
ÍNDICE

1 INTRODUCCIÓN	5
2 PRINCIPALES LINEAMIENTOS SOCIO ECONÓMICOS GENERALES	6
3 CLIMATOLOGÍA	10
4 OROGRAFÍA , HIDROGRAFÍA Y GEOMORFOLOGÍA	12
5 LINEAMIENTOS GEOLÓGICOS Y TECTÓNICOS	14
5.1 Geología	14
5.2 Tectónica	18
6 ACTIVIDADES DE CAMPO Y ESTUDIOS	20
6.1 Actividades preliminares	20
6.1.1 Colección de los datos y recopilación de antecedentes	20
6.1.2 Inventario de puntos de agua	25
6.2 Base de datos y Sistema de Información Geográfica (SIG)	29
6.2.1 Realización de una base de datos	29
6.2.2 Implementación de un sistema de información geográfica	30
6.3 Piezometría	33
6.3.1 Campañas piezométricas	33
6.3.2 Determinación de las coordenadas plano-altimétricas de puntos de agua	35
6.3.3 Levantamiento taquimétrico de puntos de agua	37
6.4 Hidroquímica e intrusión marina	39
6.4.1 Muestreo y análisis para la calidad de las aguas	39
6.4.2 Muestreo y análisis isotópicas	41
6.4.3 Muestreo y análisis para la potabilidad	41
6.4.4 Muestreo y análisis para aguas minerales y minero-medicinales	44
6.4.5 Control de la salinidad y de la intrusión marina	46
6.5 Geofísica	47
6.5.1 Objetivos de las campañas geofísicas	47
6.5.2 Cantidades previstas y ejecutadas	47
6.5.3 Metodologías de prospección y de interpretación utilizadas	47
6.5.4 Equipos utilizados	50
6.5.5 Interpretación de los resultados	50
6.6 Realización de sondeos de exploración y de ensayos de bombeo	53
6.6.1 Realización de sondeos de exploración	53
6.6.2 Realización de ensayos de bombeo	54

6.7 Integración de la red meteorológica existente	56
6.8 Hidrología	57
6.8.1 Campañas de aforos en los ríos y canales	57
6.8.2 Instalación de regletas hidrométricas	58
6.8.3 Evaluación de la recarga	58
6.8.4 Estudios hidrológicos - modelización lluvia-escorrentía	59
6.9 Agronomía - Edafología	62
6.9.1 Campaña agronómica y edafológica	62
6.9.2 Identificación zonas con regadío actual y de zonas potencialmente regables	63
6.10 Evaluación de la utilización del agua	68
6.10.1 Instalación de contadores volumétricos	68
6.10.2 Balances hídricos aguas subterráneas	69
6.10.3 Balances hídricos aguas superficiales	70
6.11 Cartografía temática	72
6.11.1 Realización de cartografía hidrogeológica	72
6.11.2 Realización de cartografía de vulnerabilidad	73
6.12 Modelización	83
6.12.1 Modelos matemáticos de flujo de las aguas subterráneas	83
6.12.2 Utilización conjunta de las aguas subterráneas y superficiales	85
7 RESULTADOS OBTENIDOS	86
7.1 Acuíferos y aguas subterráneas	86
7.1.1 Caracterización hidrogeológica de las diferentes formaciones geológicas	86
7.1.2 Pozos, sondeos y manantiales	89
7.1.3 Piezometría	90
7.1.4 Calidad de las aguas subterráneas - caracterización hidroquímica	92
7.1.5 Salinidad e intrusión marina	95
7.1.6 Resultados análisis isotópicos, edad de las aguas y zonas de recarga	95
7.1.7 Relaciones ríos-acuíferos	96
7.1.8 Evaluación de la recarga - infiltración eficaz	96
7.1.9 Modelos matemáticos de flujo	98
7.1.10 Recursos hídricos y reservas hídricas	98
7.1.11 Utilización de las aguas subterráneas	100
7.1.12 Vulnerabilidad	101
7.2 Aguas superficiales	103
7.2.1 Régimen hidrológico y recursos hídricos	103
7.2.2 Utilización de las aguas superficiales	103
7.2.3 Modelos matemáticos lluvia-escorrentía	105
7.3 Agronomía – Edafología	107
7.3.1 Resultado de la investigación edafológica e identificación de zonas potencialmente regables	107
7.3.2 Identificación de zonas con regadío actual	107
8 CANTIDADES EXPLOTABLES DE AGUA	109

9 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	111
9.1 Resumen de datos generales y socio-económicos	111
9.2 Clima	113
9.3 Orografía, Hidrografía y Geomorfología	114
9.4 Geología y tectónica	115
9.4.1 Geología	115
9.4.2 Tectónica	116
9.5 Actividades preliminares, base de datos y SIG	117
9.6 Actividades de campo y estudios	119
9.6.1 Monitoreo piezométrico y actividades relacionadas	119
9.6.2 Monitoreo de calidad	120
9.6.3 Monitoreos especiales (isotopos, aguas minero-medicinales, potabilidad)	120
9.6.4 Control de la salinidad y de la intrusión marina	120
9.6.5 Geofísica	120
9.6.6 Perforación y ensayos de bombeo	121
9.6.7 Integración de la red meteorológica existente	123
9.6.8 Campañas de aforos directos e instalación regletas hidrométricas	124
9.6.9 Actividades agronómicas y edafológicas	125
9.6.10 Evaluación de la utilización del agua - Balance hídrico	127
9.6.11 Cartografía temática	128
9.6.12 Modelización aguas subterráneas	129
9.6.13 Modelización aguas superficiales	130
9.7 Resultados obtenidos	131
9.7.1 Caracterización hidrogeológicas de las diferentes formaciones geológicas y acuíferos presentes	131
9.7.2 Pozos, sondeos y manantiales	132
9.7.3 Piezometría	132
9.7.4 Calidad de las aguas subterráneas y caracterización hidroquímica	133
9.7.5 Salinidad e intrusión marina	134
9.7.6 Resultados análisis isotópicas, edad de las aguas y zonas de recarga	134
9.7.7 Relaciones ríos-acuíferos	135
9.7.8 Evaluación de la recarga - infiltración eficaz	136
9.7.9 Vulnerabilidad	137
9.7.10 Modelos matemáticos de flujo de las aguas subterráneas	137
9.7.11 Recursos hídricos y reservas hídricas subterráneas	138
9.7.12 Régimen hidrológico y recursos hídricos superficiales	139
9.7.13 Identificación de zonas con regadío actual y potencialmente regables - Evaluación de las necesidades hídricas para el riego	141
9.7.14 Utilización de las aguas subterráneas	142
9.7.15 Utilización de las aguas superficiales	143
9.7.16 Modelos matemáticos lluvia-escorrentía	145
9.7.17 Cantidades explotables de agua	146
9.8 Recomendaciones	147
FIGURAS	153

TABLAS

154

1 INTRODUCCIÓN

Este informe presenta las actividades, las elaboraciones y los resultados del proyecto Estudio Hidrogeológico Nacional en la zona denominada “Valle de Neiba”, conforme al capítulo 6 de los Términos de Referencia y a los acuerdos y decisiones tomadas en el curso de la realización del estudio.

El área de estudio (ver Fig. 1/1), comprendida entre 18° 11' 11" y 18° 39' 17" de Latitud Norte y entre 70° 58' 36" y 72° 00' 03" de Longitud Oeste, tiene una superficie de aproximadamente 2,501 Km².

En el capítulo 2 se resumen los principales lineamientos socio económicos generales.

En el capítulo 3 se describen las características climatológicas del área, en el capítulo 4 la orografía, hidrografía y geomorfología, y en el capítulo 5 los lineamientos geológicos y tectónicos.

En el capítulo 6, por cada disciplina/método aplicado, se hace un amplia tratación de las actividades de campo y de oficina llevadas a cabo desde el inicio del proyecto, incluyendo los métodos utilizados para las elaboraciones y las interpretaciones de los datos.

En el capítulo 7 se encuentran reunidos todos los resultados alcanzados en los diferentes aspectos/componentes del estudio hidrogeológico.

En el capítulo 8 se indican de forma clara y lineal las cantidades de agua subterránea y/o superficial explotables para satisfacer a las demandas de los diferentes sectores / tipos de usuario.

En el último capítulo, el 9, se reúnen las conclusiones del estudio y las recomendaciones incluyendo la indicación de futuros proyectos a desarrollar para un manejo correcto de los recursos hídricos disponibles, garantizando un desarrollo que sea sostenible en relación con dichos recursos.

El proyecto inició el 14 de Mayo de 1997 y se ha concluido en Febrero 2000 con la entrega de los informes finales. Para la redacción de este informe, se han tomado en cuenta los datos disponibles al 30.09.1999.

2 PRINCIPALES LINEAMIENTOS SOCIO ECONÓMICOS GENERALES

Los datos presentados en este capítulo fueron tomados de diferentes documentos oficiales de la República Dominicana (ver bibliografía), eventualmente puestos al día utilizando las tasas de crecimiento indicadas en los documentos mismos para cada tipología de datos.

La zona estudiada está dividida entre las tres provincias de:

- Bahoruco (municipios de Neiba, Galván, Los Ríos, Tamayo, Uvilla y Villa Jaragua);
- Independencia (municipios de Jimaní, Duvergé, La Descubierta, Postrer Río, Mella y Cristóbal)
- Barahona (municipios de Barahona, Cabral, Las Salinas, Vicente Noble, El Peñón y Fundación)

y comprende totalmente o parcialmente el territorio de los municipios indicados.

La población de estos municipios se estima hoy como está indicado en la siguiente tabla:

Municipio	Habitantes
Neiba	46,716
Galván	16,041
Los Rios	7,736
Tamayo	21,869
Uvilla	16,937
Villa Jaragua	11,668
Jimani	9,353
Duvergé	14,493
La Descubierta	7,153
Mella	2,982
Postrer Rio	5,394
Cristóbal	5,945
Barahona	77,756
Cabral	15,660
Las Salinas	6,738
Vicente Noble	20,806
El Peñón	9,061
Fundación	8,808

La población total de estos 18 municipios se estima hoy a 305,117 habitantes de los cuales el 39% viven en zonas rurales y el 61% en áreas urbana. Se puede estimar además que la población que vive realmente en el área de estudio representa el 95% de la población total de los 18 municipios. Con este asunto se puede calcular que la población del área de estudio es de aproximadamente 289,860 habitantes de los cuales 130,045 viven en zonas rurales y 159,815 en áreas urbanas (el 51.4% son hombres y 48.6% mujeres).

Por lo que atañe a la instrucción el nivel de alfabetismo se divide así por municipio:

Municipio	% analfabeto
------------------	---------------------

Neiba	33.47
Galván	42.42
Los Rios	34.99
Tamayo	30.53
Uvilla	42.98
Villa Jaragua	38.70
Jimani	31.65
Duvergé	25.64
La Descubierta	32.26
Mella	30.45
Postrer Rio	41.36
Cristóbal	56.75
Barahona	22.30
Cabral	30.79
Las Salinas	31.38
Vicente Noble	32.21
El Peñón	26.42
Fundación	31.10

La tasa media de analfabetismo se calcula en un 31.6%.

La población económicamente activa representa el 30.7 % de la población total. La repartición en porcentaje de las categorías ocupacionales, está indicada a continuación.

Categoría ocupacional	Repartición en %
Patrón o empleador	2.5
Trabajador por propia cuenta	39.6
Trabajador servicio doméstico del hogar	0.9
Trabajador asalariado	51.2
Trabajador familiar no pagado	5.8

La importancia de las diferentes actividades productivas y de servicios en el área (calculada tomando como parámetro de referencia el número de ocupados por cada sector), puede ser así definida, en orden decreciente:

Actividades productivas	Incidencia en %
Agricultura, silvicultura	47.62
Servicios comunales, sociales y personales	17.15
Industrias manufactureras	8.99
Comercio y turismo	6.90
Construcción	5.19
Transporte y telecomunicaciones	3.23
Estab. financieros, seguros, bienes, inmuebles y servicios prestados a las empresas	1.34
Pesca	1.16
Electricidad, gas y agua	0.70
Explotación de minas y canteras	0.40

Otro

9.10

Las actividades agrícolas son las más importantes del área. En segundo lugar están los servicios locales. Las actividades industriales ocupan la tercera posición por importancia como fuente de ocupación. El cuarto lugar está ocupado por el turismo que, en estos últimos años, ha crecido en la zona costera de Barahona y en la del Lago Enriquillo.

A continuación se indican por cada área de producción / servicio, los productos / características principales.

Área industrial

En el territorio incluido en el área del proyecto, las principales producciones industriales son la textil (esencialmente en la zona franca pública de Barahona) y la alimenticia (industrias privadas).

Área agrícola y ganadera

En el territorio incluido en el área del proyecto, las principales producciones son las siguientes:

Productos agrícolas: Plátanos, Caña de azúcar, Guandules y Hortícolas en general.
Productos ganaderos: actividad muy reducida, aparecen algunos caprinos.

Área de la pesca

No existe una actividad pesquera desarrollada y organizada a nivel industrial. Sólo existe la pesca de bajura con pocos barcos pequeños a distancias no muy grandes de la costa. Los productos principales son lambí, mero, sierra y atún en la zona de Barahona. En la desembocadura del Río Yaque del Sur, se pescan esencialmente lisas y en las aguas internas del mismo río y en la Laguna de Rincón, tilapias.

