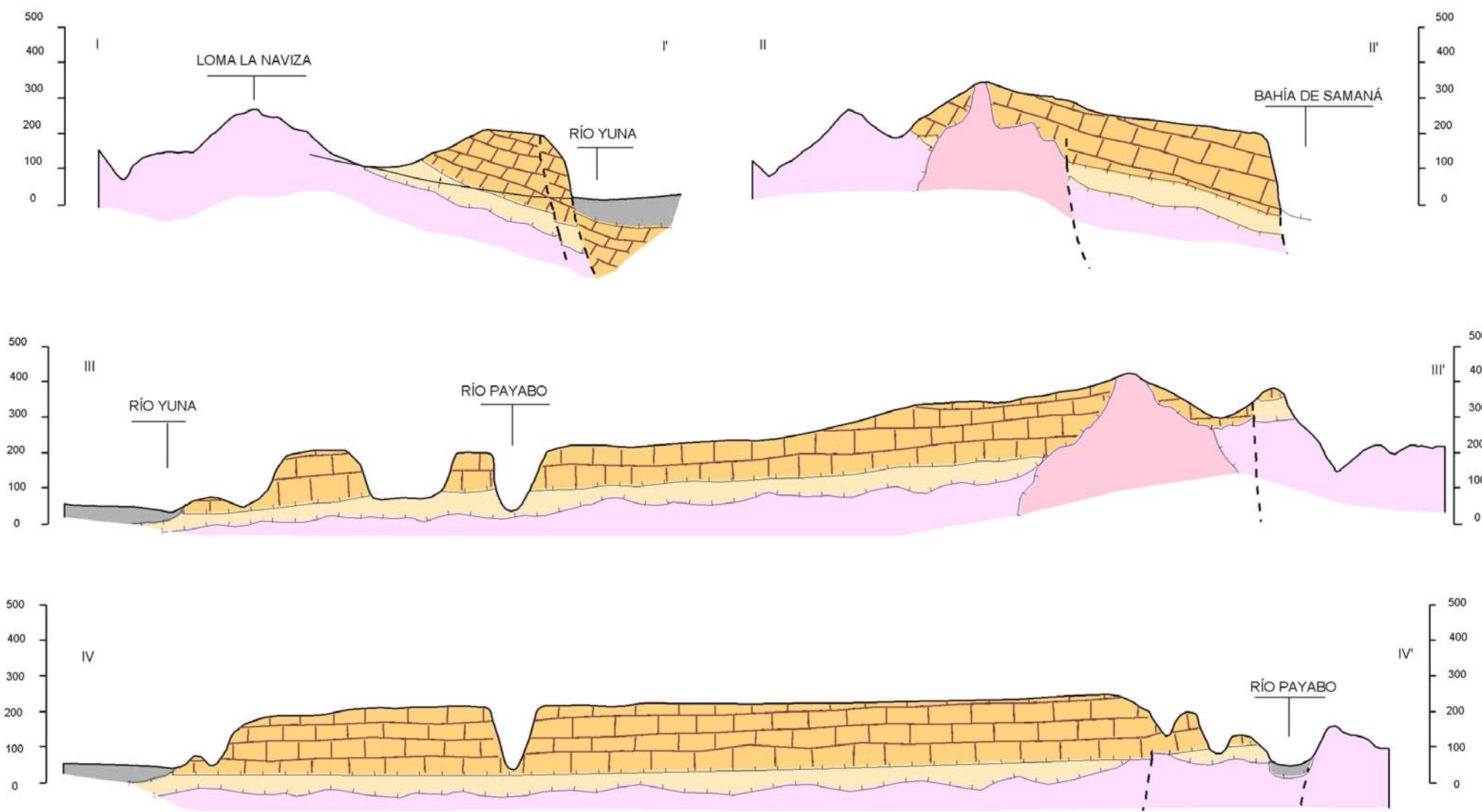
Fig 6.1.- SITUACIÓN CORTES GEOLÓGICOS U.H. N° 3: LOS HAITISES REPÚBLICA DOMINICANA



PROGRAMA SYSMIN Noviembre-2004

 Escala 1:250,000

 0 2.5 5 10 15 20 km



- | | | |
|-----------------------------|-------------------------------|----------------------------|
| CUATERNARIO PLEISTOCENO | ROCAS VOLCANO SEDIMENTARIAS | ROCAS PLUTÓNICAS: GRANITOS |
| MARGAS Y YESOS DEL PLIOCENO | CALIZAS ARRECIFALES PLIOCENAS | |
| Falla | Falla normal | Anticinal |
| Falla supuesta | Contacto | Rumbo |

Escala horizontal 1: 250,000

Fig. 6.2.- CORTES GEOLÓGICOS
 U.H. N° 3: LOS HAITISES
 REPÚBLICA DOMINICANA

PROGRAMA SYSMIN Noviembre-2004

7. HIDROGEOLOGÍA

7.1. MARCO HIDROGEOLÓGICO

La Unidad o Zona Hidrogeológica n° 3: Los Haitises, se sitúa en el sector centro oriental del país y corresponde con las estribaciones más septentrionales y de naturaleza carbonatada de la Sierra de Seibo, en los que se ha desarrollado un proceso de karstificación avanzado.

Constituye una zona de tránsito entre las Unidades o Zonas Hidrogeológicas n° 6: Valle de Cibao y la n° 2: Cordillera Oriental, aunque con unas características morfológicas especialmente particulares, como es su relieve en forma de cerros o mogotes de unos 30 a 40 metros de altura, con altitudes medias próximas a los 200 m.s.n.m.

Su particular geomorfología también le confieren unas características muy peculiares, que condicionan importantemente su funcionamiento hidrogeológico. Cabría destacar la existencia de dos tipos de morfologías: una externa, con dolinas, corredores y valles, y otra interna, con cavidades, algunas de ellas de grandes dimensiones, como las del litoral, que dan lugar a dos tipos de unidades fisiográficas, la Unidad de Páramos calcáreos carstificados, de edad Plio-Pleistocena (se distribuye prácticamente por toda la unidad, excepto en su sector meridional oeste), que viene representada por un importante desarrollo de mogotes, dolinas y corredores, y la Unidad de Sabana Grande de Boyá (en el sector meridional oeste de la unidad), constituida por los mismos materiales que la unidad anterior, pero con un desarrollo cárstico más avanzado, dando un relieve llano y ligeramente ondulado.

7.2. DEFINICIÓN GEOMÉTRICA DE LA UNIDAD: SUBZONAS Y NIVELES ACUÍFEROS.

Los límites hidrogeológicos de esta unidad o zona hidrogeológica y, dentro de ella, los de sus subzonas de funcionamiento y niveles acuíferos, se han definido de acuerdo con los siguientes criterios básicos:

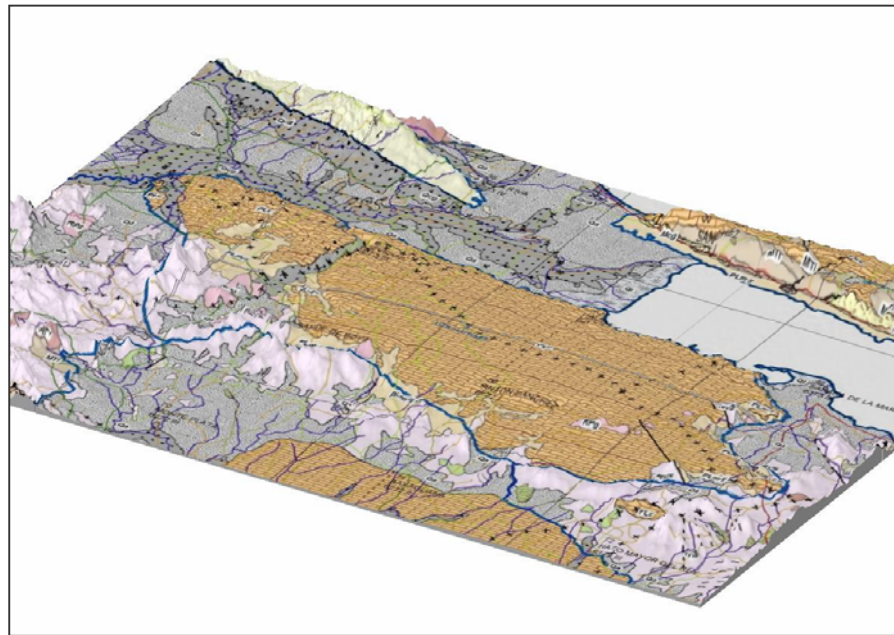
- Definir límites de la unidad y de sus subzonas en función de criterios eminentemente prácticos de funcionamiento hidrogeológico (recarga, descarga y balance hídrico) y de posible explotación de sus recursos.
- Hacer coincidir, siempre que ha sido posible, los citados límites con contactos o barreras hidrogeológicas, dando prioridad a las negativas (límites estancos o cerrados)

Estudio Hidrogeológico Nacional de la República Dominicana Fase II. Unidad Hidrogeológica de Los Haitises

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 o subzonas hidrogeológicas del tipo aluviales se han extendido a todo el afloramiento del depósito aluvial cuaternario.
- Diferenciar materiales por criterios de permeabilidad (estimativa y relativa) y de posible potencialidad de explotación de sus recursos.

Bloque diagrama hidrogeológico de la unidad hidrogeológica de Los Haitises



Con estos criterios de partida, se han establecido una nueva delimitación de la unidad, que alcanza una superficie total de 1823 km², de los cuales el 80.20% (unos 1462 km²) corresponden a materiales permeables y el resto (361 km²) a materiales de baja permeabilidad.

Asimismo, se han diferenciado dentro de los citados límites de la unidad cinco subzonas de funcionamiento hidrogeológico y cuatro 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 karstificación, 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 tres diferentes tipos de formaciones:

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

Qa: compuestos por depósitos de terrazas fluviales del Cuaternario. Alcanzan una superficie total de 70.22 km² (que suponen el 4.8% de la superficie total de materiales permeables y el 3.85% de la superficie total de la unidad) que se localizan en el cauce alto del río Payabo y del río Yabón y arroyo La Jagua. Sus litologías y su escasa cementación le confieren una permeabilidad alta y el que funcionen como un acuífero libre, del tipo detrítico y con permeabilidad primaria por porosidad intersticial.

Qal: compuestos por depósitos de conglomerados, arenas y molasas continentales del Cuaternario-Pleistoceno. Alcanzan una superficie total de 39.7 km² (que suponen el 2.7% de la superficie total de materiales permeables y el 2.18% de la superficie total de la unidad) que se localizan en su totalidad en los cauces de los ríos Payabo-Ara y Chacuey. Sus litologías y su escasa cementación le confieren una permeabilidad alta y el que funcionen como un acuífero libre, del tipo detrítico y con permeabilidad primaria por porosidad intersticial.

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

Ql: compuestos por depósitos de marismas y manglares de edad Cuaternario-Holoceno. Alcanzan una superficie mínima dentro del ámbito de esta unidad, de unos 0.29 km²

(que suponen el 0.02% de la superficie total de materiales permeables y el 0.016% de la superficie total de la unidad). Se localizan únicamente en el sector noreste de la unidad.

Formaciones con permeabilidad por fisuración-karstificación:

En este segundo grupo se ha distinguido un solo subgrupo y tipo de formación:

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

PLc: Formación de caliza arrecifal detrítica, muy karstificada y de edad Plioceno-Pleistoceno, conocida como la caliza de Los Haitises. Ocupa la mayor parte de la superficie de la unidad (unos 1,352 km², que suponen el 92% de la superficie total de materiales permeables y el 74.2% de la superficie total de la unidad) y su espesor (estimativo) puede ser del orden de 150 m. Por su avanzado grado de karstificación se le ha asignado una permeabilidad alta y constituye un acuífero libre, del tipo cárstico y con permeabilidad secundaria por fracturación/karstificación.

Estas calizas se disponen concordantemente sobre un tramo margoso (PLm-y), de baja permeabilidad y de edad pliocena, denominadas en la bibliografía como "margas basales de Los Haitises", que presentan un espesor variable, probablemente inferior a los 50 m., y a veces ausente, en cuyos casos, las citadas calizas arrecifales descansan sobre el sustrato basal de rocas volcánico-sedimentarias (RVS).

Tanto las calizas de Los Haitises (PLc, que constituyen el acuífero principal de la unidad) como sus margas basales (PLm-y), se presentan ligeramente inclinadas hacia el NNO, descansando sobre un sustrato cretácico de permeabilidad baja (RVS). Hacia el oeste y el norte, las citadas calizas entran en contacto (y quedan recubiertas, en algunos sectores) con los depósitos cuaternarios permeables (Qa y Qcg) de la cuenca del Yuna, y con el mar, en la bahía de Samaná.

En su parte sureste, las calizas de Los Haitises presentan afloramientos más elevados constituidos por tonalitas (RPg) del sustrato poco permeable, interpretables, como ya se comentó anteriormente, como paleorelieves ocultos por la sedimentación posterior de margas y calizas. En líneas generales, estos afloramientos se disponen alineadamente, de SO a NNE, lo que hace pensar que corresponden a una cresta o dorsal de tonalitas (de permeabilidad baja), casi totalmente enterrada, bajo las margas y calizas.

Estudio Hidrogeológico Nacional de la República Dominicana Fase II. Unidad Hidrogeológica de Los Haitises

En cuanto a las cinco subzonas de funcionamiento hidrogeológico definidas dentro de esta unidad, su distribución y principales características son las siguientes (Figura 7.2):

400000

450000

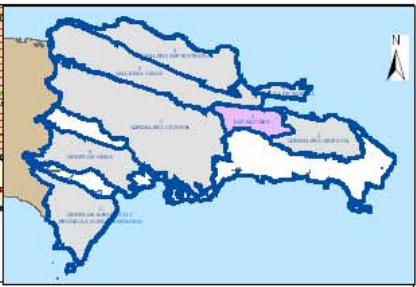
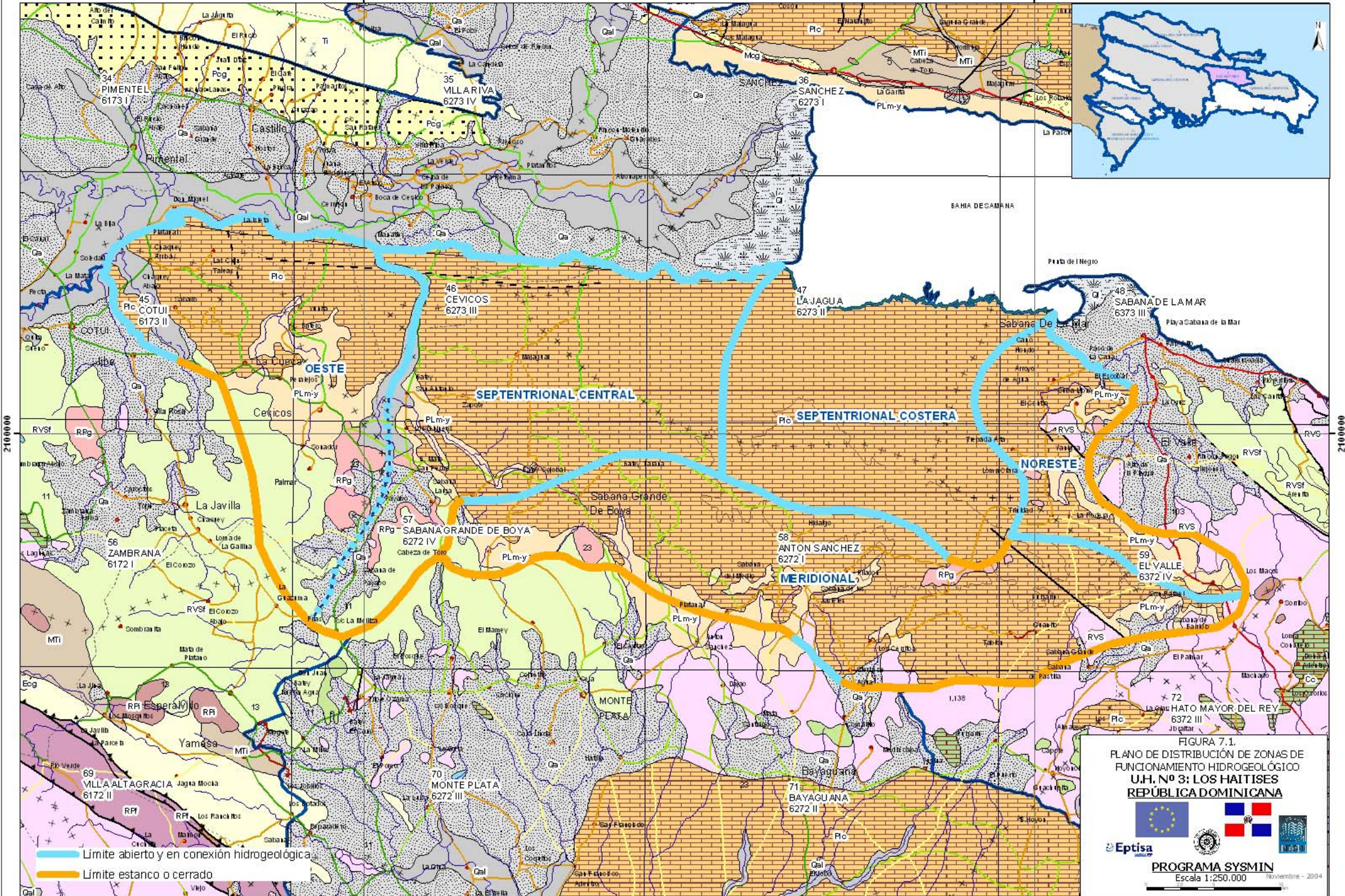


FIGURA 7.1.
 PLANO DE DISTRIBUCIÓN DE ZONAS DE
 FUNCIONAMIENTO HIDROGEOLOGÍCO
 U.H. Nº 3: LOS HAITISES
 REPÚBLICA DOMINICANA



PROGRAMA SYSMIN
 Escala 1:250,000
 Noviembre - 2004

400000

450000

2100000

2100000

Cuadro 7.2.1. Subzonas de funcionamiento hidrogeológico definidas dentro de la unidad hidrogeológica de Los Haitises

SUBZONAS HIDROGEOLÓGICAS	SUPERFICIES (km ²)		LÍMITES	NIVELES ACUÍFEROS
	Materiales permeables	Materiales de baja permeabilidad		
Oeste (Las Cien Tareas-Cotui)	231.17 km ²	143.71 km ²	<ul style="list-style-type: none"> - Norte y Oeste: abiertos y en contacto con los depósitos cuaternarios fluviales de los ríos Yuna y Chacuey - Este: abierto y en contacto con los depósitos cuaternarios fluviales del río Payabo-Ara - Sur: cerrado o estanco, debido a la presencia de materiales de baja permeabilidad: Plioceno (PLm-y), rocas plutónicas (RPg) y volcans sedimentarias (RVS) 	<ul style="list-style-type: none"> - PLc (179.19 km²) - Qal (28.27 km²) - Qa (23.71 km²)
Septentrional Central (La Marimba)	399.62 km ²	62.65 km ²	<ul style="list-style-type: none"> - Norte y Oeste: abiertos y en contacto con los depósitos cuaternarios fluviales de los ríos Yuna y Payabo-Ara. - Este: abierto y en continuidad geométrica y litológica con las calizas arrecifales de la Zona Septentrional Costera (Naranjo Abajo). - Sur: cerrado o estanco, debido a la presencia de un umbral de rocas plutónicas (tonalitas) que actúan de barrera subterránea. 	<ul style="list-style-type: none"> - PLc (362.13 km²) - Qal (11.45 km²) - Qa (26.04 km²)
Septentrional Costera (Naranjo Abajo)	341.19 km ²	0.63 km ²	<ul style="list-style-type: none"> - Norte: abierto y en contacto con el mar (Bahía de Samaná) - Oeste y Este: abiertos y en continuidad geométrica y litológica con las calizas arrecifales de las Zonas Septentrional Central y Noreste, respectivamente. - Sur: cerrado o estanco, debido a la presencia de un umbral de rocas plutónicas (tonalitas) que actúan de barrera subterránea. 	<ul style="list-style-type: none"> - PLc (341.05 km²) - Ql (0.14 km²)

Estudio Hidrogeológico Nacional de la República Dominicana Fase II. Unidad Hidrogeológica de Los Haitises

SUBZONAS HIDROGEOLÓGICAS	SUPERFICIES (km ²)		LÍMITES	NIVELES ACUÍFEROS
	Materiales permeables	Materiales de baja permeabilidad		
Noreste (Sabana de la Mar)	109.43 km ²	45.11 km ²	<p>- Noreste: abierto y en contacto con los depósitos cuaternarios fluviales del río Yabón.</p> <p>- Sureste: cerrado y estanco, debido a la presencia de materiales de baja permeabilidad: Plioceno (PLm-y), rocas plutónicas (RPg) y volcans sedimentarias (RVS).</p> <p>- Oeste y Sur: abierto y en continuidad geométrica y litológica con las calizas arrecifales de las zonas contiguas Septentrional Costera y Meridional, respectivamente.</p>	<p>- PLc (101.10 km²)</p> <p>- QI (0.15 km²)</p> <p>- Qa (8.18 km²)</p>
Meridional (Sabana Grande de Boyá-Los Limones-Loma Clara)	381.06 km ²	108.88 km ²	Norte: abierto y en continuidad geométrica y litológica con las calizas arrecifales de las zonas contiguas Septentrional Central, Septentrional Costera y Noreste.	<p>- PLc (368.80 km²)</p> <p>- Qa (12.27 km²)</p>
TOTAL	1,462.47 km²	360.99 km²	-	<p>- PLc (1,352.3 km²)</p> <p>- QI (0.29 km²)</p> <p>- QaI (39.72 km²)</p> <p>- Qa (70.20 km²)</p>

7.3. INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA

7.3.1. Análisis de datos existentes

La información de partida asociada al inventario de puntos de agua de la Unidad Hidrogeológica de Los Haitises 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 manantiales, lagunas y pozos de poca profundidad, realizadas tanto por personal del INDRHI como por las personas que han participado en la realización de los mapas geológicos de la zona.

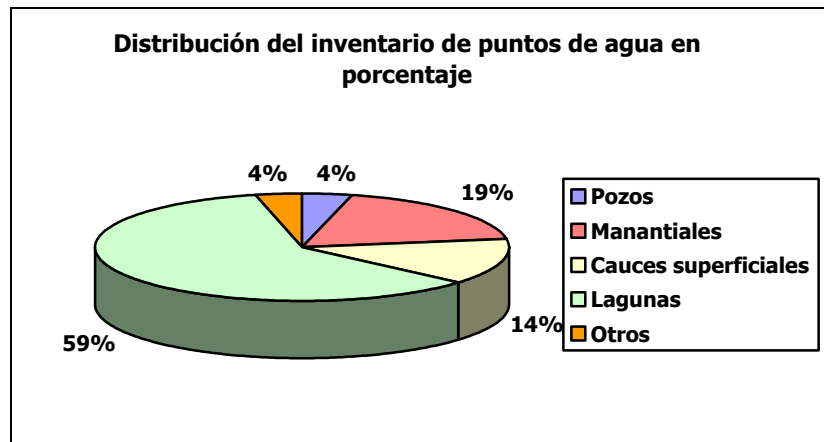
En cuanto a la existencia de un registro físico de la información (ya sea en papel, o en formato digital), no se tiene constancia de que haya informes o bases de datos de la zona que incluyan inventario exhaustivo de puntos de agua. Así pues, no se ha podido realizar análisis de datos existentes, por lo que la práctica totalidad de puntos inventariados dentro de la unidad son 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 aguas realizado en esta unidad, se ha llevado a cabo durante los dos primeros trimestres del presente proyecto (junio a diciembre de 2003).

La ausencia de inventario previo dentro de los límites de esta unidad hidrogeológica conlleva a que todos los puntos utilizados en este estudio sean de nuevo inventario. En total, se han inventariado 92 puntos de agua, cuya distribución según la naturaleza del punto es la siguiente:

- 10 pozos.
- 15 manantiales.
- 46 lagunas de descarga o zonas de encharcamiento (ciénagas).
- 18 cauces superficiales relacionados con el funcionamiento hidrogeológico de la unidad.
- 3 otras naturalezas.



Las características fisiográficas de esta unidad provocan que la mayor parte de su superficie sea prácticamente inaccesible, existiendo unas infraestructuras viarias mínimas, y unos núcleos de población muy reducidos y situados mayoritariamente en los bordes de la misma. Asimismo, la abundante vegetación y el marcado paisaje kárstico, unido a que la práctica totalidad de la unidad se encuentra dentro de los límites del Parque Nacional Los Haitises, impide el desarrollo de actividades agrícolas y ganaderas de importancia, existiendo únicamente pequeños núcleos de estas actividades en las llanuras de inundación de algunos ríos que atraviesan la unidad, como el Cevicos o el Ara, o en los bordes de la misma, donde el paisaje kárstico y la vegetación se muestran de forma más atenuada.

