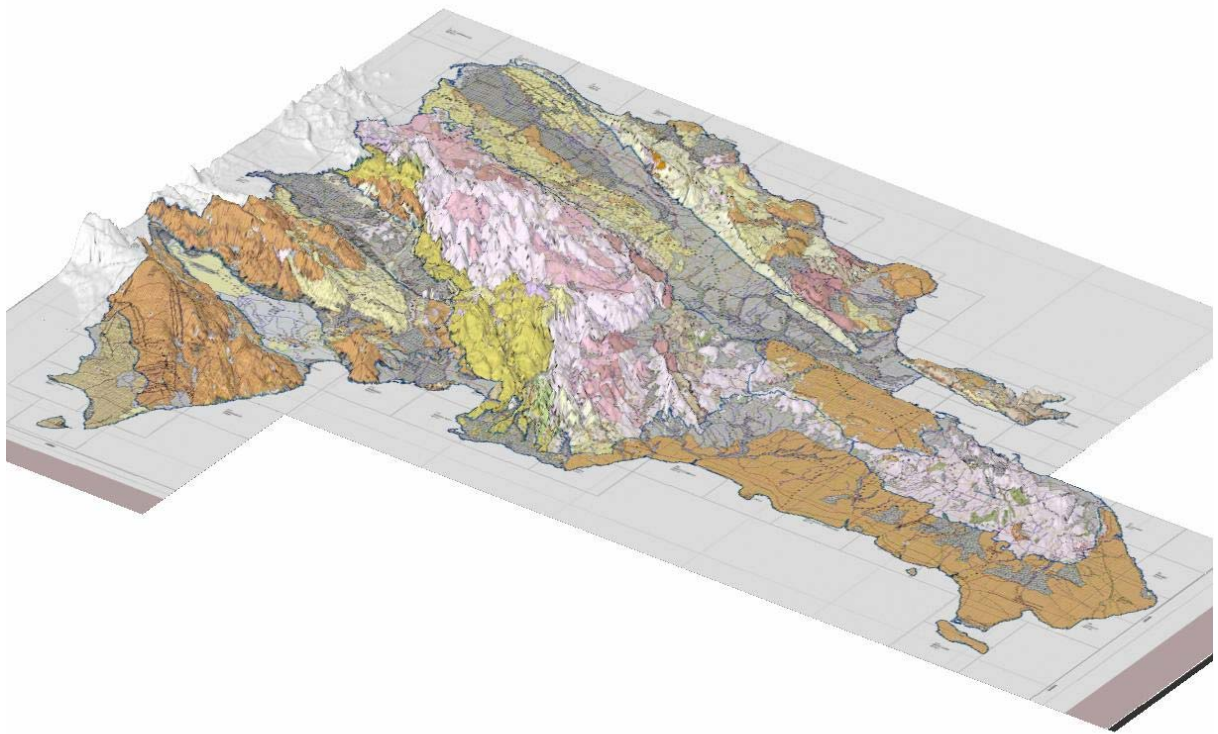


**ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO NACIONAL DE LA
REPÚBLICA DOMINICANA. FASE II**

PLANOS

MEMORIA GENERAL



PROGRAMA SYSMIN



NOVIEMBRE 2004

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN, DEFINICIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO, OBJETIVOS Y PLANTEAMIENTO GENERAL DEL MISMO.	1
1.1. INTRODUCCIÓN	1
1.2. DEFINICIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO Y OBJETIVOS DE LA FASE II.....	2
1.3. ACTIVIDADES REALIZADAS Y PLANTEAMIENTO GENERAL DEL ESTUDIO.....	3
1.4. PERSONAL TÉCNICO PARTICIPANTE EN EL ESTUDIO	5
2. ANTECEDENTES E INFORMACIÓN DE PARTIDA: RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN PRECEDENTE.....	11
2.1. INTRODUCCIÓN	11
2.2. INFORMACIÓN RECOPIADA	12
2.2.1. Estudios de carácter general o de recopilación de síntesis.....	13
2.2.2. Estudios de ámbito regional	14
2.2.3. Estudios de detalle y específicos	15
2.2.4. Estudios de redes de control periódico y bases de datos	15
2.2.5. Bases cartográficas y temáticas	16
2.2.6. Estudios de infraestructuras.....	17
2.3. RESUMEN Y CONCLUSIONES: VALORACIÓN GENERAL DE LA INFORMACIÓN ANALIZADA.....	17
3. ESTUDIO METEOROLÓGICO Y CLIMATOLÓGICO	21
3.1. OBJETIVOS Y PLANTEAMIENTO GENERAL DEL ESTUDIO	21
3.2. INFORMACIÓN DE PARTIDA. EVALUACIÓN DE LA RED METEOROLÓGICA EXISTENTE	21
3.3. RÉGIMEN CLIMÁTICO GENERAL DE LA REPÚBLICA DOMINICANA	28
3.4. SELECCIÓN DE LOS PUNTOS DE UBICACIÓN DE LAS ESTACIONES METEOROLÓGICAS DEL PROYECTO.	30
3.5. INSTALACIÓN Y EQUIPAMIENTO DE LAS ESTACIONES CLIMÁTICAS DEL ESTUDIO.	33

3.6.	METODOLOGÍA UTILIZADA PARA EL ESTUDIO HIDROCLIMÁTICO.....	43
3.6.1.	UTILIZACIÓN DEL PAQUETE HIDROBAS	44
3.6.2.	PROGRAMA "CORTREST" PARA CORRECCIÓN Y COMPLETADO DE SERIES HIDROGEOLÓGICAS.....	44
3.6.3.	PROGRAMA PARA AJUSTE DE FUNCIONES DE DISTRIBUCIÓN ESPECÍFICAS.....	46
3.6.4.	PROGRAMA "TIPO" PARA DEFINICIÓN DE AÑOS TIPO	47
3.6.5.	PROGRAMA PARA EL CÁLCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN REAL, POTENCIAL Y BALANCE HÍDRICO	47
3.6.6.	CÁLCULO DE LA ETP SEGÚN HARGREAVES.....	48
3.7.	RESULTADOS GENERALES OBTENIDOS	50
3.7.1.	Análisis de Precipitación.....	50
3.7.2.	Análisis de la temperatura.....	54
3.7.3.	Lluvia útil	57
4.	INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA	61
4.1.	OBJETIVOS	61
4.2.	METODOLOGÍA Y CRITERIOS DE SELECCIÓN DE LAS ZONAS DONDE CONCENTRAR EL INVENTARIO	63
4.3.	METODOLOGÍA DE LA TOMA DE DATOS EN CAMPO Y DESCRIPCIÓN DEL CONTENIDO DE LA FICHA DE INVENTARIO.....	64
4.4.	REALIZACIÓN DEL INVENTARIO EN CAMPO Y ACTUALIZACIÓN DE DATOS: ANÁLISIS DE RESULTADOS GLOBALES Y POR UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS.....	70
4.5.	BASES DE DATOS GENERADAS.....	73
5.	PIEZOMETRÍA	75
5.1.	OBJETIVOS Y PLANTEAMIENTO GENERAL DE LOS TRABAJOS A REALIZAR	75
5.2.	CRITERIOS DE SELECCIÓN DE LOS PUNTOS DE LAS REDES DE CONTROL PERIÓDICO. PROPUESTA DE REDES.....	76
5.3.	METODOLOGÍA DE LA TOMA DE MEDIDAS	77
5.4.	CAMPAÑAS DE CONTROL REALIZADAS: RESULTADOS GENERALES OBTENIDOS Y DISTRIBUCIÓN POR UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS.....	81

5.5.	BASES DE DATOS GENERADAS.....	86
6.	HIDROQUÍMICA E INTRUSIÓN MARINA.....	88
6.1.	OBJETIVOS Y PLANTEAMIENTO GENERAL DE LOS TRABAJOS A REALIZAR	88
6.1.1.	Objetivos.....	88
6.1.2.	Planteamiento.....	88
6.1.3.	Ámbito de estudio.....	89
6.2.	RED DE CONTROL HIDROQUÍMICO	90
6.2.1.	Criterios de selección de los puntos de la red de control hidroquímico.....	90
6.2.2.	Información de partida	92
6.2.3.	Diseño de la red de control hidroquímico	94
6.3.	CAMPAÑAS DE MUESTREO HIDROQUÍMICO Y REALIZACIÓN DE ANÁLISIS “IN SITU”	106
6.3.1.	Campañas de muestreo hidroquímico	106
6.3.2.	Determinaciones realizadas <i>in situ</i>	108
6.3.3.	Toma de muestras, conservación y transporte.....	109
6.3.4.	Resultados obtenidos	110
6.4.	ANÁLISIS DE LABORATORIO	112
6.4.1.	Determinaciones analíticas.....	112
6.4.2.	Laboratorios y Métodos de análisis	112
6.4.3.	Control de calidad analítica	114
6.5.	RESULTADOS OBTENIDOS	117
6.5.1.	Caracterización hidroquímica general	119
6.5.2.	Distribución espacial de facies hidroquímicas.....	123
6.5.3.	Clasificación de las aguas para regadío.....	124
6.6.	CALIDAD Y CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS.....	128
6.6.1.	Aptitud de las aguas para abastecimiento.....	128
6.6.2.	Contaminación de las aguas subterráneas por nitratos	156
6.6.3.	Contaminación de las aguas subterráneas por plaguicidas.....	161
6.6.4.	Contaminación de las aguas subterráneas por metales pesados	174
6.7.	INTRUSIÓN MARINA.....	185

6.7.1.	Análisis de información previa y definición de la red de control de la intrusión.....	186
6.7.2.	Red de control de la intrusión.....	189
6.7.3.	Campañas de muestreo	193
6.7.4.	Resultados obtenidos	193
6.7.5.	Nivelación de los puntos de la red de control de la intrusión.....	200
7.	AFOROS DE AGUAS SUPERFICIALES.....	202
7.1.	OBJETIVOS Y PLANTEAMIENTO GENERAL DE LOS TRABAJOS A REALIZAR	202
7.2.	ANÁLISIS DE LAS REDES DE CONTROL EXISTENTES.....	205
7.3.	CRITERIOS DE SELECCIÓN DE LOS PUNTOS DE LAS REDES DE CONTROL PERIÓDICO DEL ESTUDIO. PROPUESTA DE REDES	211
7.4.	METODOLOGÍA DE LA TOMA DE MEDIDAS	212
7.4.1.	Ficha de Campo:.....	214
7.4.2.	Ficha de Aforos-resumen o de gabinete:	215
7.5.	CAMPAÑAS DE CONTROL REALIZADAS: RESULTADOS GENERALES OBTENIDOS Y DISTRIBUCIÓN POR UNIDADES HIDROLÓGICAS	216
7.5.1.	Cordillera Oriental	216
7.5.2.	Los Haitises.....	220
7.5.3.	Península de Samaná.....	223
7.5.4.	Cordillera Septentrional.....	225
7.5.5.	Valle del Cibao	229
7.5.6.	Cordillera Central.....	232
7.5.7.	Sierra de Neiba	235
7.5.8.	Sierra de Bahoruco y Península Sur de Barahona.	238
7.6.	BASES DE DATOS GENERADAS.....	240
8.	ESTUDIOS DE REGADÍOS.....	241
8.1.	INTRODUCCIÓN: OBJETIVOS Y ANÁLISIS DE LA DOCUMENTACIÓN DE PARTIDA.....	241
8.2.	EVALUACIÓN DE LOS REGADÍOS ACTUALES EN LAS ÁREAS EN ESTUDIO.....	245
8.2.1.	Regadíos actuales.....	245
8.2.2.	Principales especies cultivadas.....	246

8.3.	DELIMITACIÓN DE ZONAS POTENCIALMENTE REGABLES.....	252
8.3.1.	Zonas potencialmente regables.....	252
9.	ESTUDIOS HIDROLÓGICOS.....	260
9.1.	DEFINICIÓN DE CUENCAS Y REDES HIDROGRÁFICAS DE LAS ÁREAS EN ESTUDIO	260
9.2.	ANÁLISIS DE DATOS MEDIANTE UN S.I.G.	264
9.3.	INFRAESTRUCTURA HIDRÁULICA: EMBALSES Y ACUEDUCTOS.....	269
10.	PROGRAMA DE FORMACIÓN	272
10.1.	INTRODUCCIÓN.	272
10.2.	INCORPORACIÓN DE PERSONAL DEL INDRHI A LOS TRABAJOS DEL PROYECTO	272
10.3.	PRESENTACIÓN DE DIFERENTES TEMAS EN EL INDRHI	273
11.	RESUMEN, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES DE ACTUACIÓN FUTURA DE CARÁCTER GENERAL.....	277
11.1.	RESUMEN, CONCLUSIONES.....	277
11.2.	RECOMENDACIONES DE ACTUACIÓN FUTURA DE CARÁCTER GENERAL	307
12.	CONTROL DE CALIDAD DEL PROYECTO	317
12.1.	EL SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DE EPTISA.....	317
12.2.	PROCEDIMIENTOS QUE SE APLICAN	317
12.2.1.	Procedimientos generales de la empresa	318
12.2.2.	Procedimientos específicos de la empresa	319
12.2.3.	Procedimientos específicos del proyecto.....	320
12.3.	PROGRAMA DE GARANTÍA DE CALIDAD DEL PROYECTO	321
13.	GLOSARIO DE TÉRMINOS HIDROGEOLÓGICOS.....	322
14.	MEJORAS TÉCNICAS DEL PROYECTO	335
14.1.	DEFINICIÓN DE PERÍMETROS DE PROTECCIÓN DE CAPTACIONES DESTINADAS PARA ABASTECIMIENTO URBANO.....	335
14.1.1.	Planteamiento: información requerida.....	335

14.1.2. Estudio de posibles afecciones. Vulnerabilidad a la contaminación	337
14.1.3. Perímetros de protección.....	341
14.1.4. Situación actual del abastecimiento.....	346
14.1.5. Parámetros hidráulicos.....	350
14.1.6. INFRAESTRUCTURAS	350
14.1.7. Vulnerabilidad del acuífero frente a la contaminación	350
14.1.8. Inventario de focos potencialmente contaminantes.....	351
14.1.9. Delimitación y zonación del perímetro de protección según Wyssling	351
14.1.10. Perímetro de protección de la cantidad.....	354
14.1.11. Delimitación de la poligonal envolvente.....	355
14.1.12. Sistema de vigilancia: red de control.....	355
14.2. PROPUESTA DE LEGISLACIÓN PARA LAS AGUAS NATURALES Y MINERO MEDICINALES DE LA REPÚBLICA DOMINICANA.....	357
14.3. CREACIÓN DE UNA PÁGINA WEB.....	358

MEMORIA GENERAL

1. INTRODUCCIÓN, DEFINICIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO, OBJETIVOS Y PLANTEAMIENTO GENERAL DEL MISMO.

1.1. INTRODUCCIÓN

El "*Estudio Hidrogeológico Nacional*", forma parte del **Programa de Desarrollo Geológico y Minero en la República Dominicana**, con cargo al **Fondo Europeo de Desarrollo**, y su objetivo principal ha sido conocer la potencialidad de las aguas subterráneas del país, para su explotación y utilización en abastecimiento a núcleos de población y agricultura, así como para la evaluación para su posible clasificación como aguas minerales y minero medicinales.

El desarrollo del proyecto se concibió en dos Fases consecutivas:

Fase I : Unidades hidrogeológicas de la mitad sur y del sector oriental del país (seis unidades).

Fase II : Resto de las unidades hidrogeológicas del país (nueve unidades).

En la **Fase I**, realizada entre los años 1998 y 2000, se desarrollaron las actividades siguientes:

- Delimitación de acuíferos y balances hídricos.
- Establecimiento y ejecución de un plan de sondeos y ensayos de bombeo.
- Evaluación de las características químicas y bacteriológicas de las aguas de abastecimiento urbano, y definición de perímetros de protección de sus captaciones.
- Control de la contaminación e intrusión marina.
- Análisis de viabilidad de recarga artificial.
- Evaluación del potencial de las aguas minero-medicinales.
- Establecimiento de normas de explotación, y uso conjunto de aguas subterráneas y superficiales, para el uso racional de los recursos de agua.

1.2. **DEFINICIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO Y OBJETIVOS DE LA FASE II**

La **Fase II** del citado "*Estudio Hidrogeológico Nacional*", motivo del presente proyecto, se inició a mediados del mes de junio del 2003 y se ha finalizado el 16 de noviembre del presente año 2004, habiendo contemplado una superficie total de 37 157 km² (que supone el 77% de la superficie total del país), en la que se integran las nueve unidades hidrogeológicas siguientes:

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

El objetivo básico del citado estudio ha consistido en extender los trabajos ya realizados en la **Fase I** a las unidades hidrogeológicas del país no estudiadas en dicha fase. Con ello, se espera poder disponer de un eficaz y representativo sistema de control de los principales parámetros hidrogeológicos, hidrológicos y climatológicos en todo el ámbito territorial de la República Dominicana, así como de una evaluación de los recursos subterráneos renovables anualmente y disponibles, de la estimación de sus utilidades actuales, por diferentes tipos de usos (abastecimientos urbanos, agropecuarios e industriales), y de su distribución espacial y temporal, incluyendo la evaluación de las actuales zonas de regadío y su evolución futura.

Los resultados del "*Proyecto N: Estudio Hidrogeológico Nacional en la República Dominicana, Fase II*", permitirán, asimismo, ampliar, en un futuro inmediato, la cobertura del denominado **Plan Nacional de Investigación, Aprovechamiento y Control de las Aguas Subterráneas de la República Dominicana (PLANIACAS II)** extendiéndolo, prácticamente, a toda la superficie del país.

1.3. ACTIVIDADES REALIZADAS Y PLANTEAMIENTO GENERAL DEL ESTUDIO

Las actividades que se han llevado a cabo en el ámbito de las nueve mencionadas unidades hidrogeológicas, durante el "***Estudio Hidrogeológico Nacional en la República Dominicana, Fase II***", han sido las siguientes:

- Inventario de puntos de agua. Se han superado los 2 500 puntos de agua inicialmente previstos, habiéndose alcanzado un total de 2 533.
- Red meteorológica: adquisición, instalación y control de 20 estaciones climatológicas completas, provistas de pluviógrafo, termohigrógrafo, heliógrafo, evaporímetro de tanque y anemómetro.
- Red piezométrica, compuesta por 420 puntos de control mensual, durante el año hidrológico de octubre de 2003 a septiembre de 2004. Se han superado las 5 040 medidas inicialmente previstas, habiéndose alcanzado un total de 5 357 medidas piezométricas.
- Red hidrométrica, compuesta por 119 puntos de aforo de aguas superficiales de control mensual, durante el año hidrológico de octubre de 2003 a septiembre de 2004. Se han superado los 1 212 aforos inicialmente previstos, habiéndose alcanzado un total de 1 410 aforos.
- Red de calidad general y de intrusión marina, compuesta por 260 puntos de control semestral, durante un año hidrológico completo), y estudio de la calidad del agua en los abastecimientos urbanos.
- Evaluación de zonas regables.
- Estudios hidrológicos.

Desde un punto de vista metodológico, estas actividades previstas se han llevado a cabo en tres etapas consecutivas e íntimamente relacionadas:

Etapa 1. Desarrollada entre los meses 1 y 4 (junio a septiembre de 2003) del Proyecto : ha consistido, básicamente, en una importante labor de recopilación y análisis de antecedentes e información bibliográfica, tras de la que se realizó un inventario selectivo de puntos de agua y el diseño, comprobación en campo, instalación y

equipamiento de la infraestructura hidrogeológica de las zonas en estudio (estaciones meteorológicas, regletas de aforo en ríos y redes de control periódico).

Etapa 2. Desarrollada durante los siguientes doce meses del estudio, entre, aproximadamente, los meses 4 y 16 (octubre de 2003 a septiembre de 2004). Consistió en la explotación y mantenimiento de las redes de control diseñadas, con la periodicidad prevista (doce campañas de control piezométrico y foronómico mensual y dos campañas de muestreo y analítica de aguas). Paralelamente a la explotación de las redes, se realizó la revisión de las actuales zonas con regadíos y la identificación y delimitación de las zonas potencialmente regables, así como el estudio de las cuencas hidrológicas.

Esta segunda etapa ha constituido una fase fundamental dentro de los trabajo del estudio, al suponer el principal aporte y entrada de información actualizada y de detalle para la posterior caracterización y determinación del funcionamiento hidrogeológico de las zonas o unidades hidrogeológicas del Proyecto.

Etapa 3. Desarrollada, fundamentalmente, en los dos últimos meses del Proyecto (octubre y noviembre de 2004), aunque un importante número de información debió ir analizándose y elaborándose a lo largo de la Etapa 2, debido, precisamente, al corto período de duración de la Etapa 3. Entre el tipo de información elaborada a lo largo de ambas etapas, cabría destacar la siguiente:

- Análisis de resultados aportados por las redes de control periódico.
- Identificación de errores y redundancias de la información de las redes de control.
- Propuestas de cambios de puntos en las redes, de frecuencias de control, y de necesidad de redes restringidas de mayor densidad o frecuencia de control.
- Elaboración de síntesis cartográficas hidrogeológicas, cortes o perfiles hidrogeológicos y esquemas de funcionamiento.
- Elaboración de las Memorias provisionales de las nueve zonas o unidades hidrogeológicas en estudio.

A grandes rasgos, la Etapa 3 consistió en el análisis y la interpretación final de toda la información obtenida (datos bibliográficos, inventarios y revisiones de campo, explotación de las redes de control, síntesis cartográficas, etc.) y en la realización de una caracterización hidrogeológica de cada una de las nueve zonas o unidades en estudio (límites, superficies de recarga, tipos de materiales, distribuidos por permeabilidades, geometría y estructuras,

infraestructura hidrogeológica disponible, red fluvial, características químicas de sus aguas subterráneas, identificación y localización de demandas por tipos de usos-humanos, agrícolas, industriales y pecuarios-, etc.), con determinación de su funcionamiento hidrogeológico de las mismas (límites abiertos y estancos, zonas de recarga y de descarga, distribución piezométrica, zonas saturadas y no saturadas, tipos y direcciones de flujos, conexiones con otras unidades limítrofes, relaciones ríos-acuíferos, recursos renovables anuales disponibles y reservas estimadas, zonas potencialmente regables, detección de posibles zonas con procesos de intrusión marina y valoración de su estado actual y evolución futura, etc.). En esta Etapa 3, y analizada y elaborada toda la información disponible, se han redactado también las Memorias Finales y los productos definitivos sobre cada actividad realizada y sobre el conjunto del Proyecto (memorias, planos y figuras, bases de datos, anexos y documentación complementaria).

1.4. PERSONAL TÉCNICO PARTICIPANTE EN EL ESTUDIO

La complejidad e importancia del presente "***Proyecto N: Estudio Hidrogeológico Nacional en la República Dominicana, Fase II***", ha condicionado el que hayan participado en el mismo un amplio número de especialistas y de técnicos, tanto a nivel de realización directa, como de asesoramiento, supervisión, coordinación y seguimiento, así como en la totalidad del mismo o en alguna de sus diferentes etapas y actividades de campo o gabinete.

En este sentido, es obligado el reconocer y citar la importancia que ha tenido para la consecución y buena marcha del mismo, la estrecha colaboración que, en todo momento, ha existido entre la empresa contratista (**EPTISA**) y los diferentes organismos supervisores (**UTG-SYSMIN** y el **INSTITUTO NACIONAL DE RECURSOS HIDRÁULICOS –INDRHI-**). Asimismo, es importante destacar la colaboración y soporte a las actividades del proyecto de todas las instituciones de la administración dominicana (Secretarías de Estado de Medio Ambiente, de Industria y Comercio, Trabajo, Agricultura, etc) y, en general, de los ciudadanos dominicanos, que han ofrecido su desinteresada colaboración siempre que les ha sido requerida (cesión gratuita de terrenos para la implantación de estaciones climáticas, acceso a pozos, sondeos y estaciones, aporte de información diversa, etc.)

RELACIÓN DE PARTICIPANTES

DIRECCIÓN

Ing. M. Rolandi Sánchez-Solís	Director del Proyecto	EPTISA
Ing. L. Pons de Benito	Director de Trabajos	EPTISA

SUPERVISIÓN Y CONTROL

Ing. J. Montes Blasco	Director de la UTG	UTG
Ing. R. Del Potro	Director de la UTG	UTG
Ing. L. López Vilches	Experto a corto plazo	UTG
Ing. M. Leguey	Experto a corto plazo	UTG

COORDINACIÓN

D. Morillo Morel	Director Departamento Hidrogeología	INDRHI
Ing. H. Rodríguez	Experto en Aguas Subterráneas	INDRHI
Ing. A. Ortiz	Experto en Aguas Superficiales	INDRHI
Ing. H. Adames	Experto en Perforación	INDRHI
Ing. R.A. Llinás	Asesor	SEIC

EXPERTOS

Ing. S. Casas Ruiz	Bases de Datos y página Web	EPTISA
Ing. O. Blasco Herguedas	Estaciones Climáticas	EPTISA
Ing. M ^a T. Maestro Salmerón	Calidad Agua y Memorias Finales	EPTISA
Ing. P. González Vázquez	Memorias Finales y análisis de datos	EPTISA
Ing. E. Peña Puentes	Piezometría, Aforos y Memorias Finales	EPTISA
Ing. M. Gamó	Estudios Agronómicos	EPTISA
Ing. M. Boned	Hidrología	EPTISA

Ing. B. García Pardo	Climatología	EPTISA
Ing. A. Castro Quiles	Memorias Finales y Climatología	EPTISA
Ing. L. Ruíz Herrero	Sistemas de Información Geográfica	EPTISA
Ing. L. Peces	Sistemas de Información Geográfica	EPTISA
Ing. L. Morán	Control de Calidad	EPTISA
Ing. Sergio Gil	Memorias Finales	EPTISA
Ing. J.A de Ramón	Memorias Finales	EPTISA
Ing. Raquel Trujillo	Climatología	EPTISA

ASESORES

Ing. J.A. López Geta	Jornadas de Formación	IGME
Ing. A. Battle	Jornadas de Formación	EPTISA
Ing. J.M. Pernía	Jornadas de Formación	IGME
Ing. J.M. Mejías	Jornadas de Formación	IGME
Ing. J. Baeza	Normativa de Aguas Minero Medicinales	IGME

LABORATORIO CALIDAD DEL AGUA

Lda. Ana Lucia Valenzuela	Encargada de Laboratorio	INDRHI
Lda. Agustina García	Encargada División Calidad del Agua	INDRHI
Lda. Águeda Valente	Laboratorio	INDRHI

ESTACIONES CLIMÁTICAS

José A. Romero	Construcción	EPTISA
José E. Leonardo	Construcción	EPTISA
C. Almonte	Montaje	EPTISA
R. Sánchez	Montaje	EPTISA
I. Baez	Mantenimiento	INDRHI

J. Quezada	Mantenimiento	INDRHI
M. A. Medina	Vigilancia	EPTISA
J. Bisonó	Vigilancia	EPTISA
D. Peña	Vigilancia	EPTISA
C. Tracena	Vigilancia	EPTISA
P. de Jesús Vivas	Vigilancia	EPTISA
P. T. Collado	Vigilancia	EPTISA
L. Burgo	Vigilancia	EPTISA
E. Orgin	Vigilancia	EPTISA
F. A. Núñez	Vigilancia	EPTISA
M González	Vigilancia	EPTISA
A. Jerez	Vigilancia	EPTISA
R. Vázquez	Vigilancia	EPTISA
J. A. Zorrilla	Vigilancia	EPTISA
M. A. Brito	Vigilancia	EPTISA
J. Maxime	Vigilancia	EPTISA
C. Pérez	Vigilancia	EPTISA
A. Feliz	Vigilancia	EPTISA
R. Santo	Vigilancia	EPTISA
A. Bocio	Vigilancia	EPTISA
R. Alcántara	Vigilancia	EPTISA
REGLETAS		
A. Reyes	Construcción	INDRHI
C. Gil	Construcción	INDRHI

MEDICIONES

Ing. A. Mena	Regional Sur	INDRHI
Ing. A. Méndez	Regional Este	INDRHI
Ing. F. Domínguez	Regional Norte	INDRHI
C. P. Díaz	Aforos y Piez. Norte	INDRHI
Fco. J. Valdez	Aforos y Piez. Norte	INDRHI
J. R. Jiménez	Aforos y Piez. Norte	INDRHI
O. Rodríguez	Aforos y Piez. Norte	EPTISA
R. A. Toribio	Aforos y Piez. Norte	INDRHI
O. Estrella	Aforos y Piez. Norte	INDRHI
J. A. Vargas	Aforos y Piez. Norte	INDRHI
R. Placencia	Aforos y Piez. Norte	INDRHI
A. Rodríguez	Aforos y Piez. Norte	INDRHI
J. Hernández	Aforos y Piez. Norte	INDRHI
W. Rodríguez	Aforos y Piez. Norte	INDRHI
O. Peralta	Aforos y Piez. Norte	INDRHI
O. Ballard	Aforos y Piez. Este	EPTISA
E. Brito	Aforos y Piez. Este	INDRHI
J. Montero	Aforos y Piez. Sur	EPTISA
J. M. Cabral	Aforos y Piez. Sur	INDRHI
Ing. Martín Mejía	Toma de Muestras	INDRHI
J. Acosta	Toma de Muestras	EPTISA

ADMINISTRACIÓN

R. Villoria	Informática	EPTISA
Lda. S. Paniagua	Contabilidad	EPTISA-INDRHI
Dr. M. Cabrera	A. Jurídica	EPTISA

PROPIETARIOS TERRENOS E.C.

Porfirio Bisonó	El Rodeo (Partido)
Miguel A. Medina	Cercadillo (Guayubin)
Antonio Ramírez	Cebu (Santiago)
Manuel De Jesús Mayi	La Cueva (Cotui)
Seferino Aracena	Diego o Campo (Santiago)
Saba De Jesús Merejo	Naranjo Dulce (S. Fco. Macorix)
Antonio Alcántara	Los Copeyes (Las Matas de Farfan)
Catalina Santana	Trepada Alta (Sabana de la Mar)
Ceagana	Pinita Arriba (Hato Mayor)
José Monegro	Los Cajuiles (Río S. Juan)
Domingo Fermín Peña	El Gomez (Montecristi)
José Arturo	La Caoba (Moca)
Chicho	Majagual (Sabana de la Mar)
Tomás Espinal	Las Placetas
Secretaría Estado Medio Ambiente	Isla Cabrito (Lago Enriquillo)
Colon Bocio	La Petaca (Neiba)
Blas Domínguez	Higuerito (Barahona)
Clemente Pérez	Las Mercedes (Pedernales)
Rufino Vázquez	La Cabirma (Coter)
Bartolo González	El Bombillo [Tenares (Salcedo)]

2. ANTECEDENTES E INFORMACIÓN DE PARTIDA: RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN PRECEDENTE.

2.1. INTRODUCCIÓN

Como primera actividad del proyecto, se realizó una recopilación y análisis evaluativo de toda la información de interés existente en los diferentes organismos e instituciones públicas y privadas de la República Dominicana, entre la que se incluyó las cartografías temáticas disponibles.

En la citada recopilación se prestó una especial atención a la información relativa a la caracterización geométrica, hidrodinámica y de funcionamiento hidrogeológico de los acuíferos a estudiar, a los datos procedentes de las redes de control existentes (climatología, aforos, piezometría y calidad de las aguas), así como los inventarios de puntos de agua y resultados de las campañas de geofísica, sondeos, estudios de extracciones, agronómicos y planes de explotación de acuíferos que pudieran existir.

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

Además de la información de tipo general, se recogió información de detalle relativa a cada una de las unidades hidrogeológicas incluidas en el área de estudio, siendo, también, de especial interés, la información aportada por los mapas geológicos e hidrogeológicos a diferentes escalas (1:500.000, 1:250.000 y 50.000) existentes sobre las diferentes zonas de estudio.

Asimismo, entre la información recabada se encuentran, también, los planos de situación de las diferentes redes de control existentes en el área de estudio (estaciones meteorológicas e hidrométricas, piezométricas y de calidad de las aguas), los inventarios de puntos de agua existentes, mapas de situación de embalses, distritos, sistemas y canales de riego, consumos de agua, vegetación, capacidad productiva y uso de la tierra, censos de población y vivienda, etc., todo lo cual ha resultado de gran utilidad para el proyecto a la hora de diseñar las redes de control hidrométrico y climatológico del presente proyecto.

Por último, el estudio de antecedentes ha contemplado, también, aquellos datos, en bruto o no suficientemente elaborados que se han considerado de interés, así como otro tipo de información básica escasamente interpretada, como han sido los casos de:

- Datos de inventarios de puntos de agua.
- Información sobre abastecimientos, datos de extracciones y explotación, dotaciones teóricas o reales y, en general, información sobre utilización de los recursos, por tipos de usos.
- Datos climatológicos, piezométricos y foronómicos originales.
- Información diversa sobre ensayos de bombeo y pruebas de permeabilidad y ensayos con trazadores.
- Resultados de análisis químicos de aguas y de suelos.
- Información cartográfica y datos de subsuelo (cartografías todavía no publicadas e información de sondeos profundos, etc.).
- Otro tipo de información sobre aspectos de utilización de recursos hídricos subterráneos, infraestructuras, planes actuales y futuros, inversiones económicas, etc.

2.2. INFORMACIÓN RECOPIlada

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

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

Una vez obtenida y debidamente clasificada toda la información, se ha efectuado un análisis, evaluación y síntesis de la misma, como punto de partida para el desarrollo del proyecto,

elaborándose, a partir de ella, una base de datos bibliográfica, que facilita su consulta y uso, y que permite la fácil identificación y valoración posterior de todos los estudios utilizados para la caracterización de cada una de las zonas hidrogeológicas estudiadas. Cada estudio de referencia utilizado dispone de una ficha bibliográfica individual, incluida en el Anexo 1 del Documento sobre Recopilación de Antecedentes. En dicha ficha se incluyen varios apartados sobre identificación del estudio (título, organismo o autor, consultor, año de realización, índice del documento general, editor y ciudad de edición), marco geográfico (provincia, unidad hidrogeológica, cuenca específica y regiones o provincias), resumen y valoración crítica del contenido y entidad de cada trabajo concreto.

En total se han recopilado, consultado y analizado cerca de medio centenar de trabajos, estudios o bases cartográficas y temáticas, cuya relación y referencia se incluye en los cuadros adjuntos. Asimismo, en el citado Anexo 1 se incluye el FICHERO BIBLIOGRÁFICO elaborado.

2.2.1. Estudios de carácter general o de recopilación de síntesis

Los estudios de carácter nacional o de recopilación y síntesis consultados, han sido 12, cuya identificación es la siguiente:

Cuadro 2.2.1. Estudios de carácter general.

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

TÍTULO	ORGANISMO/AUTOR	AÑO DE REALIZACIÓN
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

2.2.2. Estudios de ámbito regional

Los estudios de ámbito regional consultados han sido 7, cuya identificación es la siguiente:

Cuadro 2.2.2. Estudios de ámbito regional

TÍTULO	ORGANISMO/AUTOR	AÑO DE REALIZACIÓN
Proyecto Yaque del Sur-Neyba (UU.HH Sierras de Neyba y Bahoruco)	INDRHI/ITAL CONSULT	1972
Investigación Ambiental con isótopos de la Región Sudoeste y el río Sonador, Yasica (UU.HH Sierras de Neyba y Bahoruco)	INDRHI/OIEA	1985
Plan de Desarrollo de la Zona Fronteriza (Provincias de Monte Cristi, Dabajón, Elías Piña, Independencia, Santiago Rodríguez, Bahoruco y Pedernales). (UU.HH. Cordillera Septentrional, Valle del Cibao, Corillera Central, Sierra de Neyba y Sierra de Bahoruco).	Secretaría General de la OEA. Departamento de Desarrollo Regional	1987
Optimización de los Recursos Hídricos de la Cuenca del Río Yaque del Sur y Mejoramiento de la Red Hidrométrica Nacional	PNUD/OMM-Proyecto DOM/87/004	1990
The Study on Groundwater Development Project in the Western Región, Dominican Republic	INAPA/JICA	1992
Aguas Subterráneas en la Provincia de Salcedo (U.H. Valle del Cibao)	Ing. José Saint-Hilare (INDRHI)	1993
Estudio Hidrogeológico Nacional de la República Dominicana. Fase I. (UU.HH. Planicie Costera Oriental, Planicie de Baní, Planicie de Azua, Valle de San	AQUATERS.P.A.	2000

TÍTULO	ORGANISMO/AUTOR	AÑO DE REALIZACIÓN
Juan, Valle de Neyba, Península de Bahoruco)		

2.2.3. Estudios de detalle y específicos

Los estudios de detalle y específicos consultados han sido 5, cuya identificación es la siguiente:

Cuadro 2.2.3. Estudios de ámbito regional

TÍTULO	ORGANISMO/AUTOR	AÑO DE REALIZACIÓN
Síntesis Hidrogeológica del Valle de La Isabela, cuenca del río Masacre (Dajabón)	Ing. Héctor Rodríguez Morillo y otros (INDRHI)	1990
Hidrogeología del Valle de Constanza (U.H. Cordillera Central)	INDRHI	1992
Estudio de las Aguas Subterráneas entre el Sector de Avedaño y Boca de Gamboa Río Haina	Ing. Héctor Rodríguez Morillo y C. George (INAPA)	1995
Síntesis Hidrogeológica del Valle de La Isabela, cuenca del río Bajabonico (U.H. Cordillera Septentrional)	Ing. Héctor Rodríguez Morillo (INDRHI)	2002
Estudios Ambientales de Base de las Instalaciones Mineras de Rosario Dominicana	PROINTEC/PROGRAMA SYSMIN. U.E	2003

2.2.4. Estudios de redes de control periódico y bases de datos

Los estudios de redes de control periódico y bases de datos consultados y utilizados han sido básicamente seis, cuya relación es la siguiente:

- Información sobre en Inventario de Estaciones Hidrológicas y Meteorológicas a Nivel Nacional. INDRHI. 1988.
- Mapa de Estaciones Climáticas e Hidrométricas (de todo el ámbito de la República Dominicana). INDRHI. 1995.
- Base de Datos del Estudio Hidrogeológico Nacional de la República Dominicana. Fase I. Actualizada, con posterioridad, por el INDRHI. (UU.HH. Planicie Costera Oriental, Planicie de Baní, Planicie de Azua, Valle de San Juan, Valle de Neyba, Península de Bahoruco). AQATERS.P.A. 2000. INDRHI 2001-2003.

- Datos de Población de la República Dominicana. ONE. Censo de Población y Vivienda 1993 (a nivel de paraje) y Censo de Población 2002 (a nivel de Provincia).
- Información diversa sobre consumos de agua. Instituto Nacional de Aguas Potables y Alcantarillados (INAPA).
- Resumen Nacional del Movimiento Agrícola en las Áreas de Cultivo Bajo Riego correspondiente al período agrícola 01/02 02/03. INDRHI. Sección de Estadísticas Agrícolas, de la División de tierras y Aguas.

2.2.5. Bases cartográficas y temáticas

Las bases cartográficas y temáticas consultadas y utilizadas han sido básicamente nueve, cuya identificación es la siguiente:

- Mapa Topográfico General de la República Dominicana (escala 1:250.000). Instituto Geográfico Universitario (Universidad Autónoma de Santo Domingo). 2001. Serie 1501. 5 hojas: Hojas NE 19-1, NE 19-2, NE 19-5, NE 19-6 y NE 19-7.
- Mapas Topográficos (escala 1:50.000). Instituto Cartográfico Militar. Diferentes años. (Se han adquirido y utilizado en campo y gabinete 84 hojas topográficas).
- 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. 4 Hojas: Hojas de Santiago, Península de Samaná, Barahona y Santo Domingo.
- Mapas Geológicos (escala 1:50.000). PROGRAM SYSMIN. UE - Secretaría de Estado de Industria y Comercio. Dirección General de Minería. 1998-2003. (Se ha utilizado información de 12 hojas).
- Mapa Hidrogeológico Escala 1:500.000. República Dominicana. INDRHI.1989.
- Mapa Hidrogeológico Escala 1:250.000. República Dominicana. INDRHI.1989. 5 Hojas: Hojas NE 19-1, NE 19-2, NE 19-5, NE 19-6 y NE 19-7.
- Mapa de Capacidad productiva de la tierra. Escala 1:500.000. Elaborado por la Dirección de Ordenamiento Territorial de la Subsecretaría de Suelos y Aguas (Secretaría de Estado de Medio Ambiente y Recursos Naturales).

- Mapa de Vegetación. Escala 1 :500.000. Elaborado por el Departamento de Inventario de Recursos Naturales (DIRENA) de la Subsecretaría de Estado de Recursos Naturales. Basado en la interpretación de fotografías aéreas pancromáticas a escala 1:40.000 en la que se pueden observar los distintos tipos de bosques.
- Mapa de Vegetación y Uso de la Tierra de la República Dominicana. Escala 1 :500.000. Elaborado en el año 1998, por el Departamento de Inventario de Recursos Naturales (DIRENA) de la Subsecretaría de Estado de Recursos Naturales (SURENA). En este mapa se presenta información de la vegetación natural, separándose y caracterizándose las clases de bosques, las de matorrales, sabanas, vegetación de agua dulce y las áreas de escasa vegetación erosionadas.

2.2.6. Estudios de infraestructuras

La información referente a infraestructuras hidráulicas utilizada es la siguiente:

- Mapa de Presas en Operación en la República Dominicana. INDRHI. Departamento de Seguridad de Presas. División de Hidrogeología. Versión 2003.
- Cobertura de distritos, sistemas y canales de riego, tanto principales como secundarios. Secretaría de Estado de Agricultura (SEA).

2.3. RESUMEN Y CONCLUSIONES: VALORACIÓN GENERAL DE LA INFORMACIÓN ANALIZADA

La información recopilada y analizada es muy amplia y ha resultado de gran interés, en cuanto al número de estudios, diversidad de temáticas, objetivos pretendidos y resultados alcanzados.

Desde el punto de vista de la evolución cronológica y temática, el mayor número de estudios de carácter general y con ámbito de todo el territorio nacional se registra en la década de los años 80 del pasado siglo XX, así como las primeras cartografías temáticas hidrogeológicas del país a grandes escalas (1:500.000 y 1:250.000). En su mayor parte fueron realizados por el INDRHI (o con participación de dicho organismo) y correspondieron, básicamente, a planes nacionales de investigación, inventarios, planificación de redes de control periódico o elaboración de anuarios de datos generados y de cartografías de síntesis hidrogeológicas. Constituyen, por tanto, la primera evaluación rigurosa y sistemática de las infraestructuras hidráulicas básicas existentes en el país, de la distribución espacial (superficial) de los materiales con interés hidrogeológico y de los recursos hídricos disponibles.

Dentro de este grupo de estudios generales cabría destacar los de Intensidades Máximas y Erosividad de lluvias en la República Dominicana (1982), el importante Plan Nacional de Investigación, aprovechamiento y Control de Aguas Subterráneas (PLANIACAS, 1983), la Información sobre el Inventario de las Estaciones Hidrológicas y Meteorológicas a Nivel Nacional (1988), el Anuario Hidrológico (1990), la Planificación de la Red Pluviométrica de la República Dominicana (1990), el Proyecto de Código de Agua para la República Dominicana (1990) y el Inventario Nacional de los Recursos Hidráulicos Nacionales (1990). Y como cartografías temáticas los Mapas Hidrogeológicos a escala 1:500.000 (1989) y 1:250.000 (1989).

También durante esta década de los 80 (y alguno incluso algunos años antes) se realizan cuatro importantes estudios de ámbito regional, que supusieron las primeras experiencias de investigaciones de grandes cuencas o zonas de explotación en el país. Estos fueron los casos del Proyecto Yaque del Sur-Neiba (1972), de la Investigación Ambiental con isótopos de la Región Sudoeste y el río Sonador, Yasica (1985), del Plan de Desarrollo de la Zona Fronteriza (Provincias de Monte Cristi, Dabajón, Elías Piña, Independencia, Santiago Rodríguez, Bahoruco y Pedernales) y de la Optimización de los Recursos Hídricos de la Cuenca del Río Yaque del Sur y Mejoramiento de la Red Hidrométrica Nacional.

En los siguientes doce años (entre 1991 y 2003) siguieron realizándose estudios de carácter nacional y de recopilación de síntesis, así como los regionales, a los que se incorporarían varios estudios de detalle y específicos hidrogeológicos, con todos los cuales se conseguiría, además de avanzar importantemente en los citados planes nacionales de investigación, inventarios, planificación de redes de control periódico o elaboración de anuarios de datos generados, comenzar con los necesarios estudios de caracterización y funcionamiento hidrogeológico de una parte de los principales acuíferos del país, así como establecer unas primeras redes de control hidrogeológico y unas evaluaciones de recursos subterráneos cada vez más rigurosas y técnicamente contrastadas con un número importante de datos.

Dentro de los estudios generales comentados cabría destacar el Mapa Geológico de la República Dominicana a escala 1:250.000 (1991), el estudio de Situación Hídrica de los Sistemas Cerrados en la República Dominicana (1992), la Red Nacional de Monitoreo de Calidad de Aguas para la República Dominicana (1993), el Plan Nacional de Ordenamiento de Recursos Hidráulicos (DIAGNOSTICO, 1994), la Evolución del Conocimiento de las Aguas Subterráneas en la República Dominicana (1994), el Estudio de Distritos de Riego de la República Dominicana (1995) y los Mapas de Estaciones Climáticas e Hidrométricas del país (1995) y de Presas en Operación en la República Dominicana (2003).

Por su parte, como estudios regionales y de detalle, cabría resaltar la Síntesis Hidrogeológica del Valle de La Isabela, cuenca del río Masacre (Dajabón) (1990), el informe sobre la Hidrogeología del Valle de Constanza (1992), The Study on Groundwater Development Project in the Western Región, Dominican Republic (1992), los informes sobre las Aguas Subterráneas en la Provincia de Salcedo (1993) y entre el Sector de Avedaño y Boca de Gamboa Río Haina (1995), el importante y pionero Estudio Hidrogeológico Nacional de la República Dominicana. Fase I. (2000) y la Síntesis Hidrogeológica del Valle de La Isabela, cuenca del río Bajabonico (2002).

La valoración de detalle y específica de cada uno de estos estudios mencionados se presenta en las correspondientes fichas bibliográficas elaboradas e incluidas en el Anexo 1, aunque como valoración general del conjunto de la documentación consultada y analizada podrían obtenerse las siguientes conclusiones:

- En rasgos generales, los estudios, informes y bases cartográficas y de datos existentes en la República Dominicana sobre aspectos relacionados con las aguas subterráneas, y analizados para el presente proyecto, resultan de un gran interés y utilidad, aunque presentan una limitada homogeneidad, en cuanto a objetivos, distribución territorial y alcances. Cada estudio ha aportado algún aspecto novedoso con respecto a los precedentes y, en especial, los estudios de detalle y específicos, cuyos objetivos pretendidos y áreas de trabajo más restringidas han obligado a un mayor grado de profundización en sus resultados.
- Se dispone de una importante y valiosa información sobre datos climatológicos, infraestructura y planificación hidráulica, y evaluación de recursos superficiales, aunque en lo referente a los recursos subterráneos, la información a nivel nacional es muy genérica y no excesivamente actualizada (PLANIACAS, 1983, Inventario Nacional de Recursos Hidráulicos Nacionales, 1990, y Plan Nacional de Ordenamiento de Recursos Hidráulicos, Diagnóstico, 1994), y la regional y de detalle queda limitada a aproximadamente una tercera parte del país, en la que se han realizado estudios hidrogeológicos específicos y con alcances suficientes para conocer su caracterización y funcionamiento hidrogeológico, y en las que se dispone de un importante inventario selectivo de puntos de agua y de redes de control hidrogeológico (piezometría, hidrometría y calidad). Estos son los casos concretos de las unidades hidrogeológicas de las Planicies Costera Oriental, de Baní y de Azua, de los Valles de San Juan y de Neiba y de Península Sur de Barahona, así como del Yaque del Sur-Neiba, de la Región Sudoeste y el río Sonador, Yásica, de la Zona Fronteriza (Provincias de Monte Cristi, Dabajón, Elías Piña, Independencia, Santiago Rodríguez, Batoruco y Pedernales), de los Valles de La

Isabela, cuencas de los ríos Masacre (Dajabón) y Bajabonico, y de Constanza, del Sector entre Avedaño y Boca de Gamboa-Río Haina.

- En el resto del país (las otras dos terceras partes del mismo), coincidente, en su mayor parte, con las unidades hidrogeológicas a estudiar en el presente proyecto (zonas norte, centro y suroeste del país), la información e infraestructura hidrogeológica actualmente existente es escasa (y, en algunos casos, incluso inexistente) y presenta importantes deficiencias, en cuanto a aspectos básicos como los inventarios de puntos de agua y de extracciones de recursos subterráneos, establecimiento y explotación de redes de control periódico, determinación de parámetros hidráulicos, identificación de sus funcionamientos hidrogeológicos y de problemáticas específicas, etc. Este aspecto ha condicionado el que en la mayor parte de las unidades hidrogeológicas en estudio se haya partido de un grado de conocimiento muy limitado y que se hayan tenido que diseñar sus diferentes redes de control hidrogeológico (piezometría, hidrometría y calidad) con información aportada por el inventario de puntos de agua (el primero que se realizaba en algunas de las citadas unidades) y por la interpretación técnica de los mapas geológicos e hidrogeológicos existentes.

3. ESTUDIO METEOROLÓGICO Y CLIMATOLÓGICO

3.1. OBJETIVOS Y PLANTEAMIENTO GENERAL DEL ESTUDIO

El objetivo fundamental del Estudio Meteorológico y Climatológico del Proyecto ha sido disponer de la información necesaria para poder obtener y evaluar las características climáticas de las diferentes zonas o unidades hidrogeológicas en estudio, con objeto de que pudieran utilizarse en el establecimiento de sus correspondientes balances hídricos, en la evaluación de los excedente de evaporación o lluvia útil.

Con este objetivo básico, el presente Estudio Meteorológico y Climatológico cuenta tanto con información procedente de la red meteorológica existente, como de la que aportan las 20 estaciones del proyecto, de manera que dicha información sea representativa de la climatología de las zonas o unidades hidrogeológicas en estudio y, dentro de estas, especialmente de las zonas con predominancia de materiales permeables, que es donde adquieren un mayor interés sus correspondientes balances hídricos.

Por consiguiente, ha sido necesario comenzar por realizar un análisis de la red de estaciones climáticas del estado existentes dentro del ámbito de las unidades en estudio (ubicación y representatividad espacial, tipos y series de medidas temporales, etc.), así como de toda la información procedente de estudios precedentes, a partir de la cual se ha procedido a caracterizar la climatología de las diferentes zonas o unidades hidrogeológicas en estudio y a evaluar la representatividad de la información disponible, desde el punto de vista del interés y los fines específicos del presente proyecto.

A partir de dicho análisis, se procedió a diseñar la ubicación de las 20 estaciones meteorológicas del proyecto, de manera que cubrieran las posibles lagunas de información de las redes precedentes y que caracterizaran los principales parámetros climáticos de las zonas de mayor interés hidrogeológico (es decir, con predominancia de materiales permeables).

3.2. INFORMACIÓN DE PARTIDA. EVALUACIÓN DE LA RED METEOROLÓGICA EXISTENTE

La información meteorológica y climatológica de la República Dominicana procede, fundamentalmente de tres organismos públicos dominicanos: **INDRHI**, Departamento Meteorológico y Consejo de Estado del Azúcar (CEA).

La red de estaciones del **INDRHI** está compuesta por 437 estaciones, de las cuales 65 son climáticas (CL), 283 pluviométricas (LD), 83 pluviográficas (LH), y 6 (LH), cuya distribución espacial se representa en el "Plano de distribución de Estaciones Meteorológicas del INDRHI y del Proyecto". Las denominadas estaciones climáticas (CL) disponen de dispositivos de registro continuo de precipitación, temperatura, insolación, humedad relativa, etc.; las pluviométricas (LD) solamente de probetas para registro diario de precipitación (con necesidad de cambiar diariamente la probeta con los datos), y las pluviográficas (LH) solamente de registro continuo de precipitación.

Por su parte, la red del Servicio Meteorológico consta de 6 estaciones agroclimatológicas y de 66 estaciones que registran la precipitación diaria y la temperatura.

En el cuadro adjunto (Cuadro 3.2.1) se incluye la distribución del número de estaciones del INDRHI, por cuencas hidrográficas y las tipologías de sus equipamientos:

Cuadro 3.2.1: Distribución de Estaciones Meteorológicas del INDRHI, por cuencas hidrográficas, y tipologías de las mismas.

CUENCAS HIDROGRÁFICAS	TIPOS DE ESTACIONES				
	CLIMÁTICAS (CL)	PLUVIOMÉTRICAS (LD)	PLUVIOGRÁFICAS (LH)	(LT)	TOTAL
Masacre	1	4	-	-	5
Yaque del Norte	9	56	17	3	85
Bajonico	1	3	1	-	45
Yasica	2	6	-	-	8
Boba	1	2	-	-	3
Yuna	11	36	15	1	63
Duey	1	3	-	-	4
Chavón	1	3	1	-	5
Soco	2	4	2	-	8
Haina	2	5	2	-	9
Nizao	4	11	4	-	19
Ocoa	3	28	3	-	34
Jura	2	1	2	-	5
Tabara	1	4	-	-	5
Yaque del Sur	10	43	24	-	77
Nizaito	1	3	-	-	4

CUENCAS HIDROGRÁFICAS	TIPOS DE ESTACIONES				
	CLIMÁTICAS (CL)	PLUVIOMÉTRICAS (LD)	PLUVIOGRÁFICAS (LH)	(LT)	TOTAL
Lago Enriquillo	5	13	3	-	21
Enriquillo	2	-	-	-	2
Artibonito	6	15	3	-	24
Maimón	-	1	-	-	1
San Marcos	-	1	-	-	1
Río San Juan	-	1	-	-	1
Nagua	-	2	2	-	4
Samaná	-	2	-	-	2
Yabón	-	1	-	-	1
Yeguada	-	1	-	-	1
Anamuya	-	1	-	-	1
Cabo Engaño	-	1	-	-	1
Río Dulce	-	1	-	-	1
Higuamo	-	4	-	-	4
Brujuela	-	1	-	-	1
Ozama	-	14	2	-	16
Nigua	-	2	-	-	2
Bani	-	2	-	-	2
Arroyo Grande	-	1	-	-	1
Arroyo Atillo	-	1	-	-	1
Río Grande	-	1	-	-	1
Vía	-	1	-	-	1
Pedernales	-	4	-	-	4
Masacre	-	-	2	2	4
TOTAL	65	283	83	6	437

Esta distribución de estaciones meteorológicas por todas las cuencas hidrográficas del territorio nacional de la República Dominicana (48 442 km²) supone una densidad media de 1 estación por cada 110.8 km², de las cuales el 65% son del tipo pluviométricas (LD), el 19% pluviográficas (LH), el 15% climáticas completas (CL), y el 1% restante del tipo LT.

Las distribuciones del número de estaciones está, lógicamente, directamente relacionada con la superficie de las cuencas, siendo las que disponen de una mayor número de estaciones las cuencas de Yaque del Norte (85), Yaque del Sur (77), Yuna (63), Ocoa (34), Artibonito (24), Lago Enriquillo (21), Nizao (19) y Ozama (16).

En lo referente a la distribución de estaciones meteorológicas por unidades hidrogeológicas dentro del área del Proyecto (Cuadro 3.2.2), se obtiene un número total de 217 estaciones para una extensión de aproximadamente 35 300 km², que suponen una densidad media de 1 estación por cada 162.7 km², que es sustancialmente menor (aproximadamente un 32% menos) que la media obtenida para todo el territorio nacional. Esta distribución, además, no es homogénea espacialmente, dándose el caso de varias unidades que se aproximan a 1 estación por cada 300 km² (casos de la Cordilleras Septentrional y Oriental, Península de Samaná y Sierra de Bahoruco) e incluso de alguna que supera la estación por cada 500 km² (Los Haitises).

En cuanto a las tipologías de las estaciones disponibles dentro del área del Proyecto, el 75% de las disponibles, que suponen 163 estaciones, son del tipo pluviométricas (LD), siendo el 23% (51 estaciones) del tipo pluviográficas (LH), y tan solo 1 climática completa (CL).

Cuadro 3.2.2: Distribución de Estaciones Meteorológicas del INDRHI, por Unidades Hidrogeológicas del proyecto.

UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS	ESTACIONES CLIMÁTICAS (CL)	ESTACIONES PLUVIOMÉTRICAS (LD)	ESTACIONES PLUVIOGRÁFICAS(LH)	ESTACIONES (LT)	TOTAL ESTACIONES	SUPERFICIE EN Km ²	NÚMERO DE ESTACIONES POR Km ²
5. CORDILLERA SEPTENTRIONAL	-	14	2	-	16	5 000	312.5
4. PENÍNSULA DE SAMANÁ	-	2	-	-	2	600	300.0
6. VALLE DEL CIBAO	-	38	10	1	49	6 300	128.6
3. LOS HAITISES	-	2	1	-	3	1 600	533.3
2. CORDILLERA ORIENTAL	-	9	1	-	10	2 900	290.0
7. CORDILLERA CENTRAL	1	80	36	1	118	14 000	118.6
9. SIERRA DE NEIBA	-	12	-	-	12	2 500	208.0
11. SIERRA DE BAHORUCO Y PENÍNSULA SUR DE BARAHONA	-	6	1	-	7	2 400	342.8
TOTAL	1	163	51	2	217	35 300	162.7

En lo referente a las series de datos disponibles, indicar que éstos son muy variables, aunque, en la mayor parte de los casos superan los 25 años mínimos recomendables para que puedan ser estadísticamente representativos. Los primeros registros son de los años 30 del siglo XX (años 1931, 1938 y 1939), aunque la gran mayoría de las estaciones comienzan sus registros en la década de los 60 y los 70. Por su parte, los registros no se mantienen de forma homogénea en el tiempo en todas las estaciones, dejándose de medir algunas en los años 70, 80 y 90, hasta el año 1998. Existen también casos excepcionales de estaciones concretas que solo han realizado medidas durante 3 o 5 años seguidos, e incluso algunas que solo lo han hecho durante 1 o 3 meses.

Para el presente estudio, además del mantenimiento y recogida de datos de las veinte estaciones meteorológicas del proyecto, se ha procedido a recopilar y analizar los datos aportados por las estaciones meteorológicas controladas por el INDRHI, cuyos resultados se han ido incluyendo en cada uno de los informes correspondientes de las unidades hidrogeológicas de estudio.

En total se han analizado los datos procedentes de 44 estaciones climáticas controladas por el INDRHI, cuya distribución, por unidades hidrogeológicas, y datos de ubicación se presentan en el siguiente cuadro resumen:

Cuadro 3.2.3: Estaciones climáticas utilizadas en el proyecto

UNIDAD HIDROGEOLÓGICA	CÓDIGO	NOMBRE DE LA ESTACIÓN	TIPO(*)	LATITUD	LONGITUD	ALTITUD (m)
CORDILLERA ORIENTAL	2401	SALVALEÓN DE HIGUEY		18° 22' 12"	68° 25' 12"	90
	2603	NARANJO DE CHINA	CL	18° 41' 46"	68° 49' 58"	130
	3001	EL SEIBO		18° 27' 36"	69° 1' 48"	120
LOS HAITISES	1811	ABADESA	LD	19° 0' 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
PENÍNSULA DE SAMANÁ	1701	SAMANÁ	LD	19° 12' 0"	69° 20' 0"	7
	1702	SANCHEZ	LD	19° 13' 0"	69° 36' 0"	17
CORDILLERA SEPTENTRIONAL	0405	QUINIGUA	CL	19° 31' 35"	70° 46' 25"	138
	0602	LA ISABELA	CL	19° 49' 48"	71° 3' 50"	30
	1501	LOS JENGIBRES	CL	19° 26' 20"	70° 2' 50"	15
	1816	JOSÉ CONTRERAS	CL	19° 28' 0"	70° 27' 0"	685
VALLE DEL CIBAO	0402	TAVERA	CL	19° 17' 0"	70° 43' 5"	300
	0403	S. JOSE DE LAS MATAS	CL	19° 20' 10"	70° 56' 20"	530

UNIDAD HIDROGEOLÓGICA	CÓDIGO	NOMBRE DE LA ESTACIÓN	TIPO(*)	LATITUD	LONGITUD	ALTITUD (m)
	0404	SANTIAGO-ISA	CL	19° 26' 24"	70° 44' 45"	160
	0405	QUINIGUA	CL	19° 31' 35"	70° 46' 25"	138
	0406	MAO-VALVERDE	CL	19° 35' 17"	71° 3' 5"	60
	0408	LA ANTONA	CL	19° 38' 0"	71° 24' 10"	48
	1814	BARRAQUITO	CL	19° 7' 50"	69° 47' 20"	8
	1815	LA ANGELINA	CL	19° 7' 35"	70° 13' 20"	48
CORDILLERA CENTRAL	0101	DON MIGUEL	CL	19° 30' 10"	71° 40' 40"	45
	0401	JARABACOA	CL	19° 7' 50"	70° 38' 20"	500
	1802	JUMA-BONAO	CL	18° 54' 0"	70° 23' 10"	178
	3402	MEDINA	CL	18° 32' 6"	70° 84' 0"	150
	3802	VALDESIA	CL	18° 24' 30"	70° 16' 50"	160
	4401	EL NARANJAL-OCOJA	CL	18° 32' 46"	70° 28' 36"	600
	4425	EL MEMISO	CL	18° 30' 57"	70° 34' 17"	530
	4924	LOS VALENCIO	CL	19° 5' 10"	71° 16' 51"	1160
	5408	CATANAMATÍAS	CL	19° 2' 58"	71° 24' 32"	1215
5410	NARANJITO	CL	19° 17' 2"	71° 29' 50"	900	
SIERRA DE NEIBA	4903	SAN JUAN DE LA MAGUANA	CL	18° 45' 27"	71° 09' 02"	378
	4915	VALLEJUELO	CL	18° 39' 27"	71° 20' 22"	660
	5301	NEYBA	CL	18° 30' 17"	71° 26' 15"	100
	5307	LOS BOLOS	LD	18° 37' 53"	71° 39' 05"	1100
	5313	GUAYABAL-POSTRER	CL	18° 35' 40"	71° 38' 15"	225
	5314	LOS GUINEOS	LD	18° 35' 28"	71° 26' 30"	740
	5320	LA DESCUBIERTA (MET)	LD	18° 34' 00"	71° 44' 00"	9
	5322	MAJAGUAL	LD	18° 34' 09"	71° 18' 59"	740
	5401	MATAYAYA	CL	18° 53' 00"	71° 35' 18"	430
SIERRA DE BAHORUCO Y PENÍNSULA SUR DE BARAHONA	4986	BARAHONA	CL	18° 12' 50"	71° 06' 10"	35
	5101	VILLA NIZAO	LD	18° 01' 30"	71° 11' 40"	300
	5103	POLO (MET)	LD	18° 04' 00"	71° 17' 00"	703
	5201	PEDERNALES	LD	18° 05' 27"	71° 44' 22"	80
	5202	ENRIQUILLO (MET)	LD	17° 54' 00"	71° 14' 00"	3
	5302	PUERTO ESCONDIDO	CL	18° 19' 15"	71° 34' 20"	400
	5312	ANGOSTURA	CL	18° 16' 12"	71° 23' 46"	35
	5321	JIMANI (MET)	LD	18° 29' 00"	71° 51' 00"	31

UNIDAD HIDROGEOLÓGICA	CÓDIGO	NOMBRE DE LA ESTACIÓN	TIPO(*)	LATITUD	LONGITUD	ALTITUD (m)
--------------------------	--------	--------------------------	---------	---------	----------	-------------

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

3.3. RÉGIMEN CLIMÁTICO GENERAL DE LA REPÚBLICA DOMINICANA

La República Dominicana, en su conjunto, posee un clima tropical marítimo, condicionado por una serie de factores geográficos y climáticos, entre los que cabría destacar los siguientes:

- Su condición de isla, con una extensión de 48 420 km² y una orientación determinada.
- Su variado e irregular relieve (con elevaciones variables entre 40 m por debajo el nivel del mar en el SO de la isla -Lago Enriquillo, Valle de Neiba- y los 3 175 m.s.n.m del Pico Duarte en la Cordillera Central, y la existencia de cuatro sistemas orográficos orientados en direcciones predominantes ONO-ESE).
- El flujo permanente de la circulación de los vientos alisios del nordeste, con arrastre de humedad desde el Océano Atlántico.
- La ubicación geográfica de la isla con respecto al desplazamiento anual del sol.
- Las altas y constantes temperaturas de las aguas marinas que bordean sus costas.

La distribución de la pluviometría es, igualmente, muy variable y compleja, debido, fundamentalmente, a las citadas irregularidades del terreno (alternancia de cordilleras o sistemas elevados y depresiones o valles) y a su distribución u orientación espacial (emplazados en direcciones predominantes ONO-ESE). Los factores que más influyen en el mencionado complejo y variable régimen de lluvias son los siguientes:

- El desplazamiento de los fenómenos meteorológicos de traslación sobre el territorio de la República Dominicana (frentes de vientos y de precipitaciones, ondas del este, ciclones tropicales, situación de vaguadas, etc.).
- El ascenso de las masas de aire húmedo en las zonas orográficas altas.
- El ascenso o convención de las masas de aire sobre las áreas llanas y de orografía bajas (valles y lomas marginales) por calentamiento de las mismas.

El resultado de todo lo expuesto es una distribución de lluvias medias anuales muy variable territorialmente y comprendidas entre los 600 y los 2 400 mm. En amplias zonas de las regiones Norte y Noreste del país se registran valores medios anuales que llegan a superar los 2 000 mm, como son los casos de la cordillera Central en las proximidades del nacimiento del río Yuna

y en la zona alta de la cuenca del río Ozama, o la zona este de la Cordillera Septentrional, en el sector de Nagua . Por el contrario, en otras zonas, como el bajo Yaque del Sur, valle de Neiba, así como en el bajo Yaque del Norte y en Pedernales, los valores medios de precipitaciones anuales son inferiores a los 600-800 mm.

En lo referente a la distribución de las pluviometrías medias anuales dentro de las Unidades Hidrogeológicas en estudio, se observa la misma variabilidad de valores que la comentada a nivel nacional. Las distintas unidades hidrogeológicas en estudio recogen una gran diversidad de situaciones climáticas, por ser zonas de transición entre las características costeras del litoral caribeño y las montañosas del interior, con la influencia de la Cordillera Central. Sus principales características se resumen en el siguiente (Cuadro 3.3.1.):

Cuadro 3.3.1.: Distribución de pluviometrías medias anuales en las Unidades Hidrogeológicas del proyecto.

UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS	MEDIA ANUAL DÍAS LLUVIA	DISTRIBUCIÓN DE PLUVIOMETRÍAS MEDIAS ANUALES (en mm)		
		VALORES MÁXIMOS	VALORES MEDIOS	VALORES MÍNIMOS
5. CORDILLERA SEPTENTRIONAL	100-150	2 400 (Sector Este/Nagua)	1 000-1 600 (Sector Norte/Puerto Plata)	600 (Sector Oeste/Montecristi)
4. PENÍNSULA DE SAMANÁ	150		1 900 en toda la península	
6. VALLE DEL CIBAO	50-150	2000 (Sector Este/Bajo río Yuna)	900-1 400 (Sector Centro-occidental/Santiago-Moca-La Vega)	600-700 (Sector Central/Mao)
3. LOS HAITISES	100-150		2 000 en toda la unidad	
2. CORDILLERA ORIENTAL	100	2000 (Sector Norte)	1 600 (Sector Central)	1 200-1 400 (Sector Sur/El Seybo)
7. CORDILLERA CENTRAL	100-150	2000 (Zona Centrooriental/cabeceras de los ríos Yuna y Grande)	1 400-1 600 (Sectores Centro-Oeste y Sureste)	800-1 000 (Sectores sur y Suroeste/Azua)
9. SIERRA DE NEIBA	50-100	1400-1600 (Sector Oeste)	800-600 (Sector Central)	500 (Sector Centro-Este/Yaque del Sur)
11 y 12. SIERRA DE BAHORUCO Y PENÍNSULA SUR DE BARAHONA	100-150	1600-2000 (Sector Centro-oriental/Barahona)	1 000-1 200 (Sector Central)	800 (Sector Suroeste)

Por último, en lo referente a la distribución estacional de las precipitaciones, cabría destacar lo siguiente:

- En el verano climatológico (meses de junio a agosto) se suelen registrar las mayores intensidades de lluvia de todo el año, que responden, normalmente, a la entrada en el país de ciclones tropicales y de las denominadas ondas del este. Se llegan a registrar valores superiores a los 600 mm en zonas como las cabeceras de los ríos Yuna, Nizao, Ozama y Haina, así como en los Haitises y la Sierra de Bahoruco, aunque también se llegan a alcanzar mínimos de 200 mm en zonas como las cuencas bajas de los ríos Yaque del Sur y Yaque del Norte.
- En el otoño climatológico (meses de septiembre a noviembre) se registran por amplias zonas del país precipitaciones bastante regulares próximas a los 600 mm, como son los casos e las costas Norte y Noreste, el Alto Yuna y Nizao y, en el suroeste, en la Sierra de Bahoruco.
- En el invierno climatológico (meses de diciembre a febrero) se registran las mayores concentraciones de precipitaciones, con valores que superan los 400 mm en regiones de la costa Norte y Noreste, que contrastan con valores mínimos en el sureste del país, donde apenas se sobrepasan los 50 mm en zonas como el bajo Yaque del Sur y el Valle de Neiba. Las altas precipitaciones en el Norte se deben, fundamentalmente, a la entrada en la Cordillera Septentrional de sistemas frontales de lluvia.
- Finalmente, en la primavera climatológica (meses de marzo a mayo) se registran valores de precipitación por encima de los 500 mm en las regiones del Norte y del Noreste, cordillera Central y en la cuenca del Nazito, e inferiores a los 200 mm en el Noroeste (Yaque del Norte) y Suroeste (Yaque del Sur).

3.4. SELECCIÓN DE LOS PUNTOS DE UBICACIÓN DE LAS ESTACIONES METEOROLÓGICAS DEL PROYECTO.

Las distintas unidades hidrogeológicas en estudio recogen una gran diversidad de situaciones climáticas, por ser zonas de transición entre las características costeras del litoral caribeño y las montañosas del interior, con la influencia de la cordillera Central, y ocupar, prácticamente, las tres cuartas partes de la superficie del país.

La evaluación y control de sus características climáticas ha sido de gran importancia para el establecimiento de los diferentes términos del balance hídrico de las zonas hidrogeológicas en

estudio, tanto en lo referente a las entradas (caso de la infiltración de lluvia útil), como en salidas (caso de la evaporación y evapotranspiración).

Por consiguiente, los estudios hidroclimáticos a realizar en cada unidad se inició con una evaluación de la red meteorológica existente en la zona de estudio y en su entorno próximo.

Tras el análisis de la información sobre las estaciones climáticas existentes comentado en apartados anteriores (emplazamientos, tipos de medidas y series temporales disponibles, etc), así como de la información procedente de estudios anteriores (PLANIACAS I, etc), se realizó una evaluación de la representatividad de las redes disponibles y de sus resultados, y todo ello en función de los fines específicamente hidrogeológicos del presente proyecto, identificándose las zonas donde existía cobertura suficiente de estaciones, así como aquellas en las que se detectaban lagunas de información (bien sea por inexistencia de estaciones o de registros completos), o que se consideraban de especial interés hidrogeológico (con predominancia de afloramientos permeables).

Los criterios de selección de los nuevos emplazamientos de estaciones meteorológicas fueron, básicamente, tres:

- Cubrir zonas, dentro de cada unidad hidrogeológica, donde no existía suficiente cobertura previa de estaciones meteorológicas, de manera que pudieran completarse las posibles lagunas de información que se detectaban (bien fuera por inexistencia de estaciones o de registros completos).
- Disponer de estaciones meteorológicas preferentemente en zonas con predominancia de afloramientos permeables, con objeto de que la información que aportaran fuera lo más representativa y completa posible sobre las zonas o sectores que presentaban un mayor interés a la hora de efectuar los balances hídricos subterráneos, al constituir las subunidades y acuíferos dentro de cada unidad hidrogeológica en estudio.
- Cubrir zonas de especial interés climatológico o hidrogeológico (caso de la isla Cabritos, en el Lago Enriquillo, fuera del ámbito de las unidades en estudio, pero de gran interés para posibles estudios futuros).

A la vista del análisis indicado, se procedió a seleccionar los puntos o sectores de las unidades en estudio donde parecía más recomendable instalar las 20 nuevas estaciones meteorológicas, procediéndose a visitarlos en campo para seleccionar los lugares exactos de sus emplazamientos y obtener los oportunos permisos para la construcción de sus cerramientos e instalación de los diferentes equipamientos en los terrenos seleccionados.

Como resultado de las labores anteriormente descritas, la distribución final por unidades hidrogeológicas de las 20 nuevas estaciones meteorológicas fue ligeramente diferente de la prevista en el citado pliego, quedando distribuida de la siguiente forma (Cuadro 3.4.1 y en el Plano de distribución de Estaciones Meteorológicas del INDRHI y del Proyecto):

Cuadro 3.4.1: Distribución de las 20 Estaciones Meteorológicas del Proyecto, por Unidades Hidrogeológicas.

UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS	ESTACIONES METEOROLÓGICAS PREVISTAS EN PLIEGO	ESTACIONES METEOROLÓGICAS INSTALADAS	DENOMINACIÓN Y OBSERVACIONES
5. CORDILLERA SEPTENTRIONAL	4	4	14: Naranja Dulce 18: Tenares; 19: Los Cajules; y 20: Diego de Ocampo
4. PENÍNSULA DE SAMANÁ	1	0	Existen 2 estaciones pluviométricas completas del INDRHI (LH) y en funcionamiento.-
6. VALLE DEL CIBAO	5	4	17: El Gómez; 13: Cercadillo; 15: Cebú; y 16: La Cueva de Cevico
3. LOS HAITISES	1	2	3: Majagual; y 4: Trepada Alta
2. CORDILLERA ORIENTAL	2	1	1: Peñita Abajo
7. CORDILLERA CENTRAL	3	4	9: Los Copeyes; 10. Las Placetas; 11: La Cabirma en Cotuí 12: El Rodeo en Partido;
9. SIERRA DE NEIBA	2	1	5: La Petaca. Solamente se ha instalado una porque existen 14 estaciones pluviométricas completas del INDRHI (LH) y en relativo buen funcionamiento.
10. VALLE DE NEIBA	0	1	6: Isla Cabrito (Lago Enriqueillo).
11 y 12. SIERRA DE BAHORUCO Y PENÍNSULA SUR DE BARAHONA	2	2	7: Las Mercedes; y 8: Higuierito.
TOTAL	20	20	

Las 20 mencionadas estaciones meteorológicas son similares a las del Estudio de la Fase I y están equipadas con pluviómetro, termohigrómetro, anemómetro, evaporímetro de tanque y heliógrafo, junto con un sistema de almacenamiento digital de datos para realización de medidas diarias, cuyas características y detalles de equipamientos se incluyen posteriormente.

3.5. INSTALACIÓN Y EQUIPAMIENTO DE LAS ESTACIONES CLIMÁTICAS DEL ESTUDIO.

El proceso de instalación de las 20 estaciones climáticas previstas en los Términos de Referencia del **Proyecto "N"** ha cubierto las etapas siguientes:

- Elección de emplazamientos para las 20 estaciones, realizado según se describe en el apartado anterior.
- Consecución de los terrenos donde construir el cerramiento (parcelas de 6x6 m²) que iban a albergar las estaciones. Todos los terrenos han sido cedidos a título gratuito por sus propietarios. La relación de propietarios se muestra en el cuadro 3.5.1

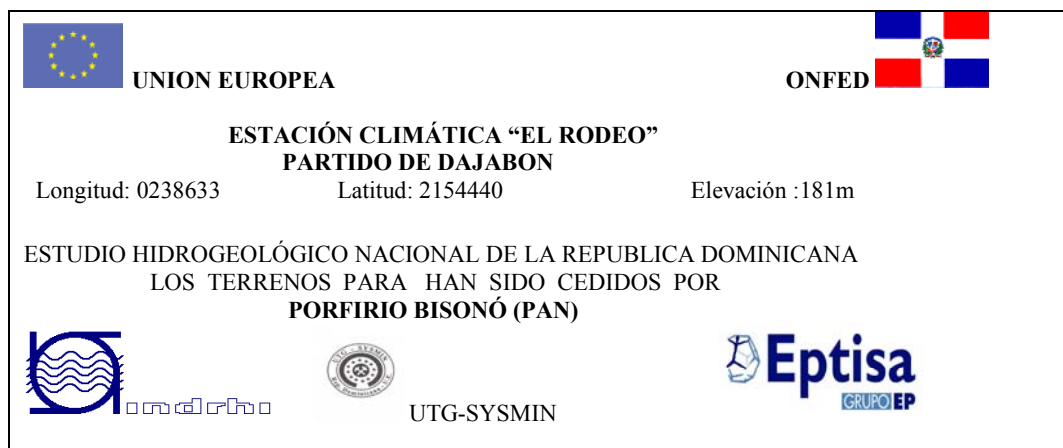
Cuadro 3.5.1. Relación de propietarios de las estaciones climáticas

PROPIETARIOS TERRENOS	ESTACIONES CLIMÁTICAS
Porfirio Bisonó	El Rodeo (Partido)
Miguel A. Medina	Cercadillo (Guayubin)
Antonio Ramírez	Cebu (Santiago)
Manuel De Jesús Mayi	La Cueva (Cotui)
Seferino Aracena	Diego o Campo (Santiago)
Saba De Jesús Merejo	Naranjo Dulce (S. Fco. Macorix)
Antonio Alcántara	Los Copeyes (Las Matas de Farfan)
Catalina Santana	Trepada Alta (Sabana de la Mar)
Ceagana	Pinita Arriba (Hato Mayor)
José Monegro	Los Cajules (Río S. Juan)
Domingo Fermín Peña	El Gomez (Montecristi)
José Arturo	La Caoba (Moca)
Chicho	Majagual (Sabana de la Mar)
Tomás Espinal	Las Placetas
Secretaría Estado Medio Ambiente	Isla Cabrito (Lago Enriquillo)

PROPIETARIOS TERRENOS	ESTACIONES CLIMÁTICAS
Colon Bocio	La Petaca (Neiba)
Blas Domínguez	Higuerito (Barahona)
Clemente Pérez	Las Mercedes (Pedernales)
Rufino Vázquez	La Cabirma (Coter)
Bartolo González	El Bombillo (Tenaresi (Salcedo))

- Construcción del cerramiento, de acuerdo con las especificaciones de los Términos de Referencia:
 - Malla ciclónica calibre nueve (9), plastificada y de seis (6) pies de alto.
 - Tubos galvanizados de 1 1/4" para la verja.
 - Tubos galvanizados de 3/4" para el ruedo superior.
 - Muro de bloques u hormigón para fijar la malla en el ruedo inferior.
 - Puerta de acceso y candado.
 - Placa de identificación de la estación (ver figura 3.1)
 -

Figura 3.1. Ejemplo de placa de identificación de las estaciones.



- Despacho en aduanas de las estaciones, enviadas desde España. Este trámite presentó ciertos problemas y retrasos derivados de la dificultad de conseguir la exoneración fiscal a que tenía derecho. Las estaciones llegaron al puerto de Haina (Santo Domingo) en dos envíos en la primera semana de septiembre de 2003, pero el trámite de despacho no pudo completarse hasta la primera semana de diciembre del mismo año, con el consiguiente retraso de dos meses.
- Montaje de las estaciones. De acuerdo con el cronograma de actividades del Proyecto, estaba previsto que la instalación de las 20 estaciones meteorológicas se llevara a cabo a lo largo del Primer Trimestre del Proyecto. Sin embargo, y por las causas ya expuestas anteriormente, no fue posible comenzar su instalación hasta la primera semana del mes de enero de 2004. La instalación de las citadas estaciones comenzó en el mes de enero 2004 y finalizó a lo largo del mes de marzo de dicho año.

Esta instalación no incluyó inicialmente el sensor de determinación de la dirección del viento (goniómetro), que fue posteriormente adquirido e instalado durante el mes de junio de 2004.

- Calibración, captura de datos registrados y mantenimiento y vigilancia de las estaciones.

Finalizada la instalación se procedió a fijar los intervalos de registro de datos, a validar los datos registrados y a corregir los errores detectados en conexiones o sensores.

Para el mantenimiento y vigilancia de las estaciones se designaron responsables entre los vecinos próximos a la instalación. Hay que señalar la eficacia de esta medida, pues, hasta la fecha de entrega al **INDRHI** de las estaciones, ninguna ha sufrido actos de vandalismo. La relación de vigilantes utilizados se presenta en el cuadro 3.5.2

Cuadro 3.5.2. Relación de vigilantes de las estaciones climáticas

Vigilantes
M. A. Medina
J. Bisonó
D. Peña
C. Tracena
P. de Jesús Vivas
P. T. Collado

Vigilantes
L. Burgo
E. Orgin
F. A. Núñez
M González
A. Jerez
R. Vázquez
J. A. Zorrilla
M. A. Brito
J. Maxime
C. Pérez
A. Feliz
R. Santo
A. Bocio
R. Alcántara

- Retirada y sustitución de tarjetas de memoria para el almacenamiento de datos.

A partir del mes de mayo se procedió a la retirada y sustitución de las tarjetas de memoria para el almacenamiento de datos registrados. Esta actividad se inició en el mes de mayo 2004, y continuó periódicamente durante los meses de junio, julio, agosto, septiembre y octubre de dicho año. En estas mismas visitas se corrigieron los errores de medida que fueron detectándose y se procedió a la retirada de los elementos averiados para su reparación y sustitución correspondiente.

- Transferencia de datos a PC.

El lector de tarjetas de memoria utilizado inicialmente, idéntico al utilizado en la Fase I del proyecto, fue sustituido por un BABUC, con las mismas prestaciones a los instalados en las estaciones y con características y prestaciones muy superiores a las del lector inicial. Descargados los datos almacenados en las tarjetas en un PC, mediante el software preciso, los datos se han incorporado a la base de datos creada al efecto.

- Elaboración de fichas de estaciones. Para cada estación se ha elaborado una ficha conteniendo la siguiente información:

Nombre de la estación.

Esquema de acceso.

Coordenadas y Cota.

Nombre del propietario.

Vecino mas próximo.

Nombre del vigilante.

Dos fotos de la estación.

En la Figura 3.2 se recoge una ficha a modo de ejemplo.

- Cesión y traspaso al **INDRHI** de las estaciones 20 meteorológicas del proyecto.

Las estaciones climáticas, una vez inspeccionadas debidamente y aceptada su recepción por parte de la **UTG**, fueron cedidas al **INDRHI** en el mes de septiembre de 2004 (Acta de cesión de fecha 14 de septiembre de 2004).

**FICHA ESTACION CLIMÁTICA
ISLA CABRITOS**

LOCALIZACIÓN

PARAJE: ISLA CABRITOS

REGISTRO: 7309

MUNICIPIO: LA DESCUBIERTA

PROVINCIA: PEDERNALES

COORDENADAS

X 0212599

Y2047172

Z 11 m.

PROPIETARIO DEL TERRENO

NOMBRE: HERMOGENES MENDEZ T.
DIRECCIÓN ADM. PARQUE NACIONAL
TELEFONO 785-9421

VECINO MÁS PRÓXIMO

NOMBRE
DIRECCIÓN
TELEFONO

FECHAS

INSTALACIÓN : 22/2/04
CALIBRACIÓN :
PRIMERA LECTURA:

FOTOS DE LA ESTACIÓN



Las estaciones climáticas instaladas disponen del siguiente equipamiento:

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

Se resalta que estas estaciones constan con un sistema automático de registro de datos con gran capacidad de memoria, posibilidad de transmisión de datos a distancia, diversas posibilidades de almacenamiento de los datos y todo ello con una gran simplicidad de manejo.

El hardware del sistema, consiste en un ordenador central de proceso, alimentado por baterías recargables o por panel solar y, lógicamente, en caso de disponibilidad también se puede conectar a la red.

Este sistema permite asimismo, la interconexión con una unidad central mediante modem telefónico o por radio, con lo que se puede disponer de una red de datos en tiempo real, cubriendo cada una de las Unidades Hidrogeológicas.

Las características técnicas, instrucciones de montaje y de mantenimiento de equipos se recogen en los manuales siguientes:

MW6021 Meteorological Sensors. Users Manual

MW6010 Meteorological Station Instalation Manual

MW6060 BABUC ABC Operating Manual

Junto con las estaciones y toda la información relativa a las mismas, fueron entregados al INDRHI diecinueve copias de los citados manuales.

El cuadro 3.5.3 recoge las estaciones instaladas en el proyecto

Cuadro 3.5.3. Distribución de las estaciones climáticas instaladas en el proyecto

NOMBRE ESTACIÓN	Nº REGISTRO	UNIDAD HIDROGEOLOGICA	PARAJE	MUNICIPIO	PROVINCIA	COORDENADAS		ALTITUD	FECHA INSTALACIÓN
						UTM - X	UTM - Y		
Diego de Ocampo	7315	Cordillera Septentrional	Diego de Ocampo		Santiago	317150	2167007	951	26/01/04
La Caoba	7317	Cordillera Septentrional	La Caoba	Moca	Espailat	345242	2167308	342	26/01/04
Los Cajules	7321	Cordillera Septentrional	Los Cajules	Río San Juan	María Trinidad Sánchez	388448	2164669	104	30/01/04
Tenares	7323	Cordillera Septentrional	El Bombillo	Tenares	Salcedo	365672	2150608	377	21/02/04
Naranja Dulce	7310	Cordillera Septentrional	Naranja Dulce	San Francisco de Macoris	Duarte	371427	2139304	176	23/01/04
El Gómez	7312	Valle del Cibao	El Gómez	Monte Cristi	Monte Cristi	236063	2195899	98	30/01/04
Cercadillo	7318	Valle del Cibao	Cercadillo	Guayubin	Monte Cristi	269819	2167853	80	18/01/04
Cebu	7313	Valle de Cibao	Cebu	Janico	Santiago	307993	2139880	256	22/01/04
La Cueva	7306	Los Haitises	La Cueva de Cevico	Cotui	Juan Sánchez Ramírez	386314	2106054	71	25/01/04
Majagual	7308	Los Haitises	Batey Nuevo	Sabana Grande de Boya	Monte Plata	413380	2103343	19	27/01/04
Trepada Alta	7320	Los Haitises	Trepada Alta	Sabana de la Mar	Hato Mayor	451699	2098245	230	03/02/04
La Piñata Arriba	7305	Cordillera Oriental	La Piñata Arriba	Hato Mayor del Rey	Hato Mayor	466028	2089617	342	02/04/04
El Rodeo	7311	Cordillera Central	El Rodeo	Partido	Dajabon	238633	2154440	181	18/01/04
La Cabirma	7322	Cordillera Central	La Cabirma	Cotui	Sánchez Ramírez	382406	2099943	60	11/02/04
La Placeta	7300	Cordillera Central	La Placeta	San José de la Mata	Santiago	301563	2124899	837	16/02/04
La Petaca	7314	Sierra de Neiba	La Petaca	Neiba	Bahoruco	241543	2057295	960	09/02/04
Las Mercedes	7319	Sierra de Bahoruco	Las Mercedes	Pedernales	Pedernales	217863	2006300	19	10/02/04
Higuerito	7307	Sierra de Bahoruco	Higuerito	Arroyo Dulce	Barahona	254681	1988402	258	11/02/04
Los Copeyes	7316	Cordillera Central	Los Copeyes	Las Matas de Farfán		243072	2102549	622	08/02/04
Isla Cabritos	7309	Cordillera Central	Isla Cabritos	La Descubierta	Independencia	212599	2047172	11	22/02/04

Registro de datos meteorológicos

Los parámetros registrados en las estaciones meteorológicas han sido los siguientes:

- Temperatura (°C)
- Humed.REL (%)
- Pres. Atmosfer. (hPa)
- Rad. DIRECTA (W/m²)
- SUNSHINE ()
- NIVEL (mm)
- VelVIENTO (m/s)
- PRECipitación
- ANGULO (<)
- DirVIENTO (<)
- BATERIA (%)

Los primeros datos meteorológicos recogidos corresponden a febrero de 2004, fecha a partir de la cual fueron quedando instaladas las estaciones meteorológicas. En la Documentación Complementaria del presente estudio se recogen, para cada estación, la disponibilidad temporal de los datos brutos de los parámetros registrados, así como las tablas de datos diarios y gráficos de los parámetros más relacionados con el estudio hidroclimático: precipitación, temperatura y humedad. Estas tablas y gráficos no corresponden a la totalidad del periodo registrado en el marco del estudio, puesto que los datos más recientes, que alcanzan hasta octubre de 2004, no han podido ser tratados al permanecer, a fecha de redacción de la presente memoria, todavía en las tarjetas de memoria de las estaciones. No obstante, estos datos quedaran recogidos en la base de datos correspondiente una vez que el INDRHI proceda a la descarga de las mismas.

En cualquier caso, el periodo temporal de registro de la información procedente de las estaciones meteorológicas instaladas durante el presente proyecto es demasiado corto como para que haya podido ser utilizado en el estudio hidroclimático de las diferentes unidades hidrogeológicas consideradas. Este tipo de estudio necesita series de variables climatológicas correspondientes a varias décadas, con el objeto de que sean representativas de la variabilidad climatológica de cada zona. Por este motivo, para el estudio climatológico se han utilizado datos procedentes de estaciones meteorológicas pertenecientes a la red del INDRHI y del ONAMET.

Una vez que el INDRHI disponga de la base de datos con los registros brutos de las nuevas estaciones para el periodo correspondiente al presente estudio, podrá comprobar, completar y corregir las series de parámetros mediante la comparación con las estaciones de las redes preexistentes.

3.6. METODOLOGÍA UTILIZADA PARA EL ESTUDIO HIDROCLIMÁTICO

Para la realización de los estudios hidroclimáticos de las diferentes zonas o unidades hidrogeológicas estudiadas en la presente estudio, se ha utilizado el conjunto de programas del paquete HIDROBAS. Este paquete ha sido preparado por el Instituto Geológico y Minero de España (IGME) y la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas de la Universidad Politécnica de Madrid (España). Las técnicas utilizadas en este conjunto de programas son prioritariamente estadísticas y se refieren a contraste, corrección, completado y restitución de datos de precipitación y temperatura, ajuste de funciones de distribución y definición de años tipo, cálculos de ETP y balance de agua; y van dirigidas a la evaluación de aportaciones hídricas totales y a la estimación de la recarga de los acuíferos.

Los diversos programas que conforman HIDROBAS están preparados y encadenados para desarrollar una metodología de evaluación sistemática que trate los datos de partida para su homogeneización y que permita la obtención de la lluvia útil con errores acotados.

La metodología de evaluación se compone de ocho pasos escalonados consistentes en:

- Análisis previo de la información de las estaciones a tratar, sobre series de datos disponibles, longitud y disponibilidad de dichas series y sobre su distribución espacial en el campo de estudio.
- Preparación de los archivos de datos a utilizar, homogeneizando la longitud de la serie temporal elegida y utilizando el formato admitido por el programa.
- Contraste de los valores de precipitación y temperatura entre estaciones representativas, partiendo de estaciones base con calidad de datos suficientemente asegurada.
- Completado de datos en aquellos espacios temporales de las diversas estaciones en los que no se dispone de información y no resulta aconsejable en el estudio acortar las series.
- Análisis de la variabilidad de la aportación en las estaciones mediante el ajuste a funciones de distribución habituales en hidrogeología. Obtención de los límites de precipitación para años secos, medios y húmedos.
- Definición de años tipo medio, seco y húmedo, como años ideales constituidos por la media de los años definidos como seco en las funciones de distribución, media de la serie y media de años húmedos respectivamente.
- Cálculo de los valores de la evapotranspiración potencial para cada estación, haciendo uso de los valores contrastados, corregidos y completados.

- Cálculo del balance de agua en el suelo partiendo de los valores de precipitación y ETP calculado y utilizando diversas hipótesis de reserva de agua utilizable por las plantas.

3.6.1. UTILIZACIÓN DEL PAQUETE HIDROBAS

El conjunto de programas que componen el paquete HIDROBAS tienen como objetivo concreto la evaluación de escurrimiento en general y la recarga de acuíferos en particular.

Los programas realizados están preparados para funcionar de forma autónoma o para interactuar unos a partir de los resultados obtenidos por otros. Estos programas trabajan con datos climáticos obtenidos en distintas estaciones.

Los datos de dos o más estaciones se comparan entre sí con los programas DOBLESMA y CORTREST. Este último además permite restituir valores de una estación a partir de los datos de otra, en el caso de que la primera no estuviese completa.

FUNDIST actúa sobre estaciones ya completadas y realiza un ajuste según las leyes de distribución de Goodrich, Gumbel o Logarítmico Normal. A partir de estos valores con el programa TIPO se definen los años secos, medios y húmedos, considerando los mencionados resultados del programa anterior, que serán los valores límite para definir los años secos y húmedos.

Finalmente, el programa ETP calcula la evapotranspiración potencial y realiza los balances hídricos según diferentes métodos, utilizándose en uno de éstos los datos obtenidos en el programa TIPO.

3.6.2. PROGRAMA "CORTREST" PARA CORRECCIÓN Y COMPLETADO DE SERIES HIDROGEOLÓGICAS

Este programa realiza la correlación ortogonal entre estaciones y restituye valores de una estación incompleta a partir de una estación base. La restitución se realiza atendiendo a una serie de normas a partir de los resultados de la correlación.

El algoritmo de correlación se basa en considerar dos variables aleatorias x , e y de las que se dispone de muestras iguales, de extensión n , que corresponden a las pluviometrías de dos estaciones para un mismo período de tiempo.