Área turística

El turismo no está muy desarrollado, pero está presente. En la costa existen buenos Hoteles en el área de Barahona, donde se encuentran turistas extranjeros (esencialmente norteamericanos).

Una buena potencialidad de desarrollo turístico en zonas internas está representada por los balnearios en el sector del Lago Enriquillo, algunos de los cuales podrían ser explotados en escala más amplia que la actual (sólo turismo interno y local).

Por lo que atañe al turismo ambiental, que no está desarrollado de manera conforme a sus potencialidades, existen los parques de:

- La Descubierta - Isla Cabrito,
- Laguna de Rincón,
- Sierra de Bahoruco.

Un área científica se encuentra en correspondencia de la Laguna de Rincón.

Área minera / extractiva

A parte de la extracción de arena y grava para la construcción (esencialmente concentrada en el sector occidental del área de estudio), las actividades en esta área tienen un cierto desarrollo, aunque no ocupan una posición muy importante como fuente de empleo. Se extraen Sal y Yeso en correspondencia de la loma homónima, Caliza (en la provincia de Independencia, al Norte del lago Enriquillo) y Travertino (zona de Vicente Noble).

Área de infraestructuras y servicios

La red de carreteras, es de calidad medio-baja en el área y no está muy desarrollada.

En el área de estudio se encuentran el puerto y el aeropuerto de Barahona, únicos en toda la Región Sur.

La distribución de electricidad es muy carente tanto en las áreas urbanas, como en las zonas rurales, donde el servicio no alcanza todos los pueblos.

El servicio telefónico y la cobertura celular son buenos en la zona de Barahona. No se puede decir la misma cosa en las áreas más internas.

3 CLIMATOLOGÍA

Para el desarrollo del análisis de las características climáticas del área, se tomaron en consideración los datos básicos medidos en 14 estaciones, a saber en:

- 3 estaciones pluviométricas/gráficas del INDRHI (período 1961-1996);
- 5 estaciones climatológicas del INDRHI (período 1967-1996);
- 3 estaciones climatológicas de la ONAMET (período 1961-1990 y año 1997);
- 3 estaciones climatológicas de la ONAMET (período 1939-1997);

Los datos climáticos básicos fueron facilitados en base temporal diaria (INDRHI, y ONAMET) y mensual (ONAMET) y necesitaron de una verificación y depuración larga y cuidadosa para llegar a una información confiable para los sucesivos análisis y elaboraciones.

Las características principales del clima se pueden así sintetizar (para mayores detalles, refiérase al Anexo Memorias n° 1):

- el promedio de lluvia anual de la zona hidrogeológica del Valle de Neiba es de 683.2 mm, a nivel de estación los valores anuales medios oscilan entre 446 mm (Tamayo) y 1527 mm (Los Bolos, cuenca alta río Barrero, Sierra de Neiba), la precipitación promedio sobre el lago Enriquillo es alrededor de los 600 mm/a;
- el territorio de interés está caracterizado por una elevada variabilidad espacial y temporal de la precipitación y no hay correlación con la altura ni entre estaciones cercanas;
- la variación mensual de la precipitación presenta un régimen de tipo bimodal con época lluviosa en la primavera (en términos generales en los meses de mayo y junio) y en verano-otoño (desde agosto hasta noviembre) y con sequía en el invierno y en julio. Pero si la marcha intranual está bastante homogénea en todo el territorio examinado, los meses máximos y mínimos relativos tienen una elevada variabilidad de un lugar al otro, y también entre estaciones bastante cercanas;
- las áreas más lluviosas se localizan en las cuencas alta de la Sierra de Neiba, las más secas a lo largo del alineamiento lago Enriquillo - El Peñón;
- se ha verificado, por las series históricas de la lluvia anual, como representativo a escala regional, el modelo logarítmico-normal por sus mejores resultados absolutos y relativos respecto a los modelos normal-Gauss y gamma-Pearson II (aplicación del test de χ^2 al nivel de significación del 95%), todavía a escala local (Angostura) pueden tener más validez otros modelos, como por ejemplo eso de Gauss.
- en el área cerrada alrededor del lago Enriquillo el coeficiente de variación CV de la lluvia total anual asume, en sentido estadístico, el mismo valor en toda el área, es decir $CV = 0.275$;
- la temperatura media del aire presenta valores anuales que fluctúan entre menos de 23 °C (Puerto Escondido) y más de 28 °C (Duvergé), la variación intranual de la temperatura media oscila entre 3 y 4 °C, y, en todo el área de estudio, el período de

mayores temperaturas corresponde a los meses de julio a agosto y lo de mínima a los meses de enero y febrero;

- los valores de la evaporación de tanque A medidos oscilan entre 1547 mm (Guayabal Poster Río) y alrededor de los 2450 mm (Neiba y Barahona), todos los meses presentan valores elevados de la evaporación. Debido reducido numero y heterogeneidad de los meses de medida completa de la evaporación, las medidas de evaporación utilizadas en el estudio, que en algunas estaciones llegan ciertamente a valores mensuales y anuales subestimados, tienen el sentido de indicación de la magnitud del fenómeno y, sobre todo, de su marcha.
- la ecuación de Hergreaves-Samani ha sido elegida como método de referencia para evaluar la evapotranspiración potencial ETPo por que tiene, a escala de toda el área de estudio del Caribe, el mejor ajuste, en sentido relativo, con la marcha mensual de los valores de la evaporación de tanque A (EPan). Todavía a escala local pueden tener más validez otros métodos, como por ejemplo eso de Turc y/o de Blaney-Criddle.
- la distribución de la ETPo anual tiene una cierta correlación con las características morfológicas, el promedio anual es de 1770 mm, a nivel de estación los valores anuales medios oscilan entre 1651 mm (El Peñón) y 1925 mm (Angostura);
- el balance entre la precipitación media anual y la ETPo (de Hergreaves-Samani) llega a encontrar las áreas más secas, donde se señala un déficit hídrico alrededor de todo el año, en las zonas a lo largo del alineamiento lago Enriquillo - El Peñón. En cambio, las áreas húmedas se encuentran en las zonas altas de la Sierra de Neiba y cerca de Barahona.

4 OROGRAFÍA , HIDROGRAFÍA Y GEOMORFOLOGÍA

El valle de Neiba se extiende desde la Sierra de Martín García y la Bahía de Barahona al E, y el límite con Haití al O. Los límites N y S están representados, a lo largo de grandes lineamientos tectónicos, por las áreas montañosas de la Sierra de Neiba y de Bahouruco.

El río más importante del valle es el Yaque del Sur, en la extremidad oriental del área de estudio. Este río llega desde el área del pueblo de Barranco, y se extiende en dirección SO hasta el pueblo de Tamayo. Aguas abajo de Tamayo, la dirección del río se modifica radicalmente, hacia el SE y E cruzando un área de alto estructural (laguna de Rincón-Sierra de Martín García), nuevamente hacia el SO, para modificar definitivamente su marcha en proximidad del pueblo de Cabral y de la laguna de Rincón, con dirección E y salir al mar Caribe.

Además del río Yaque del Sur, otros ríos se encuentran en el área de estudio. Trátase generalmente de ríos pequeños y de una cierta importancia sólo para los pueblos de los alrededores.

Por lo que se refiere a lagos y lagunas saladas, el elemento más llamativo está constituido por la extensa cuenca del lago Enriquillo, al O. Subordinadamente se indica la presencia de una cuenca de tamaño más reducido , la laguna de Rincón, en el límite SE del área. Trátase de elementos clave en el esquema general del valle, en particular el lago Enriquillo, que representa la base de drenaje del flujo superficial y subterráneo de la región.

Desde el punto de vista estrictamente morfológico, el sector se distingue por la presencia de una llanura interna, delimitada por relieves marginales de alta elevación que en la porción meridional resultan articulados por la presencia de numerosas cuencas internas de tamaño variable.

El levantamiento de las partes marginales ha determinado la formación de numerosos conoides aluviales y/o de deyección, también de dimensiones notables, que caracterizan a ambas laderas de la cuenca.

La zona interna de la cuenca está constituida por un valle de morfología plana, ocupado en la parte occidental por el vasto lago de Enriquillo.

En la parte oriental, en proximidad de la Bahía de Neiba, a la llanura de origen lacustre se le sobrepone el valle aluvial del río Yaque del Sur.

En su trecho inicial el río Yaque del Sur atraviesa, con curso meandriforme, los terrenos neogénicos al NE de Vicente Noble; en el ingreso a la llanura los límites del cauce activo no pueden definirse más por foto aérea exclusivamente. Amplias áreas de sobrealuvionamiento están presentes en el sector de Tamayo, hasta las proximidades de la dorsal transversal representada por los relieves al N de la Laguna de Rincón.

En el trecho terminal del río, aguas abajo de El Peñón, está presente la unión de un brazo inactivo, llamado Río Viejo, que ha representado el curso del río hasta tiempos recientes; durante este siglo, por motivos no bien comprendidos, ligados quizás a un evento aluvial de excepcional intensidad, el río ha desviado el propio curso desbordando en dirección S, asumiendo una nueva trayectoria hasta La Hoya, en correspondencia de la cual se une nuevamente al viejo trazado fluvial.

Los depósitos calcáreos organógenos que delimitan actualmente al lago Enriquillo forman una franja de morfología casi tabular que se desarrolla desde la cota 0 hasta aproximadamente -30m s.n.m., constituyendo también, y de manera más extensa, el suave relieve sub-tabular de Tierra Prieta; en este último las cotas de hallazgo de los depósitos alcanzan también los 80 m s.n.m..

Una de las características de los relieves calcáreos y calcáreo margosos que flanquean a la llanura de Neiba es la aspereza de los vertientes con partes apicales morfológicamente maduras.

En los relieves calcáreos al N de la meseta de Tierra Prieta, en el margen occidental del área de estudio están presentes mesetas de origen tectónico-kárstico constituidas por zonas de llanura y lomas con presencia circunscripta de depósitos detrítico-aluviales.

Vista la constitución calcáreo margosa de las áreas de los relieves meridionales, donde se observan formas análogas (montañas situadas detrás de Duvergé), es imposible invocar, aunque sea parcialmente, un origen kárstico de las mismas, y es plausible la hipótesis de una rápida elevación de las partes marginales de la cuenca con conservación de una morfología residual en las zonas culminantes.

La tectónica que ha intervenido en la ladera meridional ha producido un mosaico de cuencas y sub-cuencas internas de las cuales El Limón y Angostura son las más extensas.

En el caso de la cuenca de El Limón, las características son tales que se acerca a las de una cuenca endorreica; la presencia de formaciones de baja permeabilidad en el frente del lago, y la falta de cursos de agua a la salida de la cuenca, determina internamente el estancamiento estacional de las aguas superficiales.

La cuenca de Angostura está constituida predominantemente por depósitos de conoide y aun presentando una delimitación hacia la llanura central análoga a la de El Limón, los terrenos que constituyen esta barrera presentan una permeabilidad decididamente más reducida. La diferencia substancial es la existencia de dos salidas superficiales, de las cuales una está constituida por el río que corre hacia La Salina, cortando transversalmente las estructuras tectónicas, mientras que la otra es la que permite el deflujo hacia Bermesí donde se determinan condiciones estacionales de estancamiento de las aguas superficiales.

5 LINEAMIENTOS GEOLÓGICOS Y TECTÓNICOS

5.1 Geología

Los terrenos presentes en el área de estudio abrazan un arco temporal que va desde el Paleogeno al Cuaternario.

Los relieves que delimitan a ambas laderas de la cuenca están constituidos por rocas pertenecientes a las formaciones calcáreas margosas de edad eo-miocénica, con una parte frontal predominantemente representada por las formaciones de la secuencia terrígena neogénica.

El fondo de la cuenca está constituido en cambio por los depósitos recientes de origen fluvio-lacustre.

En detalle las formaciones que constituyen el área de estudio son las siguientes:

Terrenos paleogénicos

Formación de Neiba (teo-tmii'c; teo-tmis'c)

Está constituida principalmente por calizas de color claro, de micríticas a cristalinas, a pedernales, en sucesiones bien estratificadas con estratos de espesor decimétrico. Esta formación está atribuida al Eoceno y constituye, relativamente al área considerada, los relieves septentrionales y la Sierra de Martín García que representan las laderas de la cuenca central.

La sigla doble distingue una formación de Neiba s.s. (teo-tmii'c) de una unidad indiferenciada en la cual están comprendidas conjuntamente la Formación de Neiba y la Formación Sombrerito (teo-tmis'c), esta última en facies preponderantemente calcárea.

Sobre la base de lo observado tanto en el terreno como en las fotos aéreas, tal diferenciación, heredada tal cual de la del «Mapa Geológico de la República Dominicana» 1:250.000 de 1991, no ha resultado de hecho verificada ni verificable.

Depósitos neogénicos

Análogamente al área de San Juan y Azua, también en la cuenca de Neiba están presentes los terrenos de una secuencia sedimentaria neogénica la cual muestra, empero, tanto la elisión de algunos términos como la diferenciación de los términos coevos entre la porción occidental y la oriental de la cuenca, en consecuencia del levantamiento de las Sierras de Neiba y Martín García.