Este hecho queda reflejado en la naturaleza de los puntos de agua inventariados, siendo en su mayoría puntos claramente asociados a paisajes de tipo kárstico (lagunas y manantiales), y existiendo muy pocos puntos artificiales (pozos, sondeos...).

A falta de otros tipos de puntos de agua, se ha creído conveniente el inventariar el gran número de lagunas y zonas de encharcamiento existentes, ya que, aunque no posean uso alguno, aportan una gran información para localizar las zonas de descarga preferenciales, así como los niveles piezométricos a las que se producen las mismas, lo que va resultar fundamental a la hora de poder determinar direcciones de flujo subterráneo y cotas de descarga. La mayor parte de estas lagunas se encuentran en zonas de muy difícil acceso, por lo que para inventariarlas se han utilizado los planos topográficos de la zona a escala 1:50.000, pudiendo obtener únicamente sus coordenadas geográficas, cota y paraje. Además se han inventariado un total de 18 puntos de agua cuya naturaleza son cauces superficiales relacionados con el funcionamiento hidrogeológico de la unidad, y que se encuentran incluidos dentro de la red de aforos controlada en este proyecto. Estos puntos aportan una gran información a la hora de caracterizar la unidad hidrogeológica, ya que, mediante su análisis y comparación (en los aforos

Estudio Hidrogeológico Nacional de la República Dominicana Fase II. Unidad Hidrogeológica de Los Haitises

diferenciales) se controlan las zonas preferenciales de recarga y descarga, así como los volúmenes de las mismas.

La distribución según usos de los puntos de agua inventariados es la siguiente:

- 11 Abastecimiento doméstico (10 pozos y 1 manantial)
- 2 Abastecimiento a núcleos urbanos (2 manantiales)
- 1 Abastecimiento y ganadería (1 manantial)
- 8 Usos ecológicos (8 manantiales)
- 70 Sin uso o desconocido (46 lagunas, 18 cauces superficiales, 3 manantiales y 3 otros)

En cuanto a la distribución de puntos de agua por hojas topográficas 1:50.000 queda de la siguiente forma:

Cuadro 7.3.1. Distribución de puntos de agua por hojas topográficas 1:50.000

Nº Hoja	Nombre Hoja	Manantial	Pozo	Cauce Superficial	Laguna	Otros	Total
6173 II	Cotui		7	1			8
6272 I	Antón Sánchez	5	1	3	37		46
6272 IV	Sabana Grande de Boya			1			1
6273 II	La Jagua	9	1		1	1	12
6273 III	Cevicos		1	10	3		14
6372 IV	El Valle			3	5	1	9
6373 III	Sabana de la Mar	1				1	2

En la siguiente tabla 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.

Cuadro 7.3.2. Principales características de los puntos de agua inventariados en la unidad hidrogeológica de Los Haitises

CodPunto	Hoja 1:50000	Hoja topográfica	Coord. X	Coord. Y	Cota	Naturaleza	Uso
6172150001	6272 I	Antón Sánchez	431630	2089381	198	LAGO	
6173250029	6173 II	Cotui	385370	2105934	126	POZO	ABASTECIMIENTO (DOMESTICO)
6173250030	6173 II	Cotui	385403	2105899	74	POZO	ABASTECIMIENTO (DOMESTICO)
6173250031	6173 II	Cotui	385392	2105958	48	POZO	ABASTECIMIENTO (DOMESTICO)
6173250032	6173 II	Cotui	385403	2106007	98	POZO	ABASTECIMIENTO (DOMESTICO)
6173250033	6173 II	Cotui	385430	2105997	70	POZO	ABASTECIMIENTO (DOMESTICO)
6173250034	6173 II	Cotui	385798	2106007	61	POZO	ABASTECIMIENTO (DOMESTICO)
6173250035	6173 II	Cotui	387812	2105295		CAUCE SUPERFICIAL	
6173260001	6173 II	Cotui	388745	2104742	73	POZO	ABASTECIMIENTO (DOMESTICO)
6272110001	6272 I	Antón Sánchez	421093	2095856	190	LAGO	
6272120001	6272 I	Antón Sánchez	438355	2091635	237	MANANTIAL	ABASTECIMIENTO A NÚCLEOS URBANOS
6272140001	6272 I	Antón Sánchez	428548	2086750	190	POZO	ABASTECIMIENTO (DOMESTICO)
6272140002	6272 I	Antón Sánchez	429000	2089600	200	MANANTIAL	
6272140003	6272 I	Antón Sánchez	427050	2089150	257	LAGO	
6272140004	6272 I	Antón Sánchez	428553	2087649	195	LAGO	
6272140005	6272 I	Antón Sánchez	427808	2088435	210	LAGO	
6272140006	6272 I	Antón Sánchez	428684	2091078	180	LAGO	
6272140007	6272 I	Antón Sánchez	427042	2089107	170	LAGO	
6272140008	6272 I	Antón Sánchez	429227	2088649	190	LAGO	
6272140009	6272 I	Antón Sánchez	429825	2088088		CAUCE SUPERFICIAL	
6272150001	6272 I	Antón Sánchez	431961	2090530	195	LAGO	
6272150002	6272 I	Antón Sánchez	435248	2085454	152	CAUCE SUPERFICIAL	
6272150003	6272 I	Antón Sánchez	430067	2088917	182	MANANTIAL	ABASTECIMIENTO A NÚCLEOS URBANOS
6272150004	6272 I	Antón Sánchez	430178	2087412	170	MANANTIAL	ABASTECIMIENTO (DOMESTICO)
6272150005	6272 I	Antón Sánchez	431115	2088252	195	MANANTIAL	ABASTECIMIENTO Y GANADERÍA
6272150006	6272 I	Antón Sánchez	431798	2088252	198	LAGO	
6272150007	6272 I	Antón Sánchez	433814	2088288	197	LAGO	

Estudio Hidrogeológico Nacional de la República Dominicana Fase II. Unidad Hidrogeológica de Los Haitises

CodPunto	Hoja 1:50000	Hoja topográfica	Coord. X	Coord. Y	Cota	Naturaleza	Uso
6272150008	6272 I	Antón Sánchez	431519	2089553	195	LAGO	
6272150009	6272 I	Antón Sánchez	430001	2087418		LAGO	
6272150010	6272 I	Antón Sánchez	435393	2089334	194	LAGO	
6272150011	6272 I	Antón Sánchez	436208	2088633	196	LAGO	
6272150012	6272 I	Antón Sánchez	437166	2089413	195	LAGO	
6272150013	6272 I	Antón Sánchez	437755	2088781	200	LAGO	
6272150014	6272 I	Antón Sánchez	437370	2088477	200	LAGO	
6272150015	6272 I	Antón Sánchez	437339	2087970	197	LAGO	
6272150016	6272 I	Antón Sánchez	437298	2087694	196	LAGO	
6272150017	6272 I	Antón Sánchez	436786	2087628	198	LAGO	
6272150018	6272 I	Antón Sánchez	436322	2087324	198	LAGO	
6272150019	6272 I	Antón Sánchez	437475	2084665	158	LAGO	
6272150020	6272 I	Antón Sánchez	432443	2090395	190	LAGO	
6272150021	6272 I	Antón Sánchez	431514	2089367	190	LAGO	
6272150022	6272 I	Antón Sánchez	431947	2089308	200	LAGO	
6272150023	6272 I	Antón Sánchez	431631	2089194	195	LAGO	
6272150024	6272 I	Antón Sánchez	431699	2088946	198	LAGO	
6272150025	6272 I	Antón Sánchez	434248	2088335	195	LAGO	
6272150026	6272 I	Antón Sánchez	434117	2087676	195	LAGO	
6272150027	6272 I	Antón Sánchez	438519	2084964		CAUCE SUPERFICIAL	
6272160001	6272 I	Antón Sánchez	441139	2084634	200	LAGO	
6272160002	6272 I	Antón Sánchez	441296	2084490	197	LAGO	
6272160003	6272 I	Antón Sánchez	442390	2084525	180	LAGO	
6272160004	6272 I	Antón Sánchez	443183	2083003	178	LAGO	
6272160005	6272 I	Antón Sánchez	446025	2084752	220	LAGO	
6272160006	6272 I	Antón Sánchez	445913	2083721	195	LAGO	
6272160007	6272 I	Antón Sánchez	445852	2082881	195	LAGO	
6272450001	6272 IV	Sabana Grande de Boya	420457	2084486		CAUCE SUPERFICIAL	

Estudio Hidrogeológico Nacional de la República Dominicana Fase II. Unidad Hidrogeológica de Los Haitises

CodPunto	Hoja 1:50000	Hoja topográfica	Coord. X	Coord. Y	Cota	Naturaleza	Uso
62732	6273 II	La Jagua	444789	2108716		MANANTIAL	ECOLÓGICOS
6273210002	6273 II	La Jagua	423020	2111571	25	LAGO	
6273220001	6273 II	La Jagua	431252	2111435	41	MANANTIAL	ECOLÓGICOS
6273220002	6273 II	La Jagua	430838	2112280	264	MANANTIAL	ECOLÓGICOS
6273230001	6273 II	La Jagua	439910	2110050	4	MANANTIAL	ECOLÓGICOS
6273230002	6273 II	La Jagua	441646	2110090	39	MANANTIAL	ECOLÓGICOS
6273250001	6273 II	La Jagua	433846	2109686		MANANTIAL	ECOLÓGICOS
6273250002	6273 II	La Jagua	433959	2109898	6	MANANTIAL	ECOLÓGICOS
6273250003	6273 II	La Jagua	434306	2109571	22		
6273250004	6273 II	La Jagua	434371	2109530		MANANTIAL	ECOLÓGICOS
6273260002	6273 II	La Jagua	444181	2109140		MANANTIAL	
6273310001	6273 III	Cevicos	396643	2114860	30	LAGO	
6273310003	6273 III	Cevicos	401646	2114966		CAUCE SUPERFICIAL	
6273310004	6273 III	Cevicos	401891	2114560		CAUCE SUPERFICIAL	
6273310005	6273 III	Cevicos	399360	2115225		CAUCE SUPERFICIAL	
6273320001	6273 III	Cevicos	407637	2115713		CAUCE SUPERFICIAL	
6273320002	6273 III	Cevicos	408636	2117233		CAUCE SUPERFICIAL	
6273320003	6273 III	Cevicos	410601	2116003		CAUCE SUPERFICIAL	
6273330042	6273 III	Cevicos	419576	2115380		CAUCE SUPERFICIAL	
6273330043	6273 III	Cevicos	420028	2114332		CAUCE SUPERFICIAL	
6273340001	6273 III	Cevicos	399413	2102479	115	POZO	ABASTECIMIENTO (DOMESTICO)
6273340002	6273 III	Cevicos	403289	2102037		CAUCE SUPERFICIAL	
6273340003	6273 III	Cevicos	396441	2102056		CAUCE SUPERFICIAL	
6273350001	6273 III	Cevicos	412354	2106408		LAGO	
6273350002	6273 III	Cevicos	411442	2105346	185	LAGO	
6372210001	6273 II	La Jagua	422925	2111330	60	POZO	ABASTECIMIENTO (DOMESTICO)
6372410001	6372 IV	El Valle	448760	2098117	195	LAGO	
6372410002	6372 IV	El Valle	450322	2099751	96		

Estudio Hidrogeológico Nacional de la República Dominicana Fase II. Unidad Hidrogeológica de Los Haitises

CodPunto	Hoja 1:50000	Hoja topográfica	Coord. X	Coord. Y	Cota	Naturaleza	Uso
6372410003	6372 IV	El Valle	450655	2096459	230	LAGO	
6372410004	6372 IV	El Valle	455213	2097436		CAUCE SUPERFICIAL	
6372410006	6372 IV	El Valle	450418	2096145	240	LAGO	
6372410007	6372 IV	El Valle	451144	2095025	240	LAGO	
6372450001	6372 IV	El Valle	458255	2088254	290	LAGO	
6372450002	6372 IV	El Valle	458892	2086043		CAUCE SUPERFICIAL	
6372450004	6372 IV	El Valle	459553	2089257		CAUCE SUPERFICIAL	
6373340002	6373 III	Sabana de la Mar	448670	2101503	162		
6373340003	6373 III	Sabana de la Mar	449053	2101714	91	MANANTIAL	

7.4. PARÁMETROS HIDRÁULICOS

La información disponible sobre parámetros hidráulicos de la U.H. de Los Haitises 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 zona de Los Haitises, el material más permeable (además de los depósitos cuaternarios) es la caliza plio-pleistocena (PLc). Su alto grado de cárstificación y las formas cársticas que desarrolla (dolinas, sumideros, emergencias, etc., comentadas en apartados posteriores) le asignan una permeabilidad alta, de tipo secundario por karstificación.

Las margas infrayacentes (PLm-y) actúan como en nivel de base del aparato cárstico calizo suprayacente, por lo que se le ha supuesto un comportamiento de baja permeabilidad.

El sustrato cretácico volcano-sedimentario (RVS e IT) se supone también de permeabilidad generalmente baja (existe un embalse en el Yuna sobre estos materiales). Estos materiales volcano-sedimentarios podrán tener una cierta permeabilidad será por fisuración, exclusivamente.

Por último, a los depósitos cuaternarios se les han asignado permeabilidades de alta a muy altas, 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 conglomerados, arenas y molasas continentales (Qcg) se le ha asignado una permeabilidad alta, a los depósitos de marismas y manglares (Ql) una permeabilidad media-baja, y a las terrazas fluviales (Qa) una permeabilidad alta.

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 del total de puntos inventariados en la Unidad Hidrogeológica, únicamente existen 10 pozos de escasa profundidad (cuando se diseñó la red de piezometría sólo existían tres pozos inventariados) en la que se

pueden tomar medidas de nivel piezométrico. Además, estos puntos se encuentran situados próximos a los límites de la unidad, por lo que va a existir una gran laguna de información del nivel piezométrico regional de la Unidad Hidrogeológica, subsanada en parte por la cota de los niveles marcados por las lagunas y manantiales inventariados. No obstante, estos puntos no van a reflejar las oscilaciones piezométricas mensuales, asociadas al aumento o descenso de las precipitaciones.

De esta manera la red piezométrica definida para esta unidad está constituida por dos puntos de control (6372210001 y 6273340001), situados en distintos subsectores dentro de la Unidad Hidrogeológica (Laguna Cristal y Cevicos respectivamente). Sin embargo, en el punto de control del subsector Laguna Cristal, no se han podido realizar medidas en las sucesivas campañas de piezometría por estar el pozo deteriorado, con lo que sólo se tiene el dato de nivel de la primera campaña. En el siguiente cuadro quedan reflejados los niveles máximos, mínimos y medios en metros sobre el nivel del mar para el subsector Cevicos.

CodPunto	Subsector	Máx Nivel	Mín Nivel	Nivel Medio
6273340001	Cevicos	110.80	105.20	107.71

El punto de control del subsector Cevicos se encuentra situado muy próximo a la población de Cevicos, en el contacto entre los materiales carbonatados y el aluvial del río Cevicos.

Además de medir los niveles piezométricos, para cada una de las campañas se han tomado medidas *in situ* de Conductividad y de pH, tal y como quedan reflejados en el siguiente cuadro:

Codpunto	Temp. Aire			Temp. Agua			Conductividad			pH		
	Máx	Mín	Medio	Máx	Mín	Medio	Máx	Mín	Medio	Máx	Mín	Medio
6273340001	32	25	28.00	28	25	26.45	0.18	0.08	0.13	9.9	7.2	7.85

7.6. RELACIÓN CON UNIDADES CONTIGUAS

De acuerdo con la distribución de unidades hidrogeológicas establecidas por el PLANIACAS (1989), las unidades hidrogeológicas limítrofes con la U.H. nº 3: Los Haitises, son las siguientes (Figura 4.5.3):

- Sector suroriental de la U.H. nº 6: Valle del Cibao.

Estudio Hidrogeológico Nacional de la República Dominicana Fase II. Unidad Hidrogeológica de Los Haitises

- Sector nororiental de la U.H. nº 7: Cordillera Central.
- Sector noroccidental de la U.H. nº 1: Planicie Costera Oriental.
- Sector occidental de la U.H. nº 2: Cordillera Oriental.

400000

450000

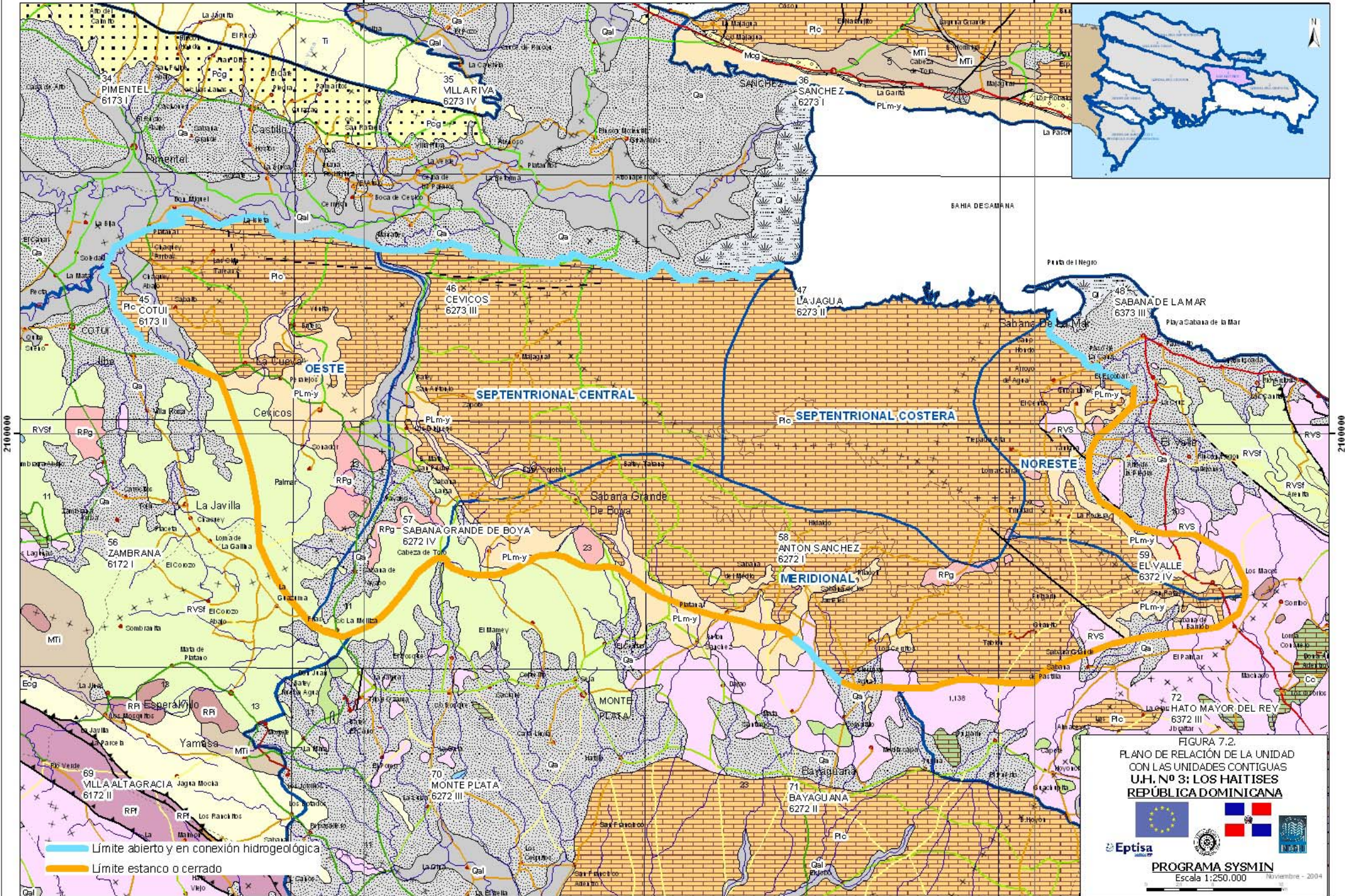


FIGURA 7.2.
 PLANO DE RELACION DE LA UNIDAD
 CON LAS UNIDADES CONTIGUAS
 U.H. N° 3: LOS HAITISES
 REPÚBLICA DOMINICANA

PROGRAMA SYSMIN
 Escala 1:250.000
 Noviembre - 2004

Desde el punto de vista hidrogeológico, y en función de los límites de funcionamiento definidos en apartados anteriores, la relación de dichas UU.HH. con la U.H. de Los Haitises es la siguiente:

- Todo el sector norte de la unidad (subunidades Oeste y Septentrional Central) se encuentra conectado hidráulicamente con el sector bajooriental de la U.H. del Valle del Cibao (subunidad del río Yuna) o directamente con el mar (subunidad Septentrional Costera). En general se trata de un borde abierto y de la principal zona de descarga de la unidad de Los Haitises, que se produce por medio de manantiales subaéreos surgentes a nivel de cauces epigeos del Valle del Cibao o al mar.

Los manantiales subaéreos surgentes a nivel de cauces epigeos responden, en su mayoría, a emergencias provocadas por las diaclasas de rotura formadas a consecuencia de la fractura de dirección E-O y que conforma la línea costera de la bahía de Samaná, al norte de las calizas pliocenas, y el contacto con los depósitos cuaternarios de la red fluvial del Yuna. Las diferentes emergencias que se producen en dicho frente son con circulación a presión hidrostática, al encontrarse por debajo de la superficie piezométrica virtual de las calizas. En estas zonas se identifican al menos una docena de sectores o puntos de emergencia, con creación de pequeñas lagunas o zonas de encharcamiento y de caños que terminan descargando al cauce del río Yuna o del Barracote. Dentro de este tipo de descargas cabría destacar, de oeste a este, las Ciénagas Grande y del Junco y la Laguna Colorada (salidas del sumidero del Cevico), Caño Pontón, Lagunas Arrequín y Colorado, Los Anegadizos, el arroyo Guaraguao, los caños del Limón y Barraquito, los arroyos El Cercado y el Vallecito, la Lagunita y el Caño Cristal, la Boca de Puerto Escondido y el Caño Dulce.

Por su parte, en el borde noreste de la unidad (subunidad Septentrional Costera) existen una serie de manantiales que descargan directamente al mar, cuya identificación es muy complicada, al no tener prácticamente acceso desde tierra y tener que realizarse éste únicamente desde el mar. Dentro de este grupo de manantiales o surgencias conectadas con el mar (y situadas prácticamente a la misma cota que el nivel del mar), se han localizado los ocho más importantes (aunque deben existir algunas más), que, de oeste a este, son las siguientes: Naranja Abajo, Caseta Naranja, Puerto el Coco, Caletón de Amado (o Puerto Amado), La Elvedera, Naranja Arriba, La Llaná y Manachita.

- El sector noroeste de la unidad (borde occidental de la subunidad Oeste) se encuentra conectado hidráulicamente con el borde nororiental de la unidad de la Cordillera Central

a través de los depósitos aluviales del río Maguaca (tributario, por la margen derecha, del río Yuna). El resto de la zona de contacto con el borde nororiental de la unidad de la Cordillera Central es cerrado o estanco, al estar constituido por materiales de baja permeabilidad (margas y yesos del Plioceno, rocas volcano-sedimentarias y rocas plutónicas).

- Por el borde meridional, la unidad de Los Haitises se encuentra prácticamente desconectada hidrogeológicamente del sector noroccidental de la unidad de la Planicie Costera Oriental, al ser, como en el caso anterior, cerrado o estanco, debido a los materiales de baja permeabilidad (margas y yesos del Plioceno, rocas volcano-sedimentarias y rocas plutónicas) que afloran y separan geométrica e hidráulicamente a lo materiales carbonatados (calizas pliocenas) de ambas unidades hidrogeológicas. No obstante de esta desconexión subterránea general, a nivel local si podría producirse una conexión puntual al sur de la Hoja de Antón Sánchez, entre el paraje de Los Cerritos y la Sierra del Agua, donde existe continuidad geométrica entre las calizas pliocenas (PLc) de Los Haitises y los depósitos de aluvial cuaternarios (Qa) de la cabecera del río Comate.
- Algo similar ocurre, por el borde oriental de la unidad de Los Haitises, en su zona de contacto con sector occidental de la unidad de la Cordillera Oriental. La presencia de materiales de baja permeabilidad (margas y yesos del Plioceno, rocas volcano-sedimentarias y rocas plutónicas) desconectan hidrogeológicamente ambas unidades, salvo en el sector noreste, donde los materiales carbonatados (calizas pliocenas) de Los Haitises entran en contacto geométrico e hidráulico con los depósitos de aluvial cuaternarios (Qa) de la margen izquierda de la cuenca baja del río Yabón. En dicha zona se localizan una serie de manantiales de muro, como son los casos de los de la Loma del Fresco y del Río Chiquito, emplazados a cotas comprendidas entre los 15 y los 10 m.s.n.m.
- Finalmente, en profundidad la U.H. de Los Haitises no presenta ningún tipo de conexión geométrica ni hidráulica con las unidades limítrofes, debido a que su substrato basal siempre está constituido por materiales de baja permeabilidad (margas y yesos del Plioceno, rocas volcano-sedimentarias y rocas plutónicas).