Considerando las medias y las varianzas de las dos variables aleatorias x e y , y siendo "a" la recta del plano que mejor se ajusta al sistema discreto de puntos definido por la muestra, de cosenos directores (s,m) , si (x_c, y_c) es un punto de dicha recta, la ecuación de la misma sería:

$$\frac{x - x_c}{s} = \frac{y - y_c}{m}$$

con la condición $s^2 + m^2 = 1$

La función es de la forma:

$$\phi = \sum [(x_i - x_c)^2 + (y_i - y_c)^2] - \sum [s(x_i - x_c) + m(y_i - y_c)]^2$$

El ajuste por mínimos cuadrados se basará en obtener la recta que cumpla la condición de que ϕ sea mínimo. Estas rectas serán:

$$y = x$$

$$y = -x$$

Que son las bisectrices de los ejes.

Esto muestra la existencia de una dirección preponderante para la distribución de la masa muestral, que es la correspondiente a la mínima varianza residual. En el caso límite en que la totalidad de la masa esté sobre la recta $y=x$, la concomitancia es máxima y el coeficiente de Pearson vale:

$$r = 1/n \sum (x_i y_i) = 1/n \sum x^2 = 1$$

que indica la máxima correlación posible.

Por el contrario, si toda la masa se distribuye a lo largo de la recta $y = -x$, a valores muy altos de una variable le corresponden valores bajos de la otra (y viceversa), y se dice que la correlación es negativa. El máximo se tendrá cuando la masa coincida con $y = -x$ y el coeficiente de correlación valdrá:

$$r = -1$$

Si la distribución en torno a la media es indiferente, la masa se sitúa de forma homogénea alrededor de la media y los productos xy tienen igual probabilidad de ser positivos o negativos, por tanto:

$$r = 0$$

se dice entonces que las variables están incorrelacionadas.

En la hipótesis de que las medias de x e y se distribuyan según una distribución normal conjunta, la masa muestral se distribuye en torno a la recta de regresión $N(\sigma, \sqrt{\lambda_2})$ siendo λ_2 la menor raíz de la ecuación característica. De ello se deduce que puede establecerse en torno a dicha recta una banda

de ancho de semibanda $1.96\sqrt{\lambda_2}$ tal que más del 95% de los individuos de la muestra se hallan dentro de ella. Esta banda marca el nivel de significación del 5% en torno a la recta de regresión y se denomina banda característica o "banda de garantía".

El programa también realiza la restitución de valores. En función de los parámetros de correlación ortogonal, se inicia una labor de búsqueda a través de los valores de las series. Donde no encuentra un valor registrado (se representa con -1), lo sustituye por otro calculado por correlación a partir de una estación completa que se llamará estación base.

3.6.3. PROGRAMA PARA AJUSTE DE FUNCIONES DE DISTRIBUCIÓN ESPECÍFICAS

Con este programa se puede ajustar a una serie de pluviometrías anuales las siguientes leyes de distribución:

- Lognormal
- Goodrich
- Gumbel

según la que más convenga, de acuerdo con los datos de que se disponga.

Un ajuste consiste en calcular la curva más aproximada que pase por los distintos puntos, según un modelo de curvas preestablecido (en este caso los modelos Lognormal, Goodrich y Gumbel).

- a) La ley de distribución Lognormal considera que una variable aleatoria tiene distribución normal, consiguiendo así una distribución inferiormente acotada. Se utiliza frecuentemente para describir procesos aleatorios que representan el producto de varios eventos pequeños e independientes (ley de efectos proporcionales).
- b) La ley de distribución de Goodrich tiene gran utilización para representar caudales y aportaciones de ríos, así como datos de pluviometría, pese a que teóricamente es una distribución para mínimos introducida por Fischer y Tippet, y popularizada por Gumbel.

$$\varphi(x) = Ke^{-x^m} * x^n$$

Siendo x , m y n , parámetros a determinar para cada muestra que calcula el programa.

- c) La ley de distribución de Gumbel es de aplicación universal en variables geofísicas extremas, por ejemplo caudales de avenidas, precipitaciones máximas, ect.. Deducida teóricamente por valores extremos. Fue introducida por Fischer y Tippet y divulgada por Gumbel. También se conoce como distribución doble exponencial. Suele objetársele el no estar acotada, si bien puede truncarse.

3.6.4. PROGRAMA "TIPO" PARA DEFINICIÓN DE AÑOS TIPO

Este programa define los años tipo secos, medios y húmedos, dando los valores mensuales de precipitación u otro parámetro climático característico de cada uno de ellos. Para este programa se utilizan los valores del límite inferior y el límite superior obtenidos a partir del programa FUNDIST de ajuste de funciones de distribución. En el presente estudio se ha tomado como límite inferior la probabilidad de 0.35 y como límite superior la de 0.65.

Según los valores límites definidos por FUNDIST separa los años secos, medios y húmedos. Posteriormente calcula el año tipo seco como media de los secos, el año tipo medio como media de los medios y el año tipo húmedo como media de los húmedos.

3.6.5. PROGRAMA PARA EL CÁLCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN REAL, POTENCIAL Y BALANCE HÍDRICO

Calcula la evapotranspiración potencial, el balance de agua en el suelo y la evapotranspiración real. Está compuesto de cuatro módulos:

A) Módulo Thornthwaite

Realiza el cálculo de la evapotranspiración potencial mensual, en función de las temperaturas medias mensuales y la latitud según el modelo de Thornthwaite, el cual utiliza como variable primaria para el cálculo de la evapotranspiración potencial la media mensual de las temperaturas medias diarias del aire.

B) Módulo Blaney-Cirdle

Realiza el cálculo de la evapotranspiración potencial por el método de Blaney-Criddle, a partir de la temperatura media mensual, la latitud, los cultivos y la zona climática.

C) Módulo Turc-Coutagne

Realiza el cálculo de la evapotranspiración real anual en función de la temperatura y la pluviometría según las fórmulas de Turc y Coutagne.

D) Módulo Balance

Realiza el cálculo del balance de agua en el suelo a partir de la ETP mensual y la pluviometría.

La evapotranspiración potencial es un límite superior de la cantidad de agua que vuelve a la atmósfera. Para determinar la evapotranspiración real debe tenerse en cuenta dicho límite así como el agua que existe en la zona. El balance hídrico para un determinado intervalo puede plantearse como:

$$P = ETR + EX + AR$$

Donde P es la precipitación, ETR es la evapotranspiración real, EX son los excedentes de agua y AR el incremento en la reserva de agua utilizable por las plantas.

Una vez superados los valores máximos de reservas, el resto del agua caída ese mes forman los excesos de agua que salen del balance como aguas subterráneas o superficiales (**Lluvia útil**).

El programa HIDROBAS permite introducir cinco hipótesis de reserva máxima de agua en el suelo o capacidad de campo. Los valores que se han utilizado han sido 0,25,50,75,100 como representativos de los posibles suelos desarrollados sobre los materiales de la zona.

Para el presente estudio no se ha utilizado ninguno de los métodos empíricos para el cálculo de la ETP y la ETR que contiene el HIDROBAS por existir otros métodos más válidos para climas tropicales. Al funcionar los diferentes programas del paquete de forma independiente se ha calculado, utilizando una hoja de cálculo, la ETP según el método de Hargreaves (ver explicación más adelante) y el resultado se ha incorporado al módulo Balance para así obtener la ETR y la lluvia útil.

3.6.6. CÁLCULO DE LA ETP SEGÚN HARGREAVES

En la **Fase I del Estudio Hidrogeológico Nacional de la República Dominicana** se utilizó el método de Hargreaves y Samani (1985) para el cálculo de la ETP. Tras consultar varias referencias bibliográficas que comparan diferentes métodos de cálculo de este parámetro, está bastante aceptado que el método de Hargreaves es válido para aplicación en climas tropicales. Según este método, la ETP, que en la fórmula original se denomina Evapotranspiración de Referencia, se calcula según la fórmula:

$$E_{tr} = 0.0023 \cdot R_a \cdot (T - t)^{0.5} (t_m + 17.8) \text{ mm/día}$$

donde:

Etr: evapotranspiración del cultivo de referencia, en mm/día

Ra: radiación solar extraterrestre expresada en equivalente de agua (mm/día)

T-t: diferencia entre la media mensual de temperaturas máximas y la de mínimas (°C)

Tm: temperatura media del aire (°C)

Con el objetivo de facilitar la aplicación de esta fórmula J. Almorox, de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos de la Universidad Politécnica de Madrid, ha diseñado una hoja de cálculo que permite el cálculo de la ETP introduciendo los tres datos de temperatura (T, t y tm) y la latitud. La radiación solar se calcula a partir de este último parámetro.

La siguiente ficha es un ejemplo de la hoja de cálculo utilizada para calcular la ETP según Hargreaves.

1816 José Contreras												
Hoja realizada por J. Almorox. Se permite la copia y uso de la hoja citando el autor y la fuente.												
Autor: J. Almorox												
http://www.eda.etsia.upm.es/climatologia/principal.htm												
Hargreaves 1983 y 1985												
EVAPOTRANSPIRACION DE REFERENCIA SEGUN HARGREAVES mm/día												
Latitud (grados)	19.47		Introduzca la latitud en grados y los valores de temperatura en °C									
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Temperatura media °C "tm"	20.9	20.9	21.4	22.1	22.9	23.9	24.0	24.2	24.2	23.7	22.7	21.5
Temp. media de máximas °C "T"	27.2	27.1	27.8	28.8	29.8	31.0	31.2	31.5	31.5	30.9	29.5	27.9
Temp. media de mínimas °C "t"	18.8	18.8	19.3	19.9	20.6	21.5	21.6	21.8	21.8	21.4	20.4	19.3
T-t	8.4	8.4	8.6	8.8	9.2	9.5	9.6	9.7	9.7	9.5	9.1	8.6
Ra	11.06	12.66	14.27	15.50	16.00	16.08	16.00	15.65	14.74	13.26	11.55	10.61
ET referencia en mm/día	2.8	3.3	3.8	4.2	4.5	4.8	4.8	4.7	4.4	3.9	3.2	2.8
ET referencia en mm/mes	88.2	91.2	116.8	127.0	140.4	142.8	147.9	146.1	133.1	121.0	97.1	87.0
Cálculos que hace el ordenador												
Calculado para el día 15 del mes												
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Latitud (grados)	19.47	19.47	19.47	19.47	19.47	19.47	19.47	19.47	19.47	19.47	19.47	19.47
Latitud (radianes)	0.340	0.340	0.340	0.340	0.340	0.340	0.340	0.340	0.340	0.340	0.340	0.340
Día del año:	15.00	46.00	74.00	105.00	135.00	166.00	196.00	227.00	258.00	288.00	319.00	349.00
	0.24	0.77	1.26	1.79	2.31	2.84	3.36	3.89	4.42	4.94	5.47	5.99
Corrección distancia Sol-Tierra	1.03	1.03	1.01	0.99	0.98	0.97	0.97	0.97	0.99	1.01	1.02	1.03
Declinación (radianes)	-0.37	-0.23	-0.04	0.17	0.33	0.41	0.38	0.25	0.06	-0.14	-0.32	-0.41
Declinación (grados)	-21.27	-12.95	-2.44	9.48	18.67	23.29	21.66	14.30	3.34	-8.22	-18.30	-23.22
Ángulo horario (radianes)	1.43	1.49	1.56	1.63	1.69	1.72	1.71	1.66	1.59	1.52	1.45	1.42
Ángulo horario (grados)	82.09	85.34	89.14	93.38	96.86	98.75	98.07	95.17	91.18	87.07	83.29	81.28
Ra (cal/cm2-día)	647.6	741.5	835.7	907.5	936.5	941.4	936.6	916.4	863.2	776.2	676.3	621.4
Ra (mm/día)	11.061	12.664	14.274	15.501	15.996	16.079	15.997	15.652	14.743	13.258	11.55	10.613

3.7. RESULTADOS GENERALES OBTENIDOS

3.7.1. Análisis de Precipitación.

Los resultados obtenidos de precipitación media anual, en mm y por año tipo, de cada estación utilizada en el estudio hidroclimático, quedan reflejados en el siguiente cuadro:

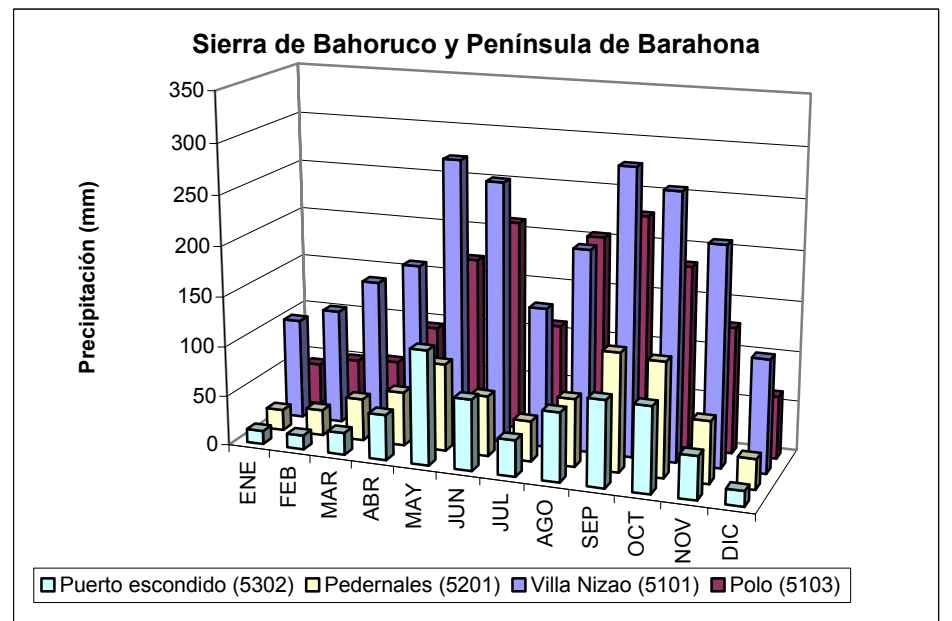
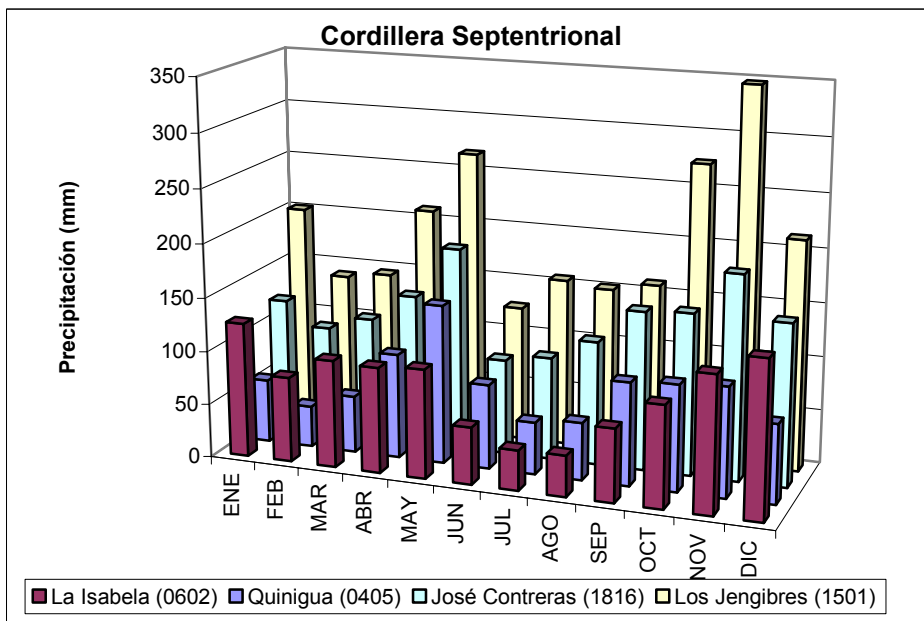
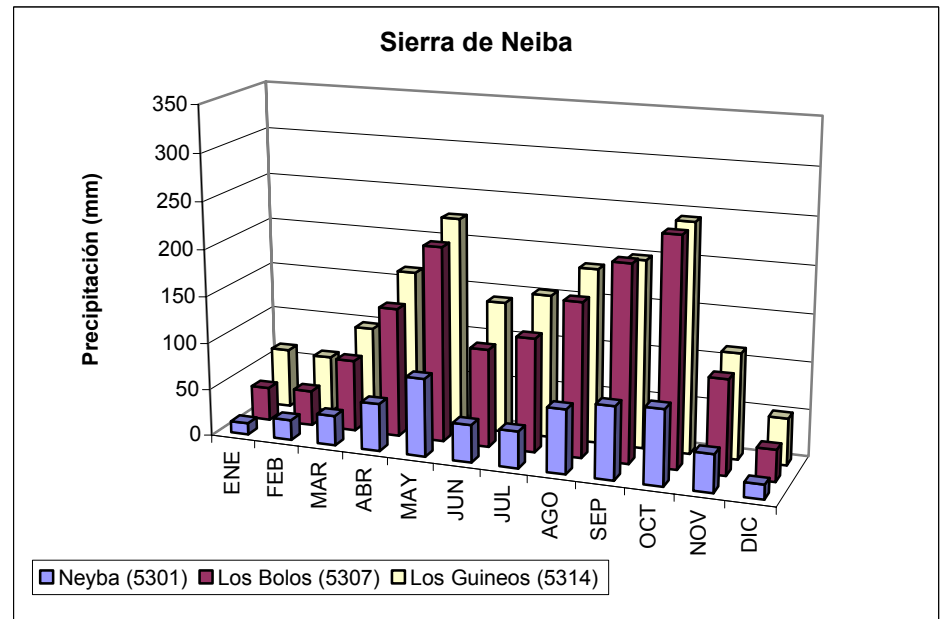
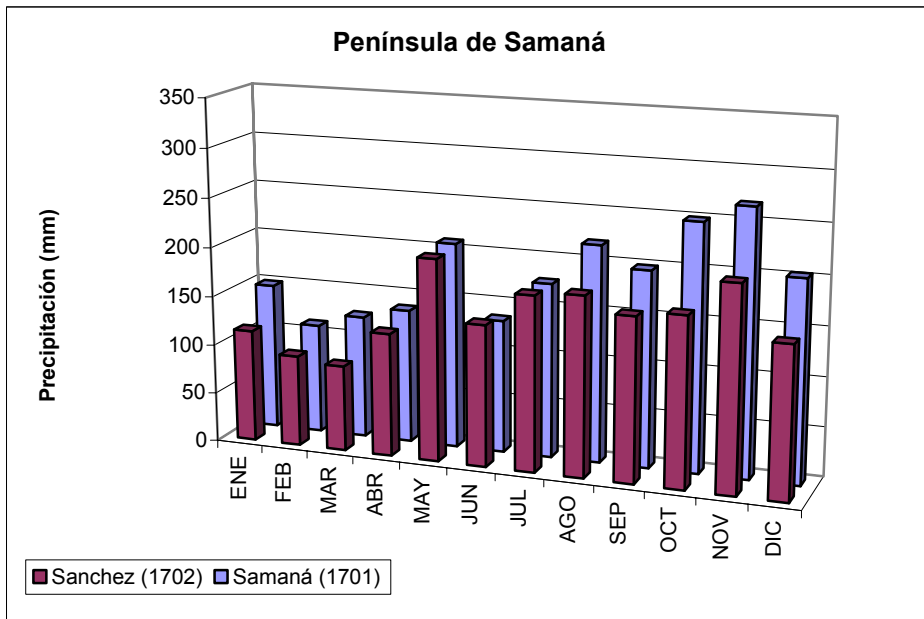
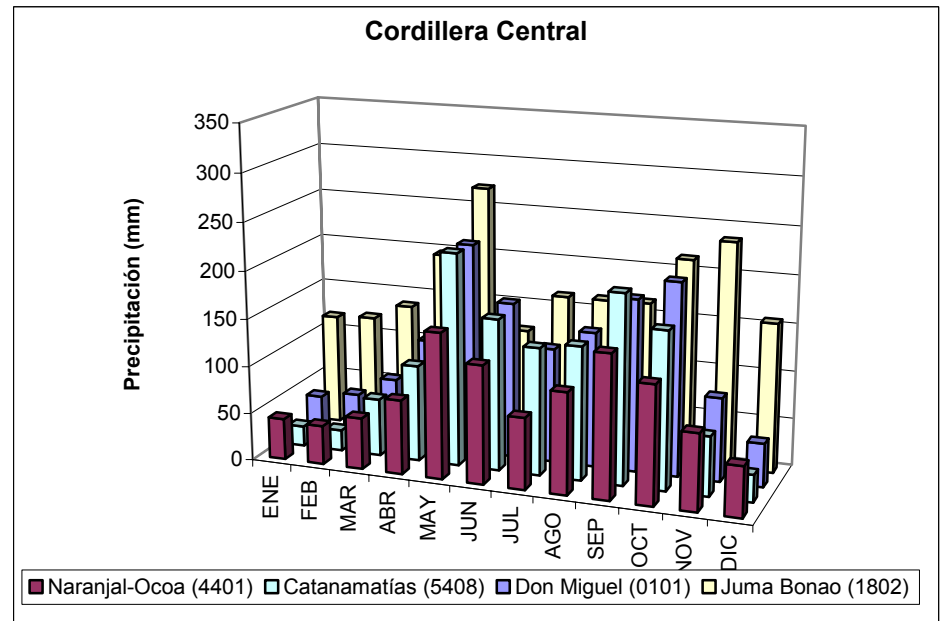
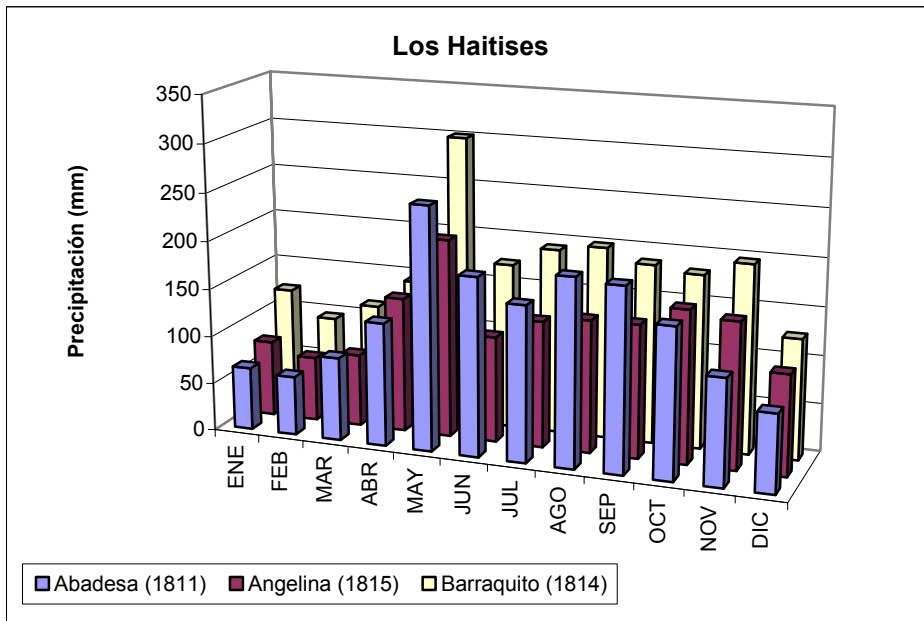
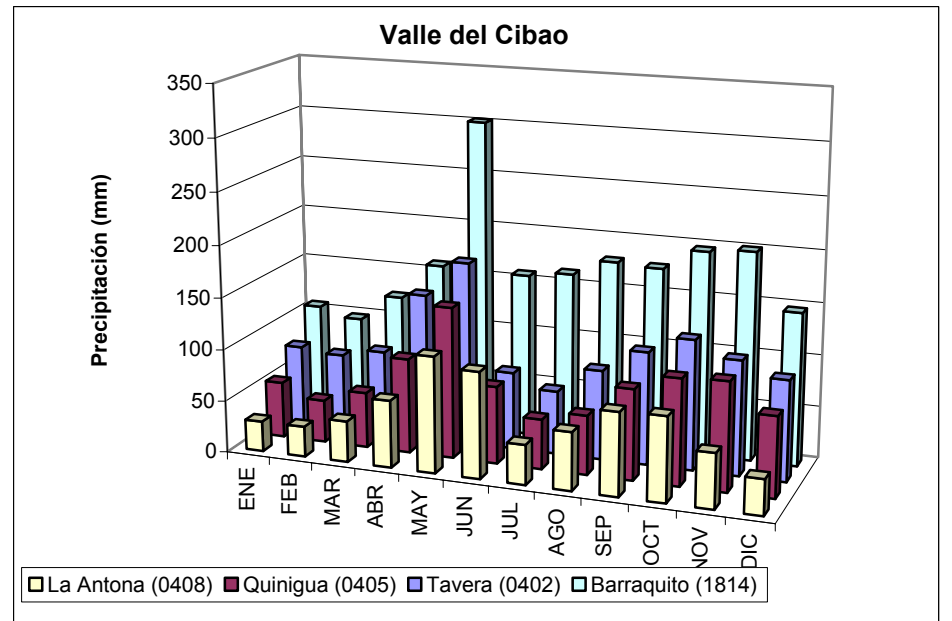
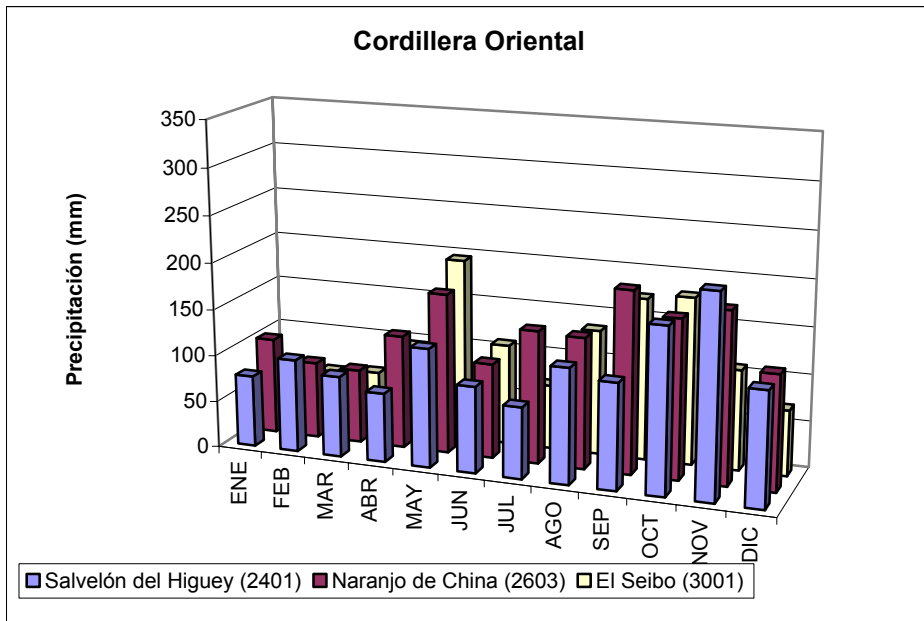
Cuadro 3.7.1. Precipitación media anual por años tipo. Valores en mm.

UNIDAD	CÓDIGO	NOMBRE DE LA ESTACIÓN	AÑO SECO	AÑO MEDIO	AÑO HÚMEDO
Cordillera Oriental	2401	SALVALEÓN DEL HIGUEY	-	1382.2	-
	2603	NARANJO DE CHINA	1239.7	1610.8	2017.5
	3001	EL SEIBO	-	1308.2	-
	MEDIA		-	1433.7	-
Los Haitises	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
Península de Samaná	1071	SAMANÁ	1671	2176	2718
	1072	SANCHEZ	1372.3	1819.9	2376.3
	MEDIA		1521.7	1998	2547.2
Cordillera Septentrional	405	QUINIGUA	658.2	944.7	1285.4
	602	LA ISABELA	692.1	1065.4	1469.1
	1501	LOS JENGIBRES	1831	2393.6	2961
	1816	JOSÉ CONTRERAS	1215.5	1603.4	2004.3
	MEDIA		1099.2	1501.7	1930
Valle del Cibao	402	TAVERA	928.6	1211.7	1506.5
	403	S. JOSE DE LAS MATAS	1003.2	1522.8	2140.1
	404	SANTIAGO-ISA	649	961.2	1273.6
	405	QUINIGUA	667.9	935.2	1237.8
	406	MAO-VALVERDE	481.5	638.7	832.6
	408	LA ANTONA	531	718.4	939.8
	1814	BARRAQUITO	1624.4	2007.1	2329.7
	1815	LA ANGELINA	1114.2	1439.3	1782.7
	MEDIA		875	1179.3	1505.3

UNIDAD	CÓDIGO	NOMBRE DE LA ESTACIÓN	AÑO SECO	AÑO MEDIO	AÑO HÚMEDO
Cordillera Central	101	DON MIGUEL	1187.5	1431.9	1683.3
	401	JARABACOA	1173.3	1511.1	1934.7
	1802	JUMA-BONAO	1593.2	2062	2656.5
	3402	MEDINA	1489.8	1895.3	2316.8
	3802	VALDESIA	1327.6	1717.4	2080.2
	4401	EL NARANJAL-OCOA	856.5	1078.1	1304.9
	4425	EL MEMISO	820.9	1082.6	1338.7
	4924	LOS VALENCIO	822.5	1134.9	1119.7
	5408	CATANAMATÍAS	873.5	1311.5	1687.4
	5410	NARANJITO	1431.4	1943.8	2591.8
			MEDIA	1157.6	1516.9
Sierra de Neiba	4903	SAN JUAN DE LA MAGUANA	416.2	683.9	919.3
	4915	VALLEJUELO	571.6	849.2	1093.1
	5301	NEYBA	387.2	556.9	752.5
	5307	LOS BOLOS	839.8	1466.2	2203.1
	5313	GUAYABAL-POSTRER	638.3	908.8	1188.7
	5314	LOS GUINEOS	1251	1692.9	2017.8
	5320	LA DESCUBIERTA (MET)	419.8	630	861.5
	5322	MAJAGUAL	313	505.8	711.5
	5401	MATAYAYA	850	1003.5	1242.3
			MEDIA	631.9	921.9
Sierra de Bahoruco y Península Sur de Barahona	4986	BARAHONA	678.5	921.9	1 224.6
	5101	VILLA NIZAO	1875.4	2298.5	2 795.0
	5103	POLO (MET)	879.4	1536.6	2 050.3
	5201	PEDERNALES	467.7	724	1 022.2
	5202	ENRIQUILLO (MET)		2411	
	5302	PUERTO ESCONDIDO	401.4	614.7	777.5
	5312	ANGOSTURA	324.2	528	697.6
	5321	JIMANI (MET)	679.5	991.6	1 248.7
			MEDIA	758	1253.3

En la siguiente figura se representa la distribución mensual de la precipitación, para año medio, de las estaciones seleccionadas como más representativas de las características climáticas medias de cada zona o unidad hidrológica.

Figura 3.3. Precipitaciones medias mensuales



La distribución de precipitaciones medias anuales para año medio, en mm, queda representada en el plano 3 de esta memoria.

3.7.2. Análisis de la temperatura

Los datos de temperatura media anual para cada estación utilizada en el proyecto, quedan reflejados en el siguiente cuadro:

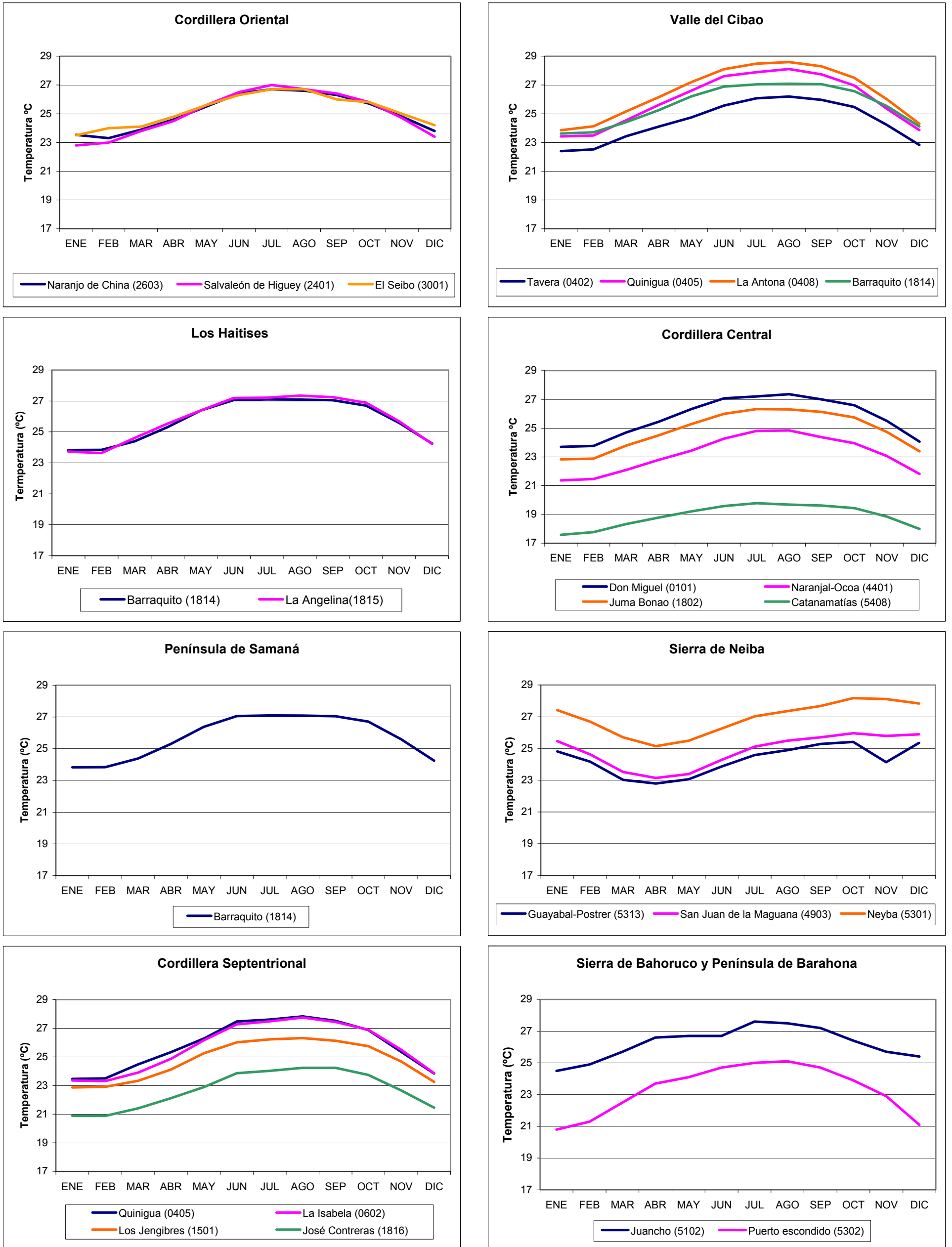
Cuadro 3.7.2. Temperatura media anual

UNIDAD	CÓDIGO	NOMBRE DE LA ESTACIÓN	TEMPERATURA MEDIA ANUAL (°C)
Cordillera Oriental	2401	SALVALEÓN DE HIGUEY	24.8
	2603	NARANJO DE CHINA	25.1
	3001	EL SEIBO	25.3
	MEDIA		25.1
Los Haitises	1814	BARRAQUITO	25.7
	1815	LA ANGELINA	25.8
	MEDIA		25.7
Península de Samaná	1814	BARRAQUITO	25.7
	MEDIA		25.7
Cordillera Septentrional	0405	QUINIGUA	25.8
	0602	LA ISABELA	25.7
	1501	LOS JENGIBRES	24.7
	1816	JOSÉ CONTRERAS	22.7
	MEDIA		24.7
Valle del Cibao	0402	TAVERA	24.5
	0403	S. JOSE DE LAS MATAS	24.0
	0404	SANTIAGO-ISA	25.8
	0405	QUINIGUA	25.9
	0406	MAO-VALVERDE	26.7
	0408	LA ANTONA	26.5
	1814	BARRAQUITO	25.6
	1815	LA ANGELINA	25.8
	MEDIA		25.6
Cordillera	0101	DON MIGUEL	25.7

UNIDAD	CÓDIGO	NOMBRE DE LA ESTACIÓN	TEMPERATURA MEDIA ANUAL (°C)
Central	0401	JARABACOA	22.2
	1802	JUMA-BONAO	24.8
	3402	MEDINA	25
	3802	VALDESIA	25.8
	4401	EL NARANJAL-OCOA	23.2
	4425	EL MEMISO	24.3
	4924	LOS VALENCIO	20.4
	5408	CATANAMATÍAS	18.9
	5410	NARANJITO	21.4
	MEDIA		
Sierra de Neiba	4903	SAN JUAN DE LA MAGUANA	24.9
	4915	VALLEJUELO	23.6
	5301	NEYBA	26.9
	5313	GUAYABAL-POSTRER	24.3
	5401	MATAYAYA	23.6
	MEDIA		
Sierra de Bahoruco y Península Sur de Barahona	5102	JUANCHO	26.5
	5302	PUERTO ESCONDIDO	23.2
	5312	ANGOSTURA	23.8
	MEDIA		

En la siguiente figura se representa la distribución mensual de las temperaturas, para año medio, de las estaciones seleccionadas como más representativas de las características climáticas medias de cada zona o unidad hidrológica.

Figura 3.4. Temperaturas medias mensuales

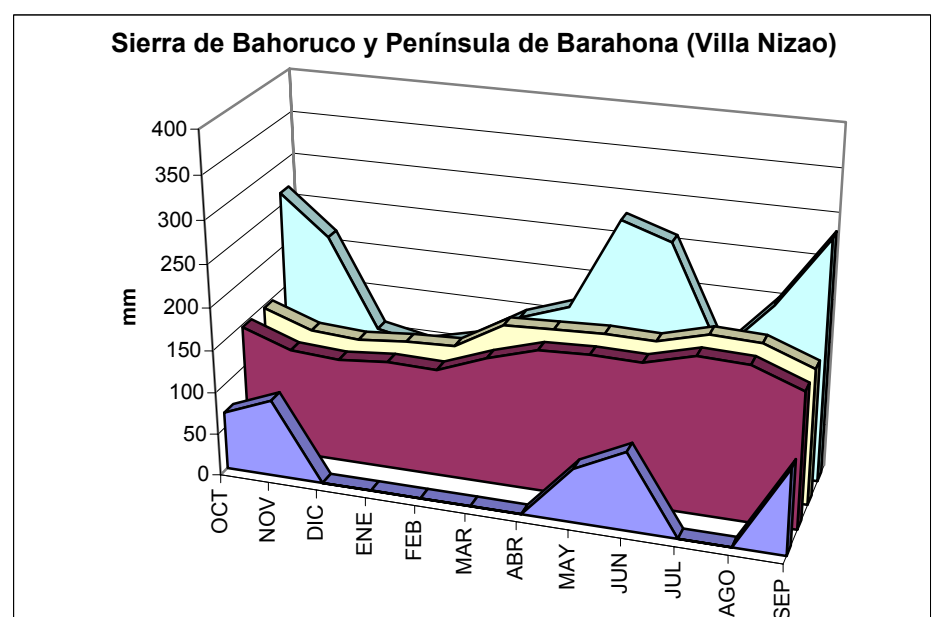
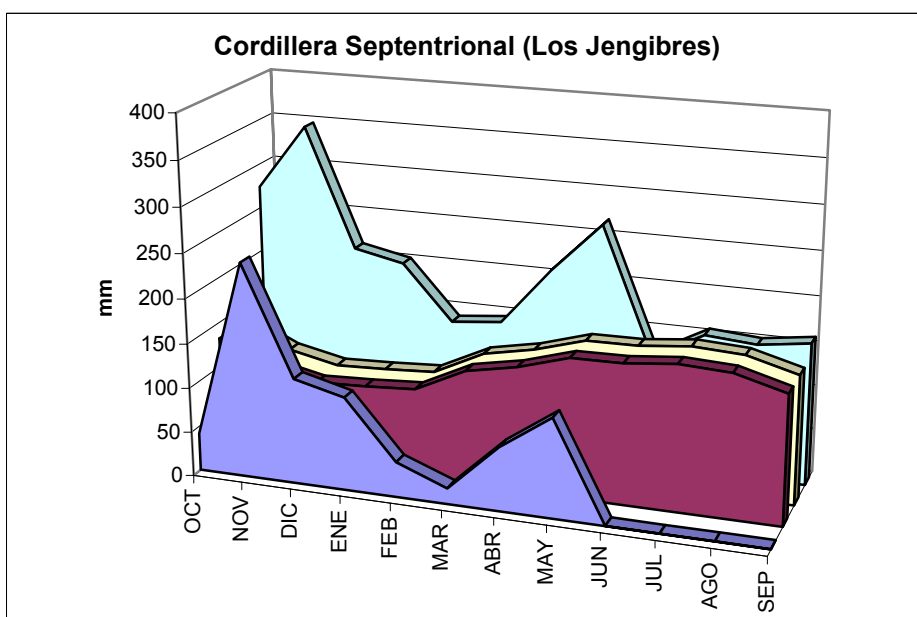
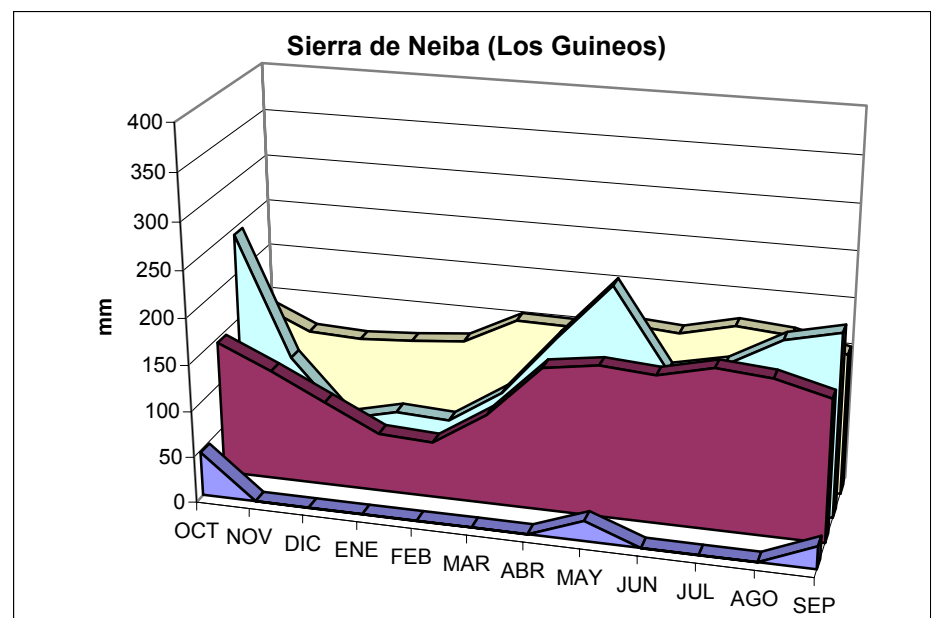
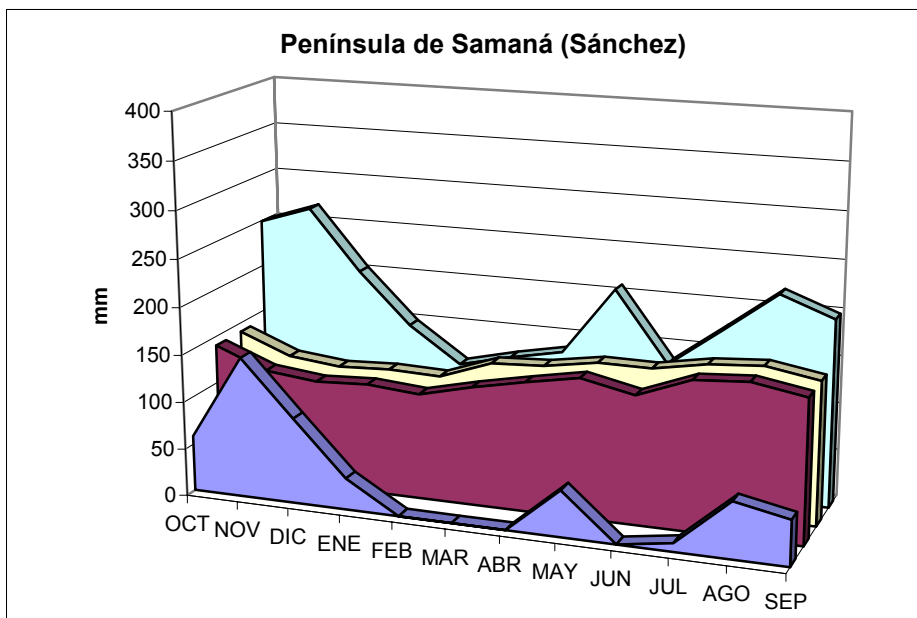
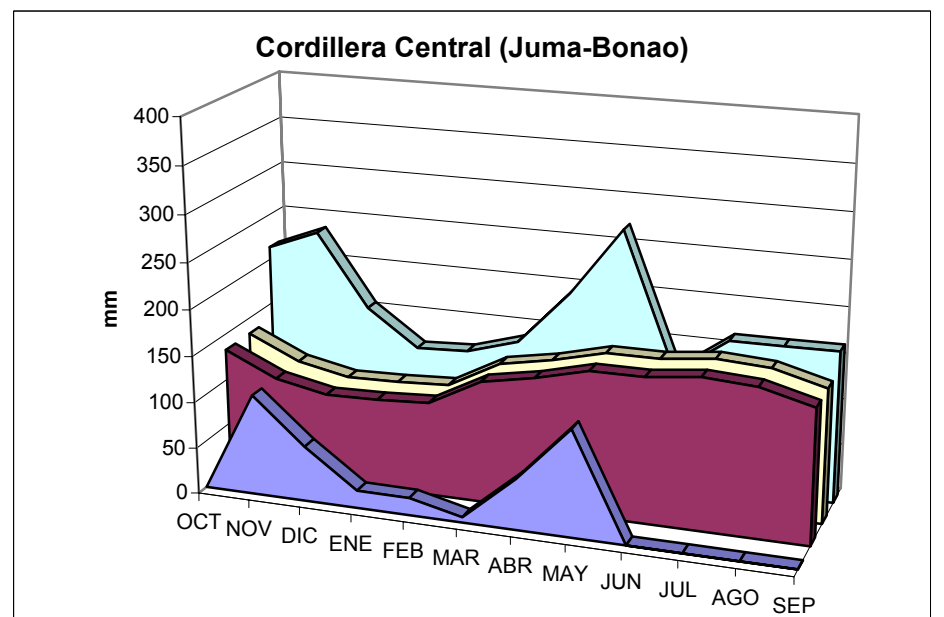
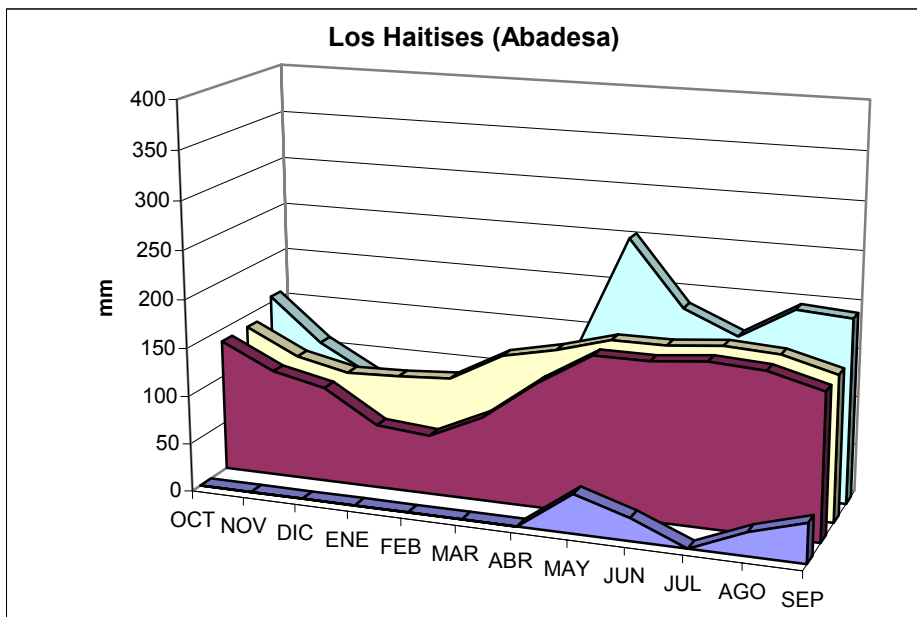
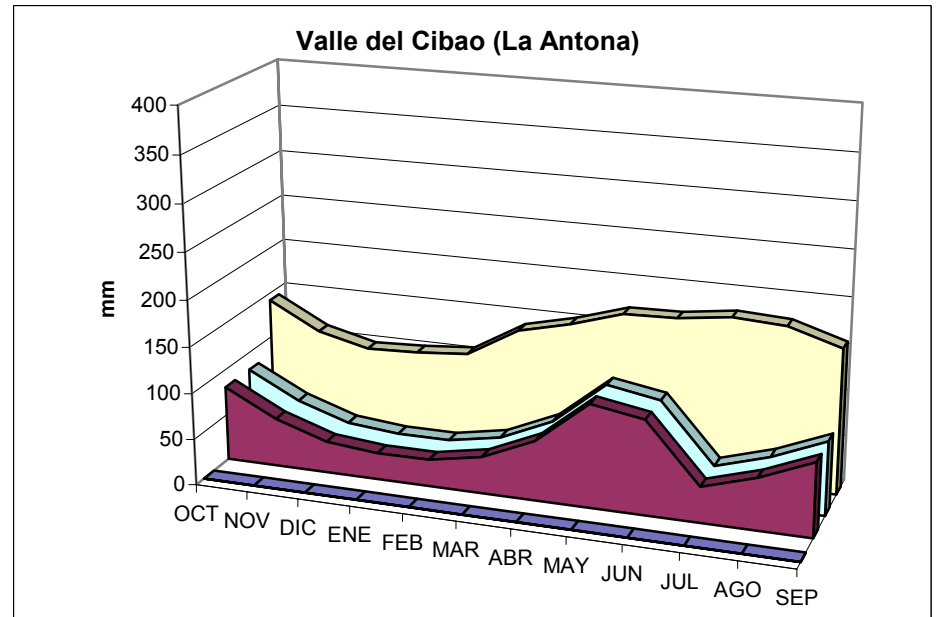
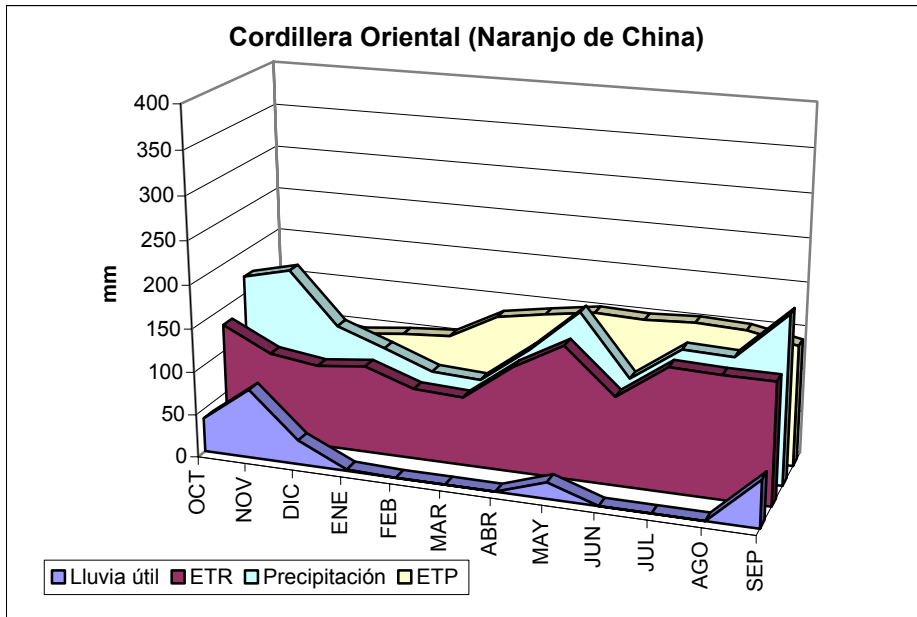


La distribución de temperaturas medias anuales para años medios, en °C, queda representada en el plano 4 de esta memoria.

3.7.3. 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. En la siguiente figura quedan representados, a modo de ejemplo, los balances de agua en el suelo, para año medio, de una serie de estaciones que se han considerado las más representativas de las características climáticas medias de cada unidad hidrogeológica. En el estudio hidroclimático se pueden ver los balances, para los tres años tipo (seco, medio y húmedo), de varias estaciones representativas de las características climáticas medias de cada unidad, mientras que en la Documentación Complementaria se incluyen los resultados del balance hídrico mensual de cada una de las estaciones utilizadas, para cada uno de los tres años tipo y de las diferentes hipótesis de reserva de agua en el suelo contempladas.

Figura 3.5. Balances hídricos mensuales



Los valores obtenidos de lluvia útil, en mm, como resultado del estudio hidroclimático elaborado, son los siguientes:

Cuadro 3.7.3. Valores de lluvia útil, en mm, para los años tipos.

UNIDAD	SUBUNIDAD	Año medio	Año húmedo	Año seco
Cordillera Oriental	EL SEIBO- LOMA EL PEÑÓN	87		-
	LA CUCURUCHA	38		-
	MICHES- LA ALTAGRACIA	86		-
	PEÑA ALTA- GRAN DIABLO	34		-
	MEDIA DE LA UNIDAD	66		-
Los Haitises	MEDIA DE LA UNIDAD	272	597	130
Península de Samaná	CALIZAS DE LAS GALERAS	534	1076	191
	CALIZAS DE NARANJITO	479	1023	153
	CONGLOMERADOS DE SAMANÁ	477	1022	193
	MÁRMOLAS DE LOS GUANOS	534	1076	180
	MEDIA DE LA UNIDAD	506	1049	179
Cordillera Septentrional	CABO FRANCÉS-GUACONEJO	816	1383	304
	LUPERÓN-GUAYACANES	342	669	128
	SABANETA-EL CHOCO	227	565	11
	MEDIA DE LA UNIDAD	334	563	128
Valle del Cibao	YAQUE DEL NORTE	40	165	0
	BAJO YUNA	168	381	13
	MEDIA DE LA UNIDAD	90	250	5
Cordillera Central	ALTO YUNA	481	1077	87
	JARABACOA- LAS PLACETAS	241	543	1.3
	LA LONGANIZA- PIEDRA COLORADA	147	346	20
	VALVACOA- LA HUMEADORA	298	643	83
	MEDIA DE LA UNIDAD	244	551	47
Sierra de Neiba	CENTRO ORIENTAL	30	91	5
	NORESTE	20	98	6
	NOROESTE	50	201	6
	SURESTE	24	140	5

UNIDAD	SUBUNIDAD	Año medio	Año húmedo	Año seco
	SUROESTE	62	284	12
	MEDIA DE LA UNIDAD	42	180	7
Sierra de Bahoruco y Península Sur de Barahona	SINCLINAL DE NIZAITO	218	488	102
	SINCLINAL DEL ENRIQUILLO	185	333	57
	MERIDIONAL DE BAHORUCO Y PENÍNSULA DE BARAHONA	117	284	57
	SEPTENTRIONAL	109	185	52
	MEDIA DE LA UNIDAD	157	322	67

*La media ha sido ponderada con la superficie de cada subunidad.

La distribución de la lluvia útil, para año medio, en las unidades en estudio, queda representada en el plano 5 de esta memoria.

4. INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA

4.1. OBJETIVOS

La realización de un inventario selectivo de puntos de agua constituía uno de los elementos básicos del proyecto y sus tres objetivos primordiales han sido los siguientes:

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

Dentro de esta actividad, se han realizado los siguientes trabajos:

- Actualizar y completar los datos de los estudios precedentes, mediante visita en campo a los puntos considerados hidrogeológicamente más representativos, mejorando su información, en los casos en que ha sido posible, sobre ubicación (coordenadas y cota), naturaleza, profundidad de la captación, diámetros de perforación, entubación y tubería de impulsión, profundidad del agua, caudal, volúmenes anuales extraídos, hábitos de utilización del agua, depresiones originadas, medidas "in situ" de temperatura, conductividad y pH, fecha, etc..
- Inventariar nuevos puntos de agua de los que no existía información precedente.
- Asignación de un número de registro a cada punto de agua del inventario realizado (ya sea nuevo o actualizado), asociado al número de hoja topográfica 1:50.000 y al sextante dentro del cual se encuentra. Asimismo, se han realizado fotografías panorámicas del emplazamiento del punto y de detalle del entorno próximo.
- El inventario de puntos de agua se ha realizado de forma selectiva, de manera que, aunque se ha cubierto la mayor superficie posible de cada una de las unidades en

estudio, se ha hecho especial hincapié en aquellas zonas consideradas de mayor interés hidrogeológico (materiales permeables, zonas con una elevada explotación de los recursos, áreas de descarga, etc). Asimismo, se ha tenido en cuenta la información aportada por los técnicos que han realizado las diferentes hojas geológicas a escala 1:50.000, que ha resultado de gran utilidad a la hora de delimitar zonas de funcionamiento hidrogeológico (recargas, descargas, etc.) de determinadas unidades hidrogeológicas.

El número total de puntos de agua inicialmente previstos a inventariar en campo (ya fuera de nuevo inventario o de revisión y actualización de anteriores) era de 2 500, habiéndose inventariado finalmente hasta un total de 2 534 puntos, cuya distribución pormenorizada por zonas o unidades hidrogeológicas es la siguiente:

Cuadro 4.1.1. Distribución del inventario de puntos de agua por unidades hidrogeológicas y tipología.

ZONAS O UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS	SONDEOS	POZOS	MANANTIALES	OTROS	TOTAL
Cordillera Oriental	2	219	7	28	256
Los Haitises		10	15	67	92
Samaná	24		10	8	42
Cordillera Septentrional	11	379	5	33	428
Valle del Cibao	6	1 043	2	28	1 079
Cordillera Central	1	307	31	25	364
Sierra de Neiba		49	9	14	72
Sierra de Bahoruco y Península Sur de Barahona	1	35		9	45
Otras	1	133	22	39	195
TOTAL	46	2 175	101	212	2 534

Para la realización del inventario de puntos de agua se ha utilizado una ficha similar a la usada en la 1ª Fase del estudio, en la que se incluyen todos los campos de esta, más algunos nuevos que se han considerado de interés, cuyo contenido y metodología de trabajo se describe en páginas posteriores.

4.2. METODOLOGÍA Y CRITERIOS DE SELECCIÓN DE LAS ZONAS DONDE CONCENTRAR EL INVENTARIO

La base de partida del inventario de puntos de agua del Proyecto ha sido la revisión en gabinete de los inventarios precedentes (PLANIACAS y otros posibles posteriores), con el objeto de seleccionar los puntos de mayor interés hidrogeológico, para su posterior visita en campo.

Paralelamente a la revisión inicial de los citados inventarios, se ha analizado toda la información geológica, estructural, hidrológica, y sobre usos y extracciones, que pudiera aportar información adicional sobre zonas o sectores de interés hidrogeológico (descargas asociadas a contactos litológicos o estructurales, zonas de explotación, zonas potenciales de humedales o rezumes, sectores de infiltración desde canales, tomas o derivaciones de ríos, etc.).

Una vez realizada la revisión detallada de la citada información de partida, se procedió a la selección, para cada zona o unidad hidrogeológica, de los sectores y puntos de mayor interés, para su posterior visita en campo.

Los criterios básicos de selección utilizados, han sido los siguientes:

- Situación geológico-estructural y geomorfológica (puntos de agua en el contacto entre formaciones con distintas permeabilidades o estructurales, etc.).
- Caudal (de cierta importancia, ya sea como caudales instantáneos, estacionales o medios anuales).
- Características físico-químicas del agua (puntos de agua con concentraciones iónicas anómalas, temperaturas anormalmente elevadas, aguas con aspecto, color y olor especialmente característicos, etc.). Para la red de control de calidad general han tenido preferencia los puntos de agua de utilización frecuente y los surgentes, mientras que para la red de intrusión se seleccionaron una serie de puntos sin bombeo frecuente.
- Usos del agua (todos aquellos puntos de agua que se utilizan para abastecimientos urbanos de forma continuada o estacional, balnearios o plantas embotelladoras de agua, etc., así como los utilizados para usos agrícolas, pecuarios e industriales que se consideraron de interés.).
- Profundidad (representativa de determinado nivel acuífero o tramo del mismo, de aguas de mezcla de diferentes tramos atravesados, confinados, etc.).
- Sondeos surgentes (sectores con flujos ascendentes próximos a los cauces de los ríos drenantes, o en captaciones que afecten a tramos confinados profundos, etc.).

La base de datos que recoge la información del inventario de puntos de agua se ha asociado a un Sistema de Información Geográfica (GIS), de manera que la totalidad del inventario puede representarse en planos hidrogeológicos de diferentes escalas (1:250.000, 1:500.000, etc), según las coordenadas obtenidas por medio de GPS durante los trabajos de campo. En los puntos procedentes de inventarios anteriores que se han incorporado al actual, se han sustituido sus antiguas coordenadas por las nuevas obtenidas con el citado sistema, con objeto de homogeneizar los criterios de situación. La representación espacial del inventario sobre la base hidrogeológica ha sido fundamental a la hora de definir y diseñar cada una de las redes de control periódico.

4.3. METODOLOGÍA DE LA TOMA DE DATOS EN CAMPO Y DESCRIPCIÓN DEL CONTENIDO DE LA FICHA DE INVENTARIO

Como resultado general del inventario de puntos de agua realizado se podría destacar lo siguiente:

El inventario de puntos de agua en campo, ha sido realizado con personal especializado y con amplia experiencia en este tipo de trabajos y en las diferentes zonas de estudio, con objeto de poder obtener la máxima información posible.

El objetivo primordial del inventario ha sido recabar la mayor información posible de cada punto de agua, tomando nota de todos los datos e informes existentes y cumplimentando la ficha de inventario correspondiente, cuya estructura y contenido se describe a continuación.

El modelo de FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA es similar al utilizado en la 1ª Fase del estudio, aunque se han realizado algunas modificaciones, con objeto de poder añadir algunos campos nuevos no contemplados en el estudio anterior. La ficha de inventario de campo consta de un total de dos páginas, que a continuación se describen:

- **PÁGINA 1.** Contiene los siguientes apartados:

Características generales

- **Código del punto:** Es un número de 10 dígitos que constituye el código de identificación del punto de agua. Los 5 primeros dígitos corresponden al número de la hoja topográfica 1:50.000 sobre la que se sitúa dicho punto. El sexto número indica el sextante (cada hoja se divide en 6 partes iguales numeradas del 1 al 6 desde el extremo superior izquierdo al extremo inferior derecho) sobre el que cae

el punto. Las 4 cifras siguientes se asignarán a cada punto de forma correlativa comenzando por el 0001. Este código aporta una gran información, ya que delimita la situación geográfica de un punto a un área muy reducida.

- **Unidad Hidrogeológica:** En este apartado se indica tanto el código de la Unidad como su nombre completo.
- **Paraje:** Se indica la toponimia del punto o del entorno del mismo.
- **Cuenca hidrográfica:** Cuenca hidrográfica o hidrológica de 1º, 2º y 3er orden, en la que se localiza el punto.
- **Hoja topográfica y número:** Nombre y número de la hoja topográfica en la que se incluye el punto, a la escala 1:50.000.
- **Coordenadas UTM y Cota:** Coordenadas UTM (X, Y, Z).
- **Origen de las coordenadas:** Se detalla si las coordenadas se han obtenido por medio de GPS, Mapa o topografía.
- **Municipio:** Término municipal en el que se encuentra situado el punto de agua.
- **Propietario/Empresa:** Nombre al que se encuentra registrado el punto de agua.
- **Dirección:** Del propietario o empresa.
- **Contacto:** Nombre de la persona de contacto a la que hay que dirigirse en caso de ser necesario para la realización de mediciones, etc..
- **Teléfono:** De la persona de contacto.

Características del punto

- **Naturaleza:** Nombre y código del tipo de punto de agua, asignado a partir de la siguiente tabla auxiliar:

Cuadro 4.3.1. Tabla auxiliar de Naturaleza del Punto de Agua

CÓDIGO	NATURALEZA DEL PUNTO
0	POZO CON GALERÍA Y SONDEO
1	SONDEO
2	POZO
3	MANANTIAL
4	LAGO
5	ZANJAS O SOCAVONES
6	SIMAS Y CAVERNAS

CÓDIGO	NATURALEZA DEL PUNTO
7	GALERÍA
8	POZO CON GALERÍA O TALADRO HORIZONTAL
9	POZO CON SONDEO
A	POZO CON TALADROS DE PEQUEÑO DIÁMETRO, HORIZONTALES
B	CAUCE SUPERFICIAL
C	GALERÍA CON SONDEOS
CO	COMPRA DE AGUA
D	GALERÍA CON POZO
DS	DESALADORA
E	GALERÍA CON TALADRO HORIZONTAL
EB	EMBALSE
F	FUMAROLA
G	GALERÍA Y OTRAS OBRAS COMBINADOS
H	POZO Y OTRAS OBRAS COMBINADOS
I	GALERÍAS CON RAMALES
J	GALERÍA CON POZO O SONDEO
K	SONDEO DE PEQUEÑO DIÁMETRO. PIEZÓMETRO

- **Profundidad de la obra:** Profundidad total de la perforación (caso de los sondeos o pozos).
- **Utilización del agua:** Se indica el uso del agua y su código correspondiente según la siguiente tabla auxiliar:

Cuadro 4.3.2. Tabla auxiliar de Usos del Agua

CODUSO	USO
1	ABASTECIMIENTO (DOMESTICO)
2	INDUSTRIAL
3	AGRICULTURA
4	TURISMO
5	GANADERÍA
6	NO SE UTILIZA
7	ABASTECIMIENTO, AGRICULTURA E INDUSTRIA
8	ABASTECIMIENTO Y AGRICULTURA
9	AGUA MINERO-MEDICINALES (NO ENVASADAS)
A	ABASTECIMIENTO Y GANADERÍA
B	GANADERÍA E INDUSTRIA
C	DESCONOCIDO

CODUSO	USO
D	AGRICULTURA, INDUSTRIA Y GANADERÍA
E	ABASTECIMIENTO (QUE NO SEA NÚCLEO URBANO)
F	AGUAS DE BEBIDA ENVASADAS NO MINERO-MEDICINALES
G	AGUAS DE BEBIDA ENVASADAS QUE SEAN MINERO-MEDICINALES
H	ABASTECIMIENTO A NÚCLEOS URBANOS Y OTRA ACTIVIDAD
I	LAVADERO PÚBLICO
J	RECARGA
K	ECOLÓGICOS
L	GANADERÍA Y AGRICULTURA
M	PLANTA DE TRATAMIENTO
N	ABASTECIMIENTO, GANADERÍA E INDUSTRIA
O	AGRICULTURA E INDUSTRIA
P	ABASTECIMIENTO E INDUSTRIA
Q	AGRICULTURA E INDUSTRIA

- **Diámetro de emboquille:** Expresado en centímetros.
- **Material del Emboquille:** Tipo de material (o formación geológica) en la que se ha realizado el emboquille del punto de agua).
- **Método de perforación:** Código y método del sistema de perforación asignado a partir de la siguiente tabla auxiliar:

Cuadro 4.3.3. Tabla auxiliar de Sistema de Perforación

CÓDIGO	SISTEMA PERFORACIÓN
0	EXCAVACIÓN CON EXPLOSIVOS
1	ROTACIÓN CON AIRE/ESPUMA
2	ROTACIÓN CON LODO
3	PERCUSIÓN
4	ROTOPERCUSIÓN (MARTILLO EN FONDO)
5	NO CONOCIDO
6	MIXTO (ROTACIÓN Y PERCUSIÓN)
7	EXCAVACIÓN Y PERCUSIÓN
8	EXCAVACIÓN Y ROTACIÓN
9	ROTACIÓN CIRCULACIÓN INVERSA
10	ROTACIÓN CIRCULACIÓN DIRECTA
11	EXCAVACIÓN

- **Litología de la formación permeable:** Material que se está explotando para cada punto de agua.

Características Constructivas

- **Perforación:** Se indica para cada uno de los tramos de perforación (en metros), los milímetros del diámetro de dicha perforación.
- **Entubación:** Para cada tramo se indican los milímetros del diámetro de la entubación así como el tipo de tubería utilizado (naturaleza).
- **Filtros:** Se indican los tramos de tubería filtrante, así como el tipo de filtro (ranurado, puentecillo...)
- **Cementación:** Tramos en los que el pozo o sondeo se encuentra cementado.

Equipamiento y explotación

- **Tipo de Bomba:** Se indica tanto el código como el nombre del tipo de bomba utilizado para la extracción del agua, según la siguiente tabla auxiliar:

Cuadro 4.3.4. Tabla auxiliar de Tipos de Bomba

CÓDIGO	TIPO DE BOMBA
1	BASCULA
2	CENTRIFUGA
3	MOTOR DIESEL
4	EJE VERTICAL
5	ELECT. SUMERGIBLE
6	ELECT. SUPERFICIAL
7	MANUAL
8	MOLINO DE VIENTO
9	MOTOR DE GASOLINA
10	MOTOR GARDURA
11	SUBCIÓN

- **Potencia:** Potencia de la bomba de extracción medida en Caballos de Vapor.
- **Profundidad de la instalación:** Profundidad a la que se encuentra el equipo de bombeo, medida en metros.
- **Altura manométrica (m):** Altura a la que la bomba es capaz de elevar el agua.

- **Capacidad (l/s):** Litros por segundo que la bomba instalada es capaz de bombear.
- **Marca:** Del equipo de bombeo.
- **Modelo:** Del equipo de bombeo.
- **Régimen de explotación:** Se indican los meses al año, días al mes y horas al día durante los que se bombea.
- **Cantidad anual explotado (dam³):** Se expresan los volúmenes de agua utilizados en dm³. Se indicará el volumen de agua extraída en el caso de pozos y sondeos, y el volumen derivado para su uso en el caso de manantiales, galerías y similares.
- **PÁGINA 2.** Contiene los siguientes apartados:

Medidas in situ

- **Nivel estático:** Profundidad del nivel de agua en metros medida desde el nivel del suelo, sin bombeos que afecten a este.
- **Nivel dinámico:** Profundidad del nivel de agua en metros medida desde el nivel del suelo cuando este se encuentra afectado por bombeos.
- **Surgencia:** Se indica si el punto de agua es surgente o no.
- **Fecha de las medidas**
- **Temperatura del Aire y Agua:** Medida en grados centígrados.
- **Conductividad Eléctrica:** Medida en mS/cm.
- **Caudal:** Litros por segundo que aporta el punto.
- **pH**

Columna litológica

Se incluye una descripción litológica para cada uno de los tramos existentes, indicando su situación en profundidad y asignándoles unos códigos litológicos determinados.

Fotografías

Se incluye una fotografía de detalle de la captación y otra panorámica.

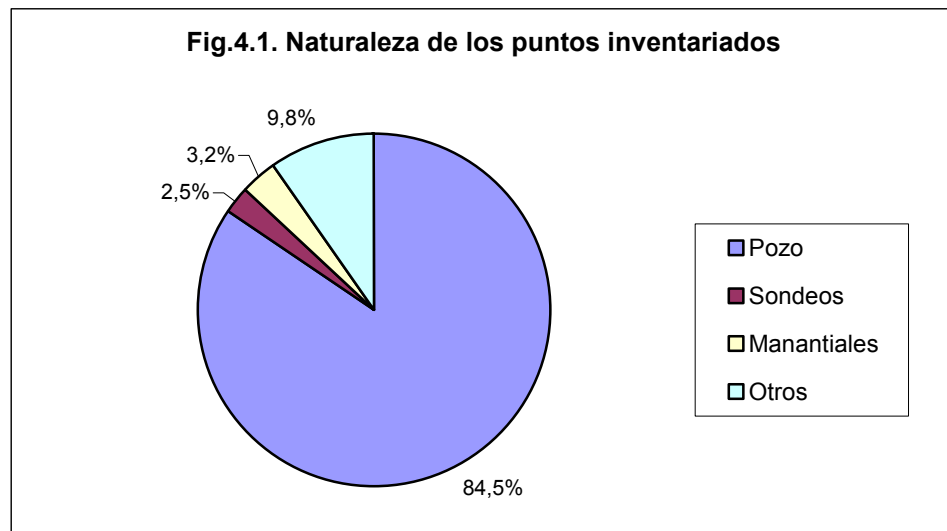
Observaciones

Técnico y Fecha de inventario

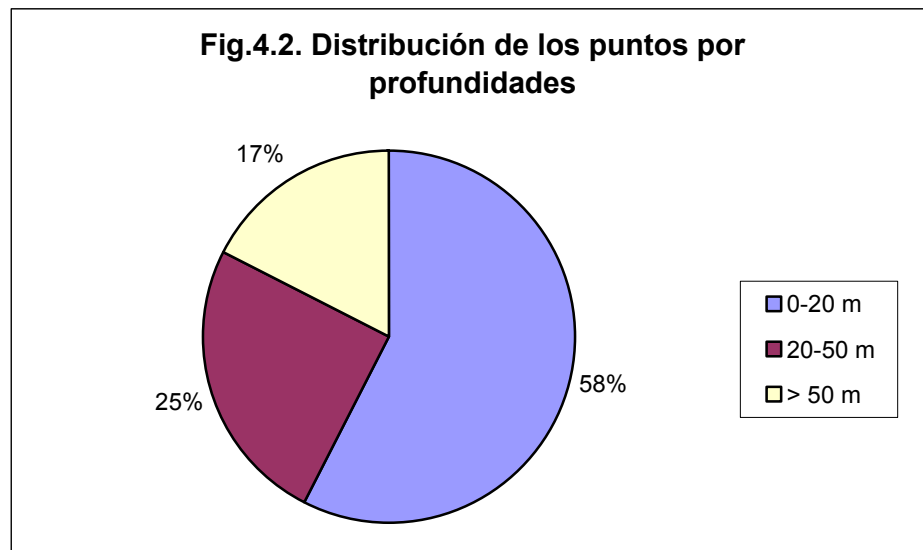
En el Anexo 4 de este informe, se incluye la ficha utilizada para la realización del inventario de puntos de agua.

4.4. REALIZACIÓN DEL INVENTARIO EN CAMPO Y ACTUALIZACIÓN DE DATOS: ANÁLISIS DE RESULTADOS GLOBALES Y POR UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS

Del total de los 2 534 puntos de agua inventariados, la mayor parte de ellos corresponden a pozos o similares (84.5%), estando el segundo grupo mayoritario constituido por manantiales (3.2%). Los puntos inventariados como sondeos constituyen únicamente el 2.5% del total, siendo el 9.8% restante de naturalezas varias.



En cuanto a la profundidad de los puntos de agua, únicamente se dispone de información para un total de 568 puntos, cuya distribución, según profundidades, puede verse reflejada en el siguiente gráfico:



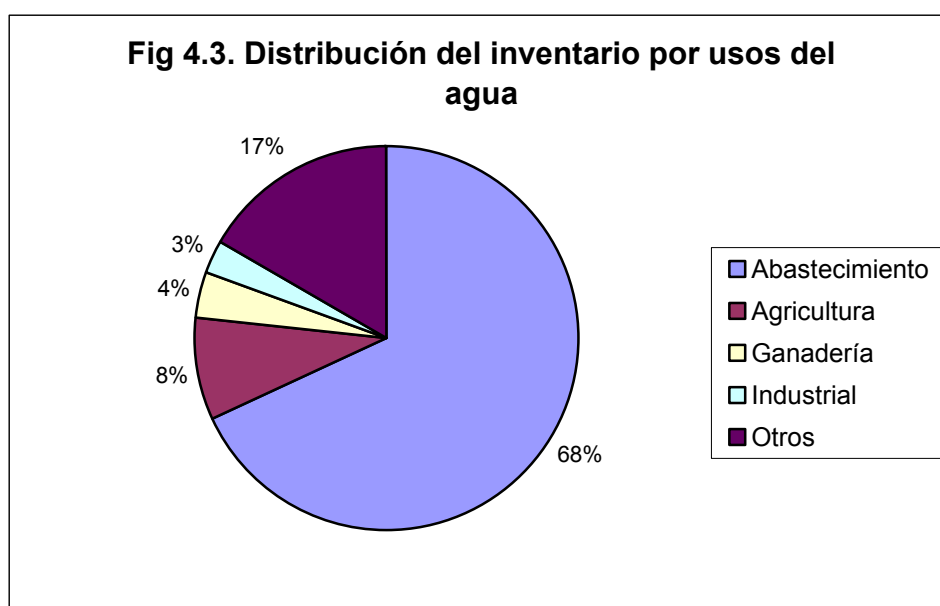
En cuanto a los usos del agua, se ha detectado que la mayor parte de los puntos inventariados se utilizan como abastecimiento, ya sea doméstico (1 644), urbano (13) o combinación de abastecimiento con algún otro uso (69). Un total de 1 726 puntos son utilizados con este fin, lo que representa el 68% del total de los puntos de agua inventariados. El segundo grupo mayoritario lo constituye el uso agrícola con un total de 215 puntos, que representa el 8.5% del total. La ganadería es el tercer grupo en cuanto a los usos del agua, con un total de 102 puntos que representan el 5% del total. El último grupo en cuanto a importancia es el constituido por el uso industrial, dentro del cual se han inventariado 66 puntos que representan únicamente el 2.6% del total. El resto de los puntos del inventario (425) corresponde a otros usos minoritarios o se desconoce su uso, representando un 16.7% del total. La siguiente tabla muestra la distribución detallada de los usos de los puntos de agua inventariados.

Cuadro 4.4.1. Distribución de puntos de agua por usos.

USO	Nº DE PUNTOS	%
ABASTECIMIENTO (DOMESTICO)	1 644	64.9%
ABASTECIMIENTO A NÚCLEOS URBANOS	2	0.1%
ABASTECIMIENTO A NÚCLEOS URBANOS Y OTRA ACTIVIDAD	11	0.4%
ABASTECIMIENTO E INDUSTRIA	5	0.2%
ABASTECIMIENTO Y AGRICULTURA	20	0.8%
ABASTECIMIENTO Y GANADERÍA	43	1.7%
ABASTECIMIENTO, AGRICULTURA E INDUSTRIA	1	0.0%
AGRICULTURA	215	8.5%
DESCONOCIDO	228	9.0%

USO	Nº DE PUNTOS	%
ECOLÓGICOS	13	0.5%
GANADERÍA	102	4.0%
GANADERÍA E INDUSTRIA	8	0.3%
GANADERÍA Y AGRICULTURA	5	0.2%
INDUSTRIAL	66	2.6%
LAVADERO PÚBLICO	3	0.1%
NO SE UTILIZA	131	5.2%
OTRO	3	0.1%
PLANTA DE TRATAMIENTO	2	0.1%
TURISMO	32	1.3%
TOTAL	2 534	100%

En el siguiente gráfico puede verse la distribución de puntos de agua, según su uso.



4.5. BASES DE DATOS GENERADAS

El programa utilizado para la carga y gestión de los datos (al igual que en la 1ª Fase de este proyecto) es Microsoft Access, en su versión 2000. Para la entrada de datos procedentes del inventario de puntos de agua, se ha realizado un formulario específico de carga de datos que permite introducir la información referente a cada punto de agua de una forma cómoda y sencilla.

- **Formulario Carga de Datos:**

Este es el formulario principal para la entrada de los datos obtenidos en el inventario de puntos de agua. En el encabezado de este formulario se incluyen las características generales del punto de agua inventariado, como son el código del punto, sus coordenadas geográficas, Unidad Hidrogeológica y Cuenca Hidrográfica a la que pertenece, paraje, etc..

Además, este será el formulario en el que se indicará si el punto inventariado pertenece a alguna de las redes de control propuestas (piezometría, calidad o intrusión)

Para cada registro existen 5 subapartados en los que se incluye la información específica de cada punto, que son los siguientes:

- Características del punto. Hace referencia a la naturaleza del punto, utilización, profundidad, año de construcción, etc.
- Equipamiento y Explotación. Se incluye la información referente al tipo de equipo de bombeo y sus características, así como el régimen de explotación llevado a cabo en la captación.
- Características constructivas. Este apartado aplica únicamente para pozos y sondeos, y en el se indican diámetros de perforación y entubación, así como los tramos cementados y aquellos en los que hay filtros.
- Medidas in situ. Están referenciadas para una fecha determinada, anotándose valores de profundidad del nivel de agua (estático o dinámico), temperatura ambiente y del agua, conductividad eléctrica, pH, y caudal.
- Columna litológica. Se especifican los materiales atravesados según profundidades.

Figura 4.4. Aspecto del formulario carga de datos de puntos de agua.

The screenshot shows a software window titled "GARGA DE DATOS : Formulario". The form is organized into several sections:

- Top Section:** Fields for "CÓDIGO DEL PUNTO" (5074120002), "UNIDAD HIDROGEOLÓGICA" (dropdown), "PARAJE" (LAGUNA SALADA), "CUENCA HIDROGRÁFICA" (dropdown), "HOJA 1:50.000" (5074I), "Municipio" (LAGUNA SALADA), "Propietario" (TAITA ACOSTA), "Dirección" (CARRETERA DUARTE (FARMACIA)), "COORDENADAS U.T.M." (X: 280007, Y: 2173950, Z: empty), "ORIGEN COORDENADAS" (2), and "REDES DE CONTROL" (checkboxes for Piezometría, Calidad, Intrusión).
- Navigation:** A tabbed interface with "EQUIPAMIENTO Y EXPLOTACIÓN" selected. Other tabs include "CARACTERÍSTICAS DEL PUNTO", "CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS", "MEDIDAS IN SITU", and "COLUMNA LITOLÓGICA".
- Equipment Section:** Fields for "Naturaleza" (2), "Utilización del agua" (1), "Profundidad (m):", "Año de ejecución:", "Año de reprofundización:", "Diámetro de emboquille (m):" (6 PVC), "Material de emboquille:" (1), "Método de perforación:" (11), and "Litología de la formación:".
- Footer:** "Nº fotografías:" (2), "Código de fotografías:", "Fecha de Inventario:" (12/08/2003), "Técnico:" (ROBERTO JIMENEZ), "Observaciones:" (NO FUE POSIBLE HACERLE EL ESTUDIO PH PORQUE NO ESTABA BOMBEANDO), and a record counter "Registro: 1 de 1774".

Asimismo existe un informe de salida para la información recogida en el inventario, de manera que se pueden imprimir los datos de cualquier punto seleccionado, así como visualizar sus fotografías, tanto de detalle, como del entorno de la captación.

5. PIEZOMETRÍA

5.1. OBJETIVOS Y PLANTEAMIENTO GENERAL DE LOS TRABAJOS A REALIZAR

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

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

Los trabajos básicos realizados para cumplir estos objetivos han sido los siguientes:

- Definición y establecimiento de redes de control piezométrico.

La red de control piezométrico ha constado de un total de 420 puntos, cuya distribución por unidades hidrogeológicas puede verse en el siguiente cuadro:

Cuadro 5.1.1. Puntos de la red de control piezométrico por unidades hidrogeológicas

UNIDAD HIDROGEOLÓGICA	Nº DE PUNTOS DE CONTROL PIEZOMÉTRICO PREVISTOS	Nº PUNTOS RED PIEZOMÉTRICA MEDIDOS
Cordillera Oriental	45	58
Los Haitises	5	2
Samaná	10	5
Cordillera Septentrional	80	70
Valle del Cibao	150	190
Cordillera Central	60	65
Sierra de Neiba	40	18
Sierra de Bahoruco y Península Sur de Barahona	30	19
TOTAL	420	420

La falta de redes de control piezométrico previas en la mayor parte de las zonas en estudio, condicionó el que, salvo escasas excepciones, no haya sido posible incluir puntos de control que dispusieran de una serie histórica de datos. Así pues, la red se definió a

partir del inventario de puntos de agua realizado en los primeros dos meses de proyecto. Con todos los puntos en los que se había podido realizar medidas de nivel durante el inventario realizado (estático o dinámico), se realizó una selección previa, teniendo en cuenta tanto criterios hidrogeológicos, como de representatividad espacial.

La distribución espacial de los puntos de control puede observarse en el *Plano General de Distribución de la Red de Control Piezométrico del Proyecto en las Áreas de Estudio escala 1:350.000*, incluido en el tomo correspondiente de Planos.

- Control sistemático y periódico de las redes definidas.

La periodicidad de medida de la red de control piezométrico ha sido mensual, distribuida a lo largo de 12 campañas, de manera que se dispone de información de un año hidrológico completo (octubre de 2003 a septiembre de 2004), así como, dentro de este, de los distintos períodos o estados piezométricos (aguas altas, medias y bajas).

Además de las 12 citadas campañas de control se dispone de los datos de medidas de niveles controlados durante la realización del inventario de puntos de agua.

- Realización de fichas de medidas piezométricas de campo.

Primeramente se ha realizado una ficha de campo, por unidad hidrogeológica y campaña de control, en la que ha quedado incluida toda la información de cada una de las campañas piezométricas realizadas (nivel del agua, conductividad, pH, temperatura del agua, tiempo desde bombeos, etc..). Además, cada punto de la red de control piezométrico dispone de una ficha de gabinete en la que se han ido incorporando los valores tomados en campo para cada una de las campañas realizadas, de manera que se refleje la evolución histórica de los parámetros controlados. Toda esta información ha sido cargada en la base de datos del proyecto, de manera que pueda ser consultada y actualizada, con el objeto de que disponga de una serie histórica lo más larga posible.

5.2. CRITERIOS DE SELECCIÓN DE LOS PUNTOS DE LAS REDES DE CONTROL PERIÓDICO. PROPUESTA DE REDES

La selección de los puntos de control piezométrico se ha realizado de acuerdo con los objetivos propuestos, procurando, en primer lugar, que se cumplieran los siguientes criterios generales de toda red de control periódico:

- Integrar los posibles puntos de control pertenecientes a otras redes ya existentes (por ejemplo, las de las del PLANIACAS existentes en las UU.HH. en estudio).
- Seleccionar los puntos que, sin pérdida de representatividad del fenómeno que se pretendía controlar, facilitaran la realización de las medidas periódicas en el menor tiempo posible (facilidad de acceso, posibilidad de efectuar itinerarios de campo que permitan minimizar los desplazamientos entre los distintos puntos, etc.).
- Evitar información redundante o carente de interés para los objetivos de la red de control.

Específicamente para las redes piezométricas de cada unidad o zona hidrogeológica estudiada se han utilizado los siguientes criterios de selección:

- Seleccionar puntos lo más representativos posibles de las características piezométricas de cada unidad hidrogeológica estudiada (mismo nivel acuífero, similares profundidades de los sondeos, etc.), con el objeto de evitar obtener información de difícil o equívoca interpretación posterior.
- Se ha procurado (con escaso éxito, por inexistencia de los mismos) que los puntos seleccionados dispusieran de una información lo más completa posible respecto a sus características geológicas (columna litológica), hidrogeológicas (caudal específico, transmisividad, coeficiente de almacenamiento) y constructivas (profundidad total, características de la entubación y posición de las zonas filtrantes, niveles cementados).
- Se ha procurado no tomar puntos en los que se bombea, ya fuera de forma sistemática u ocasional, o que pudieran verse afectados por el bombeo en otros puntos próximos, con el objeto de evitar posibles unidades de niveles dinámicos o en recuperación y que todas las medidas correspondieran a niveles estáticos.
- Los puntos seleccionados se ha intentado que estuvieran distribuidos por las diferentes zonas de estudio de la forma más homogénea posible, aunque teniendo siempre en cuenta los criterios geológicos e hidrogeológicos anteriormente mencionados.

5.3. METODOLOGÍA DE LA TOMA DE MEDIDAS

Una vez propuesta la red piezométrica se procedió a la realización de las medidas mensuales, que consistieron en la toma de los siguientes datos:

- Nivel piezométrico: Medidas de la profundidad del agua respecto a una referencia fija en el tiempo o de la presión en el caso de los sondeos surgentes.
- Medidas "in situ": Temperatura del aire, temperatura del agua, conductividad y pH, siempre que sea posible la toma de muestras de agua.
- Información y observaciones complementarias.

Las medidas de control piezométrico mensual se ha procurado que siempre se realizaran en las mismas fechas todos los meses y utilizando siempre la misma sonda.

Dentro de una misma unidad o zona hidrogeológica, una vez iniciada cada campaña de medidas se han realizado con las mínimas interrupciones posibles.

Cada punto de la red piezométrica seleccionada figura en los siguientes documentos que se describen más adelante:

- Ficha del inventario de puntos de agua.
- Ficha de piezometría (gabinete).
- Ficha de campo de piezometría.

Previamente a la realización de las medidas de control, se recabó toda la información posible acerca del funcionamiento e incidencias que hubieran podido afectar al punto desde la última medida.

El equipo básico utilizado para la realización de las medidas piezométricas ha sido el siguiente:

- Sondos piezométricos o hidroniveles para las medidas de niveles situadas por debajo de la cota de referencia.

Las sondas piezométricas utilizadas han sido del tipo HIDRONIVEL MEYER 0403, Mod. 50, 100, 150, 200, 250 ó similares, con cable métrico especial de alta resistencia y entre 50 y 250 metros de longitud, que permite realizar medidas en metros y centímetros.

En lo referente al registro de los datos obtenidos en campo, todo punto de agua contenido en cualquiera de las redes de control ha sido también incluido en el Inventario de Puntos de Agua de la zona y dispone , por tanto, de su correspondiente Ficha de Inventario en la que se recogen todos sus datos básicos característicos.

Además y como ya se ha indicado, cada punto de la red ha quedado recogido en otras dos fichas (ficha de toma de datos en campo y ficha resumen de los datos o ficha de gabinete) que se describen a continuación.

Ficha de campo:

El modelo de ficha que se ha utilizado consta de tres apartados:

El **primer apartado** constituye la cabecera y recoge los datos generales de la campaña:

- **Código y nombre de la zona o Unidad Hidrogeológica** a la que corresponde la campaña.
- **Número total de puntos** a controlar.
- **Fecha del inicio y la finalización** de la campaña.
- **Nombre del técnico** que realiza las medidas.

El **segundo apartado** está constituido por una tabla para las medidas realizadas en cada punto. Consta de los siguientes campos:

- **Código:** es el código del Inventario de Puntos de Agua de la captación a la que corresponden las medidas.
- **Fecha:** día en el que se realizan las medidas.
- **Surgencia:** se indica si el punto es surgente en el momento de la realización de las medidas, en cuyo caso se ha de realizar una medida con el obturador de dilatación ya comentado.
- **Profundidad/Presión:** se indica la profundidad (en metros) del agua hasta la referencia cuando el pozo no sea surgente, o la presión (en kg/cm²) cuando el punto sea surgente.
- **Bombeo:** se indica, cuando se conoce, el tiempo transcurrido desde la última extracción de agua realizada en el pozo: N, sin instalación, no hay posibilidad de extracción de un volumen de agua significativo; M, más de un mes; S, más de una semana; D, más de un día; 8H, más de 8 horas; 1H, más de 1 hora; H, menos de una hora; B, en bombeo.
- **Parámetros físico-químicos inestables:** se indica en las columnas correspondientes las medidas de temperatura del aire y del agua en grados Celsius, el pH y la conductividad eléctrica en mS/cm a 25°.
- **Observaciones:** se indica cualquier incidencia que pueda afectar a las medidas realizadas en el punto: captaciones próximas que estén en explotación en el momento de realizarse las medidas, etc. Se podrán ocupar tantas líneas como sean necesarias. Así

mismo, se indica cualquier cambio de la referencia utilizada, del método de medida habitual y si se ha tomado muestra de agua para su análisis en laboratorio.

El **tercer apartado** está destinado a recoger observaciones generales que puedan afectar a toda la campaña. En él se indican los puntos anulados y los sustituidos por otros, así como las incidencias climáticas observadas durante el desarrollo de la campaña.

Ficha de gabinete (o ficha de resumen):

Cada punto de la red de control piezométrica dispone de una ficha de gabinete en la que se han ido anotando las medidas recogidas en la ficha de campo de la U.H. correspondiente y que contiene, así mismo, sus datos de identificación y sus características básicas. La carga de la información de cada campaña se ha realizado a partir de la base de datos elaborada para el proyecto.

La información recogida en la ficha se agrupa en 4 bloques.

El **primer bloque** contiene los datos de identificación del punto extraído de la Ficha de Inventario de Puntos de agua:

- **Código:** es el código que identifica el punto en el Inventario de Puntos de Agua.
- **Coordenadas UTM** y cota absoluta sobre el nivel del mar.
- **Zona del Proyecto o Unidad Hidrogeológica:** código y nombre.
- **Naturaleza:** pozo, sondeo, pozo con galerías, pozo con sondeo, etc. Se consigna el código de identificación de la naturaleza punto, según lo especificado para el Inventario de Puntos de Agua.
- **Cuenca:** se refiere a la cuenca hidrográfica de 1^{er} orden (según la división del INDRHI o de otro organismo estatal competente), en la que está situado el punto.
- **Paraje:** nombre local con el que se conoce la zona en la que está ubicado el punto.
- **Hoja 1:50.000:** nombre y número de la hoja a escala 1:50.000 en la que está situado el punto.
- **Término municipal y provincia** en los que está situado el punto, y sus correspondientes códigos de identificación según la nomenclatura del INSTITUTO GEOGRÁFICO UNIVERSITARIO de la REPÚBLICA DOMINICANA o de otro organismo público competente.

El **segundo bloque** está constituido por la información gráfica que ayuda a la identificación del punto: croquis de acceso; fotocopia del sector del ortofotoplano en el que está situado; y fotografía del punto en la que aparezca claramente identificada la referencia utilizada para las medidas.

El **tercer bloque**, en la cara posterior de la ficha, está constituido por una tabla similar a la de la ficha de campo, en la que se han ido incorporando, mes a mes, las medidas realizadas.