Formación Sombrerito (tmims'm+car)

Esta formación, atribuida al Mioceno, está constituida por calizas pelágicas, margas y calcarenitas.

Aflora principalmente en la ladera septentrional del valle, entre Galván y el río Yaque del Sur, y se estima que su espesor no es inferior a los 500 metros.

La formación se presenta en el área oriental de la Sierra de Neiba en facies típica, con preponderancia de niveles margosos con esporádicas intercalaciones de calcarenitas.

En Vicente Noble la formación posee un aspecto decididamente distinto, con predominancia de calizas pelágicas bien estratificadas y escasas intercalaciones margosas.

Formación Lemba (tols-tmin'cm)

El frente de los relieves de la ladera meridional está formado por calizas margosas y margas calcáreas blancuzcas, tipo «creta», en sucesiones monótonas de estratificación

gruesa.

Sobre la base de estas características esta sucesión está atribuida con dudas a la formación Lemba, aunque no es improbable que una parte de los relieves esté constituida por litofacies de aspecto análogo atribuibles a la Formación Sombrerito, como se ha verificado en la zona Península Sur de Barahona.

Formación Trinchera (tmis'Mm)

Está constituida por alternancias de arcillitas, siltitas y areniscas, con conglomerados subordinados, en sucesión bien estratificada. Tendencialmente el porcentaje de los niveles arenáceos es más elevado en la porción inferior de las secuencias donde alcanza valores próximos al 40%.

La formación, atribuida al Mioceno-Plioceno inferior, presenta espesor generalmente superior al millar de metros.

El contacto con la formación Sombrerito que se encuentra por debajo es de tipo concordante.

En su interior se distingue una sub-unidad, denominada *Membro Gajo Largo*, que representa la transición de un depósito de fuerte componente carbonático, característico de la Formación Sombrerito que se encuentra por debajo, al depósito francamente terrígeno típico de la Formación Trinchera.

Formación Quita Coraza (tmis'Mm)

Esta formación, de edad pliocénica inferior, está constituida casi exclusivamente por siltitas masivas, con escasas y delgadas intercalaciones arenáceas, que desarrollan una potencia total variable entre 200 y 700 metros.

El pasaje a la formación Trinchera que se encuentra por debajo es de tipo concordante.

Como consecuencia de su alta erosionabilidad, el trazado del río Yaque del Sur, en la entrada a la cuenca de Neiba, está ubicado enteramente dentro de la franja de afloramiento de esta formación.

La formación Quita Coraza está cartografiada junto con la formación Trinchera localizada por debajo de la misma.

Formación Arroyo Blanco (tpl'MI)

Esta formación, de edad pliocénica y espesor de alrededor de 700 metros, está limitada sólo a la porción oriental del valle.

Desde el punto de vista estratigráfico, está constituida por una secuencia sedimentaria de carácter regresivo, generalmente caracterizada por una porción inferior dominada por siltitas, y por una porción superior con predominancia de conglomerados y areniscas.

Un extenso desarrollo de facies calcáreas referibles a arrecifes coralinos se observa a los pies de la ladera meridional de la Sierra de Martín García, a las cuales se sobreponen depósitos de yeso referibles a lo que en el pasado se conocía con el nombre de *Membro El Yeso (tpl'MI-ev)*. Estos depósitos evaporíticos se presentan a mano derecha del río Yaque del Sur con un aspecto parcialmente diferente caracterizado por yeso predominantemente en facies detrítica. Tales depósitos se extinguen arealmente con terminaciones de tipo pinch-out.

Formación Arroyo Seco (tpl-qp'Mc)

Conocida también como Formación Vía, representa la fase de cierre de la cuenca sedimentaria, y está en facies típicamente continental. Está constituida por guijarros, cantos en matriz fina, arenas, limos y arcillas, generalmente sueltos o con bajo grado de cementación.

Ya difusamente descrita para las áreas de Azua y San Juan, esta formación aflora limitadamente en los alrededores de la población de Guanarate, una decena de kilómetros al N de Vicente Noble.

Formación Angostura (tpl-qp'Mc)

Está constituida por intercalaciones entre evaporitas y niveles detríticos de grano fino. Los niveles evaporíticos están constituidos predominantemente por yeso, con esporádicos delgados niveles de sales alcalinas.

El espesor estimado para esta formación es de aproximadamente 300 metros en correspondencia de la Loma de Sal y Yeso. Estos espesores resultan, empero, sensiblemente más elevados en la parte central de la cuenca donde anteriores perforaciones petrolíferas han encontrado potencias de hasta 1400 metros.

La misma dorsal que delimita al N a la laguna de Rincón está constituida por rocas de esta formación.

La Formación Angostura, junto con las formaciones Las Salinas y Jimani, representa la diferenciación pliocénica de la cuenca de depósito en la parte O del valle de Neiba donde, además de la instauración de condiciones de tipo lagunero, las cambiadas condiciones de alimentación han determinado la preponderancia de elementos poligénicos en los sedimentos del Plioceno oriental, y calcáreos en los de Plioceno occidental.

Formación Las Salinas (tpl-qp'MI)

Es una secuencia terrígena constituida por areniscas, conglomerados y siltitas, generalmente poco cementados, y calizas fosilíferas de tipo «coquina». La general coloración rojiza de la formación constituye un elemento diagnóstico para su reconocimiento.

A lo largo de la carretera que une Duverge a Jimani se observan facies más gruesas con predominancia de conglomerados y brechas calcáreas.

Los espesores estimados para esta formación son de aproximadamente 2000 metros.

Formación de Jimani (tpl-qp'MI)

Consiste en aproximadamente un centenar de metros de calizas fosilíferas, areniscas y mudstone que afloran típicamente al NO de Jimani.

En tiempos pasados se formuló la hipótesis de que también los afloramientos pliocénicos al N del lago Enriquillo en proximidad de la aldea Barbarita, formasen parte de esta formación.

La formación es de edad plio-pleistocénica y yace con leve discordancia sobre los terrenos de la formación Las Salinas.

Depósitos Cuaternarios

Depósitos cuaternarios de vario origen cubren buena parte del área de estudio.

Los más extensos resultan ser los de origen lacustre (**q'lac**), que constituyen el relleno final de la cuenca de Neiba. Fruto de la desecación progresiva del antiguo canal marino que ocupaba con continuidad todo el Valle de Neiba hasta el actual Golfo de Port Au Prince (Haití), estos sedimentos, cuyo efectivo espesor no está bien determinado hasta el día de hoy, son, donde se los ha observado, de naturaleza fina, generalmente limo-arcillosa.

Estos depósitos se extienden desde el margen occidental hasta la Bahía de Neiba y su continuidad en el interior de la cuenca está interrumpida, además que por los

afloramientos neogénicos al N de la Laguna de Rincón, también por la franja de depósitos fluviales, actuales y recientes, del río Yaque del Sur, en el sector a oriente de la carretera Tamayo-Cabral

En las partes marginales es probable que existan interdigitaciones entre los depósitos lacustres y los numerosos conoides que se desarrollan frente a la llanura interna; estos depósitos (**q'ab**) son un elemento característico a lo largo de las laderas de la cuenca, alcanzando dimensiones notables en el borde septentrional donde resaltan los conoides coalescentes presentes entre Villa Jaragua y Neiba, y el gran conoide al S de La Descubierta. Estos depósitos son generalmente gruesos con tendencial aumento de la granulometría del sedimento en los cuerpos alimentados exclusivamente por las calizas de la Formación de Neiba.

Como ya se ha recordado, los depósitos fluviales más extensos son los vinculados con la presencia del río Yaque del Sur, que entra a la Cuenca de Neiba en proximidad de la población de Vicente Noble.

Los depósitos formados por los aluviones actuales del río (**qh'a**) están confinados en una franja estrecha que delimita el curso actual uniéndose a veces a depósitos más antiguos (**q'f**), como aquéllos presentes en correspondencia del viejo trazado (segmento río Viejo en el pueblo de Fundación), y en las terrazas presentes por arriba del ingreso a la llanura.

Aun en la natural heterogeneidad de los depósitos de tal naturaleza, por lo que se ha verificado relativamente a las granulometrías, los sedimentos de cauce activo son generalmente medios con predominio de la fracción arenosa, mientras que los depósitos aterrizados más altos (carretera Canoa – Quita Coraza) tienen una constitución más gruesa presentando una mayor frecuencia de la fracción guijarrosa.

Otros depósitos de origen fluvial están presentes en valles secundarios; entre éstos se evidencian por extensión los valles de Angostura y El Limón que se encuentran entre las montañas. Mientras que en el primero la presencia del gran conoide de Los Saladillos confina a los depósitos francamente fluviales detrás de la Loma de Sal y Yeso, en el caso de la Llanura de El Limón el relleno está constituido exclusivamente por depósitos fluviales, para los cuales se puede imaginar que las condiciones de estancamiento central determinen una disminución progresiva de la granulometría hacia el interior.

Al margen del actual Lago Enriquillo, están presentes unos depósitos coralinos tanto en colocación primaria como en facies detrítica (**q'c**). Los primeros se observan en los relieves en correspondencia de la cota cero sobre el nivel del mar, mientras que los segundos constituyen un depósito detrítico aterrizado, constituido exclusivamente por fragmentos sueltos de coral ramiforme.

Los depósitos eluvio-coluviales, presentes tanto en la franja situada a los pies de la montaña (ladera meridional entre Jimaní y La Salina) como en la cobertura apical de los relieves de morfología casi llana (ej. Arroyo Guanarate), han sido cartografiados con la sigla **q'**.

Depósitos de menor extensión formados por dunas costeras (**q'd**) y barras litorales colonizadas por manglares (**qh'mr**) están presentes entre Barahona y la Laguna La Sierra.

5.2 Tectónica

El área en cuestión se coloca en un contexto tectónico que caracteriza a todo el SO de la isla que, recordamos, está constituida, en grandes líneas, por un sistema de pliegues, en el cual las cuencas sinclinales han sido reactivadas, a partir del Mioceno inferior, como “Ramp Basin” sedimentarios delimitados marginalmente por sistemas de fallas inversas longitudinales.

El cierre progresivo de estas cuencas es responsable de las estructuras plicativas que se observan en los sedimentos depositados desde el Mioceno superior hasta el Pleistoceno.

Esta cuenca, como las de Azua y San Juan, se ha desarrollado en dos fases: una fase anterior al Mioceno inferior, durante la cual las condiciones son de océano abierto y tectónica en descanso, y una fase clástica de cierre de la cuenca, sucesiva al Mioceno inferior, con formación de Ramp Basin de eje ONO-ESE. Los sedimentos neogénicos que representan su relleno constituyen un depósito de espesor estimado entre 2 y 4 kilómetros.

Los elementos tectónicos más llamativos están constituidos por las fallas de compresión y de importancia regional que se desarrollan, según un trend general ONO-ESE, longitudinalmente a la cuenca y se asocian espacialmente a numerosos pliegues de dirección concordante.

Este plegamiento puede ser hipotéticamente responsable de la emersión de la Isla Cabritos en las aguas del Lago Enriquillo que representaría la culminación axial de un anticlinal de dirección E-O.

En correspondencia del borde septentrional de esta pequeña isla se hipotetiza el pasaje de una gran estructura transcurrente regional OSO-ENE, que desde el lago de Sumatra cruzando la llanura de Jimaní, llegaría hasta el Río Yaque del Sur en proximidad de Quita Coraza (fuera del área de estudio); en el presente trabajo se ha trazado sólo el segmento próximo a Jimaní, no habiendo encontrado ninguna evidencia de su prosecución al este del Lago Enriquillo.

Las reducidas cuencas internas de El Limón, Angostura y menores, constituyen un elemento morfotectónico relevante en la ladera meridional de la llanura; la asociación de estas cuencas internas con estructuras de naturaleza compresiva no resulta clara, si no directamente incongruente, y necesitaría que se la investigara más profundamente para permitir la plena comprensión del fenómeno.

Si desde el punto de vista meramente intuitivo es más bien difícil concebir la formación en régimen de compresión de formas que son observables más frecuentemente en contextos distensivos, es útil recordar que las mismas grandes cuencas sedimentarias (Ramp Basin), tan similares a graben, que caracterizan al sector sud-occidental de la República, se formaron en análogas condiciones tectónicas compresivas.

La continuidad de la depresión central está parcialmente interrumpida en el sector oriental por la presencia de un alto estructural que aflora parcialmente, en forma de una estrecha dorsal evaporítica de desarrollo E-O, con lomas asociadas, al N de la Laguna de Rincón.

El desarrollo de los relieves, y la colocación de las formaciones que los constituyen, hacen prever la continuidad de la estructura en dirección E, no obstante la interrupción superficial causada por la quebrada del Yaque del Sur.

El aislamiento de la parte occidental del valle, ocurrido con certeza en tiempos muy recientes, vistas las cotas de hallazgo al margen del lago de los depósitos coralinós, está plausiblemente vinculado con un levantamiento diferencial de la parte oriental al cual podría sobreponerse también el efecto de barrera determinado por el depósito de los sedimentos del Yaque del Sur.