7.7. RELACIÓN CON CAUCES SUPERFICIALES

La red hidrológica relacionada con la unidad de Los Haitises está definida por tres ejes y sectores de descarga principales:

- El eje de distribución predominante SSO-NNE, localizado en el sector occidental de la unidad (zonas de Las Cien Tareas-Sabana Grande de Boya), en el cual los ríos que nacen fuera de la unidad (en el sector de La Naviza) se encajan en ella y la atraviesan en algunos sectores (río Payabo-Ara), mientras que en otros (caso del río Cevicos) se infiltran en las calizas y surgen nuevamente en su flanco norte (sector de El Atoro, Los Peinados y Guaraguao).
- El eje de distribución predominante N-S, localizado en el sector meridional de la unidad (zonas de Antón Sánchez- Los Limones), en el cual la red hidrográfica nace en el borde meridional de la unidad (en la zona de contacto entre las calizas pliocenas y las margas yesíferas de base) y descarga hacia la margen izquierda de la cuenca del río Ozama (ríos Boyá, Sabana y Comate), ya fuera de la unidad de Los Haitises.
- El eje de distribución predominante S-N, localizado en el sector oriental de la unidad (zonas de San Rafael, La Radera, Yanigua y Cuba Libre), en el cual la red hidrográfica nace en el borde la unidad y descarga en dirección suroeste-noreste y sur-norte, hacia la margen izquierda de la cuenca del río Yabón (río Yanigua y arroyo La Jagua).

Esta red de drenaje ha tenido una indudable incidencia en la geometría del acuífero, cuyas características más destacables son las siguientes:

La divisoria hidrográfica norte-sur sobre las calizas de Los Haitises se sitúa muy próxima al borde sur de éstas, estimándose que sólo menos del 20-25% de las mismas "pertenece" a la cuenca sur (Yabacao-Ozama). Ello, y el carácter inclinado hacia el NNO de las calizas, sugieren ya, en principio, que la mayor parte de los flujos subterráneos en las mismas irán dirigidos hacia el norte.

Ahora bien, el norte de la divisoria comprende realmente tres cuencas o "zonas" hidrógráficas, que, de oeste a este, son las siguientes:

- La del río Yuna y sus afluentes, los ríos Chacuey, Cevicos y Payabo-Ara (subzonas Oeste y Septentrional Central).
- Una parte centro-oriental del macizo calcáreo, que vierte al mar (subzona Septentrional Costera).
- El extremo oriental de las calizas, perteneciente a la cuenca del Yabón (subzona Noreste).

Estudio Hidrogeológico Nacional de la República Dominicana Fase II. Unidad Hidrogeológica de Los Haitises

La subzona Oeste se ve relacionada con dos ejes de descarga (Chacuey y Cevicos) que se generan aguas arriba de la unidad. El Chacuey atraviesa dicha subzona en dirección SSE-NNO y actúa como río drenante, sobre todo en su tramo bajo. Por su parte, el río Cévicos infiltra todo su caudal circulante en las calizas (base de las calizas y en su contacto con el substrato margoyesífero), en el sector occidental de la Hoja de Cevicos (6273 III), y, en concreto, entre los parajes de Primer Boca y Consumidero, en un claro ejemplo de forma de absorción abierta, del tipo sumidero. En su circulación subterránea a través de las calizas de esta subunidad drena o gana un caudal próximo a los 400 l/s (como media entre los meses de octubre de 2003 y septiembre de 2004), que descarga en el borde norte de la unidad (sector de La Alcantarilla).

En la subzona Septentrional Central se caracterizan porque las calizas de su sector occidental son atravesadas por el río Payabo (afluente del Yuna por su margen derecha), y porque contactan al oeste y al norte con los depósitos cuaternarios del Yuna. El río Payabo comienza a cortar la base de las calizas a unos 35 m de cota. Los depósitos cuaternarios del Yuna se encuentran a unos 40 m y a menos de 20 m (al oeste y al norte de la zona, respectivamente). Los puntos más bajos de las calizas se encuentran, por tanto, en su borde norte. Este río funcionará como un río drenante o ganador con respecto a la unidad de Los Haitises y por él (sobre todo por su tramo más bajo) se descargarán parte de los recursos subterráneos de la citada subzona (unos 3,000 l/s como media entre los meses de octubre de 2003 y septiembre de 2004).

La subzona Septentrional Costera desciende desde los 350-467 m.s.n.m. de la divisoria nortesur, hasta la cota del mar, en la bahía de Samaná. No existen cauces superficiales en dicha zona y la totalidad de su lluvia útil se infiltrará en las calizas, descargando directamente al mar, por medio de una serie de manantiales ya comentados anteriormente.

La subzona Noreste presenta una menor extensión y zona de recarga que el resto de las subzonas de la unidad. La base de las calizas desciende hacia el norte, desde los 200 hasta los 80 m.s.n.m., entrando después en contacto, a menos de 40 m de cota, con los depósitos cuaternarios del río Yabón. A través de dichos depósitos (y por los nacimientos de los ríos Yanigua y Lajagua) descargará del orden de los 1,200 l/s (como media entre los meses de octubre de 2003 y septiembre de 2004).

En la subzona Meridional, la base de las calizas se encuentra a cotas superiores a los 200 m.s.n.m. El carácter inclinado hacia el NNO de las calizas, y el hecho de que más del 75-80% de su superficie de recarga "corresponda" a las cuencas norte, sugieren que la mayor parte de los flujos subterráneos en las calizas irán dirigidos al norte. De la distribución de cotas descrita,

cabe suponer que las subzonas Oeste y Septentrional Central pueden ser equivalentes en superficie e importancia, siendo la Zona Noreste considerablemente menor.

También de la distribución de cotas y del carácter inclinado de las calizas se estima que la divisoria hidrográfica subterránea entre las subzonas Septentrional Costera y Meridional deberá encontrarse ligeramente desplazada hacia el sur, respecto de la superficial (salvo al este, donde los afloramientos culminantes de tonalitas de sustrato supondrán una barrera en profundidad a los flujos, y hará que ambas divisorias sean coincidentes). En el borde de esta subunidad (y en la zona de contacto entre las calizas pliocenas y el sustrato margo-yesífero) se generan una treintena de manantiales subaéreos (de muro) o emergencias tipo lagunas de descarga por encima del nivel de los cauces epigeos. En su mayoría se identifican en en la Hoja 6272 I, Antón Sánchez, y en los sectores de Sabana del Medio (lagunas de Los Mareys, Ortiz, Piedra, Sabaneta, Rincón Grande, Los Pomos, Sotero y Pesadiso), Sabana de los Javieles (lagunas de Cortadera, Sabaneta y los Flacos), Los Callejones (lagunas de Las Guarnas y Corralito) y Loma Clara-Los Callaillos (lagunas de Orlean, Clara, Los Hicacos y Prien). En dichos sectores se localizan con estructura de contacto o de nivel de base y se sitúan a cotas comprendidas entre los 180 y 250 m.s.n.m. (la mayoría alrededor de la cota 190-200 m.s.n.m.) y coincidentes con el contacto entre la base de las calizas arrecifales (PLc) y las margas yesíferas de base (PLm-y) o las rocas volcano-sedimentarias (RVS). Su circulación suele ser libre (típicos de Karst superficiales y muy evolucionados) y con emergencias múltiples o poliemergencias, que indican fisuración muy apretada.

8. CARACTERIZACIÓN HIDROQUÍMICA

El estudio de las características que presentan las aguas subterráneas de la unidad hidrogeológica 03. Los Haitises se ha llevado a cabo partiendo de los datos obtenidos en dos campañas de muestreo realizadas, entre noviembre de 2003 y diciembre de 2003 (primera campaña), y entre mayo y junio 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 5 puntos de muestreo en el sector sur de la unidad, que corresponden a descargas a través de lagunas y de ríos.

La red definitiva está formada por 14 puntos de control. En la figura 8.1. se observa la distribución espacial de los puntos de control y en el cuadro 8.1.1 se incluye una relación de los puntos de agua que constituyen la red de control hidroquímico en la unidad.

Cuadro 8.1.1. Puntos de la red de control hidroquímico en Los Haitises

Nº orden	Código	Naturaleza	Paraje	Municipio
20	6272140003	Lago	Laguna Macos	Sabana Del Estado
21	6272150003	Manantial	Nacimiento Río Sabana	Sabana Del Medio
22	6272150008	Lago	Laguna Rincon Grande	Sabana Del Medio
23	6272150002	Cauce Superficial	Río Comatillo	Sabana De Los Javieles
24	6272120001	Manantial	Nacimiento Arroyo Pilancon	Pilancón
44	6372210001	Pozo	Laguna Cristal	Villa Riva, Nagua
45	6273230001	Manantial	Los Haitises	Sabana De La Mar
46	6273250002	Manantial	Naranja Abajo	Sabana De La Mar
47	6273250004	Manantial	Puerto De Amado	Sabana De La Mar
48	6273230002	Manantial	Naranja Arriba	Sabana De La Mar
49	62732	Manantial	Puerto De La Llana	Sabana De La Mar
50	6273260002	Manantial	La Llanada	Sabana De La Mar
85	6173260001	Pozo	Cruce De Vasquez	Cotui
86	6273340001	Pozo	Cruce Mata De Jagua	Cevicos

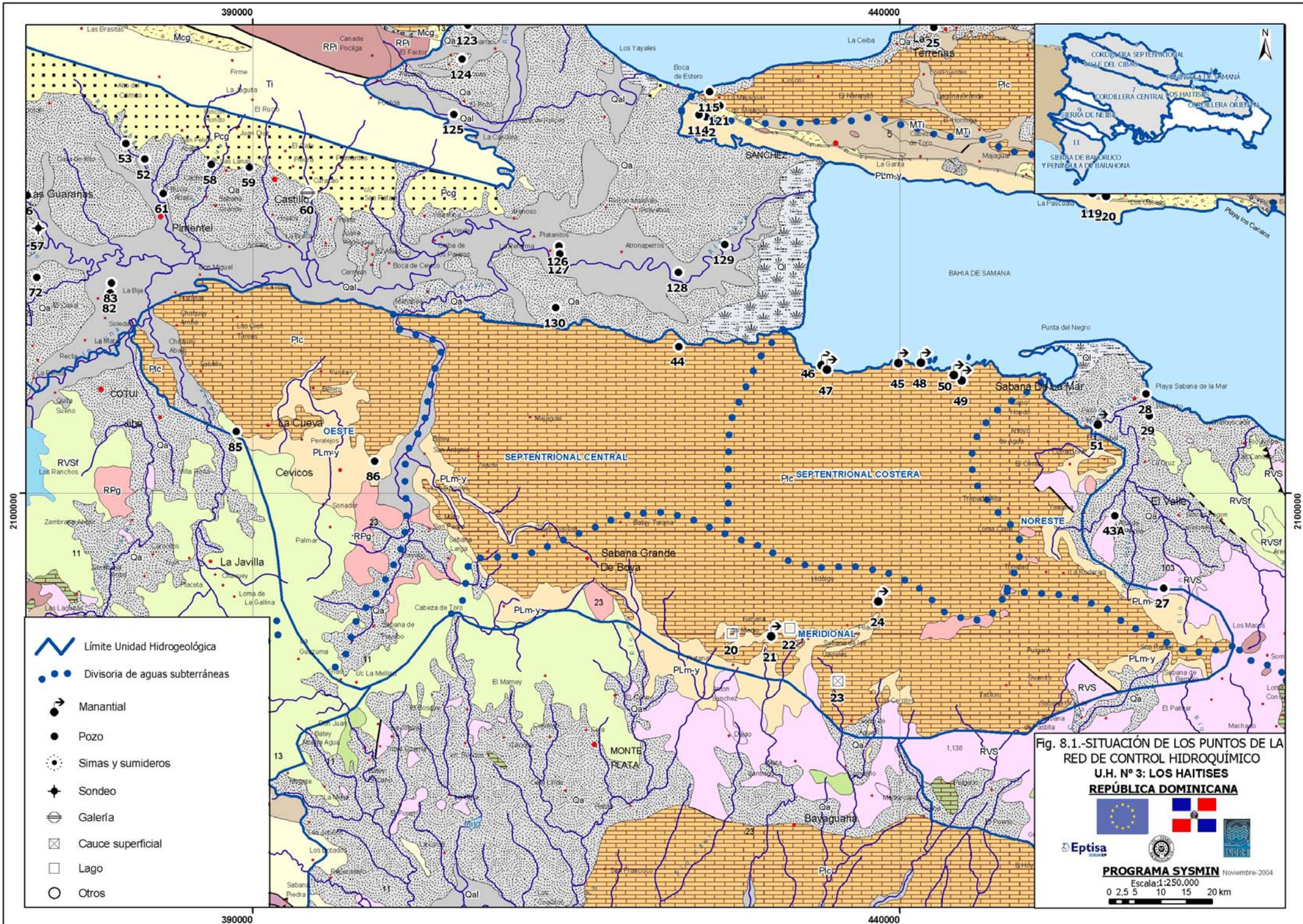


Fig. 8.1.-SITUACIÓN DE LOS PUNTOS DE LA RED DE CONTROL HIDROQUÍMICO U.H. N° 3: LOS HAITISES REPÚBLICA DOMINICANA

PROGRAMA SYSMIN Noviembre-2004

 Escala: 1:250,000

 0 2,5 5 10 15 20 km

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. CAMPAÑA 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 la recogida de muestras de agua 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 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 110 y 3030 microS/cm. El valor más alto corresponde a la muestra nº 49, procedente de un manantial situado en el municipio de Sabana de la Mar. El valor mínimo se registra en la muestra nº 22, procedente de la laguna de Rincón Grande, en Sabana del Medio, en el borde sur de la unidad.

En el caso de la temperatura, las aguas de la zona de estudio tienen valores que oscilan entre 21 y 26 °C, con un valor mínimo en las muestras números 47 y 50, en la Bahía de Samaná, y

Estudio Hidrogeológico Nacional de la República Dominicana Fase II. Unidad Hidrogeológica de Los Haitises

máximos en las muestras números 22, 85 y 86, correspondientes a puntos muestreados en las zonas sur y oeste de la unidad.

Por último, los valores de pH oscilan entre 6.3 y 8.8, con valores extremos en las muestras números 86 (en el municipio de Cevicos) y 23 (en Sabana de los Javieles), respectivamente.

Cuadro 8.2.1. Resultados de los análisis "in situ" de la 1ª campaña (UH. 03. Los Haitises)

Nº Orden	Código	Municipio	Fecha De Muestreo	Temp °C		Conduc (mS/cm)	pH
				Aire	Agua		
20	6272140003	Sabana Del Estado	24/11/2003	25	25	0,27	8,1
21	6272150003	Sabana Del Medio	24/11/2003	25	22	0,41	8
22	6272150008	Sabana Del Medio	24/11/2003	27	26	0,11	7,6
23	6272150002	Sabana De Los Javieles	24/11/2003	24	23	0,41	8,8
24	6272120001	Pilancón	24/11/2003	25	22	0,38	8
44	6372210001	Villa Riva, Nagua	05/12/2003	24	22	0,44	7,3
45	6273230001	Sabana De La Mar	05/12/2003			0,43	7,4
46	6273250002	Sabana De La Mar	05/12/2003	23	22	0,38	7,5
47	6273250004	Sabana De La Mar	05/12/2003	22	21	0,36	7,5
48	6273230002	Sabana De La Mar	05/12/2003	24	22	0,36	7,6
49	62732	Sabana De La Mar	05/12/2003			3,01	7,5
50	6273260002	Sabana De La Mar	05/12/2003	22	21	0,37	7,5
85	6173260001	Cotui	11/12/2003	28	26	0,80	7,3
86	6273340001	Cevicos	11/12/2003	27	26	0,19	6,3

8.2.2. Segunda campaña

La segunda campaña de muestreo hidroquímico se ha llevado a cabo entre mayo y junio 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 110 y 1240 microS/cm. El valor más alto corresponde a la muestra nº 49, procedente de un manantial situado en el municipio de Sabana de la Mar. El valor mínimo se registra en la muestra nº 86, procedente de un punto muestreado en el Cruce Mata de Jagua, en Cevicos.

En el caso de la temperatura, las aguas de la zona de estudio tienen valores que oscilan entre 21 y 31 °C, con un valor mínimo en la muestra número 50, en la Bahía de Samaná, y máximo en la muestra número 22, correspondiente a la Laguna Rincón Grande.

Estudio Hidrogeológico Nacional de la República Dominicana Fase II. Unidad Hidrogeológica de Los Haitises

Por último, los valores de pH oscilan entre 6.4 y 8.3, con valores extremos en las muestras números 86 (en el municipio de Cevicos) y 23 (en Sabana de los Javieles), respectivamente.

Cuadro 8.2.2. Resultados de los análisis "in situ" de la 2ª campaña (UH. 03. Los Haitises)

Codigo	Municipio	Fecha de muestreo	Temp °C		Cond (mS/cm)	pH
			Aire	Agua		
6272120001	Pilancón	10/06/2004	27	24	0,5	7,6
6272140003	Sabana Del Estado	10/06/2004	25	26	0,18	7,8
6272150002	Sabana De Los Javieles	10/06/2004	30	26	0,48	8,3
6272150003	Sabana Del Medio	10/05/2004	27	24	0,51	7,7
6272150008	Sabana Del Medio	10/06/2004	32	31	0,17	7,4
62732	Sabana De La Mar	04/05/2004	25	25	1.240	7,1
6273230001	Sabana De La Mar	04/05/2004	27	23	0,52	6,7
6273230002	Sabana De La Mar	04/05/2004	26	25	0,46	6,9
6273250002	Sabana De La Mar	04/05/2004	23	21	0,46	7,3
6273250004	Sabana De La Mar	04/05/2004	25	22	0,46	7,1
6273260002	Sabana De La Mar	04/05/2004	21	21	0,49	7,1
6273340001	Cevicos	07/05/2004	25	24	0,11	6,4
6372210001	Villa Riva, Nagua	04/05/2004	24	22	0,52	6,9

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 0.44 y 18.2 % en la primera campaña (Cuadro 8.3.1.) y entre 1.32 y 29.40 % 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

Estudio Hidrogeológico Nacional de la República Dominicana Fase II. Unidad Hidrogeológica de Los Haitises

Se observa que en algunas muestras de agua los errores son elevados, si bien se pueden considerar aceptables para los valores de conductividad que presentan las muestras de agua analizadas.

Cuadro 8.3.1. Errores analíticos de las muestras de aguas subterráneas de la 1ª campaña (UH. 03. Los Haitises)

No. Orden	Código	CE ($\mu\text{S/cm}$)	Error analítico (%)
20	6272140003	264	10.43
21	6272150003	398	7.52
22	6272150008	116	18.21
23	6272150002	394	13.14
24	6272120001	369	4.48
44	6372210001	418	0.52
45	6273230001	419	2.65
46	6273250002	371	0.44
47	6273250004	372	8.01
48	6273230002	365	1.58
49	62732	3030	2.52
50	6273260002	349	1.33
85	6173260001	710	0.66
86	6273340001	168	10.36

Cuadro 8.3.2. Errores analíticos de las muestras de aguas subterráneas de la 2ª campaña (UH. 03. Los Haitises)

Nº orden asignado	Nº lab 2ª	Código	Fecha de Muestreo	CE ($\mu\text{S/cm}$)	Error (%)
20	262	6272140003	10/06/2004	129	-8,90
21	261	6272150003	10/06/2004	345	-3,39
22	260	6272150008	10/06/2004	111	-3,51
23	257	6272150002	10/06/2004	314	2,09
24	259	6272120001	10/06/2004	340	-1,32
44	30	6372210001	04/05/2004	390	-8,64
45	31	6273230001	04/05/2004	392	-5,99
46	33	6273250002	04/05/2004	350	-6,17
47	32	6273250004	04/05/2004	352	-7,83
48	36	6273230002	04/05/2004	333	-4,42
49	34	62732	04/05/2004	931	-2,67
50	29	6273260002	04/05/2004	360	-7,69
85	63	6173260001	07/05/2004	647	-9,93
86	64	6273340001	07/05/2004	78	-29,40

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. 03. Los Haitises.

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 microS/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 116 y 3030 microS/cm en la primera campaña y entre 78 y 931 microS/cm en la segunda campaña.

En el caso de los aniones, las concentraciones de bicarbonatos tienen un margen de variación que oscila entre 55 y 366 mg/l de HCO_3^- en la primera campaña (entre 12 y 415 en la segunda); los sulfatos varían entre 2 y 91 mg/l de $\text{SO}_4^{=}$ en la primera campaña (entre 0 y 28 en la segunda) y, los cloruros oscilan entre 10 y 849 mg/l de Cl^- en la primera campaña (entre 7 y 207 en la segunda).

En cuanto a los cationes, el calcio presenta un rango de variación que oscila entre 13 y 68 mg/l de Ca^{++} en la primera campaña (entre 2 y 69 en la segunda); el sodio, por su parte, varía entre 4 y 479 mg/l de Na^+ en la primera campaña (entre 3 y 116 en la segunda); el potasio tiene un margen de variación comprendido entre 0.5 y 11 mg/l de K^+ en la primera campaña (entre 0.4 y 7 en la segunda), y el magnesio se encuentra en concentraciones comprendidas entre 2 y 50 mg/l de Mg^{++} en la primera campaña (entre 2 y 30 en la segunda).

Las especies nitrogenadas analizadas presentan valores de nitratos que oscilan entre 1 y 10 mg/l de NO_3^- en la primera campaña (entre 4 y 13 en la segunda). En la figura 8.2 se observa la distribución espacial de los valores de nitratos.