Por último, el **cuarto bloque** es un gráfico de la evolución piezométrica con espacio suficiente para 24 meses de medidas. En el eje Y se colocará la cota absoluta sobre el nivel del mar de la lámina de agua; la escala vertical se ajustará para cada punto de acuerdo con la amplitud de las variaciones previstas.

5.4. CAMPAÑAS DE CONTROL REALIZADAS: RESULTADOS GENERALES OBTENIDOS Y DISTRIBUCIÓN POR UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS

Para facilitar el análisis de los datos de control de las campañas de control piezométrico se optó por agrupar los puntos de la red de control por subsectores, dentro de las unidades hidrogeológicas. Estos subsectores han sido definidos en función de los materiales sobre los que se sitúan los puntos de control y de su situación geográfica, de manera que pudieran identificarse con formaciones acuíferas que presenten similares comportamientos hidrogeológicos.

En el siguiente cuadro se presentan los resultados globales (máximos, mínimos y medios) de los parámetros controlados durante las distintas campañas de control piezométrico realizadas (nivel, conductividad, pH y temperatura) existentes en cada una de las unidades hidrogeológicas y, dentro de estas, en cada uno de los subsectores piezométricos definidos. La información corresponde a las medidas realizadas entre los meses de octubre de 2003 y septiembre de 2004.

Cuadro 5.4.1. Rango de niveles piezométricos por subsectores.

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

UU.HH	Subsectores	Nivel Piezométrico (m.s.n.m)			Tª Aire			Tª Agua			Conductividad (mS/cm)			pH		
		Máx	Mín	Medio	Máx	Mín	Medio	Máx	Mín	Medio	Máx	Mín	Medio	Máx	Mín	Medio
	Magante	21,62	8,76	15,62	30	20	24,09	29	20	23,71	9,4	0,32	1,42	10,7	6	7,28
	Loma de Cabo Frances	11,60	-9,75	-0,31	29	23	24,92	30	21	24,40	1,71	0,39	0,72	10,1	6,2	7,32
	Guayabito	33,00	26,00	30,76	33	21	25,08	30	20	24,66	8,8	0,1	0,91	10,3	5	6,72
	Juan Díaz	98,60	76,60	87,57	29	24	26,58	27	23	25,45	1,11	0,3	0,70	9,4	7,6	8,27
	La Lomaza	200,70	176,20	185,19	29	20	23,87	30	20	23,46	1,22	0,48	0,88	10	6	7,10
	Loma El Suzo	191,71	185,46	188,43	28	22	24,04	28	20	24,15	2,22	0,43	1,16	9,6	5,9	7,43
	Altamira	177,95	176,72	177,65	28	19	22,27	26	18	21,58	1,07	0,48	0,68	8,3	7	7,36
	Imbert	127,35	124,30	126,49	24	19	21,55	26	19	22,27	1,53	0,75	0,94	7,6	6,5	6,97
	Ranchete-Cabía	248,30	114,20	162,46	33	19	23,35	30	19	23,17	3,53	0,29	1,20	8,6	6,1	7,45
	Guayacanes-Tachuela	277,60	197,50	235,74	27	22	25,00	29	24	26,33	11,2	0,64	1,39	8,6	7,1	7,77
	El Papayo	169,90	153,40	163,25	32	23	25,33	29	25	27,00	15,73	0,7	5,64	9,1	7,6	8,33
VALLE DEL CIBAO	Caño Hondo-Castañuelas	28,40	12,30	19,94	35	21	25,47	30	23	27,26	5,48	0,97	2,60	9,3	7	7,82
	Cerro Gordo	36,90	33,50	35,57	29	20	24,31	30	20	24,23	0,97	0,44	0,71	10	6,2	7,41
	Terciario Detrítico Borde Norte	165,00	48,10	88,22	32	21	25,50	30	24	26,69	15,32	0,37	4,43	9,9	7,2	8,00
	Detrítico de Maimón	78,75	54,75	72,90	30	21	25,69	34	23	27,02	6,67	0,18	1,92	9,1	7	7,95
	Aluvial del Medio Yaque del	78,80	-8,54	66,13	32	19	24,97	33	21	25,97	8,5	0,21	1,71	10,7	2,67	7,96
	Esperanza	181,00	108,58	162,43	33	17	24,16	32	20	23,80	5,13	0,25	1,67	10,9	1,02	7,49
	Tamboril-Moca	266,50	136,00	222,06	32	19	23,81	32	18	23,44	8,3	0,129	1,31	11	1,07	7,46
	Salcedo	237,80	141,67	188,61	29	19	23,47	30	18	23,26	3,87	0,24	1,03	11,1	5,8	7,44
	Aluvial del Cenoví	107,95	44,78	73,68	38	20	27,72	32	20	26,39	10,1	0,05	1,94	11,6	2,4	8,39
	San Francisco de Macoris-Cotui	107,60	21,00	43,25	33	23	27,66	35	21	26,70	2,96	0,07	0,76	12,2	6,9	8,28
	Pontón-Las Taranas	79,00	40,00	61,94	30	22	26,43	32	21	25,70	2,95	0,1	1,05	11,4	7,2	8,28
	Aluvial de Nagua	19,80	10,40	14,74	32	21	27,40	30	19	25,28	1,12	0,19	0,62	10,4	6,6	7,81
	Aluvial del Bajo Yuna	16,60	-63,00	4,52	33	21	28,46	30	22	26,38	11,5	0,07	0,83	10,7	6,6	7,96
	Aluvial del Camú (U.H 6)	75,00	41,20	57,13	33	20	26,51	29	21	25,57	121	0,16	2,28	10,7	6,8	7,97
La Vega	234,10	56,70	120,82	34	20	26,55	34	18	25,93	3,3	0,102	1,14	12,4	6	7,96	

UU.HH	Subsectores	Nivel Piezométrico (m.s.n.m)			Tª Aire			Tª Agua			Conductividad (mS/cm)			pH		
		Máx	Mín	Medio	Máx	Mín	Medio	Máx	Mín	Medio	Máx	Mín	Medio	Máx	Mín	Medio
	Guayacanal	301,30	281,25	290,84	32	25	28,33	29	22	26,08	2,13	0,02	1,12	11,5	7,7	8,63
	Medio Aluvial Zona Monción	381,64	342,00	375,18	27	23	24,80	28	22	24,40	1,6	0,72	1,24	9,9	7,3	7,97
	Aluvial del Guayabín	151,40	-22,50	104,27	30	21	24,82	29	24	26,31	4,06	0,21	1,84	9,3	6,9	7,65
	Aluvial del Guajabo	40,10	23,60	32,72	34	24	27,11	31	23	26,89	0,98	0,34	0,71	8,7	7	7,63
	Detrítico Loma de Zamba	248,30	244,95	247,40	29	21	24,67	28	23	25,00	2,23	0,91	1,44	8,1	7,2	7,69
CORDILLERA CENTRAL	Sabaneta	138,50	89,80	115,95	29	23	25,50	28	20	26,18	0,82	0,09	0,46	8,9	6,7	7,88
	Jarabacoa	533,45	532,40	532,95	24	22	23,00	25	22	23,25	0,58	0,31	0,44	10,1	6,7	7,75
	Aluvial del Camú (U.H 7)	407,65	80,33	192,07	29	21	24,75	27	21	24,86	1,22	0,16	0,58	10,7	6,5	8,17
	Pontón-Rincón	117,30	39,25	87,03	33	18	26,41	29	19	25,46	1,73	0,09	0,59	10,8	7	8,12
	Aluvial del Alto Yuna	155,50	113,50	140,87	33	20	26,19	28	23	24,97	0,69	0,19	0,32	10,7	6,3	8,00
	Chacuey-Cevicos	61,30	35,00	47,97	31	23	27,06	29	23	26,03	0,77	0,06	0,23	10,2	6,8	7,79
	Loma de La Mina	137,50	100,00	128,56	32	24	27,36	28	24	26,00	0,26	0,12	0,16	8,4	6,5	7,66
	Sonador	180,80	168,70	175,09	32	22	26,29	28	21	24,82	0,48	0,1	0,30	10,4	6,3	7,76
	Aluvial del Isabela	83,43	27,78	61,63	33	27	29,53	32	25	27,50	0,85	0,16	0,43	8,7	6,6	7,44
	Hato Damas	226,56	219,59	223,38	31	24	27,09	25	24	24,55	0,9	0,76	0,80	8,9	6,6	7,36
	El Platano	72,42	51,44	60,68	31	24	28,11	26	23	25,17	0,84	0,34	0,49	8,3	6,5	7,00
	Cambita-Borbón	257,48	27,50	118,77	31	22	27,57	33	20	25,49	1,34	0,5	0,78	8,9	6	7,68
	La Montería	109,88	107,63	108,48	33	26	28,80	25	25	25,00						
	Galeón-Los Ranchitos	248,66	131,10	184,50	33	21	27,72	36	21	26,96	2,41	0,59	0,98	8,5	6,4	7,39
	Bajo Ocoa	38,69	10,36	23,03	33	26	29,35	33	25	28,05	1,11	0,72	0,86	8,7	6,6	7,39
	La Sabana-El Limón	667,87	461,84	574,43	33	19	27,69	30	19	24,12	4,82	0,41	1,21	9	6	7,30
	Tireo-Constanza	1300,50	1146,0	1218,1	25	17	20,09	22	18	19,61	0,93	0,17	0,48	10	5,4	7,28
SIERRA DE NEIBA	Aluvial de Los Baos	530,69	425,88	466,19	31	18	25,44	32	18	24,79	1,68	0,97	1,38	9,9	6,5	7,40
	Carrizal-Viajama	297,67	199,24	260,13	31	23	27,16	31	19	25,32	0,91	0,37	0,74	8,9	6,5	7,62
	Aluviales Manguito-Panzo	335,64	98,69	194,91	32	22	27,16	25	23	24,50	0,77	0,53	0,67	9	7,6	8,27
	La Descubierta	6,06	0,25	2,90	34	23	28,44	28	28	28,00						

UU.HH	Subsectores	Nivel Piezométrico (m.s.n.m)			Tª Aire			Tª Agua			Conductividad (mS/cm)			pH		
		Máx	Mín	Medio	Máx	Mín	Medio	Máx	Mín	Medio	Máx	Mín	Medio	Máx	Mín	Medio
	Tierra Nueva	37,02	-59,84	14,46	36	22	29,95	32	24	27,75	1,56	0,6	1,07	8,7	6,8	7,69
SIERRA DE BAHORUCO	Juan Ciprian-Malagueta	426,35	351,37	397,68	31	20	25,76	31	19	22,07	0,57	0,32	0,40	9,2	6,5	7,93
	Pedernales	76,32	1,00	22,19	35	23	27,12	29	19	25,26	1,8	0,42	1,02	8,7	6	7,48
	Loma El Guano	13,55	8,53	10,88	35	22	26,74	36	21	25,32	44,8	1,64	8,03	8,7	4,68	7,31
	Loma del Derrico	46,68	0,67	12,67	35	23	29,96	30	22	25,82	1,19	0,44	0,81	8,8	7,7	8,05

En el Anexo 4 se incluyen los datos concretos de las medidas piezométricas de las 12 campañas realizadas. Asimismo se incluyen los gráficos de evolución piezométrica de cada punto, con los valores de todas las campañas.

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

En general, en prácticamente la totalidad de las unidades estudiadas solamente se dispone, en la actualidad, de información piezométrica correspondiente a acuíferos superficiales (depósitos de aluvial cuaternarios y zonas de alteración superficial), debido a la escasa profundidad de los pozos y sondeos de control existentes. Este hecho, condiciona el que prácticamente no se haya podido disponer de información piezométrica de los principales acuíferos carbonatados de las unidades en estudio (las calizas arrecifales del Eoceno, Mioceno y Plioceno) y el que sea imposible realizar, en la actualidad, sus correspondientes mapas de isopiezas. Únicamente se han podido realizar mapas de isopiezas en las dos subunidades del Valle del Cibao.

Como consecuencia de dichas carencias, en cada una de las Memorias de las unidades hidrogeológicas estudiadas se incluyen una serie de recomendaciones en lo referente a las futuras redes de control piezométrico, en las que se recomienda eliminar algunos puntos que aportan información redundante o escasamente relevante y se proponen otros nuevos en determinados sectores en los que existen importantes lagunas de información, para lo cual será necesario construir sondeos piezométricos adecuados. Asimismo, y comprobada la escasa variación temporal de las medidas realizadas durante el mencionado año de control, parece recomendable el espaciar más las medidas de control futuras, estimándose que una frecuencia trimestral podría resultar suficientemente representativa.

5.5. BASES DE DATOS GENERADAS

Dentro de la base de datos elaborada para el presente proyecto se ha incluido un formulario de entrada de datos para facilitar la incorporación de la información de las sucesivas campañas de medidas piezométricas.

Este formulario consta de un encabezado con los datos de identificación del punto, obtenidos de la información del formulario de carga de datos. Estos datos son únicamente de consulta, siendo imposible su modificación desde este formulario.

Por debajo del encabezado hay tres subformularios (uno para cada una de las redes de control) en los que se irán añadiendo los datos de cada una de las campañas.

- Subformulario red piezométrica. Consta de un primer campo que es la fecha en la que se han realizado las medidas tanto de niveles (estáticos o dinámicos, como de conductividad, temperatura, pH, etc.)

La siguiente figura muestra el aspecto de este formulario:

Figura 5.1. Subformulario de red de control piezométrico.

Fecha	Surgencia	Nivel Estático	Nivel Dinámico	Nivel Presión (m-kg/cm)	Nivel piezométrico (m.s.n.m)	Tiempo desde Bombeos	Tª Agua (°C)	Tª Aire (°C)	Conductividad (µS/cm)	pH	TA CO3 (mg/l)	TAC HCO3 (mg/l)	Observaciones
02/03/2000		9	9	9	9		9	9	9	9	9	9	
02/05/1999		32	23	45	4	5	3	3	5	6	54	4	

A partir de este formulario, los datos quedan almacenados en una tabla a partir de la cual se han creado una serie de consultas a través de las cuales se generan los informes de salida con los datos de las mediciones de cada una de las campañas, gráficos de evolución, etc...

6. HIDROQUÍMICA E INTRUSIÓN MARINA

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

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

6.1. OBJETIVOS Y PLANTEAMIENTO GENERAL DE LOS TRABAJOS A REALIZAR

6.1.1. Objetivos

En los Términos de Referencia del Proyecto se especifica como objetivo prioritario:

conocer la potencialidad de las aguas subterráneas para su explotación y utilización en abastecimiento a núcleos de población y agricultura

por tanto, entre las actividades a desarrollar dentro del estudio se considera el análisis de muestras de agua subterránea.

Para ello es imprescindible definir, de forma previa, una serie de puntos de control en cada una de las unidades hidrogeológicas consideradas que constituirá la red de control hidroquímico del proyecto.

6.1.2. Planteamiento

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

Los resultados analíticos de las muestras de agua subterránea permitirán:

- Caracterizar la composición química del agua subterránea en las diferentes unidades hidrogeológicas estudiadas y evaluar su relación con distintos factores (litología, sistema de flujo, usos del suelo, etc)
- Estudiar la aptitud del agua subterránea para distintos usos (abastecimiento, agricultura, etc)
- Determinar la situación en que se encuentran las aguas subterráneas con respecto a posibles focos o causas de contaminación que deterioren la calidad del agua

6.1.3. Ámbito de estudio

El ámbito de estudio está constituido por las zonas no incluidas en el primera fase del Estudio Hidrogeológico Nacional de la República Dominicana, que corresponden con unidades hidrogeológicas distribuidas por todo el país, y definidas por el Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INDRHI).

La denominación de estas zonas se recoge en el cuadro 6.1.1.

Cuadro 6.1.1. Unidades hidrogeológicas incluidas en el presente estudio

Nº unidad hidrogeológica (UH)	Denominación
2	Cordillera Oriental
3	Los Haitises
4	Samaná
5	Cordillera Septentrional
6	Valle del Cibao
7	Cordillera Central
9	Sierra de Neiba
11	Sierra de Bahoruco y Península sur de Barahona

6.2. RED DE CONTROL HIDROQUÍMICO

Durante el primer trimestre del "Estudio Hidrogeológico Nacional de la República Dominicana" se llevó a cabo una recopilación y análisis de la información previa existente, y además, se realizó un inventario de puntos de agua que considera más de 2350 puntos. Este inventario sirvió de base para la selección de la red de control de calidad.

Así, se llevó a cabo una primera valoración de la información disponible en la base de datos que almacena las características de los puntos de agua inventariados, analizando el ámbito espacial y las lagunas de información detectadas. Con todo ello, se elaboró una propuesta de redes de control, para evaluar, tanto las características de las aguas subterráneas, como la incidencia de focos potenciales de contaminación en la calidad de las mismas.

6.2.1. Criterios de selección de los puntos de la red de control hidroquímico

Los criterios aplicados en el diseño de las redes de control del presente proyecto se pueden clasificar en generales y específicos.

6.2.1.1. Criterios generales

Para el diseño de la red de control hidroquímico es preciso seleccionar puntos de agua representativos en función de los objetivos que se pretenda alcanzar (caracterización de distintos acuíferos, potabilidad del agua empleada en abastecimientos, repercusión de actividades agrícolas o industriales, intrusión marina, etc.).

En general se seleccionan puntos de agua en los que es posible tomar muestras de agua representativas de las condiciones existentes en el acuífero que explotan, recogidas tras un bombeo previo que permita renovar el agua almacenada en el propio pozo o en sus inmediaciones. En este caso, la selección de puntos que constituyen la red de control se realiza entre aquellos que disponen de equipo de bombeo, y el agua se puede muestrear antes de pasar por un depósito de regulación o de cloración en los que cambia la composición inicial del agua como consecuencia de las reacciones químicas que se producen.

Sin embargo, en otros casos, es preferible que en la captación no se realice un bombeo frecuente, que distorsione los resultados perseguidos al estudiar, por ejemplo, el grado de avance de la intrusión marina.

Para el diseño de la red de control hidroquímico en las unidades hidrogeológicas consideradas, se han seleccionado pozos de uso frecuente, que disponen de instalación propia, y que parecen

responder a distintos niveles acuíferos con valores de conductividades contrastadas (si existen varios puntos próximos con características constructivas similares).

6.2.1.2. Criterios específicos

El criterio prioritario de la red de control hidroquímico de la segunda fase del Estudio Hidrogeológico Nacional de la República Dominicana es cumplir los objetivos planteados en los Términos de Referencia, siguiendo las indicaciones del número de puntos indicado para cada unidad hidrogeológica (cuadro 6.2.1.)

Cuadro 6.2.1. Puntos de control previstos en las unidades hidrogeológicas estudiadas

Nº Unidad hidrogeológica	Denominación	Nº de puntos de control previstos en los T. de Ref.
2	Cordillera Oriental	25
3	Los Haitises	15
4	Samaná	15
5	Cordillera Septentrional	50
6	Valle del Cibao	100
7	Cordillera Central	15
9	Sierra de Neiba	25
11	Sierra de Bahoruco y Península sur de Barahona	15

La explotación de la red permitirá determinar los parámetros de interés, con una distribución espacial y una densidad de puntos de control suficiente para obtener la información requerida.

Durante la primera campaña de muestreo se llevó a cabo una revisión de los puntos propuestos que llevó consigo la sustitución o anulación de algunos de los puntos inicialmente propuestos, puesto que la red considerada óptima desde un punto de vista técnico, tanto a nivel espacial (densidad y distribución homogénea), como por la utilización posterior del agua (el abastecimiento a núcleos de población se considera prioritario) no siempre es la más adecuada, debido a posibles fenómenos de redundancia de información, o de posibilidad real de control (permisos, inexistencia de puntos en zonas de interés, etc.)

La revisión en campo contempló fundamentalmente los siguientes aspectos: representatividad prevista (formación geológica, familia piezométrica, características hidroquímicas, etc.), accesibilidad del punto, presencia de medidas de protección (vallas, candados, etc.), estado de

las instalaciones (entubación, rejillas, bombas, reprofundizaciones, derrumbes o cegados, etc.), presencia de bomba o accesorios (tubería de impulsión, cables eléctricos, etc.) que puedan impedir la introducción de sondas y/o botellas tomamuestras, etc.

6.2.2. Información de partida

De forma previa al diseño de la red de control se realizó un análisis de la información disponible en relación con la composición y utilización del agua subterránea en las unidades hidrogeológicas objeto de estudio. Los resultados obtenidos en el análisis de la información de partida se presentaron en el "Informe del primer trimestre del Estudio Hidrogeológico Nacional de la República Dominicana" (septiembre, 2003).

En gran parte del ámbito de estudio, la información e infraestructura hidrogeológica es escasa y en algunos casos presenta importantes lagunas de información. Esta circunstancia ha condicionado el diseño de las redes de control del Proyecto (no solo de hidroquímica, sino también de piezometría e hidrometría), que han tenido que partir de la información recabada en el inventario de puntos de agua realizado en el marco de este Proyecto, máxime cuando en algunas de la unidades hidrogeológicas estudiadas es la única información existente.

6.2.2.1. Distribución de puntos de agua

El inventario de puntos de agua, realizado durante los primeros meses del estudio, consta de unos 2400 puntos distribuidos por todo el ámbito de estudio. En el cuadro 6.2.2. se indica el número de puntos inventariados en cada unidad hidrogeológica.

Cuadro 6.2.2. Puntos de agua inventariados (septiembre, 2003)

Nº unidad hidrogeológica	Denominación	Nº de puntos de agua inventariados
2	Cordillera Oriental	205
3	Los Haitises	15
4	Samaná	20
5	Cordillera Septentrional	364
6	Valle del Cibao	962
7	Cordillera Central	465
9	Sierra de Neiba	47
11	Sierra de Bahoruco y Península sur de Barahona	17
?	Sin definir (*)	255

(*) Puntos existentes en el contacto entre unidades o con coordenadas de situación erróneas

Los puntos de agua presentan, como es lógico, distintas características en cuanto a naturaleza, profundidad, acuífero que explotan, características constructivas, equipamiento de que disponen, etc.

6.2.2.2. Puntos de agua considerados para definir la red de control hidroquímico

La revisión de la base de datos del inventario de puntos de agua, y se realizó aplicando un filtro para seleccionar inicialmente aquellos puntos en los que es posible tomar una muestra de agua.

Se trata de puntos que disponen de resultados analíticos de parámetros inestables (temperatura, pH, conductividad) determinados "in situ" durante la realización del inventario de puntos de agua.

Esta selección previa consta de 1467 puntos, cuya distribución por unidades hidrogeológicas se incluye en el cuadro 6.2.3. y en la figura 6.2.1. En dichos puntos se consideraron su situación y características (código del punto, naturaleza, uso, conductividad, pH, temperatura, profundidad, nivel estático, nivel dinámico, tipo de bomba, referencia de la medida, si pertenecen a la red de piezometría y observaciones de interés).

Cuadro 6.2.3. Puntos de agua utilizados para la definición de la red de control hidroquímico (septiembre, 2003)

Nº unidad hidrogeológica	Denominación	Puntos de agua considerados
2	Cordillera Oriental	117
3	Los Haitises	12
4	Samaná	13
5	Cordillera Septentrional	291
6	Valle del Cibao	601
7	Cordillera Central	247
9	Sierra de Neiba	22
11	Sierra de Bahoruco y Península sur de Barahona	9
?	Sin definir (*)	155

(*) Puntos existentes en el contacto entre unidades o con coordenadas de situación erróneas

En la figura 6.2.1. se observa que la distribución de los puntos existentes no es homogénea a nivel general, ni dentro de las unidades consideradas.

6.2.3. Diseño de la red de control hidroquímico

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.

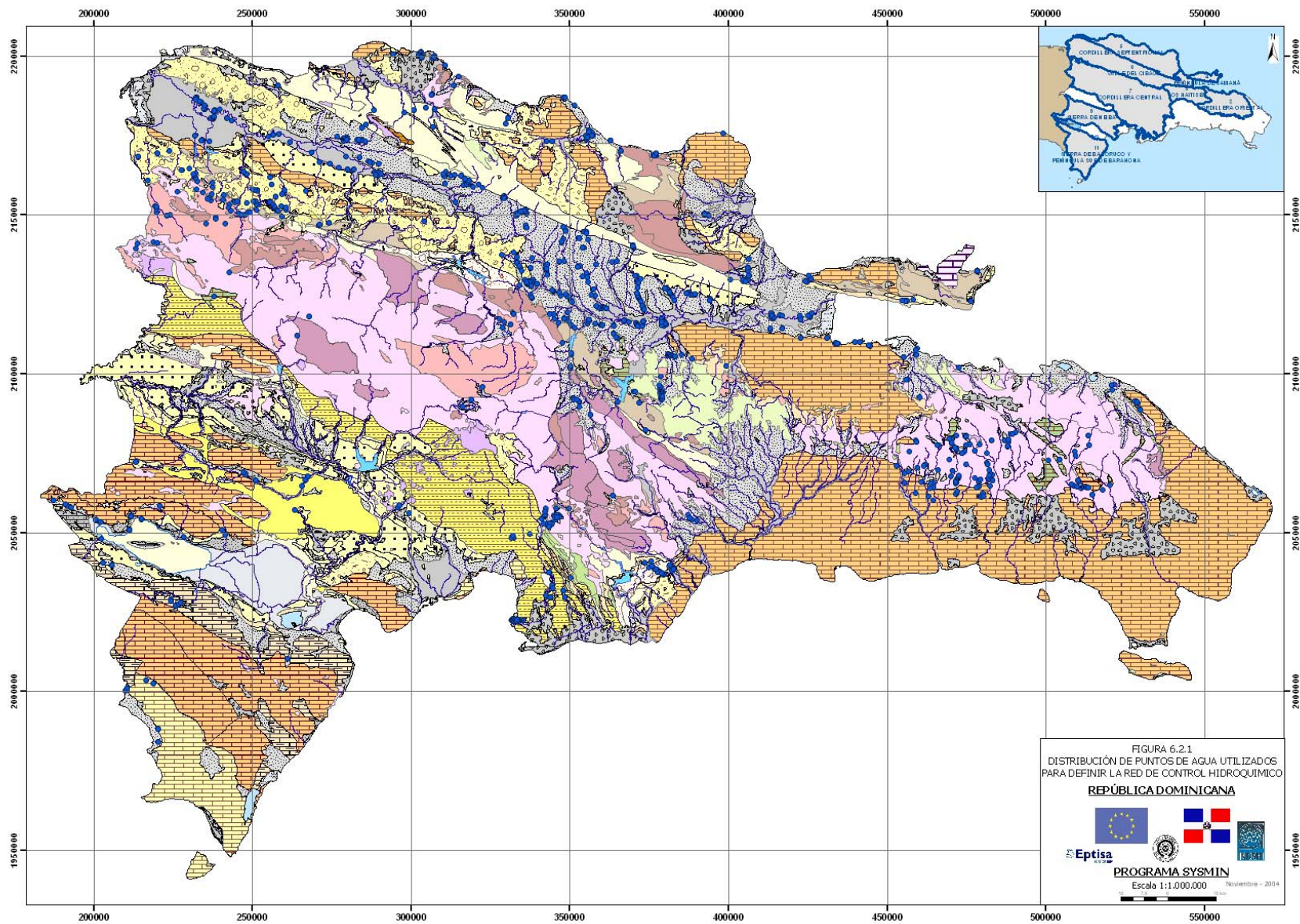


FIGURA 6.2.1
 DISTRIBUCIÓN DE PUNTOS DE AGUA UTILIZADOS
 PARA DEFINIR LA RED DE CONTROL HIDROQUÍMICO
REPÚBLICA DOMINICANA

PROGRAMA SYSMIN
 Escala 1:1.000.000
 Noviembre - 2004

En algunas unidades hidrogeológicas no se pudieron señalar puntos de control en zonas de interés porque se desconocía su ubicación exacta (la información disponible no estaba georreferenciada) o algunas de sus características constructivas, disponibilidad o equipamiento específicos. Así, quedaron sin definir los puntos correspondientes a la Cordillera Oriental en los valles de Tireo y Constanza, los Haitises en las zonas de descarga hacia el sur de la unidad, y la Península de Samaná, en el sector de las Terrenas.

Con respecto a los puntos de agua, hay que indicar que, por un lado, la densidad de puntos disponibles es muy elevada en el Valle del Cibao, donde se concentra el 41% del total de puntos (601 puntos inventariados en los que se dispone de valores de pH, conductividad o temperatura del agua), mientras que en Samaná y Los Haitises la explotación de aguas subterráneas es escasa y existen pocas captaciones.

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 los puntos de la red definitiva de control, que incluye una serie de modificaciones con respecto a la propuesta inicial.

Las modificaciones realizadas dieron lugar a la selección de 5 puntos de muestreo en los Haitises (que corresponden a descargas a través de lagunas y de ríos), y 2 puntos en Samaná, situados en el sector de las Terrenas.

Además de completar la red de control de calidad en los Haitises y Samaná, se modificó la propuesta de red de control, siguiendo las indicaciones de la Supervisión del Estudio (UTG). Así, se sustituyeron 5 puntos de control en el Valle del Cibao, por otros cinco situados en la Cordillera Central, dentro de la zona de Constanza, debido a la utilización agrícola intensiva que soporta esta unidad hidrogeológica.

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

En el cuadro 6.2.4. se incluye una relación de los puntos de control previstos inicialmente, así como los analizados en las campañas de muestreo.

Cuadro 6.2.4. Puntos de control previstos y muestreados en las campañas de muestreo.

Nº unidad hidrogeológica	Denominación	Nº de puntos de control previstos en los T. de Ref.	Nº de puntos de control seleccionados	Nº de puntos de control muestreados (1ª c)	Nº de puntos de control muestreados (2ª C)
2	Cordillera Oriental	25	25	27	29
3	Los Haitises	15	16	14	16
4	Samaná	15	11	11	13
5	Cordillera Septentrional	50	51	45	45
6	Valle del Cibao	100	95	99	102
7	Cordillera Central	15	21	18	21
9	Sierra de Neiba	25	25	26	25
11	Sierra de Bahoruco y Península sur de Barahona	15	16	16	15
Total		260	260	259	266

Los puntos de la red de control se seleccionaron con objeto de caracterizar las distintas unidades hidrogeológicas existentes.

La red incluye sectores de recarga, circulación y descarga, para analizar, en su caso, las diferencias composicionales que puedan existir entre los diferentes sectores.

En la selección de los puntos que constituyen la red de control hidroquímico se han considerado sus características (formación geológica, características piezométricas e hidroquímicas, relación con focos potenciales de contaminación, etc.), accesibilidad del punto, estado de las instalaciones (entubaciones, rejillas, bomba, reprofundizaciones, derrumbes o cegados, etc.), presencia de bomba o accesorios (tubería de impulsión, cables, etc.), existencia de largas conducciones o depósitos que dificulten la toma de muestras representativas, etc.

En la medida de lo posible se ha intentado que los puntos seleccionados no coincidan con los que forman parte de la red de control de piezometría de las aguas subterráneas, siguiendo las indicaciones de la UTG.

La red propuesta permite, dentro de lo posible, cubrir toda la zona de estudio de forma geográficamente homogénea, y:

- estudiar la incidencia que tienen distintas actividades en la calidad del agua subterránea (actividad industrial, agricultura, ganadería, etc.),

- analizar la relación composición química-litología

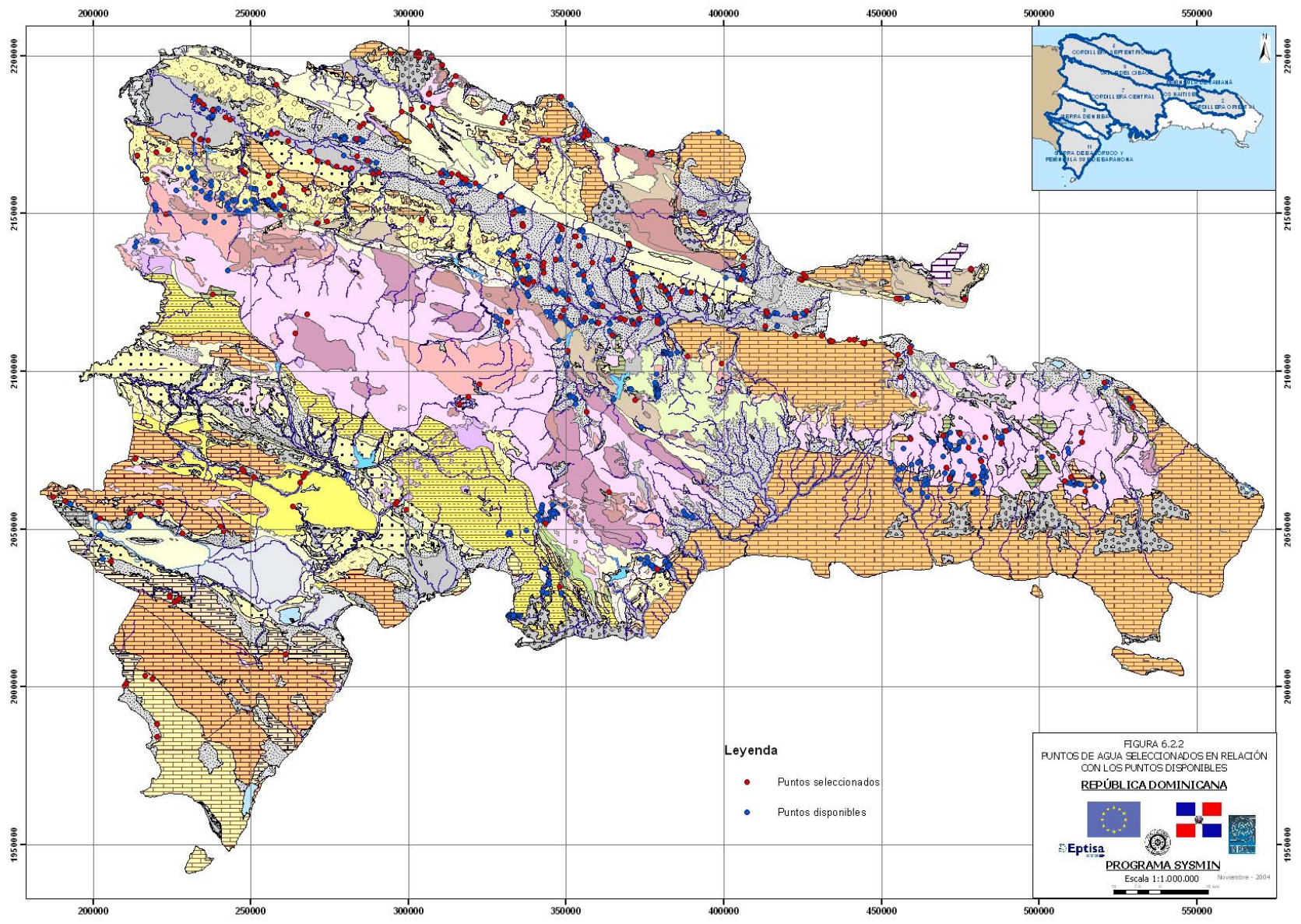
Por tipos de usos, la red contempla:

S	150 puntos de abastecimiento doméstico
S	6 puntos de abastecimiento a núcleos urbanos y otras actividades
S	2 puntos de abastecimiento y agricultura
S	7 puntos de abastecimiento y ganadería
S	1 punto de abastecimiento, agricultura e industria
S	27 puntos de agricultura
S	7 puntos de usos ecológicos
S	19 puntos de ganadería
S	2 puntos de ganadería e industria
S	1 punto de ganadería y agricultura
S	14 puntos de industria
S	11 puntos de turismo
S	6 sin especificar

En la figura 6.2.2. se puede observar la distribución espacial de los 260 puntos seleccionados en relación con los puntos considerados para la definición de la red de control hidroquímico (del orden de 1500) y en la figura 6.2.3. se observa la distribución espacial de los puntos de la red de control hidroquímico, en los que se han realizado análisis "in situ" y toma de muestras para análisis de laboratorio.

Los puntos de control aparecen con un número de orden correlativo, que coincide con los asignados a la primera campaña de muestreo, para facilitar la interpretación de los resultados.

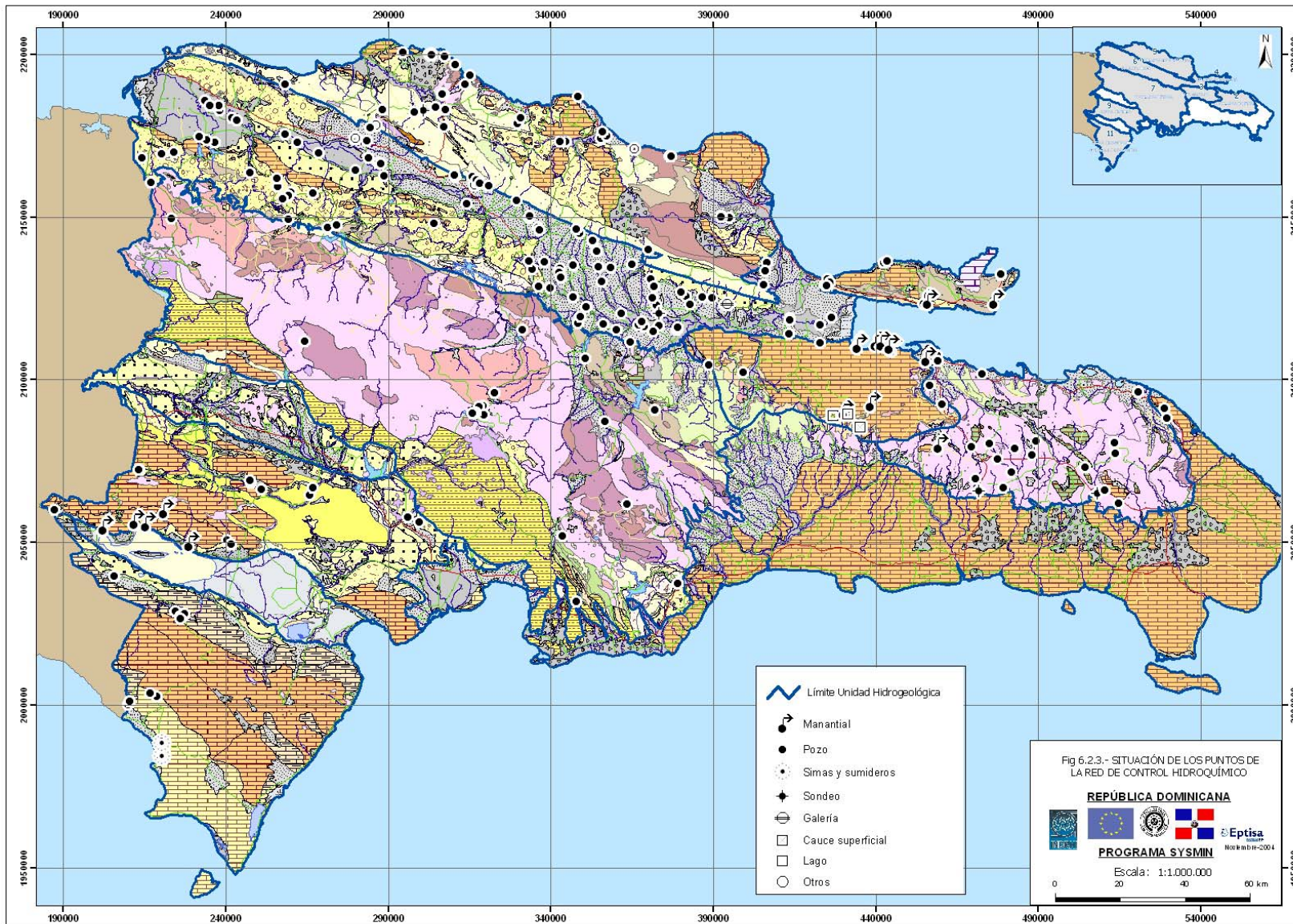
En el cuadro 6.2.5. se incluye la equivalencia de los números de orden asignados y los códigos de los puntos de agua, que contemplan hoja topográfica, octante y número dentro del octante.



- Legenda**
- Puntos seleccionados
 - Puntos disponibles

FIGURA 6.2.2
 PUNTOS DE AGUA SELECCIONADOS EN RELACION
 CON LOS PUNTOS DISPONIBLES
REPUBLICA DOMINICANA


PROGRAMA SYSMIN
 Escala 1:1.000.000 Noviembre - 2004



Cuadro 6.2.5. Equivalencia entre los números de orden correlativos asignados y los códigos de los puntos de agua muestreados.

Nº de orden asignado	Nº lab 1ª campaña de muestreo (*)	Nº lab 2ª campaña de muestreo (**)	Código	X (UTM)	Y (UTM)
1	1	38	6173340015	350682	2106679
3	3	228	6072110002	322783	2096103
4	4	234	6072140014	318055	2091922
4	4	236	6072140014	318055	2091922
5	5	37	6172450002	356724	2087175
5	5	233	6072140018	319203	2091267
6	6	229	6072140009	319659	2089349
7	7	230	6072140004	317074	2090144
8	8	231	6072140003	316403	2089814
9	9	232	6072140002	316056	2089844
10	10	235	6072140001	319253	2091971
11	11	9	6472310002	504555	2073195
12	12	10	6472320002	513705	2077582
13	13	11	6472320004	513450	2080700
14	14	12	6472340005	508248	2065230
15	15	13	6472350012	510627	2066031
16	16	14	6174420005	514863	2062120
17	17	15	6472140004_D	529785	2088357
18	18	17	6472430002	520753	2096391
19	19	16	6472110001	528830	2091305
20	20	262	6272140003	427050	2089150
21	21	261	6272150003	430067	2088917
22	22	260	6272150008	431519	2089553
23	23	257	6272150002	435248	2085454
23	23	258	6272150002	435248	2085454
24	24	259	6272120001	438355	2091635
25	25	102	6273120004	442631	2136004
26	26	101	6273130025	443666	2136522
27	27	26	6372420001	460390	2092640
27	27	27	6372420001	460390	2092640
28	28	20	6373450005	459041	2107665
29	29	19	6373350002	459245	2106020
30	30	18	6373360001	472830	2101957
31	31	22	6373350003	459300	2105958
32	32	5	6372210023	474938	2080357
33	33	2	6372210016	477667	2075820
34	34	6	6372220001	482967	2079065
35	35	7	6372220004	488140	2077050
36	36	8	6372220015	489501	2081204
37	37	3	6372240023	481920	2071555
38	38	4	6372240006	479444	2066866
39	39	1	6372360016	471803	2065983
40	40	23	6372360002	470856	2069662
41	41	25	6372330019	469632	2079526
42	42	24	6372320005	459318	2078698
43	43	28	6372420003	456627	2098256
44	44	30	6372210001	422925	2111330
45	45	31	6273230001	439910	2110050
46	46	33	6273250002	433959	2109898
47	47	32	6273250004	434371	2109530
48	48	36	6273230002	441646	2110090
49	49	34	62732	444789	2108716

Nº de orden asignado	Nº lab 1ª campaña de muestreo (*)	Nº lab 2ª campaña de muestreo (**)	Código	X (UTM)	Y (UTM)
50	50	29	6273260002	444181	2109140
51	51	21	6373340001	455328	2105280
52	52	76	6173150016	381646	2125816
53	53	77	6173150002	380199	2127038
54	54	58	6173110007	370782	2130996
55	55	59	6173140035	371880	2128758
56	56	61	6173140012	372584	2123023
57	57	62	6173140003	373439	2120485
58	58	74	6173150023	386791	2125403
59	59	78	6173160011	389749	2125198
60	60	79	6173160019	394255	2123227
61	61	75	6173150022	383083	2123164
62	62	85	6173430001	365037	2135482
63	63	55	6173420005	358450	2134531
64	64	54	6173420010	355745	2130373
65	65	53	6173420002	354783	2134791
66	66	52	6173410019	346913	2135407
67	67	51	6173410016	344625	2173268
68	68	50	6173410014	343062	2134391
69	69	48	6173410008	342804	2133189
70	70	47	6173410002	343110	2131465
71	71	49	6173410011	342848	2173237
72	72	73	6173210019	373311	2116687
73	73	72	6173210013	371510	2115070
74	74	71	6173210001	368836	2116489
75	75	69	6173330016	367176	2116874
76	76	83	6173330029	364659	2111686
77	77	68	6173330003	360346	2115393
78	78	67	6173320008	356227	2117148
79	79	65	6173310002	348410	2117453
80	80	70	6173330025	367999	2118095
81	81	82	6173330031	264347	2112030
82	82	80	6173220001	379002	2115479
83	83	81	6173220005	379098	2116242
84	84	60	6173140027	371446	2125299
85	85	63	6173260001	388745	2104742
86	86	64	6273340001	399413	2102479
87	87	66	6173310012	349277	2119417
88	88	45	6173440015	347011	2125601
89	89	46	6173440001	351037	2122576
90	90	84	6173460004	361842	2120604
91	91	40	6073160027	336485	2128847
92	92	43	6073130022	334266	2134032
93	93	44	6073120005	333506	2136707
94	94	42	6073130012	338243	2136402
95	95	39	6073160002	339820	2128398
96	96	109	6172140001	372164	2090872
96	96	110	6172140001	372164	2090872
97	97	111	6174350009	353009	2142685
98	98	112	6174350019	353107	2142776
99	99	113	6174350027	354300	2139700
100	100	115	6174340003	348904	2145149
101	101	114	6174340005	348050	2146400
102	102	221	6174420057	355716	2174603

Nº de orden asignado	Nº lab 1ª campaña de muestreo (*)	Nº lab 2ª campaña de muestreo (**)	Código	X (UTM)	Y (UTM)
103	103	223	6174420056	355663	2174196
104	104	222	6174420036	355566	2174304
105	105	224	6174420001	357247	2175003
106	106	220	6175350004	356082	2176287
107	107	219	6175310003	348501	2187150
108	108	225	6174430006_D	365732	2171057
109	109	226	6174110006	376790	2168836
110	110	227	6174110012	377230	2168814
111	111	103	6174230001	395056	2149943
112	112	104	6174230025	392784	2150373
113	113	105	6174230035	392583	2150242
114	114	92	6273140004	424480	2129238
115	115	94	6273110007	425319	2131015
115	115	94A	6273110007	425319	2131015
116	116	97	6373140001	476407	2122892
117	117	98	6373110001	478524	2132332
118	118	99	6373110002	478512	2132543
119	119	95	6373440005	454898	2123214
120	120	96	6373440001	455960	2122994
121	121	93	6273110002	426104	2129950
122	122	91	6273140003	425040	2129078
123	123	106	6273420003	406638	2136195
124	124	107	6273420004	406170	2133558
125	125	108	6273420026	405554	2129288
126	126	87	6273330027	413661	2119093
127	127	88	6273330032	413721	2118482
128	128	89	6073210032	422890	2117065
129	129	90	6073210037	426469	2119205
130	130	86	6273330023	413414	2114322
131	131	57	6174240013	370030	2140217
132	132	56	6174240014	370096	2140175
133	133	117	6074260002	336271	2146833
134	134	116	6074260005	336562	2146108
135	135	118	6074220028	333315	2149843
136	136	119	6074220029	333734	2150465
137	137	120	6074250023	329626	2155332
138	138	202	6075440001	294524	2200703
139	139	203	6075450001	302654	2200331
140	140	204	6075450020	303510	2200348
141	141	205	6075450024	303466	2200575
142	142	207	6075450035	303479	2199735
143	143	208	6075450007	303294	2199719
144	144	209	6075450033	303445	2199848
145	145	206	6075450030	303424	2200064
146	146	210	6075450043	307449	2199590
147	147	211	6075450044	307444	2199582
148	148	212	6075460002	310818	2197113
149	149	218	6075250001	329940	2178829
150	150	217	6075250008	330779	2180595
151	151	216	6075330005	315173	2193653
152	152	215	6975330003	313689	2190893
153	153	214	6075320004	306964	2188015
154	154	213	6075320005	306621	2187934
155	155	198	6075350009	301013	2182993

Nº de orden asignado	Nº lab 1ª campaña de muestreo (*)	Nº lab 2ª campaña de muestreo (**)	Código	X (UTM)	Y (UTM)
156	156	199	6075350008	300970	2182890
157	157	200	6075340001	298151	2182359
158	158	201	6075350001	304758	2183792
159	159	197	6075360002	307657	2183251
160	160	196	6075360001	307097	2177751
161	161	121	6074460006_D	316790	2160106
162	162	122	6074460030	310668	2162601
163	163	123	6074460008	310393	2162977
164	164	124	6074460002_D	315958	2162493
165	165	125	6074140019	317158	2161482
166	166	126	6074140016	318587	2160826
167	167	127	6074140013	318226	2160521
168	168	128	6074140021_D	321058	2159865
169	169	152	6074330001	314254	2154152
170	170	256	6074320004	304316	2148090
171	171	130	5974160005	287196	2166734
172	172	131	5974130004	283958	2168190
173	173	134	5974130022	283634	2173662
174	174	132	5975260003_D	286366	2178340
175	175	133	5975260002	284646	2177578
176	176	135	5974120003	280053	2164454
177	177	136	5974120005	279946	2174218
178	178	137	5974120006	274715	2166204
179	179	138	5974110004	268803	2169706
180	180	139	5974430009	262280	2173120
181	181	140	5974430003	258443	2175565
182	182	143	5975340016	242090	2180565
183	183	141	5975340019	243540	2179811
183	183	142	5975340019	243540	2179811
184	184	145	5975340002	238190	2182818
185	185	144	5975340001	238020	2184416
186	186	146	59753427	288430	2183109
187	187	150	5975330005	258312	2190916
188	188	148	5875260002	233630	2185922
189	189	147	5875260012	235180	2184480
190	190	255	5874130004	236660	2173176
191	191	254	5874130012	234330	2173740
192	192	253	5874130016	232077	2174944
193	193	252	5874120016	224152	2170180
194	194	251	5874110001	220344	2169611
195	195	250	5874110016	217216	2160816
196	196	249	5874110011	214315	2168391
197	197	248	5874220003	223340	2149774
198	198	247	5974450008	247450	2163815
199	199	245	5974330014	256168	2159586
200	200	246	5974450001	255770	2161949
201	201	243	5974330030	259400	2149536
203	203	240	5974330004	260231	2157787
204	204	239	5974210003	267039	2157550
205	205	241	5974330007	259458	2156765
206	206	242	5974330008	257551	2155814
207	207	237	5974240001	271443	2146978
208	208	238	5974250001	274313	2147563
209	209	129	5974160006	287940	2166586

Nº de orden asignado	Nº lab 1ª campaña de muestreo (*)	Nº lab 2ª campaña de muestreo (**)	Código	X (UTM)	Y (UTM)
210	210	151	5974160010	288954	2162813
211	211	41	6073220022	331460	2115550
212	212	165	5971110001	265852	2064709
213	213	166	5971110004	363636	2061780
214	214	163	5972240006	266837	2066877
215	215	164	5972240004	266937	2066803
217	217	158	5872240001	213649	2072460
218	218	159	5872240002	213462	2072405
219	219	160	5972350003	247856	2068347
220	220	161	5972350004	247537	2069085
221	221	162	5972350001	251202	2066463
222	222	156	6071410002	296040	2057954
224	224	155	6071420001	299590	2056257
225	225	182	5870120008	224614	2028950
226	226	183	5870130001	227146	2027516
228	228	184	5870120005	226240	2027266
229	229	185	5870120004	226626	2027309
230	230	181	5870130003	227492	2028105
231	231	177	5871460003	202371	2053357
232	232	178	5871460001	202219	2053433
235	235	180	5871410005	187436	2060152
237	237	187	5870330009	205780	2039726
239	239	191	58702	218889	2002676
240	240	192	5870220001	216771	2003709
241	241	190	5869120003	220390	1988291
242	242	189	5869120002	220427	1984309
243	243	188	5869120001	220427	1988335
244	244	193	5870140002	210164	2000240
245	245	194	5870240001	210631	2001094
247	247	170	5971440003	240597	2050864
248	248	171	5871160001	228617	2048548
249	249	172	5871120001	220931	2058476
250	250	173	5871140002	215252	2054474
251	251	174	5871140004	211857	2055325
252	252	175	5871140008	211918	2055296
253	253	176	5871140007	211931	2055325
254	254	169	5971440001	241734	2049457
255	255	154	6171440018	343724	2052036
256	256	153	6171340006	348064	2031802
257	257	263	6171220017	379201	2037439
43A	43A	28A	6372420004	456627	2098256
M2		35	6273M	441587	2110327
M1		100	6373 MS	478163	2133437
188A		149	5875260015(A)		
258		157	6071410001	295460	2058082
259		167	5972240001	268639	2068700
260		168	5971110008	263547	2057205
261		179	5871410003	190973	2058983
227	227	186	5870120002	226225	2026678
M3		195	5869-M	218704	1983822
262		244	5974330028	260720	2152500
194A		251-A	5874110001A		

(*) Noviembre de 2003 a enero de 2004

(**) Abril a junio de 2004-09-27

6.3. CAMPAÑAS DE MUESTREO HIDROQUÍMICO Y REALIZACIÓN DE ANÁLISIS "IN SITU"

6.3.1. Campañas de muestreo hidroquímico

A lo largo del Proyecto se han llevado a cabo dos campañas de muestreo y realización de análisis "in situ" en los puntos que constituyen la red de control de calidad del agua subterránea.

En general se han seleccionado puntos en los que es posible tomar muestras de agua representativas de las condiciones existentes en el acuífero que explotan, recogidas tras un bombeo previo que permita renovar el agua almacenada en el propio pozo o en sus inmediaciones (Fotos 6.3.1. y 6.3.2.).



Foto 6.3.1



Foto 6.3.2.

En la selección de los puntos que constituyen la red de control se le ha dado prioridad a los que disponen de equipo de bombeo (Foto 6.3.3.), y en aquellos en los que el agua se puede muestrear antes de pasar por un depósito de regulación o de cloración en los que cambia la composición inicial del agua como consecuencia de las reacciones químicas que se producen (Foto 6.3.4.).



Foto 6.3.3.



Foto 6.3.4.

En otros casos, los puntos de agua de la red disponen de bomba manual para la extracción del agua subterránea (Fotos 6.3.5. y 6.3.4.).



Foto 6.3.5.



Foto 6.3.6.

Durante la primera campaña de muestreo ha sido necesario sustituir o anular alguno de los puntos inicialmente propuestos, ante la imposibilidad de su muestreo (negativa de los propietarios, cortes de energía, sellado de la instalación, cegado del pozo, etc.).

Los cortes de energía o averías de bombas obligaron a la utilización de tomamuestras tipo bayler para la extracción del agua subterránea en 39 puntos en la primera campaña. Esta situación se agravó durante la segunda campaña de muestreo, hecho que ha obligado a la utilización de los tomamuestras en un mayor número de puntos (Fotos 6.3.7. y 6.3.8.).



Foto 6.3.7



Foto 6.3.8.

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

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

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

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

6.3.2. Determinaciones realizadas *in situ*

Existen una serie de constituyentes inestables que deben determinarse en campo para tener una información representativa de las condiciones existentes en el acuífero.

Durante la toma de muestras (Fotos 6.3.9. y 6.3.10.), se han medido una serie de parámetros fisico-químicos, que por su carácter inestable pueden variar drásticamente del campo al laboratorio:



Foto 6.3.9.



Foto 6.3.10.

Conductividad

Esta medida se ha realizado con un conductímetro de HANNA, modelo HI-98304-DIST4, equipado con compensador de temperatura, que proporciona los resultados directamente en mS/cm a 25 °C, con una resolución de 0.01 mS/cm.

Temperatura

Se ha medido la temperatura del agua en el punto de salida con un termómetro de mercurio de precisión 0.5 °C, una vez establecido el equilibrio térmico entre éste y el agua. Además se han tomado medidas de la temperatura del aire en el punto de muestreo.

pH

La medida de pH es imprescindible para controlar cómo se comporta el equilibrio carbonatado en el medio acuoso, ya que el CO₂ se equilibra rápidamente con la atmósfera, variando así las condiciones del sistema.

Se empleó para su determinación un medidor digital de pH de HANNA, modelo HI-98107, de fácil manejo y calibración, provisto de compensación de temperatura, con resolución de 0.01 unidades de pH.

La medida se realizó después de enjuagarlo con el agua a muestrear, e introducirlo en la muestra, anotando la lectura una vez establecido el equilibrio térmico y estabilizado el valor de la medida.

6.3.3. Toma de muestras, conservación y transporte

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).

Se evitó en lo posible la toma de muestras en aquellos sondeos o pozos en los que el agua puede no ser representativa del acuífero (condiciones de estanqueidad, depósitos o conducciones prolongadas, etc.), pero en algunos casos, el interés de alguno de los puntos obligó al muestreo incluso en condiciones desfavorables.

Las botellas utilizadas para la recogida de muestras de agua fueron, en el caso de mayoritarios y metales pesados, de polietileno. Antes de llenarlas se enjuagaron varias veces con el agua del punto a muestrear, y se llenaron completamente, evitando que quedasen burbujas de aire.

Para el análisis de constituyentes mayoritarios se tomaron 2000 ml y para la determinación de metales pesados otro envase de 500 ml.

Para el análisis de plaguicidas se tomaron muestras en botellas de vidrio ámbar de 0.5 litros de capacidad, en cada punto de muestreo seleccionado se llenaron dos botellas. Por último, para el análisis bacteriológico se utilizaron envases de vidrio esterilizados de 125 ml de capacidad.

Como método de preservación, todos los envases se mantuvieron refrigeradas en neveras portátiles hasta su entrega en el laboratorio, realizada en las 24-48 siguientes a la toma (excepto las muestras para análisis de plaguicidas y bromuros que se enviaron por mensajería desde República Dominicana hasta el laboratorio de análisis en Madrid (España).

6.3.4. Resultados obtenidos

6.3.4.1. Primera campaña

Los resultados analíticos obtenidos en los análisis "in situ" de los parámetros inestables: conductividad, temperatura y pH se recogen en el Anexo 5.2.

La conductividad de las muestras de agua analizadas está comprendida entre 90 y 13000 microS/cm. El valor más alto corresponde a la muestra nº 178, procedente de un pozo situado en el paraje denominado El Cerro, dentro del municipio de la Yagua, al noroeste del Valle del Cibao. El valor mínimo se registra en la muestra nº 43A, tomada en el paraje denominado Los Solares (municipio de Nisibon), en el sector oeste de la Cordillera Oriental.

En el caso de la temperatura, las aguas de la zona de estudio tienen valores que oscilan entre 19 y 29 °C, con un valor mínimo en la muestra nº 3, procedente de un pozo surgente muestreado en la Cordillera Central, en el Valle de Constanza.

El valor máximo se registra en las muestras números 94, 167 y 199, correspondientes a puntos muestreados en los municipios de La Vega, San Francisco Arriba y Santiago Rodríguez, dentro del Valle del Cibao, y en la muestra número 35 del municipio del Seybo, en la Cordillera Oriental.

Por último, los valores de pH oscilan entre 4.2 y 9.2. Los valores extremos corresponden a puntos de agua situados en la Cordillera Oriental, y se registran en las muestras números 43 (municipio de Nisibon) y número 37 (municipio de El Seybo), respectivamente

6.3.4.2. Segunda campaña

A continuación se incluyen algunos datos en relación con los resultados analíticos obtenidos en los análisis "in situ" de los parámetros inestables: conductividad, temperatura y pH, y en el Anexo 5.2. se recogen los valores correspondientes a cada punto de muestreo.

La conductividad de las muestras de agua analizadas está comprendida entre 80 y 12860 microS/cm. Los valores extremos se registran en los mismos puntos de agua en que se obtuvieron durante la primera campaña realizada entre noviembre de 2003 y enero de 2004.

El valor más alto corresponde a la muestra nº 178, procedente de un pozo situado en el paraje denominado El Cerro, dentro del municipio de la Yagua, al noroeste del Valle del Cibao. El valor mínimo se registra en la muestra nº 43A, tomada en el paraje denominado Los Solares (municipio de Nisibon), en el sector oeste de la Cordillera Oriental.

En el caso de la temperatura, las aguas de la zona de estudio tienen valores que oscilan entre 18 y 31 °C. Por último, los valores de pH oscilan entre 5 y 8.8.

6.4. ANÁLISIS DE LABORATORIO

En el Anexo 5.3. de Hidroquímica se recogen los resultados analíticos de las muestras de agua correspondientes a las campañas de muestreo realizadas.

En esta memoria se presenta la interpretación de los resultados, con el tratamiento numérico y gráfico de los datos.

6.4.1. 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). En los puntos de la red de control de la intrusión se ha determinado además la concentración de bromuros durante la segunda campaña de muestreo.

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

En 17 puntos se han determinado algunos metales pesados (cromo total, cromo hexavalente, hierro y manganeso). Y, por último, en 9 puntos se han llevado a cabo análisis bacteriológicos (coliformes totales, coliformes fecales, mesófilos y pseudomonas).

6.4.2. 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), excepto los análisis de plaguicidas y bromuros, que se realizaron en el laboratorio de análisis y control AYCON, S.A. en Madrid (España).

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).

Parámetro	Método Analítico	Unidad	Límite de Detección	Equipos Utilizados	Lab
Alcalinidad Total	Titulometría	mg/l	0.05 mg/l		INDRHI
Dureza Total	Titulometría EDTA	mg Ca CO ₃ /l	1 mg/l		INDRHI
Calcio	Titulometría EDTA	mg/l	0.4 mg/l		INDRHI

Parámetro	Método Analítico	Unidad	Límite de Detección	Equipos Utilizados	Lab
Magnesio	Titulometría EDTA	mg/l	1.0 mg/l		INDRHI
Cloruro	Titulometría	mg/l	0.2 mg/l		INDRHI
Carbonato	Titulometría	mg/l	0.5 mg/l		INDRHI
Bicarbonato	Titulometría	mg/l	0.		INDRHI
Cond. Eléctrica	Conductivímetro	µS/cm	0.1µS/cm	Conductivímetro	INDRHI
PH	Electrometría	Unidad		pH-Meter	INDRHI
Nitrato	Colorimetría	mg/l	0.005mg/l	Hach DR-2000	INDRHI
Nitrito	Colorimetría	mg/l		Hach DR-2000	INDRHI
Potasio	Absorción Atómica Emisión	mg/l	0.005 mg/l	Abs. Atómica, (Shimatsu 650)	INDRHI
Sodio	Absorción Atómica, Emisión	mg/l	0.002 mg/l	Abs. Atómica, (Shimatsu 650)	INDRHI
Sulfato	Colorimetría	mg/l	2 mg/l	Espectrofotómetro (Génesis 5)	INDRHI
Fósforo Total	Colorimetría	mg/l	0.01 mg/l	Espectrofotómetro (Génesis 5)	INDRHI
Orto Fosfato	Colorimetría	mg/l	0.01 mg/l	Espectrofotómetro (Génesis 5)	INDRHI
Amonio	Neslerización Directa	mg/l	0.5 a 6 mg/l	Espectrofotómetro (Génesis 5)	INDRHI
Sílice Reactiva	Colorimétrico	mg/l Si O ₂	1 mg/l	Espectrofotómetro (Génesis 5)	INDRHI
STD	Evaporación	mg/l	1,000 mg/l	Baño de Maria	INDRHI
Coliformes Totales	NMP (tubos múltiples)	NMP/100ml	<2.2	Incubadora	INDRHI
Coliformes Fecales	NMP (tubos múltiples)	NMP/100ml	<2.2	Incubadora, baño de Maria	INDRHI
Pseudomonas	Fermentación en Tubos M.	Ausencia/ presencia		Incubadora	INDRH
Aerobios Mesófilos	Conteo de Placas	UFC/ml	2 mg/l	Incubadora	INDRH
Cromo Hexavalente	Colorimetría	mg/l	0.005 mg/l	Espectrofotómetro (Génesis 5)	INDRH
Cromo Total	Colorimetría	mg/l	0.005 mg/l	Espectrofotómetro (Génesis 5)	INDRH
Manganeso	Colorimetría	mg/l	0.008 mg/l	Espectrofotómetro (Génesis 5)	INDRH
Hierro	Colorimetría	mg/l	0.008 mg/l	Espectrofotómetro (Génesis 5)	INDRH

Por su parte, la metodología aplicada en AYCON para el análisis de los plaguicidas se ha ajustado a los métodos indicados a continuación:

Plaguicidas organoclorados: EPA 608 GC/ECD

Plaguicidas organofosforados: EPA 507 GC/NPD

Triazinas: EPA 8270 GC/MS

Las determinaciones de bromuros se han realizado por valoración con tiosulfato, previa oxidación a bromato en el laboratorio AYCON.

6.4.3. Control de calidad analítica

El control de la calidad analítica se ha llevado a cabo a partir de:

- cálculo del error analítico
- estudio de los resultados obtenidos en muestras duplicadas

6.4.3.1. Cálculo del 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 0.07 y 119.38 % en la primera campaña y entre 0.01 y 32.12 % en la segunda (Anexo 5.4). El error admisible depende de la concentración y del tipo de agua, pero a título indicativo puede establecerse (modificado de Anderson, 1966, pág. 54, en Custodio y Llamas, 1983, pág. 223):

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

Se observa que los errores son mayores en los análisis correspondientes a la primera campaña de muestreo, en que llegaron a superar el 100 % en algunas muestras. En la 1ª campaña cabe destacar aquellas muestras en las que el error analítico supera el 15 % y presentan valores de conductividad mayores de 200 microS/cm. Se trata de las muestras números 4 (18 %), 7 (20 %), 37 (16%), 69 (19 %), 139 (15 %), 177 (18 %), 202 (114 %), 221 (119 %) y 242 (23 %).

Por su parte, en la segunda campaña los errores han disminuido considerablemente, con un valor máximo de 32.12 % en la muestra nº 17.

6.4.3.2. Muestras duplicadas

Además del cálculo del error analítico, se han enviado a los laboratorios de análisis una serie de muestras duplicadas, con código diferente, para comprobar la calidad de los resultados obtenidos.

Así, durante la primera campaña de muestreo se tomó una muestra duplicada (cuadro 6.4.1.) y en la segunda campaña de muestreo se enviaron 6 muestras duplicadas (cuadro 6.4.2.).

Los resultados indican que, en general, los resultados proporcionados presentan un pequeño margen de variación, especialmente en aquellos constituyentes que experimentan procesos modificadores (reacciones de disolución-precipitación, desgasificación, oxido-reducción, etc). Así, las mayores variaciones se producen en el valor de pH o la concentración de bicarbonatos.

Para el tratamiento posterior a que se someten los resultados analíticos de las muestras duplicadas se han incorporado únicamente aquellas que presentan un error analítico más bajo en valor absoluto (233 en la primera campaña, y 236, 257, 26, 109, 141 en la segunda campaña).

Cuadro 6.4.1. Duplicados (primera campaña)

No lab 1ª c	Código	Fecha de Muestreo	CE (µS/cm)	PH	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	Na (mg/l)	K (mg/l)	CO3 (mg/l)	HCO3 (mg/l)	Cl (mg/l)	SO4 (mg/l)	NO3 (mg/l)	NO2 (mg/l)	NH4 (mg/l)	Error
233	5871410002	22/01/2004	555	6,9	71	16	13	5,0	0	293	26	7	9	0,03	<LD	-4.51
234	69790004	22/01/2004	555	7,0	69	20	12	5,1	0	305	28	8	7	0,01	<LD	-5.88

Cuadro 6.4.2. Duplicados (segunda campaña)

Nº orden Asignado	No. Lab, 2ª camp	Código	Fecha de Muestreo	CE (µS/cm)	pH	Ca	Mg	Na	K	HCO3	Cl	SO4	NO3	NO2	NH4	Error
4	234	6072140014	04/06/2004	1183	7,0	122,2	50,8	22,3	0,6	262,3	73,1	59,0	200	0,02	<LD	4,08
4	236	6072140014	04/06/2004	1196	7,1	122,2	50,8	29,2	0,8	256,2	75,6	61,0	220	0,09	0,06	3,72
23	257	6272150002	10/06/2004	314	7,0	47,0	10,2	14,0	2,4	195,2	13,8	1,4	10	<LD	<LD	2,09
23	258	6272150002	10/06/2004	314	7,8	47,0	6,7	4,1	2,4	170,8	12,1	1,9	2	0,00	<LD	-2,25
27	26	6372420001	29/04/2004	500	7,3	79,8	7,4	8,3	2,3	262,3	19,2	2,9	20	0,01	<LD	-4,07
27	27	6372420001	29/04/2004	500	7,4	75,2	9,2	8,7	2,3	262,3	19,2	2,4	24	0,04	<LD	-6,27
96	109	6172140001	14/05/2004	124	6,0	5,8	8,0	6,2	0,6	48,8	12,8	2,9	12	0,01	<LD	-13,85
96	110	6172140001	14/05/2004	123	6,0	5,8	8,0	6,4	0,8	48,8	14,6	1,9	12	0,02	<LD	-14,75
183	141	5975340019	20/05/2004	2810	7,3	67,2	61,1	437,0	2,7	488,0	421,0	549,6	12	0,23	0,16	-13,78
183	142	5975340019	20/05/2004	2810	7,3	63,2	63,4	455,9	2,0	512,4	481,0	550,1	13	0,21	0,10	-17,44

L.D.: Límite Detección

6.5. RESULTADOS OBTENIDOS

A continuación se incluye la interpretación global de los resultados analíticos proporcionados por los laboratorios de análisis, para tener una información general de la tipología existente en cuanto a facies hidroquímicas y problemas detectados.

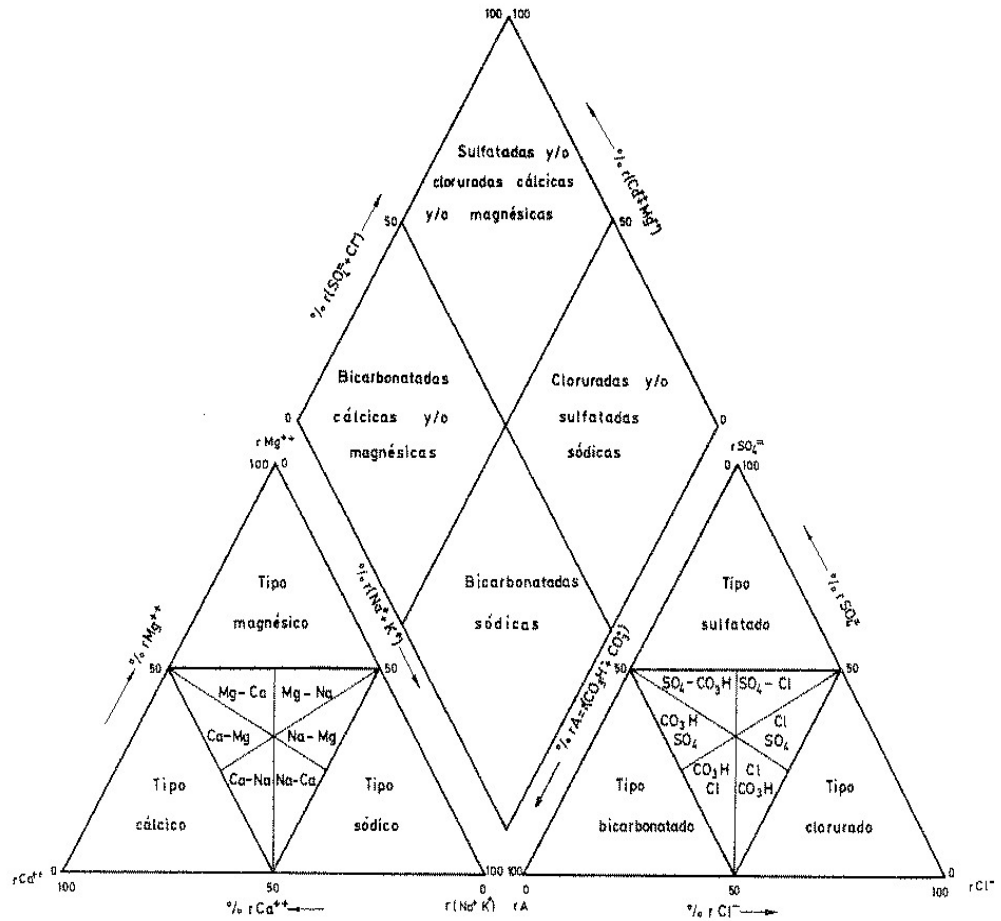
En las memorias elaboradas para cada unidad hidrogeológica se trata de forma independiente la situación en los distintos acuíferos y la influencia de distintos factores y fenómenos modificadores en la composición del agua subterránea.

Los datos de análisis químicos de aguas subterráneas se someten 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.

Entre los gráficos utilizados para la caracterización general se encuentra el diagrama triangular de Piper, que permite clasificar los tipos de aguas analizadas con respecto a los iones mayoritarios presentes, calculando previamente los porcentajes en que se encuentra cada ion (concentración expresada en meq/l). En la figura 6.5.1. se incluyen los tipos de aguas deducidas a partir de un diagrama triangular de Piper.

Figura 6.5.1. Tipos de aguas deducidas de un diagrama triangular de Piper (Custodio y Llamas, 1983)



6.5.1. Caracterización hidroquímica general

Las aguas analizadas presentan una mineralización que varía desde baja a elevada, con conductividades que oscilan entre 103 y 14350 microS/cm en la primera campaña (entre 55 y 1370 microS/cm en la segunda).

En el caso de los aniones, las concentraciones de bicarbonatos tienen un margen de variación que oscila entre 6 y 1305 mg/l de HCO_3^- en la primera campaña (entre 6 y 1342 en la segunda); los sulfatos varían entre 1 y 3756 mg/l de $\text{SO}_4^{=}$ en la primera campaña (entre 0 y 1873 en la segunda) y, los cloruros oscilan entre 4 y 2990 mg/l de Cl^- en la primera campaña (entre 7 y 3020 en la segunda).

En cuanto a los cationes, el calcio presenta un rango de variación que oscila entre 2 y 512 mg/l de Ca^{++} en la primera campaña (entre 1.6 y 462 en la segunda); el sodio, por su parte, varía entre 2 y 1890 mg/l de Na^+ en la primera campaña (entre 1.8 y 1320 en la segunda); el potasio tiene un margen de variación comprendido entre 0 y 152 mg/l de K^+ en la primera campaña (entre 0 y 118 en la segunda) y el magnesio se encuentra en concentraciones comprendidas entre 2 y 706 mg/l de Mg^{++} en la primera campaña (entre 0.8 y 760 en la segunda).

En la figura 6.5.2. se incluye el diagrama de Piper correspondiente a todas las aguas subterráneas analizadas, que permite clasificar a las muestras atendiendo a los aniones y cationes predominantes.

En las figuras 6.5.3. y 6.5.4. se han representado de forma diferenciada las muestras correspondientes a cada una de las campañas de control realizadas.

De forma global se observa que tanto en lo que se refiere a los aniones, como a los cationes, existe una gran variación composicional, desde términos puros (bicarbonatados, sulfatados, clorurados, cálcicos, sódicos o magnésicos), hasta otros, mezcla entre dos o más términos aniónicos o catiónicos.

Figura 6.5.2. Diagrama de Piper de las aguas subterráneas analizadas (2003-2004)

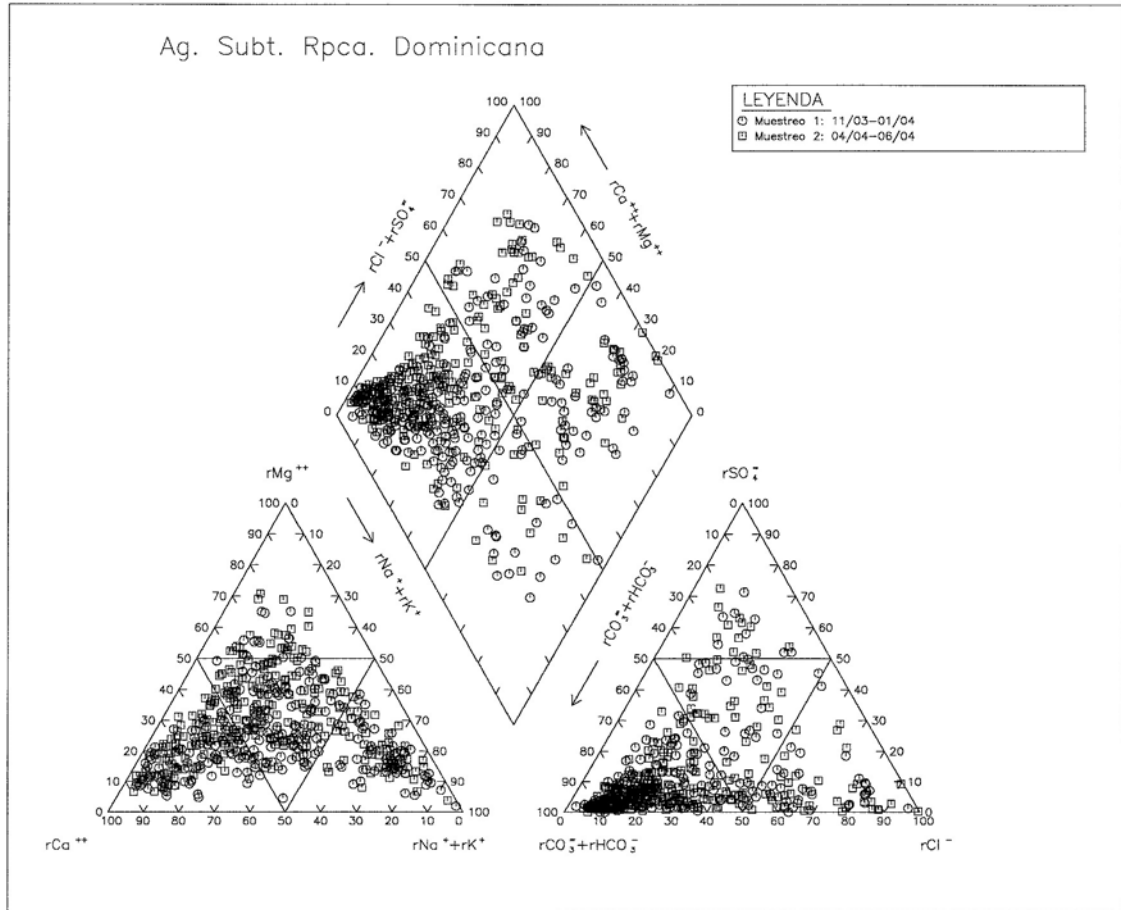


Figura 6.5.3. Diagrama de Piper (primera campaña)

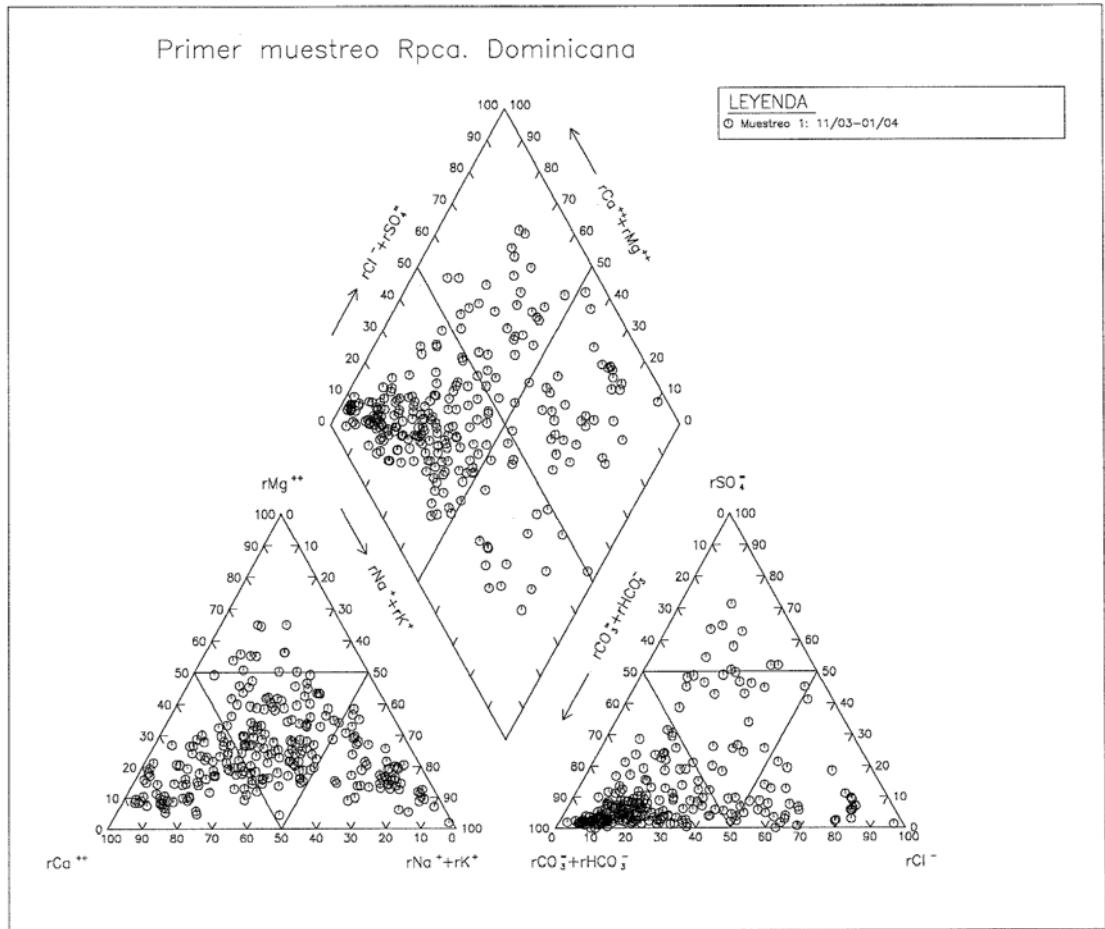
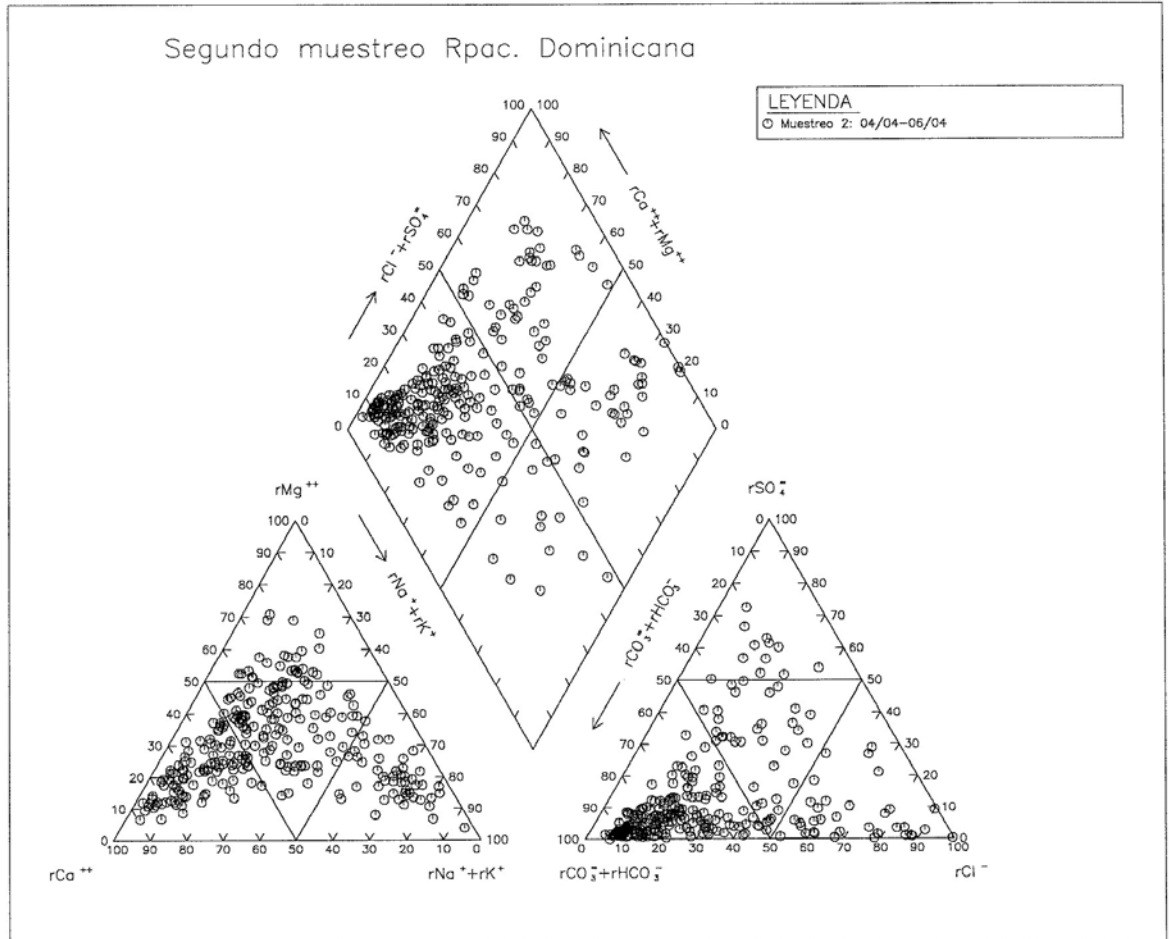


Figura 6.5.4. Diagrama de Piper (segunda campaña)



6.5.2. Distribución espacial de facies hidroquímicas

Para estudiar la distribución espacial que presentan las aguas subterráneas analizadas, se elaboró un plano de distribución de los valores de conductividad en las unidades hidrogeológicas consideradas, que se adjuntó en el tercer informe trimestral (marzo, 2004). En el presente informe se incluye un plano de distribución de facies hidroquímicas (Plano 10.).

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.

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

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

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

6.5.3. Clasificación 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 las figuras 6.5.5. y 6.5.6. se presenta la clasificación de las aguas analizadas para usos agrícolas, correspondiente a cada una de las campañas realizadas, según la clasificación del U.S. Salinity Laboratory Staff (S.A.R.). Se trata de aguas con peligro de salinización bajo (C1), medio (C2), alto (C3) o muy alto (C4) y de alcalinización bajo (S1), medio (S2), alto (S3) o muy alto (S4).

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

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

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

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

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

Con respecto al peligro de alcalinización del suelo, las aguas de la clase S1 son aguas con contenidos bajos 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 S2 son aguas de concentración media en sodio. Pueden representar un peligro en condiciones de lavado deficientes, en terrenos de textura fina con elevada capacidad de cambio catiónico si no contienen yeso.

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.

Las aguas de la clase S4 son aguas de concentraciones muy altas en sodio. En general no son adecuadas para riego.

Figura 6.5.5. Clasificación de las aguas para riego según el procedimiento del U.S. Salinity Laboratory Staff (primera campaña)

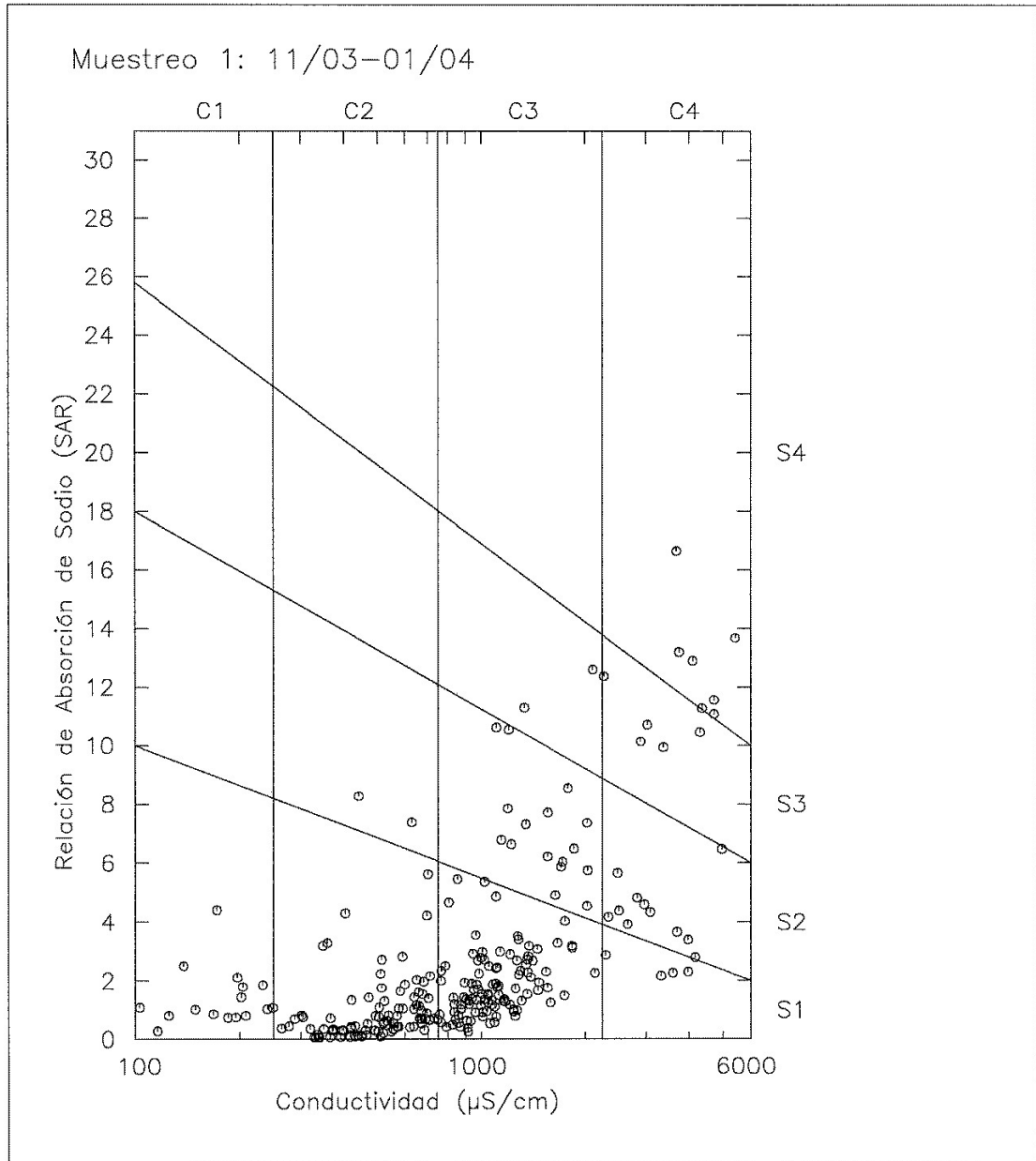
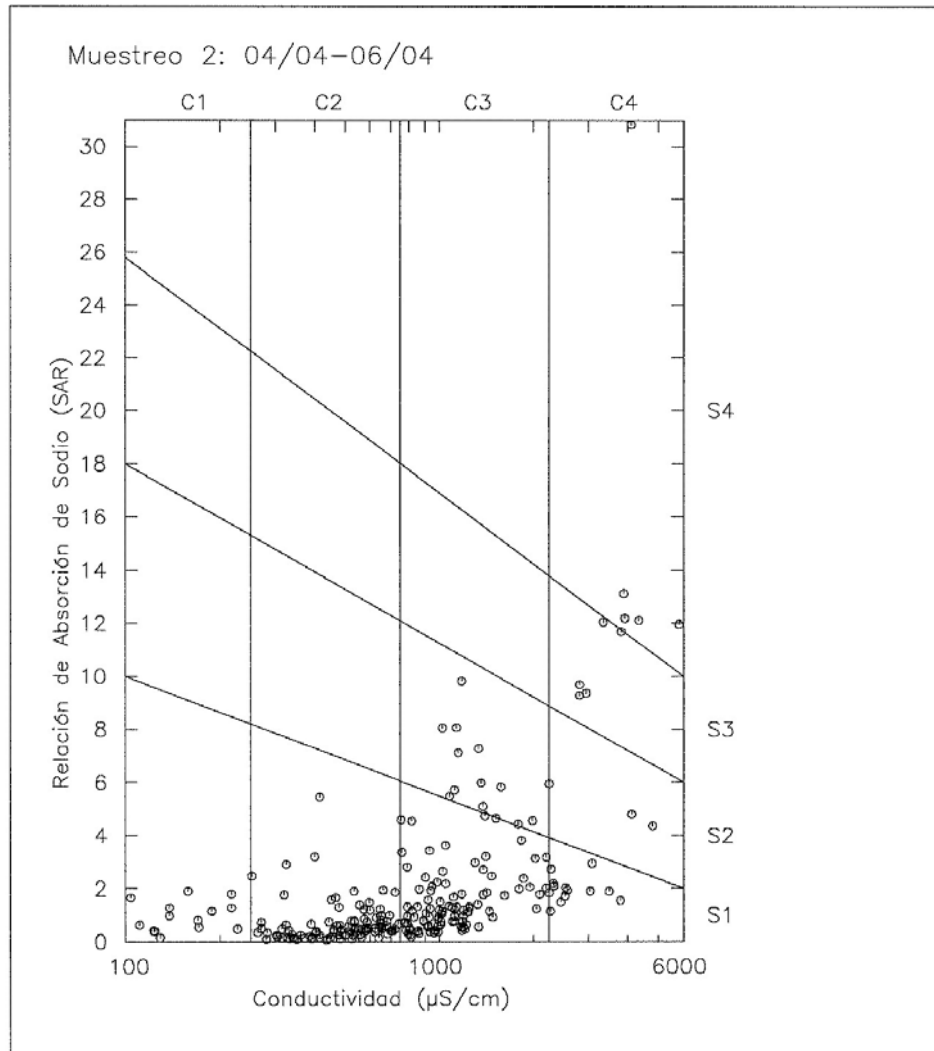


Figura 6.5.6. Clasificación de las aguas para riego según el procedimiento del U.S. Salinity Laboratory Staff (segunda campaña)



6.6. CALIDAD Y CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS

6.6.1. Aptitud de las aguas para abastecimiento

La composición de las aguas subterráneas permite estudiar su posible utilización para abastecimiento, industria, ganadería, agricultura, fines recreativos, etc., dependiendo de las concentraciones en que se encuentran los constituyentes presentes (disueltos o en suspensión). Las características exigidas son mucho más restrictivas en las aguas que se destinan para abastecimiento humano.

Para analizar la aptitud de las aguas analizadas para abastecimiento se ha llevado a cabo un estudio de las normas internacionales al respecto.