6 ACTIVIDADES DE CAMPO Y ESTUDIOS

6.1 Actividades preliminares

6.1.1 Colección de los datos y recopilación de antecedentes

Desde mediados de la década de los años sesenta hasta el presente, se han realizado en la República Dominicana, importantes trabajos de investigación en el ámbito de la geología, de la hidrología y de la hidrogeología. En este párrafo se sintetizan los principales que han interesado a todo el territorio nacional y a la Planicie Costera Oriental.

Información a nivel nacional

Plan Nacional de Investigación, Aprovechamiento y Control de Aguas Subterráneas (Planiacas)

Tahal Consulting Engineers Ltd/INDRHI, 1983

Es el trabajo más completo que se ha realizado a nivel nacional hasta la fecha, en el área de geología, hidrología e hidrogeología.

Su objetivo básico consistió en estudiar de manera sistemática los recursos hídricos de todo el territorio nacional y establecer las bases institucionales para su aprovechamiento.

En este estudio se dividió el país en catorce unidades hidrogeológicas (Tab. 1.1) y se llegó a la conclusión de que el volumen total de los recursos aprovechables se calculó en unos 1400 a 1500 millones de m³/año, de los cuales a la fecha se estaban explotando cerca de 250 millones de m³.

Entre otros logros se puede mencionar la actualización del mapa geológico general.

- El informe final está compuesto por siete volúmenes que afrontan las temáticas de calidad de aguas y efluentes existentes en la Rep. Dominicana;
- Glosario; instrucciones para completar los formularios de solicitud de informes detallados y de estadística descriptiva;
- Formularios de estación de la red;
- Decreto 217-91 (Plaguicidas);
- Notas de solicitud de información pertinente al diseño de la red;
- Planillas para estimar los factores de emisión de las industrias principales.

Planificación de la red pluviométrica de la República Dominicana

INDRHI/GTZ, 1990

Es un informe realizado por la misma misión de GTZ que tenía los objetivos siguientes:

- completar la red pluviométrica en todo el territorio nacional;
- definir los estudios específicos de precipitaciones regionales;
- elaborar una tentativa de programa de trabajo para los problemas hidrometeorológicos más relevantes.

En este informe se pone de manifiesto la existencia de 110 estaciones meteorológicas en todo el país, se recomienda la reinstalación de 19 de éstas y la construcción de otras 33 nuevas para obtener un total de 162.

Al final se presenta una serie de mapas con las regiones meteorológicas, de isolíneas de coeficiente de irregularidad, de estaciones pluviométricas, y un test de homogeneidad para todas las regiones meteorológicas.

Anuario Hidrológico 1988

INDRHI (Departamento de Hidrología), 1990

Consiste en la recopilación de datos hidrológicos en todo el país, para el año 1988 y consta de tres partes:

- Volumen I Aguas Superficiales;
- Volumen II Aguas Subterráneas;
- Volumen III Calidad de Aguas.

En el primer volumen se presenta la información climatológica y pluviométrica de la red del INDRHI, en el segundo se presenta la información hidrostática e hidrodinámica de la red de pozos de observación de la región sudoeste y en el tercero, se presentan los parámetros físico-químicos de las aguas del país.

Evolución en el Conocimiento de las Aguas Subterráneas en la República Dominicana

Ing. H. Rodríguez (CODIA), 1994

Consiste en un artículo que trata sobre algunos trabajos que se han realizado en el país relativos a las aguas subterráneas desde mediados de la década de los años 60 hasta el año 1994.

En este trabajo también se pueden encontrar algunas consideraciones generales de la geología de la República Dominicana y conceptos generales de hidrogeología.

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

El presente informe trata sobre la concepción de la red hidrométrica nacional y fue editado en la fase final del proyecto cuyos objetivos principales fueron:

- fortalecimiento en el manejo y operación del sistema hídrico del río Yaque del Sur;
- establecimiento de una red hidrológica básica necesaria para la planificación futura de los recursos hídricos.

En el curso del proyecto se realizaron las siguientes actividades:

- análisis de la situación general de la red hidrológica nacional y de las prácticas de operación de la misma;
- estudio y análisis de la demanda actual y futura de la información hidrológica básica,
- diseño de la técnica de evaluación de la red hidrológica básica.
- diseño de la red hidrológica básica;
- construcción e instalación de 25 estaciones hidrométricas de primer orden.

Intensidades Máximas y Erosividad de las Lluvias en la República Dominicana

SEA/IICA/INDRHI, 1982

Es un documento dirigido a usuarios del sector agropecuario en el diseño de pequeñas estructuras para el control y conducción de lluvias y para la planificación del uso de las tierras donde se desea reducir el riesgo de erosión por las lluvias.

En dicho documento se presenta la información de lluvias procesada hasta el año 1980. En adición con anexos, se indican los procedimientos utilizados y una metodología convencional para estimar la escorrentía sobre la base de la información de intensidades de lluvias.

El trabajo consistió en el análisis y procesamiento de los datos de lluvia contenidos en las bandas de los pluviógrafos instalados en el país.

Los resultados presentan por cada evento de lluvia, la duración, el total de mm precipitados, sus intensidades máximas (de 15, 30, 60, 120, 240 y 360 minutos de duración) y, cuando la lluvia excede los 10 mm, su energía erosiva.

Distritos de riego de la República Dominicana

INDRHI. 1995

Consiste en una presentación ordenada de las características de los distritos de riego del país.

Fundamentalmente está constituido por tres partes principales:

- la primera presenta la estructura organizativa del Departamento de distritos de riego, con una descripción de las funciones y los cargos;
- la segunda recoge aspectos relevantes relacionados con ubicación geográfica, clima, suelo, uso agrícola e hidrología de los distritos de riego. Recoge también información vinculada con la infraestructura hidráulica para riego y drenaje, la superficie dominada y los cultivos principales;
- La tercera trata de la organización y participación de los usuarios en la administración de los sistemas de riego.

Situación hídrica de los sistemas cerrados en la República Dominicana

INDRHI, 1992

El objetivo de este trabajo fue estudiar las condiciones químicas de las aguas de los sistemas cerrados y su evolución en el tiempo para poder determinar los efectos de la acción antrópica.

Además se enfatizó en determinar la situación hídrica del Lago Enriquillo para la cual fue necesario conocer la morfología a través de un levantamiento hidrográfico.

Estos trabajos se planificaron sobre un mapa topográfico general en escala 1:50,000, en dicho mapa se determinaron los puntos de la red batimétrica y las distancias de cada sección de medidas.

El nivel del agua se determinó mediante una nivelación ordinaria y resultó ser de menos 43.29 m (3 de Junio de 1992).

La morfología del fondo del lago resultó regular con la profundidad máxima de 22.53m, localizada en la parte Norte a una cota de -65.83 m.

Proyecto de Código de Agua para la República Dominicana

INDRHI - GTZ, 1990

Es un documento que está en proceso de aprobación en las Cámaras Legislativas, para fines de implementación en el territorio nacional.

Dicho documento se presenta en 13 capítulos con 358 artículos y en los cuales se indican todos los requerimientos legales para el uso de las aguas.

Los primeros cinco capítulos tratan del dominio de los recursos hídricos, del uso de las aguas públicas, de los derechos de uso y de los usos especiales de las aguas.

En los capítulos siguientes se trata de las aguas subterráneas, de obras hidráulicas, de la preservación de los recursos hídricos, de las penalidades, de los usuarios, de la autoridad de aplicación, del reconocimiento al uso establecido de las aguas y de las disposiciones finales y transitorias.

Información sobre el Inventario de las Estaciones Hidrológicas y Meteorológicas a Nivel Nacional

INDRHI - GTZ, 1988

Es un informe que consta de tres partes, en el cual están definidas todas las estaciones

de aforos y, pluviométricas, con sus respectivas fotos.
Por cada una de las estaciones se presenta su situación con todos los datos necesarios y útiles para los diferentes usuarios.

Plan Nacional de Ordenamiento de los Recursos Hidráulicos (DIAGNÓSTICO)

OEA/INDRHI, 1994

Es un diagnóstico sobre la información hidroclimática disponible, realizado con los fines siguientes:

- definir los períodos de información posible;
- homogeneizar y establecer la confiabilidad de los datos;
- realizar los análisis necesarios para sentar las bases de selección de las series de datos utilizables en el ordenamiento de los recursos hidráulicos.

El informe se presenta en tres partes fundamentales:

- un diagnóstico de la situación existente en el año 1976;
- un informe hidrológico preliminar donde se ponen de manifiesto las características geográficas, climatológicas y la hidrología del país;
- la actualización y presupuesto de costos para proyectos de infraestructura de riego.

Inventario Nacional de los Recursos Hidráulicos Superficiales

INDRHI, 1990

Este trabajo tiene como objetivo principal la determinación de los volúmenes de los recursos hídricos superficiales y el potencial hidroeléctrico bruto de los ríos que conforman la red de drenaje de las cuencas hidrográficas del país que constituye un instrumento de planificación orientado a garantizar un control del uso de los recursos hídricos.

Fotografías Aéreas de la República Dominicana

Proyecto Marena N° 517-T-035 (USAID), 1983 - 1984

En el curso del proyecto se ejecutó, por zonas, la cobertura de todo el país con una serie de fotografías aéreas (escala 1:40,000) debidamente ordenadas y que está disponible en el banco de datos hidrogeológicos del Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos.

Las zonas N° 3, 4 y 5 del proyecto MARENA cubren el área de EHN.

Información a nivel del Valle de Neiba

Proyecto Yaque del Sur-Valle de Neyba

INDRHI - ITALCONSULT (Informe Hidrológico Anexo 3), Roma 1972

Informe de avance preparado por ITALCONSULT para el INDRHI., el cual consiste en un documento dividido en cuatro partes:

- agronomía;
- recursos de terreno;
- de energía eléctrica;
- hidrología.

En este último se presentan las características fisiográficas y climáticas generales del Valle de Neiba, las aportaciones mensuales y anuales del río Yaque del Sur y sus afluentes; se presentan también las características morfométricas de las cuencas.

Investigación Ambiental con Isótopos de la Región Sudoeste y el Río Sonador, Yásica

INDRHI/OIEA, 1985

Consiste en una investigación mediante el uso de técnicas isotópicas, y está presentado en tres volúmenes en forma de informes de avance.

Los objetivos principales de la investigación fueron los siguientes:

- determinar las zonas de recarga y de efluencia del agua subterránea en las áreas kársticas de la región Sudoeste (Sierra de Bahoruco, Sierra de Neyba, Valle de Neiba, Península de Barahona) y el balance hídrico de la región;
- determinar la estabilidad del caudal en el río Sonador, Yásica, con fines de aprovechamiento hidroeléctrico.

Caracterización de las Aguas de los Manantiales que Rodean al Lago Enriquillo

INDRHI, 1995 (Informe de avance)

Entre los objetivos fundamentales de este trabajo, que está en la fase final de ejecución, están:

- el inventario de todos los manantiales que rodean al Lago Enriquillo;
- la evaluación de la descarga actual de los Manantiales;
- el conocimiento del modelo hidráulico de los manantiales.

En este informe se presentan de manera secuencial los manantiales localizados en la comunidad de Villa Jaragua para los cuales se proveen los datos referentes a sus caracterización hidroquímica y de aforos y los datos climáticos del área.

Recopilación de Datos Hidrogeológicos del Valle de Angostura

INDRHI/GTZ, 1993

Es un trabajo cuyo objetivo principal se fundamentó en la recopilación, depuración y ordenamiento de todos los datos hidrológicos e hidrogeológicos del valle, durante el período de 1982-1992.

También se determinaron los valores del coeficiente de transmisividad, los cuales varían entre $1.40 \cdot 10^{-3}$ y $1.8 \cdot 10^{-2}$ m²/s.

Entre otros análisis se presentan los de los hidrogramas de pozos, de los perfiles de conductividad eléctrica y temperatura.

Recopilación de Datos Hidrológicos e Hidrogeológicos de Neiba, Galván y Villa Jaragua

INDRHI/GTZ, 1993

El objetivo principal de este trabajo se fundamenta en la recopilación, depuración y ordenamiento de los datos hidrológicos e hidrogeológicos del período de 1982 a 1992.

Además de la recopilación de los datos se presentan los resultados de algunos cálculos del coeficiente de transmisividad que varían de $5.80 \cdot 10^{-5}$ a $1.3 \cdot 10^{-3}$ m²/s, en Villa Jaragua a $3.20 \cdot 10^{-2}$ a $9.8 \cdot 10^{-2}$ m²/s, en Galván.

Se presentan también las interpretaciones de hidrogramas de pozos, de sondeos eléctricos verticales y de análisis físico-químicos.

The Study on Groundwater Development Project in the Western Región, Dominican Republic

INAPA / JICA, 1992

Es un trabajo de la Agencia Internacional de Cooperación del Japón en colaboración con el INAPA, el cual consistió en:

- evaluar el potencial de las aguas subterráneas y de los recursos alternativos en las cuatro provincias de Oeste: Monte Cristi, Dajabón, Elias, Piña e Independencia;
- preparar un programa de desarrollo de recursos hídricos con un plan de abastecimiento rural de agua;

- promover el intercambio y transferencia de tecnología con la contraparte de INAPA durante el curso del estudio.

Síntesis Hidrogeológica del Municipio de Neiba. Estado Actual.

Ing. H. Rodríguez, Ing. J. Vólquez, 1994

Es un artículo que trata en forma de resumen sobre algunas generalidades del Valle de Neiba y las características hidrogeológicas del Municipio de Neiba.