Estudio Hidrogeológico Nacional de la República Dominicana Fase II. Unidad Hidrogeológica de Los Haitises

Cuadro 8.4.1 Resultados analíticos de laboratorio (UH. 03. Los Haitises). Muestreo realizado entre noviembre de 2003 y enero de 2004. Datos en mg/l , excepto conductividad (microS/cm) y pH

No. Orden	Código	CE	pH	Ca	Mg	Na	K	HCO3	Cl	SO4	NO3	NO2	Amonio
20	6272140003	264	6,50	37,7	3,2	8,9	4,0	159	10	<LD	2	0,01	0,8917
21	6272150003	398	6,80	63,3	4,5	9,2	1,3	226	12	7	6	0,00	<LD
22	6272150008	116	6,50	12,8	2,7	4,2	4,0	55	13	2	3	0,06	0,2462
23	6272150002	394	7,40	61,7	5,1	9,1	1,6	238	15	6	4	0,01	<LD
24	6272120001	369	7,00	58,7	3,7	8,7	1,0	201	15	<LD	5	0,02	<LD
44	6372210001	418	6,20	68,4	3,6	11,6	1,2	220	16	3	7	0,01	<LD
45	6273230001	419	6,60	66,2	4,6	13,4	1,6	226	18	3	9	0,01	<LD
46	6273250002	371	6,60	58,6	3,6	8,4	1,4	183	15	3	8	0,03	<LD
47	6273250004	372	6,80	59,2	4,2	10,1	1,4	177	15	3	7	0,01	<LD
48	6273230002	365	6,80	57,0	2,3	20,3	1,4	207	18	4	1	<LD	<LD
49	62732	3030	7,00	68,4	50,2	479,0	10,7	207	849	91	7	0,00	0,013
50	6273260002	349	7,00	55,4	2,8	9,8	1,3	171	16	3	5	0,00	<LD
85	6173260001	710	7,40	45,3	21,9	70,9	1,3	366	31	6	8	0,00	<LD
86	6273340001	168	6,20	15,0	3,3	14,1	0,5	67	15	7	10	0,01	<LD

LD.: Límite detección

N/A.: No analizado

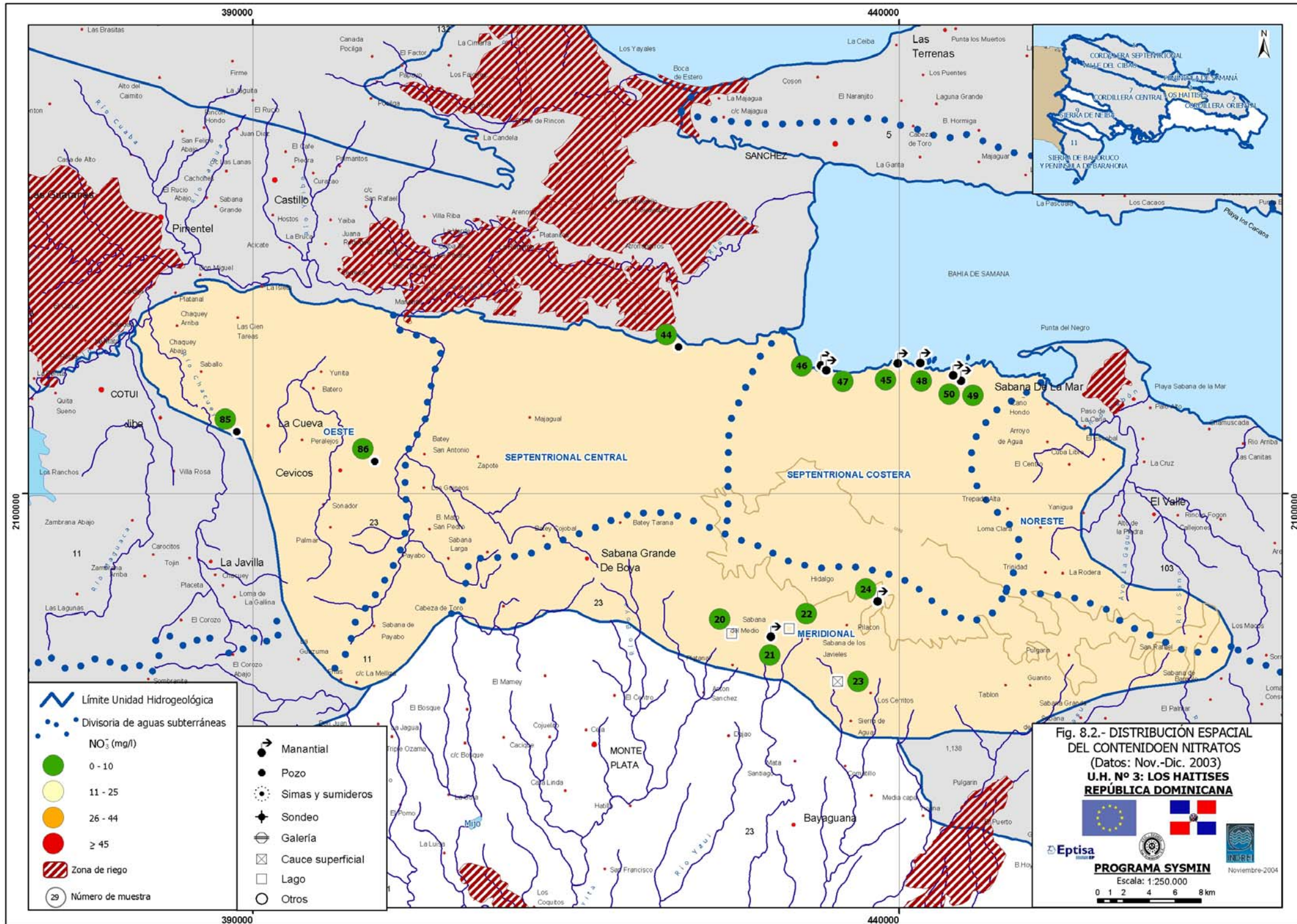
Estudio Hidrogeológico Nacional de la República Dominicana Fase II. Unidad Hidrogeológica de Los Haitises

Cuadro 8.4.2 Resultados analíticos de laboratorio (UH. 03. Los Haitises). Muestreo realizado entre mayo y junio de 2004. Datos en mg/l , excepto conductividad (microS/cm) y pH

Nº orden asignado	Nº lab 2ª	Código	Fecha de Muestreo	CE	pH	Ca	Mg	Na	K	CO3	HCO3	Cl	SO4	NO3	NO2	Amonio
20	262	6272140003	10/06/2004	129	6,7	11	6	3	3,6	0,0	61	7	0	8	0,00	<LD
21	261	6272150003	10/06/2004	345	6,7	51	9	4	1,2	0,0	195	10	2	4	<LD	<LD
22	260	6272150008	10/06/2004	111	6,5	6	5	8	5,2	0,0	49	10	2	4	<LD	<LD
23	257	6272150002	10/06/2004	314	7,0	47	10	14	2,4	0,0	195	14	1	10	<LD	<LD
24	259	6272120001	10/06/2004	340	7,2	56	5	4	0,9	0,0	183	10	4	5	0,14	<LD
44	30	6372210001	04/05/2004	390	6,6	69	3	3	0,4	0,0	220	12	4	13	0,01	<LD
45	31	6273230001	04/05/2004	392	6,8	67	5	5	0,4	0,0	214	17	3	11	0,01	0,19
46	33	6273250002	04/05/2004	350	7,0	60	5	3	0,4	0,0	195	12	4	11	0,03	<LD
47	32	6273250004	04/05/2004	352	6,9	60	5	3	0,4	0,0	195	12	5	9	0,02	<LD
48	36	6273230002	04/05/2004	333	7,6	57	3	3	7,4	0,0	183	13	5	6	0,00	<LD
49	34	62732	04/05/2004	931	7,0	58	17	116	4,3	0,0	195	207	28	6	0,02	0,04
50	29	6273260002	04/05/2004	360	6,8	56	6	7	0,8	0,0	183	24	4	7	0,03	0,27
85	63	6173260001	07/05/2004	647	7,2	52	30	45	0,4	0,0	415	26	6	6	0,01	<LD
86	64	6273340001	07/05/2004	78	6,0	2	2	7	1,6	0,0	12	13	3	13	0,00	0,09

LD.: Límite detección

N/A.: No analizado



Estudio Hidrogeológico Nacional de la República Dominicana Fase II. Unidad Hidrogeológica de Los Haitises

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 y sólo se observa una muestra de composición netamente sódica, la n° 49.

En cuanto a los cationes, las aguas subterráneas tienen una composición cálcica en la mayor parte de las aguas analizadas. Sin embargo, se observa una muestra de carácter sódico y dos de carácter mixto cálcico-sódico.

En la Figura 8.4 se incluye el diagrama de Schöeller-Berkaloff de las distintas muestras de agua analizadas en la unidad de Los Haitises.

Se observa, como cabía esperar, que las muestras corresponden a varias familias hidroquímicas: por un lado, aguas de facies bicarbonatadas cálcicas, y por otro, aguas de facies bicarbonatada cálcico-sódica o clorurada sódica.

Además, se observa que la muestra número 22 tiene unas características distintas, en especial en las relaciones iónicas rMg/rNa y rNa/rCl , que puede ser debido al error analítico elevado que presenta (18.21%).

Estudio Hidrogeológico Nacional de la República Dominicana Fase II. Unidad Hidrogeológica de Los Haitises

Figura 8.3. Diagrama de Piper (UH. 03. Los Haitises)

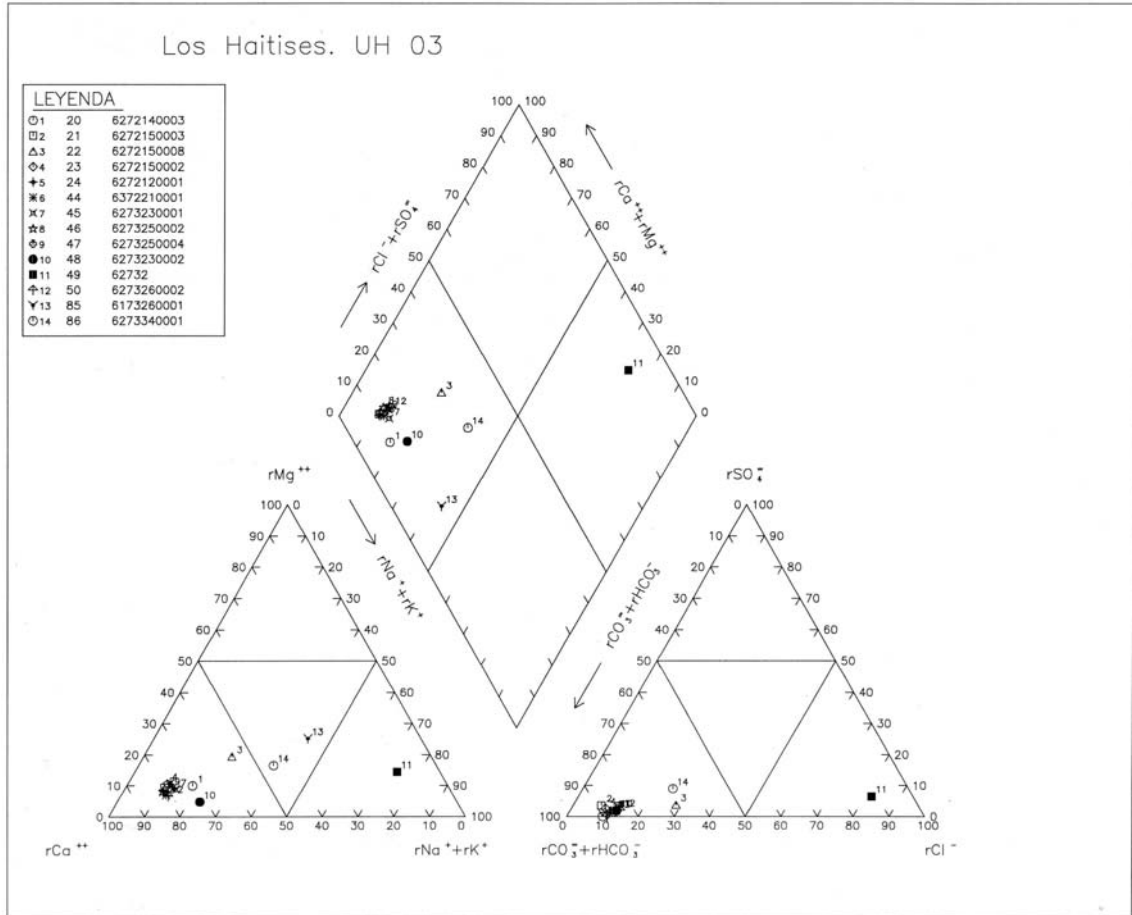
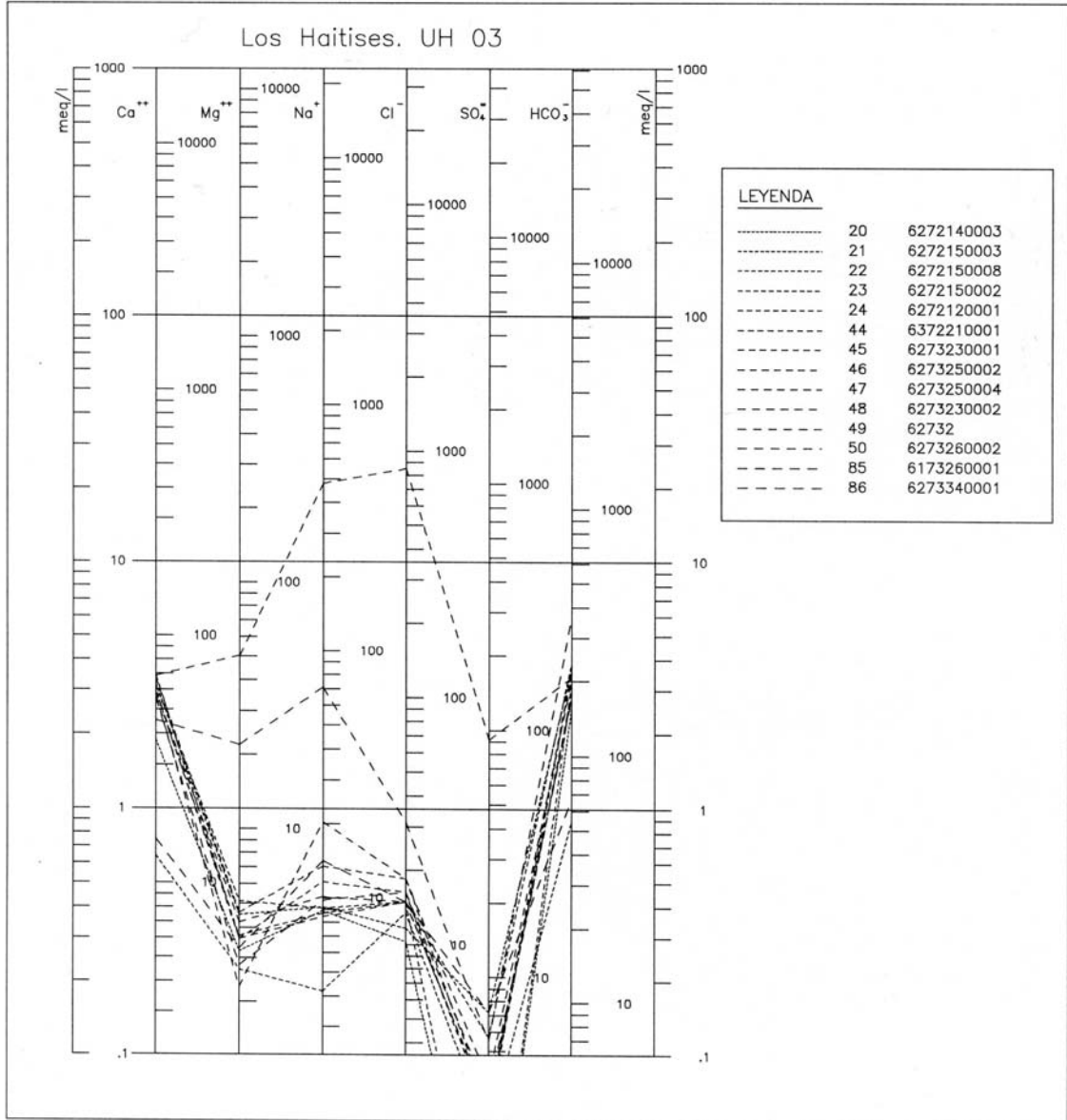


Figura 8.4. Diagrama de Schöeller-Berkaloff (UH. 03. Los Haitises)



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 Los Haitises indican que las aguas subterráneas analizadas superan los límites establecidos en distintos parámetros (Cuadro 8.5.1). Así, se superan los límites en la muestra número 49 con respecto a sodio, cloruros y total de sólidos disueltos en la primera campaña y con respecto a sodio en la muestra número 49 en la segunda campaña (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 8.5 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.

Estudio Hidrogeológico Nacional de la República Dominicana Fase II. Unidad Hidrogeológica de Los Haitises

Cuadro 8.5.1. Aptitud de las aguas subterráneas analizadas en la primera campaña en la UH. 03. Los Haitises 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,	Lugar y Fuente	Fecha de	CE	pH	Ca	Mg	Na	K	CO3	HCO3	Cl	SO4	NO3	NO2	Amonio	DT	STD	
		Muestreo	(µS/cm)		(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	
20	6272140003	24/11/2003	264	6,5	38	3	9	4,0	0	159	10	<LD	2	0,01	0,89	107	209	
21	6272150003	24/11/2003	398	6,8	63	5	9	1,3	0	226	12	7	6	0,00	<LD	177	252	
22	6272150008	24/11/2003	116	6,5	13	3	4	4,0	0	55	13	2	3	0,06	0,25	43	110	
23	6272150002	24/11/2003	394	7,4	62	5	9	1,6	0	238	15	6	4	0,01	<LD	175	239	
24	6272120001	24/11/2003	369	7,0	59	4	9	1,0	0	201	15	<LD	5	0,02	<LD	162	250	
44	6372210001	04/12/2003	418	6,2	68	4	12	1,2	0	220	16	3	7	0,01	<LD	186	244	
45	6273230001	04/12/2003	419	6,6	66	5	13	1,6	0	226	18	3	9	0,01	<LD	185	240	
46	6273250002	04/12/2003	371	6,6	59	4	8	1,4	0	183	15	3	8	0,03	<LD	162	217	
47	6273250004	04/12/2003	372	6,8	59	4	10	1,4	0	177	15	3	7	0,01	<LD	166	196	
48	6273230002	05/12/2003	365	6,8	57	2	20	1,4	0	207	18	4	1	<LD	<LD	152	205	
49	62732	05/12/2003	3030	7,0	68	50	479	10,7	0	207	849	91	7	0,00	0,01	380	1774	
50	6273260002	05/12/2003	349	7,0	55	3	10	1,3	0	171	16	3	5	0,00	<LD	150	178	
85	6173260001	11/12/2003	710	7,4	45	22	71	1,3	0	366	31	6	8	0,00	<LD	203	495	
86	6273340001	11/12/2003	168	6,2	15	3	14	0,5	0	67	15	7	10	0,01	<LD	51	149	
			Min	116	6,2	13	2	4	0,5	0	55	10	2	1	0,00	0,01	43	110
			Max	3030	7,4	68	50	479	10,7	0	366	849	91	10	0,06	0,89	380	1774

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

Estudio Hidrogeológico Nacional de la República Dominicana Fase II. Unidad Hidrogeológica de Los Haitises

Cuadro 8.5.2. Aptitud de las aguas subterráneas analizadas en la segunda campaña en la UH. 03. Los Haitises 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)	
20	262	6272140003	10/06/2004	129	6,7	11	6	3	7	0	8	0,00	<LD	52	118	
21	261	6272150003	10/06/2004	345	6,7	51	9	4	10	2	4	<LD	<LD	165	220	
22	260	6272150008	10/06/2004	111	6,5	6	5	8	10	2	4	<LD	<LD	33	100	
23	257	6272150002	10/06/2004	314	7,0	47	10	14	14	1	10	<LD	<LD	160	234	
24	259	6272120001	10/06/2004	340	7,2	56	5	4	10	4	5	0,14	<LD	160	186	
44	30	6372210001	04/05/2004	390	6,6	69	3	3	12	4	13	0,01	<LD	186	256	
45	31	6273230001	04/05/2004	392	6,8	67	5	5	17	3	11	0,01	0,19	188	277	
46	33	6273250002	04/05/2004	350	7,0	60	5	3	12	4	11	0,03	<LD	171	261	
47	32	6273250004	04/05/2004	352	6,9	60	5	3	12	5	9	0,02	<LD	168	264	
48	36	6273230002	04/05/2004	333	7,6	57	3	3	13	5	6	0,00	<LD	154	230	
49	34	62732	04/05/2004	931	7,0	58	17	116	207	28	6	0,02	0,04	216	684	
50	29	6273260002	04/05/2004	360	6,8	56	6	7	24	4	7	0,03	0,27	163	232	
85	63	6173260001	07/05/2004	647	7,2	52	30	45	26	6	6	0,01	<LD	255	442	
86	64	6273340001	07/05/2004	78	6,0	2	2	7	13	3	13	0,00	0,09	19	70	
				Min	78	6,0	2	2	3	7	0	4	0,00	0,04	19	70
				Max	931	8	69	30	116	207	28	13	0,14	0,27	255	684

- 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

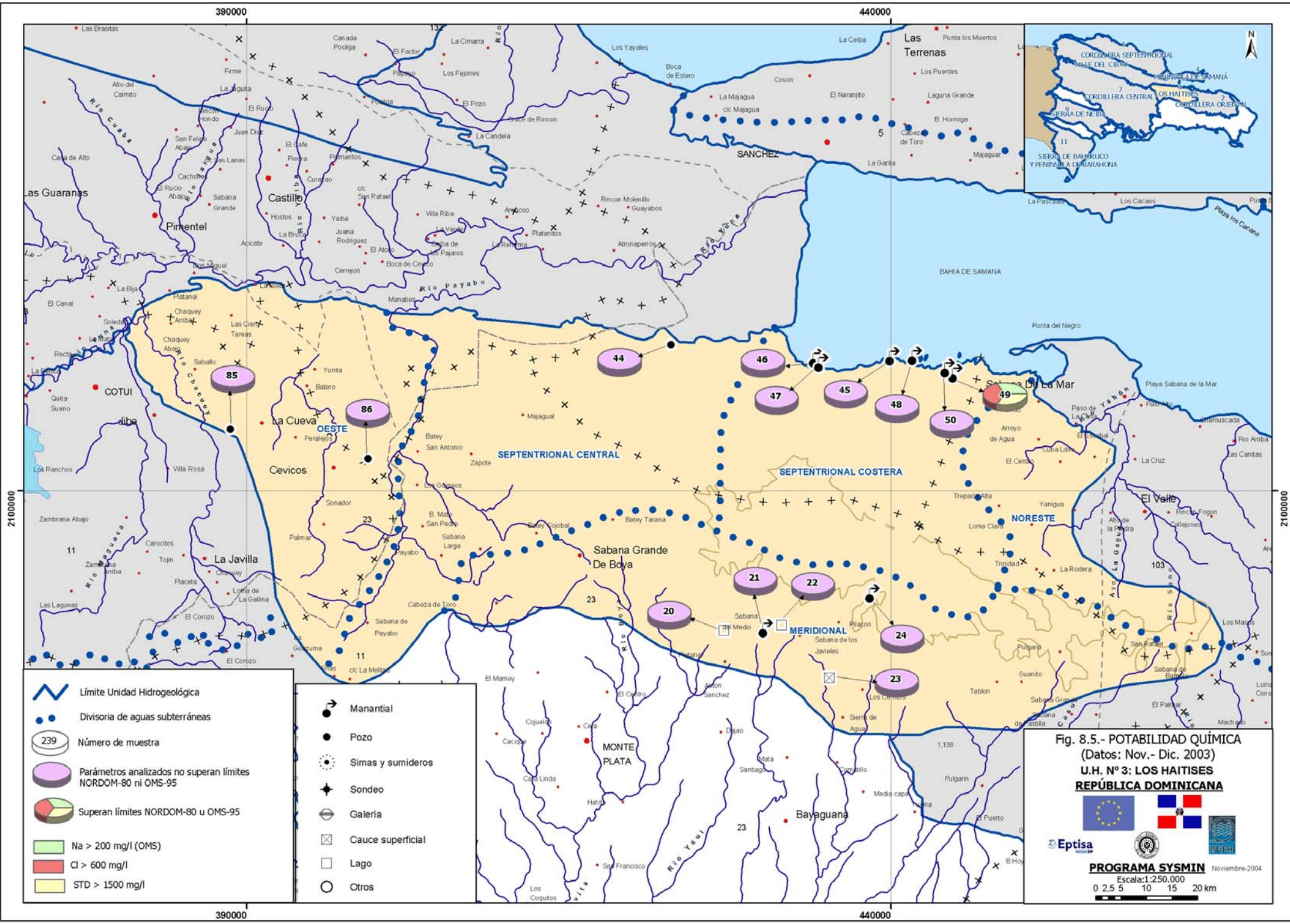


Fig. 8.5.- POTABILIDAD QUÍMICA
 (Datos: Nov.- Dic. 2003)
U.H. N° 3: LOS HAITISES
REPÚBLICA DOMINICANA



PROGRAMA SYSMIN Noviembre-2004
 Escala: 1:250,000
 0 2.5 5 10 15 20 km

- Límite Unidad Hidrogeológica
- Divisoria de aguas subterráneas
- Número de muestra
- Parámetros analizados no superan límites NORDOM-80 ni OMS-95
- Superan límites NORDOM-80 u OMS-95
- Na > 200 mg/l (OMS)
- Cl > 600 mg/l
- STD > 1500 mg/l

- Manantial
- Pozo
- Simas y sumideros
- Sondeo
- Galería
- Cauce superficial
- Lago
- Otros

8.5.2. Aptitud de las aguas para 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 8.6. 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) 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 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.).