Existen legislaciones relacionadas con las aguas de consumo humano en los distintos países, que sirven para determinar las responsabilidades de los distintos sectores involucrados en la producción y distribución del agua potable o agua de bebida (términos equivalentes), de su muestreo y de su control.

Los países cuentan asimismo, con reglamentaciones que definen qué se entiende por agua potable; es decir, los patrones que debe seguir para que la misma sea inocua para la salud humana. Dentro de esas reglamentaciones hay una específica que se denomina "Norma de Calidad de Agua de bebida", en la que se establecen qué sustancias pueden estar presentes en el agua y las concentraciones máximas permisibles que no signifiquen riesgo para la salud.

No existe ningún país que no considere como herramienta principal para la confección y actualización periódica de sus Normas Nacionales, a las Guías OMS para la calidad del Agua Potable, que se actualizan aproximadamente cada doce años. En muchos casos (Bahamas, Haití, Jamaica, etc), incluso se adoptan los valores guía de la OMS como valores específicos para sus Normas Nacionales.

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

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

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

En el cuadro 6.6.1. se incluyen los límites establecidos para una serie de parámetros (físicos, químicos y bacteriológicos) en las normativas indicadas. Los límites considerados se refieren a la última actualización realizada en cada caso.

Cuadro 6.6.1. Normas internacionales para la calidad del agua de bebida. EPA (2002) y Legislación vigente en España (2004).

**Normas internacionales para la calidad del agua de bebida.
Biblioteca Virtual Salud y Ambiente (BVSA). EPA**

Parámetro	Unidades	OMS 1995 (*) Valores guía	República Dominicana 1980 (*) NORDOM	España 2003 (**)
Microbiológicos				
Coli fecales o E. Coli	UFC/100 ml	0	0	0
Coliformes totales	UFC/100 ml	0	-	0
Bact. Heterotróficas	UFC/ml	-	-	-

Químicos de importancia para la salud				
Inorgánicos				
Antimonio	mg/l	0,005	-	0,01
Arsénico	mg/l	0,01	0,05	0,05
Bario	mg/l	0,7	-	0,1
Boro	mg/l	0,3	-	1
Cadmio	mg/l	0,003	0,01	0,005
Cianuro	mg/l	0,07	0,1	0,05
Cobre	mg/l	2	1,5	3
Cromo	mg/l	0,05	0,05	0,05
Fluoruro	mg/l	1,5	1,7	1,5
Manganeso	mg/l	0,5	0,4	0,05
Mercurio	mg/l	0,001	-	0,001
Molibdeno	mg/l	0,07	-	-
Níquel	mg/l	0,02	-	0,05
Nitrato	mg/l	50	45	50
Nitrito	mg/l	3	-	0,1
Plomo	mg/l	0,01	0,05	0,05
Selenio	mg/l	0,01	0,05	0,01
Orgánicos				
Tetracloruro de carbono	mg/l	2	-	-
Diclorometano	mg/l	20	-	-
1,1 Dicloroetano	mg/l	NDS	-	-
1,2 Dicloroetano	mg/l	30	-	-
1,1,1 Tricloroetano	mg/l	2000	-	-
Cloruro de vinilo	mg/l	5	-	-
1,1 Dicloroetano	mg/l	30	-	-
1,2 Dicloroetano	mg/l	50	-	-
Tricloroetano	mg/l	70	-	-
Tetracloroetano	mg/l	40	-	-
Benceno	mg/l	10	-	-
Tolueno	mg/l	700	-	-
Xilenos	mg/l	500	-	-
Etilbenceno	mg/l	300	-	-
Estireno	mg/l	20	-	-
Benzopireno	mg/l	0,7	-	-
Monoclorobenceno	mg/l	300	-	-
1,2 Diclorobenceno	mg/l	1000	-	-
1,3 Diclorobenceno	mg/l	NDS	-	-
1,4 Diclorobenceno	mg/l	300	-	-
Triclorobencenos	mg/l	20	-	-
Adipato de di (2 etilhexilo)	mg/l	80	-	-
Ftalato de di (2 etilhexilo)	mg/l	8	-	-
Acrilamida	mg/l	0,5	-	-
Epiclorhidrina	mg/l	0,4	-	-
Hexaclorobutadieno	mg/l	0,6	-	-
EDTA	mg/l	200	-	-
Ac. Nitrotriacético	mg/l	200	-	-

Óxido de tributilestaño	mg/l	2	-	-
Plaguicidas				
Acloruro	mg/l	20	-	-
Aldicarb	mg/l	10	-	-
Aldrina/Dieldrina	mg/l	0,03	-	-
Atrazina	mg/l	2	-	-
Bentazona	mg/l	30	-	-
Carbofurano	mg/l	5	-	-
Clordano	mg/l	0,2	-	-
DDT	mg/l	2	-	-
2,4 D	mg/l	30	-	-
1,2 Dicloropropano	mg/l	20	-	-
1,3 Dicloropropeno	mg/l	20	-	-
Heptacloro y HCL-epóxido	mg/l	0,03	-	-
Hexaclorobenceno	mg/l	1	-	-
Lindano	mg/l	2	-	-
Metoxicloro	mg/l	20	-	-
Metolacloro	mg/l	10	-	-
Molinato	mg/l	6	-	-
Pendimetalina	mg/l	20	-	-
Pentaclorofenol	mg/l	9	-	-
Permetrina	mg/l	20	-	-
Fenoprop	mg/l	9	-	-
2,4,5 T	mg/l	9	-	-
Desinfectantes y productos secundarios				
Monocloramina	mg/l	3	-	-
Cloro aplicado	mg/l	5	-	-
Cloro residual	mg/l	-	1	Variable
Plata	mg/l	-	-	0,01
Bromato	mg/l	25	-	-
Clorito	mg/l	200	-	-
2,4,6 Triclorofenol	mg/l	200	-	-
Formaldehído	mg/l	900	-	-
Trihalometanos	mg/l	Nota	-	-
Bromoformo	mg/l	100	-	-
Dibromoclorometano	mg/l	100	-	-
Cloroformo	mg/l	200	-	-
Radiactivos				
Radiactividad Alfa global	Bq/l	0,1	3	0,1
Radiactividad Beta global	Bq/l	1	3	1

Sustancias que pueden producir quejas en los usuarios				
Color	UCV	15	50	20
Olor	Varias	Sin	-	0
Sabor	Varias	-	-	0
Turbidez	UNT	5	10	10
Temperatura	°C	-	-	25
Conductividad	mS/cm	-	-	400
Aluminio	mg/l	0,2	-	0,2
Amoníaco	mg/l	1,5	-	0,5
Cloruro	mg/l	250	600	200
Dureza	mg/l	-	500	-
Calcio	mg/l	-	200	100
Magnesio	mg/l	-	150	30
Hierro	mg/l	0,3	0,7	0,2
PH	Unidad	-	9,2	8,5
Sodio	mg/l	200	-	175
Sulfato	mg/l	250	400	250
Alcalinidad total	mg/l	-	-	-
Detergentes	mg/l	-	1	-
Sulfuro de hidrógeno	mg/l	0,05	-	-
Sólidos disueltos totales	mg/l	1000	1500	1500
Zinc	mg/l	3	15	5
Tolueno	mg/l	170	-	-
Xileno	mg/l	1800	-	-
Etilbenceno	mg/l	200	-	-
Monoclorobenceno	mg/l	120	-	-
Triclorobencenos (total)	mg/l	50	-	-

(*) Biblioteca Virtual Salud y Ambiente (BVSA). EPA, 2002.

(**) Real Decreto 140/2203, de 7 de febrero.

6.6.1.1. Calidad química

Con respecto a la calidad química de las aguas analizadas, los resultados obtenidos se han comparado, siempre que ha sido posible, 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 correspondientes a la primera campaña indican que las aguas subterráneas analizadas superan los límites establecidos en distintos parámetros (Cuadro 6.6.2.). Así, se superan los límites en cuanto a calcio, magnesio, sodio, cloruros, sulfatos, nitratos, amonio, dureza o total de sólidos disueltos en 74 muestras. En el resto de las muestras (186 muestras, que suponen el 72 % del total), los valores obtenidos se encuentran dentro de los límites establecidos en la normativa de aguas de abastecimiento humano.

Por su parte, los resultados analíticos correspondientes a la segunda campaña indican que las aguas subterráneas analizadas superan los límites establecidos en distintos parámetros (Cuadro 6.6.3.). Así, se superan los límites en cuanto a calcio, magnesio, sodio, cloruros, sulfatos, nitratos, amonio, dureza o total de sólidos disueltos en 71 de muestras. En el resto de las muestras (195 muestras, que suponen el 70 % del total), los valores obtenidos se encuentran dentro de los límites establecidos en la normativa de aguas de abastecimiento humano.

Cuadro 6.6.2. . Aptitud de las aguas subterráneas analizadas para abastecimiento humano. (INDRHI, noviembre-2003 a enero-2004)

Límites NORDOM-80 u OMS-95			9,2	200	150	200 (OMS)	600	400	45	3,00	1,5 (OMS)	500	1500	
No. Asignado	Código	Fecha de	CE	pH	Ca	Mg	Na	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)
1	6173340015	18/11/2003	208	5,7	7	12	15	21	2	13	0,00	<LD	66	165
2	6172450002	18/11/2003	233	5,2	8	6	29	36	<LD	42	<LD	<LD	45	167
3	6072110002	20/11/2003	185	6,5	14	6	13	10	6	6	0,02	<LD	59	151
4	6072140014	20/11/2003	1243	7	118	48	49	77	49	163	0,06	<LD	495	915
5	6072140018	20/11/2003	688	7,1	62	29	26	33	13	62	0,04	<LD	275	474
6	6072140009	20/11/2003	505	6,7	40	17	33	38	16	39	0,23	<LD	169	360
7	6072140004	20/11/2003	834	7	63	38	38	57	64	94	0,12	<LD	316	663
8	6072140003	20/11/2003	931	7,6	65	56	28	50	207	4	0,03	<LD	391	710
9	6072140002	20/11/2003	575	7,5	43	22	34	22	28	37	0,02	<LD	198	382
10	6072140001	20/11/2003	1023	7,3	80	39	59	55	33	98	0,02	<LD	361	675
11	6472310002	21/11/2003	756	6,9	95	15	34	46	15	17	0,02	<LD	297	469
12	6472320002	21/11/2003	301	6,5	25	9	19	29	4	4	0,00	<LD	100	216
13	6472320004	21/11/2003	288	6,6	29	6	16	22	3	5	0,01	<LD	98	211
14	6472340005	21/11/2003	707	6,8	101	8	25	23	9	21	0,59	<LD	286	451
15	6472350012	21/11/2003	913	7,1	66	58	18	49	36	9	0,02	0,04	406	622
16	6174420005	21/11/2003	1060	6,9	49	81	27	63	10	9	0,07	<LD	457	650
17	6472140004_D	21/11/2003	103	5,3	2	2	9	24	2	13	0,02	0,25	10	79
18	6472430002	21/11/2003	514	7,1	26	9	63	74	9	6	0,02	<LD	100	322
19	6472110001	21/11/2003	638	7	68	7	47	70	4	8	<LD	<LD	198	385
20	6272140003	24/11/2003	264	6,5	38	3	9	10	<LD	2	0,01	0,89	107	209
21	6272150003	24/11/2003	398	6,8	63	5	9	12	7	6	0,00	<LD	177	252
22	6272150008	24/11/2003	116	6,5	13	3	4	13	2	3	0,06	0,25	43	110
23	6272150002	24/11/2003	394	7,4	62	5	9	15	6	4	0,01	<LD	175	239
24	6272120001	24/11/2003	369	7	59	4	9	15	<LD	5	0,02	<LD	162	250
25	6273130004	26/11/2003	556	6,4	76	10	19	40	5	7	0,01	<LD	230	315
26	6273130002_D	26/11/2003	873	7,1	90	19	47	77	17	4	0,02	<LD	303	500
27	6372420001	01/12/2003	533	6,6	78	6	21	27	1	21	0,01	<LD	218	381
28	6373450005	01/12/2003	1001	6,6	96	5	104	129	2	6	0,03	0,22	263	636
29	6373350002	01/12/2003	347	6,6	9	7	53	59	14	9	0,02	<LD	53	291
30	6373360001	01/12/2003	249	6,6	9	14	22	22	5	2	<LD	0,07	79	187
31	6373350003	01/12/2003	172	5	2	2	37	44	2	18	0,02	0,24	13	143

Límites NORDOM-80 u OMS-95			9,2	200	150	200 (OMS)	600	400	45	3,00	1,5 (OMS)	500	1500	
No. Asignado	Código	Fecha de	CE	pH	Ca	Mg	Na	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)
32	6372210023	02/12/2003	658	6,6	41	29	55	52	12	3	0,01	<LD	222	414
33	6372210016	02/12/2003	904	6,5	83	30	57	64	24	12	0,01	0,03	329	580
34	6372220001	02/12/2003	1214	6,5	72	38	123	125	9	14	0,03	<LD	339	760
35	6372220004	02/12/2003	1336	6,6	16	14	258	169	9	26	0,00	<LD	98	859
36	6372220015	02/12/2003	659	6,5	54	25	40	44	23	22	0,01	<LD	237	469
37	6372240023	02/12/2003	1195	8,3	26	22	226	177	34	1	<LD	0,07	156	719
38	6372240006	02/12/2003	1563	6,3	31	28	246	332	21	0	<LD	0,12	192	902
39	6372360016	03/12/2003	764	7,1	49	25	69	46	22	11	0,01	<LD	226	461
40	6372360002	03/12/2003	649	7,1	53	19	68	31	10	8	0,01	<LD	211	359
41	6372330019	03/12/2003	672	6,4	115	5	22	27	5	9	0,00	<LD	307	304
42	6372320005	03/12/2003	493	6,8	65	11	26	16	5	10	0,02	<LD	207	267
43	6372420003	04/12/2003	441	3,6	2	4	87	126	2	18	0,02	<LD	21	274
44	6372210001	04/12/2003	418	6,2	68	4	12	16	3	7	0,01	<LD	186	244
45	6273230001	04/12/2003	419	6,6	66	5	13	18	3	9	0,01	<LD	185	240
46	6273250002	04/12/2003	371	6,6	59	4	8	15	3	8	0,03	<LD	162	217
47	6273250004	04/12/2003	372	6,8	59	4	10	15	3	7	0,01	<LD	166	196
48	6273230002	05/12/2003	365	6,8	57	2	20	18	4	1	<LD	<LD	152	205
49	62732	05/12/2003	3030	7	68	50	479	849	91	7	0,00	0,01	380	1774
50	6273260002	05/12/2003	349	7	55	3	10	16	3	5	0,00	<LD	150	178
51	6373340001	05/12/2003	319	7	46	6	10	13	6	2	<LD	0,01	137	196
52	6173150016	08/12/2003	964	6,1	34	39	129	167	10	11	0,11	0,28	250	586
53	6173150002	08/12/2003	1349	8	26	26	220	251	29	26	0,01	0,14	171	782
54	6173110007	08/12/2003	985	6,3	38	56	93	163	28	8	0,01	0,06	327	687
55	6173140035	08/12/2003	1168	6,6	74	58	65	140	8	5	0,01	<LD	433	688
56	6173140012	08/12/2003	1473	6,6	63	75	97	231	67	4	0,02	0,08	471	673
57	6173140003	08/12/2003	3370	6,9	57	83	504	716	56	12	0,01	0,06	489	1814
58	6173150023	08/12/2003	710	6,6	84	20	26	29	4	14	0,02	0,08	291	618
59	6173160011	08/12/2003	600	6,2	38	22	59	144	2	0	<LD	<LD	205	542
60	6173160019	08/12/2003	648	6,8	70	14	41	67	8	4	0,00	0,18	232	404
61	6173150022	09/12/2003	1047	6,8	89	44	58	107	20	5	0,03	0,43	404	652
62	6173430001	09/12/2003	1108	6,4	11	15	230	206	60	26	0,02	<LD	89	647
63	6173420005	09/12/2003	1311	6,9	113	44	65	172	10	13	0,08	0,58	465	820
64	6173420010	09/12/2003	4090	6,9	104	72	699	691	513	5	0,02	0,08	555	2537

Límites NORDOM-80 u OMS-95			9,2	200	150	200 (OMS)	600	400	45	3,00	1,5 (OMS)	500	1500	
No. Asignado	Código	Fecha de	CE	pH	Ca	Mg	Na	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)
65	6173420002	09/12/2003	277	8,1	27	9	10	7	14	4	0,01	<LD	104	162
66	6173410019	09/12/2003	1301	7,1	79	41	103	136	24	28	0,01	0,00	367	757
67	6173410016	09/12/2003	1592	6,9	165	47	71	255	16	53	0,07	0,26	443	1206
68	6173410014	09/12/2003	1124	7,1	64	54	68	76	17	8	0,00	0,06	384	642
69	6173410008	09/12/2003	1160	7,1	74	48	59	90	9	13	0,02	<LD	382	724
70	6173410002	09/12/2003	1.021	7,4	72	43	118	71	17	12	0,02	<LD	304	634
71	6173410011	09/12/2003	1.270	6,8	72	55	125	109	9	13	0,03	0,22	411	776
72	6173210019	10/12/2003	149	5,7	4	5	13	28	2	0	0,02	<LD	29	87
73	6173210013	10/12/2003	1.860	6,9	91	45	304	271	253	2	0,01	<LD	340	1197
74	6173210001	10/12/2003	358	6,3	9	5	50	59	32	11	0,02	0,28	45	246
75	6173330016	10/12/2003	195	6,3	12	8	14	16	16	13	0,01	0,31	65	168
76	6173330029	10/12/2003	1.023	7,2	52	21	181	52	69	5	0,10	0,44	228	665
77	6173330003	10/12/2003	513	6,6	20	27	52	45	32	17	0,03	0,30	166	320
78	6173320008	10/12/2003	420	6,9	21	25	38	48	12	6	0,02	0,14	156	296
79	6173310002	10/12/2003	1.103	7,3	44	60	83	92	45	4	0,02	2,75	359	709
80	6173330025	10/12/2003	510	6,9	42	11	63	57	10	4	0,02	0,14	150	359
81	6173330031	10/12/2003	1.560	6,8	63	26	233	269	39	6	0,02	0,58	270	960
82	6173220001	10/12/2003	1.145	6,6	15	27	192	151	48	10	0,01	0,04	152	716
83	6173220005	10/12/2003	590	6,5	12	26	76	44	38	7	0,01	0,63	139	394
84	6173140027	11/12/2003	980	7,3	62	48	74	118	17	4	0,01	<LD	354	614
85	6173260001	11/12/2003	710	7,4	45	22	71	31	6	8	0,00	<LD	203	495
86	6273340001	11/12/2003	168	6,2	15	3	14	15	7	10	0,01	<LD	51	149
87	6173310012	11/12/2003	675	6,1	26	39	54	95	27	31	0,02	<LD	226	512
88	6173440015	11/12/2003	1.360	7,1	85	71	80	89	80	15	0,01	<LD	503	898
89	6173440001	11/12/2003	1.074	7	75	57	63	55	35	8	0,01	<LD	423	615
90	6173460004	11/12/2003	1.352	7,2	79	58	123	203	27	3	<LD	<LD	437	886
91	6073160027	12/12/2003	581	6,3	47	17	52	44	14	13	0,02	<LD	188	370
92	6073130022	12/12/2003	1.040	6,9	107	33	44	123	96	16	0,01	<LD	390	731
93	6073120005	12/12/2003	939	6,8	62	45	59	63	38	14	0,02	<LD	338	629
94	6073130012	12/12/2003	700	7,4	13	15	126	50	15	9	0,01	<LD	94	613
95	6073160002	12/12/2003	1.106	7	66	74	38	74	33	4	0,02	<LD	470	560
96	6172140001	12/12/2003	125	5,9	6	5	11	16	4	9	0,01	<LD	38	111
97	6174350009	15/12/2003	895	6,5	89	13	74	48	32	19	0,02	0,21	277	627

Límites NORDOM-80 u OMS-95			9,2	200	150	200 (OMS)	600	400	45	3,00	1,5 (OMS)	500	1500	
No. Asignado	Código	Fecha de	CE	pH	Ca	Mg	Na	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)
98	6174350019	15/12/2003	1.114	6,5	110	24	79	94	37	13	0,01	<LD	376	757
99	6174350027	15/12/2003	1.259	6,4	141	19	83	147	33	33	0,02	0,30	432	780
100	6174340003	15/12/2003	2.830	6,5	219	69	320	583	96	129	0,87	2,20	836	1780
101	6174340005	15/12/2003	1.366	7	122	26	107	229	24	14	0,03	0,08	412	777
102	6174420057	16/12/2003	826	6,8	123	15	22	55	21	7	0,02	0,14	371	547
103	6174420056	16/12/2003	1.273	6,6	179	16	51	138	48	14	0,03	0,22	513	834
104	6174420036	16/12/2003	1.095	6,5	122	21	51	100	46	15	0,00	0,20	393	696
105	6174420001	16/12/2003	1.394	6,7	136	31	106	199	51	3	0,03	0,13	471	866
106	6175350004	16/12/2003	1.008	6,6	82	22	118	52	35	13	0,02	0,17	299	615
107	6175310003	16/12/2003	1.643	7	83	29	205	380	53	4	0,01	<LD	330	981
108	6174430006_D	16/12/2003	1.284	6,8	81	29	141	114	32	5	0,06	1,08	325	749
109	6174110006	17/12/2003	1.278	6,5	79	38	152	86	15	2	0,04	0,24	433	780
110	6174110012	17/12/2003	791	6,8	38	61	18	42	16	7	0,03	0,33	346	529
111	6174230001	17/12/2003	403	5,1	4	10	72	106	5	15	0,03	<LD	53	385
112	6174230025	17/12/2003	2.270	6,4	64	18	437	608	27	14	0,09	0,26	235	1330
113	6174230035	17/12/2003	197	5,6	9	2	28	41	9	2	0,23	0,23	32	159
114	6273140004	17/12/2003	461	7,5	74	6	10	16	6	7	0,02	0,26	207	329
115	6273110007	17/12/2003	504	6,9	75	4	25	29	9	5	0,02	<LD	203	342
116	6373140001	18/12/2003	694	6,9	85	15	34	38	14	6	0,03	0,04	276	422
117	6373110001	18/12/2003	5.420	6,6	161	99	896	1717	201	11	0,02	0,21	815	3575
118	6373110002	18/12/2003	4.350	6,6	163	73	691	1311	129	21	0,03	0,22	713	2871
119	6373440005	18/12/2003	636	6,4	104	6	17	24	11	7	0,03	<DL	287	405
120	6373440001	18/12/2003	592	6,6	57	20	36	24	9	14	0,02	<DL	223	379
121	6273110002	18/12/2003	502	6,6	81	7	10	22	6	24	0,00	<DL	233	323
122	6273140003	18/12/2003	138	4,5	4	2	25	25	12	11	0,09	<DL	20	112
123	6273420003	18/12/2003	970	6,3	110	13	78	66	20	5	0,02	<DL	340	592
124	6273420004	18/12/2003	204	5,1	6	7	28	43	14	10	0,02	<DL	45	160
125	6273420026	18/12/2003	202	5,3	9	8	25	29	27	3	0,01	<DL	57	144
126	6273330027	30/12/2003	537	6,2	58	19	28	33	21	4	0,04	0,08	223	348
127	6273330032	30/12/2003	1093	7,3	146	38	30	66	18	9	0,00	0,43	524	545
128	6073210032	30/12/2003	840	6,6	110	26	30	29	23	8	0,02	0,17	382	444
129	6073210037	30/12/2003	1213	6,5	124	34	57	96	16	7	0,02	1,80	451	682
130	6273330023	30/12/2003	523	7,3	59	10	41	41	16	7	0,09	0,45	190	304

Límites NORDOM-80 u OMS-95			9,2	200	150	200 (OMS)	600	400	45	3,00	1,5 (OMS)	500	1500	
No. Asignado	Código	Fecha de	CE	pH	Ca	Mg	Na	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)
131	6174240013	30/12/2003	857	6,6	118	16	35	50	37	21	<LD	0,11	363	517
132	6174240014	30/12/2003	1010	6,4	145	19	45	40	35	23	0,03	0,17	441	551
133	6074260002	06/01/2004	1114	6,8	58	65	115	40	68	33	0,11	0,06	417	720
134	6074260005	06/01/2004	1173	6,7	93	42	60	70	40	58	0,02	0,11	408	851
135	6074220028	06/01/2004	2340	6,8	97	113	256	229	226	53	0,02	<LD	713	1583
136	6074220029	06/01/2004	1752	7,2	70	85	214	114	130	49	0,28	0,24	532	1198
137	6074250023	06/01/2004	1707	7,2	43	62	257	87	67	62	0,05	0,09	363	1179
138	6075440001	07/01/2004	2040	7	65	79	292	220	205	11	0,02	0,79	490	1231
139	6075450001	07/01/2004	4160	6,9	433	150	266	280	1824	9	0,03	1,26	1906	3910
140	6075450020	07/01/2004	2660	7	268	51	268	284	615	32	0,03	0,47	883	2031
141	6075450024	07/01/2004	3970	7	512	120	223	388	1475	0	0,06	0,04	1780	3391
142	6075450035	07/01/2004	3320	7,2	334	100	176	421	800	20	0,01	0,01	1252	2763
143	6075450007	07/01/2004	1047	7	107	23	66	63	109	40	0,02	0,14	364	713
144	6075450033	07/01/2004	2300	7,4	272	51	197	218	595	6	0,06	0,07	892	1824
145	6075450030	07/01/2004	3970	7,1	456	66	294	591	961	4	0,01	0,25	1416	3121
146	6075450043	07/01/2004	4960	7,4	378	126	569	738	1449	6	0,01	1,08	1470	4076
147	6075450044	07/01/2004	471	7,3	39	9	38	34	56	1	0,20	1,68	136	280
148	6075460002	07/01/2004	1241	7,1	43	105	54	100	44	22	0,04	0,03	543	924
149	6075250001	08/01/2004	668	6,7	97	11	38	29	15	5	0,01	0,11	287	395
150	6075250008	08/01/2004	574	6,8	79	14	16	25	19	4	0,17	<LD	256	331
151	6075330005	08/01/2004	938	6,7	90	31	82	66	39	15	0,17	0,08	355	583
152	6075330003	08/01/2004	1377	6,9	80	48	147	149	28	29	0,05	<LD	402	847
153	6075320004	08/01/2004	786	6,6	64	17	88	50	38	23	0,03	0,08	233	551
154	6075320005	08/01/2004	1105	7,1	62	13	162	83	21	0	<LD	0,03	210	757
155	6075350009	08/01/2004	680	7,3	66	17	70	44	16	5	<LD	0,02	237	408
156	6075350008	08/01/2004	829	6,8	91	19	57	47	12	12	0,00	<LD	305	492
157	6075340001	08/01/2004	467	7,4	64	11	17	18	10	2	<LD	<LD	204	274
158	6075350001	08/01/2004	1125	7,3	118	30	86	38	97	9	0,72	0,09	419	694
159	6075360002	08/01/2004	920	7,1	107	28	59	43	40	4	0,02	0,04	384	542
160	6075360001	08/01/2004	636	7,1	67	16	36	34	28	8	0,03	<LD	233	361
161	6074460006_D	09/01/2004	2490	7	73	109	328	144	380	6	0,23	0,08	637	1740
162	6074460030	09/01/2004	3590	6,9	200	239	201	269	961	104	0,04	0,10	1495	3155
163	6074460008	09/01/2004	3690	6,8	212	196	308	316	890	16	0,17	0,06	1348	3380

Límites NORDOM-80 u OMS-95			9,2	200	150	200 (OMS)	600	400	45	3,00	1,5 (OMS)	500	1500	
No. Asignado	Código	Fecha de	CE	pH	Ca	Mg	Na	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)
164	6074460002_D	09/01/2004	835	7	82	29	50	54	25	10	0,02	0,09	329	542
165	6074140019	09/01/2004	978	7,3	59	29	101	67	46	5	0,03	0,16	270	627
166	6074140016	09/01/2004	923	7,3	82	40	53	36	105	13	0,02	0,04	373	668
167	6074140013	09/01/2004	1745	6,8	157	98	97	90	431	14	0,26	<LD	799	1484
168	6074140021_D	09/01/2004	1046	6,9	88	41	70	82	95	29	0,04	0,13	392	768
169	6074330001	09/01/2004	2510	6,9	235	82	308	188	1060	4	0,01	0,12	931	2020
170	6074320004	09/01/2004	946	7,6	33	42	108	54	39	9	0,02	0,08	260	603
171	5974160005	12/01/2004	2030	7,4	74	61	355	137	638	5	0,02	0,12	441	1453
172	5974130004	12/01/2004	1668	7,1	131	56	179	103	448	9	<LD	0,29	564	1299
173	5974130022	12/01/2004	872	7	78	32	43	42	78	11	0,03	0,17	329	681
174	5975260003_D	12/01/2004	1413	6,8	90	68	139	100	119	19	0,10	0,12	510	1000
175	5975260002	12/01/2004	952	6,8	102	19	71	66	49	11	0,01	0,17	333	632
176	5974120003	13/01/2004	1840	7,3	71	107	179	295	237	16	0,05	<LD	623	1276
177	5974120005	13/01/2004	628	8,5	4	9	119	24	39	1	<LD	0,00	490	400
178	5974120006	13/01/2004	14350	7,3	353	706	1890	2991	3756	231	0,39	1,42	3822	11693
179	5974110004	13/01/2004	3970	7,8	8	9	880	578	251	92	0,13	0,16	59	2644
180	5974430009	13/01/2004	1462	7,2	127	47	87	98	212	4	0,00	<LD	515	1078
181	5974430003	13/01/2004	8630	7,3	172	182	1805	1523	2830	8	0,05	1,60	1189	6268
182	5975340016	13/01/2004	9840	7,4	333	429	1516	2326	2503	303	<LD	1,90	3283	7699
183	5975340019	13/01/2004	2900	7,3	69	61	480	443	533	9	0,19	0,16	427	1799
184	5975340002	13/01/2004	1104	7,4	83	34	104	68	222	4	0,01	<LD	358	747
185	5975340001	13/01/2004	1836	7,2	141	73	188	181	437	3	0,02	0,07	657	1351
186	59753427	13/01/2004	3090	6,9	245	112	327	429	766	7	0,01	<LD	1078	2469
187	5975330005	14/01/2004	3680	7,8	29	46	620	231	524	44	0,33	<LD	265	2515
188	5875260002	14/01/2004	1560	6,8	143	59	99	180	112	3	0,03	0,23	603	1199
189	5875260012	14/01/2004	2970	7	216	98	325	317	801	4	0,10	1,08	946	2314
190	5874130004	14/01/2004	695	7,3	10	21	103	50	11	5	0,02	<LD	114	478
191	5874130012	14/01/2004	1223	7,5	17	29	195	92	48	2	0,00	<LD	167	786
192	5874130016	14/01/2004	1787	7,4	24	41	297	181	98	9	0,05	<LD	231	1150
193	5874120016	14/01/2004	805	7,7	14	16	108	133	25	2	0,00	0,08	103	472
194	5874110001	14/01/2004	1005	6,9	94	29	67	94	26	0	<LD	<LD	358	607
195	5874110016	14/01/2004	765	7,2	34	31	79	29	23	4	<LD	<LD	206	515
196	5874110011	14/01/2004	853	7,1	16	20	139	33	35	7	0,06	<LD	123	580

Límites NORDOM-80 u OMS-95			9,2	200	150	200 (OMS)	600	400	45	3,00	1,5 (OMS)	500	1500	
No. Asignado	Código	Fecha de	CE	pH	Ca	Mg	Na	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)
197	5874220003	15/01/2004	430	7,5	43	16	14	31	5	12	<LD	<LD	177	289
198	5974450008	15/01/2004	2140	7,1	151	106	149	103	691	33	0,07	0,36	819	1886
199	5974330014	15/01/2004	519	7,1	43	24	18	26	6	2	0,00	<LD	210	366
200	5974450001	15/01/2004	569	6,8	24	39	27	18	7	10	0,01	<LD	221	364
201	5974330030	15/01/2004	916	6,7	88	59	13	17	12	0	<LD	0,07	466	569
202	5974330028_D	15/01/2004	1076	7,2	47	76	56	57	20	1	0,00	0,47	436	673
203	5974330004	15/01/2004	860	7,3	55	59	25	31	125	4	<LD	0,03	382	643
204	5974210003	15/01/2004	2030	7,2	39	93	230	126	241	13	0,01	<LD	485	1312
205	5974330007	15/01/2004	522	7,3	39	29	20	13	5	5	<LD	0,03	221	365
206	5974330008	15/01/2004	673	7,1	47	39	26	26	7	11	0,02	<LD	280	433
207	5974240001	16/01/2004	870	6,5	59	59	19	76	6	0	<LD	0,06	392	607
208	5974250001	16/01/2004	970	6,9	63	47	58	65	24	12	0,04	<LD	353	637
209	5974160006	16/01/2004	1544	7	123	48	120	111	363	10	0,00	0,13	510	1165
210	5974160010	16/01/2004	1256	6,7	118	68	44	44	139	6	0,06	<LD	578	716
211	6073220022	16/01/2004	240	6,7	12	9	20	15	3	6	0,01	<LD	69	221
212	5971110001	19/01/2004	1458	6,8	103	35	142	190	92	16	0,01	<LD	407	938
213	5971110004	19/01/2004	1081	6,8	90	27	79	59	100	19	0,01	<LD	343	678
214	5972240006	19/01/2004	1362	6,9	102	27	120	102	165	23	0,01	<LD	368	893
215	5972240004	19/01/2004	1370	7	106	38	134	94	164	14	0,05	0,05	422	883
216	5972240003	19/01/2004	1287	7	122	25	102	92	134	27	0,02	<LD	407	861
217	5872240001	20/01/2004	765	6,5	108	15	24	17	6	7	0,05	0,25	333	469
218	5872240002	20/01/2004	1203	7,9	29	9	254	129	18	37	0,04	0,75	110	752
219	5972350003	20/01/2004	961	6,6	112	21	40	68	31	17	<LD	<LD	368	608
220	5972350004	20/01/2004	683	6,6	98	18	13	16	13	10	0,02	0,28	319	429
221	5972350001	20/01/2004	491	7,2	69	18	11	15	10	18	0,02	<LD	245	250
222	6071410002	20/01/2004	666	6,9	78	18	26	24	24	19	0,04	0,24	270	346
223	6071410004	20/01/2004	746	6,7	90	20	27	31	24	21	0,01	<LD	309	428
224	6071420001	20/01/2004	2110	7,9	20	29	378	474	56	0	<LD	0,47	172	1154
225	5870120008	21/01/2004	364	6,9	59	7	2	7	3	7	0,01	<LD	176	220
226	5870130001	21/01/2004	328	7	51	7	2	7	4	5	0,01	<LD	157	174
227	5870120006	21/01/2004	416	6,8	68	9	2	11	4	13	0,02	<LD	210	233
228	5870120005	21/01/2004	510	6,7	88	6	3	13	2	15	0,02	<LD	245	259
229	5870120004	21/01/2004	390	7,1	63	11	2	9	3	13	0,04	<LD	201	202

Límites NORDOM-80 u OMS-95			9,2	200	150	200 (OMS)	600	400	45	3,00	1,5 (OMS)	500	1500	
No. Asignado	Código	Fecha de	CE	pH	Ca	Mg	Na	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)
230	5870130003	21/01/2004	331	7,3	55	8	2	11	4	5	0,02	<LD	172	171
231	5871460003	22/01/2004	1052	7	73	28	99	183	24	4	0,05	<LD	284	658
232	5871460001	22/01/2004	1135	6,8	69	27	116	209	27	7	0,03	<LD	284	690
233	5871410002	22/01/2004	555	6,9	71	16	13	26	7	9	0,03	<LD	245	294
234	69790004	22/01/2004	555	7	69	20	12	28	8	7	0,01	<LD	255	341
235	5871410005	22/01/2004	663	6,8	74	19	27	62	8	3	0,02	<LD	265	360
236	5870330008	22/01/2004	1010	7	78	53	36	135	47	24	0,04	<LD	417	596
237	5870330009	22/01/2004	908	6,9	73	51	28	107	11	18	0,00	<LD	382	740
238	5970460002	22/01/2004	547	7	78	14	9	26	8	17	0,01	<LD	255	384
239	58702	23/01/2004	464	7,8	78	6	5	15	4	10	0,03	<LD	201	283
240	5870220001	23/01/2004	448	7,2	80	5	4	4	4	14	0,01	<LD	221	245
241	5869120003	23/01/2004	4710	7,1	108	91	647	1359	210	5	0,01	<LD	647	285
242	5869120002	23/01/2004	4710	7,1	108	88	670	1372	226	6	0,02	<LD	637	2756
243	5869120001	23/01/2004	4290	7,2	107	83	593	1196	232	0	0,00	<LD	613	2518
244	5870140002	23/01/2004	519	7,3	86	5	7	22	6	5	0,02	<LD	235	283
245	5870240001	23/01/2004	438	7,3	74	5	4	11	5	5	0,01	<LD	206	231
246	5971110007	24/01/2004	890	6,9	78	29	59	37	50	10	0,01	<LD	319	501
247	5971440003	24/01/2004	702	7,3	59	21	49	39	16	8	0,01	<LD	235	432
248	5871160001	24/01/2004	1724	7,5	59	39	244	338	64	7	<LD	<LD	309	984
249	587112001	24/01/2004	450	7,3	74	8	3	11	4	4	0,01	<LD	221	260
250	5871140002	24/01/2004	3740	7,2	79	61	644	1056	377	7	0,04	0,00	456	2040
251	5871140004	24/01/2004	339	7,3	53	7	2	7	3	4	0,02	0,88	162	182
252	5871140008	24/01/2004	336	7,5	59	3	2	7	4	7	0,02	<LD	162	193
253	5871140007	24/01/2004	336	7,3	53	6	4	7	2	6	0,30	0,00	157	229
254	5971440001	25/01/2004	432	7,3	59	14	3	13	8	1	<LD	<LD	206	296
255	6171440018	25/01/2004	730	6,9	78	27	29	39	20	38	0,05	0,11	309	417
256	6171340006	25/01/2004	620	7	74	24	16	37	22	18	0,02	<LD	275	393
257	6171220017	25/01/2004	569	7,1	69	20	16	22	11	11	0,02	<LD	255	310
194-A	5874110001-S	14/01/2004	997	6,7	92	36	52	77	34	9	<LD	<LD	382	613
43A	6372420004	04/12/2003	304	5,4	10	15	16	52	2	15	0,02	<LD	86	198
		Min	103	3,6	2	2	2	4	1	0	0,00	0,00	10	79
		Max	14350	8,5	512	706	1890	2991	3756	303	0,87	2,75	3822	11693

Límites NORDOM-80 u OMS-95			9,2	200	150	200 (OMS)	600	400	45	3,00	1,5 (OMS)	500	1500	
No. Asignado	Código	Fecha de	CE	pH	Ca	Mg	Na	Cl	SO4	NO3	NO2	Amonio	DT	STD
		Muestreo	($\mu\text{S/cm}$)		(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)
	Límites establecidos en la normativa de aguas de abastecimiento humano													
	Valores que superan los límites establecidos en la normativa (NORDOM-80 u OMS-95)													
	Rangos de variación de cada parámetro													

Cuadro 6.6.3. Aptitud de las aguas subterráneas analizadas para abastecimiento humano. (INDRHI, abril-junio de 2004)

Límites NORDOM-80 u OMS-95				9,2	200	150	200	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)
1	38	6173340015	05/05/2004	323	5,9	12	24	17	19	12	4	<LD	0,04	131	235
3	228	6072110002	04/06/2004	171	6,4	15	6	10	11	7	2	0,01	<LD	61	122
4	234	6072140014	04/06/2004	1183	7,0	122	51	22	73	59	200	0,02	<LD	541	877
4	236	6072140014	04/06/2004	1196	7,1	122	51	29	76	61	220	0,09	0,06	517	896
5	37	6172450002	05/05/2004	217	5,1	9	7	30	37	1	33	0,05	<LD	52	324
5	233	6072140018	04/06/2004	790	7,0	75	36	29	42	44	74	0,01	0,20	339	482
6	229	6072140009	04/06/2004	540	6,3	43	27	18	44	26	71	0,01	0,05	221	416
7	230	6072140004	04/06/2004	709	6,3	56	37	16	50	78	79	0,10	0,19	296	364
8	231	6072140003	04/06/2004	704	7,4	51	45	17	23	172	27	4,42	0,01	315	494
9	232	6072140002	04/06/2004	580	7,0	45	29	14	28	46	68	0,05	<LD	235	319
10	235	6072140001	04/06/2004	1014	7,0	85	45	34	59	53	109	0,02	<LD	400	834
11	9	6472310002	27/04/2004	683	6,8	92	13	11	21	13	21	0,00	<LD	283	444
12	10	6472320002	27/04/2004	270	6,5	23	12	12	26	3	4	0,01	<LD	106	183
13	11	6472320004	27/04/2004	263	6,5	29	9	9	15	2	4	0,01	0,15	111	162
14	12	6472340005	27/04/2004	586	7,0	90	10	16	29	9	13	0,01	<LD	269	355
15	13	6472350012	27/04/2004	852	7,0	73	60	18	44	13	6	0,01	<LD	432	534
16	14	6174420005	27/04/2004	963	6,9	48	86	17	55	10	16	0,01	0,10	480	611
17	15	6472140004_D	28/04/2004	55	5,1	2	1	7	7	1	11	0,03	0,39	8	29
18	17	6472430002	28/04/2004	466	7,0	29	13	43	63	9	6	0,03	<LD	125	291
19	16	6472110001	28/04/2004	575	6,7	67	11	29	48	9	12	0,01	<LD	211	353
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	258	6272150002	10/06/2004	314	7,8	47	7	4	12	2	2	0,00	<LD	146	211
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
25	102	6273120004	13/05/2004	480	7,2	73	9	21	30	6	8	0,02	<LD	221	307
26	101	6273130025	13/05/2004	677	7,3	83	21	24	43	23	7	0,00	0,06	293	411
27	27	6372420001	29/04/2004	500	7,4	75	9	9	19	2	24	0,04	<LD	227	419

Límites NORDOM-80 u OMS-95				9,2	200	150	200	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)
27	26	6372420001	29/04/2004	500	7,3	80	7	8	19	3	20	0,01	<LD	231	443
28	20	6373450005	28/04/2004	790	6,5	92	12	37	87	13	9	0,02	<LD	282	492
29	19	6373350002	28/04/2004	319	5,8	9	12	35	59	17	14	0,02	<LD	73	194
30	18	6373360001	28/04/2004	227	6,2	10	14	10	26	2	5	0,01	<LD	83	157
31	22	6373350003	28/04/2004	188	4,8	6	7	17	48	2	17	0,01	<LD	43	125
32	5	6372210023	26/04/2004	534	6,8	31	32	26	37	14	14	0,01	<LD	211	389
33	2	6372210016	26/04/2004	950	6,8	86	30	88	105	29	20	0,02	<LD	341	676
34	6	6372220001	27/04/2004	1181	6,6	81	43	80	153	11	17	0,28	<LD	379	726
35	7	6372220004	27/04/2004	1181	6,7	21	9	215	172	9	27	0,01	<LD	91	748
36	8	6372220015	27/04/2004	654	6,4	58	31	19	44	33	16	0,00	0,37	274	469
37	3	6372240023	26/04/2004	1381	7,2	46	37	192	211	72	6	0,01	<LD	269	877
38	4	6372240006	26/04/2004	1991	7,1	88	63	230	421	53	58	0,28	<LD	485	1437
39	1	6372360016	26/04/2004	661	6,3	54	21	66	28	24	11	0,02	<LD	221	459
40	23	6372360002	29/04/2004	597	7,2	55	19	50	31	14	11	0,02	<LD	217	464
41	25	6372330019	29/04/2004	563	6,7	92	13	6	16	7	4	<LD	<LD	283	403
42	24	6372320005	29/04/2004	460	6,9	65	14	16	18	8	11	0,04	<LD	221	376
43	28	6372420003	29/04/2004	414	5,3	8	6	82	111	3	24	0,04	<LD	39	354
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
51	21	6373340001	28/04/2004	371	6,8	61	6	4	13	14	8	0,02	<LD	177	225
52	76	6173150016	11/05/2004	903	6,6	33	43	89	155	12	10	0,02	0,04	259	472
53	77	6173150002	11/05/2004	1363	7,7	29	32	197	266	32	30	0,05	<LD	206	738
54	58	6173110007	07/05/2004	935	6,4	40	62	54	151	33	12	0,02	<LD	360	652
55	59	6173140035	07/05/2004	1385	6,7	61	83	91	212	33	5	0,02	<LD	499	1033
56	61	6173140012	07/05/2004	1122	7,0	81	61	58	149	9	5	0,01	0,03	456	771
57	62	6173140003	07/05/2004	2950	7,2	60	86	484	677	65	6	0,03	<LD	509	1803
58	74	6173150023	11/05/2004	638	7,0	69	28	16	35	5	16	0,02	0,05	288	337

Límites NORDOM-80 u OMS-95				9,2	200	150	200	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)
59	78	6173160011	11/05/2004	451	6,5	27	18	43	111	1	4	0,01	<LD	144	288
60	79	6173160019	11/05/2004	580	7,0	69	15	18	62	2	8	0,01	<LD	235	326
61	75	6173150022	11/05/2004	923	7,0	86	43	27	100	28	6	0,01	<LD	394	550
62	85	6173430001	11/05/2004	1024	7,0	13	16	186	203	56	30	0,02	<LD	102	677
63	55	6173420005	06/05/2004	1240	6,6	102	66	59	148	12	16	0,02	<LD	528	860
64	54	6173420010	06/05/2004	3880	6,8	100	77	719	751	682	8	0,01	<LD	571	2657
65	53	6173420002	06/05/2004	329	7,8	36	13	12	15	21	4	0,09	<LD	144	225
66	52	6173410019	06/05/2004	1864	6,7	115	90	141	280	43	99	0,03	<LD	662	1524
67	51	6173410016	06/05/2004	1485	6,5	121	79	53	229	8	39	0,01	<LD	634	1245
68	50	6173410014	06/05/2004	1007	6,7	61	57	68	43	27	13	0,01	<LD	389	674
69	48	6173410008	06/05/2004	1077	6,6	84	53	64	89	10	19	0,01	<LD	432	704
70	47	6173410002	06/05/2004	817	6,8	61	43	48	55	20	16	0,04	0,31	332	534
71	49	6173410011	06/05/2004	1023	6,6	67	68	55	80	12	20	0,02	<LD	451	672
72	73	6173210019	10/05/2004	138	6,0	6	5	17	18	2	14	0,00	<LD	34	71,0
73	72	6173210013	10/05/2004	1715	7,0	88	51	186	258	204	<LD	<LD	<LD	432	1141
74	71	6173210001	10/05/2004	324	5,4	6	7	44	74	31	14	<LD	<LD	43	214
75	69	6173330016	10/05/2004	170	6,1	10	9	15	18	31	14	0,00	<LD	30	96
76	83	6173330029	11/05/2004	1079	7,2	42	17	166	44	54	7	0,00	<LD	175	593
77	68	6173330003	10/05/2004	443	6,2	25	27	23	33	38	13	0,00	<LD	188	326
78	67	6173320008	10/05/2004	389	7,0	25	24	19	31	17	2	0,00	0,01	163	264
79	65	6173310002	10/05/2004	922	7,0	38	67	70	74	43	10	0,55	3,32	375	627
80	70	6173330025	10/05/2004	477	7,0	38	16	38	50	13	4	0,00	<LD	163	304
81	82	6173330031	11/05/2004	1079	7,2	83	32	93	151	25	9	0,01	<LD	336	570
82	80	6173220001	11/05/2004	789	7,0	19	36	90	74	37	11	0,14	<LD	197	434
83	81	6173220005	11/05/2004	533	7,0	13	27	52	40	44	14	0,03	<LD	144	269
84	60	6173140027	07/05/2004	930	6,8	63	54	41	109	18	7	0,01	<LD	384	662
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
87	66	6173310012	10/05/2004	681	6,1	31	46	29	100	37	51	0,00	<LD	269	525
88	45	6173440015	06/05/2004	1121	6,8	77	70	48	74	72	15	0,03	0,09	485	790
89	46	6173440001	06/05/2004	1015	5,6	71	63	49	61	36	9	0,03	0,19	442	670
90	84	6173460004	11/05/2004	2204	7,0	131	101	200	569	24	20	0,02	<LD	749	1611

Límites NORDOM-80 u OMS-95				9,2	200	150	200	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)
91	40	6073160027	05/05/2004	556	6,3	48	17	44	41	15	20	0,03	0,00	192	509
92	43	6073130022	05/05/2004	1222	6,4	131	54	34	172	103	13	0,02	0,00	552	1041
93	44	6073120005	05/05/2004	1112	6,9	69	56	78	115	40	16	0,01	<LD	408	920
94	42	6073130012	05/05/2004	816	6,7	19	22	123	81	53	11	0,02	<LD	138	582
95	39	6073160002	05/05/2004	1011	7,0	81	69	32	70	32	2	0,01	<LD	490	833
96	109	6172140001	14/05/2004	124	6,0	6	8	6	13	3	12	0,01	<LD	48	63
96	110	6172140001	14/05/2004	123	6,0	6	8	6	15	2	12	0,02	<LD	48	63,0
97	111	6174350009	18/05/2004	890	6,4	96	24	33	60	31	27	0,06	<LD	341	642
98	112	6174350019	18/05/2004	1080	6,3	115	31	49	91	55	16	0,06	0,27	418	654
99	113	6174350027	18/05/2004	1190	6,6	186	13	40	142	47	39	0,06	<LD	519	869
100	115	6174340003	18/05/2004	2030	6,3	188	35	178	339	168	68	1,06	0,03	615	1487
101	114	6174340005	18/05/2004	1250	6,6	109	35	58	207	31	17	0,14	0,16	418	972
102	221	6174420057	02/06/2004	1178	6,7	179	17	28	115	46	47	0,03	<LD	517	800
103	223	6174420056	02/06/2004	1196	6,3	169	23	51	113	45	19	0,04	<LD	400	667
104	222	6174420036	02/06/2004	990	6,7	132	20	27	70	41	20	0,04	<LD	414	642
105	224	6174420001	02/06/2004	1137	6,8	109	30	60	146	38	4	0,05	<LD	400	649
106	220	6175350004	02/06/2004	934	6,5	128	21	17	35	31	17	0,02	<LD	409	484
107	219	6175310003	02/06/2004	1520	7,1	71	29	185	336	48	11	0,01	0,03	301	907
108	225	6174430006_D	02/06/2004	1197	6,6	88	57	58	77	28	11	0,05	<LD	461	516
109	226	6174110006	02/06/2004	1120	6,4	94	51	37	87	2	1	0,04	0,01	447	670
110	227	6174110012	02/06/2004	861	6,6	38	74	14	49	3	14	0,03	0,30	404	670
111	103	6174230001	13/05/2004	399	6,0	3	13	57	112	1	17	0,03	<LD	63	313
112	104	6174230025	13/05/2004	1102	7,0	31	14	168	295	1	7	0,02	0,06	135	665
113	105	6174230035	13/05/2004	158	6,0	4	3	21	37	2	12	0,01	<LD	24	
114	92	6273140004	12/05/2004	439	7,6	77	8	4	14	6	7	0,02	<LD	226	294
115	94A	6273110007	12/05/2004	386	7,3	58	9	7	20	8	9	0,01	<LD	183	263
115	94	6273110007	12/05/2004	478	7,0	71	9	9	23	2	5	0,02	<LD	216	295
116	97	6373140001	13/05/2004	645	7,0	77	18	22	45	3	5	0,02	<LD	269	387
117	98	6373110001	13/05/2004	5810	7,0	157	124	828	1789	27	12	0,64	<LD	912	3726
118	99	6373110002	13/05/2004	4720	6,4	154	115	672	1454	22	18	0,01	<LD	854	2999
119	95	6373440005	12/05/2004	562	6,8	90	10	18	22	10	12	<LD	<LD	269	306
120	96	6373440001	12/05/2004	535	6,8	90	8	17	18	8	12	0,03	<LD	259	388

Límites NORDOM-80 u OMS-95				9,2	200	150	200	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)
121	93	6273110002	12/05/2004	478	7,0	81	7	8	22	4	5	<LD	<LD	231	276
122	91	6273140003	12/05/2004	104	4,2	2	3	17	20	4	18	0,01	<LD	19	89
123	106	6273420003	14/05/2004	573	7,0	61	13	40	46	29	15	0,02	<LD	227	317
124	107	6273420004	02/06/2004	270	5,2	15	14	16	52	2	11	<LD	<LD	94	229
125	108	6273420026	14/05/2004	138	5,5	6	5	13	24	0	3	0,02	<LD	34	102
126	87	6273330027	12/05/2004	512	6,0	54	20	19	33	33	9	0,28	0,11	216	390
127	88	6273330032	12/05/2004	993	6,4	142	28	19	52	27	9	0,01	<LD	470	697
128	89	6073210032	12/05/2004	807	6,4	109	29	12	33	21	8	0,04	0,06	394	534
129	90	6073210037	12/05/2004	1168	7,0	150	36	48	97	28	2	0,02	1,82	523	789
130	86	6273330023	12/05/2004	522	7,0	58	12	25	44	16	6	0,01	0,02	197	342
131	57	6174240013	06/05/2004	992	6,8	132	14	38	96	69	35	0,02	<LD	389	759
132	56	6174240014	06/05/2004	918	6,5	115	25	26	37	38	24	0,09	0,08	394	654
133	117	6074260002	18/05/2004	907	6,8	48	63	48	28	39	27	0,04	0,14	384	689
134	116	6074260005	18/05/2004	965	6,7	109	37	20	50	43	21	0,04	<LD	427	721,0
135	118	6074220028	18/05/2004	2280	6,5	92	126	172	229	229	24	0,03	<LD	754	1,602
136	119	6074220029	18/05/2004	1620	6,9	71	96	96	116	144	25	0,02	0,00	576	1217
137	120	6074250023	18/05/2004	1410	7,1	40	64	142	69	67	33	0,06	0,06	370	1156
138	202	6075440001	01/06/2004	1835	7,2	51	88	194	191	135	22	0,44	<LD	494	1162
139	203	6075450001	01/06/2004	3790	6,8	385	194	150	287	1248	6	0,03	0,19	1772	374
140	204	6075450020	01/06/2004	2330	7,0	248	52	138	240	600	14	0,01	<LD	837	1750
141	205	6075450024	01/06/2004	3490	7,0	462	82	168	308	1125	<LD	0,01	0,39	1500	3117
142	207	6075450035	01/06/2004	2530	6,9	256	82	123	261	600	31	0,21	0,03	983	2009
143	208	6075450007	01/06/2004	777	7,1	79	24	29	38	79	25	0,05	<LD	296	534
144	209	6075450033	01/06/2004	2570	7,0	254	70	135	344	525	4	0,15	<LD	926	1932
145	206	6075450030	01/06/2004	3040	6,8	327	85	149	470	600	25	0,27	<LD	1171	2301
146	210	6075450043	01/06/2004	4790	7,1	404	130	394	686	1375	4	0,01	0,28	1551	3983
147	211	6075450044	01/06/2004	2050	7,1	222	58	80	205	475	<LD	<LD	3,11	795	1706
148	212	6075460002	01/06/2004	1104	7,4	38	97	39	70	47	11	0,03	<LD	498	757
149	218	6075250001	02/06/2004	646	6,7	94	17	29	24	13	10	0,02	<LD	306	534
150	217	6075250008	02/06/2004	530	6,7	75	15	8	14	21	19	0,03	<LD	249	277
151	216	6075330005	02/06/2004	805	6,7	85	27	21	47	42	7	0,02	<LD	325	343
152	215	6975330003	02/06/2004	1330	6,7	75	67	69	148	37	38	0,04	<LD	466	886

Límites NORDOM-80 u OMS-95				9,2	200	150	200	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)
153	214	6075320004	02/06/2004	693	6,3	56	26	36	40	42	24	0,04	0,08	249	526
154	213	6075320005	02/06/2004	1048	6,6	62	16	124	73	40	5	0,01	0,06	221	705
155	198	6075350009	01/06/2004	628	7,1	62	18	32	42	12	10	0,01	<LD	231	406
156	199	6075350008	01/06/2004	776	7,0	85	23	28	37	9	1	0,01	<LD	306	465
157	200	6075340001	01/06/2004	447	7,2	60	12	5	12	7	8	<LD	<LD	202	273
158	201	6075350001	01/06/2004	600	7,9	28	30	38	42	65	<LD	<LD	<LD	198	360
159	197	6075360002	01/06/2004	859	6,7	102	29	18	21	35	4	0,00	0,08	376	522
160	196	6075360001	01/06/2004	587	7,0	60	15	24	33	33	9	0,02	0,14	212	376
161	121	6074460006_D	19/05/2004	2250	7,1	58	94	316	97	397	6	0,00	0,12	538	1425
162	122	6074460030	19/05/2004	2450	7,0	144	211	120	86	1118	47	0,03	0,17	1239	1556
163	123	6074460008	19/05/2004	3080	7,0	192	199	244	261	1256	14	0,03	0,00	1311	1924
164	124	6074460002_D	19/05/2004	590	7,0	61	30	20	36	57	11	0,01	<LD	279	386
165	125	6074140019	19/05/2004	790	7,0	58	33	51	52	77	12	0,01	0,17	283	515
166	126	6074140016	19/05/2004	740	7,0	67	36	27	37	87	12	0,01	<LD	317	556
167	127	6074140013	19/05/2004	2270	7,0	261	135	91	108	979	17	<LD	<LD	1215	1350
168	128	6074140021_D	19/05/2004	890	7,0	88	41	37	80	103	9	0,04	<LD	394	716
169	152	6074330001	20/05/2004	2250	7,0	217	85	127	139	740	4	0,03	<LD	898	1927
170	256	6074320004	08/06/2004	863	8,0	38	39	73	44	50	10	0,02	<LD	259	548
171	130	5974160005	19/05/2004	1790	7,3	71	61	211	121	450	4	0,01	0,14	432	1360
172	131	5974130004	19/05/2004	1330	7,0	111	48	86	91	325	6	<LD	0,03	480	997
173	134	5974130022	19/05/2004	720	7,0	83	31	20	37	76	6	0,02	0,03	336	473
174	132	5975260003_D	19/05/2004	1250	7,0	86	70	68	95	131	26	0,04	<LD	509	824
175	133	5975260002	19/05/2004	790	6,4	88	28	40	71	53	12	<LD	0,10	336	499
176	135	5974120003	20/05/2004	1952	7,0	73	123	124	313	295	13	0,08	<LD	696	1521
177	136	5974120005	20/05/2004	1150	8,3	15	23	189	75	185	2	0,00	<LD	135	810
178	137	597412006	20/05/2004	13740	7,4	365	760	1320	3029	1873	293	0,45	0,53	4080	12080
179	138	5974110004	20/05/2004	4100	8,2	19	18	791	599	188	23	0,03	<LD	125	2962
180	139	5974430009	20/05/2004	1338	7,0	134	66	32	64	300	12	0,04	<LD	610	1150
181	140	5974430003	20/05/2004	6580	7,5	106	138	975	1118	793	7	0,18	<LD	840	5037
182	143	5975340016	20/05/2004	9660	7,0	303	525	696	2283	1311	228	0,28	<LD	2947	7777
183	142	5975340019	20/05/2004	2810	7,3	63	63	456	481	550	13	0,21	0,10	422	1934
183	141	5975340019	20/05/2004	2810	7,3	67	61	437	421	550	12	0,23	0,16	423	1979

Límites NORDOM-80 u OMS-95				9,2	200	150	200	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)
184	145	5975340002	20/05/2004	1000	7,0	77	40	52	65	193	3	0,06	0,05	360	771
185	144	5975340001	20/05/2004	2100	7,0	173	82	113	244	315	0	0,04	<LD	773	1610
186	146	59753427	20/05/2004	2320	7,0	177	92	144	209	345	4	0,01	0,61	826	1745
187	150	5975330005	20/05/2004	4110	7,0	96	221	375	461	740	61	0,05	2,62	1160	2286
188	148	5875260002	20/05/2004	1450	7,0	134	59	63	96	210	6	0,03	1,35	581	1087
189	147	5875260012	20/05/2004	2540	7,0	202	199	170	247	920	3	0,01	3,39	1335	2057
190	255	5874130004	08/06/2004	651	7,6	15	53	36	44	11	5	<LD	<LD	259	439
191	254	5874130012	08/06/2004	1137	7,6	24	19	219	87	46	8	0,03	<LD	141	753
192	253	5874130016	08/06/2004	1337	7,9	23	27	217	113	91	11	0,08	<LD	164	887
193	252	5874120016	08/06/2004	754	7,9	24	13	112	125	32	7	<LD	<LD	113	473
194	251	5874110001	08/06/2004	851	7,4	70	28	51	89	19	2	0,01	0,01	292	434
195	250	5874110016	08/06/2004	722	7,1	28	34	62	29	15	6	0,02	<LD	212	472
196	249	5874110011	08/06/2004	759	7,1	19	20	89	31	23	7	0,03	<LD	132	530
197	248	5874220003	08/06/2004	413	7,3	38	23	9	23	5	6	0,01	<LD	188	300
198	247	5974450008	08/06/2004	1805	7,2	120	86	117	96	513	19	0,33	<LD	658	1505
199	245	5974330014	08/06/2004	482	6,9	38	28	14	21	7	2	0,02	0,05	212	310
200	246	5974450001	08/06/2004	535	6,9	23	37	25	17	22	6	0,10	<LD	212	336
201	243	5974330030	08/06/2004	795	7,6	60	48	13	17	<LD	<LD	<LD	0,29	353	402
203	240	5974330004	07/06/2004	800	7,3	53	59	20	28	70	2	0,00	0,00	376	525
204	239	5974210003	07/06/2004	2200	7,6	64	173	136	129	550	2	<I	0,20	879	1877
205	241	5974330007	07/06/2004	486	7,3	30	34	15	16	4	7	0,02	<LD	216	280
206	242	5974330008	07/06/2004	653	7,1	47	39	22	28	6	14	0,01	0,09	282	353
207	237	5974240001	07/06/2004	470	6,9	26	33	20	38	4	<LD	>LD	<LD	202	291
208	238	5974250001	07/06/2004	1020	6,7	70	60	49	70	36	5	0,01	<LD	423	580
209	129	5974160006	19/05/2004	1420	7,5	138	46	98	118	387	5	0,01	<LD	538	1108
210	151	5974160010	20/05/2004	1210	6,5	117	68	26	52	63	2	0,03	0,32	576	842
211	41	6073220022	05/05/2004	217	7,0	12	8	23	12	1	2	0,18	<LD	62	173
212	165	5971110001	25/05/2004	1473	7,4	106	39	117	127	237	17	0,00	<LD	427	979
213	166	5971110004	25/05/2004	940	7,0	67	35	78	56	126	12	0,00	<LD	312	604
214	163	5972240006	25/05/2004	1304	7,0	100	29	131	108	224	17	<LD	<LD	370	908
215	164	5972240004	25/05/2004	1384	7,0	125	25	127	108	228	32	0,00	<LD	418	908
217	158	5872240001	25/05/2004	812	6,3	125	23	8	28	14	11	0,03	<LD	408	584

Límites NORDOM-80 u OMS-95				9,2	200	150	200	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)
218	159	5872240002	25/05/2004	1119	7,3	58	12	182	151	14	22	0,07	<LD	192	713
219	160	5972350003	25/05/2004	830	7,0	58	42	38	60	29	32	0,04	<LD	317	546
220	161	5972350004	25/05/2004	639	7,0	92	16	6	15	16	17	0,00	<LD	298	417
221	162	5972350001	25/05/2004	458	7,4	61	13	14	17	11	8	<LD	<LD	207	302
222	156	6071410002	24/05/2004	594	6,8	71	20	18	22	27	11	0,02	0,17	259	385
224	155	6071420001	24/05/2004	1402	7,7	25	54	184	238	29	4	0,10	5,54	288	793
225	182	5870120008	27/05/2004	338	7,1	53	7	8	9	2	8	0,02	<LD	160	191
226	183	5870130001	27/05/2004	302	7,1	47	8	7	10	2	6	0,01	<LD	151	157
228	184	5870120005	27/05/2004	458	6,9	53	17	12	12	4	20	0,03	<LD	202	229
229	185	5870120004	27/05/2004	282	6,9	45	18	11	9	2	12	0,03	<LD	137	183
230	181	5870130003	27/05/2004	303	7,3	45	10	5	9	2	5	0,01	<LD	155	165
231	177	5871460003	26/05/2004	985	6,7	69	28	88	169	28	7	0,00	<LD	288	635
232	178	5871460001	26/05/2004	1026	6,7	67	27	101	179	33	8	<LD	<LD	279	623
235	180	5871410005	26/05/2004	623	7,1	77	18	19	49	17	8	0,02	0,06	269	363
237	187	5870330009	27/05/2004	976	6,9	83	50	19	132	48	26	0,01	<LD	414	720
239	191	58702	28/05/2004	435	7,4	74	6	2	7	3	9	0,02	<LD	212	259
240	192	5870220001	28/05/2004	621	7,0	75	7	13	14	3	14	0,02	<LD	216	287
241	190	5869120003	28/05/2004	4330	6,9	103	81	679	1261	70	8	0,01	<LD	597	2987
242	189	5869120002	28/05/2004	3810	6,9	100	70	623	1092	61	7	0,01	<LD	541	2652
243	188	5869120001	28/05/2004	3910	6,8	102	69	650	1096	176	5	0,01	0,20	541	2607
244	193	5870140002	28/05/2004	481	6,8	85	6	4	16	8	13	0,01	<LD	235	260
245	194	5870240001	28/05/2004	404	7,0	56	11	12	12	5	10	<LD	<LD	188	190
247	170	5971440003	26/05/2004	650	6,7	61	18	29	37	22	11	0,02	0,04	231	417
248	171	5871160001	26/05/2004	1578	6,8	61	33	229	324	155	8	0,01	<LD	298	958
249	172	587112001	26/05/2004	402	6,7	67	8	11	15	2	<LD	<LD	<LD	202	260
250	173	5871140002	26/05/2004	3340	6,8	77	55	567	939	130	3	0,00	0,40	423	2148
251	174	5871140004	26/05/2004	281	7,1	48	7	3	9	2	7	0,03	<LD	149	177
252	175	5871140008	26/05/2004	280	7,0	46	7	3	7	1	0	0,00	<LD	144	175
253	176	5871140007	26/05/2004	280	7,0	45	4	3	7	2	7	0,00	<LD	132	177
254	169	5971440001	26/05/2004	414	6,6	58	14	5	15	9	8	0,00	<LD	202	246
255	154	6171440018	24/05/2004	782	6,2	81	35	18	59	27	33	0,03	<LD	346	521
256	153	6171340006	24/05/2004	557	7,0	69	22	10	22	23	14	0,03	<LD	264	372

Límites NORDOM-80 u OMS-95				9,2	200	150	200	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)	
257	263	6171220017	10/06/2004	533	6,9	75	14	11	23	11	16	0,02	<LD	245	312	
43ª	28A	6372420004	29/04/2004	252	6,1	9	6	39	53	2	15	0,55	<LD	48	162	
M1	100	6373 MS	13/05/2004	61700	8,0	346	1302	11386	21992	61	6	0,01	0,51	6290	39,315	
227	186	5870120002	27/05/2004	326	6,9	51	8	4	9	2	8	0,03	<LD	160	182	
261	179	5871410003	26/05/2004	525	6,7	67	20	4	17	11	11	0,01	<LD	250	281	
262	244	5974330028	08/06/2004	514	7,3	39	34	14	12	4	11	0,01	<LD	240	315	
258	157	6071410001	24/05/2004	561	6,6	77	17	10	22	28	13	0,07	<LD	264	387	
260	168	5971110008	26/05/2004	699	6,3	67	29	16	32	40	12	0,03	<LD	288	448	
194A	251-A	5874110001A	08/06/2004	996	7,1	92	43	43	83	32	17	0,03	<LD	409	534	
259	167	5972240001	25/05/2004	1050	7,0	83	28	90	75	158	8	<LD	0,03	322	662	
188A	149	5875260015(A)	20/05/2004	1100	7,0	81	50	59	66	230	5	0,02	<LD	408	758	
M2	35	6273M	04/05/2004	35000	7,9	230	576	5841	11630	1624	7	<LD	0,44	2956	23631	
M3	195	5869-M	28/05/2004	61700	8,2	470	1128	6760	18904	49	6	0,01	0,47	5875	59070	
				Min	55	4,2	2	1	2	7	0	0	0,00	0,00	8	2
				Max	61700	8	470	1302	11386	21992	1873	293	4,42	5,54	6290	59070

- 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

6.6.1.2. Calidad bacteriológica del agua potable

Los criterios de calidad bacteriológicos se basan en la determinación de aquellos microorganismos que puedan afectar directamente a la salud del hombre (organismos indicadores de contaminación fecal), o que con su presencia pueden indicar la posible existencia de otros (indicadores de la calidad del agua).

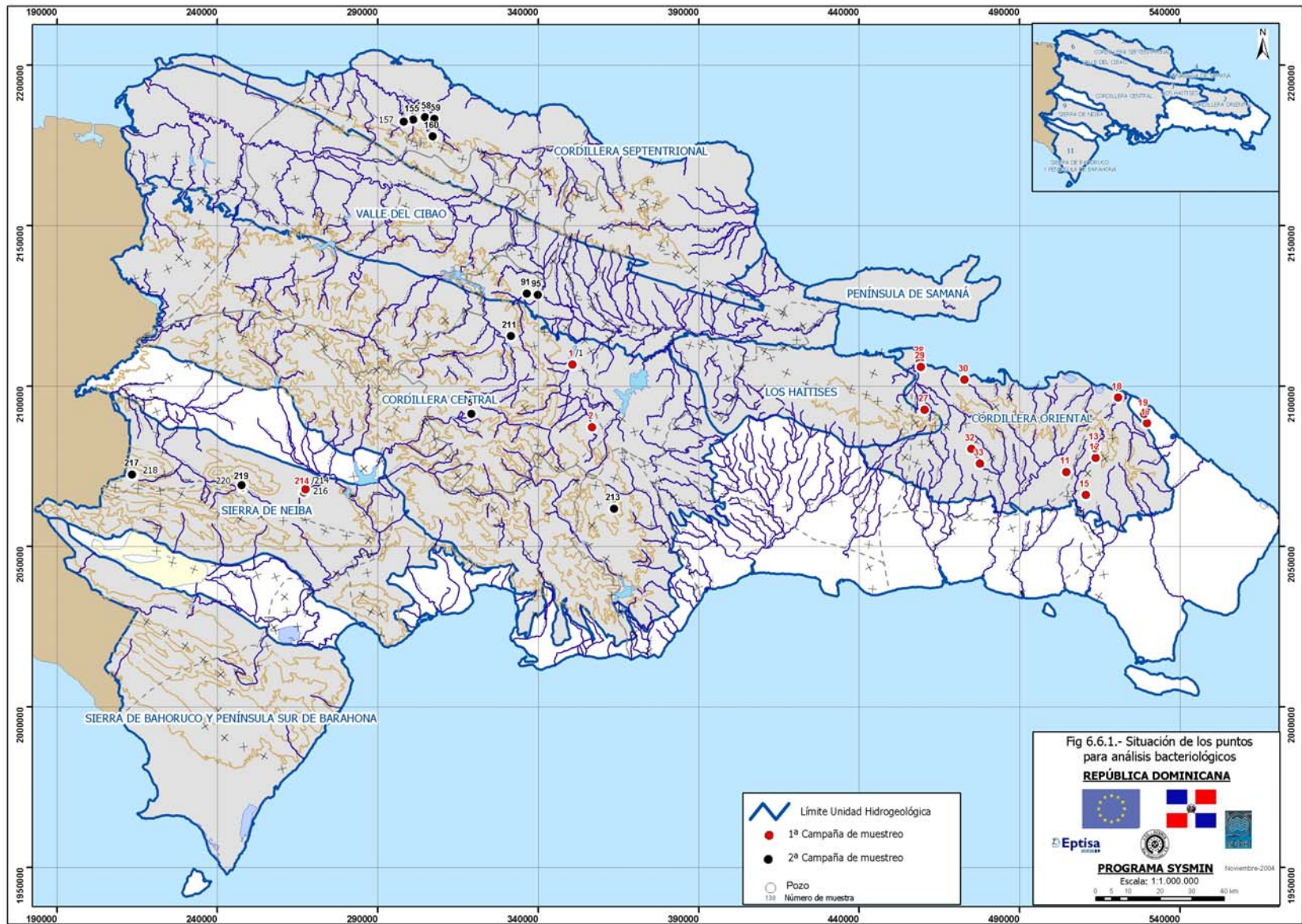
La contaminación fecal del agua potable puede incorporar una variedad de organismos patógenos intestinales bacterianos, virales y parasitarios. Estos organismos pueden ser causantes de enfermedades cuyo índice de gravedad va desde una ligera gastroenteritis hasta casos graves y, a veces fatales, de disentería, cólera o tifus.

Otros organismos considerados no patógenos pueden ser causantes de infecciones, especialmente en personas con el sistema inmunológico debilitado (bebés, ancianos, enfermos, etc). En estos casos el agua de bebida o de baño puede producir una serie de infecciones que afectan a la piel, ojos, oídos, nariz y garganta.

En el desarrollo de este estudio se han analizado Coliformes totales y Coliformes fecales, como organismos indicadores de contaminación fecal, y Aerobios mesófilos y Pseudomonas, como indicadores de la calidad del agua (tienen valor en determinadas circunstancias, pues proporcionan indicios en cuanto a la limpieza general del sistema de distribución, sirven para evaluar la calidad del agua embotellada o si el agua es adecuada para su uso en la elaboración de alimentos y bebidas o en preparados farmacéuticos, etc.).

En la primera campaña de muestreo se han llevado a cabo análisis bacteriológicos en nueve puntos de agua, situados 3 en la Cordillera Central, 5 en la Cordillera Oriental y 1 en la Cordillera Septentrional (figura 6.6.1.), como índices de la calidad bacteriológica de las aguas subterráneas de la República Dominicana, si bien, debe tenerse en cuenta que los resultados son puntuales y se refieren a las condiciones espacio-temporales existentes en el momento del muestreo.

En el cuadro 6.6.4. se incluyen los resultados proporcionados por el laboratorio del INDRHI, correspondientes a la primera campaña de muestreo (noviembre de 2003 a enero de 2004), en la que se analizaron además de los puntos seleccionados previamente, otras 10 muestras de agua.



Cuadro 6.6.4. Resultados de los análisis bacteriológicos (noviembre 2003 a enero 2004)

No. asignado	Código	Coli Totales NMP/100ml	Coli Fecales NMP/1ml	Mesófilos UFC/1ml	Pseudomonas
1	6173340015	1100	<2.2	200	Presencia
2	6172450002	23	<2.2	45	Presencia
11	6472310002	1100	<2.2	0	Presencia
12	6472320002	<2.2	<2.2	0	Presencia
13	6472320004	43	<2.2	0	Presencia
15	6472350012	1100	<2.2	0	Presencia
17	6472140004_D	1100	<2.2	0	Presencia
18	6472430002	1100	<2.2	0	Presencia
19	6472110001	1100	<2.2	0	Presencia
27	6372420001	>1100	21	152	Presencia
28	6373450005	<2.2	<2.2	0	Presencia
29	6373350002	>1100	>1100	400	Presencia
30	6373360001	21	15	48	Presencia
31	6373350003	43	<2.2	40	Presencia
32	6372210023	<2.2	<2.2	30	Ausencia
33	6372210016	>1100	1100	622	Presencia
214	5972240006	<2,2	<2,2	130	Ausencia
215	5972240004	<2,2	<2,2	50	Ausencia
216	5972240003	<2,2	<2,2	40	Presencia

En la segunda campaña de muestreo se han llevado a cabo análisis bacteriológicos en nueve puntos de agua, situados 3 en la Cordillera Central, 5 en la Cordillera Oriental y 1 en la Cordillera Septentrional (figura 6.6.1.). En el cuadro 6.6.5. se incluyen los resultados proporcionados por el laboratorio del INDRHI, correspondientes a la segunda campaña de muestreo (abril-junio de 2004), en la que se analizaron además de los puntos seleccionados previamente, otras 9 muestras de agua.

Cuadro 6.6.5. Resultados de los análisis bacteriológicos (abril-junio de 2004)

Nº asignado	Nº Lab (2ª c)	Código	Coli Totales (NMP/100 ml)	Coli Fecales (NMP/1 ml)	Mesófilos UFC/ 1ml	Pseudomonas
5	37	6172450002	290	210	490	Presencia
1	38	6173340015	1100	1100	610	Presencia
95	39	6073160002	15	9,1	790	Presencia
91	40	6073160027	9,1	9,1	1270	Presencia
211	41	6073220022	1100	1100	270	Presencia
217	158	5872240001	240	240	540	Presencia
218	159	5872240002	3,6	<2,2	270	Presencia
219	160	5972350003	3,6	<2,2	20	Presencia
220	161	5972350004	<2,2	<2,2	21	Presencia
214	163	5972240006	3,6	<2,2	110	Presencia
213	166	5971110004	240	23	345	Presencia
160	196	6075360001	1100	1100	130	Presencia

Nº asignado	Nº Lab (2ª c)	Código	Coli Totales (NMP/100 ml)	Coli Fecales (NMP/1 ml)	Mesófilos UFC/ 1ml	Pseudomonas
159	197	6075360002	1100	1100	30	Presencia
155	198	6075350009	>1,100	150	510	Presencia
157	200	6075340001	<2,2	<2,2	20	Ausencia
158	201	6075350001	93	7,3	600	Presencia

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

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

6.6.2. Contaminación de las aguas subterráneas por nitratos

En general, se considera que las prácticas agrícolas constituyen el principal aporte de compuestos nitrogenados a las aguas subterráneas. No obstante, el nitrógeno puede proceder también de otras fuentes (vertidos de aguas residuales, fosas sépticas, instalaciones ganaderas, industria alimentaria, etc.), que en ocasiones constituyen la vía fundamental de contaminación por compuestos nitrogenados de las aguas subterráneas.

Debido al incremento progresivo de la concentración de nitratos que se registra en los acuíferos, se consideró la necesidad de incluir estos constituyentes entre los parámetros analizados en todos los puntos de la red de control.

Así, para conocer el estado en que se encuentran las aguas subterráneas con respecto al contenido en nitratos en la República Dominicana, se realiza este estudio con objeto de reflejar la problemática existente en las unidades hidrogeológicas consideradas.

En la primera campaña las especies nitrogenadas analizadas presentan valores de nitratos que oscilan entre 0 y 303 mg/l de NO_3^- . En el Plano 9. (que se adjunta al final de este informe) se observa la distribución espacial del contenido en nitratos, correspondiente al primer muestreo realizado.

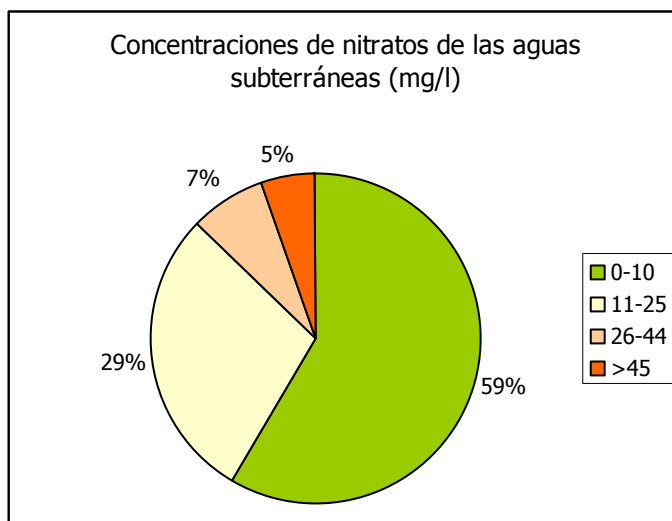
Los valores se han agrupado en cuatro rangos de concentraciones (0-10, 11-25, 26-44 y >45 mg/l). Se observa que predominan las aguas subterráneas con contenidos inferiores a 45 mg/l, en especial, los valores más frecuentes corresponden al rango de menor concentración (0-10 mg/l de NO_3^-).

Los valores comprendidos entre 26 y 44 mg/l se distribuyen por todo el ámbito de estudio, a excepción de Los Haitises, Península de Samaná y Sierra de Bahoruco y Península sur de Barahona.

Por su parte, los valores más elevados, superiores 45 mg/l, se registran en varias Unidades Hidrogeológicas (Valle del Cibao, Valle de Constanza y Cordillera Septentrional).

Existe, por tanto, un predominio de los valores bajos (figura 6.6.2). En la primera campaña el 59 % de las aguas presenta contenidos inferiores a 10 mg/l, el 29 % tiene valores comprendidos entre 11 y 24 mg/l, el 7 % tiene valores comprendidos entre 26 y 44 mg/l, y sólo el 5 % presenta concentraciones superiores a 45 mg/l.

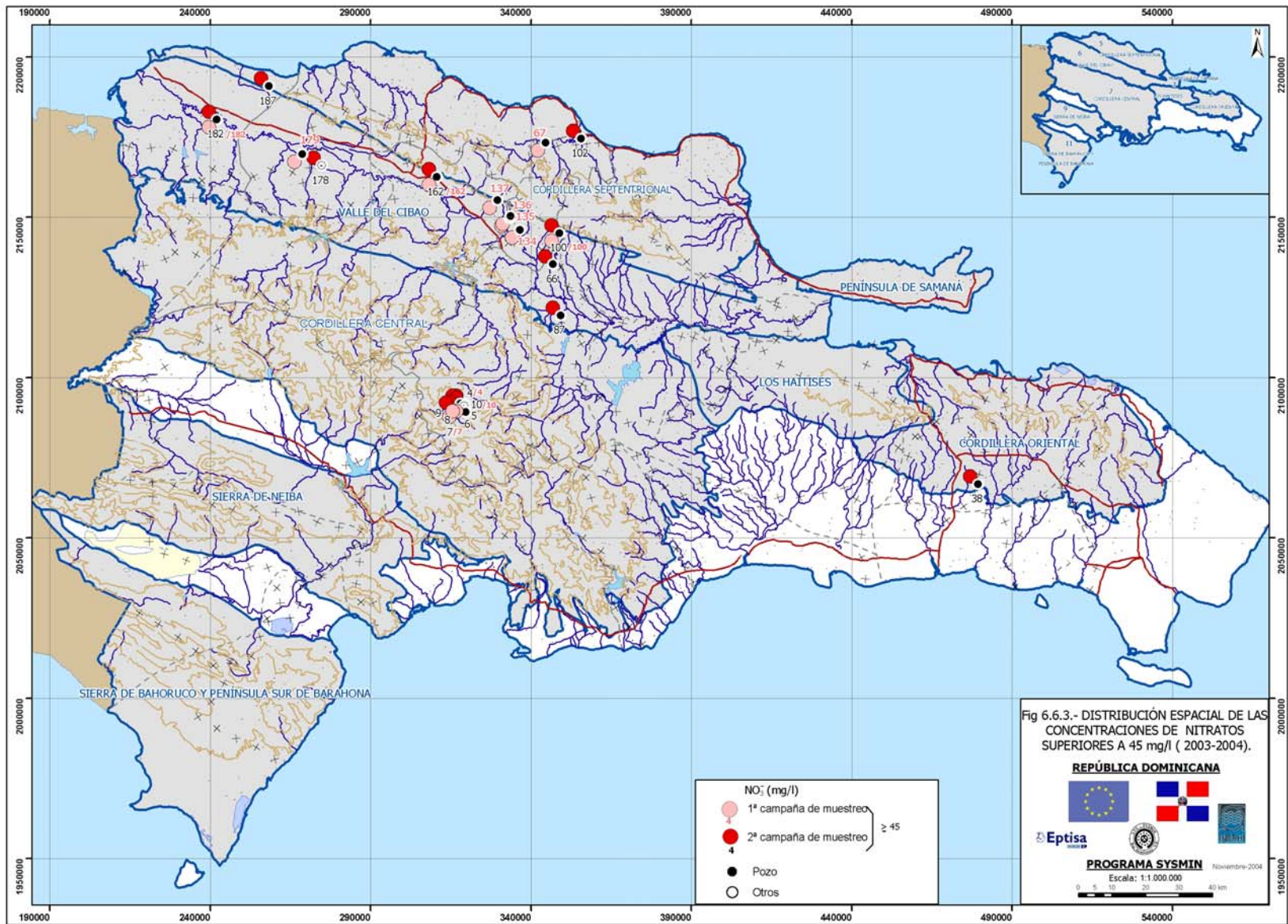
Figura 6.6.2. Concentraciones de nitratos en las aguas subterráneas (primera campaña)



Los valores máximos, superiores a 45 mg/l, se incluyen en el cuadro 6.6.6. y en la figura 6.6.3. se observa su distribución espacial.

Cuadro 6.6.6. Muestras de agua subterránea que presentan valores de nitratos superiores a 45 mg/l (primera campaña)

No. Lab,	Código	Municipio	Paraje	Cond (µS/cm)	NO ₃ ⁻ (mg/l)
4	6072140014	Constanza	Alto Cerro	1243	163
5	6072140018	Constanza	El Higo del Valle	688	62
7	6072140004	Constanza	La Secadora	834	94
10	6072140001	Constanza	Cañada Seca	1023	98
67	6173410016	San Francisco de Macorís	La Guama Germocen	1592	53
100	6174340003	Salcedo	Palmarito	2.830	129
134	6074260005	Santiago	Monte de la Jagua	1173	58
135	6074220028	Santiago	La Reyna	2340	53
136	6074220029	Santiago	La Reyna	1752	49
137	6074250023	Santiago	Tamboril	1707	62
162	6074460030	Esperanza	Palmarejo	3590	104
178	5974120006	La Yagua	El Cerro	14350	231
179	5974110004	Piloto	Piloto Cercandillo	3970	92
182	5975340016	Villa Vasquez	Jobo Colcobao	9840	303



En la figura 6.6.3. se han representado las aguas subterráneas en las que se registran los valores más elevados de nitratos. Los valores superiores a 45 mg/l se distribuyen en el Valle del Cibao y Valle de Constanza (Fotos 6.6.1. y 6.6.2.). En ambos casos se observan varios puntos de agua con concentraciones elevadas de nitratos.



Foto 6.6.1.



Foto 6.6.2.

Además, hay un punto en la Cordillera Septentrional que presenta un contenido de nitratos superior a 45 mg/l.

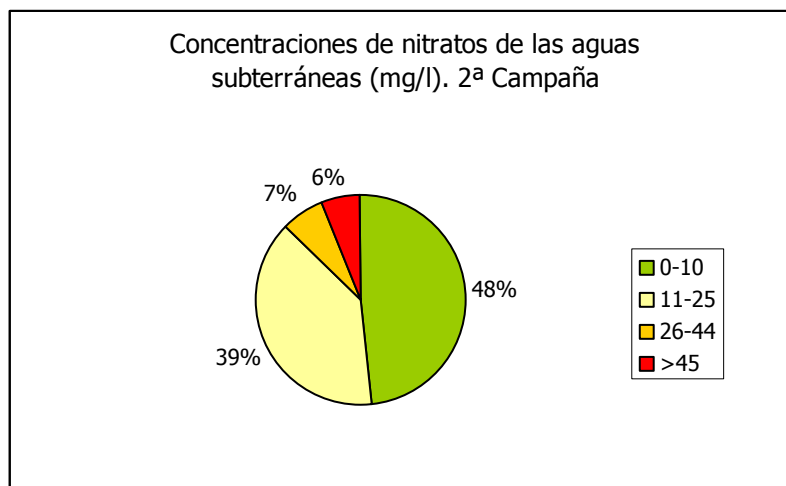
En la segunda campaña de muestreo realizada, las especies nitrogenadas analizadas presentan valores de nitratos que oscilan entre 0 y 293 mg/l de NO_3^- .

Los valores comprendidos entre 26 y 44 mg/l se distribuyen por todo el ámbito de estudio, a excepción de Los Haitises y Península de Samaná.

Por su parte, los valores más elevados, superiores 45 mg/l, se registran en varias Unidades Hidrogeológicas (Valle del Cibao, Cordillera Central y Cordillera Septentrional).

Al igual que en la primera campaña, existe un predominio de los valores bajos (figura 6.6.4.). El 48 % de las aguas presenta contenidos inferiores a 10 mg/l, el 39 % tiene valores comprendidos entre 11 y 24 mg/l, el 7 % tiene valores comprendidos entre 26 y 44 mg/l, y sólo el 6 % presenta concentraciones superiores a 45 mg/l.

Figura 6.6.4. Concentraciones de nitratos en las aguas subterráneas (segunda campaña)



Los valores máximos, superiores a 45 mg/l, se incluyen en el cuadro 6.6.7. y en la figura 6.6.3 se observa su distribución espacial.

Cuadro 6.6.7. Muestras de agua subterránea que presentan valores de nitratos superiores a 45 mg/l en la 2ª campaña (abril-junio de 2004).

Nº de orden asignado	Nº lab 2ª campaña de muestreo	Código	CE microS/cm	NO3 mg/l
4	234	6072140014	1183	200
4	236	6072140014	1196	220
5	233	6072140018	790	74
6	229	6072140009	540	71
7	230	6072140004	709	79
9	232	6072140002	580	68
10	235	6072140001	1014	109
38	4	6372240006	1991	58
66	52	6173410019	1864	99
87	66	6173310012	681	51
100	115	6174340003	2030	68
102	221	6174420057	1178	47
162	122	6074460030	2450	47
178	137	597412006	13740	293
182	143	5975340016	9660	228
187	150	5975330005	4110	61

En la figura 6.6.3. se han representado las aguas subterráneas en las que se registran los valores más elevados de nitratos. Los valores superiores a 45 mg/l se distribuyen, al igual que en la primera campaña de muestreo, en el Valle del Cibao y en la Cordillera Central (Valle de Constanza). En ambos casos se observan varios puntos de agua con concentraciones elevadas de nitratos.

Además, se registran dos puntos en la Cordillera Septentrional y un punto en la Cordillera Oriental que presentan un contenido de nitratos superior a 45 mg/l.

6.6.3. Contaminación de las aguas subterráneas por plaguicidas

Los plaguicidas o pesticidas engloban a una serie de compuestos de notable resistencia a la degradación que con frecuencia son muy nocivos para los seres vivos, ya que tienden a acumularse en los tejidos.

Al igual que otros campos de actividad, la agricultura ha experimentado grandes cambios en las prácticas desarrolladas a lo largo del tiempo, como consecuencia del avance tecnológico, que en ocasiones llevan consigo la contaminación del medio natural. La aplicación de fertilizantes y productos fitosanitarios se ha incrementado considerablemente y las formulaciones empleadas para luchar contra las plagas de los cultivos se han modificado continuamente para mejorar el rendimiento de las cosechas.

El empleo sistemático de plaguicidas en la agricultura se inició hace algo más de cien años y su consumo ha ido en aumento. A los resultados espectaculares que se consiguieron al comienzo de su utilización siguieron otros problemas, al observarse que la aplicación masiva e indiscriminada de estos productos tenía consecuencias sobre la salud humana, sobre el medio ambiente e incluso sobre la efectividad del producto.

Los plaguicidas aplicados y sus productos de degradación tóxicos permanecen en el terreno hasta que son arrastrados por el agua de lluvia o riego hasta alcanzar los recursos superficiales o subterráneos. La contaminación del agua por estos compuestos presenta características especiales, ya que estas sustancias son tóxicas para diversas formas de vida animal y vegetal, y se van concentrando en los tejidos según se asciende en la cadena trófica (efecto de bioacumulación).

El empleo indiscriminado de estos compuestos puede provocar serios desequilibrios ecológicos puesto que no sólo elimina a la especie que constituye la plaga, sino que también afecta a muchas otras.

6.6.3.1. Movimiento de los plaguicidas hacia las aguas subterráneas

La movilidad de los pesticidas en los acuíferos depende entre otros, de la litología y potencia de la zona no saturada, y de la composición química del plaguicida. A continuación se indican algunas de las características que influyen de forma decisiva en el movimiento de los plaguicidas hasta alcanzar el nivel saturado.

Características del suelo que afectan al transporte

El movimiento de los plaguicidas hacia las aguas subterráneas viene condicionado, entre otros, por las propiedades del medio en que se encuentren. Así, el contenido en arcillas de un suelo afecta al transporte de estas sustancias, dada la alta capacidad de adsorción que presentan los minerales arcillosos.

Lo mismo sucede con el contenido en materia orgánica, ya que es una fuente de energía para los microorganismos y éstos son uno de los principales responsables de la degradación de plaguicidas, por lo que al incrementarse aquella, aumenta la bioactividad y, consecuentemente, la degradación. Además, la adsorción de los plaguicidas también se incrementa con el contenido de materia orgánica.

Otras características que afectan al transporte de plaguicidas son la textura, estructura y porosidad del suelo, la vegetación, temperatura, pH y grado de humedad.

Características del plaguicida que afectan al transporte

Entre las propiedades de los plaguicidas que influyen en su movimiento hacia las aguas subterráneas destacan: solubilidad, volatilidad, persistencia y sorción en los materiales del suelo y las plantas.

Los compuestos organoclorados, con una solubilidad en agua muy baja, son los menos móviles, seguidos de los organofosforados.

La volatilización, o tendencia de un compuesto a dispersarse en el aire, depende de las condiciones ambientales (temperatura, velocidad del viento, etc.). Este proceso es el principal sistema de pérdida de plaguicidas desde el suelo; las mayores pérdidas se producen en el periodo inmediatamente posterior a la aplicación del plaguicida.