El artículo indica que la zona más prometedora para la explotación de aguas subterránea la integran los abanicos aluviales del pie de monte, la cual tiene un flujo subterráneo que proviene de la sierra de Neiba y se estima en unos 170 millones de m³/año.

Es posible considerar que con una explotación de los abanicos aluviales se pueden captar de 100 a 120 millones de m³/año, debido a que las aguas se dirigen a una base de drenaje mucho más abajo y no es posible aprovechar todo el volumen recargado. También se afirma en este informe que en la mayor parte del acuífero aluvial los sólidos totales disueltos oscilan entre 180 y 350 mg/l.

6.1.2 Inventario de puntos de agua

Las actividades de inventario se desarrollaron en forma esquemática en dos fases:

- Una primera fase (el inventario en su sentido más común), como primera actividad de campo del proyecto, antes de hacer los monitoreos piezométrico y de calidad de aguas.
- Una segunda fase, progresiva en el tiempo, en la cual se continuó añadiendo puntos de agua en el banco de datos cada vez que fuese necesario u oportuno.

Criterios utilizados en el inventario preliminar

El objetivo básico del inventario preliminar fue individualizar en el campo todos los puntos que tenían características tales que permitían poderlos utilizar en el tiempo como puntos de observación de la piezometría y/o de la calidad del agua, (incluyendo en estos últimos también aquéllos a utilizar para el control de la intrusión marina en las zonas costeras). Todo esto con el fin de conocimiento y estudio de los diferentes fenómenos, y de integrar y ampliar las redes de control existentes en las áreas de estudio.

Con este objetivo, el trabajo fue planificado y ejecutado de la manera siguiente:

- Trabajos preliminares:

- a) Consulta y recopilación de los datos existentes en bibliografía y en el banco de datos de INDRHI y de otros organismos.
- b) Identificación de los puntos de agua de las redes de control existentes.
- c) Redacción preliminar de fichas utilizando los datos disponibles.
- d) Ubicación en los mapas en escala 1:50.000 de estos puntos “bibliográficos”.

- Actividades de inventario en el campo, ejecutadas separadamente para cada zona:

- a) Verificación de los puntos de las redes de control monitoreadas por INDRHI.
- b) Verificación de los puntos “bibliográficos” y pesquisa de otros puntos existentes.
- c) Toma de informaciones generales sobre los puntos inventariados.

- d) Corrección de las fichas de los puntos “bibliográficos” en relación con la realidad encontrada en el terreno.
- e) Redacción de las fichas preliminares para los nuevos puntos.
- f) Ubicación en los mapas de todos los puntos inventariados.
- g) Ejecución, cuando fue posible, de las medidas de nivel piezométrico, de pH, de temperatura y de conductividad eléctrica

Conjuntamente a las actividades preliminares y a las de campo, se realizaron contactos estrechos con la oficina principal de INDRHI (Departamento de Hidrología) y con las unidades regionales de INDRHI de Azua (responsable del Valle de Neiba).

El responsable de Hidrología y un componente de la brigada de monitoreo de la Oficina Regional Sur (Azua) del INDRHI, se integraron a las actividades en el inicio del inventario, para facilitar el trabajo preliminar y la tarea de las brigadas de terreno, sobre todo por lo que atañe a la verificación de los puntos de las redes existentes.

En los términos de referencia, los puntos previstos para el inventario en el Valle de Neiba no estaban especificados (se indicaba un total de 700 puntos para las tres zonas de Azua, San Juan y Neiba).

En relación con la densidad de puntos prevista en la zona, con la realidad de terreno encontrada y con la diferente complejidad que los datos preliminares y los estudios existentes indicaban, se intentó cubrir el área de estudio con el número máximo de puntos con una distribución lo más uniforme posible y adecuada a las condiciones hidrogeológicas locales, a fin de poder permitir la constitución de una red de control lo más eficiente y representativa posible.

Los datos de los puntos inventariados se insertaron en el banco de datos del proyecto junto a un croquis de la situación y a dos fotos, una panorámica y una de detalle, según lo prescrito en los términos de referencia.

Tipología de los puntos añadidos durante las diferentes fases del proyecto

Durante el desarrollo del proyecto se continuó con la inserción de nuevos puntos de agua y con la adquisición de los datos relativos, según las necesidades de campo y las evidenciadas durante el desarrollo de las diferentes actividades del proyecto.

Los tipos de puntos que se añadieron fueron:

- Nuevos pozos/sondeos/manantiales en substitución de puntos de agua de control piezométrico y/o de calidad de aguas no utilizados.
- Los sondeos perforados en el proyecto.
- Los sondeos no incluidos en el inventario preliminar donde se ejecutaron ensayos de bombeo.
- Los pozos no incluidos en el inventario preliminar donde se instalaron contadores volumétricos.
- Los sondeos/pozos no incluidos en el inventario preliminar, utilizados para ejecutar perfiles de salinidad para el control de la intrusión marina.
- Los sondeos/pozos no incluidos en el inventario preliminar donde se hicieron muestreos para la potabilidad.
- Los manantiales no incluidos en el inventario preliminar donde se hicieron muestreos para las aguas minero-medicinales.
- Los sondeos/pozos no incluidos en el inventario preliminar donde se hicieron muestreos para los análisis isotópicos.

Al igual que para los puntos inventariados en la primera fase, también en lo que se refiere a estos puntos, todos los datos recogidos se insertaron en el banco de datos del proyecto con las mismas modalidades.

Resultados globales obtenidos en el inventario preliminar al monitoreo

El número total de puntos inicialmente inventariados en esta zona era de 171.

Por lo que atañe a la posible utilización de los puntos para las redes de control resultó que:

- el 18% de los puntos (31), eran aptos sólo para medidas piezométricas;
- el 39% de los puntos (66), eran aptos sólo para medidas de calidad de aguas;
- el 9% de los puntos (15), eran aptos para medidas piezométricas y de calidad de aguas al mismo tiempo;
- el 6% de los puntos (10) que se encontraron eran surgentes.

Esto significa que:

- el 27% de los puntos inventariados (46), eran aptos para la red de control piezométrico;
- el 54% de los puntos inventariados (91), eran aptos para la red de control de calidad de aguas;
- el 29% de los puntos (49), no eran aptos, en las condiciones en las cuales los encontramos, para ser incluidos en las redes de control.

La repartición de los puntos en el espacio es muy irregular. Los pozos son muy raros al norte del Lago Enriquillo donde se concentran muchos manantiales, algunos tomados en cuenta, más tarde, en la componente de aguas minero-medicinales.

En la zona Este del Lago Enriquillo hay pocos pozos y, en áreas bien definidas, entre Tamayo y Galván, estos son surgentes. Sus emboquilles en superficie no permiten medir la presión.

La mayor parte de los puntos de agua se concentran en cuatro zonas separadas:

- alrededor de Neiba;
- alrededor y al Oeste de Tamayo;
en el valle de Angostura;
- en la zona de Los Saladillos;
- entre Cachón, Jimaní y el Limón.

Aparecen también algunos pozos de gran diámetro hechos a mano abandonados o no muy utilizados.

El uso es generalmente para riego en lo que comprende Neiba, Boca de Cachón, Jimaní, El Limón y Angostura. En el área de Tamayo que se encuentra a la orilla del Río Yaque del Sur, la mayoría de los puntos de agua son de uso doméstico. En toda la zona cañera, cada batey tiene generalmente un pozo para uso doméstico.

Problemas encontrados

Los problemas que más afectaron a la ejecución del trabajo y que ocasionaron más tarde dificultades en la elección de las redes de control, fueron:

- la falta de energía que no permitió tomar muestras en muchos pozos;
- muchas bombas existentes dañadas;
- en algunas zonas los pozos no tienen orificio para las medidas piezométricas;
- la imposibilidad que se presentó en muchos lugares de tomar muestras aunque sólo con el toma-muestra, por el hecho de que casi todos los pozos tienen bombas también fuera de funcionamiento;

- la falta de colaboración de algunos dueños y de parte de la población especialmente en la zona cañera.

Cantidades finales y características principales de los puntos inventariados después de la inclusión progresiva de nuevos puntos

A la fecha los puntos totales incluidos en el inventario (y pues en la base de datos) son 199.

En la tabla 6.1.2/1, se ilustran los detalles relativos a las características de los puntos de agua considerados. Entre otros, podemos indicar lo que sigue:

- La gran mayoría de los puntos de agua existentes están representados por pozos (el 85.4%). Bien representados están también los manantiales que totalizan el 12.1% de las cantidades globales.
- Entre los propietarios de los pozos, los más representados son: el INDRHI que, incluyendo los sondeos realizados en el proyecto, es propietario del 26.6% de los puntos inventariados. Siguen INAPA (14.1%), los particulares (13.6%), y el IAD (10.6%). En 38 pozos (19.1%) no se pudo identificar al propietario.
- En los pozos que tienen equipos de bombeo, los tipos de bombas más representados son las de eje vertical (54.8%), las eléctricas sumergibles (16.1%) y las eléctricas de superficie (11.3%).
- Los pozos se utilizan principalmente para el riego (39.5%) y el uso doméstico (15.3%).
- Las cotas de los pozos varían entre -40 y 258 m. s.n.m.
- Solamente en el 1% de los pozos se tienen datos (aunque estimados) de explotación anual.
- Los niveles estáticos medios (profundidad del agua desde la superficie) se sitúan alrededor de los 23.4 metros.
- El pH de las aguas se sitúa entre 6.2 y 8.3, con un promedio de 7.2.
- La temperatura de las aguas varía entre los 20 y los 30.9 grados Celsius con un promedio de 26.3 grados.
- Con referencia al número total de medidas ejecutadas, la conductividad eléctrica supera los 500 microSiemens/cm en el 70.8% de los casos, los 1000 microSiemens/cm en el 24.6% de los casos y los 3000 microSiemens/cm en el 1.5% de los casos.

6.2 Base de datos y Sistema de Información Geográfica (SIG)

6.2.1 Realización de una base de datos

Para la realización de la base de datos alfanumérica de manejo de los datos recopilados en el proyecto “ESTUDIO HIDROGEOLOGICO NACIONAL EN LA REPUBLICA DOMINICANA” se utilizó el DBMS *MSAccess97*. *MSAccess97* es uno de los más conocidos entre los database relacional comercializados en estos últimos años en las plataformas de tipo *Windows95-NT*.

Después de haber analizado las especificaciones técnicas del proyecto y de haber considerado los instrumentos a utilizar, la primera actividad fue el proyecto de la base de datos. Puesto que el database es tipo relacional, como primera acción se individuaron los atributos (datos) involucrados en el proyecto. Sucesivamente, mediante un proceso de normalización, se crearon las *entidades*.

La normalización es la técnica usada para controlar que cada atributo resulte asociado a la correcta entidad. La mejor representación utilizable para representar todas las entidades se denomina “*III forma normal*”. Después de haber definido las entidades se pasó a la creación de un modelo lógico “*Entidades-Relaciones*” y a la individuación de toda una serie de funciones e interfases a desarrollar en el interior de la base de datos de manera tal que el sistema resultase dotado de todas las funcionalidades de proyecto.

En la fase de realización se crearon las tablas (entidades) y las relaciones entre las distintas tablas; se individuaron luego aquellas tablas que tienen una referencia geográfica. Para estas últimas se creó un geo-código para el vínculo con el componente cartográfico numérico del GIS.

Se pasó luego a la realización de las fichas de interfase y de adquisición de datos. El código utilizado para el desarrollo de la BD y para la realización de las interfases es “*Visual Access*”. En *Visual Access* se realizaron también las interfases:

- con el modelo de las aguas subterráneas (*GMS*);
- con los programas de graficación de los datos químicos (*Hydrochem*);
- con el programa que dibuja las estratigrafías (*LogPlot97*).

En un segundo tiempo se llevó a cabo la revisión de las fichas de adquisición de datos, por indicación del cliente, y se implementaron algunos report para el manejo de las redes de control.

En el menú principal de la base de datos se introdujo también un botón que llama el ambiente de desarrollo estándar de *MSAccess97*. Mediante este ambiente, el usuario puede implementar nuevas funcionalidades o bien crear report y/o query. Se aconseja de todos modos el acceso a esta funcionalidad sólo a personal que tenga buen conocimiento del database *MSAccess97*.

Es posible acceder a la base de datos desde las computadoras del centro de elaboración conectadas en red. Habiéndola implementado para ser utilizada por usuarios múltiples, es posible operar en ella contemporáneamente, desde más de un lugar de trabajo. Para abrir la DB es necesario llamar el programa *MSAccess97* desde el menú

de activación y sucesivamente, después de haber activado Access, es necesario abrir el file “*Sdomingo.mdb*”.

En el start-up de la base de datos está visualizada una ficha que sirve como “*Menú principal*”. Mediante este menú es posible acceder a todas las funcionalidades implementadas en la base de datos. Para una descripción pormenorizada de las funciones y para la utilización de la base de datos hágase referencia a “*ANEXOS MEMORIAS M1*” (Manual de uso del BD hidrológico e hidrogeológico).

Otra recomendación importante se refiere a los salvatajes de la entera base de datos en unidades de backup externas. Periódicamente deberá salvarse el file “*Sdomingo.mdb*” de manera tal que eventuales daños de la base de datos no causen pérdidas de datos (este salvataje puede ser útil también en el caso de que sea necesario poner remedio a un daño del disco fijo de la computadora).