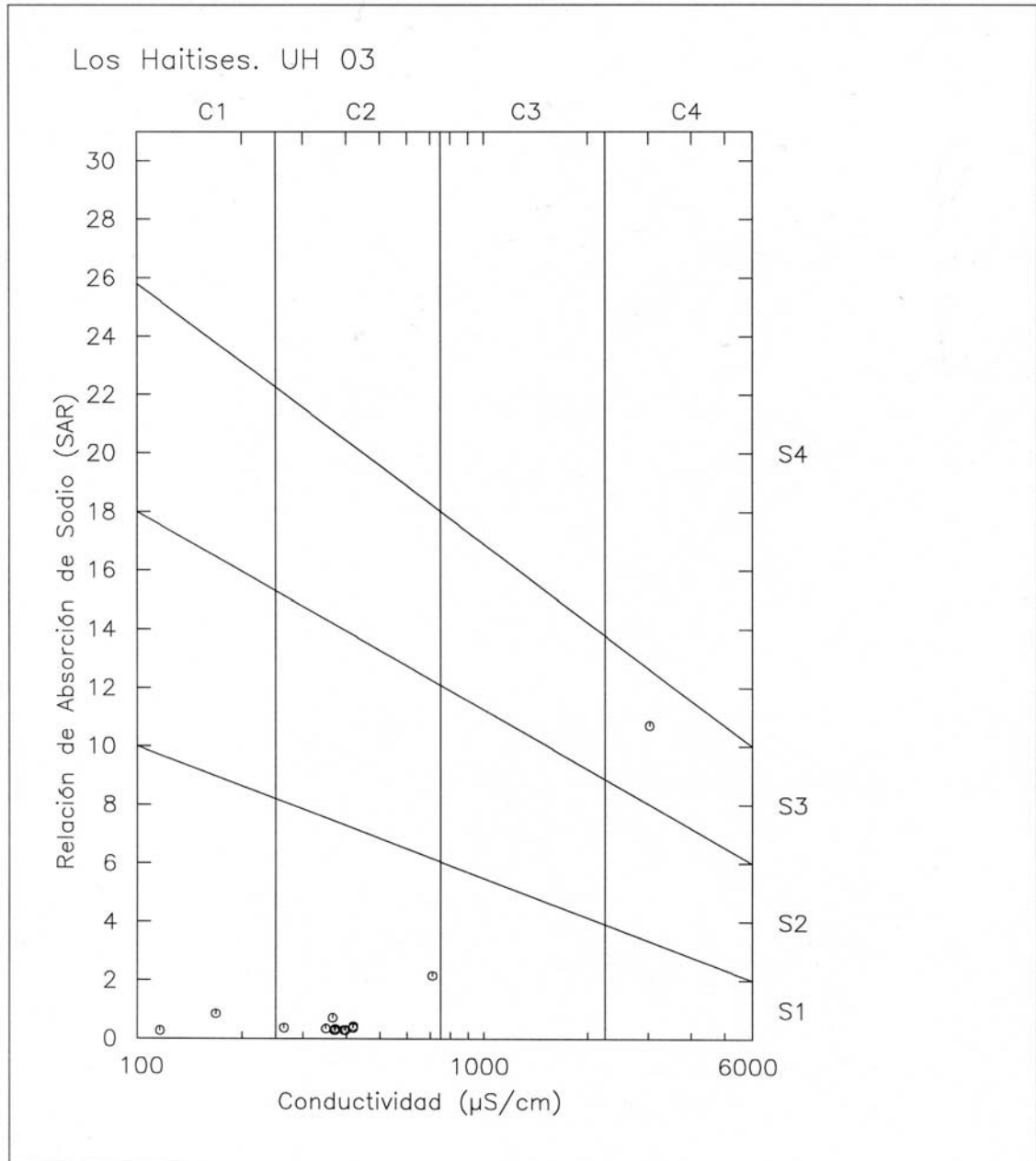
Las aguas de la clase C2 tienen una salinidad media, con conductividades comprendidas entre 250 y 750 $\mu\text{S}/\text{cm}$, que corresponden aproximadamente a 160-480 mg/l de sólidos disueltos. Pueden usarse para cultivos moderadamente tolerantes a las sales (alfalfa, trigo, zanahoria, cebolla, coliflor,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

Las aguas de la clase 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 8.6. 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 8.7. se representa el diagrama de Stiff correspondiente a cada uno de los puntos muestreados. Además, se han representado algunos puntos situados en las unidades hidrogeológicas limítrofes existentes al norte y este de los Haitises (Valle del Cibao y Cordillera Oriental, respectivamente). Así, se han incorporado las muestras números 82 y 83 al noroeste de la unidad, entre Pimentel y Cotui; las muestras números 126, 127, 128 y 130 al norte de Los Haitises, dentro del sector de la Reforma-Platanillos, en el Valle del Cibao, junto a la Bahía de Samaná; y las muestras números 27, 28, 31, 43A y 51, situadas en la Cordillera Oriental, al este de Los Haitises, entre Sabana de la Mar y el Valle.

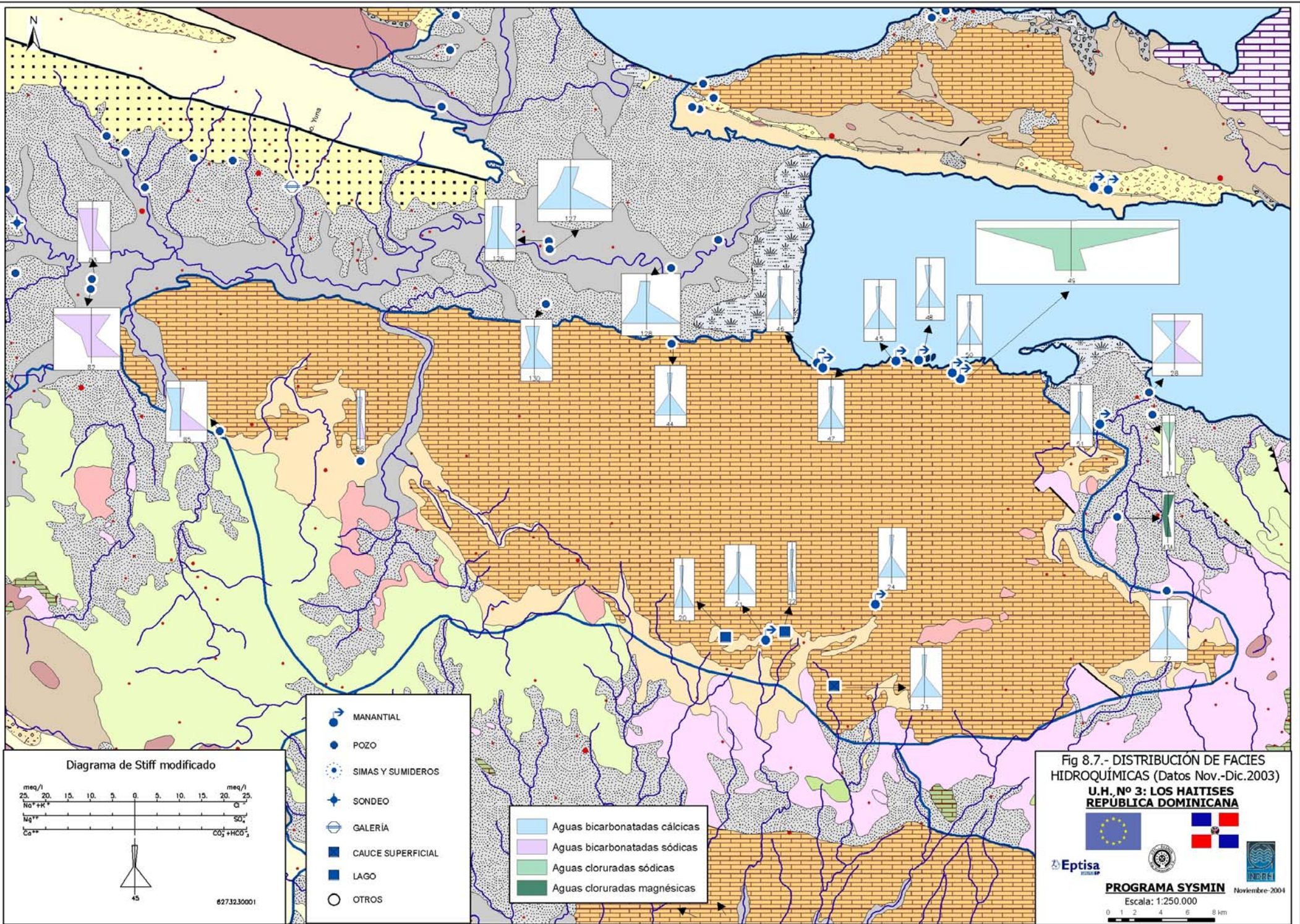
La forma del diagrama de Stiff da idea del tipo de agua y su tamaño permite apreciar con rapidez el grado de salinidad que presentan las aguas en cada caso. Para facilitar la comparación entre los distintos tipos de agua se ha utilizado la misma escala para todos los puntos.

En la figura 8.7. 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 occidental se observan mezcla de facies bicarbonatadas cálcico-sódicas, que evolucionan hacia bicarbonatadas sódicas entre Pimentel y Cotui, ya fuera de la unidad.

En la descarga hacia la Bahía de Samaná, al oeste de Sabana de la Mar se registra un manantial con una salinidad relativamente elevada (diagrama de Stiff de mayor tamaño). Se trata de un agua de facies clorurada sódica, que parece ser reflejo de un proceso de mezcla con agua de mar. Por ello, se ha incluido en la red de control de la intrusión.

Por último, en el sector este de la unidad, las aguas subterráneas analizadas presentan distintas facies (cloruradas sódicas, bicarbonatadas cálcico-sódicas, bicarbonatadas magnésicas), sin relación con los materiales carbonatados de Los Haitises.



9. FUNCIONAMIENTO HIDROGEOLÓGICO

9.1. CONSIDERACIONES GENERALES SOBRE LA INFLUENCIA DEL DESARROLLO CÁRSTICO DE LA UNIDAD DE LOS HAITISES EN SU FUNCIONAMIENTO HIDROGEOLÓGICO

9.1.1. Introducción

La indudable repercusión que supone el desarrollo del aparato cárstico de la Unidad Hidrogeológica de Los Haitises en su funcionamiento hidrogeológico, unida a la escasez de otro tipo de información (sondeos, columnas litológicas, niveles piezométricos, ensayos y parámetros hidráulicos, etc.) ha recomendado el incluir en esta memoria una serie de consideraciones generales previas, antes de plantear los apartados concretos de la recarga y descarga de la citada unidad.

Con este planteamiento, se han revisado, aunque muy someramente, diferentes aspectos básicos del aparato cárstico de la unidad, como sus formas de absorción, erosión y emisión, así como, con la información disponible hasta la fecha, la posible evolución del karst formado, su tipología y su circulación, aspectos, todos ellos, de especial importancia en el funcionamiento hidrogeológico de la unidad.

9.1.2. Formas de absorción

En la zona superficial o de absorción del aparato cárstico de Los Haitises se han desarrollado una serie de formas de absorción del agua o exocársticas, muy características y típicas en este tipo de karst, entre las que distinguen dos tipos básicos: cerradas y abiertas.

Entre las **formas cerradas**, por lo general asociadas a diaclasas, la absorción del agua se ha producido de forma lenta y ha conformado un importante número de dolinas a lo largo de toda la superficie de la unidad, que con especial desarrollo pueden observarse en el sector meridional de la unidad (sectores de Higuero Majagual -Hoja de Cevicos: 6273 III- y de Puerto Grande y Sabana de los Javieles -Hoja de Antón Sánchez: 6272 I).

Por lo general, las dolinas observadas presentan mayores dimensiones en el embudo (zona por la que se recoge el agua de precipitación y escurrimiento) que en la chimenea (o tubo de absorción), lo cual parece indicar la madurez del karst. Asimismo, parecen presentar formas circulares e isótropas, con simetría de tipo regular y típicas de desarrollos sobre mesas o estructuras bastante horizontales, sin plegamientos ni estructuras complejas. También en las morfologías de las dolinas localizadas en Los Haitises se identifica la influencia del clima tropical

de la zona, al presentar mayores profundidades que diámetros y depósitos de "terra rossa" en el fondo de sus formas.

En algunos sectores, como en el occidental de la Hoja de Cevicos (6273 III), se identifican claros procesos de evolución superficial de las dolinas, con creación de campos de dolinas, propios de regiones calizas de alta solubilidad.

En el mismo sector occidental de la Hoja de Cevicos (6273 III), y, en concreto, entre los parajes de Primer Boca y Consumidero, se identifica un claro ejemplo de **forma de absorción abierta**, del tipo sumidero, con evidente aumento de la capacidad absorbente. En este caso se trata de un sumidero permanente y de cierta entidad, que absorbe la totalidad del río Cevico justamente en la zona de contacto entre las margas basales pliocenas (PLm-y) y el muro de las calizas arrecifales (PLc), y termina descargando unos kilómetros más al norte, en el contacto fallado de las citadas calizas con los depósitos cuaternarios fluviales del río Yuna, en el sector de la Boca de Cevicos (Lagunas de El Junco y de la Ciénaga Colorada). Muy posiblemente se trate de una evolución de una antigua dolina a sima, con desarrollo vertical por disolución de la caliza.

Es muy posible que existan otros sumideros similares en el área de la unidad (tanto en las subzonas Septentrional Central, como Septentrional Costera y Meridional), aunque, debido a su difícil acceso no ha sido posible su comprobación. Este hecho parece avalarlo la existencia de numerosas zonas de descarga y encharcamiento en los bordes de las citadas subzonas.

9.1.3. Formas de emisión

En la Unidad Hidrogeológica de Los Haitises las formas de emisión más típicas son los manantiales cársticos, que responden al concepto básico de emergencias o salidas al exterior de aguas cársticas una vez que han circulado a través de la masa de caliza.

Sus tipologías son muy variadas y en una primera clasificación podrían dividirse en manantiales subaéreos (con toda seguridad existentes en el ámbito de la unidad y en todas sus subunidades) y manantiales submarinos (a pesar de su difícil accesibilidad, se han localizado ocho en el borde norte de la subunidad septentrional costera).

Dentro de los identificados (los subaéreos), se han localizado de tres subtipos:

- Surgentes por encima del nivel de los cauces epigeos.
- Surgentes a nivel de los cauces epigeos.
- Surgentes bajo los talwegs de los cauces epigeos.

En lo referente a los primeros tipos de manantiales subaéreos, **los surgentes por encima del nivel de los cauces epigeos**, los más representativos de la unidad se identifican en el borde sur de la subunidad septentrional, en la Hoja 6272 I, Antón Sánchez, y en los sectores de Sabana del Medio (lagunas de Los Mareys, Ortiz, Piedra, Sabaneta, Rincón Grande, Los Pomos, Sotero y Pesadiso), Sabana de los Javieles (lagunas de Cortadera, Sabaneta y los Flacos), Los Callejones (lagunas de Las Guarnas y Corralito) y Loma Clara-Los Callaillos (lagunas de Orlean, Clara, Los Hicacos y Prien). En dichos sectores se localizan más de una treintena de manantiales de muro o emergencias del tipo de pequeñas lagunas de descarga, con estructura de contacto o de nivel de base, situados a cotas comprendidas entre los 180 y 250 m.s.n.m. (la mayoría alrededor de la cota 190-200 m.s.n.m.) y coincidentes con el contacto entre la base de las calizas arrecifales (PLc) y las margas yesíferas de base (PLm-y) o las rocas volcano sedimentarias (RVS). Su circulación suele ser libre (típicos de karst superficiales y muy evolucionados) y con emergencias múltiples o poliemergencias, que indican fisuración muy apretada.

No se conoce con exactitud la actividad en el tiempo de estas emergencias (y, por tanto, la relación de los ciclos climáticos recientes con las oscilaciones o cambios de alimentación de los aparatos cársticos), aunque es muy probable que actúen como emergencias intermitentes del tipo rebosadero de fuentes permanentes (*"trop pleins"*). Parece tratarse, por tanto, de una zona de descarga situada por encima o sobre la misma surgencia, que actúan como antecesores de los manantiales, abandonados por descensos del nivel de base o por pérdida de caudal.

De los del segundo tipo de manantiales subaéreos, los **surgentes a nivel de los cauces epigeos**, éstos se producen a lo largo de todo el borde norte de las subzonas oeste, septentrional-centra y noroeste. En su mayoría responden a emergencias provocadas por las diaclasas de rotura formadas a consecuencia de la fractura de dirección E-O, cuya cuantía de salto es difícil de precisar, y que conforma la línea costera de la bahía de Samaná, al norte de las calizas pliocenas, y el contacto con los depósitos cuaternarios de la red fluvial del Yuna.

En el borde norte de las subzonas oeste y septentrional-centra, la base de las calizas desciende hacia el norte hasta los 80 m.s.n.m., entrando en contacto, a menos de 40 m. de cota, con los citados depósitos cuaternarios del Yuna, a través de los cuales (justo en los depósitos cuaternarios, pero en el mismo borde con las calizas) se producen diferentes emergencias, con circulación a presión hidrostática, al encontrarse por debajo de la superficie piezométrica virtual de las calizas. En estas zonas se identifican al menos una docena de sectores o puntos de emergencia, con creación de pequeñas lagunitas o zonas de encharcamiento, entre las que cabría destacar, de oeste a este, las Ciénagas Grande y del Junco y la Laguna Colorada (salidas

del sumidero del Cevico), Caño Pontón, Lagunas Arrequín y Colorado, Los Anegadizos, el arroyo Guaraguao, los caños del Limón y Barraquito, los arroyos El Cercado y el Vallecito, y la Lagunita Cristal.

Por su parte, en el sector septentrional de la subzona Noreste se localizan también una serie de manantiales de muro, como son los casos de los de la Loma del Fresco y del Río Chiquito, emplazados a cotas comprendidas entre los 15 y los 10 m.s.n.m., los cuales se emplazan en el contacto geométrico e hidráulico entre los materiales carbonatados (calizas pliocenas) de Los Haitises con los depósitos de aluvial cuaternarios (Qa) de la margen izquierda de la cuenca baja del río Yabón

El último de los tipos de los manantiales subaéreos, el de **manantiales surgentes bajo los talwegs de los cauces epigeos**, los más representativos de la unidad se identifican en la zona de contacto entre las subzonas oeste y septentrional-central, y a través del cauce del río Payabo-Ara, en la Hoja de Cevicos: 6273 III, y en la occidental de la subzona oeste, en la Hoja de Cotuí: 6173 II, y a través del cauce del río Chacuey. En ambos casos las emergencias aparecen en los talwegs fluviales dentro del agua, a través de circulación forzada y con emergencia a presión. Son, por tanto, manantiales ascendentes, la mayor parte de los casos no visibles por manar a poca presión, y solamente se identifican de *visu* cuando aparecen en zonas tranquilas del río.

En del cauce del río Payabo-Ara las emergencias de este tipo se producen, sobre todo, en su tramo final comprendido entre Los Manatíes-Caño Claro y su salida de la unidad en Caño Pontón-Laguna Arrequin. Esto hace que este cauce actúe como un río ganador o drenante de la unidad.

Algo parecido ocurre en cauce del río Chacuey a su paso por el sector occidental de la unidad, en el que también se producen emergencias de este mismo tipo, principalmente en su sector bajo.

Finalmente, también en el ámbito de la unidad se han desarrollado manantiales del tipo submarino (emergencia bajo el mar) y, en este caso, en el borde norte de la subunidad septentrional costera, que limita con la bahía de Samaná. La circulación en este tipo de manantiales será a presión hidrostática, al encontrarse por debajo de la superficie piezométrica virtual de las calizas en dicho sector (coincidente con la cota o del nivel del mar).

9.1.4. Evolución del karst

A la vista de la características del aparato kárstico que ha desarrollado, la Unidad Hidrogeológica de Los Haitises parece haber pasado por una serie de fases sucesivas y típicas

de la karstificación y encontrarse, en la actualidad, en una fase de transición entre los denominados períodos de madurez y de degradación.

Los distintos períodos y fases por las que parece haber pasado la evolución kárstica de Los Haitises han sido las siguientes:

- Período Juvenil:
 - Fase de lenarización o lapiaciación: en la que comenzó el modelado cárstico de las calizas arrecifales, aunque predominando todavía la circulación epigea (superficial).
 - Fase de dolinización: interfiriendo con la fase anterior y en la que se desarrollaron campos de dolinas aisladas que cubrieron superficies extensas. La lenarización y la percolación progresaron intensamente.
- Período de Madurez:
 - Fase de uvalización: se produjo la conjugación de dolinas y la generación de sumideros (los ríos Payabo-Ara y Chacuey debieron comenzar como sumideros, al igual de lo que sucede actualmente con el río Cevicos) y poljes, así como la desaparición de la circulación epigea (superficial) y su sustitución por una circulación totalmente hipogea (subterránea), con formas de emisión (descarga) únicamente por manantiales y emergencias difusas.
- Período de Selinidad:
 - Fase de Degradación: se generaron cañones (casos de los actuales ríos Payabo-Ara y Chacuey) y se volvió a la circulación epigea por los mismos. El hecho de que todavía sigan existiendo un gran número de dolinas no conjugadas totalmente y una importante circulación hipogea (subterránea), en prácticamente todas las subzonas de la unidad hidrogeológica, parece indicar que la fase de degradación todavía es incipiente y que el karst de Los Haitises se encuentra en una fase de transición entre la fase final del período de madurez (uvalización) y la inicial del período de senilidad (degradación).

9.1.5. Circulación kárstica y tipologías del karst de Los Haitises

La clasificación del karst de Los Haitises es compleja con los datos actualmente disponibles (y en el ámbito del alcance y los objetivos del presente estudio) y, además, es posible que no responda a una clasificación homogénea para todo el ámbito de la unidad. No obstante, y a la vista de las conclusiones preliminares presentadas en los apartados anteriores, podría plantearse un intento de clasificación, en función de criterios de circulación kárstica, de estructuras, de relieve y del clima.

De acuerdo con condiciones básicas para que se desarrolle un sistema kárstico (potencia de la masa caliza, relación del nivel de base kárstico con respecto a la superficie topográfica y tipos de relieve), en el karst de Los Haitises habría que diferenciar dos zonas.

- Zona Oriental de la unidad, que parece responder a un "karst incompleto" o "merokarst", del tipo "karst de valle" y con relieve normal, debido a que el muro impermeable del karst (las margas yesíferas pliocenas) aflora en los talweg epigeos (cauces de los ríos Payabo-Ara y Chacuey). En esta zona puede mantenerse un resto de zona húmeda, al establecerse una superficie piezométrica a poca altura por encima del muro impermeable. En la parte baja del karst la circulación será permanente, de tendencia horizontal y sin presión. Suele presentar un gran desarrollo de simas y cavernas por encima de la superficie piezométrica.
- El resto de la unidad parece responder a un "karst completo" u "holokarst", en el que la potencia total de la masa de calizas es grande (supera los 100 m) y puede evolucionar el karst ampliamente, el nivel de base kárstico se sitúa a gran profundidad (más de 100 m) en relación con la superficie topográfica, y todavía existe un relieve juvenil, o a lo más maduro, con desniveles de cierta importancia entre las zonas altas y los niveles de base locales.

Con estas condiciones, ha podido desarrollarse un karst completo, en el cual se identificarían tres zonas, en la vertical, de funcionamiento:

- 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.

También, es de destacar que, por su condición de karst situado en la costa y en parte sumergido, es muy probable que tenga una cierta influencia del mar, por lo que a su morfología kárstica se superpondría la morfología costera, además de la imposición de su nivel de base (la cota 0 m.s.n.m.), factores ambos de notable influencia en la circulación kárstica.

Al presentar las calizas arrecifales de Los Haitises un buzamiento general dirigido hacia el norte (y hacia el mar), el tipo de karst resultante será un "karst conforme", cuya zona húmeda profunda será en parte submarina y la superficie piezométrica se establecerá a partir de la superficie marina. Tal como ocurre en los acuíferos freáticos litorales, muy posiblemente existirán dos frentes acuíferos: un frente marino, que, a partir de la superficie marina

descenderá suavemente hacia el interior de la masa caliza hasta detenerse frente al muro impermeable, y un frente kárstico, que interferiría con el anterior, creándose una zona de mezcla de aguas kársticas y marinas. Las emergencias que se produzcan en dicha zona estarán condicionadas por la presión que proporcione la superficie piezométrica.

En lo referente al tipo de karst sobre estructuras tectónicas, el karst de Los Haitises podría clasificarse como un "*karst de mesa*", típico de regiones tabulares formadas por calizas sostenidas por un muro impermeable suspendido por encima de los talwegs epigeos. Se trataría, por tanto, de un "*karst suspendido*" o "*merokarst*".

En este tipo de karst, la circulación será esencialmente vertical y descendente, que darán formas de conducción generalmente alargadas según la vertical. Predominarán las formas altas y estrechas y la topografía de conjunto vendrá condicionada por las diaclasas, con modelado fluvial muy claro. Por el contrario, no existirán amplias y espaciosas cavernas.

Las zonas con alimentación autóctona (caso de la mayor parte de la subzona septentrional central y de las subzonas septentrional costera, noreste y meridional de Los Haitises) predominarán las surgencias o emergencias periféricas por encima del muro impermeable, que funcionarán independientemente unas de otras.

Por el contrario, en las zonas con alimentación alóctona o mixta (caso de la subunidad oeste y del sector oriental de la septentrional central) los ríos alóctonos (Payabo-Ara, Cevicos y Chacuey) son absorbidos y circularán buscando el contacto con el muro impermeable subyacente (las margas yesíferas del Plioceno), resurgiendo al encontrarlo.

Por último, en lo referente a la influencia climática, el karst de Los Haitises se encuadraría claramente en un "*karst tropical*", en el que las fuertes lluvias tropicales y las altas evaporaciones han producido un ataque a las calizas que han dejado como resultado formas muy fuertes, con presencia de restos calizos de pendientes escarpadas y mogotes que emergen de una llanura degradada y cubierta por residuos de descalcificación.

En este proceso el carbonato de las calizas se transforma en bicarbonato soluble, recubriéndose las zonas calizas residuales con una coraza de carbonato cálcico secundario, que hacen las elevaciones más resistentes y las depresiones más profundas y recubiertas de "*terra rossa*".