La persistencia de un plaguicida en el suelo se define como el tiempo que se requiere para que su concentración se reduzca a la mitad. La resistencia a la degradación es función de la estructura molecular. En general, los más resistentes son los organoclorados, y entre ellos los fenolbencenos altamente sustituidos. La estabilidad en el suelo o persistencia depende de una serie de factores entre los que se encuentran el tipo de preparado, el modo de aplicación, las condiciones climatológicas, evaporación, tipo de plantas a las que se aplica el plaguicida y procesos de descomposición que conducen a la degradación química (en especial hidrólisis, fotólisis, así como transformaciones microbianas).

Los plaguicidas que resisten los procesos de degradación química y además no se evaporan, son muy persistentes, con una vida media muy larga y por tanto tienen un alto potencial para contaminar las aguas subterráneas.

Los mecanismos de adsorción en el suelo varían de acuerdo con la estructura química, concentración y naturaleza del plaguicida (además de los contenidos de arcillas y materia orgánica del suelo y del pH).

Otros factores que afectan al transporte

El grado y extensión en que un plaguicida puede infiltrarse a través del suelo hacia las aguas subterráneas, depende en gran parte de factores climáticos externos, como la temperatura ambiente y los regímenes pluviométrico y de vientos.

Asímismo, los métodos y condiciones de aplicación de los plaguicidas (espolvoreo, aplicación como gránulos, pulverización, aplicación mediante riego, etc.) influyen en el grado en que éstos afectan al agua subterránea.

En cuanto a los distintos tipos de pesticidas a analizar, se han determinado organoclorados por su elevada toxicidad y persistencia (son acumulativos para los mamíferos). También se han analizado plaguicidas organofosforados (menos tóxicos, y no acumulativos), que se degradan con mayor facilidad.

6.6.3.2. Plaguicidas analizados

Los plaguicidas organoclorados son moléculas orgánicas con sustituyentes cloro en varios lugares de su estructura. El número y localización de estos sustituyentes determina la facilidad de degradación del compuesto. En general, presentan menor facilidad de degradación a medida que están más sustituidos.

El análisis de plaguicidas organoclorados ha incluido la determinación de hexaclorociclohexano (\forall , \exists , $($ y $*$), heptaclor, heptaclor epóxido, aldrin, dieldrin, endrin cetona, endrin aldehído, endosulfán I y II, endosulfán sulfato, P,P-DDE, P,P-DDD, P,P-DDT, metoxiclor y endrin.

Los plaguicidas organofosforados son moléculas orgánicas complejas que contienen fósforo. En general se hidrolizan fácilmente, tanto por vía enzimática como no enzimática. La estabilidad frente a la acción hidrolítica sobre estos compuestos aumenta, según la naturaleza de los enlaces, en el orden: anhídrido o halogenuro, alcohoxi y amido, oxifosfatos, tiofosfatos y fosfonatos.

Existen distintos procesos que conducen a la degradación de los plaguicidas organofosforados:

- Reacciones fotoinducidas (la radiación ultravioleta es capaz de producir derivados más tóxicos)
- Reacciones de oxidación (el paso de tiofosfatos a oxifosfatos incrementa la toxicidad)
- Procesos de deshidrohalogenación

Con respecto a los plaguicidas organofosforados, se han determinado diclorvos, metamidofos, mevinfos, phorate, naled, diazinon, disulfoton, metil paration, fenitroton, malation, etil paration, etion, metil azinfos, etil azinfos, clorpirifos, partation, coumafos, dimetoate, phosalone y comaphos.

El análisis de triazinas ha incluido la determinación de atraton, prometron, simazina, atrazina, propacina, terbutilacina, sebumeton, simetrina, ametrina, prometrina y terbutrina.

6.6.3.3. Puntos de control

Para estudiar la situación en que se encuentran las aguas subterráneas con respecto a los plaguicidas utilizados en las prácticas agrícolas se han seleccionado 11 puntos de control, en distintos sectores, siguiendo las indicaciones de la dirección del estudio y de acuerdo con las sugerencias del INDRHI.

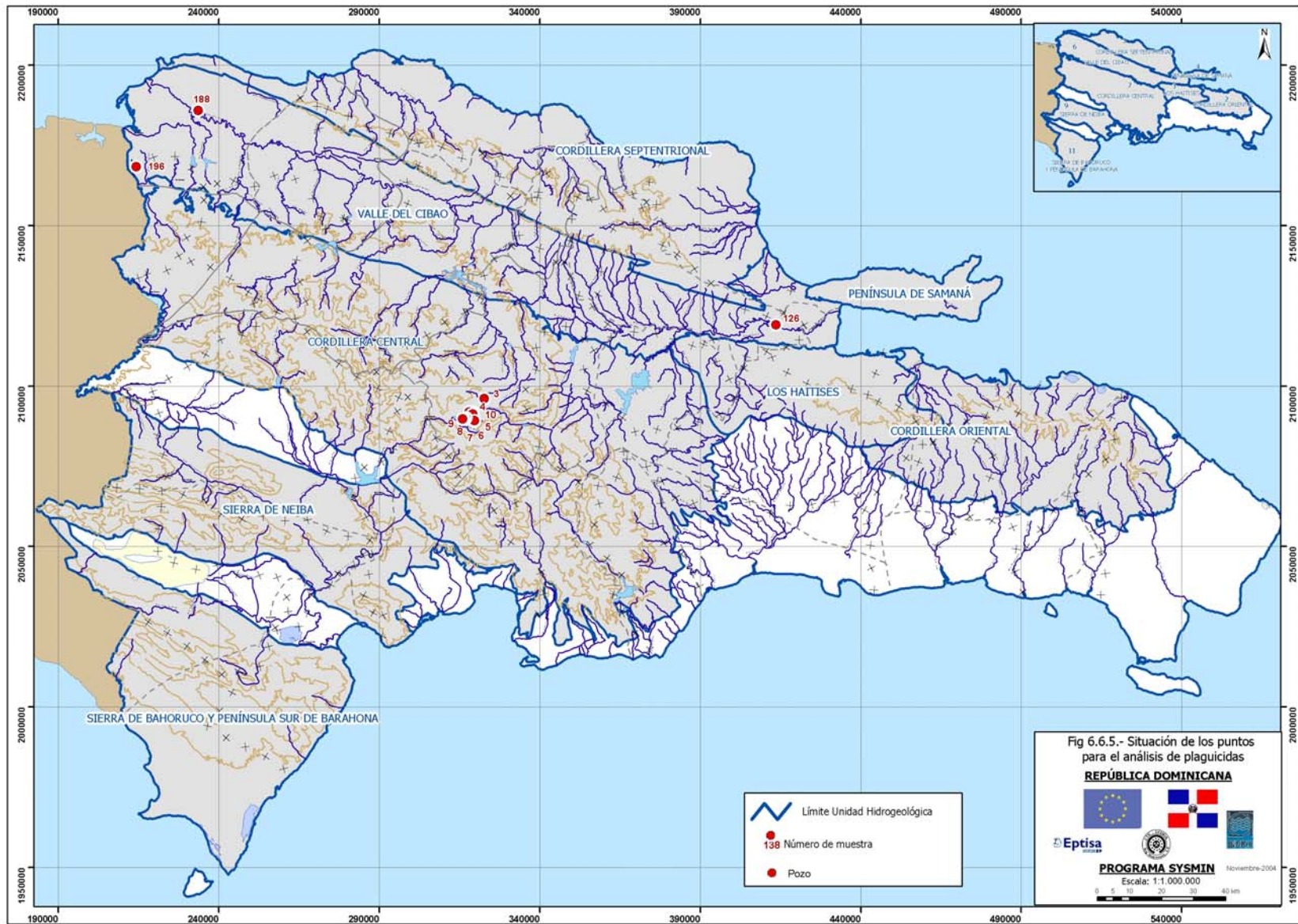
En el cuadro 6.6.7. se incluyen los puntos en los que se han realizado análisis de plaguicidas y en la figura 6.6.5. se observa la distribución espacial de los puntos de control.

Así, en 11 puntos de la red de control hidroquímico se han realizado análisis de plaguicidas. Ocho de los puntos se sitúan en los Valles de Tireo-Constanza; dos en la zona de Monte Cristi, en Dajabón y Villa Vasquez; y uno en el bajo Yuna.

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

Cuadro 6.6.8. Características de los puntos de agua en los que se han analizado plaguicidas

Nº Asignado	1ª C	2ª C	Codigo	Nat	Prof (M)	Paraje	Municipio	Uso	Unidad Hidrogeológica
3	3	228	6072110002	Pozo		Tirreo Arriba		Agricultura	Cordillera Central
5	5	233	6072140018	Pozo	42	El Higo Del Valle	Constanza	Agricultura	Cordillera Central
5	5	234	6072140018	Pozo	42	El Higo Del Valle	Constanza	Agricultura	Cordillera Central
6	6	229	6072140009	Pozo	47	La Savina	Constanza	Agricultura	Cordillera Central
7	7	230	6072140004	Pozo		La Secadora	Constanza	Agricultura	Cordillera Central
8	8	231	6072140003	Pozo		Las Auyamas		Agricultura	Cordillera Central
9	9	232	6072140002	Pozo	33	Las Auyamas	Constanza	Agricultura	Cordillera Central
10	10	235	6072140001	Pozo		Cañada Seca		Agricultura	Cordillera Central
126	126	87	6273330027	Pozo	10	La Raya Arenoso	Cevicos	Abastecimiento (Domestico)	Valle Del Cibao
188	188	148	5875260002	Pozo		Palo Verde	Villa Vasquez	Agricultura	Valle Del Cibao
196	196	249	5874110011	Pozo		La Vigia	Dajabon	Agricultura	Valle Del Cibao



En las fotos 6.6.1. y foto 6.6.2. se puede observar la forma de manipular y administrar los plaguicidas a los cultivos en el Valle de Constanza, con elevado riesgo para los que los aplican, puesto que carecen de cualquier medida de protección.



Foto 6.6.1.



Foto 6.6.2.

Las muestras para análisis de plaguicidas se enviaron a los laboratorios AYCON en Madrid, donde se llevaron a cabo los análisis pertinentes.

6.6.3.4. Resultados obtenidos

En el Anexo 5.3. se incluyen los boletines de resultados proporcionados por el laboratorio de análisis y en los cuadros 6.6.9 y 6.6.10 se incluyen los resultados obtenidos en las muestras de agua analizadas.

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

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

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

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

Cuadro 6.6.9. Resultados analíticos de plaguicidas organoclorados, organofosforados y triazinas (primera campaña)

Nº ASIGNADO	3	4	5	6	7	8	9	10	126	188	196
CÓDIGO	6072110002	6072140014	6072140018	6072140009	6072140004	6072140003	6072140002	6072140001	6273330027	5875260002	5874110011
FECHA MUESTREO	20/11/2003	20/11/2003	20/11/2003	20/11/2003	20/11/2003	20/11/2003	20/11/2003	20/11/2003	30/12/2003	14/01/2004	14/01/2004
PLAGUICIDAS ORGANOCORADOS											
ALFA-HCH	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
BETA-HCH	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
GAMMA-HCH	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
DELTA-HCH	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
HEPTACLOR	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
ALDRIN	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
HEPTACLOR EPOXIDO	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
ENDOSULFAN I	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
P,P-DDE	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
DIELDRIN	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
ENDOSULFAN II	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
P,P-DDD	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
ENDRIN ALDEHIDO	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
ENDOSULFAN SULFATO	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
P,P-DDT	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
ENDRIN CETONA	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
METOXICLOR	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
ENDRIN	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001

N° ASIGNADO	3	4	5	6	7	8	9	10	126	188	196
CÓDIGO	6072110002	6072140014	6072140018	6072140009	6072140004	6072140003	6072140002	6072140001	6273330027	5875260002	5874110011
FECHA MUESTREO	20/11/2003	20/11/2003	20/11/2003	20/11/2003	20/11/2003	20/11/2003	20/11/2003	20/11/2003	30/12/2003	14/01/2004	14/01/2004
PLAGUICIDAS ORGANOFOSFORADOS											
DICLORVOS	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
METAMIDOFOS	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
MEVINFOS	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
PHORATE	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
NALED	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
DIAZINON	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
DISULFOTON	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	0,0006	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
CLOPIRIFOS	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
PARATION	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
COUMAFOS	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
METIL PARATION	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
FENITROTHION	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
DIMETOATE	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
MALATHION	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
ETIL PARATION	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
ETHION	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
PHOSALONE	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
AZINPHOS-METIL	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
COMAPHOS	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
ETIL AZINFOS	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001

Nº ASIGNADO	3	4	5	6	7	8	9	10	126	188	196
CÓDIGO	6072110002	6072140014	6072140018	6072140009	6072140004	6072140003	6072140002	6072140001	6273330027	5875260002	5874110011
FECHA MUESTREO	20/11/2003	20/11/2003	20/11/2003	20/11/2003	20/11/2003	20/11/2003	20/11/2003	20/11/2003	30/12/2003	14/01/2004	14/01/2004
TRIAZINAS											
ATRATON	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
PROMETRON	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
SIMAZINA	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
ATRACINA	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
PROPACINA	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
TERBUTILACINA	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
SECBUMETON	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
SIMETRINA	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
AMETRINA	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
PROMETRINA	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
TERBUTRINA	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001

Cuadro 6.6.10. Resultados analíticos de plaguicidas organoclorados, organofosforados y triazinas (segunda campaña)

Nº ASIGNADO	3	4	5	6	7	8	9	10	126	188	196
Nº LAB 2ª	228	234	233	229	230	231	232	235	87	148	249
CÓDIGO	6072110002	6072140014	6072140018	6072140009	6072140004	6072140003	6072140002	6072140001	6273330027	5875260002	5874110011
FECHA DE MUESTREO	04/06/2004	04/06/2004	04/06/2004	04/06/2004	04/06/2004	04/06/2004	04/06/2004	04/06/2004	12/05/2004	20/05/2004	08/06/2004
PLAGUICIDAS ORGANOCOLORADOS											
ALFA-HCH	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
BETA-HCH	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
GAMMA-HCH	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
DELTA-HCH	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
HEPTACLOR	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
ALDRIN	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
HEPTACLOR EPOXIDO	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
ENDOSULFAN I	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
P,P-DDE	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
DIELDRIN	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
ENDOSULFAN II	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
P,P-DDD	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
ENDRIN ALDEHIDO	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
ENDOSULFAN SULFATO	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
P,P-DDT	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
ENDRIN CETONA	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
METOXICLOR	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
ENDRIN	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001

Nº ASIGNADO	3	4	5	6	7	8	9	10	126	188	196
Nº LAB 2ª	228	234	233	229	230	231	232	235	87	148	249
CÓDIGO	6072110002	6072140014	6072140018	6072140009	6072140004	6072140003	6072140002	6072140001	6273330027	5875260002	5874110011
FECHA DE MUESTREO	04/06/2004	04/06/2004	04/06/2004	04/06/2004	04/06/2004	04/06/2004	04/06/2004	04/06/2004	12/05/2004	20/05/2004	08/06/2004
PLAGUICIDAS ORGANOFOSFORADOS											
DICLORVOS	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
METAMIDOFOS	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
MEVINFOS	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
PHORATE	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
NALED	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
DIAZINON	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
DISULFOTON	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
CLOPIRIFOS	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
PARATION	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
COUMAFOS	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
METIL PARATION	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
FENITROTHION	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
DIMETOATE	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
MALATHION	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
ETIL PARATION	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
ETHION	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
PHOSALONE	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
AZINPHOS-METIL	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
COMAPHOS	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
ETIL AZINFOS	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001

Nº ASIGNADO	3	4	5	6	7	8	9	10	126	188	196
Nº LAB 2ª	228	234	233	229	230	231	232	235	87	148	249
CÓDIGO	6072110002	6072140014	6072140018	6072140009	6072140004	6072140003	6072140002	6072140001	6273330027	5875260002	5874110011
FECHA DE MUESTREO	04/06/2004	04/06/2004	04/06/2004	04/06/2004	04/06/2004	04/06/2004	04/06/2004	04/06/2004	12/05/2004	20/05/2004	08/06/2004
TRIAZINAS											
ATRATON	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
PROMETRON	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
SIMAZINA	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
ATRACINA	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
PROPACINA	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
TERBUTILACINA	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
SECBUMETON	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
SIMETRINA	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
AMETRINA	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
PROMETRINA	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
TERBUTRINA	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001

6.6.4. Contaminación de las aguas subterráneas por metales pesados

Para estudiar la incidencia de las actividades industriales en la composición del agua subterránea, se seleccionaron una serie de puntos de control en varios sectores dentro del ámbito de estudio.

Las principales actividades industriales en la República Dominicana son el refinado de azúcar, la producción de cemento, cerveza, harina de trigo y derivados y ron. También hay importantes industrias de calzado, textiles, confección, fertilizantes, muebles, materiales de construcción y petróleo refinado.

Por su parte, en minería, tradicionalmente ha destacado la explotación de bauxita, oro, plata y ferroníquel, si bien en muchos casos ha cesado su producción por agotamiento de las explotaciones. Geográficamente, la producción minera se concentra en el Valle del Cibao, donde existen grandes yacimientos de ferroníquel y la mina a cielo abierto más grande del continente. También se explota sal gema, yeso y mármol.

A continuación, se analizan desde el punto de vista de la contaminación de las aguas subterráneas las actividades que se desarrollan dentro de la República Dominicana.

6.6.4.1. Focos potenciales de contaminación industrial

De acuerdo con la información disponible, extraída del "Inventario Industrial Preliminar", realizado en el Estudio: "La República Dominicana. Perfil Ambiental del País. Un estudio de Campo" (Agencia de Desarrollo Internacional de EEUU, 1981), en la República Dominicana las industrias que tienen un potencial más alto para causar problemas de contaminación son las de azúcar, minas, generación de fuerza eléctrica, cemento, acero, sustancias químicas y papel. Sin embargo, la contaminación potencial que pueden ocasionar en muchos casos es de carácter orgánico (industria azucarera, de procesado de alimentos, etc.), o bien, pueden ocasionar emisiones de humo o de partículas de polvo (industria de cemento), emisiones de óxidos de azufre (generadores de fuerza eléctrica), etc. En el cuadro 6.6.11 se incluyen algunas características de las aguas residuales procedentes de distintos tipos de industrias.

Con respecto a la titularidad de las industrias existentes, unas pertenecen al Gobierno de la República Dominicana (azucareras, fábricas de cemento, refinerías de petróleo, plantas eléctricas y minas de oro y plata). Por su parte, las corporaciones multinacionales llevan a cabo operaciones de refinamiento de azúcar, minería y fundición de ferroníquel, minería de bauxita, exploraciones de petróleo, minería de oro y plata, extracción y refino de petróleo. Por último, el sector industrial privado incluye industrias de alimentos (consumo nacional y exportación), alimentos para animales, textiles, papel, acero, cemento, medicinas, jabones y detergentes, baterías, sustancias químicas, etc.

Cuadro 6.6.11. Características de las aguas residuales de los principales tipos de industrias (IGME, 1991).

Tipo de industria	pH<7	pH>7	Color	Olor	Sólidos en suspensión	Temperatura	DBO5	DQO	Detergentes	Grasas y aceites	Cl-	SO4=	S=	F-	CN-	P	N	Cr	Pb	Cd	Cu
Cárnica		x			X	x	X			x	x					x	x				
Azúcar	x	x			X		X			x							x				
Textil	x	x	x	x	X		X		x	x		x	x				x	x			x
Papel		x	x		X	x	X		x	x	x	x					x				
Química de base	x	x	x	x	X	x	X	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Plásticos	x	x	x	x	X	x	X	x	x	x	x	x									
Fertilizantes	x					x								x		x	x				
Refino petróleo	x	x	x	x	X		X	x		x	x	x	x				x				
Curtidos	x	x	x		X		X				x	x	x		x		x	x		x	x
Acero	x	x			X	x	X	x		x	x		x	x	x		x				
Automóvil	x	x	x	x	X	x	x	x	x	x	x				x	x		x	x	x	x

En el cuadro 6.6.12. se recoge una relación de las industrias principales de la República Dominicana, indicando el impacto que pueden ocasionar.

Cuadro 6.6.12. Industrias principales de la República Dominicana. (Inventario industrial preliminar. EEUU, 1981)

Nombre/Ubicación	Ubicación	Producto	Capacidad (t/año)	Empleados	Uso de agua	Impactos
CEA		Azúcar	810000	50000	Descarga menor	Suelos
Gulf Western Central	Romana	Azúcar/Furfurol	350000	18000	Recirculación cerrada	
Vicini		Azúcar	90000	5000	Recirculación cerrada	
Falconbridge	Bonao	Ferróníquel	68000	2000	22700 m ³ /d	Agua
Alcoa. Pedernales	Pedernales	Bauxita	1470000	1000	En seco	Polvo
Rosario Dominicana	Cotui	Oro-Plata	-	740	Recirculación cerrada	Agua
Metaldom	Santo Domingo	Acero	60000	1000	200 m ³ /d	Humo
Refinería Dominicana de Petróleo	Haina	Productos de petróleo	30000 BBL/d	120	100 m ³ /d	Emisiones de azufre
Fábrica Dominicana de Cemento	Santo Domingo	Cemento	1800	1300	100 m ³ /d	Emisión de partículas (humo).
Industrias Lavador	Santo Domingo	Jabones	-	300	800 m ³ /d	Aguas de desecho no tratadas
Industrias de Asbestos Cementos	Santo Domingo	Asbesto-Cemento	96	120	200 m ³ /d	Aguas de desecho no tratadas
Carnes Dominicanas	Santo Domingo	Empacadora de carnes	350 animales/d	150	-	Descarga directa de sangre
Acromax Dominicana	Santo Domingo	Productos farmacéuticos	-	150	200 m ³ /d	-
Proteínas Nacionales	-	Alimentos de animales	1000	160	50 m ³ /d	
Cervecería Nacional Dominicana	Santo Domingo	Cerveza	63000 BBL/mes	850	3000 m ³ /d	-
Industria Nacional del Papel	Bonao	Papel reciclado	40 t/d	250	1500 m ³ /d	Aguas de desecho no tratadas

Los focos potenciales de contaminación por metales pesados de las aguas subterráneas dentro de la República Dominicana están constituidos por las actividades antrópicas relacionadas con la minería y con algunos tipos de industrias (cerámica, galvanotecnia, curtidos, minería, etc).

6.6.4.2. Puntos de control

Las zonas de interés para el estudio de la contaminación industrial se seleccionaron, siguiendo las indicaciones del INDRHI, en el Valle del Cibao (en el entorno de Santiago, Bonao, en el bajo Yuna

entre Cotui y Maimón, y en el Yaque del norte), sectores en los que "a priori" las aguas subterráneas pueden presentar una contaminación potencial por metales pesados. Por tanto, los resultados obtenidos en las aguas subterráneas analizadas con este objeto no se pueden generalizar a todo el ámbito de estudio, ya que el muestreo es sesgado, realizado en zonas que presentan ya una degradación del medio por efecto de la actividad antrópica, llevado a cabo para detectar si existen problemas de contaminación en las situaciones más desfavorables.

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

En el cuadro 6.6.13. se incluyen las características de los puntos de agua en los que se han realizado análisis de metales pesados y en la figura 6.6.6. se observa su distribución espacial.

Se observa que la mayor parte de los puntos considerados se sitúan en el Valle del Cibao, puesto que en dicha unidad es donde se concentra, como ya se ha indicado anteriormente, la producción minera y una buena parte de la industria. Sin embargo, se han incluido puntos de control en otras unidades hidrogeológicas (Cordillera Septentrional, Cordillera Central, Cordillera Oriental y Sierra de Bahoruco y Península sur de Barahona).

Así, en los puntos incluidos en el cuadro 6.6.13., se tomaron muestras para análisis de hierro, manganeso, cromo total y cromo hexavalente. Estos puntos de agua forman parte de la red de control hidroquímico y, por tanto, en ellos se determinaron también parámetros fisicoquímicos y constituyentes mayoritarios.

De las formas más frecuentes en que el cromo aparece en el medio ambiente (cromo III y cromo VI), el cromo (III) se encuentra de forma natural en el ambiente y es un elemento nutritivo esencial que interviene en el metabolismo de azúcar, proteínas y grasas. Sin embargo, el cromo (VI) es producido generalmente por procesos industriales y puede provocar serios problemas en la salud del hombre, de ahí que se haya incluido entre los parámetros analizados.

Cuadro 6.6.13. Características de los puntos de agua en los que se han realizado análisis de metales pesados (hierro, manganeso, cromo total y cromo hexavalente)

Nº Asignado	1ª Campaña	2ª Campaña	Codigo	Nat	Prof (m)	Paraje	Municipio	Propietario Empresa	Uso	UH
39	39	1	6372360016	Sondeo		Guayabo Dulce	Hato Mayor		Industrial	Cordillera Oriental
41	41	25	6372330019	Pozo	38	Manchado Km 7	Hato Mayor	Rafael Genao	Industrial	Cordillera Oriental
91	91	40	6073160027	Pozo	45	La Laguna De Burende	La Vega	V F Play Wear	Industrial	Valle Del Cibao
94	94	42	6073130012	Pozo		Cutupu	La Vega	Domingo Ant. Tineo	Industrial	Valle Del Cibao
93	93	44	6073120005	Pozo		La Penda	La Vega	Fernando Perez	Industrial	Valle Del Cibao
88	88	45	6173440015	Pozo		Rancho Viejo Sabaneta	San Francisco De Maroris	Americo Rosario	Industrial	Valle Del Cibao
54	54	58	6173110007	Pozo	45	Tu Agua Seccion Guiza	Pimentel	Salome Rize	Ganadería e Industria	Valle Del Cibao
57	57	62	6173140003	Sondeo	16	Las Guaranas	Pimentel	Juan Tavera	Industrial	Valle Del Cibao
130	130	86	6273330023	Pozo	2	Guaraguo Cristo Rey	Cevicos	Antonio Polanco	Industrial	Valle Del Cibao
96	96	109	6172140001	Pozo		Sanbrana	Tocoa	Comunidad	Abastecimiento (Domestico)	Cordillera Central
133	133	117	6074260002	Pozo	10	Monte De La Jagua	Santiago	Euberto Hernandez	Industrial	Valle Del Cibao
167	167	127	6074140013	Pozo	8	Palmar Arriba	San Francisco Arriba	Andres Lopez	Industrial	Valle Del Cibao
173	173	134	5974130022	Pozo	3,5	Cruce De Guayacanes	Mao Valverde	Rafael Ferreira	Ganadería e Industria	Valle Del Cibao
181	181	140	5974430003	Pozo		Cerro De Gurabo	Santiago Rodriguez	Plantaciones de Norte	Industrial	Valle Del Cibao
228	228	184	5870120005	Pozo		Puerto Escondido	Duverge	Iad	Agricultura	Sierra de Bahoruco y Península sur de Barahona
227	227	186	5870120006	Pozo		Puerto Escondido	Duverge	Iad	Industrial	Sierra de Bahoruco y Península sur de Barahona
138	138	202	6075440001	Pozo	4,2	Luperon	Luperon	Juana de Morover	Abastecimiento (Domestico)	Cordillera Septentrional
192	192	253	5874130016	Pozo		La Pinta	Dajabon	Pedro Julio	Abastecimiento, Agricultura e Industria	Valle Del Cibao

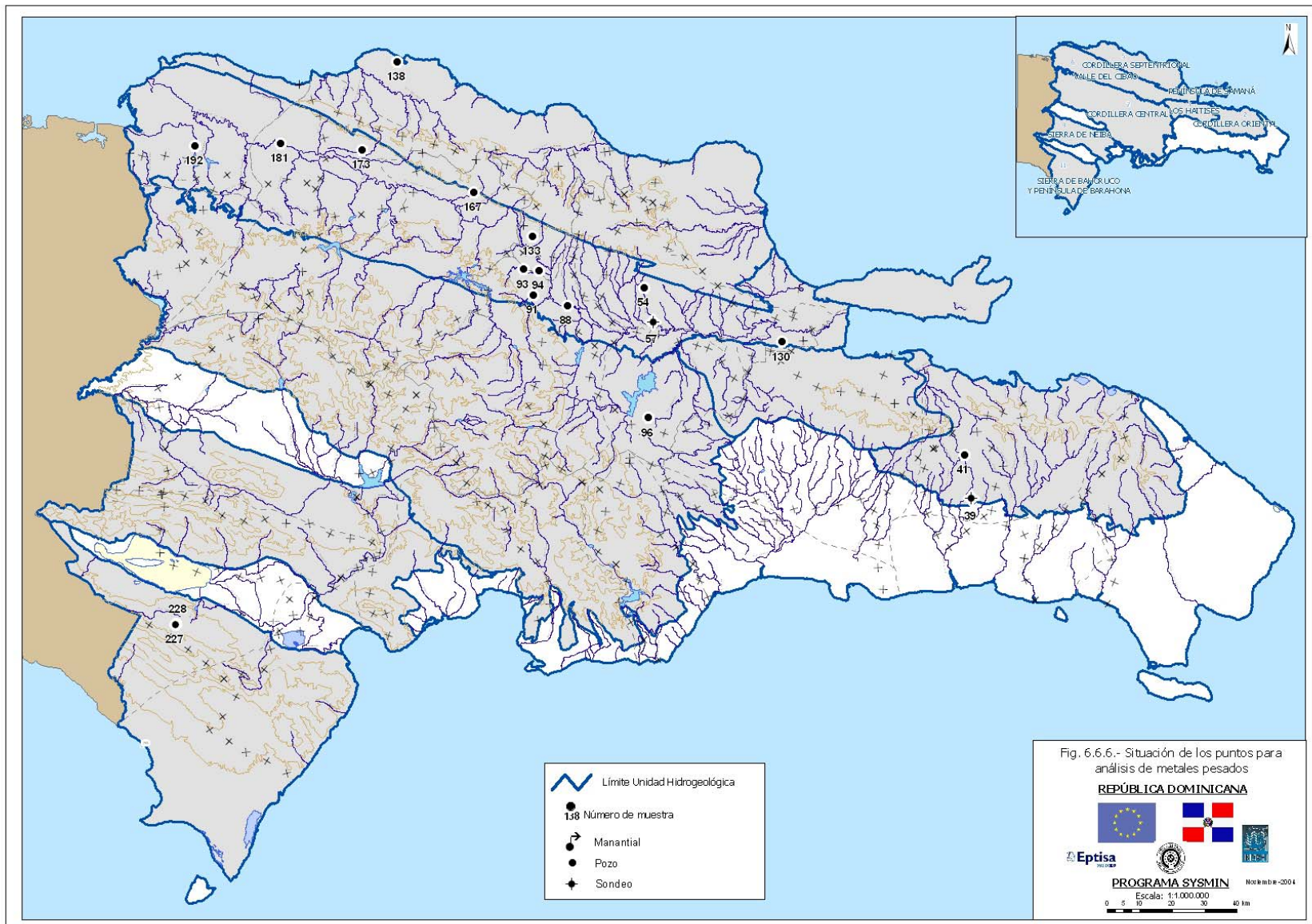


Fig. 6.6.6.- Situación de los puntos para análisis de metales pesados

6.6.4.3. Resultados obtenidos

Se han llevado a cabo dos campañas de muestreo y análisis de metales pesados en 2003 y 2004. Los resultados obtenidos se incluyen en el cuadro 6.6.14. (1ª campaña) y en el cuadro 6.6.15. (2ª campaña).

Cuadro 6.6.14. Resultados analíticos de los metales pesados analizados en la República Dominicana. 1ª Campaña de muestreo, 2003.

1ª CAMPAÑA DE MUESTREO					
Nº Asignado	Fe mg/l	Mn mg/l	Cr mg/l	Cr +6 mg/l	Código
39	0,02	<LD	<LD	<LD	6372360016
41	<LD	0,01	<LD	<LD	6372330019
54	0,09	<LD	0,10	<LD	6173110007
57	0,02	0,01	0,04	<LD	6173140003
88	0,03	0,01	<LD	0.011	6173440015
91	0,09	0,01	0,01	0.008	6073160027
93	0,12	0,01	<LD	0.008	6073120005
94	0,26	0,01	<LD	<LD	6073130012
96	0,49	0,01	<LD	0.008	6172140001
130	0,57	0,02	<LD	<LD	6273330023
133	0,22	0,03	<LD	<LD	6074260002
138	0,13	0,04	<LD	<LD	6075440001
167	0,04	0,04	0,01	<LD	6074140013
173	0,05	0,04	0,01	<LD	5974130022
181	0,23	0,06	0,03	<LD	5974430003
192	0,15	0,04	0,02	<LD	5874130016
227	0,05	0,04	0,01	<LD	5870120006

Cuadro 6.6.15. Resultados analíticos de los metales pesados analizados en la República Dominicana. 2ª Campaña de muestreo, 2004.

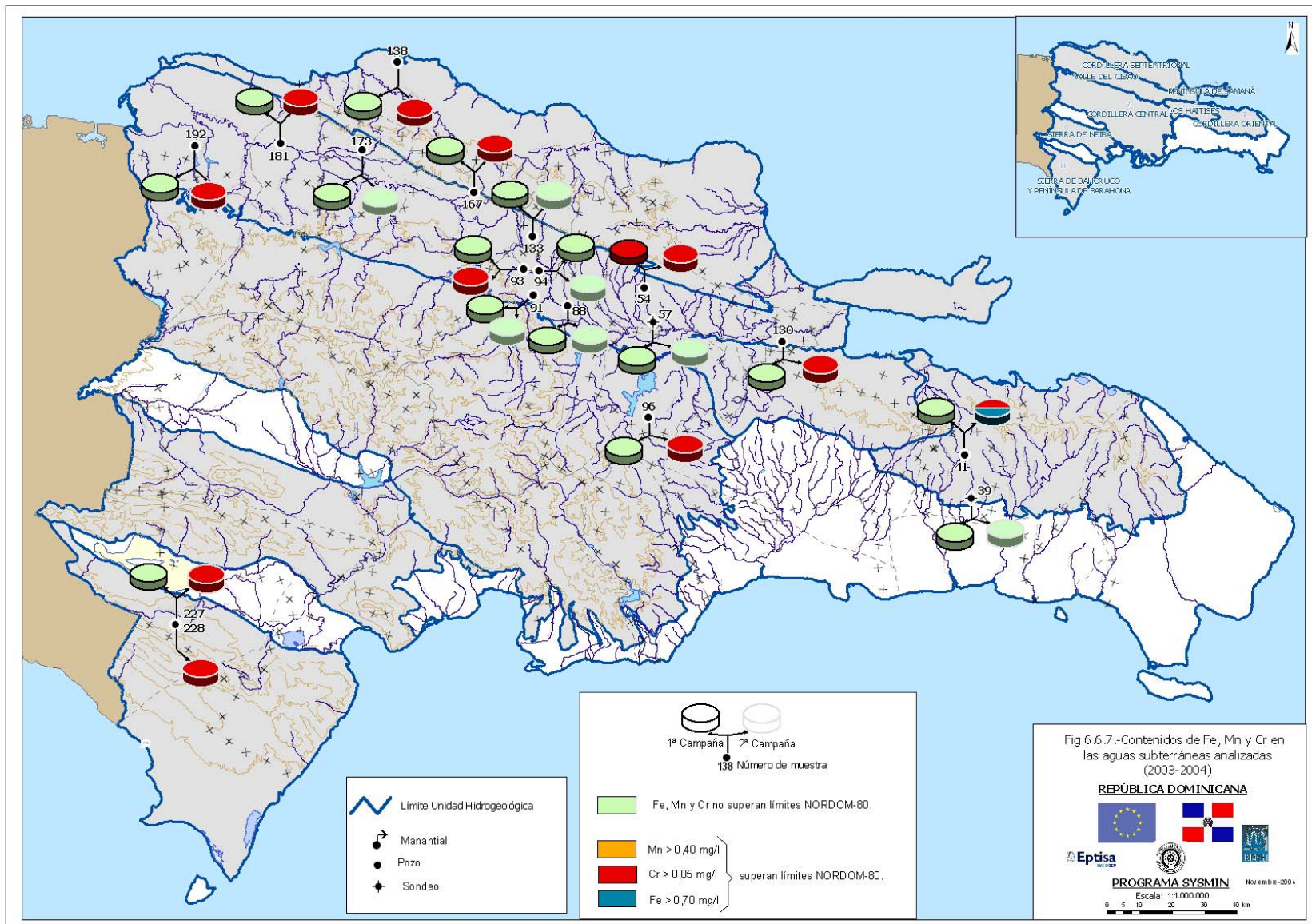
2ª CAMPAÑA DE MUESTREO						
Nº Asignado	Nº lab 2ª c	Fe Mg/l	Mn mg/l	Cr mg/l	Cr +6 Mg/l	Código
39	1	0,24	0,04	0,03	0.019	6372360016
41	25	2,75	<LD	0,11	0.008	6372330019
54	58	0,20	0,03	0,05	0.013	6173110007
57	62	<LD	<LD	0,04	0.019	6173140003
88	45	0,03	0,01	<LD	<LD	6173440015
91	40	0,04	<LD	<LD	<LD	6073160027
93	44	<LD	<LD	0,08	0.009	6073120005
94	42	0,14	<LD	0,03	0.013	6073130012
96	109	0,03	<LD	0,05	0.008	6172140001
130	86	0,04	0,11	0,08	0.008	6273330023
133	117	0,12	<LD	<LD	<LD	6074260002
138	202	0,08	<LD	0,08	0.009	6075440001
167	127	0,05	<LD	0,05	0.008	6074140013
173	134	0,05	0,06	0,02	0.013	5974130022
181	140	0,01	0,04	0,05	0.009	5974430003
192	253	<LD	<LD	0,09	0.017	5874130016
227	186	<LD	<LD	0,06	<LD	5870120006
228	184	0,10	<LD	0,05	0.049	5870120005

En la figura 6.6.7. se observa la distribución espacial de los valores obtenidos en los dos muestreos realizados. En cada punto se han representado dos cilindros de base circular, uno de contorno negro correspondiente al valor de la primera campaña, y otro delimitado con línea gris, correspondiente a la segunda campaña.

En cada uno de estos cilindros se han dibujado tantos sectores como parámetros superan los límites recogidos en las normas NORDOM-80 para aguas de abastecimiento humano.

En la figura 6.6.7. se observa que:

- El manganeso se encuentra en concentraciones inferiores al límite establecido en la normativa para aguas de abastecimiento de 0.40 mg/l de Mn, en ambas campañas.
- Los resultados obtenidos en la primera campaña indican que hierro y manganeso se encuentran siempre por debajo de los límites NORDOM-80 (0.70 mg/l de Fe y 0.40 mg/l de Mn). Sólo hay una muestra, la número 54 (procedente de un pozo de 45 m de profundidad existente en el paraje denominado Tu Agua Sección Guiza, del municipio de Pimentel, dentro del Valle del Cibao), en la que se supera el límite establecido para el cromo (0.05 mg/l de Cr), presentando una concentración de 0.10 mg/l de Cr.
- En la segunda campaña de muestreo y análisis se supera el límite considerado en la normativa para el hierro (0.7 mg/l) en la muestra número 41 (procedente de un pozo de 38 m de profundidad existente en el paraje Manchado, km. 7, del municipio de Hato Mayor, dentro de la Cordillera Oriental), donde alcanza un valor de 2.75 mg/l de Fe. Para el cromo se supera el límite de 0.05 mg/l en una buena parte de las muestras analizadas (números 41, 54, 93, 96, 130, 138, 167, 181, 192, 227 y 228), que suponen el 61 % del total, alcanzando un valor máximo de 0.11 mg/l de Cr en la muestra número 41, en la que también se supera el límite de potabilidad para el hierro.
- El cromo hexavalente se encuentra por debajo del límite de potabilidad establecido en la normativa, alcanzando un valor de 0.05 mg/l en la muestra 228, procedente de un pozo de uso agrícola, muestreado en el municipio de Duverge.
- Geográficamente, las muestras que superan los límites de cromo para aguas de abastecimiento se encuentran distribuidas por todas las unidades hidrogeológicas consideradas (Cordillera Septentrional, Valle del Cibao, Cordillera Central, Sierra de Bahoruco y Península sur de Barahona y Cordillera Oriental).



- Con respecto a la utilización del agua, se obtienen valores superiores a los máximos recogidos en la normativa para el cromo, tanto en aguas de uso industrial (muestras números 41, 93, 130, 167, 227), como agrícola (nº 228), de utilización para abastecimiento doméstico (números 96 y 138) o mixto ganadería-industria (número 54), abastecimiento-agricultura-industria (número 192).
- En aquellas captaciones en las que el agua no es potable y se utiliza para abastecimiento humano, es necesario realizar análisis de contraste para determinar si persisten los contenidos elevados de cromo que se han detectado, y, en su caso, buscar suministros alternativos. Esta situación afecta a las muestras procedentes de los pozos:

Nº Asignado	Paraje	Municipio	Propietario	Uso
96	Sanbrana	Tocoa	Comunidad	Abastecimiento (Doméstico)
138	Luperon	Luperon	Juana de Morover	Abastecimiento (Doméstico)
192	La Pinta	Dajabon	Pedro Julio	Abastecimiento, agricultura e industria

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

6.7. INTRUSIÓN MARINA

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

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

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

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

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

6.7.1. Análisis de información previa y definición de la red de control de la intrusión

De acuerdo con la información facilitada por el INDRHI, para estudiar la posible presencia de procesos de intrusión marina en la República Dominicana, se han considerado varias zonas favorables a priori:

- depósitos costeros y aluviales de las cordilleras Septentrional y Oriental, y sector este de Samaná (Las Galeras)
- materiales carbonatados de Samaná (sectores de las Terrenas y El Valle), Los Haitises y de la zona suroeste de la Sierra de Bahoruco y Península sur de Barahona (sector de Pedernales).

En estas áreas se incluyeron puntos de la red de control hidroquímico, en los que se han tomado muestras de agua para análisis de constituyentes mayoritarios.

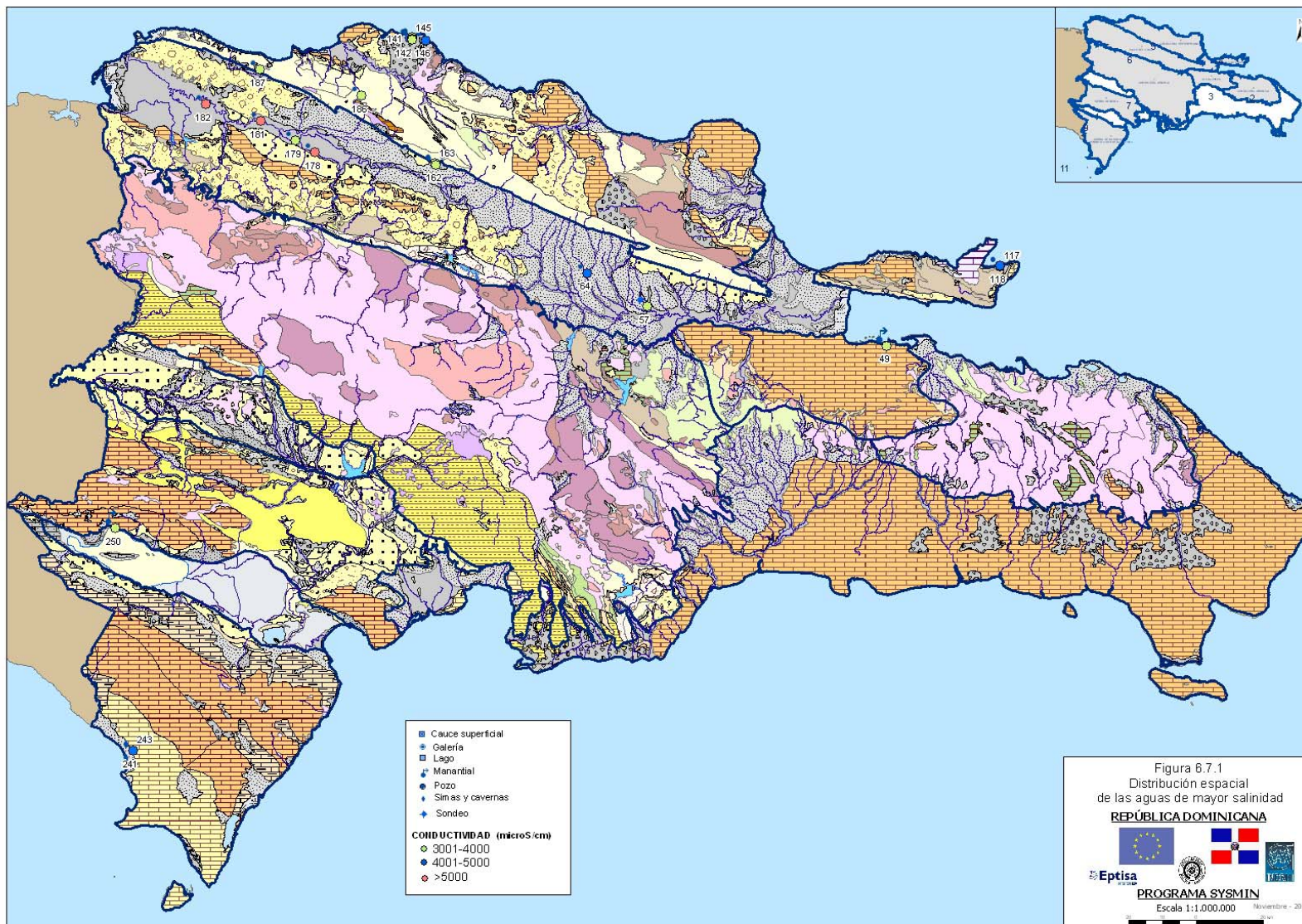
Durante la primera campaña de muestreo hidroquímico se llevó a cabo, además, una medición de la conductividad del agua en distintos pozos de la Península de Samaná, concretamente en el sector de las Terrenas, para estudiar la existencia de posibles procesos de intrusión marina. Así, se realizaron medidas de conductividad en tres puntos de agua, obteniéndose valores de 570 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (6273130004), 1040 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (6273130003) y 910 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (6273130002S), que parecen descartar la presencia de procesos de intrusión marina en dicho sector. Sin embargo, las informaciones recabadas en la zona indican que se han realizado perforaciones en las que el agua había resultado de elevada salinidad (estas informaciones no se han podido corroborar, puesto que este tipo de pozos se clausuran cuando captan aguas salinas).

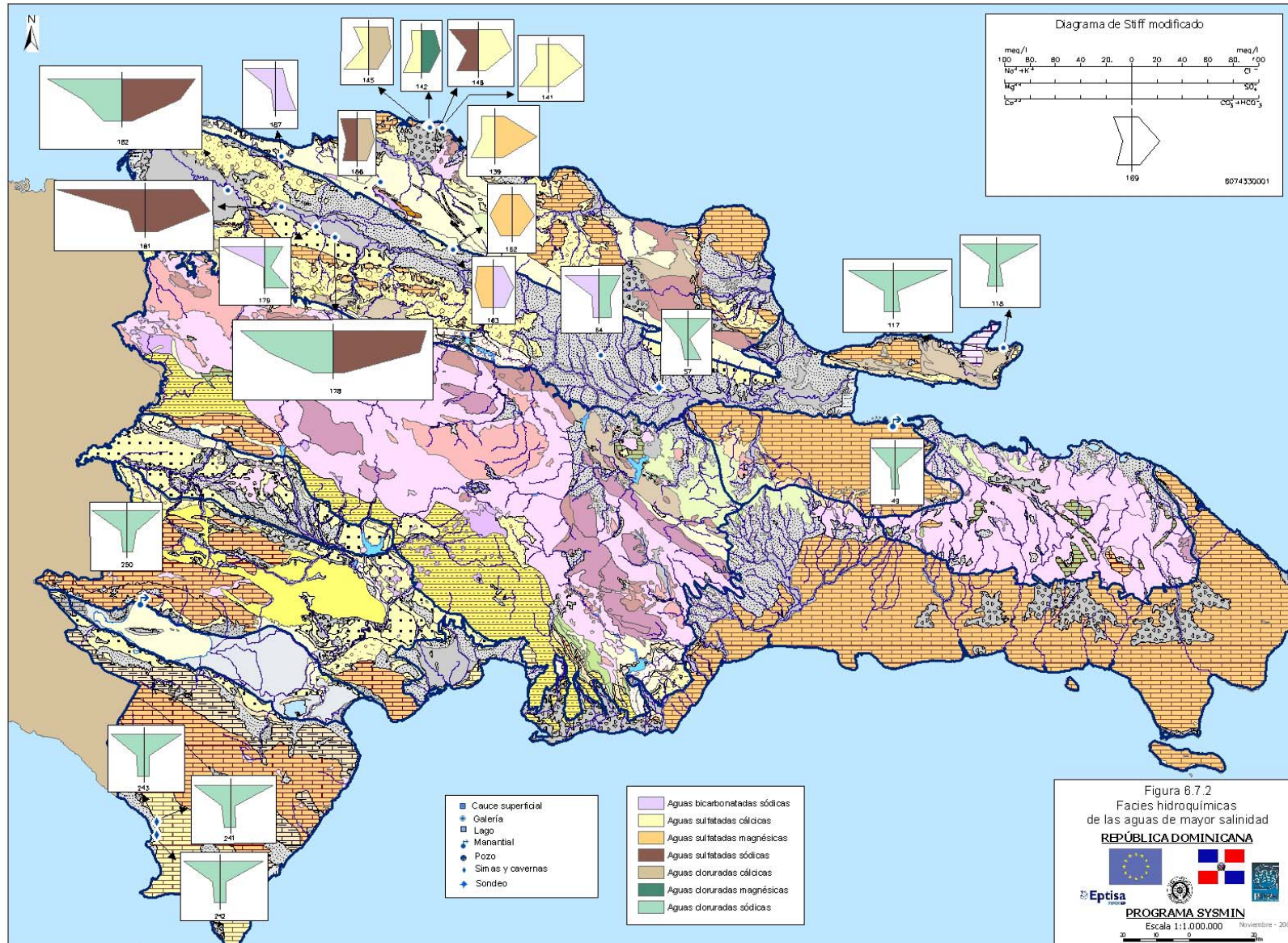
Una vez realizado el muestreo y posterior análisis de las aguas subterráneas correspondiente a la primera campaña, se llevó a cabo un estudio de los resultados obtenidos, especialmente los valores de conductividad (figura 6.7.1.), y de facies hidroquímicas (figura 6.7.2.) que presentan para definir la red de control de la intrusión.

En la figura 6.7.1. se representan las aguas de mayor salinidad, con valores de conductividad superiores a 3000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Las aguas de mayor salinidad explotan acuíferos de litologías diversas, entre los que se encuentran niveles detríticos cuaternarios (gravas, arenas, depósitos de marismas), carbonatados (calizas arrecifales y areniscas calcáreas), sulfatados (margas y yesos), evaporitas, etc.

En la figura 6.7.2. se representa el diagrama de Stiff correspondiente a cada uno de estos puntos de elevada salinidad.

La forma del diagrama resultante da idea del tipo de agua y su tamaño permite apreciar con rapidez el grado de salinidad 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 6.7.2. se observan aguas de distinta naturaleza, tanto en lo que se refiere a la salinidad que presentan, como a las facies hidroquímicas reflejadas. Este hecho responde, por un lado, a la distinta procedencia de las aguas muestreadas, que explotan acuíferos de litologías diversas, entre los que se encuentran niveles detríticos cuaternarios (gravas, arenas, depósitos de marismas), carbonatados (calizas arrecifales y areniscas calcáreas), sulfatados (margas y yesos), facies evaporíticas, etc.

En las UHH de Los Haitises, Samaná y Sierra de Bahoruco y Península sur de Barahona existe un predominio de aguas cloruradas sódicas de salinidad media-alta, con una concentración de cloruros que oscila entre 849 y 1717 mg/l de Cl⁻ en la primera campaña (entre 207 y 1789 en la segunda), que podrían estar relacionadas con procesos de intrusión marina.

Sin embargo, en la zona noroeste de las UHH Valle del Cibao y Cordillera Septentrional se observa una variación composicional mayor (aguas sulfatadas o cloruradas-sulfatadas sódicas o cálcicas), de elevada salinidad y conductividades que alcanzan un valor máximo de 14350 microS/cm en la muestra n° 178 (primera campaña) y de 13740 microS/cm (segunda campaña).

Esta diferencia observada entre los dos grupos mencionados es el reflejo de los procesos que experimenta el agua en su recorrido desde las zonas de recarga a las de descarga, a los que hay que sumar los efectos modificadores que se producen por las diferencias litológicas existentes (presencia de evaporitas o de materiales sulfatados), por efecto de la proximidad al mar (en algunos sectores se pueden producir procesos de mezcla con agua de mar en distintas proporciones), por las actividades antrópicas que se desarrollan, por la presencia de salinas, etc, y se asocian con procesos de disolución de evaporitas y de materiales sulfatados.

6.7.2. Red de control de la intrusión

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

Para analizar en detalle si existen procesos de intrusión marina en el ámbito de estudio, la red propuesta considera varios sectores:

- Depósitos costeros del sector este de Samaná, en las Galeras
- Materiales carbonatados del borde norte de los Haitises
- Materiales carbonatados del suroeste de la Sierra de Bahoruco y Península sur de Barahona.

En el cuadro 6.7.1. se incluyen los puntos que constituyen la red de control de la intrusión y en la figura 6.7.3. se puede observar su distribución espacial.

Cuadro 6.7.1. Puntos de la red de control de la intrusión propuesta

Nº	UH	Código	Naturaleza	Conductividad microS/cm
49	Los Haitises	62732	Manantial	3030
117	Península de Samaná	6373110001	Pozo	5420
118	Península de Samaná	6373110002	Pozo	4350
241	SO de S. de Bahoruco	5869120003	Simas y cavernas	4710
242	SO de S. de Bahoruco	5869120002	Simas y cavernas	4710
243	SO de S. de Bahoruco	5869120001	Simas y cavernas	4290

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

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

En estas zonas se ha llevado a cabo una campaña de muestreo adicional a la ya realizada entre noviembre de 2003 y enero de 2004. En la segunda campaña de muestreo (abril-junio de 2004) se realizaron análisis de parámetros fisicoquímicos, constituyentes mayoritarios y bromuros en los puntos de agua que forman parte de la red de control de la intrusión incluidos en el cuadro 6.7.1. Además, se tomaron muestras de agua de mar en tres localizaciones próximas a los sectores estudiados (Foto 6.7.1.).



Foto 6.7.1.

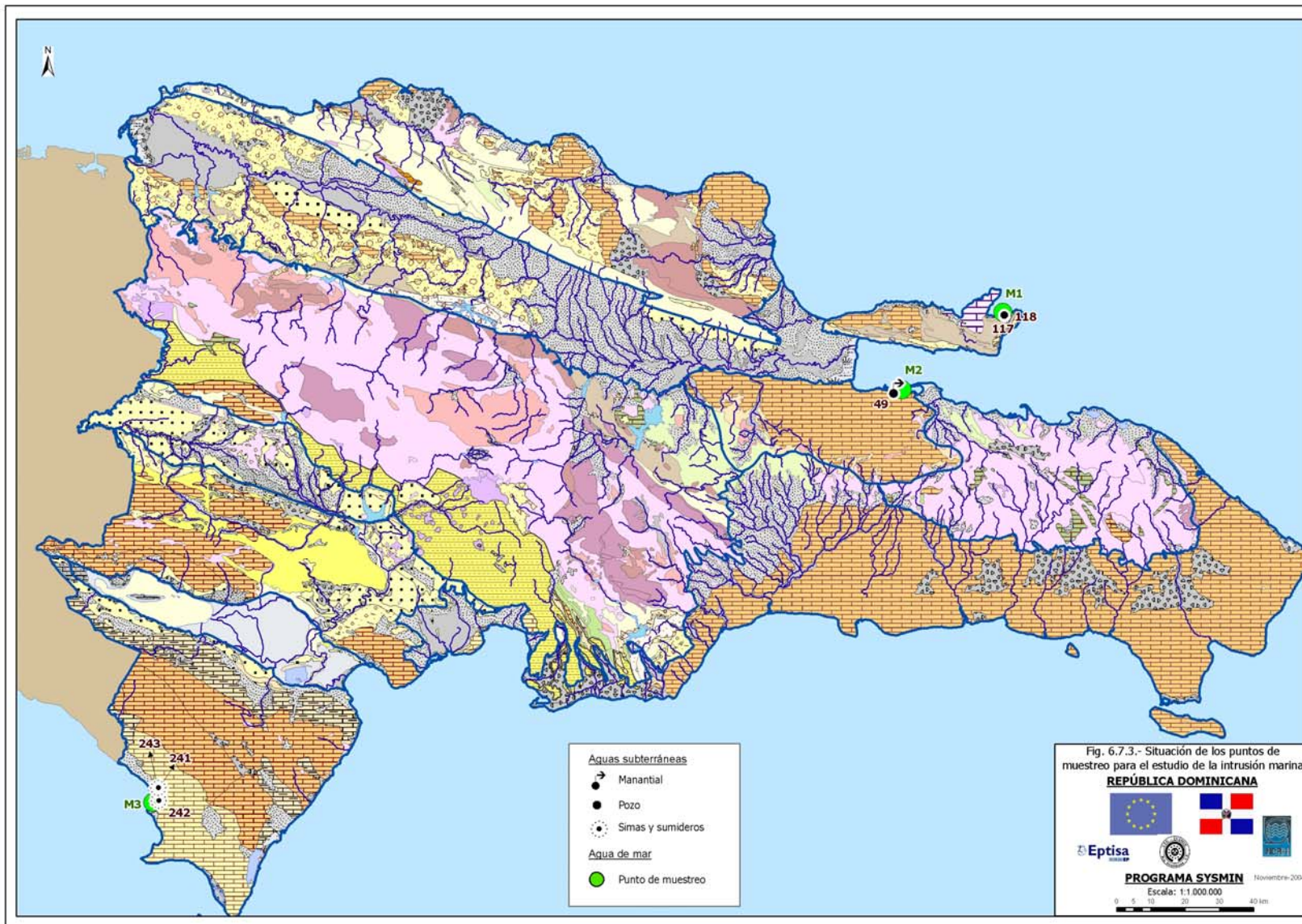


Fig. 6.7.3.- Situación de los puntos de muestreo para el estudio de la intrusión marina.

REPÚBLICA DOMINICANA

Eptisa

PROGRAMA SYSMIN Noviembre-2004

Escala: 1:1.000.000

0 5 10 20 40 km

6.7.3. Campañas de muestreo

Los puntos considerados se muestrearon entre noviembre y enero de 2003, durante la primera campaña de muestreo hidroquímico, puesto que también forman parte de la red de control de la calidad del agua subterránea en el ámbito de estudio. Además, se ha llevado a cabo un segundo muestreo en los citados puntos de agua entre abril y junio de 2004.

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

6.7.4. Resultados obtenidos

En el Anexo 5.3. de Hidroquímica se incluyen los resultados analíticos proporcionados por los laboratorios de análisis y en los cuadros 6.7.2 y 6.7.3. se recoge el valor que presentan algunos parámetros e índices hidroquímicos de los puntos de interés, en relación con las muestras tomadas en el mar.

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

Los valores de la mineralización que presenta el agua en los puntos de la red de control de la intrusión situados en los Haitises y Sierra de Bahoruco y Península sur de Barahona indican que, en caso de reflejar una influencia del agua del mar, esta afección sería de poca importancia, y no es previsible que aumente la intrusión, al menos de forma inmediata, puesto que la extracción de agua subterránea en su entorno es despreciable.

Cuadro 6.7.2. Valores de parámetros e índices hidroquímicos de los puntos de lar red de control de la intrusión (primera campaña).

No. Asignado	Código	Fecha de Muestreo	CE ($\mu\text{S/cm}$)	rCl	rNa	rCa	rMg	rMg/rCa	rMg/rCl	rCl/rHCO ₃	rHCO ₃
49	62732	05/12/2003	3030	23,95	20,83	3,42	4,13	1,21	0,17	7,05	3,40
117	6373110001	18/12/2003	5420	48,43	38,96	8,05	8,15	1,01	0,17	7,81	6,20
118	6373110002	18/12/2003	4350	36,97	30,04	8,15	6,03	0,74	0,16	6,49	5,70
241	5869120003	23/01/2004	4710	38,34	28,11	5,39	7,47	1,39	0,19	7,67	5,00
242	5869120002	23/01/2004	4710	38,69	29,11	5,39	7,26	1,35	0,19	7,59	5,10
243	5869120001	23/01/2004	4290	33,75	25,80	5,37	6,80	1,27	0,20	6,75	5,00

Cuadro 6.7.3. Valores de parámetros e índices hidroquímicos de los puntos de lar red de control de la intrusión (segunda campaña).

Nº asignado	Nº lab 2ª	Código	Fecha de Muestreo	CE ($\mu\text{S/cm}$)	rBr	rCl	rBr/rCl	rNa	rCa	rMg	rMg/rCa	rMg/rCl	rCl/rHCO ₃	rHCO ₃
49	34	6273	04/05/2004	931	0,026	5,8	4,46 E-3	5,0	2,9	1,4	0,5	0,2	1,8	3,2
117	98	6373110001	13/05/2004	5810	0,086	50,5	1,70 E-3	36,0	7,9	10,2	1,3	0,2	7,8	6,5
118	99	6373110002	13/05/2004	4720	0,063	41,0	1,54 E-3	29,2	7,7	9,5	1,2	0,2	6,7	6,1
241	190	5869120003	28/05/2004	4330	0,063	35,6	1,77 E-3	29,5	5,2	6,7	1,3	0,2	7,1	5,0
242	189	5869120002	28/05/2004	3810	0,059	30,8	1,91 E-3	27,1	5,0	5,8	1,2	0,2	5,9	5,2
243	188	5869120001	28/05/2004	3910	0,039	30,9	1,26 E-3	28,3	5,1	5,7	1,1	0,2	6,1	5,1
M1	100	6373 MS	13/05/2004	61700	0,870	620,4	1,40 E-3	495,0	17,3	107,2	6,2	0,2	238,6	2,6
M2	35	6273M	04/05/2004	35000	0,533	328,1	1,62 E-3	254,0	11,5	47,4	4,1	0,1	131,2	2,5
M3	195	5869-M	28/05/2004	61700	0,870	533,3	1,63 E-3	293,9	23,5	92,8	4,0	0,2	313,7	1,7

Se han representado los diagramas de Schöeller-Berkaloff de las muestras de la red de control de la intrusión, tomadas en la primera campaña (figura 6.7.4) y en la segunda (figura 6.7.5). Por su parte, en la figura 6.7.6. se incluye el diagrama de Schöeller-Berkaloff correspondiente a las muestras de agua de mar. En estas figuras se observa, que la salinidad de las aguas subterráneas es menor en la segunda campaña de muestreo y, en cualquier caso, el agua subterránea analizada dista mucho de alcanzar una composición similar a la del agua del mar.

Figura 6.7.4. Diagramas de Schöeller-Berkaloff de las muestras tomadas en la red de control de intrusión (primera campaña)

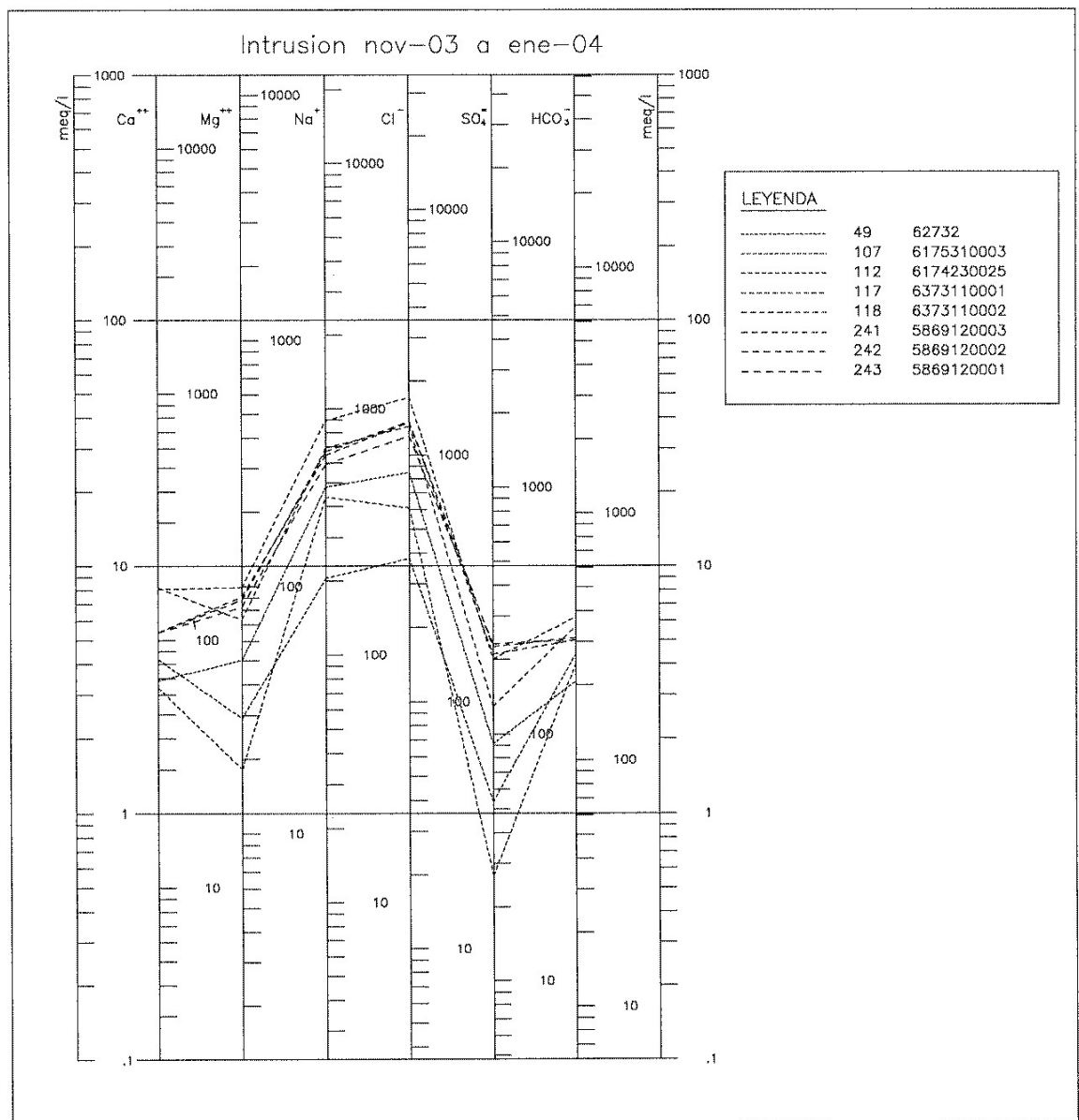


Figura 6.7.5. Diagramas de Schöeller-Berkaloff de las muestras tomadas en la red de control de intrusión (segunda campaña)

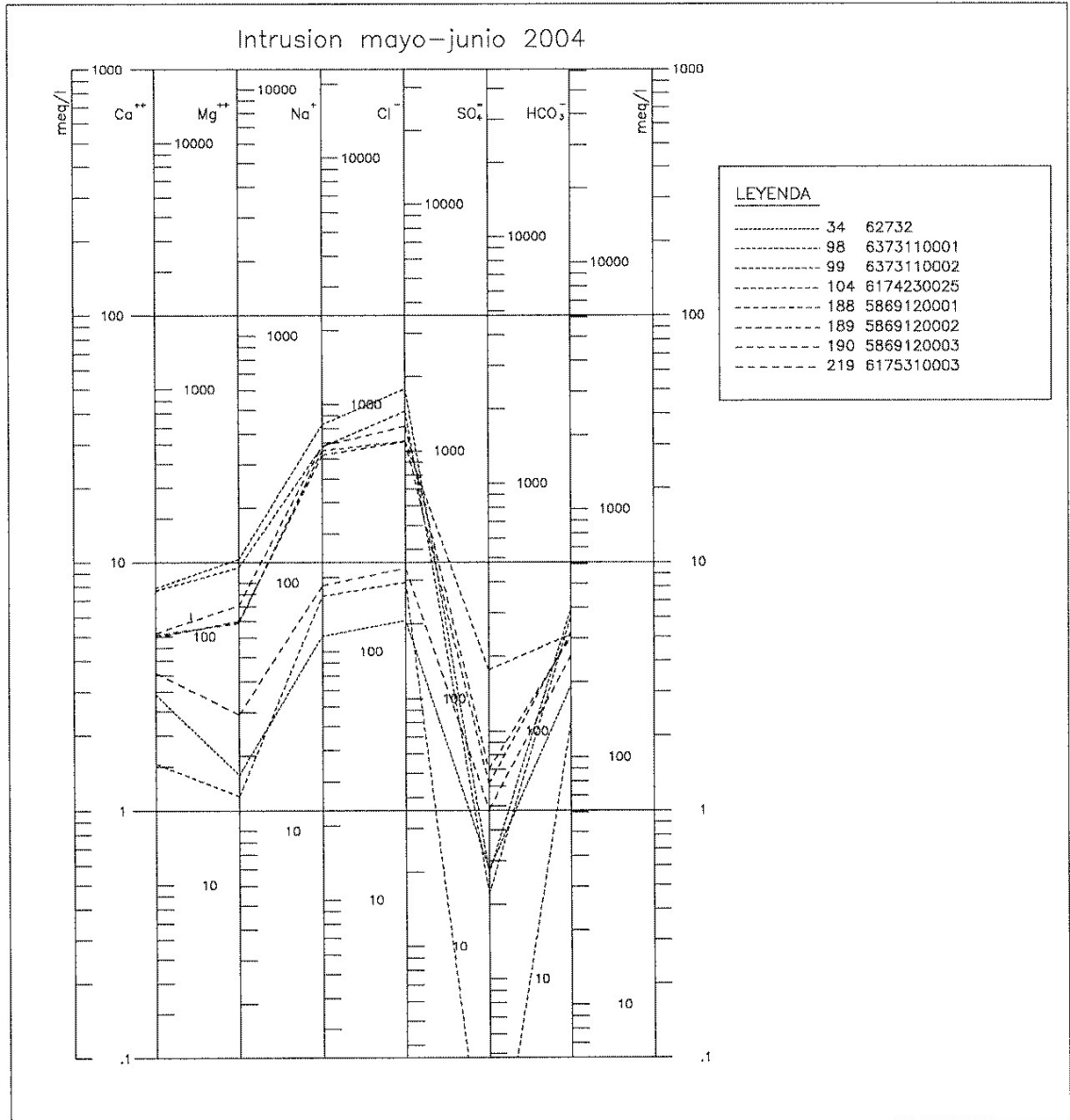
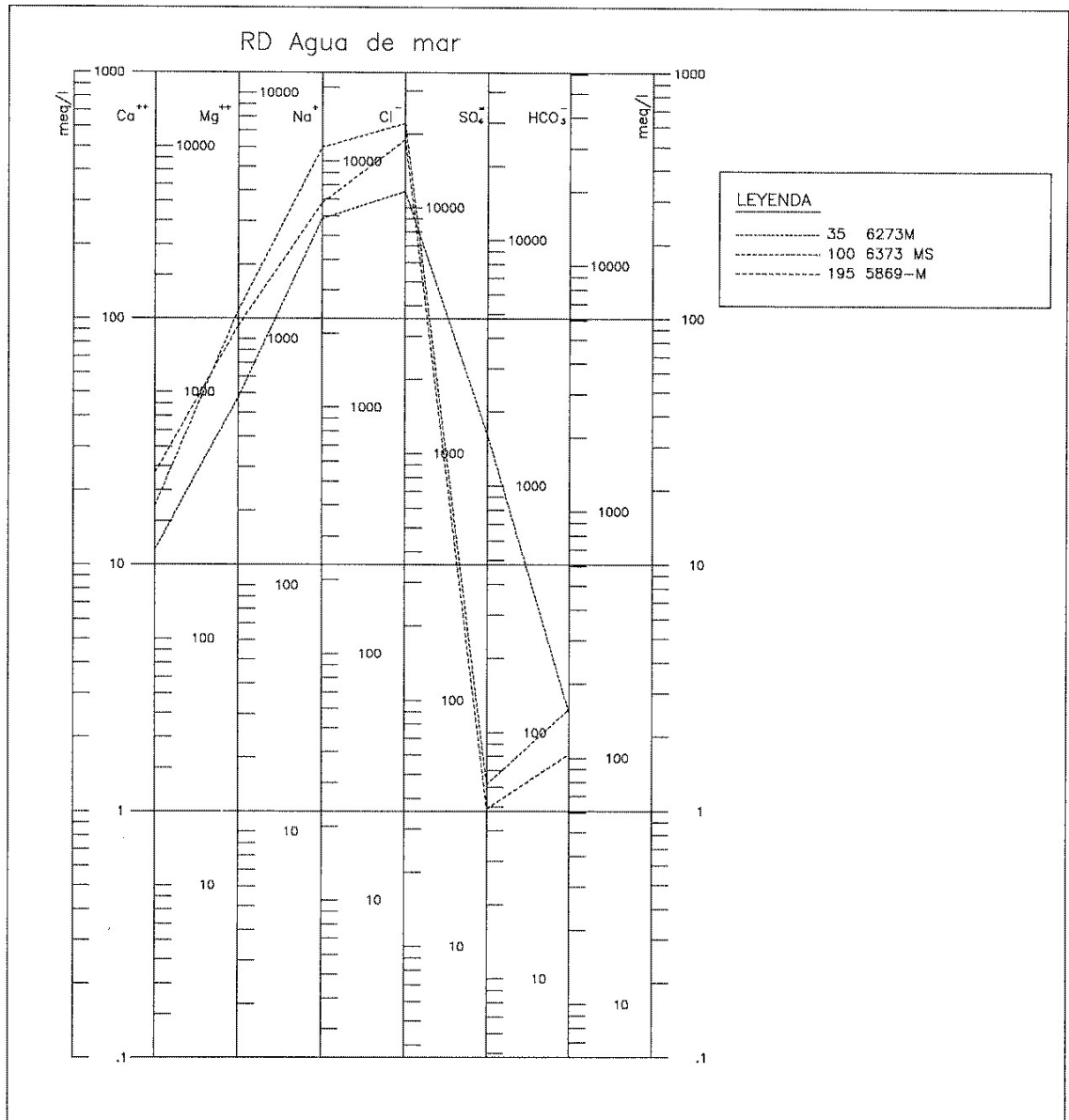


Figura 6.7.6. Diagramas de Schöeller-Berkaloff de las muestras tomadas en el mar



En la figura 6.7.7. se incluyen los diagramas de Stiff de las aguas subterráneas muestreadas en los puntos de la red de control de la intrusión, correspondientes a las campañas de muestreo realizadas.

Se han representado también los puntos en los que se han tomado muestras de agua del mar, durante la segunda campaña de muestreo (abril a junio de 2004) para facilitar el estudio de la posible intrusión marina en las zonas consideradas. Sin embargo, los diagramas de Stiff correspondientes a las muestras tomadas en el mar, se han representado utilizando una escala distinta (500 meq/l), debido a la elevada salinidad que presentan estas muestras de agua de mar, y los diagramas se han marcado con una trama rayada, según se indica en la leyenda.

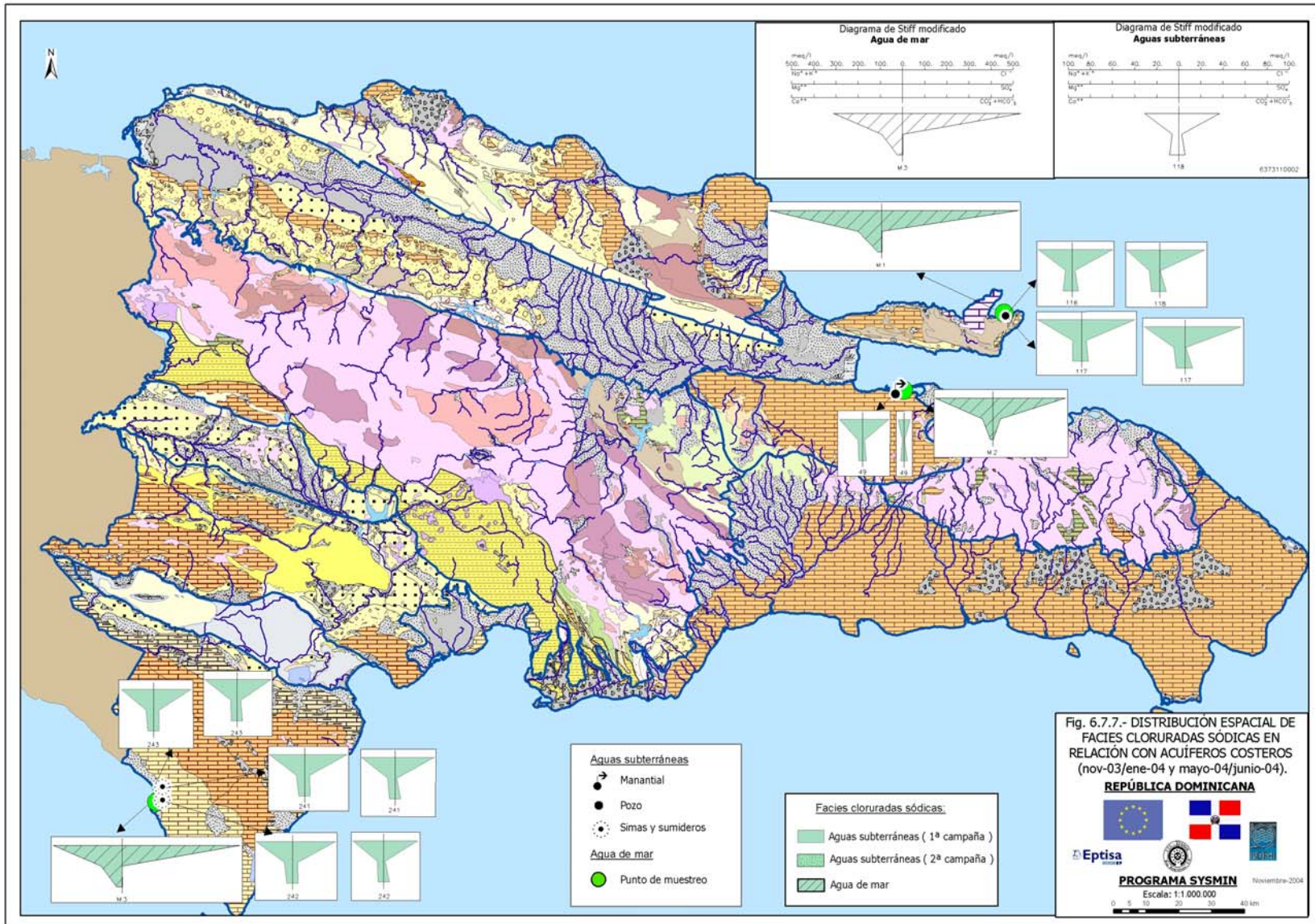
Por su parte, para las muestras de aguas subterráneas correspondientes a las dos campañas, se han representado los diagramas de Stiff utilizando una escala de menor salinidad (100 meq/l), en las que los diagramas correspondientes a la segunda campaña aparecen con un punteado difuso.

En la figura 6.7.7. se observa que la composición química del agua subterránea ha permanecido estacionaria entre ambos muestreos, con una salinidad similar en la zona de Pedernales, dentro de la UH. 11 (Sierra de Bahoruco y Península sur de Barahona) y en Las Galeras, dentro de la UH. 4 (Samaná).

Por su parte, en el borde norte de la UH. 3 (Los Haitises), se observa una disminución significativa de la salinidad del agua subterránea (muestra número 49), que pasa de 3030 microS/cm a 931 microS/cm en la segunda campaña de muestreo. En este sector se observa que la muestra de agua de mar M-2 refleja también una menor salinidad (conductividad de 35000 microS/cm, frente a 61700 microS/cm en M-1 y M-3). Esta situación refleja que se produce una descarga importante de agua subterránea al mar procedente de las calizas de la unidad, como consecuencia de las lluvias abundantes que se produjeron durante ese periodo.

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

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



6.7.5. Nivelación de los puntos de la red de control de la intrusión

En relación con los controles efectuados en los puntos de observación para el estudio de la intrusión marina, durante las campañas de muestreo se han realizado una serie de trabajos adicionales, que han llevado a la nivelación de los puntos de control y a la medición de la distancia de dichos puntos hasta el nivel de costa.

En las figuras 6.7.8, 6.7.9 y 6.7.10. se incluyen los resultados obtenidos para Samaná (sector de las Galeras), Los Haitises (borde norte de la unidad) y Sierra de Bahoruco y Península sur de Barahona (sector de Pedernales), respectivamente, indicando la cota del punto de control en relación con la distancia que lo separa del mar.

Figura 6.7.8. Cota de los puntos de control y distancia a la línea de costa en Samaná (sector de las Galeras).

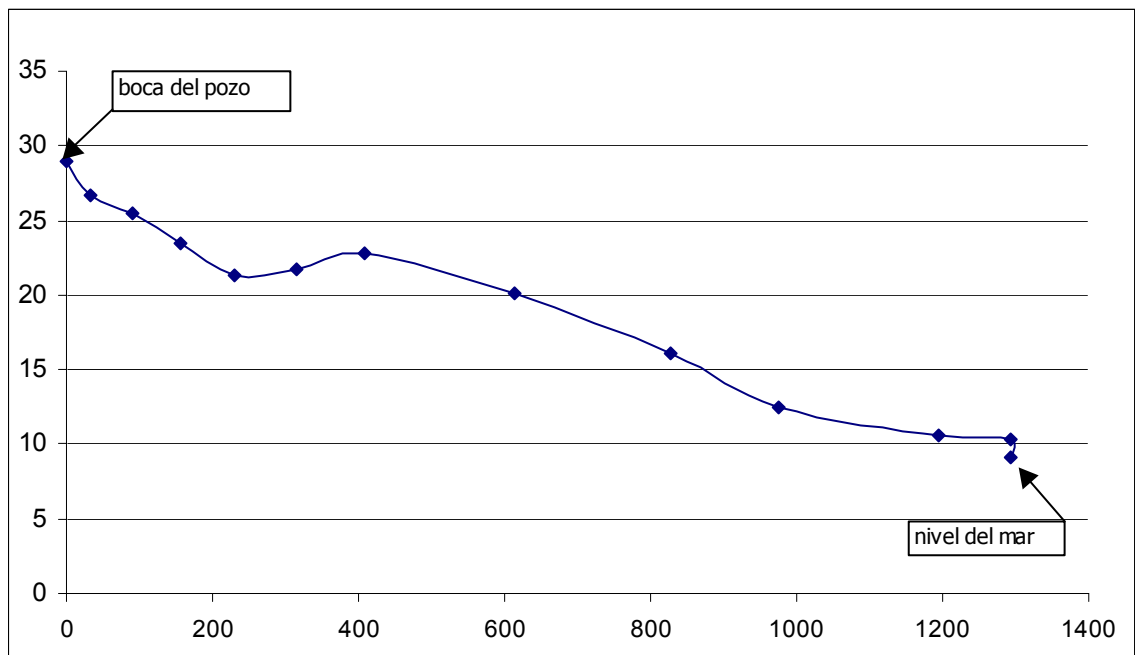


Figura 6.7.9. Cota de los puntos de control y distancia a la línea de costa en Los Haitises (sector de Naranjal)

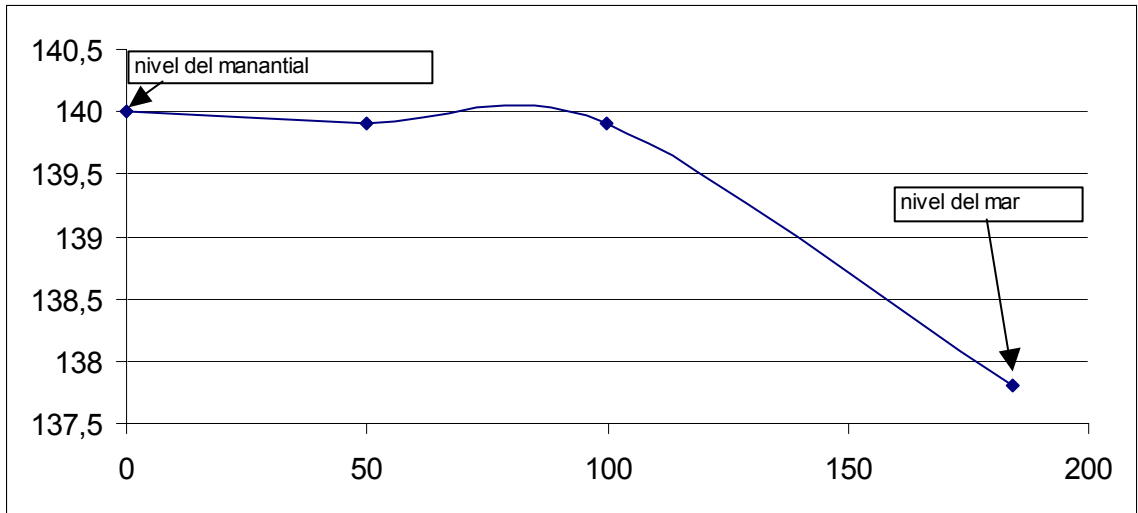
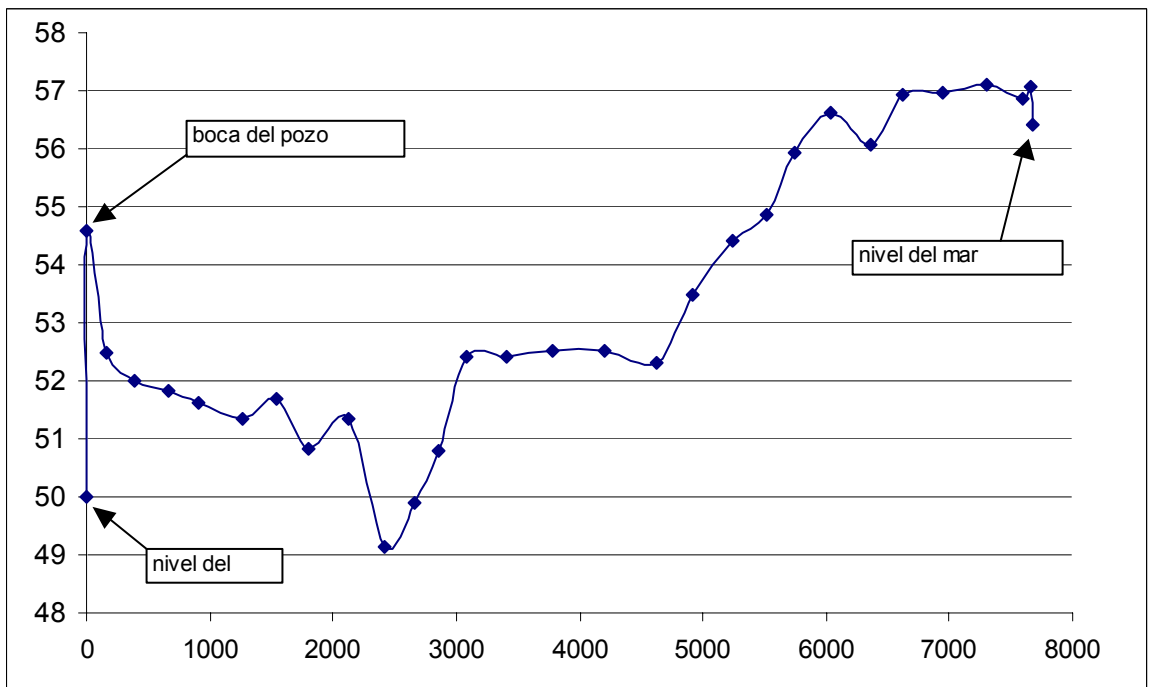


Figura 6.7.10. Cota de los puntos de control y distancia a la línea de costa en Sierra de Bahoruco y Península sur de Barahna (sector de Pederanales)



7. AFOROS DE AGUAS SUPERFICIALES

7.1. OBJETIVOS Y PLANTEAMIENTO GENERAL DE LOS TRABAJOS A REALIZAR

Una de las tareas realizadas durante los primeros meses del presente proyecto consistió en el diseño de la red de control foronómico de las unidades hidrogeológicas en estudio. Para ello, se comenzó por realizar un análisis exhaustivo de la información procedente de estudios previos, así como de otras redes de aforo existentes, para posteriormente, y en función de una serie de criterios hidrogeológicos, definir los puntos de control foronómico de la red definitiva del proyecto.

El establecimiento de redes de aforos directos en cada una de las unidades hidrogeológicas en estudio y su control periódico durante el proyecto, han tenido los siguientes objetivos prioritarios:

- Proporcionar la información necesaria, con el soporte documental y técnico suficiente, para el conocimiento del régimen hídrico de las distintas unidades hidrogeológicas en estudio, sobre todo en lo referente a la relación entre los cauces superficiales y las formaciones permeables aflorantes.
- Evaluar las escorrentías superficiales y las subterráneas drenadas por los ríos, con objeto de poder plantear un balance hídrico tentativo para cada unidad hidrogeológica y para diferentes años tipos y subunidades o sectores de funcionamiento.

Estas redes de control foronómico, y debido a los altos costes que implica su explotación o control y mantenimiento, deben enfocarse con un doble criterio operativo, tanto técnico, como económico. Este hecho se debe a que no siempre la red considerada técnicamente como "óptima", tanto a nivel espacial (densidad), como temporal (periodicidad), resulta ser la más idónea o adecuada, debido a posibles fenómenos de "redundancia" de información, modificación de los condicionantes iniciales (variación de secciones de los cauces), altos costes de explotación y mantenimiento, etc.

Por consiguiente, junto con los objetivos prioritarios y eminentemente técnicos mencionados, se contemplaron, igualmente, los siguientes de carácter operativo y práctico:

- Las redes diseñadas debían ser suficientemente flexibles en cuanto a sus condicionantes, de manera que permitieran un reajuste continuo y mínimo y que no fuera preciso modificar la totalidad de la misma cada vez que se introduzca un cambio en las

actividades que se desarrollan sobre el acuífero (derivaciones de caudales, extracciones estacionales, vertidos de sustancias contaminantes, etc.).

- Las redes diseñadas debían también intentar aumentar la eficacia de las precedentes, consiguiendo que con el menor número de puntos posible y de frecuencia de control de los mismos pueda obtenerse una información suficiente y adecuada, (mayor representatividad de la caracterización y funcionamiento hidrogeológico de cada unidad hidrogeológica).
- Los costos de mantenimiento y explotación de las redes debían intentar disminuirse mediante la planificación adecuada de recorridos y métodos de control, diseño de puntos de control múltiples o "confluentes", etc.

Así pues, durante el primer trimestre del proyecto se realizaron los siguientes tareas dentro de esta actividad:

- Definición y establecimiento de redes de control foronómico en cada una de las nueve unidades hidrogeológicas en estudio.

Según el pliego del proyecto, estaba previsto el diseño una red de control foronómico con un total de 101 puntos de control, distribuidos por las distintas unidades hidrogeológicas a estudiar. En un primer diseño teórico en el que se seleccionaron todos los puntos de interés hidrogeológico, la red de control "óptima" quedó compuesta por un total de 140 puntos, aunque finalmente, y por motivos económicos y operativos, se propuso una red de control foronómico constituida por un total de 119 puntos, más una serie de puntos "reserva" (los 21 restantes), que podrían ser incorporados a dicha red en caso de ser necesario la sustitución de alguno de los puntos propuestos. La distribución geográfica de la red de control propuesta se puede observar en el *Plano de Distribución de la Red de Control Foronómico del Proyecto en las Áreas de Estudio*, incluido el tomo de Planos de esta Memoria Final.

En la medida de lo posible se ha intentado situar puntos de la red de control en lugares donde ya habían existido puntos de aforo previos, con objeto de disponer de la mayor información histórica posible. Sin embargo, esto no siempre ha sido posible, ya que, aunque existe una importante red de aforos distribuida a lo largo de toda la superficie del país, su diseño y distribución no responde a criterios hidrogeológicos (entradas y salidas de materiales permeables, zonas de descarga, relaciones río-acuífero, etc), sino más bien a criterios hidrológicos.

Asimismo, la orografía del país ha supuesto un condicionante fundamental a la hora de diseñar la red de control foronómico, ya que no siempre se han podido situar los puntos de control en las zonas teóricamente más favorables, debido, fundamentalmente, a la ausencia de accesos a determinadas áreas del país. En estos casos, se procuró siempre situar el punto de control en zonas con accesos favorables, aunque lo más cerca posible del emplazamiento teórico inicial.

La red propuesta para cada una de las nueve unidades hidrogeológicas del Proyecto, así como los puntos de reserva de esta, quedó distribuida de la siguiente forma:

Cuadro 7.1.1. Puntos de la red de control foronómico por unidades hidrogeológicas

ZONA O UNIDAD HIDROGEOLÓGICA	Nº DE PUNTOS DE CONTROL EN PLIEGO	Nº DE PUNTOS DE CONTROL MEDIDOS	Nº PUNTOS DE CONTROL RESERVA
Cordillera Oriental	15	22	3
Los Haitises	5	17	1
Samaná	5	5	
Cordillera Septentrional	20	23	
Valle del Cibao	30	12	8
Cordillera Central	16	20	9
Sierra de Neiba	5	14	
Sierra de Bahoruco y Península Sur de Barahona	5	6	
TOTAL	101	119	21

- Una vez fue aprobada la red por el Supervisor del Estudio se procedió a su control sistemático, con una periodicidad mensual, distribuida a lo largo de 12 campañas, de manera que se dispone de información de un año hidrológico completo (octubre de 2003 a septiembre de 2004), así como, dentro de éste, de los distintos períodos o estados de las redes de descarga hídrica (aguas altas, medias y bajas).
- Las redes de control llevan asociadas una serie de fichas que incluyen información de cada una de las unidades hidrogeológicas, así como de los puntos de control que componen la red. Los tipos de fichas utilizadas son los siguientes:
 - Ficha de aforos en campo. En esta ficha se incluye la información recogida en campo, tanto de caudales como de medidas in situ, de cada uno de los aforos realizados en los 119 puntos de control y para las 12 campañas previstas.
 - Ficha resumen de aforos o de gabinete. Esta es una ficha individual para cada punto de aforo, en la que, además de sus características generales, se recoge

toda la información generada a lo largo de las sucesivas campañas de aforo. De esta manera se puede comprobar la evolución, tanto de los caudales como de las medidas in situ, a lo largo del año hidrológico controlado.