Si la introducción y/o la actualización de los datos se verifica en base diaria es aconsejable prever los siguientes salvatajes:

- “**diario**”, cada día de la semana efectuar un salvataje en disco magnético externo (uno por cada día de la semana);
- “**semanal**”, cada fin de semana, por todas las semanas del mes, efectuar un salvataje en disco magnético externo (uno por cada semana del mes);
- “**mensual**”, cada fin de mes, por todos los meses del año, efectuar un salvataje en disco magnético externo (uno por cada mes del año).

Se aconseja este tipo de salvataje, de todas maneras, no sólo para la base de datos alfanumérica, sino también para todas las demás tipologías que deben actualizarse periódicamente. En el caso en que, por motivos de cierre anómalo de la computadora (por ejemplo, corte de energía eléctrica), se dañe el database, *MSAccess97* posee una función de restablecimiento de la base de datos. En muchos casos esta función puede recuperar plenamente el database, es necesario recuperar el último salvataje efectuado y recomenzar a partir del mismo.

6.2.2 Implementación de un sistema de información geográfica

El sistema de información geográfica (GIS) del proyecto Santo Domingo ha sido desarrollado en ambiente ArcView en plataforma NT. Además del software aplicativo desarrollado a propósito para las exigencias del proyecto, el GIS dispone de las funciones estándar del ambiente ArcView.

Los archivos – llamados también coberturas cartográficas – de interés específico para el GIS son:

- Isoipsas: conjunto de las curvas de nivel digitalizadas;
- Mapas: conjunto de los subdirectorios relativos a los distintos tipos de cartografías temáticas a producir;
- Null. cuadro de unión a utilizar para aquellos tipos de cartografía que no lo requieren;
- Odb: archivo de las Views salvadas (porque son de interés para el usuario) en el formato ArcView;
- Themes: conjunto de las coberturas de fondo.

Las **funciones del programa** son aquellas típicas de los GIS; se pueden resumir en visualización, manejo de datos espaciales y análisis espaciales. A estas funciones básicas se les han añadido funcionalidades específicas que permiten efectuar:

- la producción de la cartografía del proyecto;
- la importación y la interrogación de datos presentes en la base de datos de S.Domingo;
- procedimientos varios de ayuda.

El GIS responde a las exigencias típicas de la producción de cartografía automatizando, en primer lugar, la producción de las cartografías temáticas previstas en las escalas 1:50000, 1:100000 y 1:250000. Al mismo tiempo, éste suministra al usuario todos los instrumentos para crear nuevos mapas, en las escalas mencionadas o en otras, usufructuando eventualmente los cuadros de unión existentes.

La producción de la cartografía del proyecto está ayudada por la presencia de botones específicos e interfases dedicados a la creación de mapas. Con procedimientos análogos, siempre con la ayuda de interfases amigables, se alimentan también eventuales views o tablas intermedias creadas durante la producción de cartografía en función:

- del cuadro de unión que se entiende utilizar;
- del área específica individuada en el interior del cuadro de unión;
- del layout particular dotado de leyenda, márgenes, marcos y demás detalles que se quieran introducir.

A través de las funcionalidades puestas a disposición por el GIS está prevista también la **creación automática de un nuevo tema**. Esta exigencia nace cada vez que, durante la ejecución de los trabajos, se desee utilizar un nuevo mapa para los objetivos del proyecto. Al lado de esta posibilidad está previsto también un procedimiento semi-automático donde el proceso de producción del mapa resulta ser menos inmediato para el usuario, el cual, en cambio, tiene un control mayor sobre la operación de plotaje.

Además de las posibilidades arriba mencionadas, el GIS permite también activar funciones relacionadas con **el agregado y la edición de nuevos símbolos** de leyenda a acoplar a la producción de las elaboraciones cartográficas. Con relación a esta posibilidad, el ambiente GIS dispone de un amplio surtido de posibilidades de acción que permiten importar nuevos símbolos, borrar algunos no utilizados, disponerlos a lo largo de arcos de polilíneas.

El agregado de nuevos símbolos prevé también la introducción de nuevos marcadores (símbolos puntuales) y de nuevos shades, a través de la integración, en el GIS, de las potencialidades ofrecidas por el instrumento CorelDraw particularmente apto para el dibujo y catalogación de nuevas formas gráficas.

Además de las funcionalidades expresadas anteriormente, que se refieren predominantemente a los aspectos de la cartografía y de la gráfica, el GIS dispone de funciones de integración y conexión con la **base de datos alfanumérica** de los puntos de agua, ampliamente utilizada en el curso del proyecto.

El usuario puede acceder a cada una de las tablas de la base de datos directamente desde el ambiente del GIS, accionando un botón específico de la interfase gráfica. La conexión con la BD puede llevar a la generación de nuevas coberturas cartográficas, a agregar a las preexistentes, a partir de aquellas tablas del data base en las cuales resulten, entre otras, también las coordenadas cartográficas (longitud y latitud) que permiten georreferir, bajo la forma de primitiva puntual, los records generales de la tabla examinada.

6.3 Piezometría

6.3.1 Campañas piezométricas

Cantidades y metodología de elaboración de los datos

En los Términos de Referencia del contrato estaba previsto utilizar unos 30 puntos para el control piezométrico de esta área y ejecutar 24 campañas de medidas mensuales, reducidas a 17 después de la aprobación del Addendum n. 1.

En realidad se ejecutaron las 17 campañas mensuales desde Septiembre de 1997 hasta Octubre de 1998 y luego desde Junio hasta Agosto de 1999.

Vista la variabilidad y la inestabilidad previstas por el hecho de que la casi totalidad de los puntos existentes eran privados y no dedicados para el control piezométricos, se tomaron en cuenta para el monitoreo todos los puntos donde se podían hacer medidas de nivel piezométrico para poder definir al final de los dos años todos los puntos potencialmente utilizables en una red de control que a la vez fueran aptos técnicamente y confiables en términos de continuidad de las medidas en el tiempo.

Como núcleo inicial se tomaron en cuenta los puntos incluidos en el banco de datos del INDRHI , que ya tenían un mínimo de datos en tiempo pasado.

Con la llegada del huracán George y de sus consecuencias negativas a finales de Septiembre de 1998, después de la campaña de mediciones de campo en el siguiente mes de Octubre, donde se constató la disminución considerable de los puntos de medida (pozos fuera de servicio, acceso imposible etc...), se decidió interrumpir las medidas mensuales por 7 meses hasta que se pudiera regresar a una situación de normalidad. Las medidas se realizaron de nuevo por tres meses al final del período inicialmente previsto para poder definir la lista “definitiva” de los puntos aptos para la red y el diseño “final” de la misma.

En total se tomaron en cuenta 65 puntos (775 medidas) de los cuales 54 (576 medidas) antes del huracán y 55 (157 medidas) en los últimos tres meses de medidas (la diferencia de medidas se debe a la campaña de octubre de 1998 y a otras ocasiones específicas donde se necesitaban datos piezométricos para otras actividades).

Los puntos que se pudieron medir siempre en los trece meses antes del huracán y en los últimos tres meses (junio-agosto de 1999) fueron 43 o sea el 66.2% del total considerado. En los últimos 3 meses se añadieron 8 nuevos pozos de control más los 3 pozos nuevos perforados en esta área durante el proyecto.

En la tabla 6.3.1/1 se ilustran los detalles de la distribución de las medidas.

El número total de medidas ejecutadas en esta área (775 contra un número previsto de 510) fue superior de 265 a lo previsto (+52%).

El mapa de la piezometría observada se realizó a partir de los datos piezométricos medidos en la red del proyecto a lo largo de las 13 campañas anteriores al huracán George (9/97 - 9/98). Se evitó la utilización de cualquier método de regionalización semiautomático como el Kriging, considerando que en la mayoría de los casos la densidad de los datos no permitía alcanzar resultados satisfactorios y, más importante, porque estamos convencidos de que realmente se requiere una interpretación integrada

y manual de todos los datos disponibles (ej. papel de los ríos y de los canales, influencia de áreas de fuerte explotación).

El proceso de interpretación nos permitió localizar los datos anómalos, o sea los influenciados por bombeos o los relativos a niveles acuíferos menores, normalmente superficiales y no representativos. Estos datos fueron eliminados. Considerando que:

- las variaciones piezométricas observadas en el período son generalmente pequeñas (en general < 1m y mucho menos en la proximidad de los sectores costeros en acuíferos de alta transmisividad, como en el caso de la Planicie Costera Oriental),
 - dichas variaciones generalmente se encuentran muy por debajo de los intervalos piezométricos utilizados entre dos isopiezas,
- decidimos utilizar datos medios.

En función de los gradientes observados, de la densidad de los datos disponibles y de la representatividad de éstos a nivel regional, se distinguieron las isopiezas principales de las supuestas. Además en los sectores de interés específico (normalmente a lo largo de la costa, caracterizados por importantes fenómenos de intrusión salina) y donde los datos lo permitían, se diseñaron también isopiezas de detalle.

Una revisión de las interpretaciones, con relación solamente a los datos de pozos cuyas cotas y ubicación han sido determinadas por medio de técnicas Gps diferencial, ha evidenciado la existencia de diferencias apreciables en la proximidad de las áreas costeras y en las zonas con bajo gradiente. Por lo tanto la interpretación inicial se revisó y se modificó utilizando sólo estos últimos datos.

Metodología utilizada para el diseño de la red de control piezométrico

El objetivo de una red de control piezométrico es suministrar datos útiles al conocimiento de los fenómenos en acto asegurando contemporáneamente continuidad en el tiempo y confiabilidad/posibilidad de realización práctica de las medidas.

Las características de los puntos de la red deben ser:

- Distribución en el espacio y densidad adecuadas, en relación con los fenómenos a describir/monitorear, con los gradientes y con las variaciones piezométricas.
- Confiabilidad de los datos obtenidos (pozos sin bomba y lejos de pozos en explotación: solamente cuando no hay alternativas se pueden incluir pozos que no tengan estas características).
- Confiabilidad por lo que atañe a la continuidad de toma de medidas en el tiempo.
- Facilidad de acceso.
- Optimización entre número de puntos técnicamente aptos y número de puntos que en realidad se puedan monitorear con los recursos humanos y materiales disponibles.

Tomando en cuenta todo esto, el procedimiento adoptado para definir la red de control en cada área de estudio ha sido el siguiente:

- a) Selección de todos los puntos donde se pueden realizar medidas piezométricas y realización de éstas durante el tiempo previsto en el proyecto, añadiendo cuando sea necesario u oportuno, otros puntos nuevos en substitución/integración de otros donde las medidas no se pueden realizar más.
- b) Reconstrucción de las isopiezas, donde sea posible (en relación con la existencia de puntos y la cantidad de medidas que se habían podido ejecutar en cada uno de ellos) según el procedimiento indicado más arriba en este mismo informe

- c) Estudio/interpretación de las mismas.
- d) Selección de los puntos donde se pudieron ejecutar medidas durante todos los meses de campañas piezométricas (que incluyen los pertenecientes a la red histórica de INDRHI) y depuración de aquéllos cuyas medidas habían sido afectadas significativamente por bombeos.
- e) Selección de los puntos nuevos añadidos durante las diferentes campañas que se pudieron medir hasta (o por lo menos en) Agosto de 1999 y depuración de aquéllos cuyas medidas habían sido afectadas significativamente por bombeos.
- f) Selección de los pozos nuevos realizados en el proyecto después de Agosto de 1999 o que no se pudieron medir en los últimos tres meses por otras razones, pero que seguramente se podrán utilizar en futuro.
- g) Reunir y poner en un mapa de trabajo los pozos de los puntos d), e) y f) evidenciando los que tienen bombas (instaladas aunque no en funcionamiento) que llamaremos “puntos aptos” a ser utilizados en la red de control.
- h) Selección de aquéllos, entre los puntos aptos, que satisfacen los criterios indicados más arriba en este mismo párrafo y definición de la red de control.
- i) Redacción de la parte relacionada con la piezometría del Mapa 2 – “Mapa de la red piezométrica y de aforos directos”.

En dicho mapa están indicados con apropiada simbología los puntos de la red de control que incluye el número (optimizado) de puntos que hay que continuar midiendo en el tiempo y, con otra simbología, los puntos no incluidos, pero “aptos” para el control piezométrico. Entre estos últimos eventualmente se podrán escoger soluciones alternativas, si es posible, para substituir puntos de la red que se tengan que eliminar.

El procedimiento utilizado, entre otras cosas, ha tomado en cuenta el hecho de minimizar al máximo la inestabilidad de la red de control evidenciada en el curso de las campañas de medida (ver Memorias finales – Anexos Generales – Anexo G3), incluyendo de preferencia en la red los pozos no utilizados y/o dedicados a este fin.

6.3.2 Determinación de las coordenadas plano-altimétricas de puntos de agua

La **campaña de mediciones mediante instrumental GPS** tenía por fin la determinación de las coordenadas plano-altimétricas de un cierto número de pozos, presentes en las 6 áreas de investigación, en los cuales se medía periódicamente el nivel de la piezometría. El sistema GPS, midiendo las distancias entre una antena receptora, ubicada en correspondencia del punto a medir, y un cierto número de satélites, y conociendo la posición de los mismos, efectúa una triangulación que permite obtener la posición del punto arriba citado.