9.2. RECARGA

La recarga de la U.H. de Los Haitises se produce, fundamentalmente, por infiltración directa del agua de la lluvia precipitada sobre los afloramientos permeables, así como, de forma muy localizada y minoritaria, por infiltración desde cauces superficiales (caso del sumidero del río Cevicos a su entrada en las calizas pliocenas de la subunidad del Oeste).

La estimación de dicha recarga se ha realizado de la siguiente forma:

- La superficie de recarga total (de la unidad completa), así como su distribución por las denominadas subzonas de funcionamiento, se han calculado mediante la cuantificación de sus áreas ocupadas por materiales permeables (en km²) con el Sistema de Información Geográfica utilizado (ARC/INFO). Mediante el citado método, se ha estimado una superficie total de materiales permeables para todo el ámbito de la unidad de 1 462 km², que suponen el 80,2% de la superficie total de la unidad (1 823 km²).
- La lluvia útil se ha obtenido del análisis de series históricas de datos de precipitaciones y temperaturas aportados por las Estaciones Climáticas existentes en el área de la unidad (o en sus proximidades) y elaborado en el capítulo de Climatología. Dicho estudio ha dado como resultado una lluvia útil anual media, para año medio, de 272 mm, lo cual representa el 16.2% de la precipitación anual media (1676.2 mm), de 597 mm para año húmedo (28.3% de los 2108.8 mm de precipitación media de año húmedo), y de 130 mm para año seco (10.2 % de los 1271.8 mm de precipitación media de año seco).
- La recarga por lluvia se ha estimado como producto de la lluvia útil y la superficie permeable de recarga en km², lo cual supone un volumen anual renovable para año medio del orden de los 398 hm³ y de 873 hm³ para año húmedo y de 190 para año seco.
- La recarga por infiltración desde cauces superficiales únicamente se ha identificado en un sector muy localizado de la unidad (en el sumidero del río Cevicos, en la subzona Oeste), y supondría, según los datos disponibles hasta la fecha (media de los meses de octubre de 2003 a septiembre de 2004), del orden de los 33 hm³/año.

De acuerdo con estos planteamientos de partida, la distribución de las recargas totales para un año medio, estimadas por las distintas subzonas definidas en la U. H. de Los Haitises, es la siguiente:

Cuadro 9.2.1. Distribución de las recargas totales para un año medio

SUBZONA	LLUVIA ÚTIL MEDIA ANUAL (en mm)	SUPERFICIE DE MATERIALES PERMEABLES (en km ²)	VOLUMEN DE RECARGA ANUAL POR INFILTRACIÓN DE LA LLUVIA (en hm ³)	VOLUMEN DE RECARGA ANUAL POR INFILTRACIÓN DESDE CAUCES SUPERFICIALES (en hm ³)	VOLUMEN DE RECARGA ANUAL TOTAL (en hm ³)
SUBZONA OESTE	272	231.17	63	33	96
SUBZONA SEPTENTRIONAL CENTRAL	272	399.62	109	-	109
SUBZONA SEPTENTRIONAL COSTERA	272	341.19	93	-	93
SUBZONA NORESTE	272	109.43	30	-	30
SUBZONA MERIDIONAL	272	381.06	104	-	104
TOTALES	272	1462.47	399	33	432

Para un año húmedo, la distribución de las recargas totales por las distintas subzonas definidas en la U. H. de Los Haitises, es la siguiente:

Cuadro 9.2.2. Distribución de las recargas totales para un año húmedo

SUBZONA	LLUVIA ÚTIL MEDIA ANUAL (en mm)	SUPERFICIE DE MATERIALES PERMEABLES (en km²)	VOLUMEN DE RECARGA ANUAL POR INFILTRACIÓN DE LA LLUVIA (en hm³)	VOLUMEN DE RECARGA ANUAL POR INFILTRACIÓN DESDE CAUCES SUPERFICIALES (en hm³)	VOLUMEN DE RECARGA ANUAL TOTAL (en hm³)
SUBZONA OESTE	597	231.17	138	70	208
SUBZONA SEPTENTRIONAL CENTRAL	597	399.62	239	-	239
SUBZONA SEPTENTRIONAL COSTERA	597	341.19	204	-	204
SUBZONA NORESTE	597	109.43	65	-	65
SUBZONA MERIDIONAL	597	381.06	227	-	227
TOTALES	597	1462.47	873	70	943

Finalmente, para un año seco, la distribución de las recargas totales por las distintas subzonas definidas en la U. H. de Los Haitises, es la siguiente:

Cuadro 9.2.3. Distribución de las recargas totales para un año seco

SUBZONA	LLUVIA ÚTIL MEDIA ANUAL (en mm)	SUPERFICIE DE MATERIALES PERMEABLES (en km ²)	VOLUMEN DE RECARGA ANUAL POR INFILTRACIÓN DE LA LLUVIA (en hm ³)	VOLUMEN DE RECARGA ANUAL POR INFILTRACIÓN DESDE CAUCES SUPERFICIALES (en hm ³)	VOLUMEN DE RECARGA ANUAL TOTAL (en hm ³)
SUBZONA OESTE	130	231.17	30	15	45
SUBZONA SEPTENTRIONAL CENTRAL	130	399.62	52	-	52
SUBZONA SEPTENTRIONAL COSTERA	130	341.19	44	-	44
SUBZONA NORESTE	130	109.43	14	-	14
SUBZONA MERIDIONAL	130	381.06	50	-	50
TOTALES	130	1462.47	190	15	205

9.3. DESCARGA

Las descargas de la unidad se producen, básicamente, por tres vías preferenciales:

- Drenajes por cauces superficiales.
- Salidas por manantiales y emergencias de distintos tipos, tanto subaéreas, como submarinas, y, dentro de las primeras, en sus distintas versiones (ya comentadas en apartados anteriores) de surgentes por encima del nivel de los cauces epigeos, surgentes a nivel de los cauces epigeos y de surgentes bajo los talwegs de los citados cauces epigeos.
- Extracciones para abastecimientos urbanos.

No existen datos históricos con los que poder establecer las descargas de la unidad de Los Haitises para diferentes años tipo (medios, húmedos y secos), por lo que han debido estimarse únicamente con los datos procedentes del presente estudio, que, muy posiblemente, corresponderán a un año medio-húmedo.

De acuerdo con dichos datos, las descargas más importantes (del orden de 306 hm³/año medio) se producen por manantiales y surgencias, que se concentran en el borde norte de la

Estudio Hidrogeológico Nacional de la República Dominicana Fase II. Unidad Hidrogeológica de Los Haitises

unidad, seguidas de las descargas a través de cauces superficiales (unos 121 hm³/año medio por los ríos Ara-Payabo y Chacuey). Por último, las descargas por extracciones son muy poco significativas (del orden de los 4 hm³/año medio), debido, precisamente, a que la mayor parte de la superficie de la unidad se integra dentro de un Parque Nacional sujeto a protección ambiental.

La distribución de los diferentes tipos de descargas por las subzonas de funcionamiento hidrogeológico son las siguientes:

Cuadro 9.3.1. Distribución de los diferentes tipos de descargas por subzonas de funcionamiento hidrogeológico

SUBZONA	SECTORES DE DESCARGA	DRENAJES POR CAUCES SUPERFICIALES (en hm³/año)	DESCARGAS POR MANANTIALES (en hm³/año)	EXTRACCIONES POR BOMBEOS PARA USOS HUMANOS	DESCARGAS TOTALES (en hm³/año)	OBSERVACIONES
OESTE	Norte, Oeste y Este	81	13	1.5	96	Corresponden, en su mayoría, a descargas por el río Chacuey (Oeste), por el sumidero del Cevicos (Norte) y por el río Ara-Payabo (Este).
SEPTENTRIONAL CENTRAL	Este, Noroeste y Norte	40	68	0.8	109	Las descargas por cauces corresponden al río Ara-Payabo y las de los caños de Barracote, Barraquito y Guaraguao
SEPTENTRIONAL COSTERA	Norte	-	93	-	93	Todas las salidas se producen al mar, mediante manantiales y surgencias de distinto tipo (al menos ocho).
NORESTE	Noreste y Este	-	30	0.1	30	Corresponden a manantiales de muro que dan origen a los ríos Yanigua, Lajagua y Chiquito.
MERIDIONAL	Sabana del Medio, Sabana de los Javieles y Los Cerritos	-	102	1.5	104	Corresponden a manantiales de muro que dan origen a diversas lagunas y a los nacimientos de los ríos Boyá, Comate, Sabana y Cagu.
TOTALES	-	121	306	3.9	432	-

9.4. ESTIMACIÓN DEL BALANCE HÍDRICO SUBTERRÁNEO

Introducción: Términos del balance y condicionantes de partida

El balance hídrico subterráneo de la unidad hidrogeológica de Los Haitises 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 a los cauces fluviales, las posibles conexiones con unidades contiguas y la variación de almacenamiento o reservas.

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

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

Al tratarse de 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).
- IRR: Infiltración o recarga procedente de retornos de riego e infiltración desde canales.
- QAC: Entradas laterales y subterránea procedentes de zonas o unidades hidrológicas colindantes.

Salidas

- DR: Descarga de agua subterránea por cauces superficiales.
- QM: Salida de agua subterránea por manantiales y emergencias de distintos tipos, tanto subaéreas, como submarinas.
- Qs: Salida de agua subterránea por conexión con unidades 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 han establecido de dos tipos:

- **Interanuales:** para intervalos de varios años hidrológicos tipos de la serie histórica disponible (años secos, medios y húmedos).
- **Anual:** para el año hidrológico concreto de control del estudio (octubre de 2003 a septiembre de 2004).

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 las diferencias climatológicas que existen de unos sectores a otros dentro de la citada unidad. Los módulos se han establecido, por tanto, para cada una de las tres estaciones climáticas con datos históricos utilizadas. No obstante de la citada heterogeneidad climatológica (que se analiza, con el debido detalle, en el citado Capítulo de Climatología), 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 1350 mm.

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

Entradas:

Cuadro 9.4.1. Balance de aguas subterráneas para años secos (entradas)

SUBUNIDADES	INFILTRACIÓN LLUVIA (IP)	INFILTRACIÓN CAUCES (IRC)	RETORNOS RIEGO (IRR)	ENTRADAS LATERALES (QAC)	ENTRADAS TOTALES
OESTE	30	15	-	-	45
SEPTENTRIONAL CENTRAL	52	-	-	-	52
SEPTENTRIONAL COSTERA	44	-	-	-	44
NORESTE	14	-	-	-	14
MERIDIONAL	50	-	-	-	50
TOTALES	190	15	0	0	205

*Todos los datos son en hm³/año

Salidas:

Cuadro 9.4.2. Balance de aguas subterráneas para años secos (salidas)

SUBUNIDADES	DESCARGA A RÍOS (DR)	MANANTIALES Y CONEXIONES LATERALES (QM+QS)	EXTRACCIONES POR BOMBEOS (B)	SALIDAS TOTALES
OESTE	35	8	2	45
SEPTENTRIONAL CENTRAL	21	30	1	52
SEPTENTRIONAL COSTERA	-	44**	-	44**
NORESTE	-	13	1	14
MERIDIONAL	-	48	2	50
TOTALES	56	143	6	205

*Todos los datos son en hm³/año16.2

**Corresponden a descargas directas al mar

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 1350 y 1800 mm.

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

Entradas:

Cuadro 9.4.3. Balance de aguas subterráneas para años medios (entradas)

SUBUNIDADES	INFILTRACIÓN LLUVIA (IP)	INFILTRACIÓN CAUCES (IRC)	RETORNOS RIEGO (IRR)	ENTRADAS LATERALES (QAC)	ENTRADAS TOTALES
OESTE	63	33	-	-	96
SEPTENTRIONAL CENTRAL	109	-	-	-	109
SEPTENTRIONAL COSTERA	93	-	-	-	93
NORESTE	30	-	-	-	30
MERIDIONAL	104	-	-	-	104
TOTALES	399	33	0	0	432

*Todos los datos son en hm³/año

Salidas:

Cuadro 9.4.4. Balance de aguas subterráneas para años medios (salidas)

SUBUNIDADES	DESCARGA A RÍOS (DR)	MANANTIALES Y CONEXIONES LATERALES (QM+QS)	EXTRACCIONES POR BOMBEOS (B)	SALIDAS TOTALES
OESTE	81	13	2	96
SEPTENTRIONAL CENTRAL	40	68	1	109
SEPTENTRIONAL COSTERA	-	93**	-	93**
NORESTE	-	30	-	30
MERIDIONAL	-	102	2	104
TOTALES	121	306	5	432

*Todos los datos son en hm³/año

**Corresponden a descargas directas al mar

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 1800 mm.

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

Entradas:

Cuadro 9.4.5. Balance de aguas subterráneas para años húmedos (entradas)

SUBUNIDADES	INFILTRACIÓN LLUVIA (IP)	INFILTRACIÓN CAUCES (IRC)	RETORNOS RIEGO (IRR)	ENTRADAS LATERALES (QAC)	ENTRADAS TOTALES
OESTE	138	70	-	-	208
SEPTENTRIONAL CENTRAL	239	-	-	-	239
SEPTENTRIONAL COSTERA	204	-	-	-	204
NORESTE	65	-	-	-	65
MERIDIONAL	227	-	-	-	227
TOTALES	873	70	0	0	943

*Todos los datos son en hm³/año

Salidas:

Cuadro 9.4.6. Balance de aguas subterráneas para años húmedos (salidas)

SUBUNIDADES	DESCARGA A RÍOS (DR)	MANANTIALES Y CONEXIONES LATERALES (QM+QS)	EXTRACCIONES POR BOMBEO (B)	SALIDAS TOTALES
OESTE	177	30	1	208
SEPTENTRION AL CENTRAL	99	140	-	239
SEPTENTRION AL COSTERA	-	204**	-	204**
NORESTE	-	65	-	65
MERIDIONAL	-	226	1	227
TOTALES	276	665	2	943

*Todos los datos son en hm³/año16.2

**Corresponden a descargas directas al mar

Del análisis de la relación entre aforos históricos y aforos del proyecto, se deduce que el año hidrológico contemplado en el presente estudio (octubre 2003-septiembre 2004) corresponde, para el ámbito de esta zona o unidad hidrogeológica, a un año medio. Por consiguiente, sus balances hídricos estarán comprendidos entre los definidos para dichos años tipo.

10. RESUMEN, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES DE ACTUACIÓN FUTURAS

10.1. RESUMEN Y CONCLUSIONES

Situación e Información de partida

La unidad hidrogeológica de Los Haitises se sitúa al noreste de la isla, formando parte del límite sur de la Bahía de Samaná. Su límite norte lo conforma el extremo oriental de la unidad del Valle del Cibao, el oeste el extremo noreste de la unidad de la Cordillera Central, el sur el borde septentrional de la Planicie Costera Oriental y el este la Cordillera Oriental. La poligonal envolvente de esta unidad ocupa una superficie próxima a los 1 682 km².

La población total estimada para todo el ámbito de la unidad es de 59 109 habitantes, cuya distribución por provincias, términos y distritos municipales, secciones y parajes es la siguiente:

Cuadro 10.1.1. Población estimada por municipios para el año 2004, por municipios

PROVINCIA	TERMINOS MUNICIPALES	DISTRITOS MUNICIPALES	Nº DE SECCIONES	Nº DE PARAJES	POBLACIÓN (2004)
Sánchez Ramírez	Cotui		1	21	6465
	Cevicos		3	47	9441
		La Cueva	2	21	5278
<i>Total población de la provincia en la unidad</i>					21184
Duarte		Hostos	1	4	2008
<i>Total población de la provincia en la unidad</i>					2008
Monte Plata	Bayaguana		2	34	5737
	Sabana Grande De Boya		5	61	25711
		Don Juan	1	6	1685
<i>Total población de la provincia en la unidad</i>					33133
Samaná	Sánchez		2	3	545
<i>Total población de la provincia en la unidad</i>					545
Hato Mayor	Sabana de la Mar		1	6	927
	El Valle		1	5	1311
<i>Total población de la provincia en la unidad</i>					2238
Total población en las Unidades					59109

La densidad de población en el área de estudio es muy baja (35 hab/km²), comparada con la media de todo el país (182 hab/km²), debido al relieve escabroso de la mayor parte de la zona, y en cuanto a la distribución de la población por subunidades, tres de ellas acaparan más del 95% del total, el 39.24% se integra en la subunidad Oeste (23 192 habitantes), el 35.90% en la subunidad Meridional (12 223 habitantes), el 20.56% en la subunidad Septentrional Central (12 152 habitantes), el 3.55% en la subunidad Noreste (2 099 habitantes), y el 0.75% restante en la Septentrional Costera (443 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).

Demandas de agua para riego

Dentro de los límites de esta unidad hidrogeológica no existe, en la actualidad, ningún sistema de riego en explotación, dada la peculiaridad de la mayor parte de su extensión, que está comprendida dentro del denominado Parque Nacional de Los Haitises. No obstante de esta peculiaridad, se han identificado dentro de sus límites determinadas áreas con posibilidad de ponerse, en el futuro, en explotación agrícola, desde el punto de vista de la idoneidad de sus suelos y de las disponibilidades de recursos hídricos, como son los casos de los aluviales de los ríos Payabo-Ara, Chacuey, Comate, Casui y el límite este de la unidad. Su identificación

superficial y principales características se incluyen en el apartado siguiente de recomendaciones de actuación futuras.

Climatología e Hidrología Superficial

El estudio climatológico de la unidad hidrogeológica 03 Los Haitises se ha llevado a cabo a partir de una selección de estaciones climáticas procedentes del INDRHI. Estas estaciones quedan reflejadas en el siguiente cuadro:

Cuadro 10.1.2. Estaciones climáticas seleccionadas

CÓDIGO	NOMBRE DE LA ESTACIÓN	TIPO(*)	LATITUD	LONGITUD	ALTITUD
1811	ABADESA	LD	19° 00' -50"	69° 55' 30"	33
1814	BARRAQUITO	CL	19° 07' 50"	69° 47' 20"	8
1815	LA ANGELINA	CL	19° 07' 35"	70° 13' 20"	48

(*) LD: estación pluviométrica; CL: estación climática

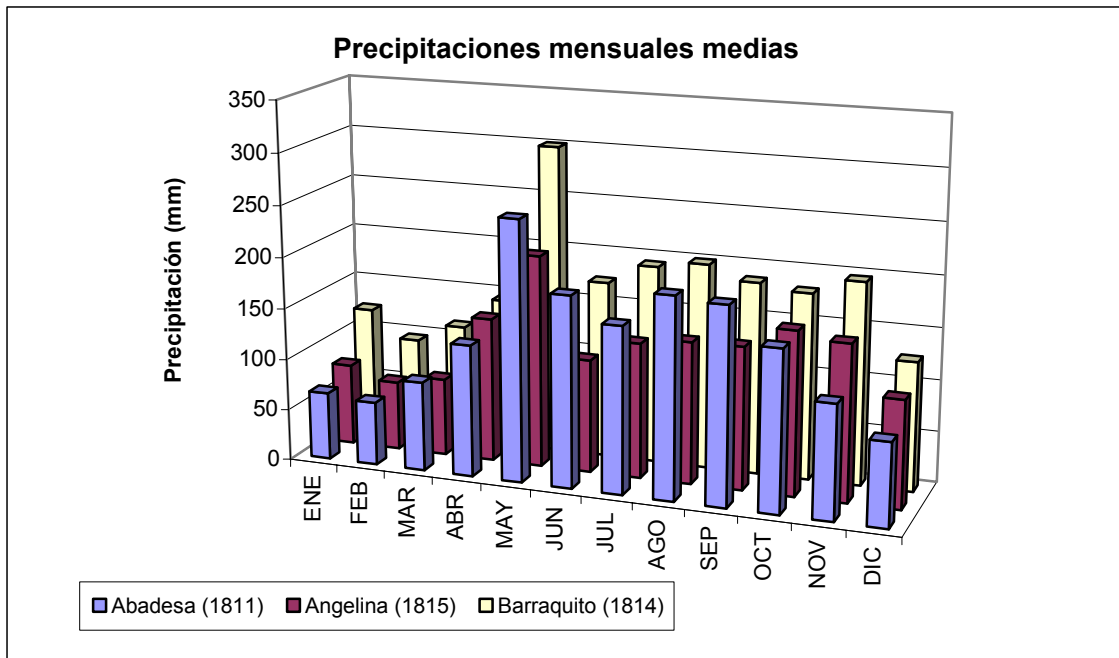
Análisis de precipitación:

La serie de años utilizada para el análisis de precipitación es de 22 años, entre 1977 y 1998. Los valores anuales de precipitación, en mm, para los años tipo de cada estación se presentan en el siguiente cuadro:

Cuadro 10.1.3. Valores anuales de precipitación, en mm

CÓDIGO	NOMBRE DE LA ESTACIÓN	AÑO SECO	AÑO MEDIO	AÑO HÚMEDO
1811	ABADESA	1271.8	1676.2	2108.8
1814	BARRAQUITO	1624.4	2007.1	2329.7
1815	LA ANGELINA	1114.2	1439.3	1782.7
	MEDIA	1336.8	1707.5	2073.7

En el siguiente gráfico se representa la distribución mensual de la precipitación, para año medio, de las tres estaciones, seleccionadas como representativas de las distintas altitudes de la zona:



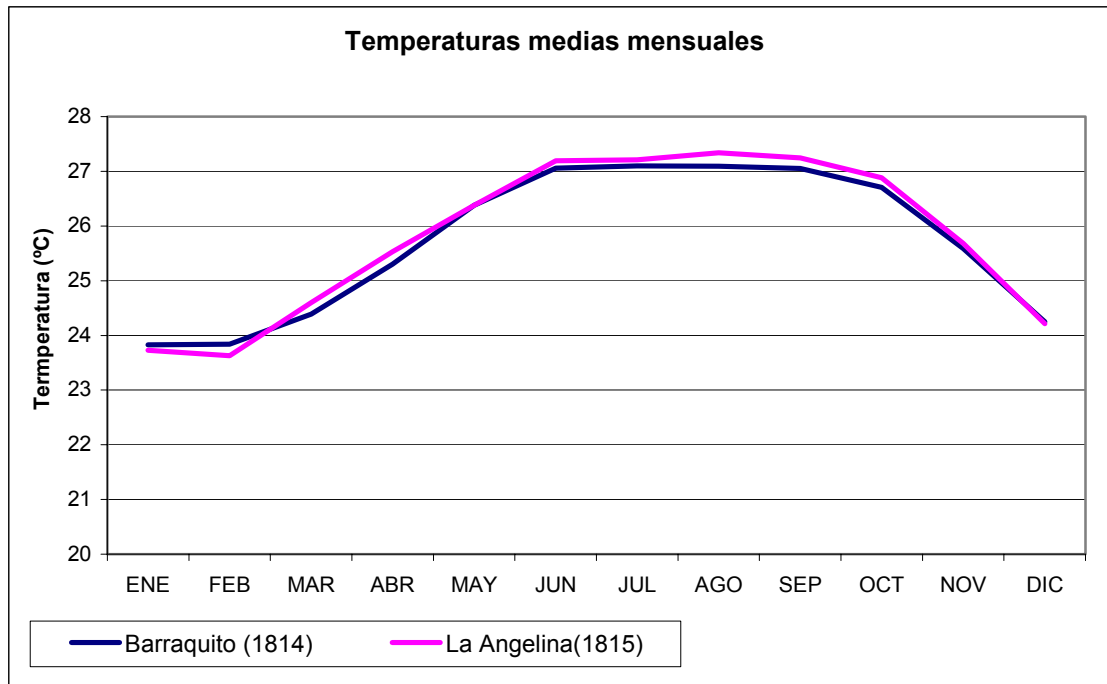
Análisis de Temperatura:

La serie de años utilizada para el análisis de temperatura en las estaciones 1814 – Barraquito y 1815 – La Angelina es de 20 años, entre 1977 y 1998. Los datos de temperatura media anual quedan reflejados en el siguiente cuadro:

Cuadro 10.1.4. Datos de temperatura media anual

CÓDIGO	NOMBRE DE LA ESTACIÓN	TEMPERATURA MEDIA ANUAL (°C)
1814	BARRAQUITO	25.7
1815	LA ANGELINA	25.8
	MEDIA	25.75

La distribución mensual de las temperaturas medias para las dos estaciones utilizadas 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 para la Unidad de Los Haitises:

Año medio	Año húmedo	Año seco
272	597	130

*Valores de lluvia útil en mm

En lo referente a los cursos de agua superficiales más significativos y relacionados con esta unidad, los más significativos son los siguientes (de oeste a este):

- Ríos Chacuey, Cevicos, Payabo y Ara, de distribución Sur-Norte y vertientes, por su margen derecha, hacia la cuenca baja del Río Yuna.
- Río Cristal, vertiente al río Barracote, tributario, por su margen derecha, del citado Río Yuna, en su tramo final y próximo en su desembocadura al mar.