7.2. ANÁLISIS DE LAS REDES DE CONTROL EXISTENTES

El **INDRHI** dispone de una amplia red de control foronómico distribuida por buena parte de la superficie del país (existente en todas las unidades de estudio, excepto en la Península de Samaná). Esta red ha sido controlada históricamente para un buen número de puntos, existiendo un registro mensual prácticamente continuo, desde los años 50-60 hasta principios de los años 90 del pasado siglo XX. La información que ha aportado dicha red ha sido de gran utilidad para el presente estudio, 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. Además, por medio del análisis de las series históricas, se ha realizado una serie de descomposiciones de hidrogramas, con los que se ha obtenido el porcentaje de aportaciones subterráneas a los ríos.

Sin embargo, las series de datos de aforo son muy heterogéneas, de unas estaciones a otras, variando enormemente el número de medidas, así como los años de control de las mismas. Así pues, se ha realizado una selección de aquellos puntos que disponían de series lo más completas posibles y con el mayor número de años de registro, habiendo sido descartados una buena parte de los aforos históricos, por tratarse de series incompletas y poco representativas, y aportar información redundante o por encontrarse situados en puntos en los que no aportan datos de utilidad para el estudio hidrogeológico de cada una de las unidades.

En el siguiente cuadro se indica, para cada unidad hidrogeológica estudiada, los puntos de aforo históricos utilizados con el periodo de control de sus 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. Además, se incluye la cuenca y el río al que pertenece cada uno de los puntos de aforo.

Cuadro 7.2.1. Puntos de la red de aforos históricos utilizados en el proyecto por unidades hidrogeológicas.

UH	Denominación	Año Inicio	Año Final	Caudal Histórico (m ³ /s)			Cuenca Hidrográfica	Nombre del río
				Máximo	Mínimo	Media		
CORDILLERA ORIENTAL	<i>La Cruz</i>	1969	1974	22.42	0.33	7.10	Yabón	Río Yabón
	<i>La Guama I</i>	1956	1965	10.1	0.2	2.85	Maimón	Río Maimón
	<i>El Mamey</i>	1968	1994	14.15	0	1.49	Yuma	Río Yuma
	<i>Guanito</i>	1956	1994	18.09	0.08	1.68	Chavón	Río Sanate
	<i>Santa Lucia</i>	1956	2003	57.51	0.27	4.97	Chavón	Río Chavón
	<i>Paso del Medio</i>	1957	1994	170.37	0.73	12.93	Soco	Río Soco
LOS HAITISES	<i>El Limón</i>	1968	2002	374.68	7.2	101.35	Yuna	Río Yuna
	<i>Villa Riva</i>	1955	1992	417.14	6.08	89.38	Yuna	Río Yuna
	<i>La Cruz</i>	1969	1974	22.42	0.33	7.10	Yabón	Río Yabón
	<i>El Salto</i>	1986	1987	5.45	0.12	1.74	Ozama	Río Comatillo
	<i>Hidalgo</i>	1975	1989	4.24	0.07	0.79	Ozama	Río Sabana
	<i>Abadesa II</i>	1971	1996	22.68	0.47	5.79	Yuna	Río Ara
CORDILLERA SEPTENTRIONAL	<i>El Estrecho</i>	1956	1965	47.1	0.03	5.05	Bajabonico	Río Bajabonico
	<i>Imbert</i>	1955	1992	59.7	0.06	3.81	Bajabonico	Río Bajabonico
	<i>Yásica</i>	1971	1995	29.33	0.15	2.46	Yásica	Río Yásica
	<i>Los Brazos</i>	1955	1996	210.86	2.24	25.66	Yásica	Río Yásica
	<i>Los Jengibres</i>	1969	1995	277.63	1.63	18.50	Boba	Río Boba
	<i>Cinta Negra</i>	1980	1995	21.7	0.03	2.89	Nagua	Río Nagua

UH	Denominación	Año Inicio	Año Final	Caudal Histórico (m ³ /s)			Cuenca Hidrográfica	Nombre del río
				Máximo	Mínimo	Media		
VALLE DEL CIBAO	<i>La Aduana</i>	1980	1994	80.01	0.06	7.11	Masacre	Masacre
	<i>Carbonera</i>	1964	1967	0.73	0.12	0.38	Masacre	Guajabo
	<i>Las Charcas</i>	1967	1992	163.27	15.52	39.88	Yaque Del Norte	Yaque del Norte
	<i>Hato Yaque</i>	1967	1970	67.63	0	10.66	Yaque Del Norte	Yaque del Norte
	<i>Jimanagao</i>	1960	1995	218.95	1.27	29.63	Yaque Del Norte	Yaque del Norte
	<i>Puente San Rafael</i>	1958	1994	655.31	3.88	60.92	Yaque Del Norte	Yaque del Norte
	<i>Palo Verde</i>	1959	1995	694.82	2.14	65.24	Yaque Del Norte	Yaque del Norte
	<i>Bao</i>	1955	1979	43.36	2.54	10.38	Yaque Del Norte	Bao
	<i>Sabana Iglesia</i>	1967	1980	59.76	3.81	18.91	Yaque Del Norte	Bao
	<i>Guanajuma</i>	1967	1979	15.7	0.58	2.44	Yaque Del Norte	Guanajuma
	<i>Inoa</i>	1967	2003	66.67	0.67	7.34	Yaque Del Norte	Amina
	<i>Bulla</i>	1967	2002	91.47	1.76	20.73	Yaque Del Norte	Mao
	<i>Mata de Jobo</i>	1959	1965	3.71	0.14	0.66	Yaque Del Norte	Yaguajal
	<i>Villa Riva</i>	1955	1992	417.14	6.08	89.38	Yuna	Yuna
	<i>El Limón</i>	1968	2002	374.68	7.2	101.35	Yuna	Yuna
	<i>La Bija</i>	1968	2003	184.72	2.79	36.56	Yuna	Camu
	<i>Naranjal</i>	1964	1987	22.28	0.04	1.59	Yuna	Licey
	<i>Santa Ana</i>	1982	1995	12.81	0.05	1.25	Yuna	Cenovi
<i>La Boca</i>	1982	1993	14.76	0.04	1.90	Yuna	Jaya	

UH	Denominación	Año Inicio	Año Final	Caudal Histórico (m ³ /s)			Cuenca Hidrográfica	Nombre del río
				Máximo	Mínimo	Media		
CORDILLERA CENTRAL	Don Miguel	1955	1995	64.75	0.00	3.68	Masacre	Masacre
	La Aduana	1980	1994	80.01	0.06	7.97	Yaque del Norte	Yaque del Norte
	Manabao	1963	2002	41.60	2.97	7.08	Yaque del Norte	Yaque del Norte
	Boma	1971	1979	48.30	7.79	17.90	Yaque del Norte	Jimenoa
	Hato Viejo	1955	1995	21.43	2.19	6.80	Yaque del Norte	Bao
	Sabana Iglesia	1967	1980	59.76	3.81	18.91	Yaque del Norte	Bao
	Agua Caliente	1969	1897	34.64	2.82	10.04	Yaque del Norte	Bao
	Sabaneta	1981	1995	32.01	2.96	7.44	Yaque del Norte	Jagua
	El Higuero	1979	1995	33.09	1.16	4.89	Yaque del Norte	Guanajuma
	Guanajuma	1967	1979	15.70	0.58	2.44	Yaque del Norte	Guanajuma
	Bejucal	1981	2000	20.18	0.43	2.16	Yaque del Norte	Iona
	Iona	1967	2003	66.67	0.67	7.35	Yaque del Norte	Mao
	Bulla	1967	2000	91.47	1.76	20.73	Yaque del Norte	Yaguajay
	Mata de Jobo	1959	1965	3.71	0.14	0.65	Yuna	Yuna
	Los Quemados	1962	1979	57.96	2.42	16.55	Yuna	Yuna
	Hatillo	1955	1970	134.01	6.21	76.47	Yuna	Yuna
	Los Platanos	1971	1982	151.76	5.36	35.83	Yuna	Maimón
	Piedra los Veganos	1983	1991	12.29	1.39	4.44	Yuna	Blanco
	Blanco	1977	1988	13.01	2.10	5.71	Yuna	Maimón

UH	Denominación	Año Inicio	Año Final	Caudal Histórico (m ³ /s)			Cuenca Hidrográfica	Nombre del río
				Máximo	Mínimo	Media		
	Maimón	1968	2000	40.03	0.12	5.15	Yuna	Maimón
	Los Platanos	1955	1965	5.88	0.83	2.51	Yuna	Jima
	Rincón	1957	1976	45.96	1.36	10.15	Yuna	Maguaca
	La Cabirma	1982	1995	11.84	0.00	1.27	Ozama	Ozama
	Don Juan	1959	1994	55.79	0.32	5.97	Ozama	Higuero
	Higuero	1959	1985	9.89	0.08	1.33	Haina	Haina
	Caobal	1957	1988	58.26	0.39	9.27	Yuna	Yuna
	Los Corozos	1982	2003	85.98	0.32	12.23	Nizao	Nizao
	Rancho Arriba	1963	1966	11.81	2.32	4.24	Nizao	Nizao
	Río Abajo	1958	1961	53.28	5.86	20.74	Nizao	Mahomita
	Los Cacaos	1962	1993	26.65	0.46	3.10	Yaque del Sur	Yaque del Sur
	Boca de los ríos	1956	1966	33.11	1.81	7.70	Yaque del Sur	Del Medio
	El Limoncito	1984	1987	7.77	0.75	2.41	Yaque del Sur	Las Cuevas
	La Guama	1982	1993	16.08	0.95	2.79	Yaque del Sur	San Juan
	Jaquime	1964	1995	22.49	1.64	5.53	Yaque del Sur	Mijo
	Fondo Negro	1983	1986	1.11	0.17	0.66	Artibonito	Artibonito
	Pedro Santana	1956	2002	73.06	1.12	16.90	Artibonito	Tocino
	Cajuilito	1978	1995	5.07	0.03	0.74	Artibonito	Yacahueque
	Pozo Hondo	1964	1995	8.60	0.06	1.16	Artibonito	Yacahueque

UH	Denominación	Año Inicio	Año Final	Caudal Histórico (m ³ /s)			Cuenca Hidrográfica	Nombre del río
				Máximo	Mínimo	Media		
SIERRA DE NEIBA	<i>Puertecito</i>	1955	1993	2.24	0.01	0.40	Artibonito/Macasía	Río Valdejuelo
	<i>Los Guineos</i>	1955	1964	6.66	0.49	1.67	Artibonito/Caña	Río Las Cañas
	<i>Vallejuelo</i>	1979	1992	3.05	0.01	0.58	Yaque del Sur/Los Baos	Río Los Baos
	<i>Conuquitos</i>	1974	1993	4.19	0.28	0.85	Enriquillo/Guayabal	Río Guayabal
	<i>Villarpando</i>	1959	1982	388.98	3.76	45.31	Yaque del Sur	Río Yaque del Sur
	<i>Conuquito</i>	1964	1993	86.13	6.74	24.66	Yaque del Sur	Río Yaque del Sur
	<i>Palo Alto</i>	1967	1990	91.46	0.32	16.86	Yaque del Sur	Río Yaque del Sur
SIERRA DE BAHORUCO Y PENÍNSULA SUR DE BARAHONA	<i>Paso Sena</i>	1973	1993	7.88	0.4	1.73	Pedernales	Río Pedernales
	<i>Villa Nizao</i>	1955	1992	9.94	0.26	3.32	Nizaito	Río Nizaito

7.3. CRITERIOS DE SELECCIÓN DE LOS PUNTOS DE LAS REDES DE CONTROL PERIÓDICO DEL ESTUDIO. PROPUESTA DE REDES

La selección de los puntos de control foronómico de cada unidad hidrogeológica, se han realizado, además de con los criterios generales anteriormente descritos, de acuerdo con los siguientes criterios hidrológicos-hidrogeológicos:

Criterios hidrológicos-hidrogeológicos

- Las redes de aforos diseñadas se han planteado a nivel espacial de manera que no sólo son representativas de la superficie de las unidades hidrogeológicas s.str., sino también de las cuencas hidrogeológicas afectantes a las mismas, dado que el objetivo fundamental de dichos controles foronómicos ha sido disponer de los datos necesarios para conocer el funcionamiento hidrogeológico de las citadas unidades y para plantear las distintas hipótesis de sus balances hídricos.
- Dentro de las cuencas hidrogeológicas afectantes se han seleccionado como posibles puntos de control foronómico todos aquellos que podían proporcionar información sobre el funcionamiento hidrogeológico sectorial o general de las unidades (como puntos de los cauces que atraviesan contactos de formaciones con distintas permeabilidades, zonas fracturadas, sectores que transcurrían sobre zonas saturadas y no saturadas, etc.), así como definir las posibles relaciones ríos-acuífero y cuantificar (espacial y temporalmente) los volúmenes infiltrados o drenados por los ríos.
- Por consiguiente, el criterio fue sido siempre el de poder disponer de puntos de control foronómico que aportaran información sobre caudales diferenciales entre puntos hidrogeológica e hidrológicamente significativos (aguas arriba y aguas abajo de los tramos considerados como filtrantes o perdedores y de los considerados como ganadores o drenantes, en puntos próximos a la confluencia de cauces, etc.).
- La selección de puntos contempló la distribución esperada (por bibliografía) de caudales, seleccionándose, de entre ellos, los más significativos.
- Para la selección de los puntos de control foronómico, y aparte de los criterios hidrogeológicos ya mencionados, se tuvieron también en cuenta una serie de factores que podían tener un importante peso específico en la validez y representatividad de los datos que se obtenga, como eran:
 - Infraestructura hidráulica próxima y aguas arriba del punto de aforo (azudes, represas, canalizaciones de derivación, tomas habituales de agua en el cauce).

- Las secciones de los cauces elegidas para puntos de la red de control foronómico, se seleccionaron de manera que fueran lo más adecuadas y regulares posibles. Para ello se han buscado tramos de río rectos de, por lo menos, tres veces el ancho del cauce aguas arriba del punto de aforo y dos veces aguas abajo del mismo. Siempre que fue posible se aprovecharon tramos canalizados del cauce, estribos de puentes o tramos de cauces en estado natural, pero con secciones regulares y limpias de grandes piedras o vegetación, y en los que no se produjeran pérdidas o retornos, remolinos y contracorrientes, ni, tampoco, zonas de aguas muertas que alteraran su régimen laminar.

7.4. METODOLOGÍA DE LA TOMA DE MEDIDAS

Una vez establecida la red definitiva de aforos, y comprobada y verificada en campo sus puntos de control, se procedió a equiparlos con una regleta o escala. Para ello, **EPTISA** adquirió y proporcionado al **INDRHI** un total de 370 escalas, que posteriormente fueron instaladas en los puntos de la red de control foronómico.

La secuencia seguida para la instalación de las citadas regletas, para que su eficacia fuera la más adecuada posible, fue la siguiente:

1. Limpieza y adecuación de la sección del cauce elegido, de manera que resultara una sección lo más regular y con la menor pendiente posible, que permitiera la existencia de un flujo regular y no turbulento.
2. Nivelación y fijación de una escala o regleta graduada (en metros, decímetros y centímetros) en el lugar considerado más idóneo, con el objeto de determinar variaciones de nivel durante los aforos con molinete y de servir de futuras referencias, así como de poder obtener curvas de gastos de las secciones controladas.

Las escalas se instalaron siempre en el cero por debajo de los niveles mínimos, para prevenir futuras erosiones que pudieran dejarlas en seco. En general, se procuró colocar el cero de las escalas de 50 a 150 cm por debajo del nivel correspondiente a los caudales nulos, así como elegir un tramo de cierta constancia de perfil, en el que este no estuviera erosionado o sedimentado (si era posible en estribos de puentes, muros, taludes insocavables, etc.).

Finalmente, en los casos de ríos con grandes oscilaciones de nivel, y para evitar escalas de gran altura (siempre más inestables y con mayor posibilidad de alabeo), se instalaron en la misma zona del perfil transversal dos o más escalas, a diferente nivel, aunque emplazadas de manera que, para una misma situación del nivel del agua que mojara las dos escalas, las lecturas fueran idénticas.

3. Comprobaciones, inspección y aprobación de la instalación.

Para la realización de los aforos se utilizó la siguiente metodología de trabajo:

- El **método de aforo** utilizado ha sido el del aforo directo con micromolinetes de hélice sobre eje horizontal.
- Las **secciones de control** se han hecho de acuerdo con los criterios indicados en la selección de puntos de control.
- La selección de las **secciones parciales** a considerar en un cauce, o de las distancias entre medidas verticales dependió de la anchura de cada cauce, variando entre 0,20 m, para anchos de 1,20 m, hasta 5 metros en anchos mayores de 50 m.

Las separaciones o distancias entre las verticales variaron en función de las discontinuidades del perfil o sección transversal de los cauces de manera que fueran mayores en los más regulares y menores en los más irregulares, dado que se controlaron todos aquellos puntos en los que existía cambio de pendiente en la línea de fondo (puntos más hondos y más altos del fondo del cauce), así como los puntos considerados de velocidad máxima.

- Las medidas de **velocidad media en cada sección** parcial se han realizado mediante el cálculo de la media aritmética de las velocidades medias de las verticales que se hayan definido.

Los **cálculos de caudales** se realizaron mediante el método de la sección media, considerando como sección parcial la delimitada por dos verticales adyacentes.

Este cálculo se repetía para cada sección parcial (entre cada dos verticales), obteniéndose el caudal total del cauce aforado como suma de todas las secciones parciales.

El equipo y los medios técnicos utilizados para la realización de los aforos ha consistido en un molinete que consta de una hélice calibrada protegida dentro de un conducto y ligada a un lector, de manera que en función del número de vueltas por segundo de la hélice se obtiene una velocidad media e instantánea de la corriente de agua medida en metros por segundo.

La medida del caudal se ha calculado por medio de la velocidad del flujo y de la sección del cauce. El cálculo de la velocidad se realiza de forma parcial por medio de varias verticales distribuidas homogéneamente a lo largo de la sección, obteniendo como valor final la velocidad media de estas. El cálculo de la sección se obtiene de la longitud de esta y de la profundidad medida en varios puntos (preferentemente sobre las verticales sobre las que se realiza el cálculo de la velocidad), utilizando para ello la escala graduada del bastón del molinete.

El equipo humano necesario para la realización de los aforos ha estado compuesto por tres equipos de dos técnicos cada uno, más un chofer, que han trabajado por zonas (Brigadas Sur, Este y Norte) simultáneamente.

Estos mismos equipos han revisado, igualmente, la posible infraestructura hidráulica existente entre dos puntos de aforo consecutivos de un mismo cauce, en lo referente a azudes, represas, tomas de agua directas del cauce, canales de derivación, etc., cuantificando sus afecciones a los aforos realizados para incluirlas en el análisis de los datos en gabinete.

En lo referente al registro de los datos, cada punto de la red foronómica figura en los siguientes documentos que se describen más adelante:

- Aforos-Ficha de Campo (de cada punto de aforo).
- Ficha de aforos-Resumen o de gabinete (de cada punto de aforo).
- Ficha resumen de cada Unidad Hidrogeológica.

7.4.1. Ficha de Campo:

La ficha de campo es individual para cada punto de aforo y para cada campaña de medidas. En ella se recogen las medidas realizadas y unas observaciones correspondientes a las condiciones en que se han realizado.

En el encabezado de cada ficha se incluyen los siguientes datos:

- **Aforo practicado en.** Nombre del cauce sobre el que se realiza el aforo.
 - **Estación n^o.** Código de la estación de aforo.
 - **Fecha.** Día, mes y año de la realización de aforo.
 - **Efectuó en aforo.** Nombre del técnico que realiza el aforo.
 - **Estado atmosférico.** Observaciones climatológicas del día en el que se realiza el aforo o en días previos que puedan afectar al punto de aforo.
 - **Molinete.** Modelo de molinete utilizado.
-

- **Referencia del aforo.** Indicaciones de la localización del punto de aforo.
- **Observaciones.**
- **Altura de la escala.** Lectura de la escala métrica en el punto de aforo.
- **Medidas "in situ".** Refleja los datos obtenidos en campo de, Temperatura de Agua y Aire (en °C), pH y Conductividad Eléctrica (en mS/cm).

A continuación se rellena un estadillo en el que se indican los datos para cada una de las verticales de la sección de aforo:

- **Denominación de vertical.** Tomada de izquierda a derecha del cauce.
- **Distancia al origen y al margen.** Medidas en metros
- **Profundidad del agua.** Referida a la totalidad de la lámina de agua.
- **Nº de vueltas en la vertical.** Este número va asociado a una velocidad medida m/s.
- **Coefficiente de corrección de las márgenes.** Los coeficientes de corrección de las márgenes han de consignarse en la primera vertical y en la última margen. Los valores a utilizar son 0.5 en el caso de margen inclinado y 0.66 en el caso de margen abrupta.

Esta información ha sido introducida en una hoja de cálculo preparada al efecto con una serie de formulas, mediante las cuales se obtiene un caudal final resultado de la semisuma de los caudales parciales de cada vertical.

7.4.2. Ficha de Aforos-resumen o de gabinete:

La ficha de gabinete es individual para cada punto de aforo y en ella se recogen las principales características generales del punto, así como los resultados de las diferentes campañas de medidas realizadas.

Las características generales que se han incluido son las siguientes:

- **Estación de Aforo:** Código asignado al punto de aforo para el presente estudio.
 - **Código del INDRHI:** Para aquellos puntos que pertenezcan a alguna de las redes foronómicas del INDRHI.
 - **Código Inventario:** Para aquellos puntos que pertenezcan además al inventario de puntos de agua.
 - **Unidad Hidrogeológica:** Zona o Unidad Hidrogeológica a la que pertenece el punto de control foronómico. Puede ocurrir que el punto de aforo pertenezca a una red de control
-

de una Unidad determinada pero que sin embargo se encuentre sobre otra Unidad Hidrogeológica distinta.

- **Hoja 1:50.000:** Hoja topográfica a escala 1:50.000 sobre la que se sitúa la estación de aforo.
- **Coordenadas geográficas UTM y cota:** Medidas con GPS.
- **Cauce:** Nombre del río, arroyo o canal de derivación aforado.
- **Cuenca:** Cuenca hidrográfica a la que pertenece el punto aforado.
- **Paraje:** Toponimia o referencia geográfica del lugar donde se sitúa la estación de aforo.
- **Perfil del cauce:** Esquema del perfil tipo del cauce con la anchura y profundidad media.
- **Plano de situación:** Se sitúa el punto de aforo sobre la hoja topográfica 1:50.000
- **Fotografías:** Se incluirá una fotografía de detalle de la sección aforada y otra panorámica de situación del punto.
- **Observaciones.** Generales del punto de aforo y de su entorno y relación con otros puntos de aforo.

Los resultados de las medidas de las distintas campañas (caudal y medidas in situ), así como las fichas de los puntos de aforo, se incluyen en el anexo 6 de esta Memoria y en la documentación complementaria de la misma. Los caudales obtenidos se representarán en un gráfico de evolución.

7.5. CAMPAÑAS DE CONTROL REALIZADAS: RESULTADOS GENERALES OBTENIDOS Y DISTRIBUCIÓN POR UNIDADES HIDROLÓGICAS

7.5.1. Cordillera Oriental

Se trata de una unidad con un basamento geológico constituido por materiales volcánicos del Cretácico Inferior sobre el que se asientan depósitos de plataforma marina del Cretácico Superior, constituidos por calizas acompañadas de aportes terrígenos.

La zona Sur y Este de esta unidad hidrogeológica está compuesta fundamentalmente por materiales volcánicos, con un grado de permeabilidad muy bajo y, por lo tanto, de escasa importancia hidrogeológica. Sobre estos materiales discurren numerosos ríos a través de pequeños acuíferos detríticos de permeabilidades medias a altas. También existen algunos

afloramientos carbonatados de cierta extensión, aunque de baja permeabilidad y, por lo tanto, de escaso interés hidrogeológico, debido, fundamentalmente, a la presencia de niveles margosos intercalados.

El Oeste de la unidad presenta zonas acuíferas asociadas a sistemas de fracturas en materiales ígneos extrusivos e intrusivos. La permeabilidad de estos materiales se considera media, siendo el interés hidrogeológico bajo por tratarse de acuíferos locales, en su mayoría.

El Norte de la unidad está constituido por materiales detríticos poco consolidados, con un grado de permeabilidad de bajo a muy bajo, y con acuíferos locales y de escaso interés.

Para la red de control foronómico de esta unidad se han seleccionado un total de 22 puntos de aforo cuyas características quedan descritas en la siguiente tabla:

Cuadro 7.5.1. Red de control foronómico de la Cordillera Oriental

PUNTO DE AFORO	TIPO DE ACUÍFERO	PERMEABILIDAD ESTIMADA	OBSERVACIONES
ANAMUYA-1	IGNEO	MEDIA	Salida Este de la Unidad
ANAMA-1	DETRÍTICO	ALTA	Salida Sur de la Unidad
AZUI-1	IGNEO	BAJA	Salida Suroeste de la Unidad
CAPITA-1	CARBONATADO	ALTA	Entradas desde los Haitises
CAPITÁN-1	VOLCÁNICO	MEDIA	Salida Noroeste de la Unidad
CASUI-1	DETRÍTICO	ALTA	Entradas desde los Haitises
CEDRO-1	DETRÍTICO	BAJA	Salida Norte de la Unidad
CUADRÓN-1	DETRÍTICO	BAJA	Salida Norte de la Unidad
CHAVÓN-1	DETRÍTICO	ALTA	Salida Sur de la Unidad
HIGUAMO-1	IGNEO	MEDIA	Salida Suroeste de la Unidad
JAYÁN-1	IGNEO	BAJA	Salida Norte de la Unidad
JOVERO-1	DETRÍTICO	BAJA	Salida Norte de la Unidad
MAGU-1	DETRÍTICO	BAJA	Salida Norte de la Unidad
MAGUA-2	IGNEO	BAJA	Salida Suroeste de la Unidad
MAIMO-1	CARBONATADO E IGNEO	ALTA-BAJA	Salida Este de la Unidad
NISIBON-1	IGNEO	BAJA	Salida Noreste de la Unidad
SANATE-1	CARBONATADO	BAJA	Salida Sureste de la Unidad
SOCO-3	DETRÍTICO	ALTA	Salida Sur de la Unidad

PUNTO DE AFORO	TIPO DE ACUÍFERO	PERMEABILIDAD ESTIMADA	OBSERVACIONES
YABON-1	DETRÍTICO	ALTA	Salida Noroeste de la Unidad
YEGUADA-1	IGNEO	BAJA	Salida Norte de la Unidad
YONU-1	CARBONATADO E IGNEO	ALTA-BAJA	Salida Este de la Unidad
YUMA-1	DETRÍTICO	ALTA	Salida Sureste de la Unidad

Dada la escasez de acuíferos de esta unidad hidrogeológica, la mayor parte de los afloros se han situado en las zonas de salida de la unidad de los principales cursos de agua, pudiendo ser las salidas más importantes y significativas hacia el mar o lateralmente hacia otras unidades contiguas.

En la siguiente tabla se indican las medidas realizadas en cada uno de los puntos de aforo para las diferentes campañas:

Cuadro 7.5.2. Resultados de las campañas de control foronómico de la Cordillera Oriental.

PUNTO DE AFORO	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep
ANAMA BATEY SAN MIGUEL									0.519	0.385	0.363	2.075
ANAMUYA-1	0.107	2.086	0.683	0.284	0.395	0.196	0.175	0.693	0.974	0.222	0.133	0.139
AZUI-1		0.239	0.260	0.014	0.004	0.139	0.001	0.002	0.009	0	0.003	0.007
CAPITA-1	3.687	2.090	1.972	0.332	0.215	0.134	0.404	0.313	0.587	0.835	0.664	0.923
CAPITAN-1		1.656	0.761	1.116	0.375	0.223	1.482	1.073	0.742	0.418	0.497	0.443
CASUI-1	0.300	1.547	0.512	0.152	0.132	0.089	0.562	0.13	0.174	0.13	0.144	0.627
CEDRO-1	0.281	8.519	1.008	1.002	1.392	0.557	1.86	1.446	0.558	0.982	1.149	0.319
CUADRÓN-1	0.322	4.205	1.236	1.122	1.46	0.454	3.315	1.8	0.886	0.936	0.507	0.251
CHAVÓN-1	1.566	6.753	8.963	0.442	1.619	1.902	1.334	4.145	2.325	1.916	1.408	1.024
HIGUAMO-1	1.568	1.277	2.499	0.519	0.153	0.258	0.189	0.561	0.15	0.044	0.181	1.907
JAYAN-1	0.170	4.197	0.539	0.316	0.363	0.109	2.339	Crecida	0.258	0.146	0.218	0.066
JOVERO-1	0.086	6.170	0.893	0.517	0.584	0.263	1.591	Crecida	0.561	0.0383	0.322	0.221
MAGU-1	0.156	6.697	1.828	1.221	0.67	0.583	5.286	2.763	1.014	0.213	0.259	0.815
MAGUA-2	1.441	0.575	1.136	0.278	0.118	0.933	0.1	0.168	0.109	0.045	0.121	0.234
MAIMO-1		15.530	4.655	2.373	4.064	0.833	2.205	3.75	2.916	1.763	2.57	0.683
NISIBÓN-1	0.219	2.054	0.877	0.705	0.82	0.31	0.693	0.739	0.586	0.831	0.728	0
SANATE-1	0.342	1.683	1.918	0.615	0.391	0.431	0.486	0.847	0.621	0.675	0.382	0.228
SOCO-3	0.211			7.137	2.044	4.516	1.714	13.265	10.557	2.079	1.856	2.556
YABÓN-1	3.066	8.157	6.564	3.170	2.439	1.062	Crecida	4.838	3.527	2.767	4.541	3.182
YEGUADA-1	1.285		0.955	0.764	1.141	0.307	1.661	Crecida	0.504	0.383	0.33	0.289
YONU-1	0.300	2.556	0.613	0.188	0.832	0.037	0.228	0.718	0.905	0.215	0.239	0.136
YUMA-1	1.017	5.600	0.649	0.703	1.186	0.632	0.537	0.731	0.381	0.35	0.221	

7.5.2. Los Haitises

Se trata de una Unidad Hidrogeológica constituida, fundamentalmente, por materiales carbonatados muy karstificados y, por lo tanto, con una alta permeabilidad, que conforman un acuífero kárstico de gran extensión e interés hidrogeológico. Asimismo, existen pequeños depósitos de materiales cuaternarios constituidos por formaciones detríticas escasamente consolidadas y asociados a la escasa red fluvial, que dan lugar a acuíferos de alta productividad.

Las características principales de los 17 puntos aforo seleccionados para el control foronómico de esta unidad se describen en la siguiente tabla:

Cuadro 7.5.3. Red de control foronómico de Los Haitises.

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

PUNTO DE AFORO	TIPO DE ACUÍFERO	PERMEABILIDAD ESTIMADA	OBSERVACIONES
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.

En la siguiente tabla se indican las medidas realizadas en cada uno de los puntos de aforo para las diferentes campañas:

Cuadro 7.5.4. . Resultados de las campañas de control foronómico de Los Haitises

PUNTO DE AFORO	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep
ALMIRANTE-1	0.033											
ALCANTARILLA			1.864	1.373	0.939	0.257	0.293	1.117	4.648	1.255	4.091	1.284
ARA-1	0.569	7.717	2.204			1.026						
BARRACOTE-1			0.849	1.043	1.104	0.917	0.768	0.803	0.904	0.951	0.984	1.107
BARRAQUITO-1			1.632	1.573	0.703	0.422	0.509	0.892	1.137	0.954	1.504	1.037
BOYA-1	0.896	1.078	1.582	0.434	0.405	0.309	0.331	0.579	1.271	0.828	0.75	0.992
CAGU-1		0.343	0.141	0.060					0.045	0.03	0.025	0.126
CAÑO PONTÓN-1			1.274	0.931	0.506	0.889	0.305	1.278	2.621	1.472	1.643	1.163
CAÑO PONTÓN-2			0.790	0.994	0.286	0.151	0.288	1.129	2.045	1.133		1.143
CEVICOS-1		1.209	1.007	0.466	0.413	0.327	0.541	0.709	2.281	1.983	1.477	1.243
COMATE-1	0.680	1.697	1.893	0.644	0.631	0.499	0.451	0.486	0.907	1.735	1.374	1.259
CHACUEY-1	1.220	9.880	3.259	2.234		0.000	0		3.149	0.06	0.345	0.282
GUARAGUAO-1			2.106	1.006	2.925	1.026	1.266	0.31	2.807	1.065	1.94	1.181
LAJAGUA-1		0.009	0.007		1.577	1.456	1.655	0.31		0	0.112	
PAYABO-1			6.900	8.602	0.056	0.024	0.386	0.079	1.595	0.582	0.86	0.861
PAYABO-2	19.065	14.311	22.409		0.408	0.24	0.185	0.156	5.285	3.846	6.606	9.051
SABANA-2	0.507		0.904	0.530	0.202	0.074	2.867	0.71	0.691	0.572	0.681	0.714
YANIGUA	1.494	3.317	1.321	0.415	0.351	0.24	0.568	0.925	0.815	0.723	1.494	0.632

7.5.3. Península de Samaná

En esta unidad hidrogeológica se pueden diferenciar tres sectores hidrogeológicos, en función de los materiales predominantes en cada uno de ellos.

La zona Centro-Oeste está constituida, fundamentalmente, por materiales carbonatados altamente karstificados, que dan lugar a acuíferos de cierta importancia hidrogeológica.

El centro y sur de la unidad presenta escasa importancia hidrogeológica, al estar constituido por materiales de baja permeabilidad, tanto detríticos como metamórficos.

El Este y Noreste de la unidad está constituido, principalmente, por materiales metamórficos que pueden dar lugar a pequeños acuíferos locales en áreas de mayor fracturación. La permeabilidad de estas formaciones se considera baja, al igual que su interés hidrogeológico.

En esta unidad hidrogeológica se ha controlado una red de control constituida por 5 puntos de aforo, cuyas características se describen en la tabla siguiente:

Cuadro 7.5.5. Red de control foronómico de la Península de Samaná.

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

Tres de los puntos de aforo incluidos en la red están situados en la vertiente sur de la Península y controlan las salidas de las calizas margosas. Los otros dos puntos de aforo se sitúan en la vertiente norte, controlando los aportes de las calizas y de los materiales metamórficos.

En la siguiente tabla se indican las medidas realizadas en cada uno de los puntos de aforo para las diferentes campañas:

Cuadro 7.5.6. . Resultados de las campañas de control foronómico de la Península de Samaná.

PUNTO DE AFORO	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep
GRANDE-1	0.043	1.389	0.909	0.936	0.715	0.616	1.904	1.997	0.881	0.626	0.568	0.584
EL LIMÓN-1	0.679	3.161	1.991	1.735	0.897	0.918	12.885	3.509	2.206	1.438	0.979	0.827
LOS COCOS-1	0.039	0.097	0.087	0.163	0.076	0.03	0.064	0.217	0.066	0.061	0.042	0.026
MAJAGUAL	0.147	0.989	0.278	0.180	0.06	0.03	0.857	0.696	0.08	0.47	0.027	0.019
LOS REMEDIOS-1	0.347	0.387	0.584	0.438	0.184	0.133	1.077	0.745	0.133	0.066	0.085	0.058

7.5.4. Cordillera Septentrional

Está constituida, fundamentalmente, por sedimentos detríticos y arcillosos, así como por una serie magmático metamórfica, de muy baja permeabilidad y escaso interés hidrogeológico, sobre los que afloran, de forma diseminada, materiales carbonatados, detríticos e ígneos, con permeabilidades de bajas a altas, que dan lugar a acuíferos locales de cierta importancia.

La mayor parte de los puntos de aforo propuestos se han situado sobre cursos fluviales que se encuentran en relación directa con estos acuíferos, con el fin de conocer las posibles ganancias o pérdidas que se produzcan a su paso por ellos. El resto de los puntos están situados en las salidas de la unidad, tanto al mar como a otras unidades contiguas.

La red foronómica diseñada para el control de esta unidad ha estado constituida por un total de 23 puntos, cuyas características principales quedan recogidas en la siguiente tabla:

Cuadro 7.5.7. Red de control foronómico de la Cordillera Septentrional.

PUNTO DE AFORO	TIPO DE ACUÍFERO	PERMEABILIDAD ESTIMADA	OBSERVACIONES
ARROYO SOSUA-1	CARBONATADO	ALTA	Drenaje de afloramiento carbonatado
BAJABONICO-1	DETRÍTICO	ALTA	Desembocadura del Bajabonico
BAQUI-2	DETRÍTICO	ALTA	Salida Este de la Unidad
BOBA-1	CARBONATADO	ALTA	Aporte en cabecera de afloramiento carbonatado
BOBA-3	DETRÍTICO Y CARBONATADO	ALTA	Controla el tramo final del aluvial del Boba y varias salidas desde afloramientos carbonatados
CABARETE-1	CARBONATADO	ALTA	Drenaje de afloramiento carbonatado
CAMU-1	DETRÍTICO	BAJA	Salida de la unidad hacia el mar
CAÑO AZUL-1	CARBONATADO	ALTA	Drenaje de afloramiento carbonatado
CAÑO CLARO-1	CARBONATADO	ALTA	Drenaje de afloramiento carbonatado
CAONAO-1	DETRÍTICO	BAJA	Posibles aportes de acuífero ígneo
JAIBA-1	DETRÍTICO	BAJA	Posibles aportes de acuífero ígneo
JAMAO-1	CARBONATADO	ALTA	Controla un afloramiento carbonatado
JAMAO-2	CARBONATADO	ALTA	Controla un afloramiento carbonatado
MAIMÓN	DETRÍTICO	MEDIA	Salida de la unidad hacia el mar
MAIMON-1	CARBONATADO	BAJA	Controla los aportes de materiales carbonatados e ígneos en la salida sur de la unidad hacia el Valle del Cibao
NAGUA-2	DETRÍTICO	BAJA	Salida Sureste de la Unidad
NAVAS-1	DETRÍTICO	BAJA	Posibles aportes de acuífero ígneo
SAN JUAN	CARBONATADO	ALTA	Drenaje de afloramiento carbonatado y salida noreste de la unidad

PUNTO DE AFORO	TIPO DE ACUÍFERO	PERMEABILIDAD ESTIMADA	OBSERVACIONES
SOSUA-1	CARBONATADO	ALTA	Aporte de afloramiento carbonatado
UNIJICA-1	DETRÍTICO	MEDIA	Controla los aportes del Unijica antes de desembocar al Bajabonico
YAIBA-1	DETRÍTICO	BAJA	Salida Sureste de la Unidad hacia el Valle del Cibao
YASICA-1	CARBONATADO	ALTA	Aporte de afloramiento carbonatado
YASICA-2	DETRÍTICO	ALTA	Salida Norte de la Unidad

En la siguiente tabla se indican las medidas realizadas en cada uno de los puntos de aforo para las diferentes campañas:

Cuadro 7.5.8. . Resultados de las campañas de control foronómico de la Cordillera Septentrional.

PUNTO DE AFORO	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep
ARROYO SOSUA-1		0	0	0	0	0	0	0	0	0.459	0	0.149
BAJABONICO-1	29.702		18.373	10.467	4.315	3.407	6.943	8.114	7.303	2.766	2.194	0.389
BAQUÍ-2			7.425	13.755	5.383	4.188	3.062	12.913	5.671	3.502	3.6	9.709
BOBA-1	13.559	19.743	20.745	12.472	7.599	3.624	6.18	Crecida	14.042	13.028	7.647	15.239
BOBA-3			11.719	13.481	8.341	3.591	6.018	Crecida	11.19	17.321	6.728	29.678
CABARETE			1.049	2.951	2.022	1.625	1.604	1.618	1.927	1.941	1.236	1.419
CAMU-1	0.805	4.555	2.918	4.074	1.389	1.417	4.703	1.971	2.326	0.695	0.154	
CAÑO AZUL-1		0.147	0.140	0.176		0.118	0.229	0.354	0.341	0.25	0.19	0.254
CAÑO CLARO-1	0.063	1.160	0.089	0.320	0.081	0.091	1.23	2.073	1.627	1.598	1.15	1.117
CAONAO-1	1.014	4.039	1.187	1.020	0.351	0.205	0.7	0.414	0.257	0.116	0.086	0.068
JAIBA-1		0	0.083	0	0	0	0	0	0	0.022	0.009	
JAMAO-1	9.391	14.530	18.964	20.151	4.763	4.58	7.54	9.355		5.714	3.493	2.589
JAMAO-2	3.591	13.910		13.463	4.994	4.325	8.299	10.368		5.759	3.508	3.589
MAIMON-1	0.046		0.089	0.224	0	0	0.026	0.155	0.083	0.059	0.023	0.055
MAIMÓN		1.482	0.573	2.221	0.454	0.489	2.367	0.853	0.567	0.197	0.195	0.103
NAGUA-2	0	13.445	4.948	3.500	2.152	0.807	1.113	Crecida	2.961	4.602	2.927	1.771
NAVAS-1	0.081	3.644	0.467	0.407	0.21	0.091	0.195	0.176	0.157	0.049	0.036	0.018
SAN JUAN	2.168	4.600	7.898	4.136	2.101	1.311	1.997	4.663	3.548	1.679	1.089	1.679
SOSUA-1		0.258	1.191	1.465	0.237	0.204	0.785	0.607	0.669	0	0.46	
UNIJICA-1	0.369	14.894	2.231	1.243	0.705	0.46	0.846	0.976	0.553	0.257	0.381	0.074
YAIBA-1	0.205	2.139	1.281	1.399	0.266	0.195	0.321	6.24	0.75	0.675	1.514	0.46
YASICA-1				37.452	10.888	9.114	16.527	Crecida		10.944	7.201	5.584

Estudio Hidrogeológico Nacional de la República Dominicana Fase II. Memoria General

PUNTO DE AFORO	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep
YASICA-2			28.321	46.841	9.929	14.079	24.636	26.504		14.476	8.837	8.21

7.5.5. Valle del Cibao

Esta Unidad está constituida, fundamentalmente, por materiales detríticos con diversos grados de permeabilidad (desde alta a muy baja) que, sobre todo, en la zona este, conforman acuíferos extensos de cierta importancia. También existe algún que otro afloramiento de materiales carbonatados de alta permeabilidad, que dan lugar a acuíferos más localizados y de menor entidad superficial.

De todas las unidades hidrogeológicas estudiadas, esta es la que cuenta con un mayor aprovechamiento de las aguas subterráneas, fundamentalmente para uso agrícola.

La red de control foronómico de esta unidad ha estado constituida por un total de 12 puntos de aforo, cuyas características principales quedan descritas en la siguiente tabla:

Cuadro 7.5.9. Red de control foronómico del Valle del Cibao.

PUNTO DE AFORO	TIPO DE ACUÍFERO	PERMEABILIDAD ESTIMADA	OBSERVACIONES
AMINA-1	ÍGNEO	BAJA	Controla las entradas a la unidad hidrogeológica
CAÑA-1	DETRÍTICO	MEDIA	Aforo diferencial antes de la entrada en calizas
CAÑA-2	DETRÍTICO	MEDIA	Aforo diferencial después de la entrada en calizas
CENOVÍ-1	DETRITICO	ALTA	Controla el acuífero detrítico del río Cenoví antes de desembocar en el río Camú
CENOVÍ-2	DETRITICO	ALTA	Controla el acuífero detrítico del río Cenoví en su curso medio
CENOVÍ-3	DETRITICO	ALTA	Controla el acuífero detrítico del río Cenoví en su curso alto
GUAYABIN-1	DETRÍTICO	ALTA	Controla el acuífero detrítico y el posible aporte de afloramiento carbonatado
GUAYABIN-2	DETRÍTICO	ALTA	Controla el acuífero detrítico antes de que el río atraviese el afloramiento carbonatado
GURABO-1	DETRÍTICO	BAJA	Aforo diferencial antes de la entrada en calizas
GURABO-2	DETRÍTICO	MEDIA	Aforo diferencial después de la entrada en calizas
QUINIGUA-1	DETRÍTICO	MEDIA	Aporte de acuífero detrítico antes de desembocadura al Yaque del Norte
YAMI-1	ÍGNEO	BAJA	Controla las entradas a la unidad hidrogeológica

La mayor parte de los puntos de aforo se han situado a la entrada de los cursos de agua principales sobre los materiales que constituyen los acuíferos detríticos, con el fin de conocer el volumen de agua que les entra a estos, ya sea desde bordes impermeables, cursos fluviales o acuíferos limítrofes. Además, también se han situado una serie de aforos diferenciales a la entrada y salida de la banda central del acuífero carbonatado para determinar la relación existente entre los diversos ríos que la

cortan y este acuífero. El resto de los puntos de aforo se ha situado en los tramos finales de los principales afluentes de los ríos más importantes de la unidad (Yaque del Norte en la vertiente Oeste y Camú en la Este).

En la siguiente tabla se indican las medidas realizadas en cada uno de los puntos de aforo para las diferentes campañas:

Cuadro 7.5.10. . Resultados de las campañas de control foronómico del Valle del Cibao.

PUNTO DE AFORO	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep
AMINA-1		25.682	7.858	4.126	2.061	1.639	1.958	3.552	5.701	2.862	4.774	1.688
CAÑA-1	4.464	1.518	1.206	0.573	0.229	0.212	0.106	0.175	0.235	0.153	0.276	0.627
CAÑA-2	4.881	10.233	1.440	0.530	0.108	0.078	0.069	0.05	0.112	0.066	0.121	0.03
CENOVÍ-1	0.875	0.666	1.554	6.684	0.713	0.59	2.186	2.208	2.58	2.232	0.639	0.794
CENOVÍ-2		0.192	1.084	5.90	0.474	0.292	0.855	1.547	1.657	1.416	0.469	0.496
CENOVÍ-3		0.460	0.569	1.525	0.19	0.098	0.322	0.833	0.569	1.001	0.141	0.107
GUAYABÍN-1	22.358	8.395	9.763	4.248	1.594	3.198	0.31	1.921	6.397	0.458	1.476	1.927
GUAYABÍN-2		8.513	11.384	6.125	3.147	3.04	2.033	4.4	6.502	2.331	2.568	4.058
GURABAO-1	0.884	0.149	0.117	0.087	0.026	0.044	0.032	0.011	0	0	0	0.114
GURABAO-2	2.052	0.063	0.156	0	0	0		0	0		0	
QUINIAGUA-1	0.152	1.260	0.683	0.633	0.148	0.152	0.586	0.28	0.375	0.086	0.092	0.079
YAMI-1		1.214	0.675	3.091	0.455	0.4	0.992	4.905	0.947	0.774	0.274	0.236

7.5.6. Cordillera Central

Se trata de una Unidad Hidrogeológica constituida mayoritariamente por rocas ígneas básicas, tanto intrusivas como extrusivas, generalmente de muy baja permeabilidad, que, en ocasiones, dan lugar a acuíferos locales asociados, fundamentalmente, a zonas de fracturación y alteración, con un grado de permeabilidad de medio a bajo y de escaso interés hidrogeológico.

Dentro de la unidad se desarrollan una serie de valles interiores que actúan como trampas topográficas e hidrogeológicas, y que están constituidos por aluviones que dan lugar a acuíferos libres y confinados en los que se localizan las mayores demandas.

Únicamente en los bordes Suroeste y Sureste de la unidad existen afloramientos de materiales carbonatados que pueden dar lugar a acuíferos locales de cierta importancia con grados de permeabilidad generalmente medios.

Aunque la importancia hidrogeológica de esta unidad es relativamente baja, el número total de puntos de aforos controlado ha sido elevado, debido a la gran extensión de la misma. En la siguiente tabla se describen las características generales de los 20 puntos de aforo que constituyen la red foronómica de esta unidad.

Cuadro 7.5.11. Red de control foronómico de la Cordillera Central.

PUNTO DE AFORO	TIPO DE ACUÍFERO	PERMEABILIDAD ESTIMADA	OBSERVACIONES
BANI-1	DETRÍTICO	BAJA	Salida Sur de la Unidad
CUEVAS-1	CARBONATADO	MEDIA	Aforo situado sobre acuífero detrítico pero que controla el drenaje de un afloramiento calcáreo
CHACUEY-1	ÍGNEO	BAJA	Salida Norte de la Unidad hacia el Valle del Cibao
HAINA-1	DETRÍTICO	ALTA	Salida Sureste de la Unidad
HIGUERA-1	ÍGNEO	MEDIA	Salida Sureste de la Unidad
ISABELA-1	ÍGNEO	MEDIA	Salida Sureste de la Unidad
MIJO-1	MIXTO	MEDIA	Salida hacia el Valle de San Juan
JURA-1	CARBONATADO	MEDIA	Salida Sur de la Unidad
NIGUA-1	ÍGNEO	MEDIA	Salida Sureste de la Unidad
NIZAO-1	ÍGNEO	MEDIA	Controla el aporte de un acuífero ígneo
NIZAO-2	ÍGNEO	MEDIA	Controla el aporte de un acuífero ígneo
NIZAO-3	ÍGNEO	MEDIA	Controla el aporte de un acuífero ígneo
OCOA-1	CARBONATADO	MEDIA	Aforo situado sobre acuífero detrítico pero que controla el drenaje de un afloramiento calcáreo

PUNTO DE AFORO	TIPO DE ACUÍFERO	PERMEABILIDAD ESTIMADA	OBSERVACIONES
OZAMA-1	ÍGNEO	MEDIA	Salida Este de la Unidad
SAN JUAN-1	CARBONATADO	MEDIA	Afloramiento carbonatado en salida Suroeste de la Unidad
YACAHUEQUE-1	CARBONATADO	MEDIA	Afloramiento carbonatado en salida Suroeste de la Unidad
YAGUAJAL-1	ÍGNEO	BAJA	Salida Norte de la Unidad hacia el Valle del Cibao
YAQUE DEL SUR-1	ÍGNEO	BAJA	Salida Norte de la Unidad hacia el Valle de San Juan
YUNA-1	ÍGNEO	MEDIA - BAJA	Río Yuna en cabecera
YUNA-2	ÍGNEO	MEDIA - BAJA	Salida Norte de la Unidad hacia el Valle del Cibao

Dada la complejidad orográfica de esta unidad hidrogeológica, la mayor parte de los puntos de aforo han tenido que situarse en los bordes de la misma, controlando así las salidas producidas a través de los principales cursos fluviales hacia otras unidades contiguas.

Asimismo, se han controlado puntos de aforo en sus puntos de salida, tanto de los afloramientos carbonatados, como de los acuíferos detríticos por alteración y fracturación de los materiales intrusivos y extrusivos, existentes en esta unidad.

En la siguiente tabla se indican las medidas realizadas en cada uno de los puntos de aforo para las diferentes campañas:

Cuadro 7.5.12. . Resultados de las campañas de control fononómico del Valle del Cibao.

PUNTO DE AFORO	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep
BANI-1	0.084	0.827	7.467	0.479	0.158	0.083	0.114	0.62	0.682	0.482	1.665	0.661
CUEVAS-1		6.948	5.485	5.192	3.505	2.679	3.079	7.374	4.8	3.682	3.823	3.484
CHACUEY	0.135	0.399	0.176	0.194	0.055	0.071		0.116	0.455	2.727	1.75	1.327
HAINA-1	5.242	9.534	16.362	6.789	2.896	5.285	7.575	33.1	12.815	23.926	10.351	4.088
HIGERA-1	0.521	0.771	1.905	0.389	0.27	0.99	0.351	0.574	1.336	1.051	0.686	0.477
ISABELA-1		0.728	3.201	0.446	0.409	0.271	0.552	0.707	1.325	1.912	0.948	0.537
JURA-1	2.346	2.705	1.749	1.870	0.995	0.676	0.764	0.521	1.014	0.628	0.703	0.695
MIJO-1	10.112	5.330	3.160	1.065	0.241	0.197	0.347	3.693	8.713	8.293	1.61	3.755
NIGUA-1	4.665	7.432	5.370	0.817	0.301	0.273	0.207	0.75	1.282	4.39	0.755	2.053
NIZAO-1	5.916		18.458	12.053	6.032	8.862	5.775	11.289	6.759	6.669	3.642	0.314
NIZAO-3	4.018	6.969	6.233	2.966	1.44	1.977	1.827	4.096	3.697	3.776	4.486	3.482
NIZAO-4	1.672	2.320	10.057	1.082	0.991	0.325	0.287	0.587	1.372	0.956		1.573
OCOA-1	0.375	6.777	9.792	1.905	0.835	0.667	0.746	1.092	1.581	1.11	1.151	0.912
OZAMA-1.	1.434	5.982	10.557	3.209	2.039	1.417	2.534	17.218	7.283	5.693	4.138	2.905
SAN JUAN-1	22.045	12.223	7.863	4.791	3.376	4.869	2.964	3.799	7.862	14.426	6.58	7.88
YACAHUEQUE-1	3.210	1.919	0.907	0.463	0.249	0.216	0.323	2.253	0.51	3.105	0.073	0.053
YAGUAJAL-1	5.327	1.620	1.129	0.61	0.302	0.304	0.127	0.384	0.356	0.346	0.237	0.59
YAQUE DEL SUR-1		15.120	8.660	6.141	4.201	3.352	4.423	4.654	10.454	11.697	7.351	12.65
YUNA-1		27.027	40.136	55.532	11.439	11.989	23.518	Crecida	24.893	26.522	4.195	7.84
YUNA-2				56.567	9.693	13.645	35.017	Crecida		22.187	24.473	21.887

7.5.7. Sierra de Neiba

Se trata de una unidad constituida, fundamentalmente, por materiales carbonatados que dan lugar a un acuífero de tipo kárstico con un grado de permeabilidad de medio a alto. Estas calizas se asientan sobre materiales volcánicos que, en ocasiones, llegan a aflorar.

De los 13 puntos de aforo controlados en la red de esta unidad, 9 se sitúan en el borde Sur, por ser, previsiblemente, esta la zona donde se producen las mayores descargas.

Además, se han incluido dos puntos de control en el río Yaque del Sur, con objeto de realizar un aforo diferencial a la entrada y a la salida del acuífero carbonatado, ya que se supone que este río está drenando el acuífero en su cota más baja.

El resto de los puntos de aforo se han situado en el borde Norte de la unidad, sobre los principales cursos fluviales.

En la siguiente tabla quedan descritas las principales características de los puntos de control foronómico de esta unidad:

Cuadro 7.5.13. Red de control foronómico de la Sierra de Neiba.

PUNTO DE AFORO	TIPO DE ACUÍFERO	PERMEABILIDAD ESTIMADA	OBSERVACIONES
BARRERAS-1	CARBONATADO	MEDIA - ALTA	Salida Sur de la Unidad
BOCA CACHON-1	CARBONATADO	MEDIA - ALTA	Aforo en manantial
CAÑO-1	CARBONATADO	MEDIA - ALTA	Salida Noroeste de la Unidad
GUARANATE-1	CARBONATADO	MEDIA - ALTA	Salida Sur de la Unidad
LOS BAOS-1	CARBONATADO	MEDIA - ALTA	Salida Noreste de la Unidad. Controla acuífero carbonatado aunque el punto de aforo está sobre detríticos.
MACASÍA	CARBONATADO	MEDIA - ALTA	Salida Noroeste de la Unidad
MAJAGUAL-1	CARBONATADO	MEDIA - ALTA	Salida Sur de la Unidad
MANGUITO-1	CARBONATADO	MEDIA - ALTA	Salida Sur de la Unidad
MARIANA	CARBONATADO	MEDIA - ALTA	Salida Sur de la Unidad
PANZO-1	CARBONATADO	MEDIA - ALTA	Salida Sur de la Unidad
TABARA-1	DETRÍTICO	MEDIA	Salida Sureste de la Unidad
YAQUE DEL SUR-2	CARBONATADO	MEDIA - ALTA	Aforo diferencial antes de la entrada en calizas
YAQUE DEL SUR-3	CARBONATADO	MEDIA - ALTA	Aforo diferencial después de la entrada en calizas

En la siguiente tabla se indican las medidas realizadas en cada uno de los puntos de aforo para las diferentes campañas:

Cuadro 7.5.14. . Resultados de las campañas de control fononómico de la Sierra de Neiba.

PUNTO DE AFORO	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep
BARRERAS-1	0.548	0.590	0.709	0.752	0.777	0.733	0.773	0.728	1.351	0.863	0.834	0.856
BOCA CHACÓN-1	0.394	0.221	0.259	0.429	0.269	0.273	0.22	0.338	0.198	0.2	0.355	0.408
CAÑO-1	12.038	5.489	3.912	2.736	1.067	0.649	2.562	6.692	3.402	2.945	1.672	1.825
GUARANATE-1		0		0	0	0	0	0	0	0	0	
LOS BAOS-1	0.359	0.809	0.381	0.296	0.187	0.127	0.248	2.98	0.406	0.573	0.37	0.178
MACASÍA	1.183	0.741	0.560	0.567	0.385	0.233	0.276	0.404	0.9	0.426	0.411	0.353
MAJAGUAL-1	0.488	0.503	0.625	0.965	0.894	0.69	0.661	0.647	0.811	0.882	0.92	0.913
MANGUITO-1	0.503	0.530	0.612	0.417	0.177	0.151	0.143	0.423	0.668	0.304	0.237	0.217
MARINA	1.079	1.091	1.263	0.780	0.764	0.568	0.371	1.08	0.82	0.827	1.019	1.01
PANZO-1	0.123	0.339	0.430	0.184	0.271	0.295	0.273	0.285	0.581			0.222
TABARA-1	1.512	1.880	0.041	0	0	0.027	1.541	0	0.146	0.262		
YAQUE DEL SUR-2		9.510	6.413	6.904	4.56	6.793		23.751	24.331		25.198	31.126
YAQUE DEL SUR-3		34.594	14.147	17.127	12.937	16.127	43.081	47.875	27.731		25.555	28.224

7.5.8. Sierra de Bahoruco y Península Sur de Barahona.

La práctica totalidad de esta unidad está constituida por materiales carbonatados que dan lugar a acuíferos de tipo kárstico, con un grado de permeabilidad medio. Existen, además, pequeños acuíferos locales de tipo detrítico, constituidos por formaciones de edad cuaternaria asociados a la red fluvial. Este tipo de materiales están presentes, fundamentalmente, en la zona Este de la unidad.

Debido a las dificultades orográficas de esta unidad, la totalidad de los puntos de aforo se han situado en los bordes de la misma, con el fin de conocer las descargas producidas, tanto al mar como a otras unidades contiguas a través de los cursos de agua.

En la siguiente tabla se describen las características generales de los 6 puntos de control incluidos en la red de control foronómico de esta unidad:

Cuadro 7.5.15. Red de control foronómico de la Sierra de Bahoruco y Península Sur de Barahona.

PUNTO DE AFORO	TIPO DE ACUÍFERO	PERMEABILIDAD ESTIMADA	OBSERVACIONES
ARRIBA-1	CARBONATADO	MEDIA	Salida del acuífero carbonatado hacia el norte
BAORUCO-1	CARBONATADO	BAJA	Salida del acuífero carbonatado hacia el mar por el este
COLMENA-1	CARBONATADO	BAJA	Salida de la unidad hacia el sur
LA ZURZA-1	CARBONATADO	MEDIA	Aforo en manantial
LAS CUAVAS-1	CARBONATADO	MEDIA	Salida del acuífero carbonatado hacia el norte
NIZAITO-1	CARBONATADO	BAJA	Salida del acuífero carbonatado hacia el mar por el este

Tres de los puntos de aforo propuesto se sitúan en el límite Este de la Unidad, en el tramo final de los principales cursos fluviales, antes su desembocadura al mar. Otros tres puntos se emplazan en el Norte de la unidad, sobre el borde de salida hacia la unidad del Valle de Neiba.

En la siguiente tabla se indican las medidas realizadas en cada uno de los puntos de aforo para las diferentes campañas:

Cuadro 7.5.16. . Resultados de las campañas de control foronómico de la Sierra de Bahoruco y Península Sur de Barahona.

PUNTO DE AFORO	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep
ARRIBA-1	0.015	0.053	0.042	0.070	0.052	0.065	0.048	0.056	0.034	0.026	0.042	0.047
BAHORUCO	1.496		5.036	0.978	0.597	0.512	0.516	0.765	2.005	0.511	4.656	1.649
COLMENA 1	0.466	0	0	0	0	0.111	0	0	0	0	0	
LA ZURZA-1	0	0.161	0.189	0.252	0.249	0.271	0.194	0.258	0.261	0.295	0.273	0.37
LAS DAMAS-1	0.490	0.547	0.392	0.585	0.505	0.412	0.428	0.557	0.5	0.438	0.584	0.619
NIZAITO	1.590	1.506	5.041	2.199	1.14	0.637	0.83	0.715	2.817	2.046	6.461	3.707

7.6. BASES DE DATOS GENERADAS

- Formulario red aforos.

Constituye el formulario principal para la entrada de los datos obtenidos en la red foronómica. En el encabezado del formulario se incluyen las características generales del punto de control foronómico, indicando sus códigos, (Punto de aforo, código INDRHI, y código inventario) sus coordenadas geográficas, Unidad Hidrogeológica y Cuenca Hidrográfica a la que pertenece, paraje,...

Para cada punto de la red de aforos existen 4 subpartados, en los que se incluye la información específica de cada punto, que son:

- Medidas en aforos. Se incluyen los datos de campo tomados para cada una de las campañas, como son: caudal, conductividad, pH, temperatura tanto del aire como del agua, altura de la escala...
- Plano de situación. En este subpartado se incluye la posibilidad de insertar una imagen con el punto situado sobre un plano topográfico con el fin de ver su situación geográfica.
- Perfil de sección. Se incluye un dibujo de la sección tipo donde se han realizado las diversas campañas de aforo.
- Fotografías. Se reserva un espacio para añadir dos fotografías, una de detalle y otra panorámica del punto de aforo.

El aspecto que presenta este formulario de entrada de datos puede verse en la siguiente figura:

Figura 7.1. Subformulario de red de control foronómico.

The screenshot shows a web-based data entry form for 'red de control foronómico'. It includes several input fields for identification and location data, a text area for observations, and a table for recording measurement data.

Form Fields:

- CÓDIGO PUNTO AFORO: 654844DF
- UNIDAD HIDROGEOLÓGICA: 1
- CAUCE: S0FFFFFFFFF
- CÓDIGO INDRHI: 3324
- HOJA TOPOGRÁFICA 1:50.000: 5973 II
- CUENCA HIDROGRÁFICA: 3
- CÓDIGO INVENTARIO: [Empty]
- PARAJE: AEDFFFFFFFFF
- COORDENADAS U.T.M: X: 2222222, Y: 54654, Z: 213
- OBSERVACIONES: BIKJHIOOOOOO

Measurement Table:

Fecha	Aforo realizado por:	Método de Aforo	Estado atmosférico	Referencia de Aforo	Altura Escala (m)	Tª Agua (°C)	Tª Aire (°C)	Conduct (µS/cm)	pH	TA CO3 (mg/l)	TAC HCO3 (mg/l)	Caudal (m3/s)
05/08/1995	OIHJON	1	0IGRIPKÑNO	LILUO JPNL	56	5	56	67	549	54	15	35
04/08/1962			OLN	IO	6	98	45	98	2	9	41	6
*												

Registro: 14 de 2

8. ESTUDIOS DE REGADÍOS

8.1. INTRODUCCIÓN: OBJETIVOS Y ANÁLISIS DE LA DOCUMENTACIÓN DE PARTIDA

El objetivo principal del estudio agronómico del presente proyecto ha sido identificar las zonas actualmente en regadío, definir las áreas susceptibles de ponerse en regadío en el futuro, y cuantificar los volúmenes totales de agua utilizadas en la actualidad para fines agrícolas y las extracciones de aguas subterráneas que se dedican a dicho uso.

Hasta la fecha, se han realizado diversos diagnósticos y estudios en el país sobre recursos naturales relacionados con la agronomía, los cuales han servido de base para la elaboración del presente capítulo. Dentro de estos estudios, cabría destacar los siguientes:

- ° Reconocimiento y Evaluación de los Recursos Naturales de la Republica Dominicana

En este informe se presentaron los resultados de un levantamiento integral, a nivel de reconocimiento, de los recursos naturales de la Republica Dominicana, realizado por la Organización de Estados Americanos (OEA, 1967), entre los cuales, se incluyó el uso de la tierra.

Dicho informe clasifica las zonas de vida y la capacidad y uso de la tierra en la Republica Dominicana de la siguiente manera: (cuadros 8.1.1 y 8.1.2)

Cuadro 8.1.1 Clasificación según estudio de zonas de vida de Holdridge. OEA (1967)

Zona de Vida de Holdridge	Superficie		
	Hectáreas	Tareas (*)	%
1.- Monte Espinoso Subtropical	100 100	1 591 667.99	2.07
2.- Bosque Seco Subtropical	996 200	15 840 356.18	20.60
3.- Bosque Húmedo Subtropical	2 279 400	36 244 235.97	47.13
4.- Bosque Muy Húmedo Subtropical	683 400	10 866 592.46	14.13
5.- Bosque Pluvial Subtropical	5 600	89 044.36	0.12
6.- Bosque Húmedo Montano Bajo	348 000	5 533 471.14	7.19
7.- Bosque Muy Húmedo Montano Bajo	357 700	5 687 708.70	7.40
8.- Bosque Pluvial Montano Bajo	36 000	572 428.05	0.74
9.- Bosque Muy Húmedo Montano	30 300	481 793.61	0.63
Total	4 836 700	76 907 298.46	100

(*) 1 Tarea= 0.06289 ha.

Cuadro 8.1.2. Capacidad de Uso de la Tierra, según OEA (1967)

Clase	Superficie		
	Hectáreas	Tareas	%
I	53 700	8 53 871.84	1.13
II	235 000	3 736 683.10	4.93
III	312 000	4 961 043.09	6.54
IV	363 000	5 771 982.83	7.61
V	607 100	9 653 363.01	12.73
VI	561 100	8 921 927.17	11.77
VII	2 516 100	40 007 950.39	52.77
VIII	120 200	1 911 273.65	2.52
Total	4 768 200	75 818 095.09	100

- Inventario y Fomento de Recursos Naturales

Elaborado por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, 1973): contiene un inventario de los tipos de vegetación, localizados principalmente en los macizos montañosos.

- Sistema de Inventario y Evaluación de Recursos Agrícolas

Realizado por el Sistema Comprensivo para el Inventario y la Evaluación de Recursos (CRIES, 1980): contiene un levantamiento del uso de la tierra, mediante la interpretación digital de imágenes del satélite Landsat MSS. En el cuadro 8.1.3. se recogen los datos de uso de la tierra obtenidos en este trabajo:

Cuadro 8.1.3. Clases de usos de la tierra o de cubierta, según CRIES (1980)

Clave	Uso de la tierra o tipo de cubierta	Superficie	
		Km ²	%
1.0	Urbano y desarrollado	292	0.6
2.1	Caña de azúcar (75%)	4 205	8.8
2.2	Agricultura intensiva (75% en cultivos)	6 496	13.6
2.3	Agricultura marginal (25-74 % en cultivos)	8 281	17.4
2.4	Pastos (hierba sembrada)	2 325	4.9
3.0	Praderas	5 278	11.1
3.1	Praderas limitadas	12 788	26.8
4.1	Bosques de especies de hoja ancha	6 518	13.7
4.2	Bosques de pinos	311	0.7
5.0	Tierras húmedas (excluyendo arrozales)	269	0.6
6.0	Tierras áridas o abiertas	402	0.8
7.0	Aguas interiores	315	0.7
8.0	Cubiertas de nubes	177	0.4
Total		47 657	100

- El Perfil Ambiental de la República Dominicana

Fue realizado por la Agencia para el Desarrollo Internacional de los EE.UU (ADI, 1981), identificando los problemas ambientales, tanto existentes, como latentes, y las áreas de importancia para el manejo de recursos naturales y ambientales.

- Mapa de Vegetación

Elaborado en 1984 por el Departamento de Inventario de Recursos Naturales (DIRENA) de la Subsecretaría de Estado de Recursos Naturales. Basado en la interpretación de fotografías aéreas pancromáticas a escala 1:40.000, en la que se pueden observar los distintos tipos de bosque.

- Inventario de Vegetación y Usos de la Tierra en la Republica Dominicana

Elaborado en el 1998 por el Departamento de Inventario de Recursos Naturales de la Subsecretaría de Estado de Recursos Naturales (SURENA). En este estudio se presenta información de vegetación natural, se separa y caracteriza las clases de bosques, las de matorrales, sabanas, vegetación de agua dulce y las áreas de escasa vegetación o erosionadas.

Según el Informe Nacional de la Republica Dominicana sobre la Implementación de la Convención de Lucha contra la Desertización y la Sequía, de abril 2000, el país cuenta con poca disponibilidad de suelos con vocación agrícola, que se evalúa en aproximadamente el 20.3% del territorio. El resto se distribuye en un 24.5% para pastizales y cultivos permanentes, un 52.7% de vocación forestal y un 2.5% para la protección de la vida silvestre. A pesar de esto, grandes cantidades de bosque han sido destruidos para las actividades agrícolas, en concreto para el cultivo de caña de azúcar y el arroz.

Aunque existen algunas áreas en el país con tierras muy fértiles y productivas, la mayoría de los agricultores realizan una agricultura de supervivencia, poniendo en explotación agrícola únicamente tierras de utilidad marginal y submarginal, que no son las más adecuadas para el cultivo de cosechas anuales. Una inspección a través de gran parte del país demuestra que en la mayoría de las tierras predominan suelos muy llanos, situados en pendientes extremadamente inclinadas, por lo general pedregosas y fácilmente erosionables, ya sea debido a la topografía o a los materiales de que estén compuestos los suelos, o a ambas circunstancias.

En el presente capítulo los datos indicados a continuación, se han obtenido del plano "Vegetación y uso de la Tierra en la Republica Dominicana", escala 1:500.000 del Proyecto

Inventario y Evaluación de los Recursos Naturales, de la Subsecretaría de Recursos Naturales (SURENA), elaborado en 1998.

En el cuadro 8.1.4. se recoge el tipo de vegetación y uso de la tierra en la República Dominicana, la superficie ocupada y su porcentaje con respecto a la totalidad.

Cuadro 8.1.4. Tipo de vegetación y uso de la tierra en la República Dominicana

Tipo de vegetación y uso de la tierra	Superficie ocupada en hectáreas	% de la superficie total
Cultivos intensivos	402 054	10.26
Matorral Seco	372 379	9.50
Caña de azúcar	368 191	9.39
Bosque Seco	367 739	9.38
Bosque latifoliado húmedo	315 188	8.04
Café y cacao	304 241	7.76
Matorral latifoliado	303 328	7.74
Pasto intensivo	263 626	6.72
Bosque latifoliado semi-húmedo	204 952	5.23
Arroz	195 749	4.99
Bosque conífero denso	194 635	4.96
Escasa vegetación o área erosionada	130 644	3.33
Bosque latifoliado nublado	110 487	2.82
Bosque conífero abierto	107 910	2.75
Agricultura de subsistencia y pastos	100 429	2.56
Lagunas, lagos, etc	95 505	2.43
Áreas pobladas	39 364	1.00
Palma de coco	32 493	0.83
Bosque humedales salobres permanentemente inundado	19 255	0.49
Sabana de humedales salobres	9 327	0.24
Sabana de pajon	6 961	0.18
Matorral de humedales salobres	5 309	0.13
Palma africana	4 694	0.12
Sabana humedales de agua dulce	1 979	0.05
Bosque humedales salobres temporalmente inundado	1 959	0.05
Eneal	1 747	0.04
TOTAL	3 918 625	100

8.2. EVALUACIÓN DE LOS REGADÍOS ACTUALES EN LAS ÁREAS EN ESTUDIO

En primer lugar, en este apartado se ha realizado una revisión de las áreas con regadíos actualmente existentes en las nueve unidades hidrogeológicas en estudio.

Aunque ya en el siglo XIX, con la construcción del Canal Juan Caballero, y a inicios del XX con el canal Luis Bogaert, canal Santana y el Proyecto Manzanillo, existían áreas bajo riego, el desarrollo más importante del riego en la República Dominicana comenzó en los años 20 del pasado siglo XX, con la construcción de los principales sistemas de riego, localizados, fundamentalmente, en las inmediaciones de los principales núcleos urbanos. En 1941, la superficie puesta en riego alcanzaba las 32 000 ha, incrementándose a 79 000 ha a partir de 1944, gracias al extenso programa de puesta en riego. En 1954, la superficie bajo riego era ya de 132 000 ha con la construcción de los canales fronterizos y las transformaciones llevadas a cabo en los Valles de San Juan y Neiba. Dicho desarrollo sufrió un estancamiento en la década de los 60 del pasado siglo XX, en la que se llevó a cabo la construcción de diferentes embalses multipropósito.

En los años 70, comenzó un nuevo programa con el objetivo de construir grandes sistemas de riego. En este mismo período, continuaron las inversiones en embalses e infraestructura hidráulica, llegando a 1980 con una superficie puesta en riego de 200 000 ha. El desarrollo de superficies bajo riego ha continuado creciendo en estos últimos años, contando en 1999 con una superficie bajo riego cercana a las 270 000 ha.

8.2.1. Regadíos actuales

A partir de los datos obtenidos de la publicación "Distritos de Riego de la República Dominicana" (INDRHI. 1995), de la información aportada por el Instituto Nacional de Recursos Hídricos (INDRHI), y los de la Secretaría de estado de Agricultura (SEA), y por las observaciones de campo realizadas durante el presente estudio, se ha realizado una cuantificación de las superficies actualmente en regadío en las nueve unidades hidrogeológicas en estudio.

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. Aunque para delimitar las áreas regadas existen diez áreas administrativas denominadas Distritos de Riego (DR). Estos DR están

compuestos por un total de 290 sistemas de riego, diferenciados generalmente por la fuente de suministro de agua, aunque sus límites, no coinciden con las cuencas hidrográficas, ni con la delimitación de unidades hidrogeológicas.

Por tanto, para obtener la superficie actual de riego dentro de cada una de las unidades hidrogeológicas en estudio, se han superpuesto las coberturas de superficie de riego facilitadas por la SEA con las coberturas de las unidades generadas en el presente estudio. La cuantificación final de las superficies de riego por unidades hidrogeológicas se recoge en el cuadro 8.2.1 y su distribución espacial, tanto de los sistemas de riego, como de los canales de distribución, se presenta en el Plano 12 de esta Memoria Final. De dicha información se desprende que la superficie total de riego (en la actualidad) dentro del ámbito de las unidades hidrogeológicas en estudio es del orden de los 280 000 ha., de las que más del 65% se concentran en la unidad hidrogeológica del Valle del Cibao.

Cuadro 8.2.1.: Distribución de la superficie regada por unidades hidrogeológicas.

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

8.2.2. Principales especies cultivadas

Pese a la insistente política gubernamental enfocada hacia la diversificación de los cultivos, en sustitución del cultivo de la caña de azúcar, éste tipo de cultivo sigue siendo el principal cultivo del país, junto con el arroz (principalmente en el Este y en la cuenca del Yuna). Las demás especies cultivadas son: el plátano y el guineo, la habichuela roja y negra, el tabaco, los cultivos hortofrutícolas (aguacate, lechosa, mango y cítricos, tomate industrial, cebolla, ají, berenjena, sandía, melón, papa, batata, etc.), los pastos, yuca, maíz y sorgo. En el cuadro

8.2.2. se recoge la clasificación de los productos más comunes cultivados y sus correspondientes superficies en cultivo.

Cuadro 8.2.2.: Clasificación de los productos más comunes cultivados y las superficies en cultivo.

Clasificación de productos cultivados		Superficie cultivada (ha)
Cereales	Arroz	9 192
	Maíz	
	Sorgo	
Raíces y tubérculos	Yuca	4 009
	Yautia	
	Batata	
	Ñame	
	Papa	
Oleaginosas	Maní	1 965
	Coco	
Leguminosas	Habichuela roja	5 950
	Habichuela blanca	
	Habichuela negra	
	Guandul	
Hortalizas	Ajo	1 728
	Cebolla	
	Ajies	
	Berenjenas	
	Auyama	
	Tomate	
Musáceas	Plátano	5 432
	Guineo	
Productos tradicionales	Caña de azucar	15 806
	Café	
	Cacao	
	Tabaco	

En este estudio agronómico se identificaron los principales cultivos asociados a los diferentes distritos de riego, tanto de los datos aportados por la publicación "Distritos de Riego de la Republica Dominicana" (INDRHI. 1995), como de las observaciones del plano "Capacidad Productiva de la Tierra" a escala 1:500.000, elaborado por la Secretaria de Estado de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Subsecretaria de Suelos y Aguas.

Se describieron los usos de la tierra, por distritos de riego, de tal manera que su distribución por unidades hidrogeológicas en estudio queda de la siguiente manera:

En la U.H. de la Cordillera Septentrional, la mayor parte de la superficie está dedicada a la producción de café, aunque existe una gran proporción del área que esta ocupada por la agricultura de subsistencia y pasto. En la parte occidental de la unidad, dentro de las cuencas bajas de los ríos Bacuí, Boba y Corcovas, existe una gran extensión de cultivos de arroz y caña de azúcar, mientras que todo el límite sur de la unidad esta ocupado por la palma africana, la palma de coco, el café y el cacao, aunque en la parte más sur occidental de la unidad predominan las plantaciones de café y cacao. El resto de la unidad, esta salpicada de cultivos de caña de azúcar entre Monte Llano y Puerto Plata, así como en la zona de Imbert. En todo el límite norte predomina la palma de coco, y por el cultivo intensivo en ambas márgenes del río Bajabonico, desde Imbert hasta su desembocadura.

En la U.H. de Península de Samaná, la mayor parte de la unidad esta ocupada por el bosque latifoliado húmedo, existiendo grandes extensiones de agricultura de subsistencia y pasto, y zonas reducidas de café y cacao en el interior de la unidad.

La U.H. del Valle de Cibao, es la zona agrícola más importante. La mayor parte de la unidad esta ocupada por los cultivos intensivos (tabaco, maíz y plátano) en toda la vega desde Santiago hasta San Francisco de Macoris, y el cultivo de arroz en ambas márgenes del río Yaque del Norte, desde Monte Cristi hasta Esperanza, y desde la Vega hasta la desembocadura del río Yuna, a ambas márgenes de éste y del río Camu. También existen en esta unidad dos zonas ocupadas por humedales salobres permanentemente inundados: al noroeste y sureste de la unidad, en la zona de la Bahía de Manzanillo y en la Bahía de Samaná, respectivamente. Las zonas más elevadas de las laderas del valle están ocupadas por bosque de tipo seco, agricultura de subsistencia y pasto.

En la U.H. de Los Haitises, la mayor parte de la unidad esta ocupada por el bosque latifoliado húmedo, aunque existe bastante superficie desforestada, aprovechada para pasto y agricultura de subsistencia. Además, existe una gran extensión de terreno en la zona de Sabana Grande de Boya ocupada por el cultivo de caña de azúcar y en la zona de Cevicos y La Cueva por pasto intensivo.

En la U.H. de la Cordillera Oriental, al igual que en la unidad anteriormente comentada, existe una gran proporción del terreno en su parte central ocupada por el bosque latifoliado húmedo, con el desarrollo de café y cacao, mientras que en el sector meridional de la unidad se desarrollan terrenos para pastos intensivos, coincidiendo con los cursos de los ríos Casuí, Higuamo, Magua, Maguarin, y Seibo, al igual que en el sector noroccidental, en la zona de Miches y nororiental, desde el Valle hasta la Bahía de Samaná. También se localiza una pequeña área de cultivo de arroz en la margen izquierda de la cuenca baja del río Yabón,

mientras que prácticamente todo el límite norte de la unidad esta ocupado por humedales salobres y permanentemente inundados.

La U.H. de la Cordillera Central es la unidad hidrogeológica con más extensión superficial y con más diversidad de vegetación. En ella se distingue una gran parte central, desde los Almacigos hasta el valle de Constanza, y desde éste hasta el noroeste de Sabana Larga de Ocoa, ocupada por bosque conífero denso y bosque latifolido nublado. En el Valle de Constanza, Bonao, Villa Altigracia, Cotuí y en la zona de Sabana Larga de Ocoa y San José de Ocoa, se localizan cultivos intensivos. En el sector noroccidental de la unidad y en los límites septentrional y meridional predomina el bosque seco y la agricultura de subsistencia y pasto. En el sector meridional este predomina el bosque latifoliado húmedo y las plantaciones de café y cacao. En el sector sur meridional predomina el matorral seco y el matorral latifoliado. Y, por último, en el sector septentrional noreste el terreno está ocupado por el bosque conífero denso entre Bonao y Maimón, el bosque latifoliado húmedo en Piedras Blancas, y las plantaciones de café y cacao entre las cuencas del río Ozama – río Yuna – río Yujo, existiendo también el cultivo de caña de azúcar y el pasto intensivo entre el río Ara y el río Yuna.

En la U.H. de la Sierra de Neiba, y en la zona más alta de la sierra, existen dos franjas en el sector central de su parte occidental ocupadas por bosque conífero abierto y bosque latifoliado nublado. En el sector septentrional, y haciendo límite con la unidad contigua del Valle de San Juan, predomina el matorral latifoliado y la agricultura de subsistencia y el pasto. En el sector meridional aumenta la extensión en bosque de tipo seco y las plantaciones de café y cacao. El sector suroriental, que esta atravesado por el río Yaque del Sur, existe una diminuta franja de cultivo intensivo a ambas márgenes del río, con el predominio de matorral seco, que pasa a bosque seco conforme se sube de cota hacia la sierra de Neiba y la sierra de Martín García, mientras que en la zona más elevada de ésta última se instala el bosque latifoliado semi-húmedo. También existe una franja no claramente definida al sur de la sierra de Neiba y que llega hasta el valle del río Yaque del Sur, con escasa vegetación o área erosionada.

En las UU.HH. de la Sierra de Bahoruco y Península de Barahona, la zona central esta ocupada por bosque conífero abierto y, en menor medida, por bosque conífero denso y bosque latifoliado nublado. En el sector meridional predomina el bosque seco y en el sector occidental matorral latifoliado, bosque latifoliado húmedo y algo de agricultura de subsistencia y pasto.

En la actualidad las zonas agrícolas regables productivas, se encuentran en varias áreas del país, que a continuación se citan en el cuadro 8.2.3., y que coinciden con las áreas de capacidad productiva de la tierra, obtenidas del plano "Capacidad Productiva de la Tierra" a

escala 1:500.000, elaborado por la Secretaria de Estado de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Subsecretaria de Suelos y Aguas

Cuadro 8.2.3.: Zonas agrícolas regables productivas, por subunidades hidrogeológicas

Unidad Hidrogeológica	Zona regable
Cordillera Septentrional	La vega del río Bajabonico entre Imbert y Dieguito
	La zona de Montellano
	La cuenca baja del río Yasica
	Las cuencas bajas de los ríos Bacui, Boba y Corcobas
Valle de Ciabao	Esperanza-Santiago-San Francisco de Macoris
	Vega del río Yaque del Norte entre Esperanza y Monte Cristi
	Vega del río Camu entre La Vega y el río Yuna
	Vega del río Yuna hasta la desembocadura
Los Haitises	Sabana larga de Boya-Cevicos-La Cueva
Cordillera Oriental	La vega del río Yabon, entre El Valle y la desembocadura
	Las vegas de los ríos Magarin, Seibo, Chavon y Maimón
Cordillera Central	Valle de Constanza
	Vega del río Ocoa, entre Sabana Larga de Ocoa y San José de Ocoa
	Vega del río Haina, en la zona de Villa Altagracia
	Zona de Bonao
	Zona de Cotui
Sierra de Neiba	Valle del río Yaque del Sur, entre Coraza y Vicente Noble
Sierra de Bahoruco	Zona de Enriquillo
	Zona de Jimani
Península sur de Barahona	Zona de Perdernales
	Zona del lago de Oviedo

Una vez estudiados los usos de la tierra por zonas de riego, se establecieron las demandas de agua para cada uno de los tipos de cultivo. Estas demandas de agua para riego dependen de las necesidades hídricas de cada cultivo, las cuales se han obtenido del documento "Estudio

Hidrogeológico Nacional de la Republica Dominicana del año 2000”, en el que se calculan los volúmenes de agua necesarios para cada tipo de cultivos y distritos de riego mediante la realización de un balance hídrico agronómico promedio.

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

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

El balance hídrico permitió determinar los probables volúmenes de agua que pueden ser utilizados por los cultivos, para cada una de las zonas de riego que se incluyen dentro de las distintas unidades hidrogeológicas, y en aquellas zonas de riego en las que la información era insuficiente para determinar la demanda de agua por tipo de cultivo, se estimó una demanda media a partir de los datos obtenidos en el resto de las zonas de riego.

Una vez obtenidas las demandas de agua necesarias para cada tipo de cultivo, en las diferentes zonas, y a partir del promedio del movimiento agrícola (datos obtenidos del documento “Resumen Nacional del Movimiento Agrícola en las Áreas de Cultivo Bajo Riego” correspondiente al periodo agrícola 01/02. y 02/03), considerando para cada especie la superficie sembrada y aquellas bajo siembra al final de cada año agrícola, se determinaron las demandas de agua medias por hectareas y año, para cada una de las zonas de riego, obteniendose, finalmente, el volumen total demandado por unidad y subunidad hidrogeológica.

En el cuadro siguiente se recogen, resumidamente, los datos más relevantes del estudio agronómico realizado (hectáreas irrigadas, volumen total de agua demandada y aguas subterráneas extraídas, por unidades hidrogeológicas).

Cuadro 8.2.4.:Volumenes de aguas subterráneas extraidas por unidades hidrogeológicas

Unidades Hidrogeológicas	Superficie irrigada (ha)	Volumen total demandado (hm ³)	Volumen total extraído (hm ³)
U.H. Cordillera Septentrional	14 147.20	105.51	9.49
U.H. Samana	563.45	3.98	0
U.H. Cordillera Oriental	4 438.46	40.39	2.02
U.H. Valle del Cibao	182 680.34	662.91	132.58
U.H. Cordillera Central	29 249.68	99.35	45.60
U.H. Sierra de Neiba	28 262.60	73.83	5.48
UU.HH. Sierra de Bahoruco y Peninsula Sur de Barahona	19 141.88	161.04	21.58

Las características agronómicas y de riego de los distintos sistemas de riego que engloban los Distritos, se han estudiado de forma detallada y particularizada para cada una de las unidades hidrogeológicas en estudio y, por consiguiente, se incluyen en sus correspondientes memorias.

8.3. DELIMITACIÓN DE ZONAS POTENCIALMENTE REGABLES

El Instituto Nacional de Desarrollo de los Recursos Hídricos (INDRHI), creado en 1965, tiene la responsabilidad de la planificación del uso y conservación sostenible de los recursos hídricos y los recursos naturales vinculados, así como el diseño, formulación, ejecución, seguimiento y evaluación de los proyectos, programas y acciones para el control y regulación de las aguas superficiales y subterráneas. La gestión de los Distritos de Riego y de la Unidad Operacional es también de su competencia, de los que conserva la responsabilidad de las actividades de operación y mantenimiento de las captaciones, canal principal y sistema de drenaje de todos los sistemas de riego, así como de la totalidad de las instalaciones en aquellos sistemas que todavía no están transferidos a los usuarios. Esta política de transferencia ha sido financiada fundamentalmente por recursos internacionales en coordinación con el Departamento de Distritos de Riego, perteneciente al INDRHI.

En 1984 se publicó un reglamento que facultaba al INDRHI a la transferencia, de forma gradual, de las actividades de operación y mantenimiento y recolección de las tarifas de riego a los usuarios. Dicho proceso comenzó en 1987 a través del proyecto de manejo de agua parcelario (PROMAF). Como resultado de dicho proceso, hasta mayo de 1998, el INDRHI había transferido 10 sistemas de riego, compuesto cada uno por diferentes asociaciones de usuarios, para un total de 86 840 ha y 28 950 usuarios.

8.3.1. Zonas potencialmente regables

La política de recursos hídricos formulada por el INDRHI, en lo relativo al riego y al drenaje, dentro de las políticas del Gobierno, se encuentra la ampliación de la superficie bajo riego mediante la construcción de nuevos sistemas de riego y mejora en la eficiencia de los ya existentes. La superficie potencial de riego se estima según el INDRHI en 710 000 ha, teniendo en cuenta tanto la aptitud de los suelos como la disponibilidad del recurso hídrico. La mayor parte de la áreas regadas se localiza en los valles situados entre las cadenas montañosas, que presentan una precipitación de media a baja y algunas limitaciones en sus suelos: pendiente, profundidad del suelo y, en algunos casos, problemas de salinidad asociados a retornos de riego en zonas con materiales evaporíticos.

En la segunda parte del estudio se identificaron, entre las superficies no regables, aquellas con mayor susceptibilidad de riego, por tipos de materiales y permeabilidades, considerando los aluviales como terrenos susceptibles de riego.

Como complemento a dicha información de partida, en el presente estudio se han estimado e identificado superficialmente, setenta y siete nuevas zonas potencialmente regables dentro del ámbito de cada una de las unidades hidrogeológicas en estudio, cuyo criterio de selección se ha basado tanto en la idoneidad de las zonas propuestas (tipo de suelos y topografía), como en la disponibilidad de recursos subterráneos. Su superficie total es del orden de los 291 000 ha, que en su mayor parte se situarían en las unidades de la Cordillera Central y del Valle del Cibao. En los cuadros 8.3.1. a 8.3.8. se indican las zonas nuevas de posible regadío, con la estimación de sus superficies en hectáreas, y en el plano 14 de esta Memoria se representa la distribución espacial de las zonas recomendadas.