Esta posición, empero, no es de utilización inmediata, por los siguientes motivos:

- 1) La medición está afectada por errores de distintos tipos, que hacen que a priori las indeterminaciones en las coordenadas del punto sean del orden de 100 m en planimetría y de 150 m en altimetría.
- 2) El sistema de referencia en el que la medición se efectúa es el propio del GPS, denominado WGS 84 (World Geodetic Datum de 1984). Por lo que atañe a la planimetría, las coordenadas obtenidas pueden distar varios centenares de metros de aquéllas de los sistemas locales presentes en los varios países. Por lo que atañe a la altimetría, la cota medida es la relativa al elipsoide de referencia, o sea al WGS 84, y no se trata pues de una cota sobre el nivel del mar, que, en cambio, es la que es habitualmente de interés.

Para solucionar el primer punto, fue necesario construir una red de medidas, utilizando un determinado número de receptores GPS (4, en nuestro caso), y manteniendo en todo caso uno o más receptores en puntos fijos, de los que se conociesen las coordenadas. De tal manera, y utilizando software oportunos, es posible obtener a posterior una posición para los pozos caracterizada por una elevada precisión. Esto se verifica si están satisfechas las siguientes condiciones:

- Las coordenadas de los puntos conocidos deben ser conocidas con la máxima precisión posible en el mismo sistema de referencia en el que se efectúa la medición.
- La distancia entre los pozos y los puntos conocidos no debe superar un límite máximo, del orden de los 15-20 km.

En la República Dominicana no hay noticia de puntos de los que se conozcan las coordenadas en el sistema WGS 84. Existen sin embargo algunos puntos trigonométricos, instituidos por lo general en los años '50, que podían ser utilizados para nuestros fines; pero de ellos se conocen las coordenadas en el sistema local NAD 27 (North American Datum de 1927). Fue necesario, por lo tanto:

- Fijar arbitrariamente las coordenadas de un punto trigonométrico, convirtiendo sus coordenadas del sistema NAD 27 al WGS 84; en particular se eligió el punto de Haina, al Oeste de Santo Domingo, por su posición central en el ámbito de las 6 zonas de investigación.
- Construir una red GPS preliminar para determinar las coordenadas de otros puntos trigonométricos localizados en el territorio mediante una inspección preliminar. Se hace notar que el número de puntos utilizables resultó ser exiguo por distintos motivos, como por ejemplo la excesiva incomodidad o la imposibilidad de localización, o la imposibilidad de colocación de un aparato GPS en los mismos.

En este área fue utilizado un solo punto trigonométrico: Cabral.

La utilización de un solo punto no permitió satisfacer la condición de distancia máxima de los pozos de 15-20 km. Fue necesario, pues, instituir un cierto número de nuevos puntos de referencia, seleccionados siempre durante la fase preliminar de inspección, de modo tal que se encontraran en correspondencia de la mayor parte de los pozos. En particular, para la Valle de Neiba, fueron seleccionados 3 nuevos puntos.

Por lo que atañe a la solución del punto 2) del que se ha tratado arriba, es necesario distinguir entre la conversión de las coordenadas planimétricas del sistema WGS 84 al NAD 27 y la conversión de la coordenada altimétrica de cota elipsoidal en el sistema WGS 84 a cota sobre el nivel del mar, o cota ortométrica. Utilizando los puntos trigonométricos arriba citados, de los cuales se conocían las coordenadas planimétricas en ambos sistemas de referencia, se calcularon, mediante oportunos algoritmos, los parámetros de la transformación que permitiesen pasar de un sistema al otro con la mínima indeterminación posible.

Viceversa, para la transformación de las cotas era necesaria la presencia de un "geoide", o sea de un modelo matemático que describiese la desviación entre las cotas elipsoidicas y las ortométricas en correspondencia de las áreas examinadas. Tal modelo,

para el área del Caribe, fue calculado en los Estados Unidos por el NGS (National Geodetic Survey) y por la NIMA (National Imagery and Mapping Agency) y fue denominado CARIB 97, y se puede disponer de él gratuitamente. Tratándose de modelo matemático, éste debía ser “calibrado” localmente, para hacer corresponder las cotas obtenidas con verdaderas cotas sobre el nivel del mar.

En la República Dominicana están presentes algunas líneas de nivelación, es decir líneas a lo largo de las cuales se pueden hallar puntos de los que se conoce con precisión la cota ortométrica. Estas líneas pertenecen por lo general a dos grupos, el primero instituido en los años '50, el segundo en los años '70. Desdichadamente no fue posible determinar cuál era el punto de referencia utilizado para definir la cota “0”, o sea el nivel del mar propiamente dicho, ni si esta referencia era la misma para ambos grupos de líneas de nivelación.

Estas líneas, además, suelen estar instituidas a lo largo de las líneas de comunicación. A distancia de 20, o 40 años, obviamente casi todas las carreteras sufrieron fases de mantenimiento, que en la mayoría de los casos llevaron a la destrucción de los puntos de nivelación. Esto hizo que aun disponiendo de aproximadamente 180 monografías, fuese posible localizar sólo 29 puntos, comprendiendo en tal número también aquéllos de los que se halló sólo el punto preciso en el que se encontraba, aun resultando removida o destruida la materialización.

Por último, de tales puntos no se conocía obviamente la coordenada en el sistema WGS 84, y ni siquiera aquella en el NAD 27, dado que la monografía presenta sólo la distancia progresiva desde el comienzo de la línea. Fue necesario, por lo tanto, estacionar en ellos con un instrumento GPS a fin de determinar sus coordenadas. Esta actividad se llevó a cabo en la fase preliminar en la cual se definieron los puntos de referencia.

La campaña de medición propiamente dicha requirió aproximadamente 3 meses de trabajo por parte de 4 cuadrillas. Cada punto fue estacionado por un intervalo de tiempo comprendido entre 30 y 60 minutos, según su distancia desde el punto de referencia. El total de pozos medidos fue 517, de los cuales 46 para el Valle de Neiba.

Muchos de éstos no se podían medir directamente mediante el instrumental GPS. La antena utilizada, para poder recibir las señales de los satélites en órbita, necesita una visual del cielo lo más posible libre, y esto no era posible a menudo por la presencia de cobertizos, muros, o vegetación. En este caso se seleccionaba un punto que permitiese la medición lo más cerca posible del pozo, del cual se medían la coordenadas mediante GPS. Contemporáneamente se medía la distancia y la dirección de la línea que unía ambos puntos, de manera que se pudiese sucesivamente obtener las coordenadas del pozo a partir de las del punto medido.

6.3.3 Levantamiento taquimétrico de puntos de agua

El levantamiento taquimétrico para la determinación de la cota de puntos de agua, se aplicó en un caso específico, donde era importante una determinación precisa de la elevación de cada punto.

Esta metodología de determinación de la cota se aplicó en sondeos cerca del Río Yaque del Sur, para comprobar las relaciones entre estos últimos y el acuífero aluvional.

El levantamiento de las cotas se realizó en una campaña llevada a cabo en Noviembre de 1999. Se utilizó una brigada de 4 personas formada por:

- . 1 agrimensor
- . 1 ingeniero hidrogeólogo
- . 1 ayudante
- . 1 chofer - ayudante

Las medidas se realizaron aplicando el método de la nivelación geométrica (nivelación compuesta a doble estadía), utilizando un nivel de precisión marca Wild NK2 con nivel basculante y dos estadías tipo libro de 4 metros.

Se determinaron las cotas de los siguientes 3 puntos:

<i>Identificación del sondeo / punto</i>	<i>Código del punto en el Banco de datos</i>
Tamayo 1	5898
Tamayo 2	5899
Nivel del agua en el Río Yaque del Sur en el punto más próximo al sondeo Tamayo 1.	

Los resultados se introdujeron en el banco de datos y se tomaron en cuenta para las actividades de conceptualización hidrogeológica y para la modelización.

6.4 Hidroquímica e intrusión marina

La primera actividad llevada a cabo, inmediatamente después del inventario de los puntos de agua, consistió en la definición de los puntos de control de calidad y de la intrusión marina.

6.4.1 Muestreo y análisis para la calidad de las aguas

Vista la cantidad de puntos inventariados, la selección de los pozos a destinar a la red de control de calidad presentó (a parte algunos problemas relacionados con la distribución en el espacio de los puntos aptos existentes, no siempre optimal) sólo la dificultad de elegir los mejores.

Los requisitos necesarios para incluir un punto en la red requirieron una selección muy rigurosa.

Por lo que concierne a la red de control de la calidad, los requisitos indispensables para la inclusión de un pozo en la red de control son:

- características de realización del pozo adecuadas;
- accesibilidad;
- distancia relativa de los demás puntos de la red;
- distribución en el espacio en relación también con los acuíferos presentes;
- frecuencia de utilización;
- disponibilidad de un equipo de bombeo;
- posibilidad de toma de las muestras en las cercanías de la boca de pozo.

En el curso del año de observación en algunos casos faltó la disponibilidad del punto seleccionado, tanto por revocación de parte del propietario de la concesión de acceso, como por la imprevista imposibilidad de utilización del punto. En los límites de lo posible, se trató de sustituir los pozos que no era posible utilizar con otros con características similares ubicados en las inmediatas cercanías.

En esta área la red de control resulta estar constituida por 16 puntos, su distribución está presentada en el mapa: “Mapa de caracterización hidroquímica de las aguas subterráneas” (Mapa 4).

Muestreo

La organización logística de la actividad de muestreo se valió de brigadas constituidas por dos personas equipadas de la siguiente manera:

- pHímetro y termómetro digital;
- Conductímetro de compensación de temperatura;
- kit de campo para la determinación de Bicarbonatos y Carbonatos;
- kit de campo para la determinación de Nitritos y Nitratos;
- equipo para la filtración del agua en filtros de 0,45 μm de porosidad;
- botellas de polietileno para la conservación de la muestra;
- HNO_3 para la conservación de la alícuota de muestra para el análisis de los cationes;
- freatímetro;
- termómetro para el aire.

Cada muestra fue identificada con un número de cinco cifras; las primeras cuatro tomadas del inventario: la primera cifra identifica el área de procedencia, las sucesivas tres el número progresivo del punto de agua; por último la quinta cifra es indicativa de la campaña de muestreo (1, 2, 3, 4).

Los resultados de las mediciones se anotaban tanto en las fichas de control como en los cuadernos de campo (Anexo Memoria6).

Los procedimientos de muestreo, de calibración y control periódico del instrumental de campo fueron estandarizados según los procedimientos indicados por “Standard Methods” [APHA, AWWA, WEF, Standard Methods 18th Edition, American Public Health Association, 1992].

Las muestras recolectadas por cada cuadrilla se almacenaban temporáneamente en la base logística de la que dependía la brigada, para ser enviadas luego, con cadencia semanal, a la sede de Aquater en la ciudad de S. Domingo.

En la sede de Aquater de S. Domingo se controlaba la integridad física y el número de los recipientes, además se redactaba el registro de las muestras para la transmisión al laboratorio.

Contextualmente, los datos de campo se controlaban y se introducían en el banco de datos.

Actividad de laboratorio

La transmisión de las muestras al laboratorio INDRHI se oficializaba mediante la toma en cargo de las aguas y de la copia del registro de las muestras, firmada por el responsable de Aquater y contrafirmada por la responsable del laboratorio, una vez cumplidos los procedimientos de control de la integridad de los recipientes y de la correspondencia de la numeración.

Los análisis requeridos y efectuados por el laboratorio son los siguientes (Anexo memoria 6):

- conductividad eléctrica específica;
- pH;
- bicarbonato;
- carbonato;
- cloruros;
- sulfatos;
- sodio;
- potasio;
- calcio;
- magnesio;
- amoníaco (en la última campaña).

Organización de los datos

Los resultados de las actividades analíticas relativas a la calidad de las aguas se organizaron en el banco de datos dividiéndolos entre análisis de campo y análisis de

laboratorio.

Se pueden consultar los datos de campo utilizando los campos relativos a:

- n° de inventario del punto;
- n° de la campaña;
- datos de toma;
- datos relevados;
- tipología de análisis;
- descripción de la red de pertenencia.

Se pueden consultar los datos de laboratorio utilizando los campos relativos a:

n° de inventario del punto;
n° de la campaña;
fecha de muestreo;
datos analíticos.

Sobre la base de la organización descrita aquí es posible extraer las informaciones necesarias de vez en vez según las exigencias específicas del momento y, si es necesario, crear los files a destinar a la elaboración gráfica mediante el código de cálculo Hydrochem de Rockware, Golden Colorado (USA).

6.4.2 Muestreo y análisis isotópicas

En el curso del proyecto se han tomado un total de ocho muestras (Fig. 6.4.2/1), en todas las muestras tomadas se han determinado: Oxígeno-18 (O18), Deuterio (D) y Tritio (T), en una C13 y C14..

La toma, la conservación de las muestras y las técnicas analíticas han sido realizadas en conformidad con las normas indicadas por la Agencia Internacional para la Energía Atómica de las Naciones Unidas [A.I.E.A., 1983. Guidebook on Nuclear Techniques in Hydrology. -Technical. Reports Series n° 91, Vienna, 439p].