Estudio Hidrogeológico Nacional de la República Dominicana Fase II. Unidad Hidrogeológica de Los Haitises

- Arroyos Pilancón, Sabana, Capita y el río Casui, de distribución Norte- Sur y vertientes, por su margen izquierda, a la cuenca del Río Ozama.
- Arroyos del Agua y la Jagua y ríos Yanigua y Chiquito, de distribución Sur-Norte y vertientes a la cuenca del río Yabón, en su cuenca baja y por su margen izquierda .

La red de afloros de esta unidad está compuesta por un total de 17 puntos cuyas características principales se describen en la siguiente tabla:

Cuadro 10.1.5. Características principales de la red de afloros

PUNTO DE AFORO	TIPO DE ACUÍFERO	PERMEABILIDAD ESTIMADA	OBSERVACIONES
ALCANTARILLA	CARBONATADO	ALTA	Controla la salida hacia la Unidad del Valle del Cibao
ARA-1	CARBONATADO	ALTA	Controla la salida hacia la Unidad de la Cordillera Central
BARRACOTE-1	CARBONATADO	ALTA	Controla la salida hacia la Unidad del Valle del Cibao
BARRAQUITO-1	CARBONATADO	ALTA	Controla la salida hacia la Unidad del Valle del Cibao
BOYA-1	CARBONATADO	ALTA	Controla la salida hacia la Unidad de la Planicie Costera Oriental
CAGU-1	CARBONATADO	ALTA	Controla la salida hacia la Unidad de la Planicie Costera Oriental
CAÑO PONTÓN-1	CARBONATADO	ALTA	Controla la salida hacia la Unidad del Valle del Cibao
CAÑO PONTÓN-2	CARBONATADO	ALTA	Controla la salida hacia la Unidad del Valle del Cibao
CEVICOS-1	VOLCÁNICO	MEDIA-BAJA	Situado antes de filtrarse en las calizas.
COMATE-1	DETRÍTICO	ALTA	Controla las salidas de los materiales carbonatados en la zona sur de la Unidad
CHACUEY-1	CARBONATADO	ALTA	Salida noroeste de la Unidad hacia el Valle del Cibao
GUARAGUAO-1	CARBONATADO	ALTA	Controla la salida hacia la Unidad del Valle del Cibao
LAJAGUA-1	CARBONATADO	ALTA	Controla la salida hacia la Unidad de la Cordillera Oriental
PAYABO-1	CARBONATADO	ALTA	Salida Norte de la Unidad hacia el Valle del Cibao
PAYABO-2	CARBONATADO	ALTA	Controla la salida hacia la Unidad del Valle del Cibao
SABANA-2	CARBONATADO	ALTA	Controla la salida hacia la Unidad de la Cordillera Oriental
YANIGUA	CARBONATADO	ALTA	Controla la salida hacia la Unidad de la Cordillera Oriental

Dada la dificultad en los accesos al interior de esta unidad, la mayor parte de los afloros se han situado en el borde de la misma, e incluso en la zona Sur, dentro de los límites de la Unidad de la Planicie Costera Oriental, controlando así las salidas a través de los principales cursos fluviales.

Extracciones y Usos

El volumen total de recursos hídricos de origen subterráneo utilizados durante el año 2004 dentro del área de la Unidad Hidrogeológica de Los Haitises es muy escaso, en relación con sus recursos renovables, y se han estimado en unos 3.73 hm³/año, que suponen algo menos del 1% del volumen total de recarga anual para un año climatológicamente medio. Este hecho confirma el que esta unidad pueda ser considerada como reserva estratégica de cara a solucionar posibles demandas de agua en unidades limítrofes, mediante la utilización de una parte de sus importantes excedentes hídricos, sobre todo de los procedentes de las subunidades Septentrional Costera y Septentrional Central.

Por tipos de usos, la totalidad de las extracciones subterráneas (los mencionados 3.73 hm³/año) se utilizan actualmente para abastecimiento o uso urbano, al ser la agricultura y la industria dentro del ámbito de esta unidad del tipo residual y considerarse su consumo despreciable a efectos de balance hídrico.

La distribución de las mencionadas extracciones actuales, por tipos de usos y por subunidades, es la siguiente:

Cuadro 10.1.6. Distribución de volúmenes de agua subterránea utilizados en el área de la Unidad Hidrogeológica de Los Haitises

Subunidad	Volumen de recursos subterráneos utilizados por tipos de usos				
	Urbano (hm ³ /año)	Industrial (hm ³ /año)	Ganadero (hm ³ /año)	Agrícola (hm ³ /año)	TOTAL (hm ³ /año)
Oeste	1.46	0	0	0	1.46
Septentrional Central	0.77	0	0	0	0.77
Septentrional Costera	0.03	0	0	0	0.03
Noreste	0.13	0	0	0	0.13
Meridional	1.34	0	0	0	1.34
Total U.H. Los Haitises	3.73	0	0	0	3.73

Hidrogeología

La Unidad o Zona Hidrogeológica nº 3: Los Haitises, se sitúa en el sector centro oriental del país y corresponde con las estribaciones más septentrionales y de naturaleza carbonatada de la Sierra de Seibo, en los que se ha desarrollado un proceso de karstificación avanzado. Desde un punto de vista general, constituye una zona de transito entre las Unidades o Zonas Hidrogeológicas nº 6: Valle de Cibao y la nº 2: Cordillera Oriental, aunque con unas características morfológicas especialmente particulares, como es su relieve en forma de cerros o mogotes de unos 30 a 40 metros de altura, con altitudes medias próximas a los 200 m.s.n.m.

La delimitación de la unidad alcanza una superficie total de 1 823 km², de los cuales el 80% (unos 1 462 km²) corresponden a materiales permeables y el resto (361 km²) a materiales de baja permeabilidad.

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

Cuadro 10.1.7. Características de las formaciones diferenciadas

FORMACIONES DE PRIMER ORDEN	FORMACIONES DE SEGUNDO ORDEN	TIPO DE MATERIALES PERMEABLES	SUPERFICIE (en Km ²)
Formaciones con permeabilidad por porosidad intersticial	Formaciones porosas con permeabilidad y productividad elevadas	Qa: depósitos de terrazas fluviales del Cuaternario	70.22
		Qal: depósitos de conglomerados, arenas y molasas continentales del Cuaternario-Pleistoceno.	39.7
	Formaciones porosas con permeabilidad variable y productividad baja	Ql: depósitos de marismas y manglares de edad Cuaternario Holoceno.	0.29
Formaciones fisuradas con permeabilidad por fisuración-karstificación	Formaciones fisuradas de gran extensión superficial y alta permeabilidad y productividad	PLc: calizas arrecifales detríticas, muy karstificadas y de edad Plioceno-Pleistoceno.	1 352

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:

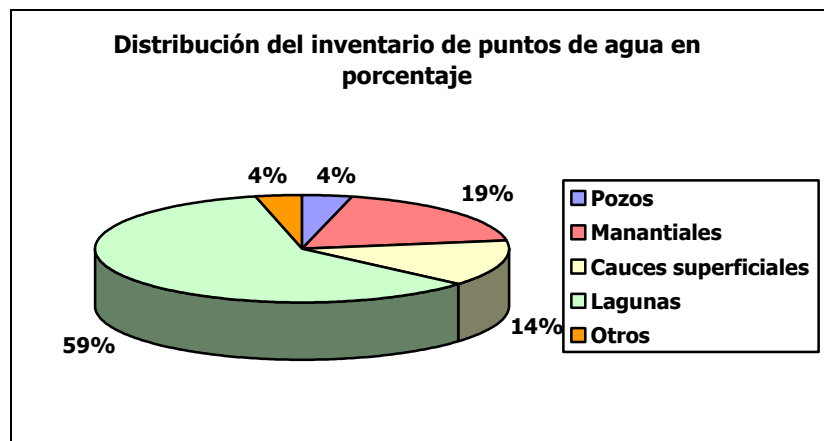
Cuadro 10.1.8. Subunidades de funcionamiento hidrogeológico delimitadas y formaciones y niveles acuíferos que se integran en ellas

SUBZONAS HIDROGEOLÓGICAS	SUPERFICIES (km ²)		LÍMITES	NIVELES ACUÍFEROS
	Materiales permeables	Materiales de baja permeabilidad		
Oeste (Las Cien Tareas-Cotui)	231.17 km ²	143.71 km ²	<ul style="list-style-type: none"> - Norte y Oeste: abiertos y en contacto con los depósitos cuaternarios fluviales de los ríos Yuna y Chacuey - Este: abierto y en contacto con los depósitos cuaternarios fluviales del río Payabo-Ara - Sur: cerrado o estanco, debido a la presencia de materiales de baja permeabilidad: Plioceno (PLm-y), rocas plutónicas (RPg) y volcans sedimentarias (RVS) 	<ul style="list-style-type: none"> - PLc (179.19 km²) - Qal (28.27 km²) - Qa (23.71 km²)
Septentrional Central (La Marimba)	399.62 km ²	62.65 km ²	<ul style="list-style-type: none"> - Norte y Oeste: abiertos y en contacto con los depósitos cuaternarios fluviales de los ríos Yuna y Payabo-Ara. - Este: abierto y en continuidad geométrica y litológica con las calizas arrecifales de la Zona Septentrional Costera (Naranjo Abajo). - Sur: cerrado o estanco, debido a la presencia de un umbral de rocas plutónicas (tonalitas) que actúan de barrera subterránea. 	<ul style="list-style-type: none"> - PLc (362.13 km²) - Qal (11.45 km²) - Qa (26.04 km²)
Septentrional Costera (Naranjo Abajo)	341.19 km ²	0.63 km ²	<ul style="list-style-type: none"> - Norte: abierto y en contacto con el mar (Bahía de Samaná) - Oeste y Este: abiertos y en continuidad geométrica y litológica con las calizas arrecifales de las Zonas Septentrional Central y Noreste, respectivamente. - Sur: cerrado o estanco, debido a la presencia de un umbral de rocas plutónicas (tonalitas) que actúan de 	<ul style="list-style-type: none"> - PLc (341.05 km²) - Ql (0.14 km²)

SUBZONAS HIDROGEOLÓGICAS	SUPERFICIES (km ²)		LÍMITES	NIVELES ACUÍFEROS
	Materiales permeables	Materiales de baja permeabilidad		
			barrera subterránea.	
Noreste (Sabana de la Mar)	109.43 km ²	45.11 km ²	- Noreste: abierto y en contacto con los depósitos cuaternarios fluviales del río Yabón. - Sureste: cerrado y estanco, debido a la presencia de materiales de baja permeabilidad: Plioceno (PLm-y), rocas plutónicas (RPg) y volcans sedimentarias (RVS). - Oeste y Sur: abierto y en continuidad geométrica y litológica con las calizas arrecifales de las zonas contiguas Septentrional Costera y Meridional, respectivamente.	- PLc (101.10 km ²) - QI (0.15 km ²) - Qa (8.18 km ²)
Meridional (Sabana Grande de Boyá-Los Limones-Loma Clara)	381.06 km ²	108.88 km ²	Norte: abierto y en continuidad geométrica y litológica con las calizas arrecifales de las zonas contiguas Septentrional Central, Septentrional Costera y Noreste.	- PLc (368.80 km ²) - Qa (12.27 km ²)
TOTAL	1,462.47 km²	360.99 km²	-	- PLc (1,352.3 km²) - QI (0.29 km²) - QaI (39.72 km²) - Qa (70.20 km²)

La ausencia de inventario previo dentro de los límites de esta unidad hidrogeológica conlleva a que todos los puntos utilizados en este estudio sean de nuevo inventario. En total, se han inventariado 92 puntos de agua, cuya distribución según la naturaleza del punto es la siguiente:

- 10 pozos.
- 15 manantiales.
- 46 lagunas de descarga o zonas de encharcamiento (ciénagas).
- 18 cauces superficiales relacionados con el funcionamiento hidrogeológico de la unidad.
- 3 otras naturalezas.



La distribución según usos de los puntos de agua inventariados es la siguiente:

- 11 Abastecimiento doméstico (10 pozos y 1 manantial)
- 2 Abastecimiento a núcleos urbanos (2 manantiales)
- 1 Abastecimiento y ganadería (1 manantial)
- 8 Usos ecológicos (8 manantiales)
- 70 Sin uso o desconocido (46 lagunas, 18 cauces superficiales, 3 manantiales y 3 otros)

En cuanto a la distribución de puntos de agua por hojas topográficas 1:50.000 queda de la siguiente forma:

Cuadro 10.1.9. Distribución de puntos de agua por hojas topográficas 1:50.000

Nº Hoja	Nombre Hoja	Manantial	Pozo	Cauce Superficial	Laguna	Otros	Total
6173 II	Cotui		7	1			8
6272 I	Antón Sánchez	5	1	3	37		46
6272 IV	Sabana Grande de Boya			1			1
6273 II	La Jagua	9	1		1	1	12
6273 III	Cevicos		1	10	3		14
6372 IV	El Valle			3	5	1	9
6373 III	Sabana de la Mar	1				1	2

La red piezométrica definida para esta unidad está constituida por dos puntos de control (6372210001 y 6273340001), situados en distintos subsectores dentro de la Unidad Hidrogeológica (Laguna Cristal y Cevicos respectivamente). Sin embargo, en el punto de control del subsector Laguna Cristal, no se han podido realizar medidas en las sucesivas campañas de piezometría por estar el pozo deteriorado, con lo que sólo se tiene el dato de nivel de la primera campaña. En el siguiente cuadro quedan reflejados los niveles máximos, mínimos y medios en metros sobre el nivel del mar para el subsector Cevicos.

CodPunto	Subsector	Máx Nivel	Mín Nivel	Nivel Medio
6273340001	Cevicos	110.80	105.20	107.71

Hidroquímica

El estudio de las características que presentan las aguas subterráneas de la unidad hidrogeológica 03. Los Haitises se ha llevado a cabo partiendo de los datos obtenidos en dos campañas de muestreo realizadas, entre noviembre y diciembre de 2003 en la primera campaña y entre mayo y junio de 2004 en la segunda campaña, en 14 puntos de agua, que corresponden a pozos, manantiales y descargas a lagunas y ríos.

Las aguas analizadas presentan una mineralización que varía desde baja a elevada con conductividades que oscilan entre 116 y 3030 microS/cm (primera campaña) y entre 78 y 931 microS/cm (segunda campaña) y valores de nitratos que oscilan entre 1 y 10 mg/l de NO₃⁻ (primera campaña) y entre 4 y 13 mg/l de NO₃⁻ (segunda campaña).

Existe un predominio de aguas bicarbonatadas cálcicas dentro de la unidad hidrogeológica.

Atendiendo al anión predominante se observa que la composición de las aguas analizadas es de carácter bicarbonatado y sólo se observa una muestra de composición netamente sódica, la n^o 49.

En cuanto a los cationes, las aguas subterráneas tienen una composición cálcica en la mayor parte de las aguas analizadas. Sin embargo, se observa una muestra de carácter sódico y dos de carácter mixto cálcico-sódico.

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 Los Haitises indican que en una muestra de agua subterránea se superan los límites establecidos para sodio, cloruros y total de sólidos disueltos en la primera campaña, y para sodio y nitratos en una muestra en la segunda campaña. 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) o muy alto (C4) y de alcalinización bajo (S1) o alto (S3).

En la descarga hacia la Bahía de Samaná, al oeste de Sabana de la Mar se registra un manantial con una salinidad relativamente elevada (diagrama de Stiff de mayor tamaño). Se trata de un agua de facies clorurada sódica, que parece ser reflejo de un proceso de mezcla con agua de mar. Por ello, se ha incluido en la red de control de la intrusión.

Funcionamiento Hidrogeológico y Balance Hídrico

La recarga de la U.H. de Los Haitises se produce, fundamentalmente, por infiltración directa del agua de la lluvia precipitada sobre los afloramientos permeables, así como, de forma muy localizada y minoritaria, por infiltración desde cauces superficiales (caso del sumidero del río Cevicos a su entrada en las calizas pliocenas de la subunidad del Oeste).

La distribución de las recargas totales para un año medio, estimadas por las distintas subzonas definidas, es la siguiente:

Cuadro 10.1.10. Distribución de las recargas totales para un año medio, por subzonas

SUBZONA	LLUVIA ÚTIL MEDIA ANUAL (en mm)	SUPERFICIE DE MATERIALES PERMEABLES (en km ²)	VOLUMEN DE RECARGA ANUAL POR INFILTRACIÓN DE LA LLUVIA (en hm ³)	VOLUMEN DE RECARGA ANUAL POR INFILTRACIÓN DESDE CAUCES SUPERFICIALES (en hm ³)	VOLUMEN DE RECARGA ANUAL TOTAL (en hm ³)
SUBZONA OESTE	272	231.17	63	33	96
SUBZONA SEPTENTRIONAL CENTRAL	272	399.62	109	-	109
SUBZONA SEPTENTRIONAL COSTERA	272	341.19	93	-	93
SUBZONA NORESTE	272	109.43	30	-	30
SUBZONA MERIDIONAL	272	381.06	104	-	104
TOTALES	272	1462.47	399	33	432

Por su parte las descargas de la unidad se producen, básicamente, por tres vías preferenciales: drenajes por cauces superficiales, manantiales y emergencias de distintos tipos, tanto subaéreas, como submarinas, y, dentro de las primeras, en sus distintas versiones de surgentes por encima del nivel de los cauces epigeos, surgentes a nivel de los cauces epigeos y de surgentes bajo los talwegs de los citados cauces epigeos, y, finalmente, extracciones para abastecimientos urbanos.

No existen datos históricos con los que poder establecer las descargas de la unidad para diferentes años tipo (medios, húmedos y secos), por lo que han debido estimarse únicamente con los datos procedentes del presente estudio, que, muy posiblemente, corresponderán a un año medio-húmedo.

De acuerdo con dichos datos, las descargas más importantes (del orden de 306 hm³/año medio) se producen por manantiales y surgencias, que se concentran en el borde norte de la unidad, seguidas de las descargas a través de cauces superficiales (unos 121 hm³/año medio por los ríos Ara-Payabo y Chacuey). Por último, las descargas por extracciones son muy poco significativas (del orden de los 4 hm³/año medio), debido, precisamente, a que la mayor parte de la superficie de la unidad se integra dentro de un Parque Nacional sujeto a protección ambiental.

Estudio Hidrogeológico Nacional de la República Dominicana Fase II. Unidad Hidrogeológica de Los Haitises

La distribución de los diferentes tipos de descargas por las subzonas de funcionamiento hidrogeológico son las siguientes:

Cuadro 10.1.11. Distribución de los diferentes tipos de descargas por subzonas

SUBZONA	SECTORES DE DESCARGA	DRENAJES POR CAUCES SUPERFICIALES (en hm³/año)	DESCARGAS POR MANANTIALES (en hm³/año)	EXTRACCIONES POR BOMBEO PARA USOS HUMANOS	DESCARGAS TOTALES (en hm³/año)	OBSERVACIONES
OESTE	Norte, Oeste y Este	81	13	1.5	96	Corresponden, en su mayoría, a descargas por el río Chacuey (Oeste), por el sumidero del Cevicos (Norte) y por el río Ara-Payabo (Este).
SEPTENTRIONAL CENTRAL	Este, Noroeste y Norte	40	68	0.8	109	Las descargas por cauces corresponden al río Ara-Payabo y las de los caños de Barracote, Barraquito y Guaraguao
SEPTENTRIONAL COSTERA	Norte	-	93	-	93	Todas las salidas se producen al mar, mediante manantiales y surgencias de distinto tipo (al menos ocho).
NORESTE	Noreste y Este	-	30	0.1	30	Corresponden a manantiales de muro que dan origen a los ríos Yanigua, Lajagua y Chiquito.
MERIDIONAL	Sabana del Medio, Sabana de los Javeles y Los Cerritos	-	102	1.5	104	Corresponden a manantiales de muro que dan origen a diversas lagunas y a los nacimientos de los ríos Boyá, Comate, Sabana y Cagu.
TOTALES	-	121	306	3.9	432	-

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

Entradas:

Cuadro 10.1.12. Balance de aguas subterráneas para años medios (entradas)

SUBUNIDADES	INFILTRACIÓN LLUVIA (IP)	INFILTRACIÓN CAUCES (IRC)	RETORNOS RIEGO (IRR)	ENTRADAS LATERALES (QAC)	ENTRADAS TOTALES
OESTE	63	33	-	-	96
SEPTENTRIONAL CENTRAL	109	-	-	-	109
SEPTENTRIONAL COSTERA	93	-	-	-	93
NORESTE	30	-	-	-	30
MERIDIONAL	104	-	-	-	104
TOTALES	399	33	0	0	432

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

Salidas:

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

SUBUNIDADES	DESCARGA A RÍOS (DR)	MANANTIALES Y CONEXIONES LATERALES (QM+QS)	EXTRACCIONES POR BOMBEO (B)	SALIDAS TOTALES
OESTE	81	13	2	96
SEPTENTRIONAL CENTRAL	40	68	1	109
SEPTENTRIONAL COSTERA	-	93**	-	93**
NORESTE	-	30	-	30
MERIDIONAL	-	102	2	104
TOTALES	121	306	5	432

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

**Corresponden a descargas directas al mar

10.2. RECOMENDACIONES DE ACTUACIÓN FUTURAS

Al final de este informe se incluye un plano hidrogeológico de la unidad con las recomendaciones propuestas (redes de control, áreas de riego, sondeos de investigación propuestos...).

Construcción de sondeos de investigación y piezométricos

La inexistencia actual de información piezométrica suficiente y referente al principal acuífero de la unidad (las calizas arrecifales del Plioceno-Pleistoceno: PLc) 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).

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

Cuadro 10.2.1. Piezómetros propuestos

SUBUNIDADES HIDROGEOLÓGICAS	SONDEO PIEZOMÉTRICO	UBICACIÓN (Coord. UTM)		CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS
		X	y	
OESTE	P₁ y P₂	396668	2113453	Profundidad: 100-150 m. Diámetro de perforación 130 mm y de entubación 50 mm.
		387006	2111839	
SEPTENTRIONAL CENTRAL	P₃ P₄ y P₅	422698	2100538	Profundidad: 100-150 m. Diámetro de perforación 130 mm y de entubación 50 mm.
		411048	2105861	
		416895	2112275	
SEPTENTRIONAL COSTERA	P₆, P₇ y P₈	437010	2096741	Profundidad: 100-150 m. Diámetro de perforación 130 mm y de entubación 50 mm.
		437577	2103025	
		437665	2109264	
NOROESTE	P₉ y P₁₀	450798	2093905	Profundidad: 100-150 m. Diámetro de perforación 130 mm y de entubación 50 mm.
		452718	2104726	

SUBUNIDADES HIDROGEOLÓGICAS	SONDEO PIEZOMÉTRICO	UBICACIÓN (Coord. UTM)		CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS
		X	y	
MERIDIONAL	P₁₁ P₁₂, P₁₃ P₁₄ y P₁₅	452631	2090720	Profundidad: 100-150 m. Diámetro de perforación 130 mm y de entubación 50 mm.
		439628	2090982	
		419862	2096829	
		425054	2089847	
		448835	2083521	
TOTALES	15			

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 de los sondeos 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 de Los Haitises 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.). 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 Los Haitises donde se recomienda realizar sondeos de abastecimiento, son los siguientes:

Cuadro 10.2.2. Núcleos urbanos con más de 1000 habitantes en los que se recomiendan sondeos de abastecimiento

SUBUNIDAD OESTE	Provincia Sánchez Ramírez			Población (2004)
	Municipios	Secciones	Parajes	
	Cevicos	Cevicos	2	1996
La Cueva D.M.	La Cueva D.M.	4	3410	
SUBUNIDAD SEP. CENTRAL	Provincia Duarte			Población (2004)
	Municipios	Secciones	Parajes	
	Hostos D.M.	Cerrejon	4	2008
SUBUNIDAD D NORESTE	Provincia Monte Plata			Población (2004)
	Municipios	Secciones	Parajes	
	Sabana Grande de Payabo		10	3698
Don Juan D.M.	Sabana de Payabo	6	1685	
SUBUNIDAD MERIDIONAL	Provincia Hato Mayor			Población (2004)
	Municipios	Secciones	Parajes	
	El Valle	San Rafael	5	1311
SUBUNIDAD MERIDIONAL	Provincia Monte Plata			Población (2004)
	Municipios	Secciones	Parajes	
	Bayaguana	Hidalgo	16	3713
		Trinidad	18	2024
Sabana Grande de Boya	Sabana Grande de Boya	6	14270	

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.