Cuadro 8.3.1.: Zonas potencialmente regables en la U.H. de La Cordillera Septentrional

Subunidad hidrogeológica	Posibles zonas de nuevos regadíos		Superficie (ha)
Luperon-Guayacanes	1	Ampliación del sistema de riego de La Isabela desde Boca de Río Grande hasta Martín Alonso a lo largo del aluvial del río Bajabonico	4 514.56
Sabaneta-El Choco	1	Nuevo sistema de riego en el aluvial del río Yásica, entre los parajes de Madre Vieja y Sabaneta de Yásica	4 115.52
	2	Nuevo sistema de riego en la zona de Ganete	11 390.90
Cabo Frances-Guaconejo	1	Ampliación de los sistema de riego existentes entre los aluviales de los ríos Baqui y Caño Claro, entre los parajes Bejuco Alambre, San Isidro, Memiso y Palmarito.	11 255.46

Cuadro 8.3.2.: Zonas potencialmente regables en la U.H. de Samana

Subunidad hidrogeológica	Posibles zonas de nuevos regadíos		Superficie (ha)
Calizas de Naranjito	1	Nuevo sistema de riego entre La Guazara y Rancho Español	341.76
	2	Nuevo sistema de riego en la zona de la Terrenas desde Coson hasta el Portillo	1 595.36

Subunidad hidrogeológica	Posibles zonas de nuevos regadíos		Superficie (ha)
Mármoles de Los Guanos-Atravesada	1	Nuevo sistema de riego entre Las Cuchillas y El Valle, a ambas márgenes del río San Juan	625.43
	2	Nuevo sistema de riego entre La Casualidad y La Laguna, en la margen derecha del arroyo Grande y el río San Juan	115.76
Calizas de las Galeras	1	Nuevo sistema de riego en la zona de Las Galeras	568.44
Conglomerados de Samaná-Majagual	1	Nuevo sistema de riego entre Majagua y los Cacaos	3 204.29

Cuadro 8.3.3.: Zonas potencialmente regables en la U.H. del Valle de Cibao

Subunidad hidrogeológica	Posibles zonas de nuevos regadíos		Superficie (ha)
Yaque del Norte I	1	Ampliación del sistema de riego existentes en el sector occidental entre Monte Cristi al Norte y los parajes de Copey y Guayubincito al Sur	11 352.81
	2	Ampliación de los sistemas de riego de la Antona en el aluvial del río Guayubin y de Cerro Gordo en el aluvial del Yaque del Norte.	2 683.43
	3	Ampliación del sistema de riego de Monsieur Bogaert a toda la superficie del aluvial del río Yaque del Norte	2 373.42
Bajo Yuna	1	Nuevo sistema de riego entre La Vega y San Francisco de Macoris	31 795.41
	2	Nuevo sistema de riego entre los ya existentes del Yuna y Catamey-Azumey en el aluvial del Yuna.	7 860.19
	3	Nuevo sistema de riego entre los parajes de Pocilga y el Cruce de Rincón	1 495.81
	4	Ampliación de los sistema de riego existentes entre Nagua y el Factor	3 881.36

Cuadro 8.3.4.: Zonas potencialmente regables en la U.H. de la Cordillera Central

Subunidad hidrogeológica	Posibles zonas de nuevos regadíos		Superficie (ha)
Jarabacoa-Las Placetas	1	Nuevo sistema de riego en la zona de Monabao	587.75
	2	Ampliación del sistema de riego de la Guazara	1 009.69
	3	Nuevo sistema de riego en la zona de Boca de los Ríos	122.45
Alto Yuna	1	Ampliación de los sistemas de riego de la zona de Bonao entre los parajes de Jima al Norte y el Zumbador al Sur	10 362.14
	2	Ampliación de los sistemas de riego de la zona de Maimón entre los parajes de Los Arroces al Norte y Batey Angelica al Sur	1 930.44
	3	Ampliación de los sistemas de riego próximos a la zona de Fantino entre los parajes del Rincon, Comedero Abajo y Hernando Alonzo	6 177.53
	4	Nuevo sistema de riego en la zona de Cotui, entre Quita Sueño, La Javilla y Las lagunas	12 776.58
La Longaniza-Piedra Colorada	1	Ampliación del sistema de riego de El Canal	1 705.09
	2	Ampliazción del sistema de riego de Padre las Casa, ente los Indios y El Guayabal	872.72
	3	Ampliación del sistema de riego de Constanza-Pantufila	555.68
Valvacoa-La Humeadora	1	Nuevo sistema de riego en la zona de Villa Altagracia en el aluvial del río Haina	5 350.81
	2	Nuevo sistema de riego en la zona del paraje de La Cuava	345.67
	3	Nuevo sistema de riego en la zona entre los parajes de el Cidral y Conucos	294.87
	4	Nuevo sistema de riego en la zona del paraje Loma Linda	241.37
	5	Nuevo sistema de riego en la zona de San Cristobal	6 685.52

Cuadro 8.3.5.: Zonas potencialmente regables en la U.H. de los Haitises

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
	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	1875.29
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 limite 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 limite 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 limite de la unidad por el este	5 508.3

Cuadro 8.3.6.: Zonas potencialmente regables en la U.H. de la Cordillera Oriental

Subunidad hidrogeológica	Posibles zonas de nuevos regadíos		Superficie (ha)
La Cucurucha	1	Nuevo sistema de riego en la zona del termino municipal de El Valle, ocupando el aluvial de los ríos Yabón, y Sano y el de los arroyos La Jagua y Piedra	7 229.76
Miches-La Altagracia	1	Nuevo sistema de riego en la zona del termino municipal de Higüey, ocupando el aluvial de los ríos Duey y Quisibani	866.84

Subunidad hidrogeológica	Posibles zonas de nuevos regadíos		Superficie (ha)
	2	Nuevo sistema de riego entre los parajes de los Tosones al Norte y la Laguna de Nisibón y Guanabano al Sur, ocupando el aluvial de los ríos Llano, Maimón y Ampolla	5 515.81
Peña Alta-Gran Diabla	1	Nuevo sistema de riego en la zona del paraje Sabana Grande, ocupando el aluvial del río Casu	1 065.20
	2	Ampliación del sistema de riego Capita Yabacao, entre los parajes de Pulgarín y el Puerto	1 878.66
	3	Nuevo sistema de riego en la zona del termino municipal de Hato Mayor, ocupando el aluvial del río Magua	962.15
	4	Nuevo sistema de riego entre los parajes de la Fuente al Norte y la Jabilla al Sur, ocupando el aluvial del río Higuama	1 136.01
	5	Nuevo sistema de riego entre los parajes de Isabel al Noroeste y la Lima al Sureste, ocupando el aluvial de los arroyos Laja y Quejas	596.77
	6	Nuevo sistema de riego entre los parajes de Rancho Chiquito al Norte y las Palmillas al Sur, ocupando el aluvial del río Cibao	359.12
	7	Nuevo sistema de riego entre los parajes de Anama al Norte y Los Cerros al Sur, ocupando el aluvial del río Anama	487.54
El Seibo-Loma El Peñón	1	Nuevo sistema de riego entre los parajes de Pedro Sánchez al Norte y Los Cafeces al Sur, ocupando el aluvial del río Seibo	1 574.63
	2	Nuevo sistema de riego en la confluencia de los aluviales de los arroyos Culebrin y Lebrón.	260.69
	3	Nuevo sistema de riego en el paraje Hato de Mana	542.08
	4	Nuevo sistema de riego entre los parajes La Higuero y Batey Treinta	422.44

Cuadro 8.3.7.: Zonas potencialmente regables en la U.H. de La Sierra de Neiba

Subunidad hidrogeológica	Posibles zonas de nuevos regadíos		Superficie (ha)
Noroeste	1	Ampliación del sistema de riego El Cercado/Pinar, desde Monte Mayor hasta la Loma del Medio, a ambas márgenes del río Vallejuelo	2 670.87
	2	Ampliación del sistema de riego el Barrero, desde Junquito hasta Rancho de la Guardia, en la margen derecha del río los Guineos	375.26
	3	Nuevo sistema de riego desde Juan Santiago hasta el Pinar Grande	1 259.74
	4	Nuevo sistema de riego desde los Fondos hasta la Barranca	822.98
Centro Oriental	1	Ampliación del sistema de riego Vallejuelo, desde Cañada del Café hasta Valle Juelo y desde éste hasta Rancho Copey, a ambas márgenes del río los Baos	2 211.35
	2	Nuevo sistema de riego desde Cañada de Palma hasta Rancho Copey, a ambas márgenes de la Cañada de la Palma y la Basura	775.91
	3	Nuevo sistema de riego desde Caobita hasta el Caney, a ambas márgenes de la Cañada de la Caobita	512.85
	4	Nuevo sistema de riego desde Bastida a Magueyal	620.06
	5	Nuevo sistema de riego en la zona de Higuanal	711.76
	6	Nuevo sistema de riego desde San Rafael hasta el Manguito	2 057.59
Sureste	1	Nuevo sistema de riego en la zona de San Antonio	2 323.79
	2	Nuevo sistema de riego en la zona de la Palma	1 693.36
Suroeste	1	Nuevo sistema de riego en la zona de Guayabal, a ambas márgenes del río Guayabal	959.57
	2	Nuevo sistema de riego en la zona de la Descubierta en las Cañadas de Yerba Buena y Bruño	494.15
	3	Nuevo sistema de riego en la zona de los Pinos	440.98
	4	Nuevo sistema de riego desde Las Lajas hasta Boca Chacón pasando por Tierra nueva y Mulato	1 717.26

Cuadro 8.3.8.: Zonas potencialmente regables en las UU.HH. de la Sierra de Bahoruco y Península Sur de Barahona

Subunidad hidrogeológica	Posibles zonas de nuevos regadíos		Superficie (ha)
Septentrional	1	Ampliación del sistema de riego el Limón de Jimaní	3 605.78
	2	Nuevo sistema de riego en la zona de Bermesi	1 913.58
	2	Nuevo sistema de riego entre los sistemas de Angostura y los Saladillos	1 869.32
	4	Nuevo sistema de riego entre Cabral y la Cueva	2 800.68
	5	Nuevo sistema de riego en la zona de Barahona entre Cachón y Barahona	3 271.38
Meridional de Bahoruco y Península de Barahona	1	Nuevo sistema de riego en la zona de Manuel Golla	4 167.28
	2	Ampliación del sistema de riego de Pedernales	3 671.20
Sinclinal del Enriquillo	1	Nuevo sistema de riego en la zona del Higuero	1 331.42
Sinclinal de Nizaito	1	Nuevo sistema de riego en la zona entre Fondos y la Lanza	494.17

9. ESTUDIOS HIDROLÓGICOS

9.1. DEFINICIÓN DE CUENCAS Y REDES HIDROGRÁFICAS DE LAS ÁREAS EN ESTUDIO

Objetivos principales

Los principales objetivos del Estudio Hidrológico del proyecto consistían en:

- Caracterizar hidrológicamente, y con carácter general, las zonas o unidades en estudio.
- Definir los rasgos principales hidrológicos de las cuencas representadas y sus infraestructuras hidráulicas, así como de las subcuencas diferenciadas en la red de aforos controlada a lo largo del proyecto.

Trabajos realizados

Los trabajos básicos realizados han consistido en la realización de una caracterización hidrológica de las cuencas hidrográficas superficiales de toda el área de estudio, así como de las porciones de cuencas que corresponden a cada punto de la red de aforos controlada durante el proyecto.

Para dicha caracterización se ha utilizado la siguiente información precedente:

- Cuencas Hidrológicas de la República Dominicana, escala 1:500.000 (INDRHI, Subsecretaría de Estado de medio Ambiente y Recursos Naturales).
- Modelo digital del terreno con resolución cada 100 m (NASA).
- Modelo digital del terreno, realizado con ortoimágenes SPOT de la República Dominicana, con resolución cada 100 m.
- Bases cartográficas a escalas 1:250.000 y 1:50.000.

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

Identificadas y caracterizadas cada una de las cuencas que se integran en las diferentes zonas hidrogeológicas en estudio, se ha realizado una caracterización hidrológica general de las citadas zonas hidrogeológicas, cuyo alcance es el siguiente:

- Esquema hidrológico general de la zona, con las cuencas y subcuencas que se integran dentro de la misma, situación de las estaciones de aforo de que se disponga y datos numéricos pertenecientes a las mismas, que permitan obtener una idea rápida de las características del régimen de los cursos de aguas superficiales, tanto perennes como temporales.
- Representación gráfica de la situación de las acumulaciones naturales de agua (lagos, lagunas, zonas pantanosas, etc.), así como de las infraestructuras hidráulicas disponibles, como embalses para abastecimiento o riego, de regulación o de previsión de avenidas y canales de todas clase (riego, drenaje, saneamiento, acueductos, etc.).
- Principales parámetros característicos de las cuencas integrantes: coeficiente de torrencialidad, pendiente media, alejamiento medio, densidad de drenaje, índice de compacidad y litología predominante en la cuenca de recepción.

Todos los datos hidrológicos obtenidos se están integrando en la base de datos del Proyecto, así como en el Sistema de Información Geográfica (SIG) generado.

Cuadro 9.1.1. Cuencas de primer y segundo orden

CUENCA	Área Cuenca (Km²)	SUBCUENCA	Área Subcuenca (Km²)
ARROYO TABARA	403.51	Tabara	403.51
BAHIA DE MANZANILLO	180.20	Cuenca Costera	180.20
CUENCAS COSTERAS	9518.16		80.36
		Bani	519.13
		cuenca costera	8 602.56
		Itabo	53.49
		Najayo	154.79
		Rio San Juan	107.83
ISLA BEATA	41.62	Isla Beata	41.62
ISLA CABRITO	17.90	Isla Cabrito	17.90
ISLA SAONA	109.50	Isla Saona	109.50
LAGO ENRIQUILLO	2986.62		1.96
		Enriquillo	2 699.94
		Lago Enriquillo	284.72
LAGUNA CABRAL	29.04	Laguna Cabral	29.04
LAGUNA OVIEDO	27.61	Laguna de Oviedo	27.61
LOS HAITISES	918.09	Los Haitises	918.09
RIO ARTIBONITO	2770.73	Altibonito	1 016.86

CUENCA	Área Cuenca (Km²)	SUBCUENCA	Área Subcuenca (Km²)
		Caña	525.78
		Joca	284.61
		Libon	558.07
		Macasia	188.58
		Tocino	196.82
RIO BAJABONICO	678.54	Bajabonico	678.54
RIO BAQUI	292.56		9.92
		Baqui	282.64
RIO BOBA	622.62	Boba	622.62
RIO BRUJUELAS	307.75	Brujuelas	307.75
RIO CUMAYASA	335.38		56.76
		Cumayasa	278.62
RIO CHAQUEY	364.61	Chaquey	364.61
RIO CHAVON	810.90	Chavon	608.64
		Sanate	202.25
RIO DULCE	160.43	Cuenca Costera	37.16
		Dulce	123.27
RIO HAINA	564.57	Haina	564.57
RIO HIGUAMO	1146.02	Azui	124.05
		Casui	344.83
		Higuamo	475.98
		Magua	201.16
RIO JURA	366.45	Jura	366.45
RIO MAIMON	178.24	Maimon	178.24
RIO MASACRE	351.44		2.16
		Masacre	349.29
RIO NAGUA	246.81	Nagua	246.81
RIO NIGUA	206.41	Nigua	206.41
RIO NIZAITO	174.03	Nizaito	174.03
RIO NIZAO	1036.02	Nizao	1 036.02
RIO OCOA	679.42	Ocoa	679.42
RIO OZAMA	2747.72	Guanajuma	198.99
		Isabela	387.49
		Ozama	951.00
		Sabita	467.43
		Yabacao	668.66
		Yamasa	74.15
RIO PALOMINO	268.46	Cuenca Costera	268.46
RIO SOCO	1000.01	Magarin	246.41
		Soco	753.60
RIO YABON	370.51	Yabon	370.51
RIO YAQUE DEL NORTE	6891.06	Amina	667.32
		Bao	900.93
		Caña	236.44

CUENCA	Área Cuenca (Km²)	SUBCUENCA	Área Subcuenca (Km²)
		Dicayagua	131.00
		Guayubin	766.16
		Guazumal	45.32
		Gurabo	133.52
		Maguaca	172.84
		Mao	835.59
		Yaque del Norte	3 001.95
RIO YAQUE DEL SUR	4871.97	Alto Yaque del Sur	394.02
		Bajo Yaque del Sur	1 375.76
		Grande o del Medio	685.46
		Las Cuevas	582.10
		San Juan	1 834.64
RIO YASICA	825.70	Yasica	825.70
RIO YUMA	402.72	Yuma	402.72
RIO YUNA	5253.15	Alto Yuna	1 619.48
		Bajo Yuna	1 272.42
		Camu	2 361.25

9.2. ANÁLISIS DE DATOS MEDIANTE UN S.I.G.

Se han calculado los siguientes índices para caracterizar las cuencas hidrográficas:

- ▶ Coeficiente de torrencialidad
- ▶ Pendiente media
- ▶ Alejamiento medio
- ▶ Densidad de drenaje
- ▶ Índice de compacidad

Sólo se han considerado aquellas cuencas representadas por puntos de aforo.

Para el cálculo de estos índices se ha contado con las utilidades de un Sistema de Información Geográfica (SIG). Estas herramientas permiten el análisis de la información espacial y la obtención de nuevos datos a partir de otros preexistentes. En un SIG la información que forma un conjunto homogéneo se almacena en capas o coberturas (cuencas, ríos, afluentes, poblaciones, etc.). Los elementos gráficos de dichas coberturas llevan asociados una base de datos alfanumérica (nombre de la cuenca, longitud del río, tipo de estación de afluentes, etc.). Los elementos gráficos pueden ser tratados como puntos (afluentes), líneas (ríos) o polígonos (cuencas).

Mediante la función de análisis de los SIG se ha podido calcular una serie de parámetros a partir de los cuales se han obtenido los índices antes señalados. Por ejemplo, mediante la herramienta de identificación, y relacionando la cobertura de ríos con la de cuencas, se ha podido conocer a qué cuenca pertenece cada río. Esto ha constituido el primer paso para obtener el resto de los parámetros, puesto que los resultados se dan por cuenca hidrográfica.

Obtención de los Índices característicos de las Cuencas

Los distintos índices que se han obtenido se han calculado de la siguiente manera:

Coeficiente de torrencialidad

Dicho índice se calcula dividiendo el número de cursos de agua de primer orden por la superficie de la cuenca en km².

Para obtener el número de cursos de agua se han utilizado las herramientas estadísticas del SIG. Mediante ellas se ha obtenido la frecuencia de ocurrencia (nº de cursos de agua) para

cada cuenca. Dicho valor se divide por la superficie de la cuenca, que se obtiene directamente de la base de datos asociada a los elementos gráficos (en este caso polígonos).

Pendiente media

La pendiente media (%) es la diferencia de cotas en metros dividido por la longitud del río en metros y multiplicado todo por 100.

Para calcular la cota se ha partido del modelo digital de elevaciones existente. A partir de él se ha recortado por el borde de cada cuenca, obteniéndose un modelo para cada una. Los modelos digitales del terreno llevan asociada una tabla con los valores máximo, mínimo, la media y la derivación estándar de las cotas de altitud (éstos dos últimos valores no han tenido que ser utilizados). Mediante los campos que contienen los valores máximo y mínimo de las cotas de cada cuenca se ha obtenido la diferencia de cotas en metros.

El divisor (longitud del río) se obtiene, al igual que para el número de cursos de agua, mediante una herramienta estadística que calcula el sumatorio de las longitudes de cada tramo del río principal de cada cuenca.

Alejamiento medio

El alejamiento medio es la longitud del curso de agua más largo en kilómetros, dividido por la raíz cuadrada de la superficie de la cuenca en km².

El primer parámetro se obtuvo para el índice anterior. El segundo se obtiene simplemente aplicando la raíz cuadrada a la superficie de cada cuenca, valor obtenidos en el primer índice. La división entre ambos parámetros nos da el índice requerido.

Densidad de drenaje

Consiste en la suma de las longitudes de ríos y arroyos en km dividido por la superficie de la cuenca en km².

El segundo parámetro ya se obtuvo para el primer índice. El primero se consigue mediante el sumatorio de las longitudes de todos los ríos y arroyos que pertenecen a una misma cuenca. Como cada tramo de río lleva asociado en su base de datos el nombre de la cuenca a la que pertenece, este valor puede obtenerse con relativa facilidad, sumando el campo longitud de todos los ríos de una misma cuenca.

Índice de compacidad

Es el perímetro de la cuenca en kilómetros, dividido por la longitud de la circunferencia de un círculo con igual superficie.

El perímetro de cada polígono (cuenca), al igual que como se indicó anteriormente para el área, es un valor que viene implícito con la base de datos asociada a los elementos cartográficos. Esto es debido a la concepción topológica con que los SIG gestionan la base de datos cartográfica.

La longitud de la circunferencia se obtuvo despejando el valor del radio del círculo, es decir, la raíz cuadrada de la división del área de cada cuenca entre el número π (π), y luego aplicando la fórmula de la longitud de la circunferencia.

Como resultado de todo lo anteriormente mencionado, se han obtenido los siguientes parámetros hidrológicos:

Cuadro 9.2.1. Índices característicos de las cuencas de recepción de los puntos de la red de afloros.

NOMBRE DEL PUNTO DE AFORO	Coefficiente torrenc.	Pendiente media	Alejamiento medio	Densidad de Drenaje	Índice de compac.
BAJABONICO-1	0.027	2.022	2.684	0.26	1.77
MAIMON	0.018	6.164	0.951	0.13	1.21
UNIJICA-1	0.030	4.453	1.635	0.34	1.28
ARROYO SOSUA-1					1.12
NAVAS-1					1.12
SOSUA-1	0.020	4.851	0.894	0.10	1.16
CAONAO-1	0.103	15.133	1.139	1.06	1.18
CABARETE-1					1.20
MAIMON-1	0.074	8.430	1.565	0.51	1.34
CAMU-1					1.21
YASICA-1	0.016	2.493	2.116	0.22	1.66
YASICA-2	0.026	2.765	2.312	0.26	1.74
GUAYABIN-1	0.060	0.676	2.577	0.57	1.38
JAMAO-2	0.166	3.919	1.439	0.44	1.24
JAMAO-1	0.020	3.849	1.509	0.18	1.24
CAÑA-2	0.048	1.349	2.092	0.47	1.38
SAN JUAN	0.010	18.280	0.411	0.04	1.51
CAYO CLARO-1					1.12
CAYO AZUL-1					1.23
QUINIGUA-1	0.015	8.637	1.582	0.19	1.09
GURABO-2	0.105	2.762	1.878	1.34	1.77
JACAGUA	0.054	10.174	1.272	0.21	1.24
BAQUI-2	0.015	2.403	1.838	0.20	1.52
CHACUEY	0.014	70.522	0.120	0.01	1.22

NOMBRE DEL PUNTO DE AFORO	Coefficiente torrenc.	Pendiente media	Alejamiento medio	Densidad de Drenaje	Índice de compac.
VERDE-1	0.019	2.456	1.907	0.22	1.22
GUAYABIN-2	0.006	4.032	1.475	0.09	1.42
BOBA-1	0.006	2.235	2.267	0.12	1.49
GURABO-1	0.030	3.588	1.354	0.22	1.45
YAGUAJAL-1	0.038	3.698	1.183	0.26	1.21
CAÑA-1	0.016	7.257	0.752	0.12	1.43
BOBA-3	0.022	2.306	1.956	0.36	1.23
CENOV-3	0.026	8.912	1.050	0.17	1.16
CENOV-1	0.019	2.112	2.720	0.31	1.64
CENOV-2	0.034	4.287	1.395	0.31	1.35
JAYA	0.029	2.535	1.684	0.33	1.23
CUABA	0.037	7.686	0.957	0.17	1.51
AMINA-1	0.012	5.961	1.959	0.12	1.37
LICEY	0.015	1.637	2.359	0.21	1.56
NAGUA-2	0.060				1.16
JAIGUA	0.072	7.144	1.349	0.36	1.52
EL LIMÓN-1	0.042	0.000	0.000	0.29	1.12
YAIBA-1	0.030	5.804	1.176	0.20	1.16
GRANDE-1	0.126	5.937	1.134	1.30	1.16
LOS REMEDIOS-1	0.714				1.09
MAJAGUAL	0.321				1.07
YAMI-1	0.070	5.332	1.998	0.57	1.49
LOS COCOS-1	0.249				1.20
SAN JUAN-1	0.039	8.339	1.352	0.37	1.51
TOCINO	0.042				1.33
YACAHUEQUE-1	0.038	34.054	0.413	0.26	1.29
GUARAGUAO-1	0.142				1.26
YAQUE DEL SUR-1	0.009	10.809	1.291	0.09	1.61
YABON-1	0.035	1.175	2.126	0.31	1.76
ARA-1	0.041	1.698	1.510	0.40	1.19
CAPITAN-1	0.082	4.042	1.751	0.34	1.58
CEVICOS-1	0.051	5.369	1.762	0.29	1.26
YUNA-1	0.024	8.788	1.588	0.17	1.79
CUADRON-1	0.019	6.934	1.183	0.16	1.42
MAGU-1	0.016	5.387	1.218	0.15	1.57

NOMBRE DEL PUNTO DE AFORO	Coefficiente torrenc.	Pendiente media	Alejamiento medio	Densidad de Drenaje	Índice de compac.
JAYAN-1	0.030	10.987	0.799	0.14	1.27
YANIGUA	0.022	5.168	0.920	0.14	1.22
YEGUADA-1	0.022	7.310	1.273	0.19	1.32
BOYA-1	0.330	2.781	1.791	3.16	1.46
CEDRO-1	0.024	8.537	1.232	0.19	1.31
JOVERO-1	0.035	7.314	1.455	0.27	1.25
NISIBON-1	0.041	7.100	1.746	0.35	1.43
SOCO-3	0.013	1.324	1.826	0.22	1.48
SABANA-1	0.358	213.717	0.013	2.44	1.27
OZAMA-1	0.042	1.852	2.485	0.34	1.80
MAIMO-1	0.019	3.043	1.853	0.26	1.42
MIJO-1	0.082	7.636	2.143	0.56	1.39
CAGU-1	1,412	2.958	0.911	13.53	1.09
CHAVÓN-1	0.009	2.118	1.964	0.20	1.34
CASUI-1	0.099	4.088	1.222	1.14	1.20
HIGUAMO-1	0.017	2.055	1.572	0.25	1.35
CAPITA-1	0.054	3.320	1.544	0.38	1.47
COMATE-1	1.231	5.860	0.538	12.62	1.39
CAYO-1	0.035	6.703	1.391	0.33	1.40
MAGUA-2	0.011	1.600	2.017	0.21	1.55
CUEVAS-1	0.011	5.452	1.738	0.17	1.47
NIZAO-1	0.021	5.639	2.202	0.22	1.61
MACASIA	0.070	54.880	0.242	0.68	1.35
HAINA-1	0.027	2.829	2.304	0.18	1.61
YONU-1	0.042	4.669	1.733	0.24	1.46
SANATE-1	0.016	5.537	1.407	0.18	1.39
YUMA-1	0.022	2.289	2.305	0.30	1.55
AZUI-1	0.031	4.054	0.891	0.16	1.16
ANAMUYA-1	0.022	4.198	1.986	0.30	1.57
LOS BAOS-1	0.015	3.988	1.917	0.19	1.43
NIZAO-4	0.003	14.437	0.572	0.03	1.57
HIGUERA-1	0.045	4.689	2.468	0.37	1.45
OCOA-1	0.007	13.136	1.193	0.10	1.26
NIZAO-3					1.42
JURA-1	0.009	14.360	0.926	0.09	1.40

NOMBRE DEL PUNTO DE AFORO	Coefficiente torrenc.	Pendiente media	Alejamiento medio	Densidad de Drenaje	Índice de compac.
ISABELA-1	0.027	6.101	1.349	0.17	1.31
TABARA-1	0.006	16.789	0.639	0.05	1.27
NIGUA-1	0.025	3.747	2.348	0.27	1.48
BANI-1	0.006	11.866	1.129	0.09	1.41
NIZAITO	0.006	284.751	0.043	0.00	1.37
BAHORUCO	0.019	12.399	1.490	0.20	1.23
COLMENA-1					1.28

9.3. INFRAESTRUCTURA HIDRÁULICA: EMBALSES Y ACUEDUCTOS

Dentro de este apartado se ha intentado recoger distinto tipo de información referente a embalses existentes, canales y acueductos de distribución dentro del área en estudio, y que se considera la infraestructura hidráulica básica de las zonas de estudio.

El siguiente cuadro muestra la relación de presas de la República Dominicana con las características principales de esta:

Cuadro 9.3.1. Relación de Presas de la República Dominicana.

Presa	Río	Tipo Presa	Altura (m)	Capacidad (hm ³)	Uso
Hatillo	Yuna	Tierra	50	441	H, R y E
Río Blanco	Blanco	Hormigón	43	0,73	Energía
Rincón	Jima	Hormigón	54	75,5	H, R y E
Jimenoa	Jimenoa	Hormigón	14,5	0,4	Energía
El Salto	Constanza	Hormigón	8	0,011	E y R
Jigüey	Nizao	Hormigón	110	167	H, R y E
Aguacate	Nizao	Hormigón	53	4,3	H, R y E
Valdesia	Nizao	Hormigón	76	186	H, R y E
Las Barías	Nizao	Tierra	22	3	R
Mijo	Mijo	Tierra	17,2	2,26	R
Sabana Yegua	Yaque del Sur	Tierra	76	401	H, R y E
Sabaneta	San Juan	Tierra	70	77	H, R y E
Chacuey	Chacuey	Tierra	34	13,7	R
Maguaca	Maguaca	Tierra	26	15,6	E y R
Monción	Mao	Tierra	123	360	H, R y E
Contraembalse Monción	Mao	Tierra-HCR	28	7,49	R, E

Presa	Río	Tipo Presa	Altura (m)	Capacidad (hm ³)	Uso
Guanajuma	Guanajuma	Tierra	19	2	R
Bao	Bao	Tierra	110	244	H, R y E
Tavera	Yaque del Norte	Tierra	80	173	H, R y E
López Angostura	Bao	Tierra	23,5	4,4	H, R y E
Las Cayas	Arroyo	Tierra	12	0,8	R
Cabeza Caballo	Cabeza de Caballo	Tierra	18	0,6	R
Mejitas	No	Tierra.Presa de Cola	84	48 MILL. TON	C
Las Lagunas	No	Tierra.Presa de Cola	66		C
Arroyo Hondo		Tierra.Presa de Cola	25		H
Caño Salado	Arroyo	Tierra	10	0,5	R
El Charcazo	Arroyo	Tierra	10	0,6	R
Los Amaceyes	Arroyo	Tierra	14	0,1	R
Los Tomines	Arroyo	Tierra	12	0,24	R
Las Damas	Las Damas	Hormigón	15	0,04	E
Villarpando	Yaque del Sur	HCR	5	3	R
Palma Sola		Tierra			R

H: Consumo Humano

R: Riego

E: Hidroeléctrica

C: Presa de Cola

Asimismo, existen una serie de canales de riego cuya longitud por unidades hidrogeológicas es la siguiente:

Cuadro 9.3.2. Longitud de los canales de riego por unidades hidrogeológicas.

UNIDAD HIDROGEOLÓGICA	LONGITUD (m)
PLANICIE COSTERA ORIENTAL	158 951.87
CORDILLERA ORIENTAL	23 574.65
LOS HAITISES	401.16
PENÍNSULA DE SAMANÁ	12 894.50
CORDILLERA SEPTENTRIONAL	86 163.01
VALLE DEL CIBAO	766 668.24

UNIDAD HIDROGEOLÓGICA	LONGITUD (m)
CORDILLERA CENTRAL	219 517.80
VALLE DE SAN JUAN	173 831.00
SIERRA DE NEIBA	195 270.96
VALLE DE NEIBA	191 649.56
SIERRA DE BAHORUCO	94 682.50
PENÍNSULA SUR DE BARAHONA	7 667.22
PLANICIE DE AZUA	29 714.96
PLANICIE DE BANI	105 937.35

10. PROGRAMA DE FORMACIÓN

10.1. INTRODUCCIÓN.

El Programa de Formación del proyecto, y de acuerdo con las indicaciones de la Dirección y Coordinación del mismo (**UTG** e **INDRHI**), se consideró que debía de enfocarse hacia dos líneas de actuación básicas:

- Incorporación de distinto personal técnico del **INDRHI** a determinadas actividades del proyecto, con objeto de que participara directamente en su realización, junto con el personal especializado de **EPTISA** y que pudiera conocer, de primera mano, las técnicas y metodologías utilizadas.
- Presentación de una serie de temas técnicos de interés en el **INDRHI**, ante diferente personal de dicho organismo y de otros posibles interesados, y preparación y entrega al **INDRHI** de una serie de documentación eminentemente práctica (libros, folletos, manuales de utilización de determinados equipos y programas informáticos, etc.).

10.2. INCORPORACIÓN DE PERSONAL DEL INDRHI A LOS TRABAJOS DEL PROYECTO

En el presente proyecto ha participado un importante número de técnicos y expertos del INDRHI, que se ha incorporado a determinadas actividades de campo y gabinete, con objeto de que colaborara directamente en su realización, formando brigadas mixtas junto con el personal especializado de **EPTISA**.

Las principales actividades en las que se ha incorporado personal técnico del **INDRHI** han sido las siguientes:

- Inventario selectivo de puntos de agua.
- Explotación de las redes de control periódico (piezometría, aforos y muestreo hidroquímico).
- Toma y conservación de muestras de agua en campo y posterior analítica de laboratorio.
- Instalación, mantenimiento y recogida de datos de las estaciones climáticas del proyecto.

Previamente al inicio de cada una de las actividades mencionadas, el personal colaborador del INDRHI recibió, por parte de especialistas de **EPTISA**, una serie de información práctica sobre las

metodologías a aplicar, tipos de fichas y de formatos a utilizar, material necesario, etc., con objeto de homogeneizar y criterios e intercambiar opiniones sobre la idoneidad de las metodologías a utilizar.

Dichas colaboraciones han sido de gran utilidad para el proyecto, por la excelente profesionalidad y conocimiento del terreno y de las posibles problemáticas e incidencias que podían surgir (accesos, climatología, etc.) por parte del mencionado personal colaborador del **INDRHI**, y, sin duda, han enriquecido los conocimientos de ambas partes. Asimismo, han servido para que el **INDRHI** pudiera conocer, con el detalle necesario, todas las actividades, técnicas, metodologías y equipos utilizados durante el proyecto, lo cual facilitará, sin duda, las necesarias labores de continuidad y mantenimiento de las redes de control iniciadas (piezometría, aforos, hidroquímica, climatología, etc.) y de otras posibles actividades complementarias incluidas en el capítulo de recomendaciones de actuación de esta Memoria.

El personal concreto del **INDRHI** que ha participado de forma directa en el proyecto se incluye en el apartado de INTRODUCCIÓN, DEFINICIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO, OBJETIVOS Y PLANTEAMIENTO GENERAL DEL MISMO de esta Memoria.

10.3. PRESENTACIÓN DE DIFERENTES TEMAS EN EL INDRHI

El Programa de Formación inicialmente previsto consistía en la realización en la República Dominicana de unas "Jornadas de Conferencias y Mesas Redondas sobre Hidrogeología de Países del Área Caribeña", cuyos contenidos temáticos estarían relacionados con las principales fases de desarrollo del proyecto y, fundamentalmente, centrados sobre dos temas básicos: Establecimiento y explotación de redes de control hidrogeológico y Almacenamiento y tratamiento de datos. El profesorado estaría constituido por técnicos especialistas de **EPTISA** e **IGME**.

Posteriormente, y durante el primer mes de desarrollo del proyecto, el **INDRHI** transmitió a **EPTISA** la conveniencia y su interés de sustituir la temática inicialmente propuesta por otra mucho más práctica y útil para el personal de dicho organismo, consistente en presentaciones con temáticas más diversas, entre las que se incluyeran los conceptos básicos de las investigaciones hidrogeológicas de grandes áreas, incluidos el establecimiento (diseño) y explotación de redes de control hidrogeológico y el almacenamiento y tratamiento de datos (bases de datos). Asimismo, también a petición del **INDRHI**, y con posterior información y aprobación de la **UTG**, se solicitó que dicho Programa de Formación no se impartiera en el

calendario inicialmente propuesto (dos semanas seguidas en el mes de febrero de 2004), sino de forma esporádica y repartida a lo largo de todo el Proyecto, según fueran participando en los diferentes trabajos temáticos los expertos correspondientes

Con esta idea básica, **EPTISA** replanteó la temática y los contenidos de las citadas jornadas, adaptándolos a las indicaciones anteriormente mencionadas y presentando, durante el período de duración del proyecto, los siguientes temas:

- **“Aplicación del modelado numérico de flujo subterráneo al establecimiento de normas de explotación y de perímetros de protección: la Laguna de Gallocanta (España)”**. Presentado por los ingenieros Manuel Rolandi y Oscar Blasco, el 26 de mayo de 2003 en la Sociedad Dominicana de Geología (SODEGEO).
- **“Modelado de agua subterránea: MODFLOW”**. Presentado por el ingeniero Oscar Blasco, el 17 de octubre de 2003 en el Instituto Nacional de Recursos Hídricos de la República Dominicana (INDRHI).
- **“El sondeo surgente de Granátula de Calatrava (Ciudad Real, España)”**. Presentado por el ingeniero Oscar Blasco, el 21 de octubre de 2003 en el Instituto Nacional de Recursos Hídricos de la República Dominicana (INDRHI).
- **“Modelado del flujo subterráneo y de la contaminación de las aguas subterráneas en el polígono de Torneiros (O Porriño, Pontevedra, España)”**. Presentado por el ingeniero Oscar Blasco, el 21 de octubre de 2003 en el Instituto Nacional de Recursos Hídricos de la República Dominicana (INDRHI).
- **“La Importancia de las Aguas Subterráneas”**. Presentado por el ingeniero Juan Antonio López Geta, Director de la Dirección de Hidrogeología y Aguas Subterráneas del **IGME**, el 1 de Marzo de 2004 en el Instituto Nacional de Recursos Hídricos de la República Dominicana (**INDRHI**).
- **“Planificación Hidrológica, Gestión de las Aguas Subterráneas y Legislación”**. Presentado por el ingeniero Alberto Batlle Gargallo, Director del Área de Recursos Naturales de **EPTISA** el 1 de Marzo de 2004 en el Instituto Nacional de Recursos Hídricos de la República Dominicana (**INDRHI**).
- **“Redes de Control Hidrogeológico. Inventario de puntos. Bases de Datos”**. Presentado por el ingeniero José M^a Pernía Llera, Jefe del Área de Hidrogeología

Ambiental del **IGME** el 2 de Marzo de 2004 en el Instituto Nacional de Recursos Hídricos de la República Dominicana (**INDRHI**).

- **“Impacto sobre las aguas subterráneas de la recarga y la reutilización”**. Presentado por el ingeniero Alberto Batlle Gargallo, Director del Área de Recursos Naturales de **EPTISA** el 2 de Marzo de 2004 en el Instituto Nacional de Recursos Hídricos de la República Dominicana (**INDRHI**).
- **“Parámetros hidráulicos. Ensayos de bombeo. Ensayos hidráulicos de baja permeabilidad y su aplicación a la caracterización de vertederos de residuos”**. Presentado por el ingeniero Miguel Mejías Moreno, del **IGME**, el 3 de Marzo de 2004 en el Instituto Nacional de Recursos Hídricos de la República Dominicana (**INDRHI**).
- **“Hidrogeología y Gestión Medioambiental : Calidad Contaminación y Protección de Acuíferos. Protección de los abastecimientos urbanos”**. Presentado por el ingeniero José M^a Pernía Llera, Jefe del Área de Hidrogeología Ambiental del **IGME** el 3 de Marzo de 2004 en el Instituto Nacional de Recursos Hídricos de la República Dominicana (**INDRHI**).
- **“Recursos hidrominerales: Investigación, aprovechamiento, control y protección”**. Presentado por el ingeniero Juan Antonio López Geta, Director de la Dirección de Hidrogeología y Aguas Subterráneas del **IGME**, el 3 de Marzo de 2004 en el Instituto Nacional de Recursos Hídricos de la República Dominicana (**INDRHI**).
- **“Sobreexplotación de Acuíferos”**. Presentado por el ingeniero Alberto Batlle Gargallo, Director del Área de Recursos Naturales de **EPTISA** el 5 de Marzo de 2004 en el Instituto Nacional de Recursos Hídricos de la República Dominicana (**INDRHI**).
- **“Intrusión Marina”**. Presentado por el ingeniero Juan Antonio López Geta, Director de la Dirección de Hidrogeología y Aguas Subterráneas del **IGME**, el 5 de Marzo de 2004 en el Instituto Nacional de Recursos Hídricos de la República Dominicana (**INDRHI**).
- **“Implicaciones socioeconómicas y medioambientales del aprovechamiento intensivo de las aguas subterráneas. Situación y evolución hídrica de la Unidad Hidrogeológica 04.04.- Mancha Occidental”**. Presentado por el ingeniero Miguel Mejías Moreno, del **IGME**, el 5 de Marzo de 2004 en el Instituto Nacional de Recursos Hídricos de la República Dominicana (**INDRHI**).
- **“Bases de datos en hidrogeología: diseño y explotación”**. Presentado por el ingeniero Silverio Casas Ruiz, Jefe de Proyecto del Departamento de Hidrogeología de

EPTISA, en la primera semana de julio de 2004 en el Instituto Nacional de Recursos Hídricos de la República Dominicana (**INDRHI**).

- **“Recarga Artificial”**. Presentado por el ingeniero Silverio Casas Ruiz, Jefe de Proyecto del Departamento de Hidrogeología de **EPTISA**, en la primera semana de julio de 2004 en el Instituto Nacional de Recursos Hídricos de la República Dominicana (**INDRHI**).

- **“Análisis de los sistemas de abastecimiento para la gestión de la demanda”**. Presentado por el ingeniero Silverio Casas Ruiz, Jefe de Proyecto del Departamento de Hidrogeología de **EPTISA**, en la primera semana de julio de 2004 en el Instituto Nacional de Recursos Hídricos de la República Dominicana (**INDRHI**).

Finalmente, y con posterioridad a la finalización y entrega oficial del **“Proyecto N: Estudio Hidrogeológico Nacional de la república dominicana, Fase II”** (prevista para el 16 de noviembre de 2004), se tiene previsto realizar diversas presentaciones en la República Dominicana de los resultados y conclusiones del citado estudio, a realizar por el ingeniero Manuel Rolandi Sánchez-Solís, Director de dicho estudio y Director del Departamento de Hidrogeología de **EPTISA**.

11. RESUMEN, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES DE ACTUACIÓN FUTURA DE CARÁCTER GENERAL

11.1. RESUMEN, CONCLUSIONES

Objetivos, Definición del Área de Estudio y Actividades realizadas

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

El área de estudio contemplada por el citado estudio abarca una superficie total de 37 157 km² (que supone, aproximadamente, el 77% de la superficie total del país), en la que se integran las nueve zonas o unidades hidrogeológicas siguientes:

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

ZONA O UNIDAD HIDROGEOLÓGICA	DENOMINACIÓN	SUPERFICIE TOTAL DE LA UNIDAD(en km²)
2	Cordillera Oriental	3 127
3	Los Haitises	1 823
4	Samaná	651
5	Cordillera Septentrional	4 774
6	Valle del Cibao	6 642
7	Cordillera Central	12 240
9	Sierra de Neiba	3 800
11 y 12	Sierra de Bahoruco y Península Sur de Barahona	4 100
Total	Nueve unidades hidrogeológicas	37 157

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

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

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

Antecedentes e Información de Partida

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

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

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

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

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

Estudio Meteorológico y Climatológico

Del total de estaciones climáticas del INDRHI disponibles en la zona (437 estaciones), únicamente se han podido utilizar, para la realización del estudio hidroclimático realizado, 44 estaciones, que son las que disponen de series de datos suficientemente completas y representativas. Por consiguiente, para un área tan extensa en estudio (37 157 km²), esta densidad de estaciones debe considerarse como baja (una estación por cada 844.5 Km²), sobre todo, teniendo en cuenta la gran heterogeneidad de los parámetros que pueden influir en las condiciones climáticas (variado e irregular relieve, distancia a la línea de costa, situación respecto a la entrada de vientos y frentes de humedad, etc.)

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

Las estaciones climáticas instaladas disponen del siguiente equipamiento:

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

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

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

NOMBRE ESTACIÓN	Nº REGISTRO	UNIDAD HIDROGEOLOGICA	PARAJE	MUNICIPIO	PROVINCIA	COORDENADAS		ALTITUD	FECHA INSTALACIÓN
						UTM - X	UTM - Y		
Diego de Ocampo	7315	Cordillera Septentrional	Diego de Ocampo		Santiago	317150	2167007	951	26/01/04
La Caoba	7317	Cordillera Septentrional	La Caoba	Moca	Espailat	345242	2167308	342	26/01/04
Los Cajules	7321	Cordillera Septentrional	Los Cajules	Río San Juan	María Trinidad Sánchez	388448	2164669	104	30/01/04
Tenares	7323	Cordillera Septentrional	El Bombillo	Tenares	Salcedo	365672	2150608	377	21/02/04
Naranja Dulce	7310	Cordillera Septentrional	Naranja Dulce	San Francisco de Macoris	Duarte	371427	2139304	176	23/01/04
El Gómez	7312	Valle del Cibao	El Gómez	Monte Cristi	Monte Cristi	236063	2195899	98	30/01/04
Cercadillo	7318	Valle del Cibao	Cercadillo	Guayubin	Monte Cristi	269819	2167853	80	18/01/04
Cebu	7313	Valle de Cibao	Cebu	Janico	Santiago	307993	2139880	256	22/01/04
La Cueva	7306	Los Haitises	La Cueva de Cevico	Cotui	Juan Sánchez Ramírez	386314	2106054	71	25/01/04
Majagual	7308	Los Haitises	Batey Nuevo	Sabana Grande de Boya	Monte Plata	413380	2103343	19	27/01/04
Trepada Alta	7320	Los Haitises	Trepada Alta	Sabana de la Mar	Hato Mayor	451699	2098245	230	03/02/04
La Piñata Arriba	7305	Cordillera Oriental	La Piñata Arriba	Hato Mayor del Rey	Hato Mayor	466028	2089617	342	02/04/04
El Rodeo	7311	Cordillera Central	El Rodeo	Partido	Dajabon	238633	2154440	181	18/01/04
La Cabirma	7322	Cordillera Central	La Cabirma	Cotui	Sánchez Ramírez	382406	2099943	60	11/02/04
La Placeta	7300	Cordillera Central	La Placeta	San José de la Mata	Santiago	301563	2124899	837	16/02/04
La Petaca	7314	Sierra de Neiba	La Petaca	Neiba	Bahoruco	241543	2057295	960	09/02/04
Las Mercedes	7319	Sierra de Bahoruco	Las Mercedes	Pedernales	Pedernales	217863	2006300	19	10/02/04
Higuerito	7307	Sierra de Bahoruco	Higuerito	Arroyo Dulce	Barahona	254681	1988402	258	11/02/04
Los Copeyes	7316	Cordillera Central	Los Copeyes	Las Matas de Farfán		243072	2102549	622	08/02/04
Isla Cabritos	7309	Cordillera Central	Isla Cabritos	La Descubierta	Independencia	212599	2047172	11	22/02/04

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

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

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

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

UNIDAD	Precipitación (mm)			Temperatura (°C)			Lluvia útil (mm)		
	Mínimo	Medio	Máximo	Mínimo	Medio	Máximo	Mínimo	Medio	Máximo
Cordillera Oriental	1 240	1 434	2 017	20	25	30	34	66	87
Los Haitises	1 272	1 707	2 109	18	26	28	130	272	597
Península de Samaná	1 372	1 998	2 718	20	26	31	153	506	1 076
Cordillera Septentrional	658	1 502	2 004	17	25	29	11	334	1 383
Valle del Cibao	481	1 179	2 330	18	26	32	0	90	381
Cordillera Central	821	1 517	1 656	17	23	31	1	244	1 077
Sierra de Neiba	313	922	2 203	17	25	32	5	42	284
Sierra de Bahoruco y Península de Barahona	324	1 253	2 795	16	25	33	52	157	488

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

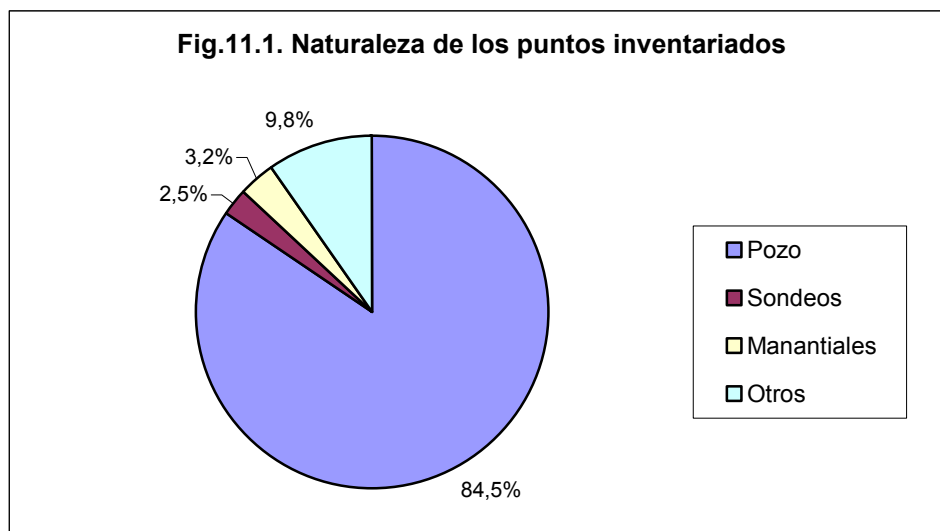
Inventario de puntos de Agua

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

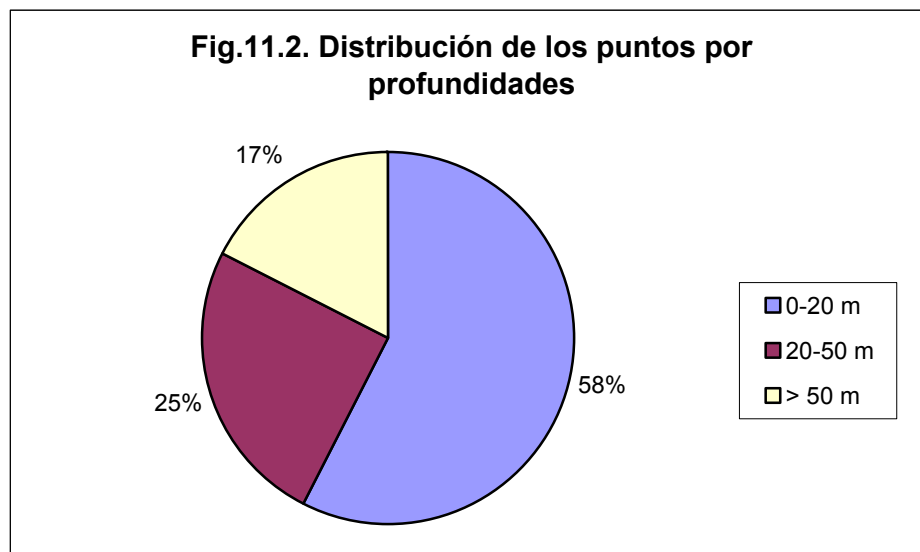
Por consiguiente, los objetivos básicos del inventario realizado han sido los siguientes:

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

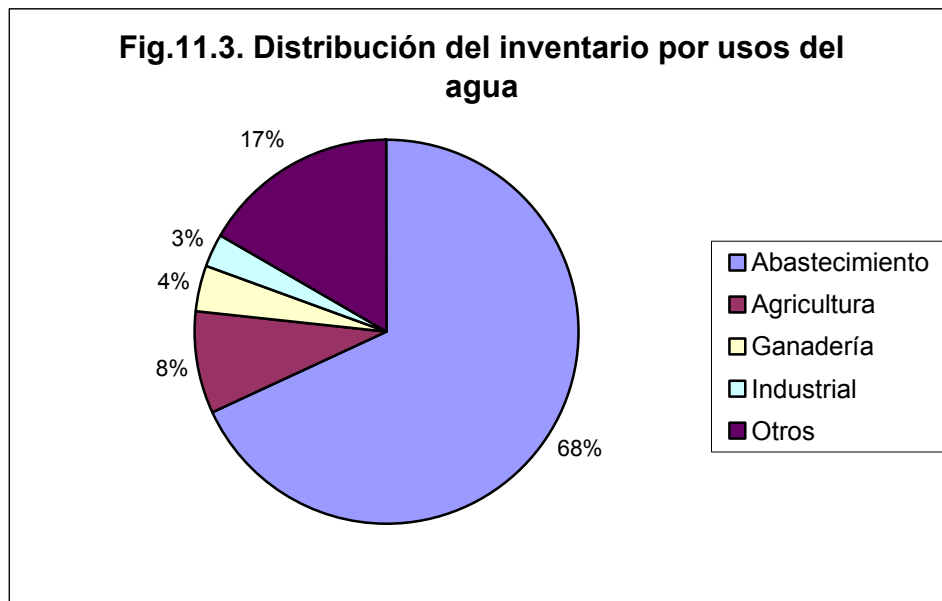
Con estos objetivos, se ha realizado un inventario selectivo, compuesto por 2 534 puntos de agua, que en su mayor parte (84.5%) corresponden a pozos o similares, siendo el resto de las tipologías inventariadas los manantiales (3.2%), los sondeos (2.5%) y otras de diversas naturaleza (9.8%).



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



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



Piezometría

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Hidroquímica e Intrusión Marina

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

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

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

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

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

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

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

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

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

- **Parámetros analizados y laboratorios de análisis**

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

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

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

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

- **Caracterización hidroquímica general**

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

A partir del diagrama de Piper correspondiente a las aguas subterráneas analizadas, se han clasificado las muestras atendiendo a los aniones y cationes predominantes. De forma global se observa que, tanto en lo que se refiere a los aniones, como a los cationes, existe una gran variación composicional, desde términos puros (bicarbonatados, sulfatados, clorurados, cálcicos, sódicos o magnésicos), hasta otros, mezcla entre dos o más términos aniónicos o catiónicos, que responden a las variaciones litológicas descritas en el desarrollo de este Proyecto.

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

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

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

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

- **Potabilidad del agua**

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

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

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

Los resultados analíticos correspondientes a la primera campaña indican que las aguas subterráneas analizadas superan los límites establecidos en distintos parámetros. Así, se superan los límites en cuanto a calcio, magnesio, sodio, cloruros, sulfatos, nitratos, amonio, dureza o total de sólidos disueltos en 74 muestras. En el resto de las muestras (186 muestras, que suponen el 72 % del total), los valores obtenidos se encuentran dentro de los límites establecidos en la normativa de aguas de abastecimiento humano.

Por su parte, los resultados analíticos correspondientes a la segunda campaña indican que las aguas subterráneas analizadas superan los límites establecidos en distintos parámetros. Así, se superan los límites en cuanto a calcio, magnesio, sodio, cloruros, sulfatos, nitratos, amonio, dureza o total de sólidos disueltos en 71 de muestras. En el resto de las muestras (195 muestras, que suponen el 70 % del total), los valores obtenidos se encuentran dentro de los límites establecidos en la normativa de aguas de abastecimiento humano.

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

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

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

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

En la primera campaña las especies nitrogenadas analizadas presentan valores de nitratos que oscilan entre 0 y 303 mg/l de NO_3^- . En el Plano 9. (que se adjunta al final de este informe) se observa la distribución espacial del contenido en nitratos, correspondiente al primer muestreo realizado.

Los valores se han agrupado en cuatro rangos de concentraciones (0-10, 11-25, 26-44 y >45 mg/l). Se observa que predominan las aguas subterráneas con contenidos inferiores a 45 mg/l, en especial, los valores más frecuentes corresponden al rango de menor concentración (0-10 mg/l de NO_3^-).

Los valores comprendidos entre 26 y 44 mg/l se distribuyen por todo el ámbito de estudio, a excepción de Los Haitises, Península de Samaná y Sierra de Bahoruco y Península sur de Barahona.

Por su parte, los valores más elevados, superiores 45 mg/l, se registran en varias Unidades Hidrogeológicas (Valle del Cibao, Valle de Constanza y Cordillera Septentrional).

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

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

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

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

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

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

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

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

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

degradación del medio por efecto de la actividad antrópica) y se ha llevado a cabo para detectar si existen problemas de contaminación en las situaciones más desfavorables.

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

Los resultados obtenidos en la primera campaña indican que hierro y manganeso se encuentran siempre por debajo de los límites NORDOM-80. Sólo hay una muestra dentro del Valle del Cibao en la que se supera el límite establecido para el cromo, presentando una concentración de 0.10 mg/l de Cr.

En la segunda campaña de muestreo y análisis se supera el límite considerado en la normativa para el hierro en una muestra número dentro de la Cordillera Oriental, donde alcanza un valor de 2.75 mg/l de Fe. Para el cromo se supera el límite de 0.05 mg/l en una buena parte de los puntos muestreados (61 % del total).

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

- **Intrusión marina**

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

Depósitos costeros del sector este de Samaná, en las Galeras

Materiales carbonatados del borde norte de los Haitises

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

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

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

En estas zonas se han llevado a cabo (al igual que en la red de control hidroquímico) dos campañas de muestreo. Durante la segunda campaña de muestreo (abril-junio de 2004) se realizaron análisis de

parámetros fisicoquímicos, constituyentes mayoritarios y bromuros en los puntos de agua que forman parte de la red de control de la intrusión. Además, se tomaron muestras de agua de mar en tres localizaciones próximas a los sectores estudiados.

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

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

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

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

Aforos de Aguas Superficiales

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

- Proporcionar la información necesaria, con el soporte documental y técnico suficiente, para el conocimiento del régimen hídrico de las distintas unidades hidrogeológicas en estudio, sobre todo en lo referente a la relación entre los cauces superficiales y las formaciones permeables aflorantes.
 - Evaluar las escorrentías superficiales y las subterráneas drenadas por los ríos, con objeto de poder plantear un balance hídrico tentativo para cada unidad hidrogeológica y para diferentes años tipos y subunidades o sectores de funcionamiento.
-

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

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

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

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

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

Como resultado final, podría concluirse que la red de foronómica controlada durante el proyecto (119 puntos de control mensual) es escasa para poder controlar la totalidad de las escorrentías subterráneas procedentes de las nueve unidades en estudio. En rasgos generales, se estima que los actuales 119 puntos (condicionados por las especificaciones del Pliego de Prescripciones Técnicas del Proyecto) podrían estar controlando entre el 50 y el 70% (dependiendo de las unidades) de la totalidad de las escorrentías de procedencia subterránea. Por ello, en el apartado de Recomendaciones de Actuación Futura (tanto de esta Memoria Final, como de las correspondientes a cada unidad hidrogeológica) se incluye una propuesta concreta de incremento de la red de control foronómico.

Estudios de Regadíos

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

Cuadro 11.1.7 Superficie total irrigada por unidades hidrogeológicas

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

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

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

En cuanto al volumen total de agua demandada para riego en el conjunto de las unidades en estudio, este se estima en 1 147.01 hm³/año, aunque tan solo el 19% de dicho volumen (216.75 hm³/año) corresponde a extracciones de agua subterránea, en su mayor parte concentrado en la citada unidad hidrogeológica del Valle del Cibao.

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

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

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

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

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

Unidades Hidrogeológicas	Superficie de las áreas potenciales de regadío (ha)
U.H. Cordillera Septentrional	31 276.44
U.H. Samana	6 451.04
U.H. Valle del Cibao	61 442.43
U.H. Cordillera Central	110 460.74
U.H. Haitises	15 477.82
U.H. Cordillera Oriental	22 897.70
U.H. Sierra de Neiba	19 647.48
UU.HH. Sierra de Bahoruco y Península Sur de Barahona	23 124.81
TOTAL	290 778.15

Estudios Hidrológicos

Los principales objetivos del Estudio Hidrológico del proyecto consistían en:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Entradas

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

Salidas

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

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

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

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

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

Entradas:

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

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

*Todos los datos son en hm³/año

Salidas:

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

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

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

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

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

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

- Los recursos subterráneos renovables, para la totalidad de las nueve unidades estudiadas y para años hidrológicamente medios, son del orden de los **1 950 $\text{hm}^3/\text{año}$** , y de ellos un 77% (1 509 $\text{hm}^3/\text{año}$) proceden de recarga directa de la lluvia o de infiltración desde cauces fluviales, un 15% (283 $\text{hm}^3/\text{año}$) corresponden a retornos o infiltraciones desde zonas de

regadío y canales, y el 8% restante (160 hm³/año) a conexiones laterales con zonas o unidades contiguas.

- Las descargas o salidas subterráneas son similares en orden de magnitud a las recargas (al considerarse que las unidades estudiadas, con la salvedad del Valle del Cibao, funcionan, en su mayor parte, en régimen prácticamente natural), correspondiendo el 54% de las mismas (1 055 hm³/año) a descargas a ríos o por manantiales, el 26% (500 hm³/año) a descargas al mar o a conexiones laterales con unidades contiguas, y solamente el 20% restante (397 hm³/año) a extracciones por bombeos.
- De dichas cifras se concluye que las actuales extracciones por bombeos solamente constituyen el 20% de los recursos anuales subterráneos disponibles a nivel general y que en algunas unidades concretas ni tan siquiera alcanzan el 10% (casos de Los Haitises, Samaná y Sierra de Neiba). Solamente en el Valle del Cibao se aproximan las extracciones al 50% de los recursos subterráneos disponibles. Por tanto, es evidente que las extracciones podrían incrementarse de manera importante y, sobre todo, en determinadas unidades (como Los Haitises, Samaná, Cordillera Septentrional, Valle del Cibao, Sierra de Bahoruco y Península Sur de Barahona), en las que actualmente se producen importantes descargas al mar (cerca de 500 hm³/año, en su conjunto).

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

Beneficios científicos, técnicos y económicos del estudio

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

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

Posibles usuarios de los productos que se han generado

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

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

11.2. RECOMENDACIONES DE ACTUACIÓN FUTURA DE CARÁCTER GENERAL

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

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

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

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

Construcción de sondeos de investigación y piezométricos

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Realización de ensayos de bombeo y muestreo hidroquímico a diferentes profundidades

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Instalación de nuevas estaciones climáticas

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Redefinición de límites de unidades hidrogeológicas:

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

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

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

Actualización de la base de datos de Aguas Subterráneas

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

12. CONTROL DE CALIDAD DEL PROYECTO

12.1. EL SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DE EPTISA

Eptisa, Servicios de Ingeniería S.A. firmemente convencida de los beneficios que aporta la implantación efectiva de los sistemas de aseguramiento de la calidad en las empresas, ha desarrollado e implantado un Sistema de Calidad (Anexo 7), orientado al cumplimiento de su Política de Calidad, que se resume a continuación.

El Sistema está orientado a la obtención de los siguientes objetivos:

- Los resultados de las actividades realizadas tendrán la calidad exigida por los pliegos, normas y especificaciones aplicables, de lo cual quedará la correspondiente evidencia documental.
- Se establecerán y llevarán a cabo acciones para asegurar esa calidad, mediante la documentación, coordinación, seguimiento, control y verificación de la correcta ejecución de los trabajos.

Los servicios que presta Eptisa, Servicios de Ingeniería S.A. se enmarcan dentro de un Sistema de Calidad conforme con la norma UNE-EN ISO 9001. Dicho Sistema se encuentra certificado desde 1996 por AENOR (Asociación Española de Normalización) entidad acreditada por ENAC (Entidad Nacional de Acreditación). El alcance de la certificación incluye todas las actividades y todos los centros de trabajo de Eptisa, Servicios de Ingeniería S.A. en España.

En este capítulo se exponen las medidas aplicadas por EPTISA, Servicios de Ingeniería S.A. relativas a la verificación de la calidad de los trabajos que se desarrollan para cumplir el objeto de la licitación.

12.2. PROCEDIMIENTOS QUE SE APLICAN

Eptisa ha elaborado una serie de procedimientos para asegurar la calidad final de los trabajos que realiza. Entre los procedimientos de que dispone se encuentran:

- Procedimientos generales de la empresa, aplicables a todos los estudios
- Procedimientos específicos de la empresa, que desarrollan el alcance y contenido de los procedimientos elaborados para un estudio concreto

Procedimientos específicos de los proyectos, elaborados para aquellos estudios en que cocurren las circunstancias reflejadas en el Sistema de Calidad implantado.

12.2.1. Procedimientos generales de la empresa

Además de los procedimientos específicos para el control de la Asistencia Técnica, se han considerado otros procedimientos del Sistema de Calidad de Eptisa, Servicios de Ingeniería S.A., que garantizan la calidad de sus realizaciones e información de su aplicación a los trabajos que desarrolla. Entre ellos, cabe citar:

- **EPT-PG-03 "Control de la documentación y de los datos"**

Describen el sistema implantado, con el fin de asegurar que todos los documentos que describen actividades relacionadas con la calidad están disponibles, en su edición vigente, en los lugares en donde se desarrollan las actividades a las que son aplicables.

- **EPT-PG-04 "Compras y subcontrataciones"**

Describen las medidas a tomar para asegurar que los productos comprados y los servicios subcontratados cumplen con los requisitos especificados, de forma que se prevenga la aparición de problemas por su causa.

- **EPT-PG-06 "Identificación y trazabilidad"**

Definen la forma de identificar las muestras de ensayo, de forma que se conserve esta identificación a lo largo de todo el proceso de ensayo, con el fin de hacer posible la investigación de los problemas que puedan surgir hasta su origen.

- **EPT-PG-09 "Control de equipos de medida"**

Describen la sistemática implantada para garantizar el control, la calibración y el mantenimiento de los equipos de inspección, medida y ensayo que lo requieran.

- **EPT-PG-10 "Control de no conformidades"**

Establecen las medidas a tomar al detectar una no conformidad durante la realización de las actividades, a las que aplica el Sistema de Calidad implantado, para asegurar que cualquier producto o servicio no conforme con los requisitos especificados por el cliente no se produzca o se entregue a éste de forma inadvertida.

- **EPT-PG-11 "Acciones correctoras y preventivas"**

Establecen el sistema de implantación de acciones correctoras y preventivas, que deben llevarse a cabo para eliminar las causas generadoras de no conformidades reales o potenciales, relativas a todos los servicios que Eptisa, Servicios de Ingeniería S.A. presta.

- **EPT-PG-12 "Almacenamiento, protección y entrega"**

Definen las medidas para garantizar que sus productos cumplen las especificaciones del cliente en lo referente a manipulación, almacenamiento, embalaje, conservación y entrega.

- **EPT-PG-13 "Registros"**

Definen los documentos que se designan como "registros" del Sistema de Calidad y los requisitos para su control.

- **EPT-PG-14 "Auditorías internas"**

Describen el método de planificación, desarrollo y seguimiento de las auditorías internas del Sistema de Calidad para evaluar su efectividad, verificando sistemáticamente que todas las actividades relativas a la calidad cumplen las disposiciones definidas.

- **EPT-PG-15 "Formación y entrenamiento"**

Definen la sistemática que se sigue para determinar las necesidades de formación y entrenamiento del personal y satisfacerlas.

12.2.2. Procedimientos específicos de la empresa

Si bien todos los procedimientos del Sistema de Calidad son aplicables a los trabajos desarrollados, destacamos en este apartado los más específicamente asociados a la verificación de la calidad de los trabajos, que son:

- El Procedimiento **EPT-PG-02 "Control del Diseño"** describe los requisitos para el desarrollo de las actividades de diseño, de modo que se garantice el cumplimiento de los requisitos especificados por el cliente, normas de referencia, especificaciones técnicas aplicables, etc. recogidos en el contrato.
- En el Procedimiento **EPT-PG-07 "Control de procesos"** se regulan las actividades que aseguran que los procesos de prestación del servicio se llevan a cabo en condiciones controladas. Para ello se siguen normas o procedimientos documentados de producción, y se emplean equipos adecuados.
- Las supervisiones, revisiones, inspecciones y ensayos sobre las actividades que se desarrollan en Eptisa están planificadas, según se describe en el Procedimiento **EPT-PG-08 "Inspección y ensayo"**, a fin de garantizar que los servicios que se prestan cumplen con los requisitos especificados.
- El Procedimiento **EPT-PG-17 "Planes de calidad"** determina el contenido del documento particular (Plan de Calidad) que se genera para un trabajo específico, y regula la forma en

que le son aplicables los distintos elementos de la normativa de calidad, con el fin de asegurar en todo momento su realización controlada.

12.2.3. Procedimientos específicos del proyecto

La verificación de la calidad de los trabajos objeto de licitación queda plenamente garantizada con el cumplimiento de las medidas establecidas por Eptisa, Servicios de Ingeniería S.A. fruto de la implantación efectiva de su Sistema de Calidad.

Dentro de las medidas adoptadas para controlar el desarrollo de las actividades contempladas en el Proyecto, se han elaborado una serie de procedimientos específicos del Departamento de Hidrogeología de Eptisa, adaptados a las características del Proyecto y para garantizar el buen desarrollo de los trabajos:

- El Procedimiento **EPT-HG-RD-PF-000 "Formación de Personal"** (Anexo 7.1) describe los requisitos para cubrir las necesidades de formación detectadas en el personal que integra las brigadas de campo, así como la de los técnicos asignados de forma permanente a la oficina de Eptisa en República Dominicana.
- El Procedimiento **EPT-HG-RD-CEM-000 "Control de Equipos de Medida"** (Anexo 7.2) regula las actividades que aseguran que los procesos de realización de medidas de campo en Hidrogeología, para la prestación del servicio, se llevan a cabo en condiciones controladas. En este procedimiento se definen las actuaciones que hay que realizar con respecto a los equipos de medida (puesta a punto, calibración o mantenimiento), así como la periodicidad de estas actuaciones.
- El Procedimiento **EPT-HG-RD-RD-000 "Registro de Documentos"** (Anexo 7.3) asegura la trazabilidad de los documentos de interés para el desarrollo del Proyecto (convocatorias de reuniones en República Dominicana, actas de reuniones en las que se plasman los acuerdos alcanzados o informes técnicos relevantes que sirven de base para la realización de los trabajos) se llevará a cabo un registro de los mismos, siguiendo las especificaciones establecidas en este procedimiento.
- El Procedimiento **EPT-HG-RD-PC-000 "Programa de Calidad"** (Anexo 7.4) determina el contenido del Plan de Calidad del trabajo objeto de la licitación, y regula la forma en que le son aplicables los distintos elementos de la normativa de calidad, con el fin de asegurar en todo momento su realización controlada.

A continuación se exponen la relación de los elementos principales recogidos en el Plan de Calidad:

- Proyecto (título, cliente, importe del contrato, ... etc.)
- Descripción del contrato
- Programa de trabajos
- Procedimientos generales
- Procedimientos Específicos
- No Conformidades
- Acciones Correctoras y Preventivas
- Registros
- Entrega de Documentos e Informes

12.3. PROGRAMA DE GARANTÍA DE CALIDAD DEL PROYECTO

En el documento denominado "**Programa de Calidad**" se definen los objetivos de calidad del Estudio. Asimismo se incluyen procedimientos y guías que regulan las actividades y documentos a realizar para asegurar el buen desarrollo de los trabajos.

El Programa de Calidad define las líneas estratégicas en cuanto a los medios y equipamiento necesarios. Se ha elaborado a partir de los sistemas de aseguramiento de la calidad que EPTISA ha establecido en los numerosos proyectos realizados, tanto para Organismos Oficiales como para empresas particulares, adaptándose en cada caso a las necesidades de sus clientes.

Este Programa de Garantía de Calidad cumple la normativa internacional en el campo de la calidad, expresada por las normas ISO serie 9000, y está de acuerdo con lo establecido en los Términos de Referencia del Proyecto y en su caso, con aquellos otros requisitos acordados según contrato.

El Programa de Garantía de Calidad se estructura de la siguiente forma:

- Procedimientos generales
- Procedimientos y programa de trabajo
- Verificaciones
- Registros
- Informes

13. GLOSARIO DE TÉRMINOS HIDROGEOLÓGICOS

ACUICLUDO

Roca o sedimento que puede contener agua, pero en la que la captación de un caudal apreciable no es posible en condiciones económicas aceptables, ya que, debido a la baja permeabilidad, el agua subterránea no circula significativamente en condiciones normales (bajo la acción de la gravedad), sino que es retenida en los poros.

ACUÍFERO

Compartimento de las rocas o sedimentos cuyos poros pueden ser ocupados por el agua y en los que ésta puede circular libremente, en cantidades apreciables. Bajo la acción de la gravedad. El término se utiliza también para denominar un cuerpo de rocas o sedimentos en los que existe una zona saturada, en la que todos los poros están ocupados por agua que puede circular bajo la acción de la gravedad en cantidades significativas hacia los manantiales o captaciones (pozos, galerías...).

ACUÍFERO CONFINADO

Acuífero limitado en su parte superior por una capa de permeabilidad muy baja, a través de la cual el flujo es prácticamente inapreciable. El material acuífero está enteramente saturado, de modo que, en las perforaciones que alcanzan el límite superior impermeable, el agua asciende por encima del mismo, eventualmente hasta la superficie (captaciones surgentes o artesianas).

ACUÍFERO LIBRE

Acuífero en el que no existe capa confinante de baja permeabilidad; en el caso más simple el material permeable se extiende hasta la superficie, de modo que sólo en una parte del mismo todos los poros están ocupados por agua. Por encima del límite superior de esta zona saturada (superficie o nivel freático) los poros, al menos en parte, están ocupados por aire, de modo que constituyen una zona no saturada.

ACUÍFUGO

Roca o sedimento que no dispone de poros susceptibles de ser ocupados por el agua y, consecuentemente, tampoco puede transmitirla.

ACUITARDO

Roca o sedimento cuyos poros pueden contener agua, de modo que ésta puede ser transmitida muy lentamente. En consecuencia, aunque estos materiales no son aptos para la ubicación de captaciones,

pueden jugar un importante papel, en determinadas condiciones, en la recarga vertical de otros acuíferos.

AFORO

Medida del caudal (de un río, manantial...).

AGOTAMIENTO

Disminución del caudal de un manantial en régimen no influenciado, es decir, ligado al descenso de niveles y a la disminución de reservas que se produce en el período en que el acuífero no recibe alimentación.

ALIMENTACIÓN (de un acuífero)

Aportes de agua externos, de cualquier origen, que recibe un acuífero. Componente del balance hídrico de un acuífero que representa la suma de todas las cantidades de agua que el acuífero recibe, ya sea de forma natural o introducidas artificialmente, durante un período de referencia.

ANISOTROPÍA

Cualidad de los materiales en los que el comportamiento varía según la dirección considerada. En el caso de las aguas subterráneas es especialmente importante la anisotropía que consiste en la existencia de valores significativamente diferentes de permeabilidad horizontal y vertical.

ÁREA DE ALIMENTACIÓN O RECARGA

Ver alimentación

ARTESIANISMO

Comportamiento de un acuífero que consiste en que el agua asciende espontáneamente a la superficie en los pozos que captan el acuífero, debido a que la cota del nivel piezométrico es superior a la de la superficie topográfica. Es usual en acuíferos confinados aunque en ciertas condiciones puede ocurrir también en acuíferos libres.

BALANCE HÍDRICO (de un acuífero)

Cuantificación de las cantidades de agua recibidas o aportadas en un período determinado por un acuífero, expresada en forma de ecuación, de tal modo que la diferencia entre las entradas y las salidas deben ser igual a la variación de las reservas (del agua almacenada) en el período considerado. Se denominan componentes del balance a cada una de las variables que intervienen en el mismo; entre las entradas merecen ser citadas las que se proceden de la infiltración de una parte de la precipitación, el retorno de riego, es decir la llegada al acuífero del excedente de agua de riego,

las aportaciones laterales de otros acuíferos, etc; entre las salidas las más importantes son las salidas concentradas en forma de manantiales, las salidas difusas a los cursos de agua, la descarga hacia otros acuíferos, las salidas al mar, las extracciones por bombeo...

CARBONATADOS (materiales, acuíferos...)

Rocas o acuíferos ligados a las mismas, constituidas esencialmente por minerales del grupo de los carbonatos. Las rocas sedimentarias más importantes de este grupo son las calizas, en las que predomina el carbonato de calcio y magnesio; las margocalizas y margas tienen una proporción de minerales arcillosos entre el 35-50% y el 50-65%, respectivamente; los mármoles son rocas carbonatadas que han sufrido metamorfismo.

CAUDAL DE BASE

Caudal correspondiente a las aportaciones (de un manantial o río) en período de agotamiento, es decir, cuando la descarga de los acuíferos se realiza en régimen no influenciado (por haber cesado la recarga del sistema).

CAUDAL ESPECÍFICO

Caudal extraído en un pozo o sondeo por unidad de descenso producido (también puede referirse a caudal por unidad de superficie).

COEFICIENTE DE AGOTAMIENTO

Constante propia de un acuífero. Su valor caracteriza la ley de decrecimiento exponencial, en régimen no influenciado, del caudal del manantial que representa la descarga del sistema, como consecuencia de la disminución de reservas que sigue a la interrupción de la alimentación.

COEFICIENTE DE ALMACENAMIENTO

Relación entre el volumen de agua liberado por una columna de acuífero de superficie unidad, cuando el nivel piezométrico desciende una unidad, y un volumen unitario de acuífero. En los acuíferos confinados este valor depende muy directamente de la compresibilidad y la expansibilidad del agua y del medio acuífero y del espesor de éste. En los acuíferos libres, el coeficiente de almacenamiento equivale en la práctica a la porosidad eficaz.

COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA

Es el cociente, expresado en tanto por ciento, de las aportaciones totales de una cuenca respecto a la precipitación.

COEFICIENTE DE INFILTRACIÓN

Es el cociente, expresado en tanto por ciento, de la infiltración respecto a la precipitación.

COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (o conductividad hidráulica)

Parámetro que expresa cuantitativamente la permeabilidad de un material frente a la circulación de un fluido de densidad y viscosidad determinadas. Puede definirse como el volumen de dicho fluido que atraviesa, por unidad de tiempo y bajo el efecto de un gradiente hidráulico unitario, una unidad de superficie perpendicular a la dirección del flujo, en condiciones tales que sea aplicable la ley de Darcy.

CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (de las aguas)

Facultad de transmitir la corriente eléctrica por efectos electrolíticos ligados a las sales disueltas (presencia de iones). Es indicativa, por tanto, del contenido salino total de un agua, con el que mantiene una relación directa. Se mide en uS/cm y se suele referir a una temperatura standards a 25 °C.

CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA

Ver coeficiente de permeabilidad

CONO DE DEPRESIÓN

También llamado cono de bombeo. El término alude a la forma que adopta el nivel piezométrico alrededor de una captación sometida a extracción, de modo que los descensos provocados por el bombeo son mayores cuanto menor es la distancia al pozo.

DARCY (Ley de)

Ley que establece la proporcionalidad existente entre el caudal que circula a través de un medio poroso por unidad de superficie y el gradiente hidráulico responsable del flujo. La constante de proporcionalidad está representada por el coeficiente de permeabilidad del material frente al fluido circulante (en unas condiciones dadas).

DBO

Demanda bioquímica de oxígeno. Medida de la cantidad de oxígeno necesaria para eliminar la materia orgánica contenida en el agua mediante procesos biológicos aerobios, de modo que constituye un índice de contaminación. Usualmente se refiere a cinco días, lo que se representa con las siglas DBO5 (se expresa en mg/l de oxígeno).

DETRÍTICOS (materiales, acuíferos...)

Rocas constituidas por la acumulación de fragmentos de diversa naturaleza y tamaño; las partículas constituyentes reciben distintos nombres según su tamaño, que de menor a mayor diámetro, son, arcilla, limo, arena y grava, denominaciones válidas también por los sedimentos correspondientes. El comportamiento frente a la circulación hídrica puede variar en las rocas constituidas por los mayores tamaños de grano, que son las que por su permeabilidad presentan interés hidrogeológico, según que los granos estén o no trabados entre sí con la presencia de una matriz (constituida por granos de menor tamaño) o cemento (de precipitación química).

DOMO O CONO DE ASCENSO (SALINO)

En acuíferos costeros, ascenso local de la interfase agua dulce-agua salada en el entorno de una captación, debido a haberse rebasado un cierto nivel en la magnitud del caudal bombeado. Como consecuencia en el área afectada pueden llegar a alumbrarse aguas con evidencia de mezcla, más o menos intensa, con el agua de mar.

DUREZA

Alude, normalmente, al contenido total de iones de calcio y magnesio presentes en un agua. Es indicativa del poder incrustante. Hay varios tipos de dureza; la más usada, la dureza total, se expresa en grados franceses ($1^{\circ}F=10$ mg/l de CO_3Ca equivalente).

EMBALSE SUBTERRÁNEO

Término equivalente al de unidad o sistema acuífero, pero que hace especial referencia a la existencia de un volumen de agua almacenado (reservas) y de unos recursos renovables, cuya regulación (e incluso su cuantía) puede ser además incrementada mediante determinadas actuaciones (ver recarga artificial, regulación de manantiales...).

ENSAYO DE BOMBEO

Prueba que consiste en bombear de una captación durante un cierto período de tiempo y observar la variación que se produce en los niveles piezométricos del acuífero. Puede usarse tanto para conocer la capacidad o el rendimiento de una captación como para determinar las características hidráulicas del acuífero.

EVAPOTRANSPIRACIÓN

Se incluyen bajo esta denominación todos los procesos por los que una parte del agua de precipitación es devuelta en forma de vapor desde la superficie continental a la atmósfera. Las dos componentes significativas englobadas en esta variable son la evaporación desde la superficie del

suelo o desde las superficies de agua libre y la transpiración vegetal. Es necesario distinguir entre Evapotranspiración potencial y Evapotranspiración real. Evapotranspiración potencial es la evapotranspiración que tendría lugar, en una condiciones climáticas dadas, si no hubiese limitación en la cantidad de humedad disponible en el suelo, de modo que ésta pudiera satisfacer completamente la demanda atmosférica. La evapotranspiración real es la que realmente se produce bajo unas condiciones dadas por el clima y de contenido de humedad del suelo, de modo que la demanda atmosférica no puede ser satisfecha si el suelo no dispone del agua suficiente.

FORONÓMICO

Relativo a los aforos

GEOTERMÓMETRO

Es un término aplicado a diferentes técnicas para determinar las temperaturas a que se han producido varios tipos de procesos geológicos. En concreto, se aplican en hidrogeología para determinar la "temperatura de base" en relación con manifestaciones hidrotermales.

GRADIENTE HIDRÁULICO

Es la variación con la distancia de la altura del nivel piezométrico de un acuífero en una dirección dada. Esta dirección suele ser la máxima pendiente de la superficie piezométrica (que coincidiría con las de las líneas de corriente).

HIDROGRAMA

Gráfica que representa la variación en el tiempo de alguna característica relativa a la circulación hídrica; muy en particular se utiliza este término para referirse a las gráficas que representan la variación en el tiempo del caudal de un manantial (o de un río) o del nivel piezométrico en un pozo o sondeo.

INFILTRACIÓN (INFILTRACIÓN EFICAZ)

Infiltración es el flujo descendente del agua desde la superficie del terreno hacia los niveles más superficiales del suelo o hasta la zona saturada. Se denomina "infiltración eficaz" a la fracción, expresada como porcentaje de la precipitación, que alcanza la zona saturada y contribuye, por tanto, a la recarga de los acuíferos (equivalente a coeficiente de infiltración).

INTERFASE

Superficie ideal que separa fluidos inmiscibles en un mismo acuífero, ya sea equilibrio hidrostático o en condiciones dinámicas. En acuíferos costeros se emplea el término interfase (agua dulce-agua salada) aunque se trata de dos fluidos miscibles; sirve entonces para simplificar el hecho real de una

"zona de dispersión" que, con mayor o menor desarrollo, existe como consecuencia de la mezcla entre ambos tipos de aguas.

INTRUSIÓN MARINA

Penetración tierra adentro de la interfase agua dulce-agua salada en los acuíferos costeros por el efecto antrópico de reducción significativa en el flujo subterráneo de agua dulce que originalmente descargaba al mar.

ISOHIDROHIPSA (LÍNEA)

Línea que une los puntos de la superficie piezométricas situados a una misma cota. El conjunto de líneas isohidrohipsas correspondientes a una serie de cotas regularmente espaciadas, proyectadas sobre un plano, constituye el mapa piezométrico del acuífero, es decir el mapa de "curvas de nivel" de la superficie piezométrica correspondiente.

ISOPIEZA O LÍNEA ISOPIEZOMÉTRICA

Este término se utiliza a menudo como equivalente a curva de nivel de la superficie piezométrica. Sin embargo, tal utilización es incorrecta pues el término isopieza significa literalmente "igual presión", carácter que realmente es propio de cualquier línea situada sobre la superficie piezométrica, dado que todos los puntos de ésta se encuentran a presión atmosférica. Por esta razón, las curvas de nivel de la superficie piezométrica deben ser denominadas más propiamente isohidrohipsas.

ISOTROPÍA

Cualidad de los materiales en los que el comportamiento es el mismo sea cual sea la dirección considerada.

ISOYETA (O ISOHIETA)

Línea que une, en un mapa, puntos que reciben igual cantidad de precipitación.

KÁRSTICO

Se denomina kárstico a un paisaje que muestra aspectos morfológicos peculiares en relación con la disolución de rocas, similares a los que existen en la región denominada karst, al norte de Yugoslavia. Desde el punto de vista hidrogeológico se caracteriza por un marcado predominio de la circulación subterránea sobre la superficial. Dicha circulación suele realizarse a favor de huecos o conductos que en algunos casos adquieren grandes dimensiones, por lo que el flujo subterráneo se realiza a velocidad alta. Por otra parte, el fuerte condicionamiento estructural en la orientación de tales huecos o conductos motiva una gran anisotropía en los valores de la permeabilidad.

LEY DE DARCY

Ver Darcy

LIMNÍGRAFO

Aparato que permite obtener un registro gráfico (limnigrama) de la evolución en el tiempo de la altura de la lámina de agua. Utilizados especialmente para controlar la variación de nivel piezométrico en una captación o el caudal de un manantial o río en una estación de observación adecuada.

LÍNEA DE CORRIENTE

Es la línea que representa la trayectoria teórica, desde el punto de vista macroscópico, de una partícula de agua en movimiento; es tangente en todos los puntos al vector velocidad. En régimen permanente y en acuíferos isótropos es ortogonal en todos los puntos a las superficies equipotenciales (o, en proyección en un plano, a las líneas equipotenciales).

LÍNEA EQUIPOTENCIAL

Línea que une puntos con igual potencial o carga hidráulica, en un medio acuífero con flujo bidimensional (considerado en un plano vertical u horizontal). En tres dimensiones se puede definir, de igual manera, una superficie equipotencial.

LLUVIA ÚTIL

Fracción de la precipitación no evapotranspirada y que, por tanto, representa los recursos hídricos totales de una cuenca; de este modo, la lluvia útil se invierte en escorrentía superficial, infiltración o ambas.

MAPA PIEZOMÉTRICO

Representación cartográfica de la superficie piezométrica de un acuífero (ver isopieza e isohidrohipsa), construida por interpolación de medidas puntuales de la carga hidráulica en diferentes puntos.

MODELO

Representación teórica simplificada de un sistema acuífero; la elaboración de un modelo exige definir la estructura del sistema (límites, características geométricas, etc) y formular las leyes que relacionan las entradas del sistema y sus respuestas (salidas), de acuerdo con los parámetros que intervienen en dichas relaciones. Los modelos pueden ser de varios tipos: reducidos, analógicos, matemáticos...

MODELO MATEMÁTICO

El término se refiere generalmente a un modelo consistente en la formulación matemática de las relaciones entre las impulsiones y las respuestas del sistema (entradas-salidas), teniendo en cuenta

los parámetros físicos del acuífero. Un modelo de este tipo consigue simular, con auxilio del tratamiento de datos de ordenador, el comportamiento del acuífero frente a diferentes actuaciones sobre el mismo.

M.S.N.M

Se refiere a la cota topográfica en metros sobre el nivel del mar.

PARÁMETROS HIDROGEOLÓGICOS

Características de los acuíferos que rigen su comportamiento frente a la circulación hídrica y a influencias externas (alimentación, extracciones, etc.). Parámetros fundamentales son la porosidad, el coeficiente de almacenamiento y la permeabilidad o conductividad hidráulica. Otros derivan de los anteriores; así, la transmisividad es el producto de la permeabilidad por el espesor saturado.

PERCOLACIÓN

Proceso de infiltración en el terreno, por debajo de la zona de influencia radicular, de aguas utilizadas para el regadío. Es frecuente que dichas aguas arrastren en disolución componentes químicos utilizados en agricultura (abonos, pesticidas...).

PERMEABILIDAD

Cualidad de un material que consiste en permitir que el agua (u otro fluido) circule a través de sus poros. Se expresa cuantitativamente por medio del coeficiente de permeabilidad.

PIEZÓMETRO

Pozo o sondeo utilizado para medir la altura piezométrica en un punto dado de un acuífero.

POLJE

Depresión amplia en una región kárstica con vertientes generalmente escarpadas y fondo llano.

POROSIDAD

Relación entre el volumen de huecos, interconectados o no, contenidos en una roca o sedimento y el volumen total de la roca o del sedimento. La porosidad así definida se denomina "total", aunque en hidrogeología es de empleo más común la porosidad "eficaz".

POROSIDAD EFICAZ

Relación entre el volumen de agua gravífica (agua que una roca o sedimento puede liberar por efecto exclusivamente de la gravedad) y el volumen total de la roca o sedimento.

POROSIDAD (PRIMARIA Y SECUNDARIA)

Estos términos hacen alusión al origen de los huecos que determinan la porosidad de una roca o sedimento. Cuando los huecos corresponden a los espacios que existen entre los granos que integran una roca o sedimento, la porosidad se denomina "primaria" o intergranular, mientras que si son efecto de procesos de fracturación, de disolución o ambas de la roca la porosidad se denomina "secundaria". No se trata de términos excluyentes y, de hecho, en una misma roca pueden coexistir ambos tipos de porosidad.

RECARGA ARTIFICIAL

Procedimiento por el que se inyecta o añade en un acuífero agua desde la superficie. Puede realizarse por distintos métodos, ya sea favoreciendo la infiltración en superficie (método sólo aplicable en acuíferos libres) o procediendo a inyectar en una perforación (en acuíferos confinados es la única solución viable). Esta técnica contribuye a una mejor regulación de los recursos mediante el almacenamiento subterráneo de excedentes superficiales estacionales; de hecho, constituye un buen ejemplo de uso conjunto de recursos superficiales y subterráneos.

RECURSOS

Es una cifra equivalente al total de la recarga o alimentación de un acuífero. Sus unidades son las de un caudal (L3/T). A veces se distingue entre recursos "propios", como es el caso, por ejemplo, de la infiltración de la precipitación sobre los afloramientos del acuífero, y recursos "externos", cuando la recarga procede de alimentación lateral de otro acuífero o de percolación de aguas superficiales.

REGULACIÓN DE MANANTIALES

Explotación o bombeo que provoca el agotamiento o la disminución de caudal, por lo menos temporal, de uno o más manantiales (o la descarga a un río), con objeto de adecuar su funcionamiento a las exigencias y distribución en el tiempo de la demanda, de modo que se consigue un mejor aprovechamiento de los recursos.

RESERVAS

Término que alude al volumen de agua almacenada en un embalse subterráneo. Este término puede matizarse con diferentes calificativos que hacen referencia a otras tantas circunstancias hidrogeológicas.

RESIDUO SECO

Peso de las sales precipitadas al evaporar un volumen conocido de agua, en laboratorio, a una temperatura de referencia (105-100 °C ó 180 °C). El residuo seco constituye una medida a la salinidad del agua.

RETORNO DE RIEGOS

Agua que llega a la zona saturada procedente de la infiltración del agua de riegos. Se expresa, usualmente, como porcentaje de la cantidad de agua aplicada; el retorno de riegos depende de muchos factores (tipo de riego, dotación, permeabilidad...). Puede ser responsable de un enriquecimiento progresivo en sustancias disueltas de las aguas subterráneas, sobre todo en climas áridos.

SALINIDAD (DE UN AGUA)

Término indicativo del contenido total en sales disueltas; suele expresarse también por el residuo seco (contenido en sales precipitadas al evaporar un litro de agua) o, indirectamente, por la conductividad eléctrica.

SALINIZACIÓN (de las aguas)

Proceso de enriquecimiento progresivo, en el espacio y/o en el tiempo, de la concentración de sales disueltas. Este proceso puede ser de origen natural (disolución de minerales y rocas...) o antrópico (intrusión marina, sobreexplotación de acuíferos...).

SUPERFICIE FREÁTICA

Límite superior de la zona saturada en un acuífero libre.

SUPERFICIE PIEZOMÉTRICA

Superficie definida por todos los puntos en los que la presión del agua de un acuífero libre o confinado es igual a la presión atmosférica. Su geometría puede establecerse a partir de las observaciones del nivel piezométrico en un número suficiente de pozos que penetren sólo ligeramente en la zona saturada. El límite superior de la zona saturada de un acuífero libre constituye un caso particular de superficie piezométrica (superficie freática).

TRANSMISIVIDAD

Parámetro hidrogeológico que representa el producto del coeficiente de permeabilidad por el espesor saturado de acuífero (en un medio isótropo). Puede ser interpretado como el caudal del agua que atraviesa una franja de acuífero, orientada perpendicularmente al flujo, de anchura unidad y bajo un gradiente hidráulico unitario.

U.F.

Unidad de Fertilizantes; se emplea para expresar el contenido en elementos nutritivos (en kg por 100 kg de producto).

1 UFN = 1 kg neto de nitrógeno (N).

1 UFP = 1 kg neto de anhídrico fosfórico (P₂O₅).

1 UFK = 1 kg neto de óxido de potasio (K₂O).

USO CONJUNTO

Gestión de los recursos que contempla el aprovechamiento racional de aguas superficiales y subterráneas, de acuerdo con las características globales de la cuenca y la distribución de la demanda.

ZONA NO SATURADA

Es la zona comprendida entre la superficie del terreno y el nivel piezométrico, en la que los poros que existen en la roca o en el suelo contienen agua, a presión inferior a la atmosférica, además de aire y otros gases.

ZONA SATURADA

Zona de un acuífero en la que los poros están ocupados en su totalidad por agua.

ESCORRENTÍA O APORTACIÓN DE UN RÍO

En un determinado punto. Es el volumen de agua que pasa por un punto definido en un tiempo determinado.

ESCORRENTÍA SUPERFICIAL

Cantidad de agua que, procedente de una precipitación, circula por la superficie del terreno o por cauces superficiales escapando a la infiltración y a la evaporación.

FACIES HIDROGEOQUÍMICA

Término indicativo de la composición química de un agua. En general se refiere a las especies iónicas en mayor concentración. (Facies predominante).

MINERALIZACIÓN DEL AGUA

Término indicativo del contenido salino total de un agua. Está directamente relacionada con la conductividad eléctrica.

NIVEL PIEZOMÉTRICO

Nivel que alcanza el agua en un pozo en reposo sin actuaciones exteriores, equivalente al nivel acuífero en el mismo punto, en equilibrio y en un momento dado.

RECURSOS DE AGUA

Volumen de agua que en un período de tiempo determinado entra y sale de un área definida. Generalmente se expresa en hm³/año.

RECURSOS TOTALES, RECURSOS HIDRÁULICOS TOTALES

Incluye los recursos de aguas subterráneas y superficiales. Son equivalentes a la lluvia útil. Se expresa generalmente en hm³/año.

SISTEMA ACUÍFERO

Unidad de investigación y explotación geográfica y geológicamente definida, formada por varios acuíferos relacionados o no entre sí.

UNIDAD HIDROGEOLÓGICA

Uno o varios acuíferos agrupados a efectos de conseguir una racional y eficaz administración del agua. Se definen con los Planes Hidrológicos.

14. MEJORAS TÉCNICAS DEL PROYECTO

14.1. DEFINICIÓN DE PERÍMETROS DE PROTECCIÓN DE CAPTACIONES DESTINADAS PARA ABASTECIMIENTO URBANO

En este apartado se incluyen algunas consideraciones, tanto teóricas, como metodológicas para el establecimiento de perímetros de protección de captaciones de abastecimiento, y se define a modo de ejemplo, un perímetro de protección de uno de los puntos de agua muestreados a lo largo del Proyecto (código 6272120001), que se destina al abastecimiento a la población de Pilancón, dentro de la unidad hidrogeológica 03. Los Haitises.

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

14.1.1. Planteamiento: información requerida

La prevención y la protección de las aguas subterráneas, tanto en cantidad como en calidad, es imprescindible para un desarrollo sostenible. En el primer caso (protección de la cantidad) respecto a la afección provocada por otros pozos o por bombeos intensos no compatibles con el sostenimiento de los acuíferos. En el segundo caso (protección de la calidad), frente a la contaminación puntual o difusa que pudiera poner en peligro la calidad del agua de los abastecimientos.

La protección de las aguas subterráneas no debe ser una acción aislada, sino obedecer a un programa coordinado con las autoridades hidráulicas y medioambientales, y amparada por una normativa de uso obligado. Así, la legislación que se promulgue, tiene que prever dos categorías de elementos de protección en su acepción más amplia:

- General, en base a redes de piezometría y calidad.
- Intensiva, mediante perímetros concretos alrededor de pozos o campos de bombeo en los que se prohíban o limiten determinadas actividades.

Para los primeros, el INDRHI cuenta con las redes de control de las aguas subterráneas, definidas en las distintas UJHH a lo largo del Proyecto, en las que sería necesario realizar mediciones periódicas.

Para los segundos, sería necesario definir perímetros de protección de las captaciones de agua destinada para abastecimiento humano, empezando por los núcleos urbanos que cuenten con una mayor población abastecida. Los estudios de definición de perímetros de protección han de llevarse a cabo de forma progresiva, debido al coste económico que conlleva, tanto el desarrollo de las investigaciones previas necesarias, como las restricciones que supone la implantación de los mismos, con la limitación de actividades en las zonas que constituyen el denominado perímetro de protección.