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 control de piezométrico

Se recomienda continuar la medición de la red de control piezométrico, si bien, se proponen una serie de cambios a realizar tanto en los puntos de control de la red como en la periodicidad de medida de la misma.

Para ello, se propone eliminar una serie de puntos que aportan información redundante de determinados subsectores y añadir los piezómetros de investigación propuestos para la mejora del conocimiento hidrogeológico de la unidad. Además se propone una periodicidad cuatrimestral en detrimento de la mensual realizada durante el presente estudio.

La red de control propuesta queda definida en el siguiente cuadro:

Cuadro 10.2.3. Red de control piezométrico propuesta

Subunidad	Subsector	CodPunto	Observaciones
Oeste	Cevicos	6273340001	
		P ₁	Añadir
		P ₂	Añadir
Septentrional Central		P ₃	Añadir
		P ₄	Añadir
		P ₅	Añadir
Septentrional Costera		P ₆	Añadir
		P ₇	Añadir
		P ₈	Añadir
Noreste		P ₉	Añadir
		P ₁₀	Añadir
Meridional		P ₁₁	Añadir
		P ₁₂	Añadir
		P ₁₃	Añadir
		P ₁₄	Añadir
		P ₁₅	Añadir

Red Foronómica

No se propone ningún nuevo punto de control foronómico, recomendándose seguir midiendo la red actual de aforos controlada durante la realización del presente proyecto, ya que se considera suficientemente amplia para el estudio de la unidad.

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 10.2.4. Red de control hidroquímico propuesta

Subunidad	Código punto existente	Nº orden	Código punto propuesto	Paraje O Municipio	Observaciones
Meridional	6272140003	20	6272140003	Laguna Macos. Sabana Del Estado	
	6272150003	21	6272150003	Nacimiento Río Sabana. Sabana Del Medio	
	6272150008	22	6272150008	Laguna Rincon Grande. Sabana Del Medio	
	6272150002	23	6272150002	Río Comatillo. Sabana De Los Javieles	
	6272120001	24	6272120001	Nacimiento Arroyo Pilancon. Pilancón	
Septentrional Central			1 punto	Sabana Grande De Boya	Prov. Monte Plata
	6372210001	44	6372210001	Laguna Cristal. Villa Riva. Nagua	
Septentrional Costera			1 punto	Sabana De Payabo. Don Juan. D.M	Prov. Monte Plata
	6273230001	45	6273230001	Los Haitises. Sabana De La Mar	
	6273250002	46		Naranja Abajo. Sabana De La Mar	Eliminar
	6273250004	47	6273250004	Puerto De Amado. Sabana De La Mar	
	6273230002	48		Naranja Arriba. Sabana De La Mar	Eliminar
Oeste	62732	49	62732	Puerto De La Llana. Sabana De La Mar	
	6273260002	50		La Llanada. Sabana De La Mar	Eliminar
Noreste	6173260001	85	6173260001	Cruce De Vasquez. Cotui	
	6273340001	86	6273340001	Cruce Mata De Jagua. Cevicos	
			1 punto	Trinidad. Bayaguana	Prov. Monte Plata

Instalación de nuevas estaciones climáticas

Se recomienda la instalación de tres nuevas estaciones climáticas similares a las instaladas en la Fase II del Estudio Hidrogeológico de la República Dominicana. La primera de ellas situada entre las subunidades Oeste y Septentrional Central, entre Sabana de Payabo y Payabo, sobre las terrazas fluviales del Cuaternario y las otras dos situadas en la subunidad Meridional, una de ellas en los alrededores de Hidalgo, y la otra en los alrededores de Pulgarín, ambas situadas sobre las calizas arrecifales pliocenas (Plc).

Estudios detallados sobre posibilidades de utilización de los recursos disponibles

La unidad hidrogeológica de Los Haitises presenta actualmente unos excedentes de recursos subterráneos anuales muy importantes, que se han evaluado en unos 427 Hm³ para años medios, que pueden llegar a duplicarse en años hidrológicamente húmedos.

De estos excedentes hídricos, unos 160 Hm³/año terminan descargando actualmente al mar, 93 de ellos directamente desde la subunidad Septentrional Costera y 68 a través de los caños del río Barracote desde el borde norte de la subunidad Septentrional Central.

El posible aprovechamiento de una parte de estos recursos excedentarios que actualmente se vierten al mar, debería de ser objeto de un futuro estudio de detalle, en el que se contemplara la forma sostenible de explotarlos para su posible utilización en determinados sectores de otras unidades contiguas (Planicie Costera Oriental). Dicho estudio debería de incluir no solo los posibles métodos de explotación, desde el punto de vista hidrogeológico (emplazamiento y características constructivas y de instalación de una serie de sondeos de explotación que extrajeran una parte de los citados recursos), sino también, el posible impacto ecológico y medioambiental que producirían dichos bombeos en la zona, al reducirse la aportación de agua dulce a la bahía de Samaná. La búsqueda del equilibrio entre la conservación del actual ecosistema de la zona y la obtención de unos recursos realmente excedentarios y necesarios en otras zonas debería ser el objeto de dicho estudio.

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 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 proponen los municipios y secciones municipales (para usos humanos, cuadro 10.2.5):

Cuadro 10.2.5. Municipios y secciones para realizar estudios detallados de usos del agua

SUBUNIDAD OESTE	Provincia Sánchez Ramírez			Población (2004)
	Municipios	Secciones	Parajes	
	Cevicos	Cevicos	2	1996
La Cueva D.M.	La Cueva D.M.	4	3410	
SUBUNIDAD OESTE	Provincia Duarte			Población (2004)
	Municipios	Secciones	Parajes	
	Hostos D.M.	Cerrejon	4	2008
SUBUNIDAD SEP. CENTRAL	Provincia Monte Plata			Población (2004)
	Municipios	Secciones	Parajes	
	Sabana Grande de Payabo		10	3698
Don Juan D.M.	Sabana de Payabo	6	1685	
SUBUNIDAD NORESTE	Provincia Hato Mayor			Población (2004)
	Municipios	Secciones	Parajes	
	Sabana de la Mar	El Centro	5	788
El Valle	San Rafael	5	1311	
SUBUNIDAD MERIDIONAL	Provincia Monte Plata			Población (2004)
	Municipios	Secciones	Parajes	
	Bayaguana	Hidalgo	16	3713
		Trinidad	18	2024
Sabana Grande de Boya	Sabana Grande de Boya	6	14270	

Asimismo, y de acuerdo con la información disponible, se recomienda como posibles zonas para establecer nuevos regadíos los indicados en el cuadro 10.2.6, cuya distribución espacial se observa en la Plano 11:

Cuadro 10.2.6. Zonas para establecer nuevos regadíos

Subunidad hidrogeológica	Posibles zonas de nuevos regadíos	Superficie (ha)
Oeste	1 Nuevo sistema de riego en la zona de la margen derecha del aluvial del río Payabo-Ara entre los parajes Batey Doña María al Norte y Batey Frias al Sur	3 720.49

Subunidad hidrogeológica	Posibles zonas de nuevos regadíos		Superficie (ha)
	2	Nuevo sistema de riego en el aluvial del río Chacuey entre los parajes del Platanal al Norte y el Cruce de Vásquez al Sur	1 875.29
Septentrional Central	1	Nuevo sistema de riego en la zona de la margen izquierda del aluvial del río Payabo-Ara entre los parajes Batey Hato San Pedro al Norte y Batey Frias al Sur	3 404.96
Meridional	1	Nuevo sistema de riego en la zona del aluvial del río Comate entre el paraje de Los Cerritos al Norte y el límite de la unidad al Sur	434.94
	2	Nuevo sistema de riego en la zona del aluvial del río Casui entre el paraje de San Rafael al Norte y el límite de la unidad al Sur	533.84
Noroeste	1	Nuevo sistema de riego entre los parajes de El Escobal al Norte y San Rafael al Sur, ocupando una franja de terreno paralela al límite de la unidad por el este	5 508.3

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, argillitas 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.

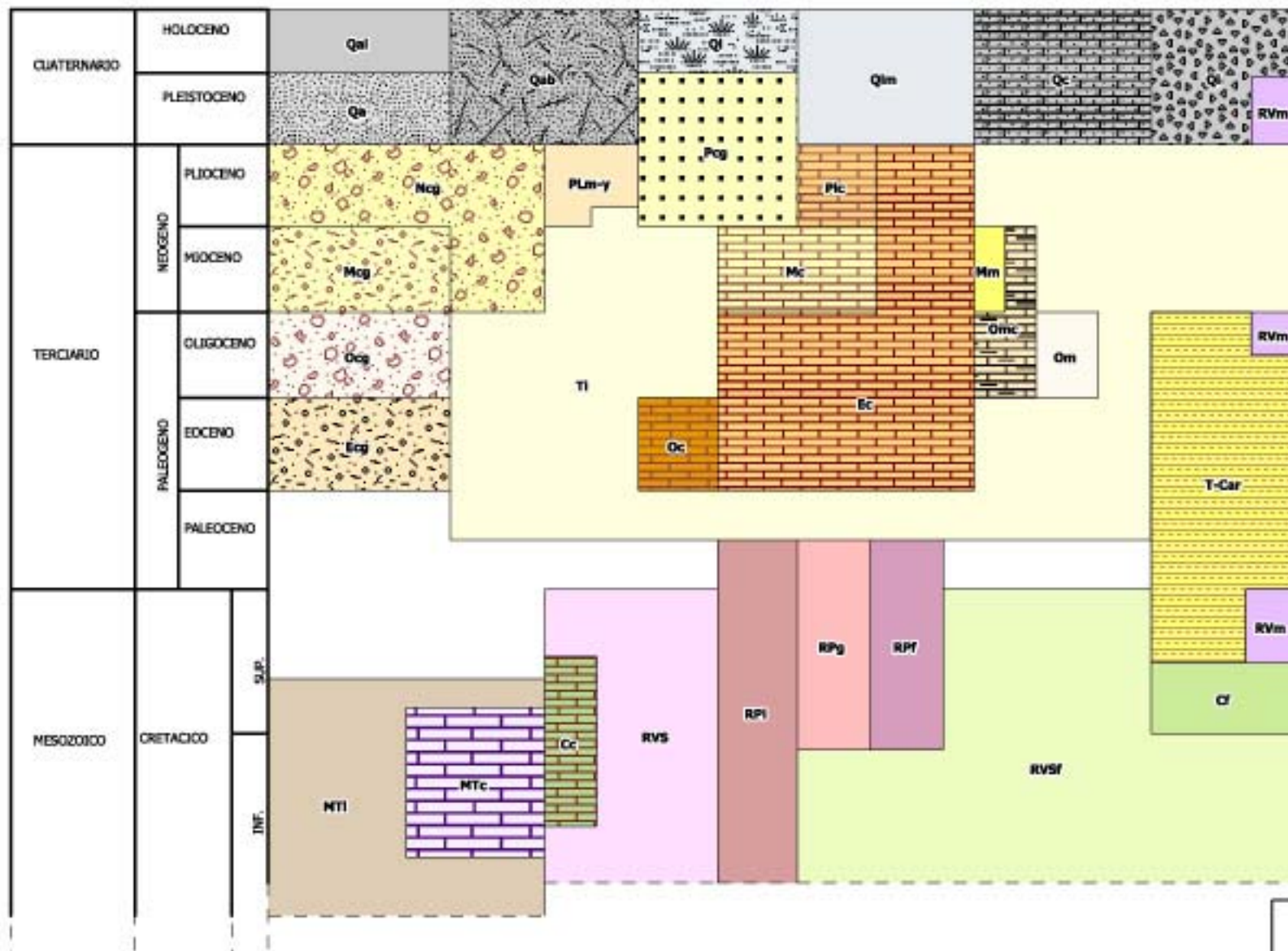
LEYENDA HIDROGEOLÓGICA

REPÚBLICA DOMINICANA



PROGRAMA SYSMIN

OCTUBRE - 2004



LEYENDA CRONOESTRATIGRÁFICA

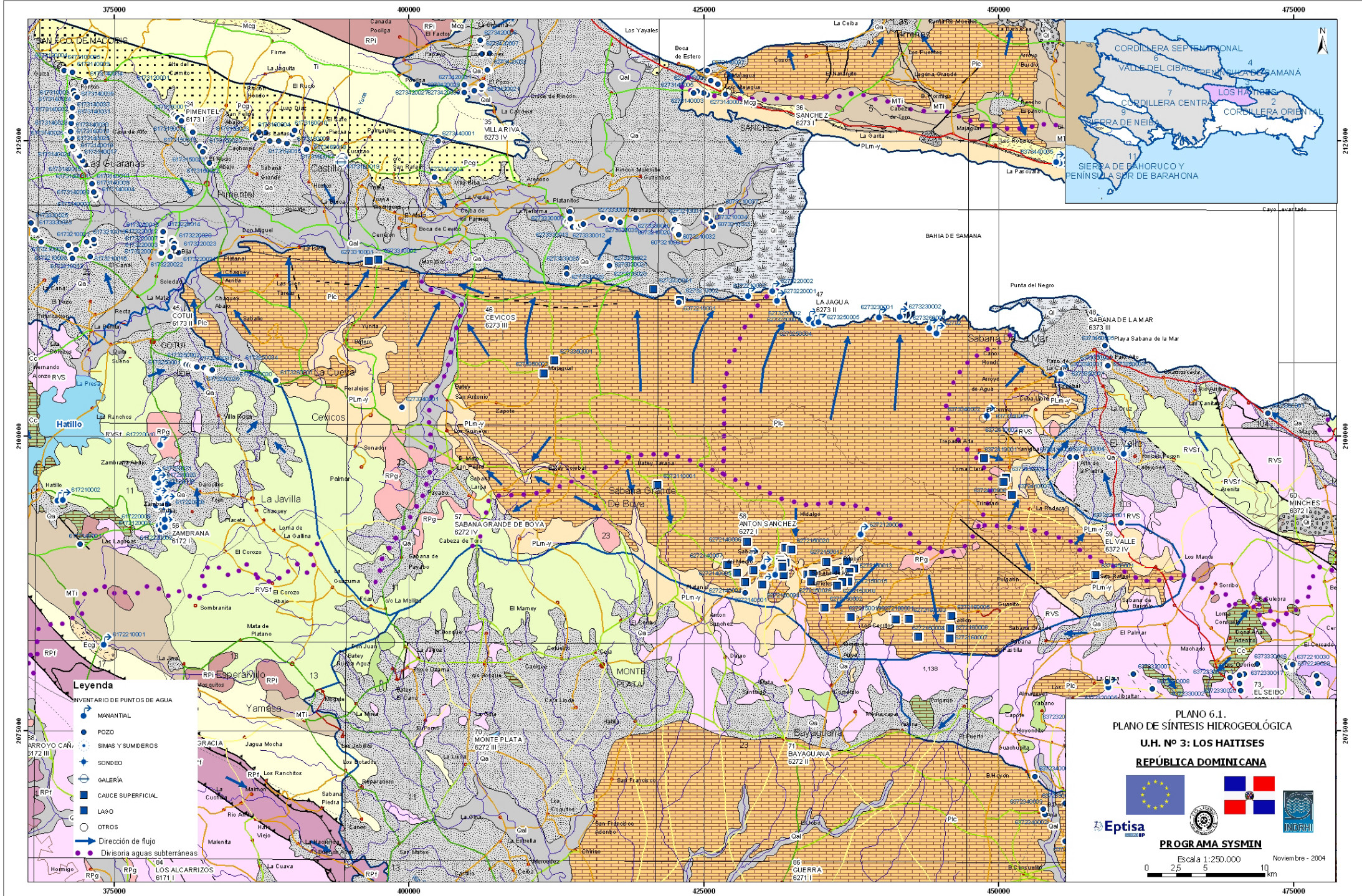
REPÚBLICA DOMINICANA

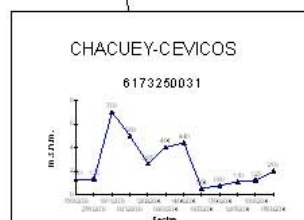
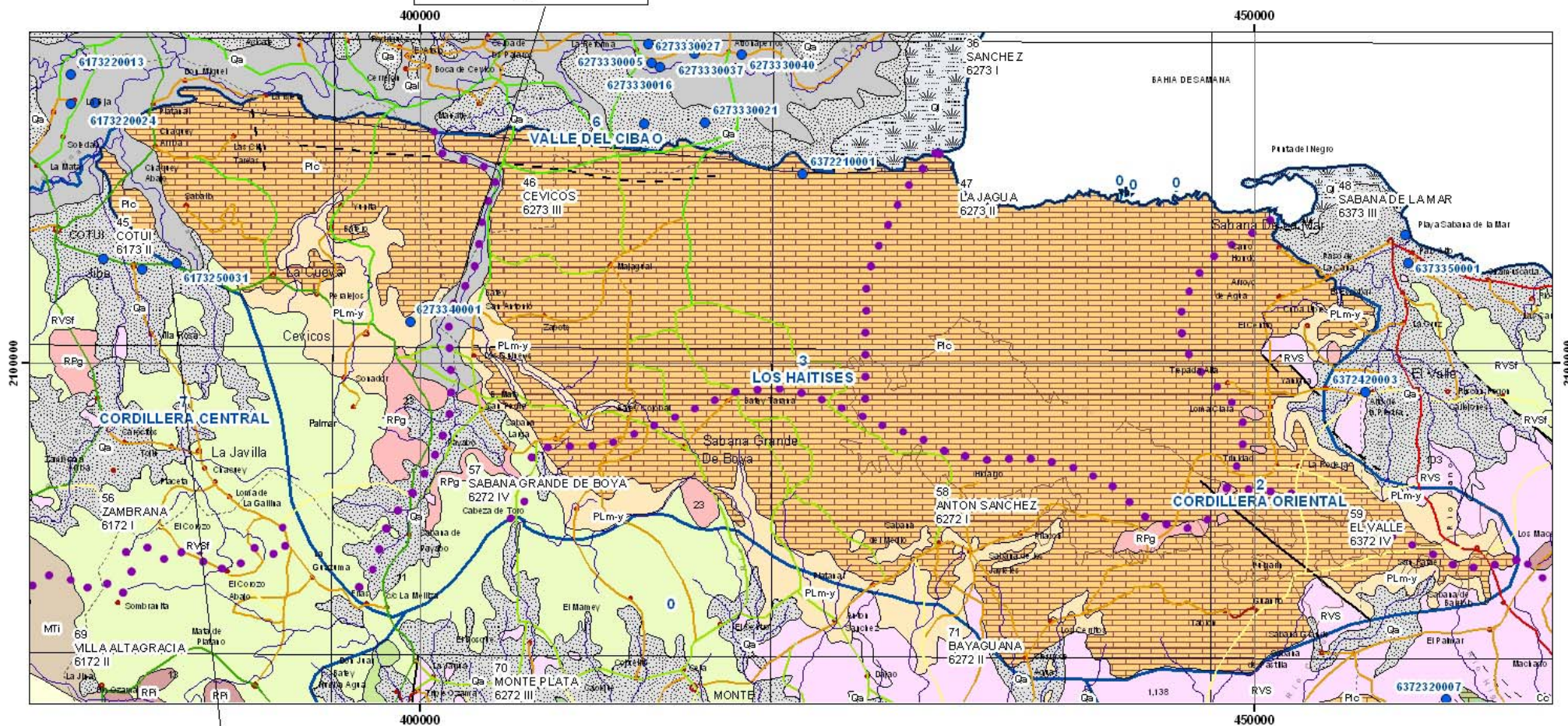
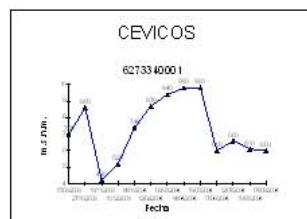


Eptisa



PROGRAMA SYSMIN Noviembre 2001

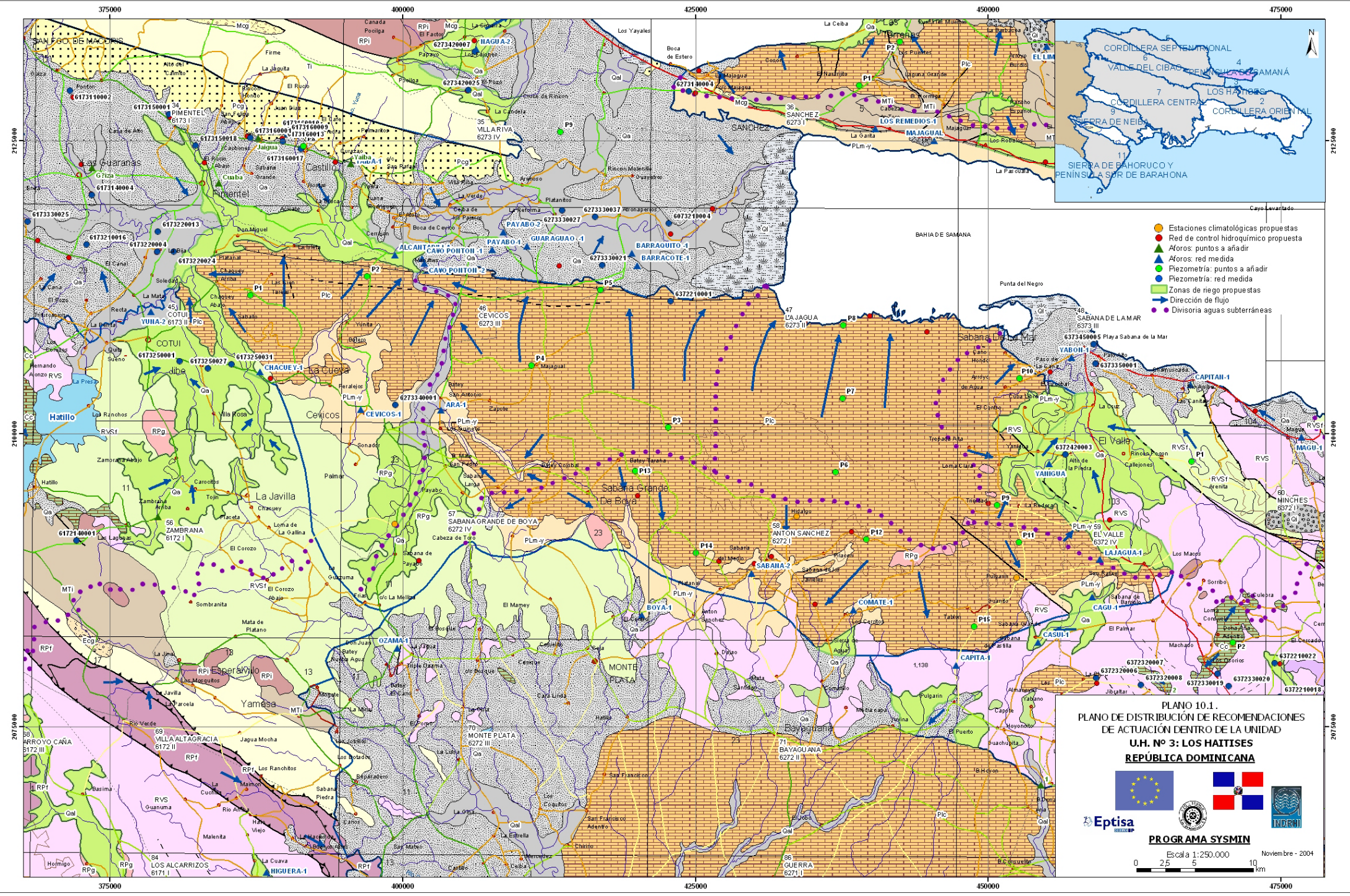




U. H. N° 3 LOS HAITISES	
Superficie total	Superficie materiales permeables
1682 Km ²	1462 Km ²
Volumen anual renovable	Extracciones actuales
432 hm ³ /a	3.7 hm ³ /a




PLANO 7.1.
PLANO DE DISTRIBUCIÓN DE LA RED PIEZOMÉTRICA
Y DE EVOLUCIÓN DE MEDIDAS DEL PROYECTO
U.H. N° 3: LOS HAITISES
REPÚBLICA DOMINICANA

PROGRAMA SYSMIN
Escala 1:250.000
Noviembre - 2004



- Estaciones climatológicas propuestas
- Red de control hidroquímico propuesta
- ▲ Aforos: puntos a añadir
- ▲ Aforos: red medida
- Piezometría: puntos a añadir
- Piezometría: red medida
- Zonas de riesgo propuestas
- Dirección de flujo
- Divisoria aguas subterráneas

PLANO 10.1.
PLANO DE DISTRIBUCIÓN DE RECOMENDACIONES
DE ACTUACIÓN DENTRO DE LA UNIDAD
U.H. Nº 3: LOS HAITISES
REPÚBLICA DOMINICANA

PROGRAMA SYSTEMIN

Escala 1:250.000 Noviembre - 2004

0 2.5 5 10 km