Por tanto, el establecimiento de perímetros de protección en los principales puntos de captación de aguas subterráneas adquiere todo su significado, tanto para **garantizar** una explotación racional de los recursos subterráneos, como para **preservar** la calidad actual.

La idea básica es proponer actuaciones compatibles con los requerimientos que el desarrollo va imponiendo en la explotación de los acuíferos, y posibles desde el punto de vista del funcionamiento hidrogeológico.

Para la definición de perímetros de protección es preciso realizar una serie de trabajos que permitan:

- Identificar y caracterizar las captaciones existentes.
- Conocer la situación general de los abastecimientos, en cuanto a ubicación de los puntos de captación, litología atravesada, volumen explotado, inventario de puntos de agua del entorno, etc.
- Conocer las características de la red (trazado y estado de conservación, depósitos disponibles, etc).
- Estudiar la demanda urbana e industrial (consumos totales y pérdidas estimadas, evolución de la demanda, etc).
- Definir la vulnerabilidad frente a la contaminación de los distintos materiales litológicos representados en el entorno de cada captación.
- Delimitar el perímetro de protección, con la definición de: zona de restricciones absolutas, zona de restricciones máximas y zona de restricciones moderadas.
- Analizar el inventario de instalaciones y actividades potencialmente contaminantes en cada una de las zonas de influencia, para las distintas captaciones objeto de estudio.
- Proponer medidas de actuación tendentes a la adecuación de las actividades existentes, limitación sobre instalaciones futuras o la realización de acciones correctoras específicas.

La superficie incluida en un perímetro de protección, y por tanto sujeta a fuertes restricciones de uso, ha de ser lo más reducida posible, pero tan amplia como sea necesario, tanto para la garantía del suministro como para la sostenibilidad de los acuíferos.

Los trabajos previos que hay que llevar a cabo contemplan los siguientes aspectos:

- Recopilación y síntesis de la información disponible sobre el abastecimiento a los núcleos de interés.

- Inventario de puntos de agua, con vistas a la identificación de potenciales afecciones y cuantificación de la explotación sobre el acuífero.
- Identificación y caracterización de las captaciones objeto de definición de perímetros de protección: tipología, población abastecida, volúmenes extraídos, .. etc., de acuerdo con los datos recogidos.
- Realización de un inventario de focos potencialmente contaminantes, considerando tanto los focos puntuales, como la contaminación difusa.
- Estudio de la vulnerabilidad de los acuíferos a la contaminación, necesario en la delimitación de perímetros de protección de captaciones.
- Definición de criterios generales para el establecimiento de perímetros de protección, dependiendo de la tipología y características de los acuíferos explotados.
- Elaboración e interpretación de resultados, utilizando tanto técnicas numéricas como gráficas
- Establecimiento de un perímetro de protección para cada una de las captaciones de abastecimiento a las poblaciones seleccionadas.
- Representación gráfica del perímetro de protección delimitado para cada captación objeto de estudio, en la que se incluya al menos, las coordenadas de situación, el inventario de fuentes potencialmente contaminantes existentes en su entorno y el perímetro de protección definido y justificado.
- Redacción de un informe final donde se incluyan todos los trabajos realizados, la información disponible y su procedencia, así como las figuras y mapas generados.

14.1.2. Estudio de posibles afecciones. Vulnerabilidad a la contaminación

14.1.2.1. Focos potencialmente contaminantes

De forma previa a la delimitación del perímetro de protección en torno a una captación para abastecimiento, es preciso realizar un inventario detallado de los focos potencialmente contaminantes existentes en sus inmediaciones.

Con vistas a la delimitación de perímetros de protección, se pueden clasificar los posibles focos de contaminación existentes en función del área afectada, en puntuales y extensos.

a) Los **focos puntuales** están constituidos por aquellas actividades de ámbito muy localizado que pueden dar lugar a procesos de contaminación conservativos, si la concentración del agente

contaminante únicamente disminuye por dilución, y no conservativos, si producen sustancias degradables.

Entre los primeros cabe citar a los vertidos industriales que pueden producir contaminación por metales pesados (plomo, cromo, cadmio, mercurio, etc.) de carácter tóxico incluso a bajas concentraciones. Debe realizarse un inventario detallado especificando el tipo y sistemas de vertido (fosas sépticas, alcantarillado, etc.). También han de ser tenidos en cuenta el almacenamiento y transporte de sustancias industriales (especialmente los tanques de almacenamiento de combustibles y gasolineras).

Entre los focos puntuales no conservativos cabe citar a los residuos urbanos (sólidos y líquidos). En el caso de los residuos sólidos debe especificarse si se depositan de forma concentrada en vertederos (controlados o incontrolados), o se dispersan por las inmediaciones de zonas habitadas y cuales son las características de dichos emplazamientos.

En cuanto a los vertidos líquidos, hay que conocer los puntos de vertido, especificando el tipo de medio receptor (suelo, curso de agua, etc). Otro aspecto que hay que considerar, en su caso, son las pérdidas en las redes de alcantarillado, aunque en general, en República Dominicana no existen redes de saneamiento y sólo las grandes poblaciones cuentan con redes en parte del casco urbano.

Otros posibles focos de contaminación puntual no conservativos lo constituyen los cementerios y las instalaciones dedicadas a la ganadería intensiva.

b) Los **focos de contaminación extensos** están constituidos por las prácticas que afectan a amplias zonas. Como en el caso de los focos puntuales, pueden ser de carácter conservativo (si los contaminantes no se destruyen ni se modifican, reduciéndose únicamente su concentración por dilución), o no conservativos (la composición varía con el tiempo).

Dentro de los focos que afectan a una zona amplia se encuentran las prácticas agrícolas, en las que se aplican agentes potencialmente contaminantes, tanto de carácter conservativo (fertilizantes), como no conservativo (pesticidas).

La utilización de fertilizantes produce la incorporación al acuífero de diferentes sustancias, principalmente nitrógeno, y en menor proporción fósforo y potasio.

Con la denominación de pesticidas se incluyen todos aquellos productos (principalmente compuestos químicos orgánicos sintéticos de gran toxicidad) utilizados para prevenir y luchar contra las plagas que afectan a los cultivos. El carácter no conservativo de los pesticidas tiene la particularidad de que los productos resultantes de las transformaciones que pueden sufrir, pueden ser más nocivos que los productos de los que proceden.

14.1.2.2. Vulnerabilidad de los acuíferos a la contaminación del agua subterránea

La vulnerabilidad de un acuífero a la contaminación expresa la sensibilidad de las aguas subterráneas a una alteración de la calidad originada por actividades humanas. Se puede definir como la posibilidad de que un *contaminante ideal*, que posea las propiedades dinámicas del agua pura, depositado o emplazado en la superficie del terreno, llegue a alcanzar, en función del tiempo, un acuífero que contenga una cantidad de agua económicamente explotable y una calidad de agua aceptable para su consumo humano.

Dicha vulnerabilidad es función de las características intrínsecas del medio, entre las que se incluyen:

- características litológicas
- nivel de consolidación y fisuración de los materiales
- grado de desarrollo del suelo vegetal
- potencia de la zona no saturada.
- geomorfología

Por tanto, la vulnerabilidad debida a este tipo de factores depende en gran medida de las características y de la naturaleza de la zona no saturada (especialmente litología y potencia), en cuanto a facilidad de penetración de contaminantes y capacidad de atenuación de dicha zona (retención físico-química o reacción de los contaminantes con el terreno).

Además de los factores intrínsecos, existen otros de naturaleza externa que inciden en la posible contaminación del agua subterránea:

- unos son de origen climatológico, como es el caso de la precipitación y temperatura
- otros se refieren al agente contaminante, tanto a su movilidad y persistencia, como a la concentración en que se encuentra.

La combinación de los factores citados, intrínsecos y externos determina el riesgo potencial a la contaminación de las aguas subterráneas, siempre referido a una zona determinada.

La tipología de sustancias contaminantes ofrece una amplia gama que abarca desde iones inorgánicos simples a sustancias sintéticas orgánicas de composición compleja, que hacen inviable la evaluación del riesgo potencial que presentaría una contaminación de cada una de las potenciales sustancias contaminantes. Por tanto, debido al elevado número de posibles contaminantes, en el desarrollo de estos estudios se van a considerar únicamente los factores intrínsecos del medio para evaluar la vulnerabilidad a la contaminación de las aguas subterráneas, haciendo especial hincapié en la zona no saturada, con el estudio de los métodos de evaluación del tiempo de tránsito de contaminantes.

14.1.2.3. El papel de la zona no saturada en la protección del agua subterránea

Se denomina zona no saturada a la porción de terreno comprendida entre la superficie del suelo y el nivel freático del acuífero más somero. Su función consiste en almacenar y transmitir el agua, que procedente de la superficie transcurre hacia la zona saturada.

La contaminación de las aguas subterráneas es difícil de erradicar una vez que se ha producido y en general los métodos son lentos y costosos, ya que cuando se detecta suele afectar a gran parte del acuífero.

En el carácter prácticamente irreversible de la contaminación de los acuíferos estriba la importancia de la zona no saturada, tanto por ser el elemento conductor de la contaminación hacia las aguas subterráneas, como también porque actúa, en muchos casos, como un filtro que retarda o elimina los contaminantes disueltos en el agua que percola.

La zona no saturada representa la primera y más importante línea de defensa contra la contaminación de un acuífero. Por tanto, esta zona juega un papel fundamental en la valoración de la vulnerabilidad de los acuíferos a la contaminación. En especial, sus características litológicas y espesor, que finalmente se traducen en un retardo del movimiento de contaminantes hacia el acuífero (cuando está constituida por materiales poco permeables y su potencia es elevada), llegando incluso a desaparecer el riesgo inicial que pudieran presentar estas sustancias debido a su degradación o retención en el terreno.

Para evaluar el grado de protección que ejerce la zona no saturada sobre el mantenimiento de la calidad del agua subterránea, es necesario tener un conocimiento del tiempo de tránsito de un contaminante hipotético, desde que entra en el sistema hasta que llega al acuífero.

Son muchos los métodos de cálculo del tiempo de tránsito a través de la zona no saturada que se han desarrollado, desde métodos sencillos y fáciles de aplicar a modelos matemáticos complicados. En general estos métodos consideran que el contaminante es ideal y por tanto posee las mismas propiedades dinámicas del agua. En "Perímetros de protección para captaciones de agua subterránea destinada al consumo humano. Metodología y aplicación al territorio" (IGME, 2003), se puede encontrar una descripción de estos métodos, con las variables que introducen en el cálculo, así como las condiciones idóneas para su aplicación.

Entre los métodos desarrollados para el cálculo del poder depurador del suelo se encuentra el método de Rehse-Bolsenkötter. Se trata de un método empírico para calcular el poder depurador del terreno sobre los efluentes contaminantes que pudieran atravesarlo.

Se puede considerar que cuando la zona no saturada está constituida por materiales detríticos de elevada potencia y con permeabilidad por porosidad, la vulnerabilidad a la contaminación del agua subterránea es baja, mientras que en materiales fracturados o fisurados la vulnerabilidad aumenta, en general, al disminuir el tiempo de tránsito a través de la zona no saturada.

La captación considerada, a modo de ejemplo, para la definición de perímetro de protección en este estudio se sitúa sobre un acuífero carbonatado (calizas de los Haitises, con elevado grado de carstificación, y por tanto, muy vulnerables a la contaminación).

14.1.3. Perímetros de protección

El progresivo desarrollo tecnológico, orientado a paliar las necesidades que implica el mayor nivel de vida que el ser humano demanda, ha hecho posible la creación de una serie de sustancias de variada utilidad pero que sin embargo pueden ser perjudiciales en situaciones no controladas.

Se estima que cada año se ponen en el mercado 3000 sustancias nuevas, y actualmente se comercializan más de 60000 sustancias químicas con más de un millón de diferentes fórmulas.

La acumulación de estas sustancias antropogénicas en el medio ambiente puede causar graves alteraciones a los seres vivos, ya que por lo general se trata de sustancias de elevada toxicidad y peligrosidad, por lo que es evidente la amenaza permanente de incidentes o desastres en este campo.

El objetivo principal de los perímetros de protección es mantener la calidad del recurso y evitar los impactos negativos que pudieran ocasionar alteraciones sustanciales tanto de su calidad como de los volúmenes hídricos circulantes.

En el caso de cursos superficiales destinados al abastecimiento, en muchos casos, se señala específicamente una zona de policía de 100 m de anchura en la que se condiciona el uso del suelo y las actividades que en él se desarrollan.

En el caso de acuíferos, la definición de perímetros es mucho más compleja pero se hace cada vez más necesaria, a medida que aumenta el desarrollo económico.

Las políticas de protección se están llevando a cabo por la mayor parte de los países desarrollados, si bien y en el caso de aguas subterráneas, sólo se ha aplicado a las captaciones para abastecimiento público.

Para delimitar un perímetro de protección hay que decidir previamente en base a qué criterios se va a definir, la definición de los perímetros de las distintas captaciones se realiza de acuerdo con la distancia (por ejemplo aplicando el método de Rehse-Bolsenkötter) o el tiempo de tránsito (por ejemplo aplicando el método de Wyssling), lo que permite asegurar que una hipotética contaminación

será inactivada en el trayecto entre el punto de vertido y el lugar de extracción de agua y, al mismo tiempo, se proporciona un tiempo de reacción que permita el empleo de otras fuentes de abastecimiento alternativas, hasta que el efecto de la posible contaminación se reduzca a niveles tolerables. Mediante este criterio se evalúa por tanto, el tiempo que un contaminante tardaría en llegar a la captación que se pretende proteger.

El método de Rehse analiza el riesgo de contaminación del acuífero calculando el poder depurador del medio en la zona no saturada y en la saturada.

Este método evalúa la atenuación que pudiera experimentar un contaminante que atravesara el suelo, considerando dos tramos diferenciados en su movimiento: un tramo vertical a través de la zona no saturada del terreno, y otro horizontal, dentro de la zona saturada, hasta el punto de extracción del agua subterránea.

En los cálculos intervienen la velocidad, tipo de materiales existentes y espesor atravesado, utilizando varias tablas de apoyo, que relacionan el tipo de materiales y su poder depurador, tanto en la zona no saturada, como en la saturada (IGME, 2003).

La distancia que como mínimo es necesario recorrer para alcanzar una depuración total, según Rehse, correspondería al límite del perímetro de protección próximo (Zona II o de Restricciones Máximas). Si no existiera recubrimiento, toda la depuración tendría que realizarse en el trayecto horizontal a través del acuífero.

El método de Bolsenkötter es una modificación del método de Rehse (proporciona resultados fiables para sistemas isótopos, en los que la circulación del agua se produce a través de un medio poroso). Bolsenkötter adapta el método de Rehse a medios cársticos y/o fisurados.

El poder depurador de las rocas en medios cársticos y fisurados es menor que en medios porosos y por ello aumentan las distancias necesarias para conseguir una depuración total.

Por su parte, los cálculos basados en el tiempo de tránsito en el acuífero, permiten definir zonas alrededor de las captaciones, que permitan proteger los recursos subterráneos.

La mayor parte de los países ha escogido como criterio para definir la zonación del perímetro un tiempo de tránsito de un día en la zona inmediata, 50-60 días en la zona próxima y 10 años en la zona alejada, en función de la degradabilidad de los agentes contaminantes. En el desarrollo de este trabajo se delimitan por tanto tres zonas en torno a cada captación, denominadas:

- Zona I, Inmediata o de Restricciones Absolutas (Tiempo de tránsito de 1 día)
- Zona II, Próxima o de Restricciones Máximas (Tiempo de tránsito de 60 días)
- Zona III, Alejada o de Restricciones Moderadas (Tiempo de tránsito de 10 años)

donde las restricciones son absolutas, máximas o moderadas respectivamente.

La aplicación preventiva de esta zonación suele ser difícil en ocasiones, ya que generalmente los puntos con aprovechamiento económico suelen situarse en áreas donde ya existe una importante actividad antrópica asentada. En estos casos sólo cabe restringir la creación de nuevas actividades potencialmente contaminantes y analizar para su aceptación o rechazo el riesgo de las ya existentes cuya eliminación plantearía serios problemas de índole socioeconómica, y por tanto de viabilidad real.

Existen distintos métodos de cálculo del tiempo de tránsito. Entre ellos se encuentra el desarrollado por Wyssling, que se aplica aquí, consistente en el cálculo de la zona de influencia de una captación y búsqueda posterior del tiempo de tránsito deseado. El método es simple y supone que el acuífero se comporta como un acuífero homogéneo.

La resolución del método precisa conocer las siguientes variables:

- i = gradiente hidráulico
- Q = caudal de bombeo (m^3/s)
- k = permeabilidad horizontal (m/s)
- m_e = porosidad eficaz
- b = espesor del acuífero (m)

A partir de estos datos se calcula el radio de influencia o de llamada (x_0) y la velocidad efectiva (v_e) según las expresiones siguientes:

$$x_0 = \frac{Q}{2 \pi k b i}$$

$$v_e = \frac{k i}{m_e}$$

La distancia (s) en metros recorrida entre un punto y la captación en un tiempo de tránsito (t) expresado en segundos, viene dada por la expresión:

$$s = (\pm d + (d^2 + 8 x_0))^{1/2} / 2$$

donde d es el producto de la velocidad efectiva por el tiempo de tránsito:

$$d = v_e t$$

El signo más (+) se utiliza para calcular la distancia aguas arriba de la captación (s_0) y el signo menos (-) para calcular la distancia aguas abajo de la misma (s_u). Para simplificar, se puede considerar que ambas distancias son similares (en realidad, en la mayor parte de los casos varían muy poco), y como resultado la zona a proteger en cada caso tendría morfología circular, de radio s_0 . No obstante, en los informes finales de cada captación se incluyen los resultados obtenidos para s_0 y s_u en cada una de las zonas.

El método de Wyssling aunque desarrollado para medios detríticos, es aplicable a medios fisurados en los que el tiempo de tránsito aumenta a medida que se aumenta la distancia a la captación. En estos supuestos la delimitación de las zonas se hace asimilando el acuífero a un medio equivalente continuo, aunque pueda ser heterogéneo a escala de metros o decenas de metros. La extensión de las zonas "S" se fija igual que en medios con porosidad intergranular, tomando como base la evaluación de las velocidades medias mayores en el acuífero (ITGE, 2003).

Según la metodología propuesta se realiza una zonación dentro del perímetro de protección de las distintas captaciones objeto de estudio en tres zonas con restricciones de uso tanto mayores cuanto más próximas a las captaciones.

14.1.3.1. Zona I, Inmediata o de Restricciones Absolutas

Se considera como el círculo cuyo centro es el sondeo a proteger y cuyo radio (s_I) es la distancia que tendría que recorrer una partícula para alcanzar la captación en un día.

Esta zona tendrá forma circular u oval, dependiendo de las condiciones hidrodinámicas, sin embargo, con la simplificación que entraña asimilarla a un círculo, se cumplen el objetivo que se persigue: proteger la boca del sondeo y sus proximidades.

14.1.3.2. Zona II, Próxima o de Restricciones Máximas

Se considera como el espacio que tendría que recorrer una partícula para alcanzar la captación en más de un día y menos de 60 días. Queda delimitada entre la Zona de protección Inmediata y la isocrona de 60 días.

Se elige esta isocrona en base a los estudios realizados por Knorr, que ya en 1951 observó que después de ese tiempo de permanencia en el acuífero se eliminaban distintas bacterias y virus; asimismo, no se detectaban después de dicho tiempo de permanencia los componentes químicos fácilmente degradables o adsorbibles.

Para la delimitación de la zona próxima, en los acuíferos permeables por porosidad se utilizan criterios hidrodinámicos. La isocrona tendrá forma circular si el acuífero está en equilibrio hidrostático, ya que

en este caso *la zona de alimentación del sondeo* la constituye todo el acuífero y el flujo es radial hacia el sondeo.

14.1.3.3. Zona III, Alejada o de Restricciones Moderadas

Limita el área comprendida entre la Zona de protección Próxima y la isocrona de 10 años (radio s_{III}). Cuando el límite de la zona de alimentación del sondeo esté a una distancia menor que la citada isocrona, el límite de la zona lejana coincidirá con el límite de la zona de alimentación.

EJEMPLO DE PERÍMETRO EN MATERIALES CARBONATADOS: ABASTECIMIENTO A LA POBLACIÓN DE PILANCÓN

14.1.4. Situación actual del abastecimiento

El paraje de Pilancón pertenece a la Sección de Hidalgo, dentro del municipio de Bayaguana, en la provincia de Monteplata.

14.1.4.1. Puntos de abastecimiento

La población de Pilancón se abastece mediante un manantial denominado Nacimiento del arroyo Pilancón, dentro de la UH 03. Los Haitises.

El código del punto y su situación en coordenadas UTM son:

Código	Denominación	X (UTM)	Y (UTM)	Cota (m.s.n.m.)
6272120001	Nacimiento arroyo Pilancón	438355	2091635	237

En la figura 14.1.1. se observa la situación del punto de abastecimiento a Pilancón, así como en las fotos 14.1.1 y 14.1.2.



Foto 14.1.1.



Foto 14.1.2.

El manantial drena el acuífero carbonatado de la subunidad Meridional (figura 14.1.2.). Esta subunidad está constituida por calizas arrecifales detríticas muy carstificadas. El espesor de la

formación conocida como caliza de los Haitises puede ser del orden de 150 m (ver apartado 6.2. "Estratigrafía y Litología" de la memoria elaborada de forma independiente para la UH. 03).

En profundidad, las calizas arrecifales no presentan 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, o rocas volcano-sedimentarias y rocas plutónicas).

Desde el punto de vista hidrogeológico, se puede considerar que se trata de un manantial de muro, que da origen al nacimiento del arroyo Pilancón.

Con respecto a los datos de análisis químicos del agua procedente del manantial utilizado para abastecimiento a Pilancón, se dispone de los resultados analíticos de las dos campañas de muestreo realizadas en el desarrollo del Proyecto. Se trata de un agua de facies bicarbonatada cálcica, con una conductividad de 369 microS/cm en la primera campaña (340 microS/cm en la segunda) y una concentración de nitratos de 5 mg/l de NO_3^- en ambas campañas. Puede considerarse de una calidad química óptima para su uso, de acuerdo con los límites NORDOM-80 u OMS-95.

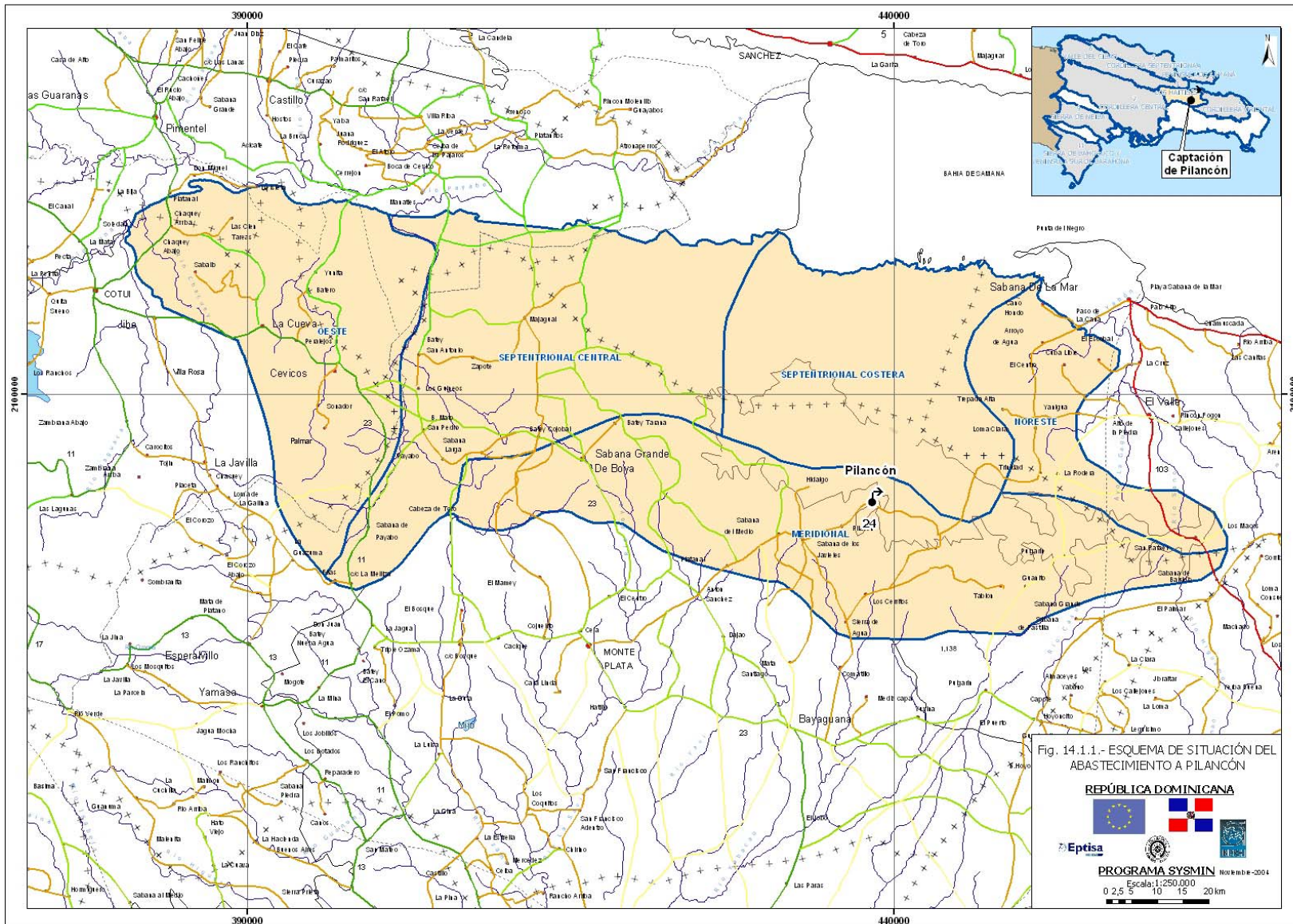
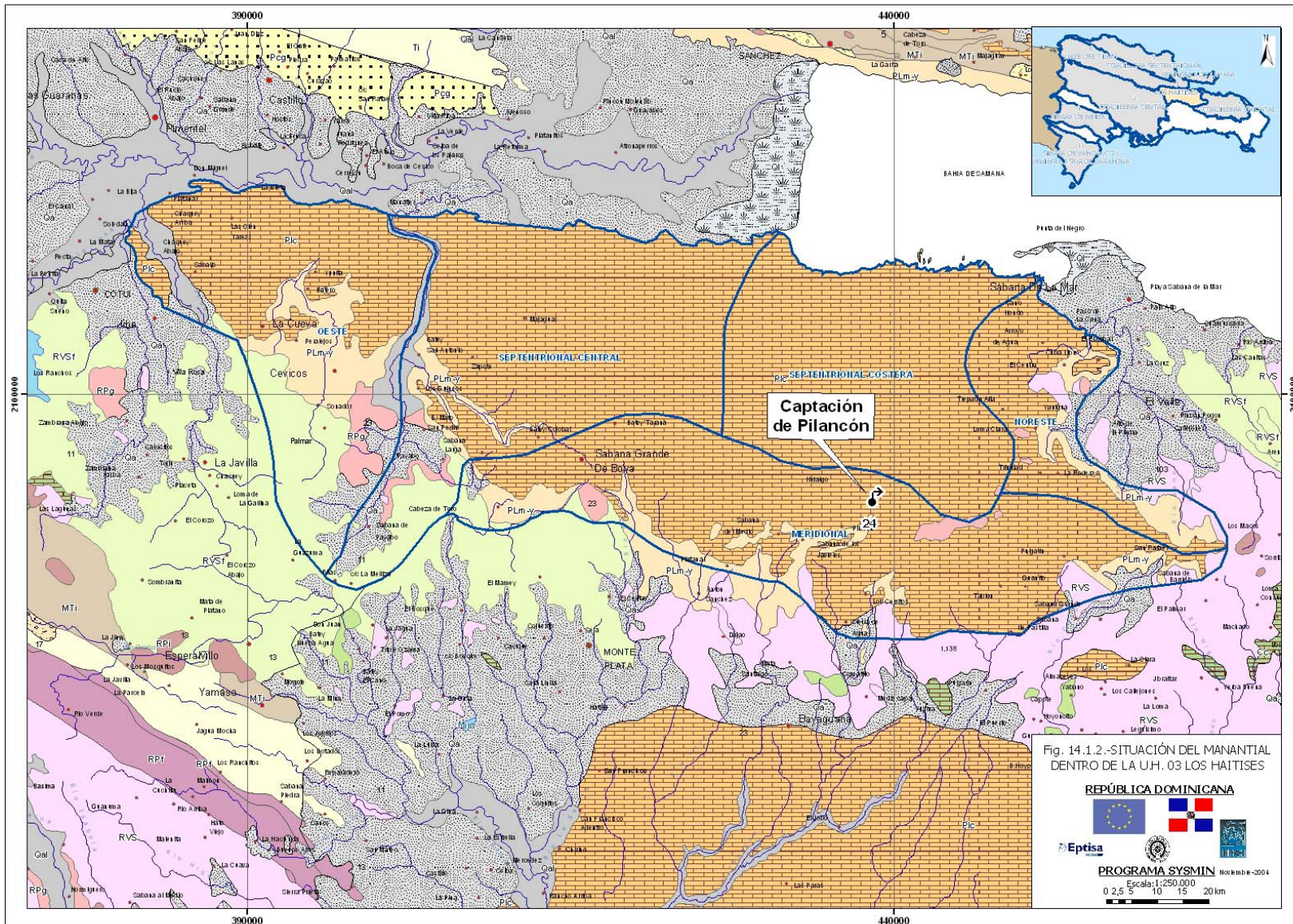


Fig. 14.1.1.- ESQUEMA DE SITUACIÓN DEL ABASTECIMIENTO A PILONCÓN

REPÚBLICA DOMINICANA



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



14.1.5. Parámetros hidráulicos

En la UH.03. Los Haitises no existen datos experimentales de parámetros hidráulicos del acuífero explotado.

A continuación se incluyen los valores considerados para el sector donde se encuentra el manantial y que intervienen en los cálculos elaborados:

- Transmisividad: 20-150 m²/día, con un valor medio de 100 m²/día
- Coeficiente de almacenamiento: 0.001-0.002
- Porosidad eficaz: 0.002
- Gradiente hidráulico: 0.5 %.

14.1.6. INFRAESTRUCTURAS

14.1.6.1. Características esenciales del abastecimiento

El abastecimiento a Pilancón se basa en una toma directa de la surgencia, situada a unos 500 m al noroeste del casco urbano.

La problemática del abastecimiento a Pilancón se centra en la contaminación bacteriológica detectada en ocasiones y debida a los focos de contaminación difusa existentes aguas arriba de la surgencia (ganadería no estabulada).

14.1.6.2. Demanda urbana

El municipio de Pilancón tiene una población estable de 1259 habitantes, según el censo de 1993. Considerando un incremento de población del 1.92 % entre 1993 y 2004, la población actual sería del orden de 2400 habitantes.

El consumo medio estimado es del orden de 0.25 hm³/año (según datos del INAPA-2004, se asigna una dotación media de 288 l/hab/día para la zona considerada).

La problemática del abastecimiento presenta algunas deficiencias derivadas de la calidad bacteriológica que presenta el agua.

14.1.7. Vulnerabilidad del acuífero frente a la contaminación

La vulnerabilidad del acuífero frente a la contaminación puede considerarse elevada, atendiendo a la naturaleza de los materiales que lo constituyen y al grado de carstificación que presentan las calizas arrecifales.

14.1.8. Inventario de focos potencialmente contaminantes

No existen actividades industriales en el municipio.

La actividad agrícola del municipio está constituida por pequeñas explotaciones familiares. Su posible afección al acuífero explotado se considera despreciable.

La actividad ganadera en el municipio está representada por ganado vacuno no estabulado. La afección potencial se puede considerar elevada.

Por lo que respecta a los residuos sólidos urbanos producidos en el núcleo urbano se depositan de forma dispersa en las inmediaciones de las viviendas.

El casco urbano no dispone de instalaciones de alcantarillado. El vertido de las aguas residuales se realiza a fosas sépticas. Su afección potencial sobre las aguas subterráneas puede considerarse baja, por la situación de la población, aguas abajo, según el sentido de flujo.

Por tanto, los principales focos de contaminación en la zona considerada están constituidos por la actividad ganadera y urbana (vertidos incontrolados de residuos sólidos urbanos).

14.1.9. Delimitación y zonación del perímetro de protección según Wyssling

Para el cálculo de las distintas zonas de protección del abastecimiento a Pilancón, se consideran como datos de partida:

Pilancón	
Espesor del acuífero (m)	150
Porosidad eficaz	0.002
Permeabilidad horizontal (m/día)	0.75
Permeabilidad horizontal (m/s)	8.68×10^{-6}
Caudal (l/s)	30
Caudal (m ³ /s)	0.03
Gradiente hidráulico	0.005

Según la metodología propuesta se realiza una zonación dentro del perímetro de protección de la captación objeto de estudio en tres zonas con restricciones de uso tanto mayores cuanto más próximas a la captación.

14.1.9.1. Zona de restricciones absolutas

Se considera como el círculo cuyo centro es el sondeo a proteger y cuyo radio (s_I) es la distancia que tendría que recorrer una partícula para alcanzar la captación en un día.

Esta zona tendrá forma circular u oval, dependiendo de las condiciones hidrodinámicas, sin embargo, se puede representar como un círculo por simplicidad, cumpliendo igualmente el objetivo que se persigue, proteger la boca del sondeo y sus proximidades.

A continuación se incluyen los resultados obtenidos para s_I .

Pilancón	
S_I aguas arriba (m)	53
S_I aguas abajo (m)	52

Por criterios de seguridad, se considerará en esta zona de radio 60 m. En ella **se evitarán todas las actividades, excepto las relacionadas con el mantenimiento y explotación de la captación**, para lo que se recomienda la construcción de una caseta que proteja las instalaciones de bombeo, que se valle la zona definida y se instale un drenaje perimetral.

14.1.9.2. Zona de restricciones máximas

Se considera como el espacio (s_{II}) que tendría que recorrer una partícula para alcanzar la captación en más de un día y menos de 60 días. Queda delimitada entre la zona de protección inmediata y la isocrona de 60 días.

A continuación se incluyen los resultados obtenidos para s_{II} .

Pilancón	
S_{II} aguas arriba (m)	466
S_{II} aguas abajo (m)	354

En el cuadro 14.1.1. se incluye una relación de actividades y las limitaciones que se deben imponer.

Por criterios de seguridad se delimitará, como zona de restricciones máximas, una superficie oval (truncada en el radio mayor) alrededor de la captación a proteger y orientada con el eje en el sentido de la dirección de flujo.

Cuadro 14.1.1 Planificación de actividades dentro de las zonas de restricciones máximas y moderadas

DEFINICIÓN DE ACTIVIDADES	ZONA DE RESTRICCIONES MÁXIMAS			ZONA DE RESTRICCIONES BAJAS O MODERADAS		
	Prohibido	Condicional	Permitido	Prohibido	Condicional	Permitido
ACTIVIDADES AGRÍCOLAS						
Uso de fertilizantes	*				*	
Uso de herbicidas	*				*	
Uso de pesticidas	*			*		
Almacenamiento de estiércol	*				*	
Vertido de restos de animales	*				*	
Ganadería intensiva	*			*		
Ganadería extensiva		*				*
Almacenamiento de materias fermentables para alimentación del ganado	*				*	
Abrevaderos-refugios de ganado		*				*
Silos	*				*	
ACTIVIDADES URBANAS						
Vertidos superficiales de aguas residuales urbanas sobre el terreno	*			*		
Vertidos de aguas residuales urbanas en pozos negros, balsas o fosas sépticas	*			*		
Vertidos de aguas residuales urbanas en cauces públicos	*			*		
Vertidos de residuos sólidos urbanos	*			*		
Cementerios	*			*		
ACTIVIDAD INDUSTRIAL						
Asentamientos industriales	*			*		
Vertidos de residuos líquidos industriales	*				*	
Vertidos de residuos sólidos industriales	*			*		
Almacenamiento de hidrocarburos	*			*		
Depósitos de productos radiactivos	*			*		
Inyección de residuos industriales en pozos y sondeos	*			*		
Conducciones de líquido industrial	*			*		
Conducciones de hidrocarburos	*			*		
Apertura y explotación de canteras	*				*	
Relleno de canteras o excavaciones	*			*		
OTRAS						
Camping	*				*	
Ejecución de nuevas perforaciones o pozos no destinados para abastecimiento	*					

14.1.9.3. Zona de restricciones moderadas

Limita el área comprendida entre la zona de protección próxima II y la isocrona de 10 años (radio s_{III}). Cuando el límite de la zona de alimentación del sondeo esté a una distancia menor que la citada isocrona, el límite de la zona lejana coincidirá con el límite de la zona de alimentación.

A continuación se incluyen los resultados obtenidos para s_{III} .

Pilancón	
S_{III} aguas arriba (m)	8085
S_{III} aguas abajo (m)	1242

Atendiendo a criterios hidrogeológicos (se trata de un manantial de muro) se delimitará como zona de restricciones moderadas una superficie de forma oval truncada con el lado mayor en la dirección principal del flujo subterráneo que se extenderá unos 8100 m aguas arriba de la captación y unos 250 m aguas abajo.

En el cuadro 14.1.1. se incluye la relación de actividades a prohibir, condicionar o permitir en esta zona.

14.1.10. Perímetro de protección de la cantidad

Para la protección de la cantidad de recursos en la captación de abastecimiento a Pilancón se definirá un perímetro en función del radio de influencia R:

$$R = 1.5 (T t / S)^{1/2}$$

donde T = Transmisividad: 100 m²/día

t = tiempo de bombeo, generalmente se aplicará un tiempo de 120 días

S = Coeficiente de almacenamiento: 0.002

Con los datos indicados se obtiene un radio de influencia de 3700 m.

Atendiendo a criterios hidrogeológicos, la delimitación del perímetro de protección de la cantidad tendrá una forma similar a la zona de restricciones moderadas, con el lado mayor en la dirección

principal del flujo subterráneo que se extenderá, unos 4000 m aguas arriba de la captación y unos 300 m aguas abajo, lo que permitirá en el futuro asegurar los caudales captados actualmente.

14.1.11. Delimitación de la poligonal envolvente

Para la delimitación de la poligonal se ha considerado aquella que engloba las zonas delimitadas anteriormente. Viene definida por los vértices:

Cuadro 14.1.2. Vértices de la poligonal envolvente de protección del abastecimiento a Pilancón.

Vértice	X (UTM)	Y (UTM)	Toponimia
A	432824	2098342	
B	438465	2095495	
C	438757	2091185	Núcleo urbano de Pilancón
D	434208	2091145	Al NE de Laguna de Sabaneta
E	430084	2094032	Entre San Alfonso y Laguna Colorada

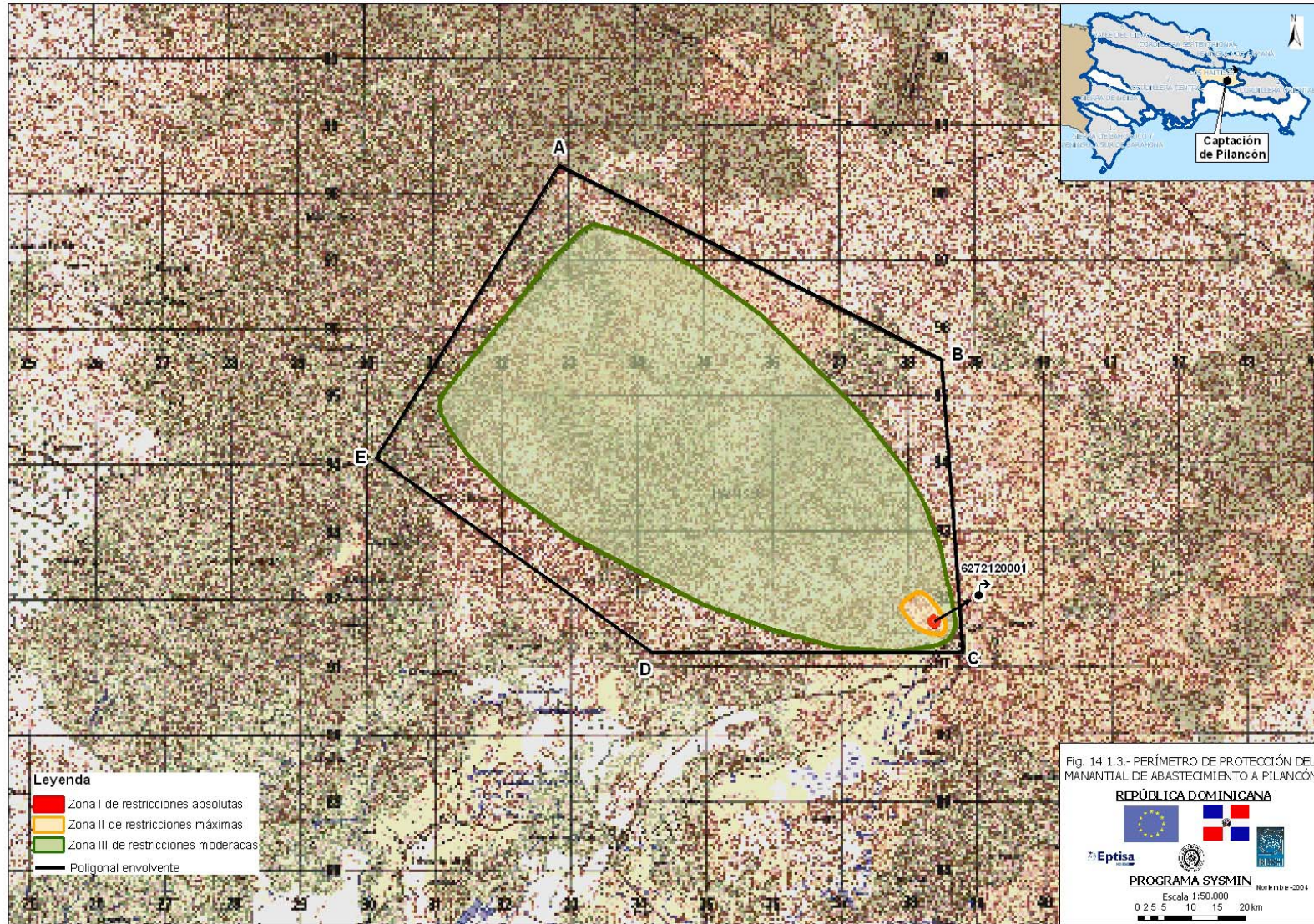
En la figura 14.1.3. se representan gráficamente las distintas zonas de protección definidas dentro del perímetro de protección del abastecimiento a Pilancón, así como la poligonal envolvente.

En el cuadro 14.1.1. se incluyen las actividades que se deberían limitar en cada una de las distintas zonas de protección delimitadas para evitar la posible contaminación de las aguas subterráneas.

14.1.12. Sistema de vigilancia: red de control

Dada la presencia de actividades potencialmente contaminantes aguas arriba de la captación y dentro de la envolvente, se propone llevar a cabo un seguimiento de la eficiencia del perímetro de protección delimitado, que garantice el mantenimiento de la calidad del agua, tanto en el manantial de abastecimiento, como en otros situados en su entorno y aguas arriba del mismo, según el sentido del flujo subterráneo.

Para ello, conviene seleccionar una serie de puntos de agua del entorno, en los que llevar a cabo un muestreo de aguas subterráneas, con la realización de análisis periódicos de parámetros de interés, acordes con el tipo de contaminación potencial que se podría generar (contaminación ganadera y urbana).



14.2. PROPUESTA DE LEGISLACIÓN PARA LAS AGUAS NATURALES Y MINERO MEDICINALES DE LA REPÚBLICA DOMINICANA

En el Anexo 8 de este informe se incluye la propuesta de legislación para las aguas naturales y minero medicinales de la República Dominicana.

Este documento, tiene como objeto principal el indicar, desde el punto de vista minero, los aspectos fundamentales que debe de contemplar una futura normativa de aguas minerales, no entrando en detalle sobre su articulado, dado que habría que definir el o los organismos competentes en este recurso, así como otros aspectos propios de la legislación de cada país.

Con el fin de cumplir el objetivo marcado, se ha efectuado un análisis de la legislación española y de las Directivas de la Unión Europea, reseñando los artículos en que se basa éste, e incluyendo aquellas actualizaciones que ya están propuestas en la futura modificación de la legislación española. Para un mejor seguimiento, el citado documento se estructura en los siguientes apartados:

- *Que se entiende por agua mineral. Definición y clasificación según la legislación española.*
- *Trámites a seguir para las declaraciones y autorizaciones de aprovechamiento.*
- *Condiciones para la puesta en explotación.*
- *Derechos y deberes de los titulares de este recurso.*
- *Caducidades de los derechos.*

14.3. CREACIÓN DE UNA PÁGINA WEB

Planteamiento general.

La aplicación Web de las UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS DE LA REPÚBLICA DOMINICANA, desarrollada por **Eptisa** como mejora del *Estudio Hidrogeológico Nacional de la República Dominicana Fase II*, durante el año 2004, hace un uso exhaustivo de nuevas técnicas de diseño, desarrollo y programación que permiten la perdurabilidad de la documentación y la total compatibilidad a lo largo del tiempo. Tales técnicas, sustentadas sobre lenguajes de marcas como XML (Extensible Markup Language) para los datos y el texto, y SVG (Scalable Vector Graphics) para la cartografía y gráficos en general, prometen convertirse en estándares. De hecho, la mayoría de servidores de noticias y agencias internacionales utilizan XML como base para el almacenamiento y distribución de noticias.

La utilización en la página UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS DE LA REPÚBLICA DOMINICANA de SVG para la representación de mapas y gráficos vectoriales es algo novedoso. SVG, un lenguaje basado en XML, es útil no solamente para dibujar en pantalla cualquier tipo de gráfico vectorial, sino que resulta tremendamente práctico para la cartografía, ya que permite, combinado con lenguajes de programación como VBScript y JavaScript, interactuar con el mapa (cargar capas, ampliar y reducir, vista panorámica, etc.) de una manera que hasta la fecha solamente era posible mediante la instalación de costosas aplicaciones GIS que terminan por consumir tiempo y recursos del servidor. El desarrollo de UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS DE LA REPÚBLICA DOMINICANA permite al usuario total esta interactividad con una velocidad asombrosa, al tiempo que la calidad de impresión en papel es inmejorable.

Los datos de la página, tanto el texto que describe cada una de las Unidades Hidrogeológicas estudiadas como los datos numéricos (las lecturas), proceden de distintos formatos. Convertir esta información a los lenguajes de marcación necesarios para su correcta visualización en la Web requiere el conocimiento de XML para el texto, y de técnicas de programación y SVG para los gráficos, conocimientos que, por la novedad de los lenguajes citados muy pocas personas poseen todavía. Sin embargo, como todos los lenguajes estandarizados, tanto XML como SVG pueden ser automatizados, es decir, escritos por programas de ordenador desarrollados especialmente para este fin.

Descripción de la página.

La aplicación Web de las UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS DE LA REPÚBLICA DOMINICANA contiene la información básica resumida de las 9 unidades estudiadas por Eptisa en esta Fase II, el resto, de las 14 definidas en la República Dominicana, fueron estudiadas en la Fase I del Proyecto y no se han incluido en esta página. No obstante la página esta preparada para su inclusión, bastando con realizar

los resúmenes, planos y figuras con el mismo esquema de las ya incluidas y enlazarlas a la página, ya que el esquema de acceso a datos incluye todas las unidades.

El acceso a la página se podrá realizar mediante un logo específico incluido en una de las páginas del INDRHI, o a través de la barra de menú de dicha página, o por ambas vías.

Una vez marcada la dirección se abrirá una página de presentación con el título de la página Web (UNIDADES HIDROGEOLOGICAS DE LA REPUBLICA DOMINICANA) así como los proyectos y organismos dentro de los que se ha desarrollado la página, junto con los logos de dichos organismos, a través de los cuales se podrá acceder a sus propias páginas Web.

Desde esta página inicial de acceso, en el que además de lo indicado podrá incluirse la bienvenida oficial o comentarios y notas diversas, se pasa a la página de acceso a la información, que se divide en tres sectores fundamentales:

- La cabecera con los títulos de la página y del proyecto, así como los logos de los distintos organismos y las banderas de la República Dominicana y la Unión Europea.
- Zona del mapa y selección de capas, que ocupará la mayor parte del espacio en el que se visualizará el mapa hidrogeológico correspondiente a la unidad hidrogeológica que se esté consultando, con las capas de información gráfica disponibles para cargar sobre dicho plano (ríos, embalses, vías de comunicación, poblaciones, redes de control, etc), completamente interactivas y que podrán activarse y desactivarse a conveniencia de la persona que realiza la consulta;
- Zona de selección de la unidad e información a consultar, en el que sobre un esquema de la República Dominicana con los límites de todas las unidades hidrogeológicas se puede seleccionar la unidad hidrogeológica que se desea consultar pulsando con el ratón sobre la misma. Mientras se recorre este esquema con el ratón irá apareciendo, el nombre de la unidad sobre el que va pasando, abriéndose el mapa hidrogeológico de la unidad sobre la que se pulse, pudiéndose seleccionar el tipo de información deseada (marco geográfico y socioeconómico de la unidad, climatología, hidrología superficial, síntesis geológica e hidrogeológica, hidroquímica, etc) en el menú que figura junto al esquema. Esta información, tanto texto como figuras y esquemas, se mostrarán en ventana independiente, de forma que siempre estará activa la página de selección de unidad, del mapa y de acceso a datos.

La información resumida de cada unidad se ha estructurado en varios capítulos, para facilitar la consulta y actualización de la información, incluyéndose además los principales mapas, esquemas, figuras y cortes hidrogeológicos de cada unidad y que aportan la mayor parte de la información básica imprescindible para el conocimiento de la misma. Los datos medidas de redes, etc., se han incluido

en tablas y listados resúmenes, no estando disponibles para su extracción en fichero, por indicación expresa del INDRHI.

Por último, se ha incluido un glosario de términos hidrogeológicos para consulta, con objeto de facilitar la comprensión de la información mostrada en la página. A este glosario se accede a través del menú.

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 HIDROGEOLOGICA

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.
	Ncg CONGLOMERADOS NEOGENOS. Conglomerados, depósitos deltaicos.
	Ocg 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 VOLCANOSEDIMENTARIAS 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 PLOCIENO. 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 VOLCANOSEDIMENTARIAS. Rocas clásticas estratificadas, tobas volcánicas, basaltos, aglomerados y rocas volcánicas submarinas.

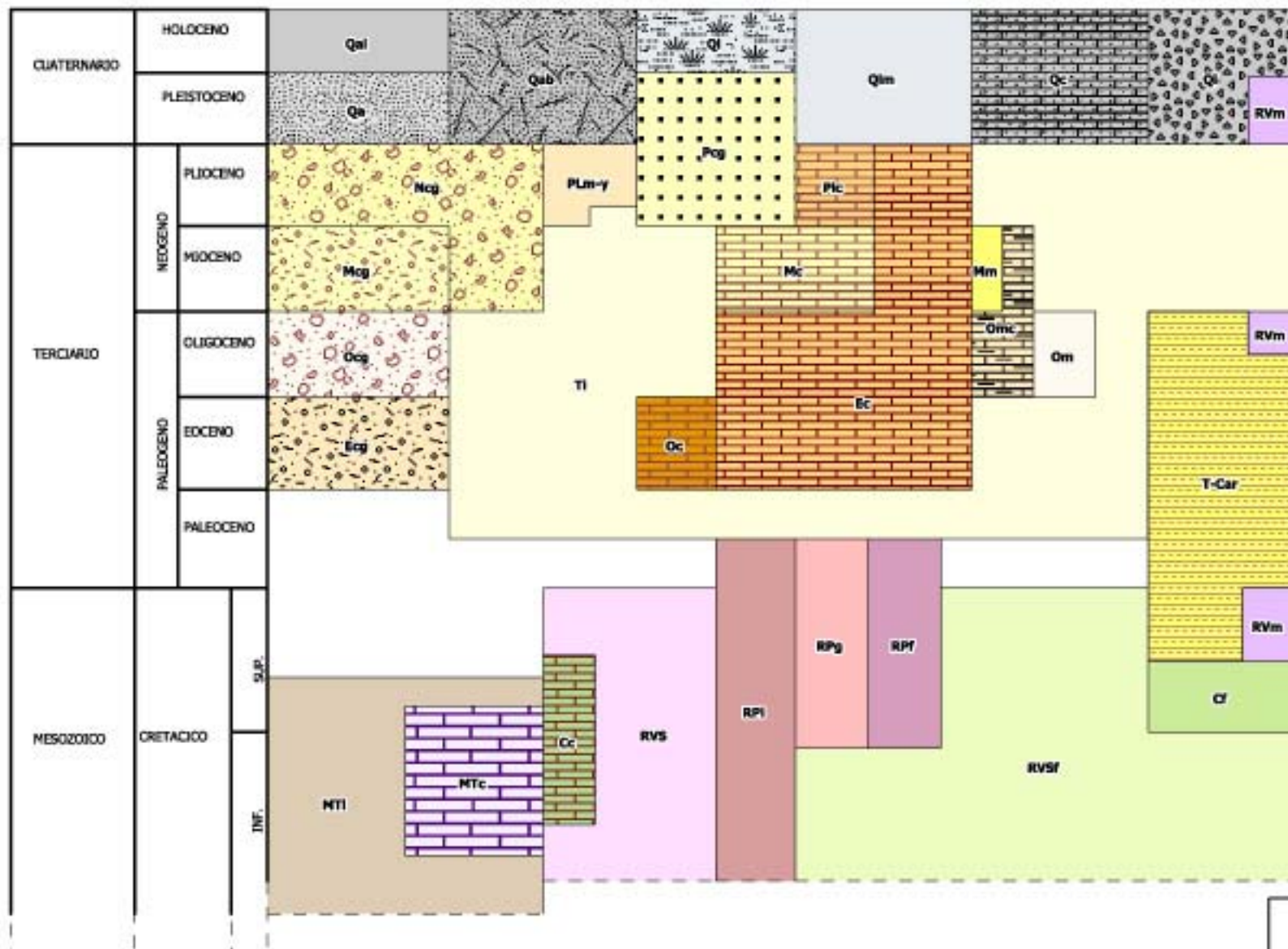
LEYENDA HIDROGEOLOGICA

REPÚBLICA DOMINICANA



PROGRAMA SYSMIN

OCTUBRE - 2004



LEYENDA CRONOESTRATIGRÁFICA

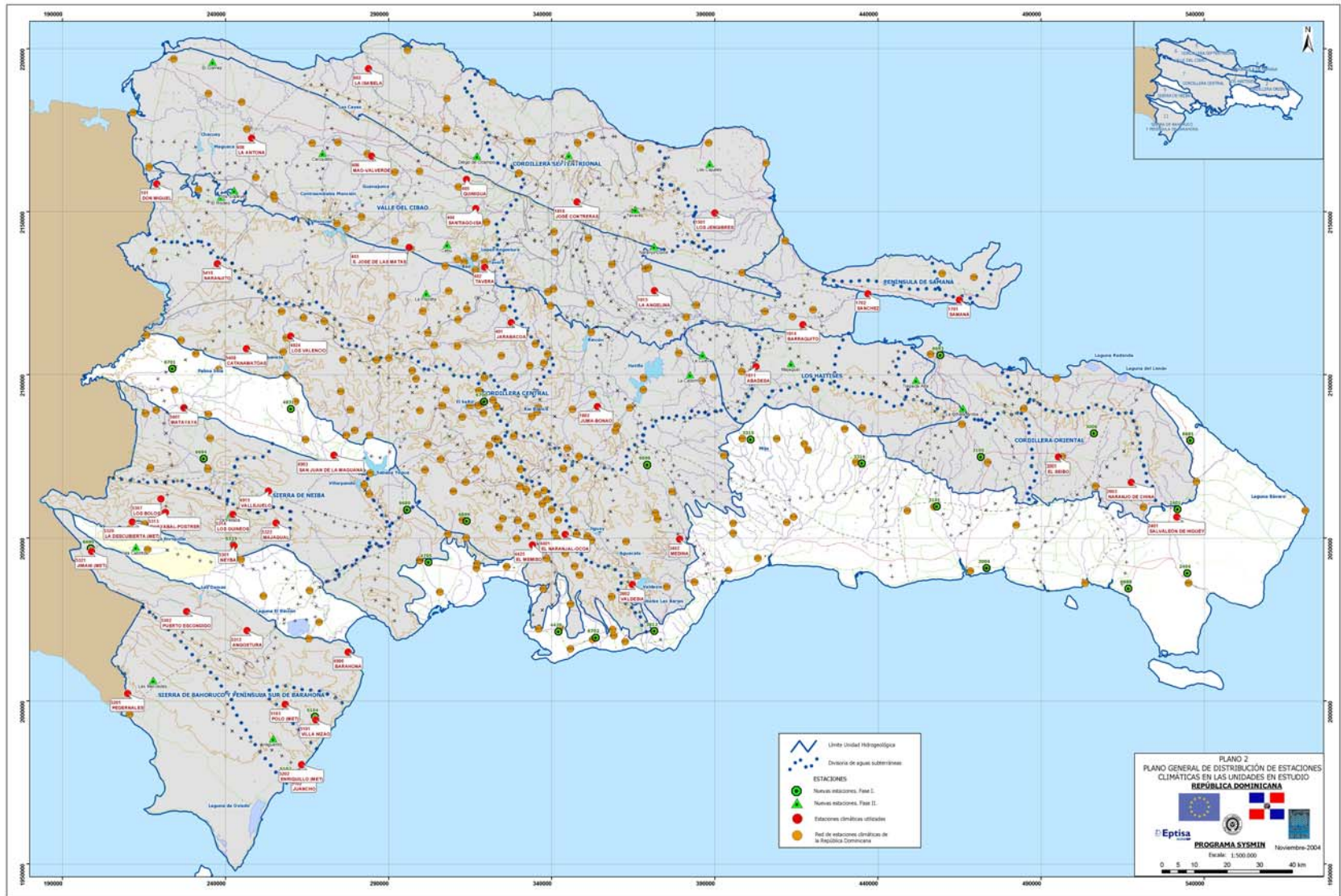
REPÚBLICA DOMINICANA



Eptisa



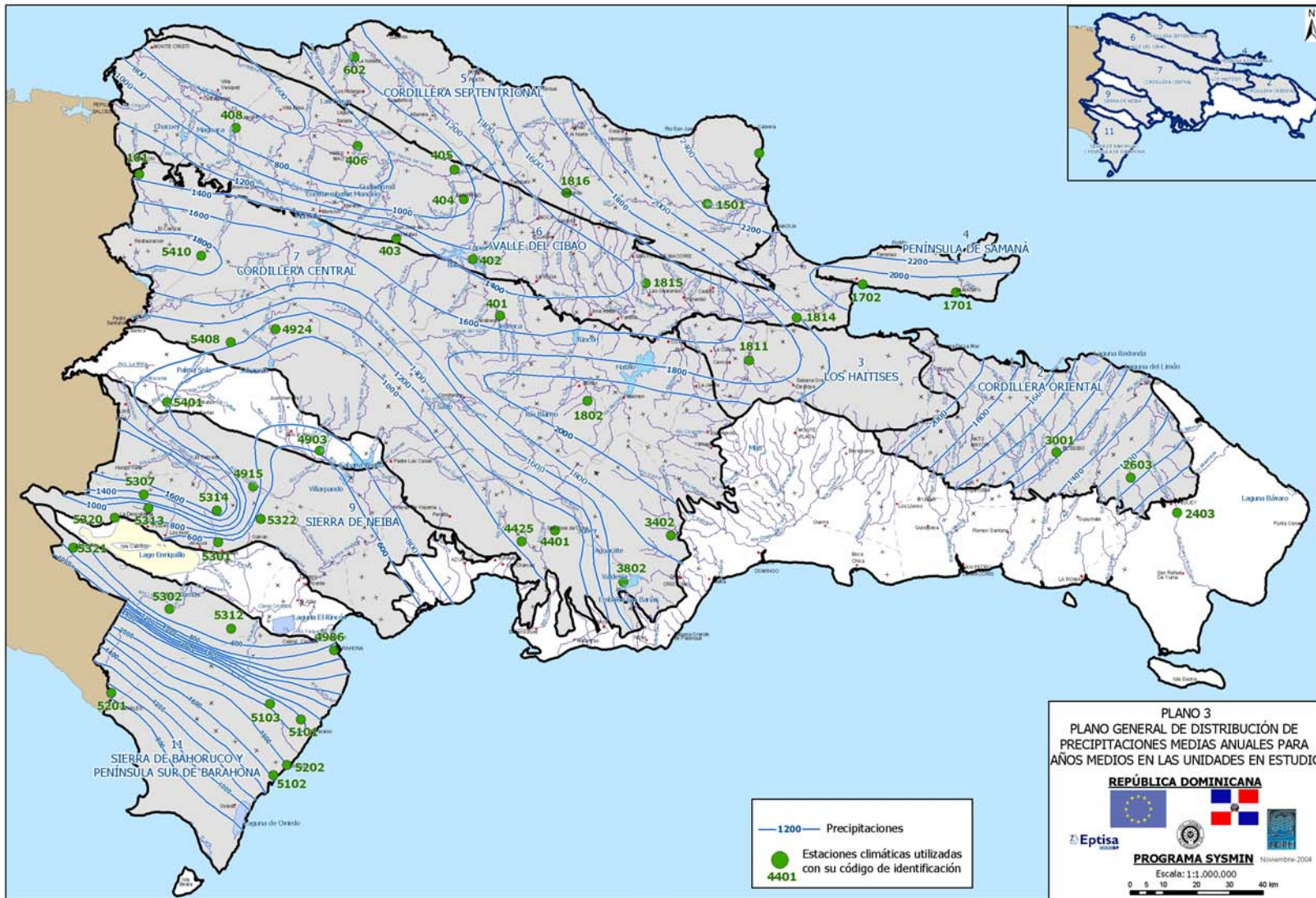
PROGRAMA SYSMIN Noviembre 2001

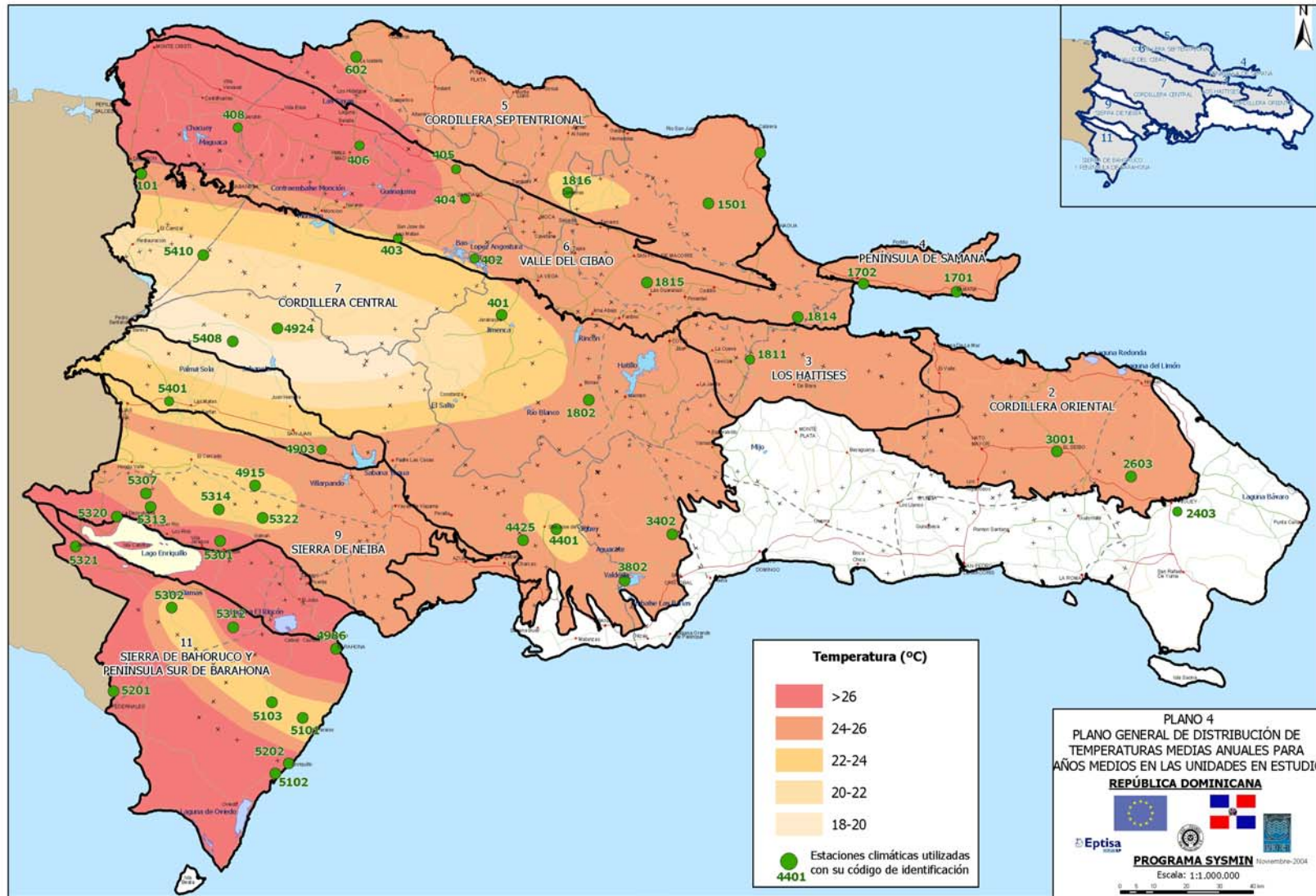


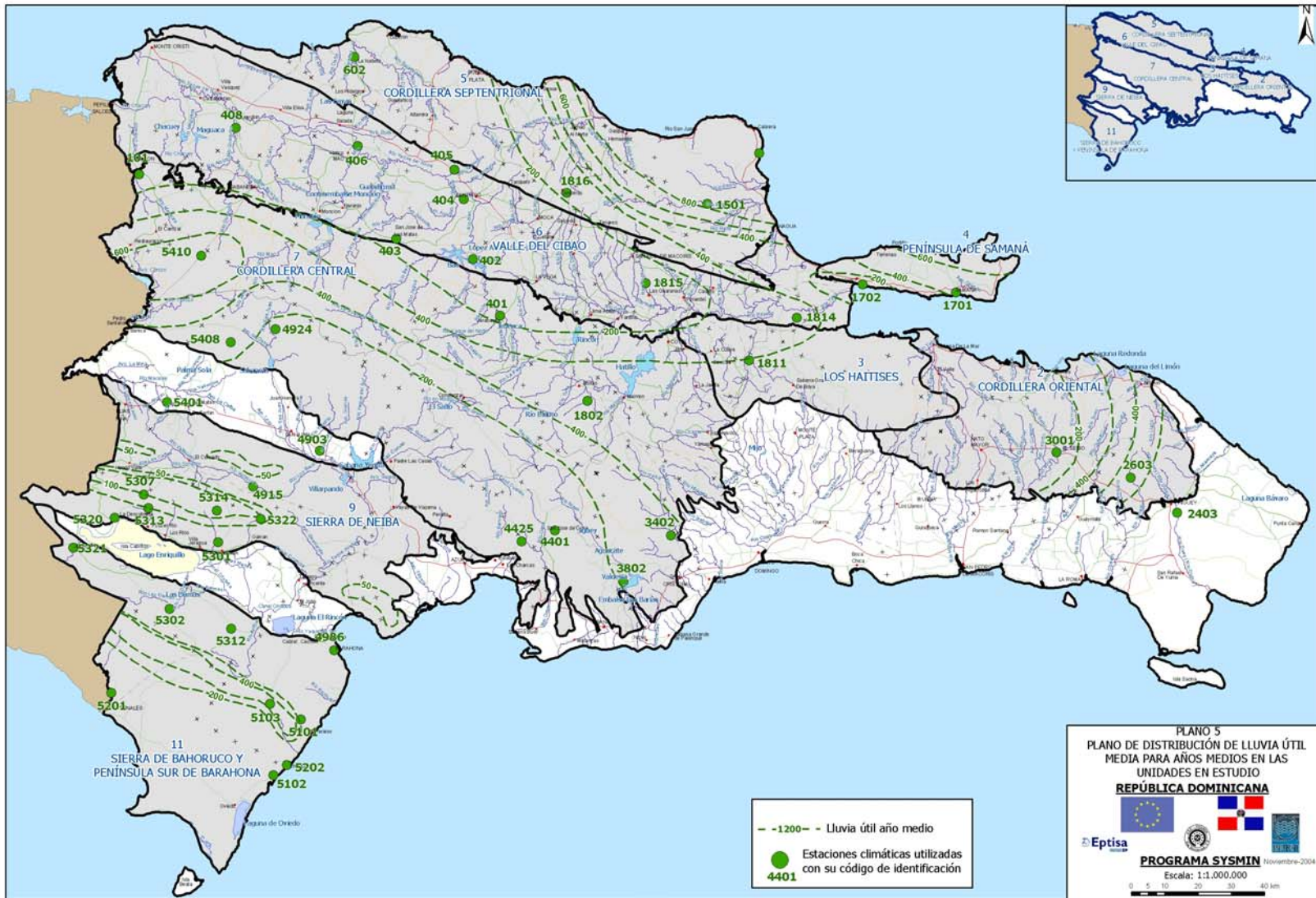
Línea Unidad Hidrográfica
 División de aguas subterráneas
ESTACIONES
 Nueva estaciones, Fase I.
 Nueva estaciones, Fase II.
 Estaciones climáticas utilizadas
 Red de estaciones climáticas de la República Dominicana

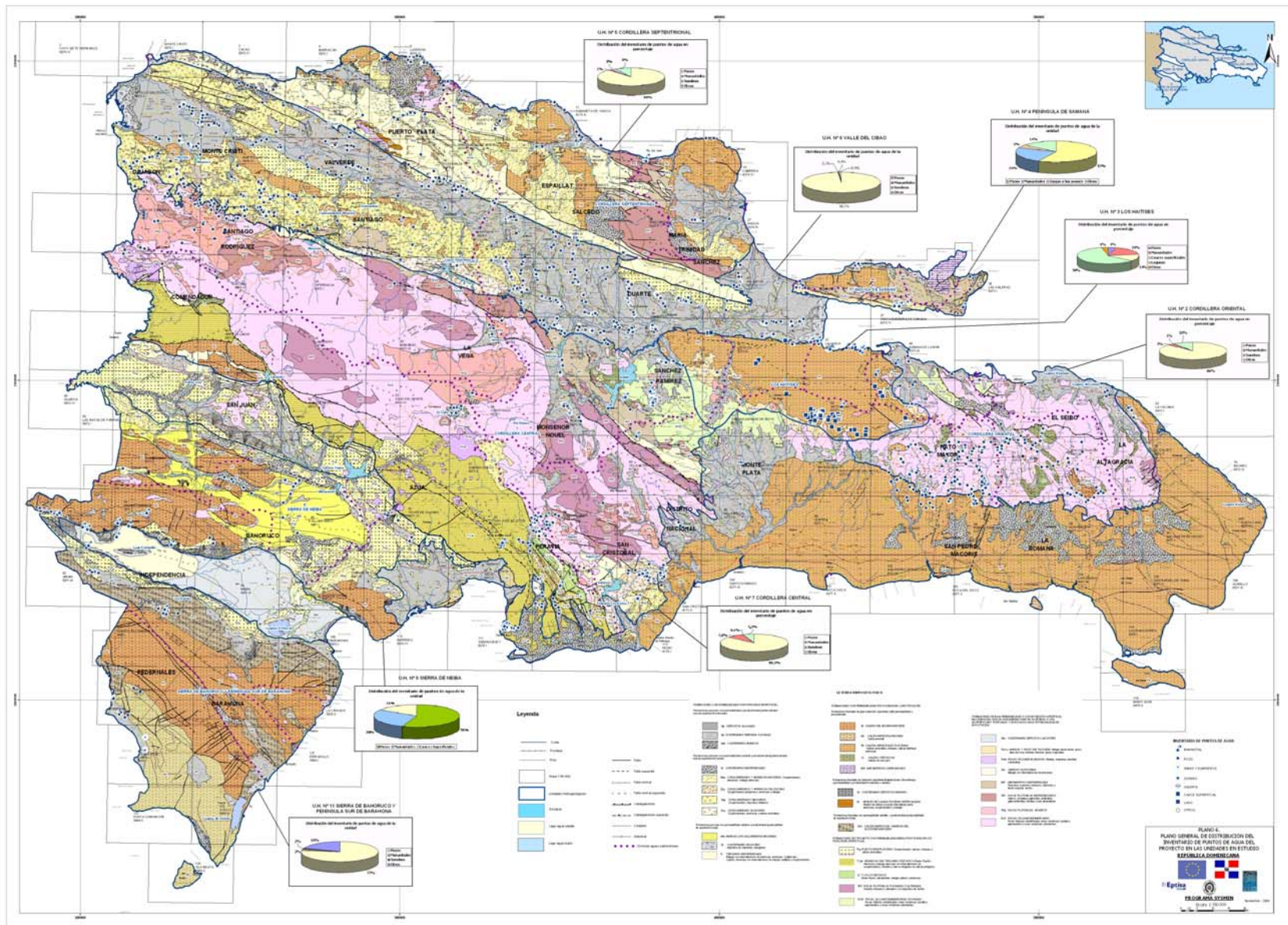
PLANO 2
PLANO GENERAL DE DISTRIBUCIÓN DE ESTACIONES CLIMÁTICAS EN LAS UNIDADES EN ESTUDIO
REPÚBLICA DOMINICANA

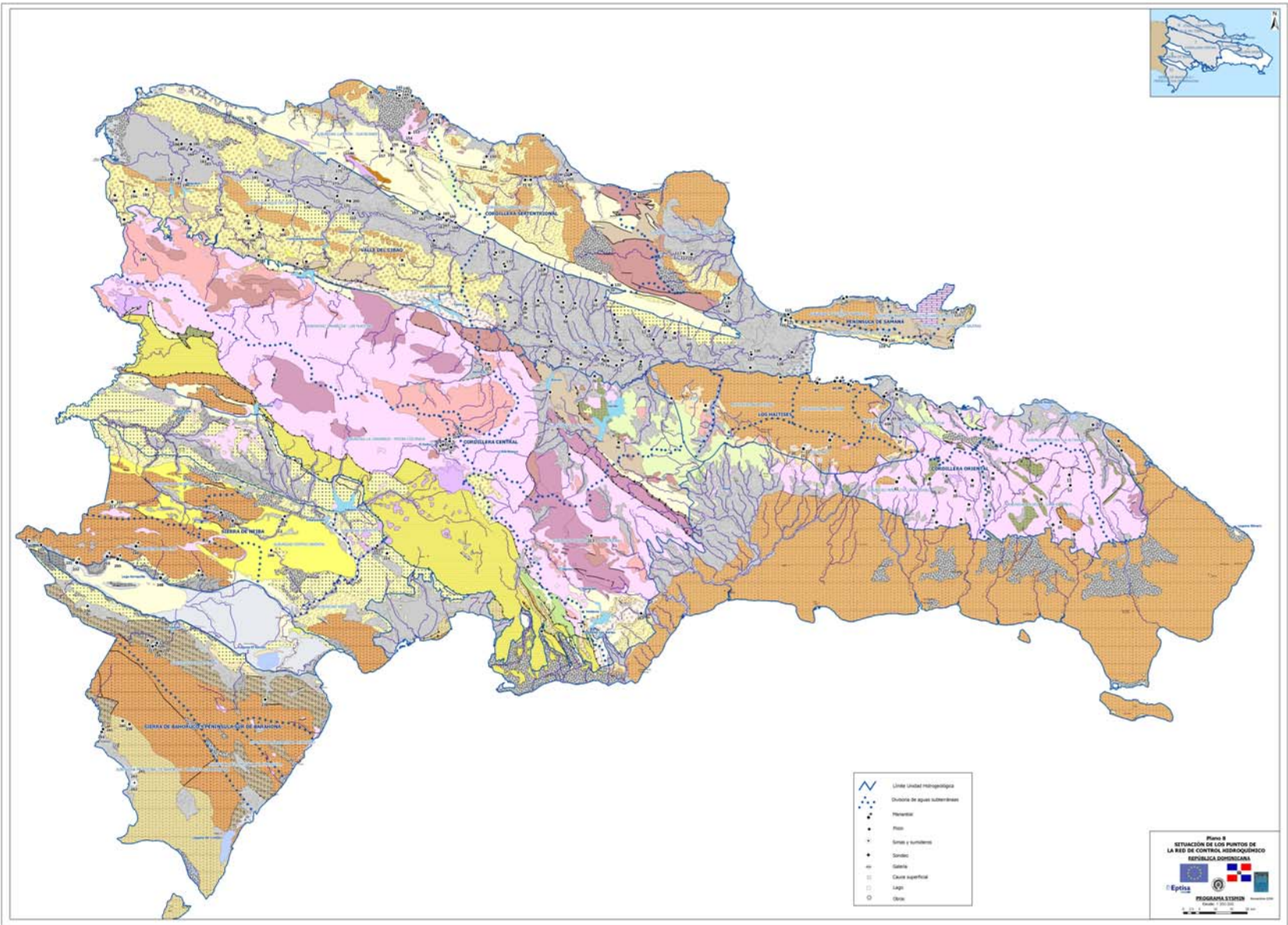
PROGRAMA SYSMIN Noviembre 2004
 Escala: 1:500.000
 0 5 10 20 30 40 km

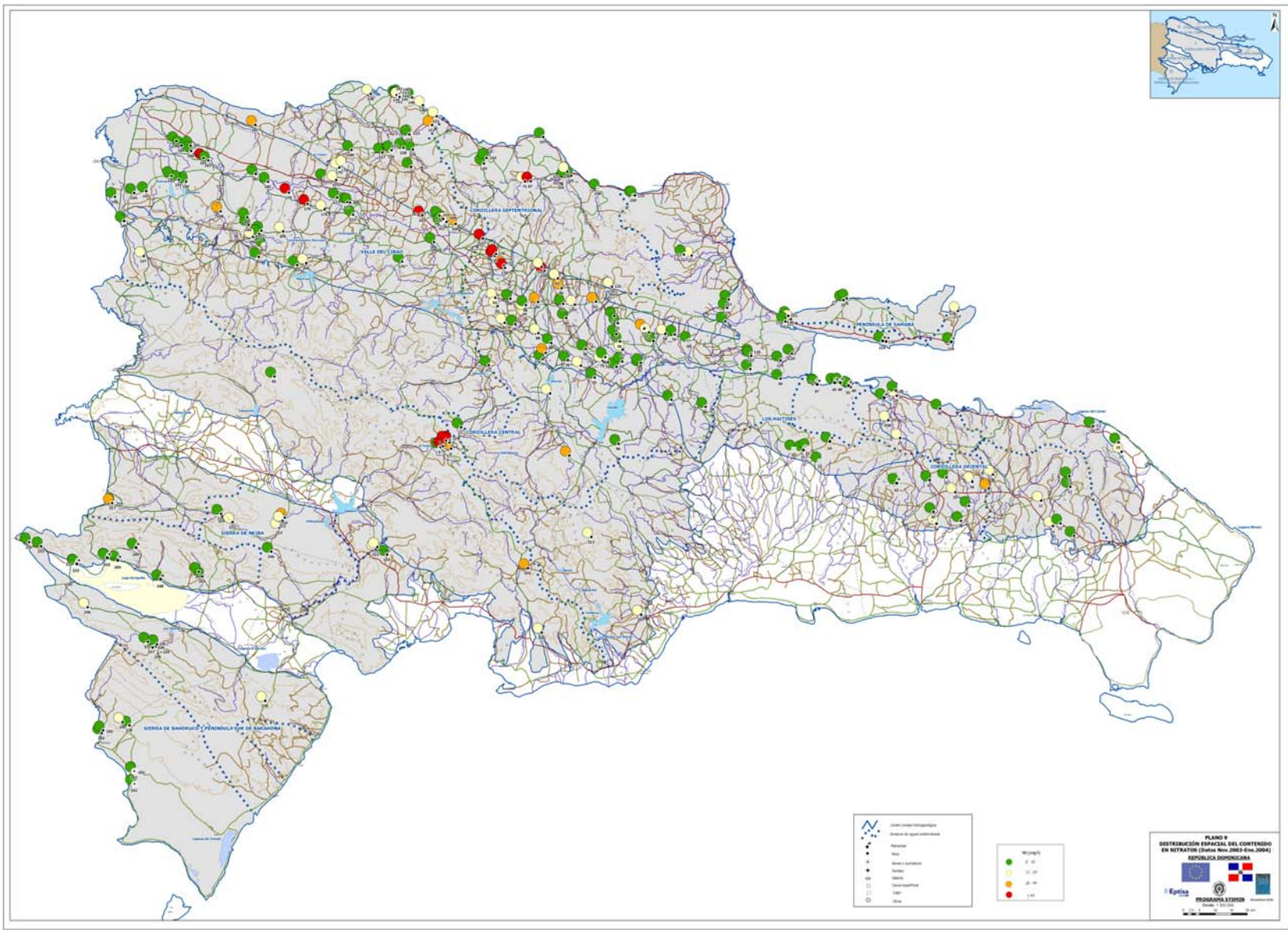


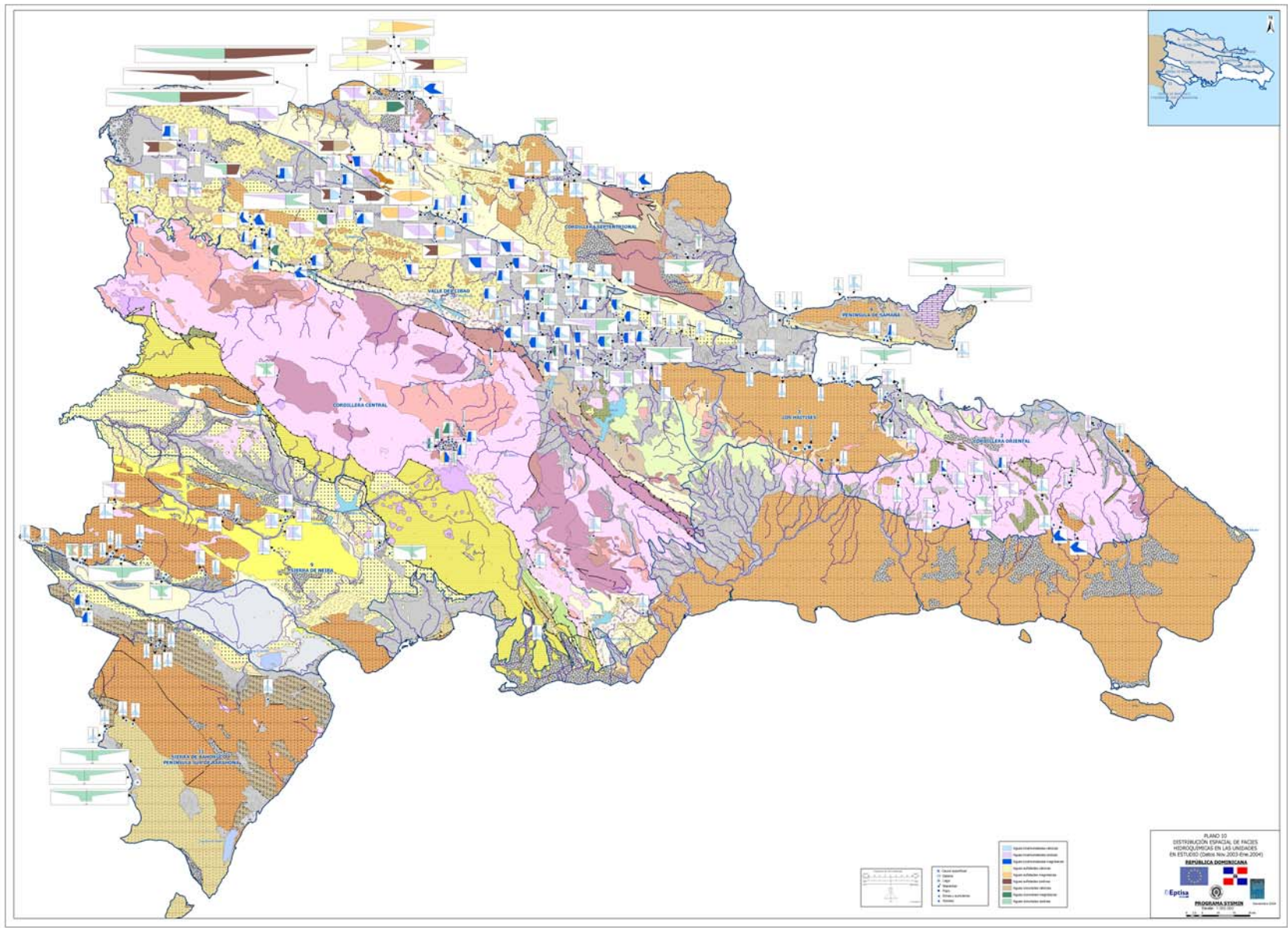


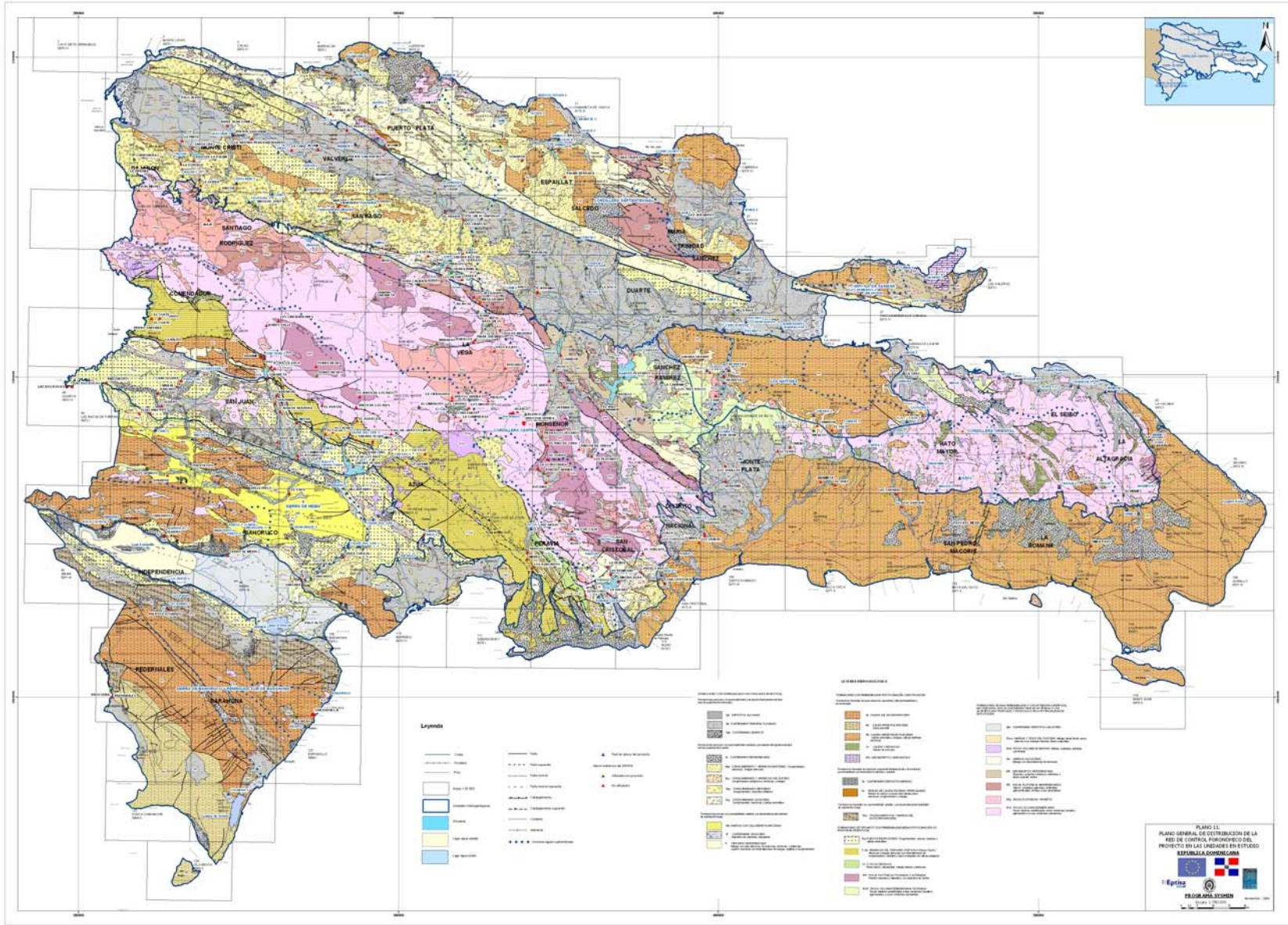












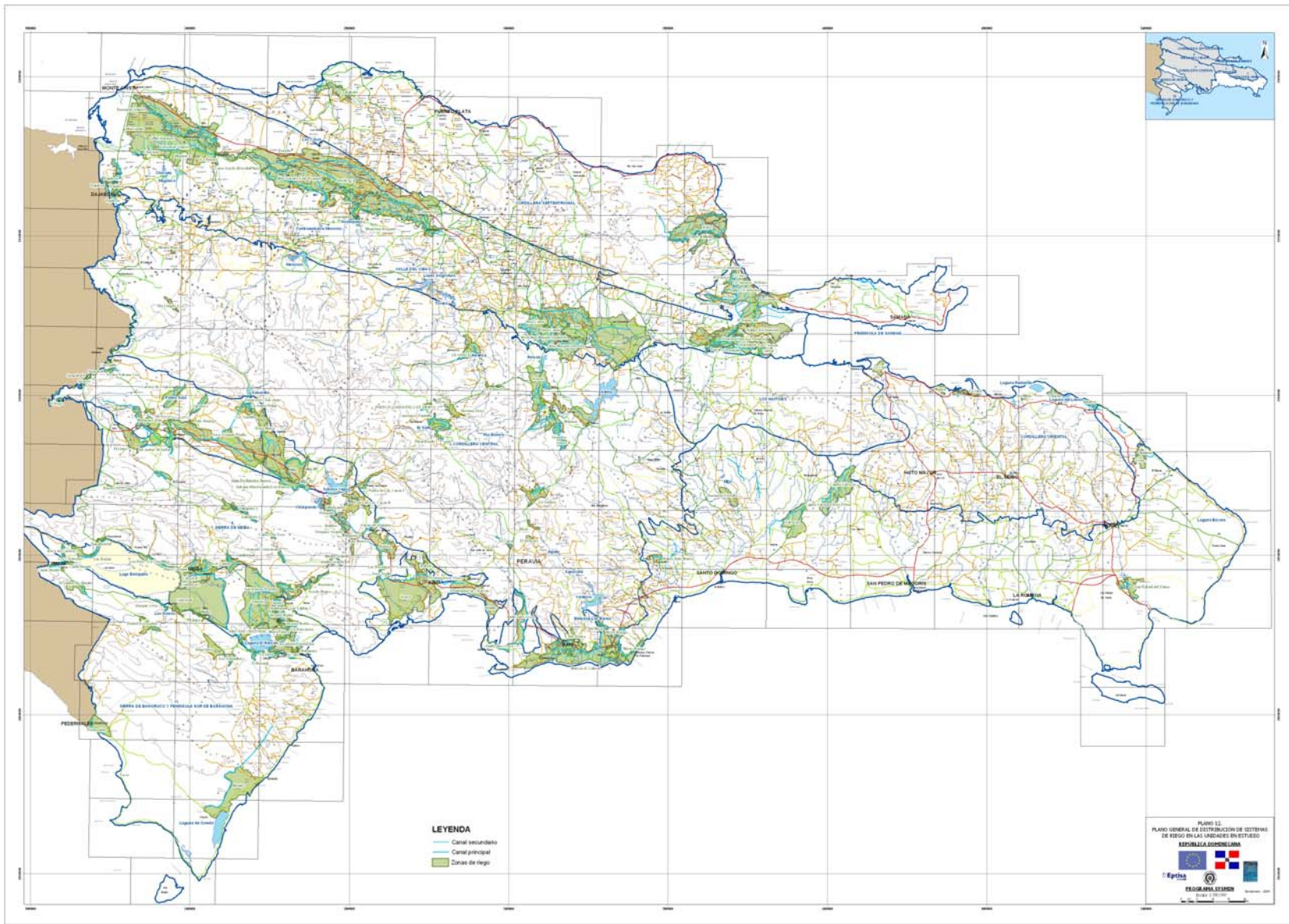
Legend

Carreteras	Carretera Nacional	Carretera Provincial	Carretera Municipal	Carretera Comunal
Ríos	Caño	Arroyo	Cañal	Caño
Distrito	Municipio	Municipio	Municipio	Municipio
Subestación	Subestación	Subestación	Subestación	Subestación

LEYENDA SIMBOLÓGICA

Red de distribución	Red de distribución	Red de distribución	Red de distribución
Red de distribución	Red de distribución	Red de distribución	Red de distribución
Red de distribución	Red de distribución	Red de distribución	Red de distribución
Red de distribución	Red de distribución	Red de distribución	Red de distribución

PLANO 11:
 PLANO GENERAL DE DISTRIBUCIÓN DE LA
 RED DE LÍNEAS FORNECEDOR DEL
 PROYECTO DE LAS UNIDADES EN ESTUDIO
 REPÚBLICA SOCIALIZADA



LEYENDA

- Canal secundario
- Canal principal
- Zonas de riesgo

PLANO 12
 PLANO GENERAL DE DISTRIBUCIÓN DE SISTEMAS
 DE REGADO EN LAS SIERRAS DE ESTREO
 REPUBLICA DOMINICANA

REGIMINA LEON