Los análisis han sido efectuados en la República Federal de Alemania en el laboratorio Hydroisotop de Schweitenkirchen (Anexo memoria 7).

6.4.3 Muestreo y análisis para la potabilidad

La investigación sobre la potabilidad de las aguas subterráneas en los sectores de estudio del proyecto está descrita con mayor detalle en el Anexo 8 (“Potabilidad de las aguas”), del cual el Mapa 6 (“Mapa de clasificación de la potabilidad de las aguas”) constituye la síntesis cartográfica de los resultados.

La evaluación de las características de potabilidad de las aguas subterráneas ha sido realizada específicamente a través de una campaña de toma y análisis de 40 aguas, 6 de las cuales dentro del área de la Valle de Neiba, procedentes de pozos públicos, localizados en las áreas de estudio. Tales resultados fueron integrados con la reinterpretación, a fines de la utilización potable, de los datos relativos a las aguas de los 395 pozos pertenecientes a la Red de Calidad, de los cuales 26 ubicados dentro del

área en cuestión.

Mientras que las 40 muestras tomadas expresamente para esta investigación han sido sometidas a una pormenorizada determinación de los parámetros químico-físicos y microbiológicos que determinan la idoneidad de las aguas naturales para el consumo humano, para la evaluación de los demás puntos hídricos se ha considerado un número de parámetros reducido y limitado a aquellas especies químicas, ya determinadas en el curso de las cuatro campañas de calidad, capaces de suministrar, aunque sea parcialmente, una indicación restringida sobre la potabilidad de las aguas.

Los parámetros sometidos a investigación en los puntos hídricos muestrados para esta investigación han sido los siguientes:

Parámetros microbiológicos

- Coliformes (Colibacilos totales)
- Coliformes fecales (Colibacilos fecales)
- Enterococos (Streptococos fecales)
- Microorganismos (Microorganismos aerobios mesófilos)

Parámetros químico-físicos

- Conductividad
- pH
- Turbiedad
- Residuo Fijo
- Cl
- SO₄
- NO₃
- NO₂
- Pb
- Ca
- Mg
- F
- P
- Fe total
- Cd
- Cr
- NH₄

Para los puntos hídricos pertenecientes a la red de calidad, monitoreados en el curso del proyecto por 4 distintas campañas de medición y análisis, entre las especies determinadas en dicho ámbito, han sido sometidas a un control de congruidad con los límites normativos de referencia los siguientes:

- Conductividad
- pH
- Residuo Fijo
- Cl
- SO₄

-
- NO3
 - NO2
 - Ca
 - Mg
 - NH4

El muestreo específico para la determinación de potabilidad ha sido realizado en conformidad con todo lo prescrito en:

- UNICHIM “Metodi di campionamento per acque interne superficiali e sotterranee”, Manuale n. 144/85
- UNI EN ISO/ 5667-3, Qualità dell’acqua. Campionamento. Guida per la conservazione ed il mantenimento di campioni, Dicembre 1995
- UNI 10674 Acque destinate al consumo umano. Guida generale per determinazioni microbiologiche, Febbraio 1998
- EPA 600/(4-79-020), Methods for Chemical Analysis of Water and Wasts Federal Register, Sept. 3. 1987. 40 CFR Charpet1, Revised July 1.1988
- EPA 823 - B - 9, Water Quality Standards Handbook: Second Edition Appendixes, 1994

Las modalidades de toma de las muestras de pozos equipados con bomba han estado sustancialmente ligadas al estado de la misma, es decir:

- Bomba in erogación continua. La muestra ha sido tomada directamente;
- Bomba instalada pero detenida. L’erogación antes del muestreo se ha prolongado por un tiempo suficiente para el vaciamiento de las tuberías de enlace si la detención de la bomba había sido de breve duración, si al contrario, la detención de la bomba había sido superior a los tres días, el expurgo ha tenido una duración suficiente para la obtención de agua representativa del acuífero, eliminando, indicativamente, un volumen de agua equivalente a 3 veces el del pozo mismo.

Los análisis químico-físicos y bacteriológicos han requerido muestreos diferenciados tanto en las modalidades de toma como en la utilización de envases específicos.

Para las muestras de agua a enviar al laboratorio para los análisis químico-físicos las distintas alícuotas ha sido recogidas en envases de polietileno con tapón y contratapón herméticos. En el momento de la toma la muestra ha sido filtrada con una membrana con poros de 0.45 μm y limitadamente a las tomas de análisis destinadas a la determinación de los metales, acidificada con HNO₃ hasta pH 2.

Para la recolección de las muestras para análisis bacteriológicos se han utilizado envases estériles con contratapón y tapón de rosca. Ningún tratamiento ha sido efectuado en campo, salvo recoger las muestras utilizando guantes de látex descartables. Las muestras tomadas de esta manera han sido inmediatamente colocadas en frigorífico portátil y mantenidas a 4°C hasta la entrega al laboratorio analítico, ocurrida dentro de las 24 horas sucesivas desde el momento de la recolección.

Con relación a los parámetros químico-físicos, para la evaluación de la calidad potable de las aguas subterráneas en las áreas de estudio ha sido utilizado como referencia normativa lo prescrito por la OMS, en la emanación de 1993, siendo esta última difusamente adoptada como referencia en numerosas naciones que no poseen una normativa propia.

La toma de posición de no vincular el juicio de potabilidad a la normativa nacional vigente (NORDOM 64) está justificado por la subsistencia de límites, tan restrictivos como inapropiados para algunos de los parámetros considerados, que habrían determinado un juicio de no potabilidad para la casi totalidad de los puntos hídricos considerados.

Para los parámetros microbiológicos nos hemos referido en cambio sólo a la norma dominicana utilizando los límites fijados por las otras normativas solamente para fines comparativos.

El juicio expresado de esta manera sobre la potabilidad de las aguas expresamente tomadas para esta investigación, en el caso de comprometimiento sólo de los parámetros microbiológicos ha sido aplazado a un sucesivo muestreo y análisis de verificación, a realizarse previa cuidadosa esterilización preliminar de los pozos.

Las muestras de la red de calidad sometidas al juicio de permeabilidad reflejan, en cambio, en el caso de evaluación positiva, los límites obvios que derivan de un número incompleto de parámetros que no permite un juicio definitivo.

Estas muestras, analizadas en el curso de distintas campañas de toma y análisis, han sido evaluadas verificando la persistencia temporal de las condiciones de potabilidad de las aguas en los puntos hídricos considerados.

6.4.4 Muestreo y análisis para aguas minerales y minero-medicinales

En el Valle de Neiba han resultado presentes siete manantiales con aguas de tipo minero-medicinal de cierto interés (ver Anexo 9).

Los manantiales están ubicados alrededor del lago salado de Enriquillo y han sido muestreados en el curso del proyecto durante una específica campaña, para la determinación cualitativa desde el punto de vista químico y microbiológico, en conformidad con los métodos indicados en EPA 600/(4-79-020) (Methods for Chemical Analysis of Water and Wastes Federal Register, 1988) y EPA 823-B-9 (Water Quality Standards Handbook; Second Edition Appendixes, 1994).

En particular los análisis químico-físicos y bacteriológicos han requerido muestreos diferenciados tanto en las modalidades de toma como en la utilización de envases específicos.

Para las muestras de agua a enviar al laboratorio para los análisis químico-físicos las distintas alícuotas ha sido recogidas en envases de polietileno con tapón y contratapón herméticos. En el momento de la toma la muestra ha sido filtrada con una membrana con poros de 0.45 μm y limitadamente a las tomas de análisis destinadas a la determinación de los metales, acidificada con HNO_3 hasta pH 2.

Para la recolección de las muestras para análisis bacteriológicos se han utilizado envases estériles con contratapón y tapón de rosca. Ningún tratamiento ha sido efectuado en campo, salvo recoger las muestras utilizando guantes de látex descartables. Las muestras tomadas de esta manera han sido inmediatamente colocadas en frigorífico portátil y mantenidas a 4°C hasta la entrega al laboratorio analítico, ocurrida dentro de las 24 horas sucesivas desde el momento de la recolección.

En campo, en el momento de la toma se han determinado los valores de los siguientes

parámetros:

- temperatura
- pH
- Conductividad
- Acido sulfhídrico disuelto
- Anhídrido Carbónico disuelto
- Bicarbonatos
- Carbonatos

En laboratorio para cada muestra se han determinado los parámetros microbiológicos y químicos enumerados a continuación:

Parámetros microbiológicos

- Recuento de Microorganismos aerobios mesófilos a 35°C
- Recuento de Coliformes (Colibacilos totales)
- Recuento de Coliformes fecales (Colibacilos fecales)
- Recuento de Enterococos (Streptococos fecales)
- Recuento de Anaerobios sulfito reductores
- Recuento de Estafilococos aureus
- Presencia de Pseudomonas aeruginosa

Parámetros químico-físicos

- pH
- Conductividad
- Turbiedad
- Cloruros
- Fluoruros
- Fósforo
- Nitritos
- Nitratos Amóniaco
- Sulfatos
- Residuo Fijo
- Alcalinidad Carbonática
- Alcalinidad Bicarbonática
- Calcio
- Manganeso
- Sodio
- Potasio
- Litio
- Estroncio
- Yodo
- Bromo
- Silicio
- Hierro
- Aluminio

Los datos analíticos de campo y de laboratorio están presentados en Anexo No 9.

6.4.5 Control de la salinidad y de la intrusión marina

La inexistencia de indicaciones sobre la presencia de fenómenos de intrusión marina ha hecho que fuera superfluo proceder a una investigación en tal sentido, vista también la insuficiencia de puntos de monitoreo en la franja costera.

6.5 Geofísica

6.5.1 Objetivos de las campañas geofísicas

El objetivo indicado en los Términos de Referencia era determinar los espesores de las formaciones acuíferas o de toda forma de interés hidrogeológico.

En la realidad, a parte de algunas excepciones representadas esencialmente por formaciones aluviales, los espesores de las formaciones de interés hidrogeológico presentes en el área de estudio son demasiado grandes para poder ser determinados con el tipo de prospección previsto. Se eligieron entonces objetivos de diferente naturaleza pero siempre de gran utilidad para los fines del estudio.

El objetivo principal fue definir la profundidad del techo de la cobertura impermeable del acuífero cautivo en el área de Tamayo y determinar la continuidad del mismo acuífero en las zonas más internas de la depresión del Lago Enriquillo. Otro objetivo fue el estudio de las relaciones entre abanicos y sedimentos lacustres en la zona de Neiba.

6.5.2 Cantidades previstas y ejecutadas

En el anexo E del contrato no estaba prevista una subdivisión por área de los sondeos previstos (para los detalles sobre cantidades totales previstas y cambios efectuados en relación con el cambio de objetivos, véase el Anexo 10).

Las cantidades ejecutadas en el Valle de San Juan fueron las siguientes:

S.E.V. con AB = 150 m	0
S.E.V. con AB = 500 m	30
S.E.V. con AB = 1000 m	33
Total S.E.V. realizados	63

El trabajo se ejecutó en dos campañas (ver párrafo siguiente).

6.5.3 Metodologías de prospección y de interpretación utilizadas

Organización general de la prospección

La prospección geofísica fue realizada en dos campañas con el fin de poder determinar, con un período intermedio dedicado a la interpretación, si los objetivos iniciales podían ser alcanzados y para entonces permitir, ya sea intensificar las medidas donde fuera necesario, ya sea cambiar estrategia en caso de no definición del blanco requerido.

En la primera campaña realizada en Septiembre de 1998, se ejecutaron los primeros perfiles de S.E.V. en toda el área.

La segunda fase se realizó en el mes de Enero de 1999. En la segunda parte del trabajo se continuó/integró la prospección de la primera fase.

Metodología de prospección adoptada

Los métodos geofísicos de investigación tienen por objeto obtener información sobre las características de las formaciones geológicas del subsuelo por medio de la determinación de parámetros físicos obtenidos a través de observaciones y mediciones

realizadas en la superficie del terreno (métodos indirectos de prospección).

En el presente estudio el método empleado fue el geoelectrico (de resistividad).

Los métodos de prospección geoelectrica se dividen en dos categorías:

- Los que utilizan una “señal natural” (campos eléctricos inducidos por diferentes factores naturales).
- Los que utilizan una “señal artificial” (se induce en el subsuelo un campo eléctrico con el envío de una corriente eléctrica por medio de una fuente de energización externa como baterías, generador...).

En este estudio se utilizó uno de los métodos del segundo tipo en su modalidad Sondeos Eléctricos Verticales, mediante el cual se pueden determinar las resistividades y los espesores de los diferentes estratos del subsuelo.

Principios y descripción del método utilizado

La metodología de prospección geoelectrica adoptada estudia las modificaciones, dentro del subsuelo, del campo eléctrico inducido con una fuente de corriente continua, ocasionadas por las diferentes resistividades de las formaciones geológicas presentes y por la geometría de estas últimas.

La resistividad ρ de un cuerpo conductor eléctrico es definida como $\rho = \frac{1}{\sigma}$

donde con σ se indica la conductividad eléctrica, o sea la aptitud o capacidad del cuerpo de conducir la corriente eléctrica.

Los factores que determinan la resistividad de las diferentes capas en el subsuelo son esencialmente:

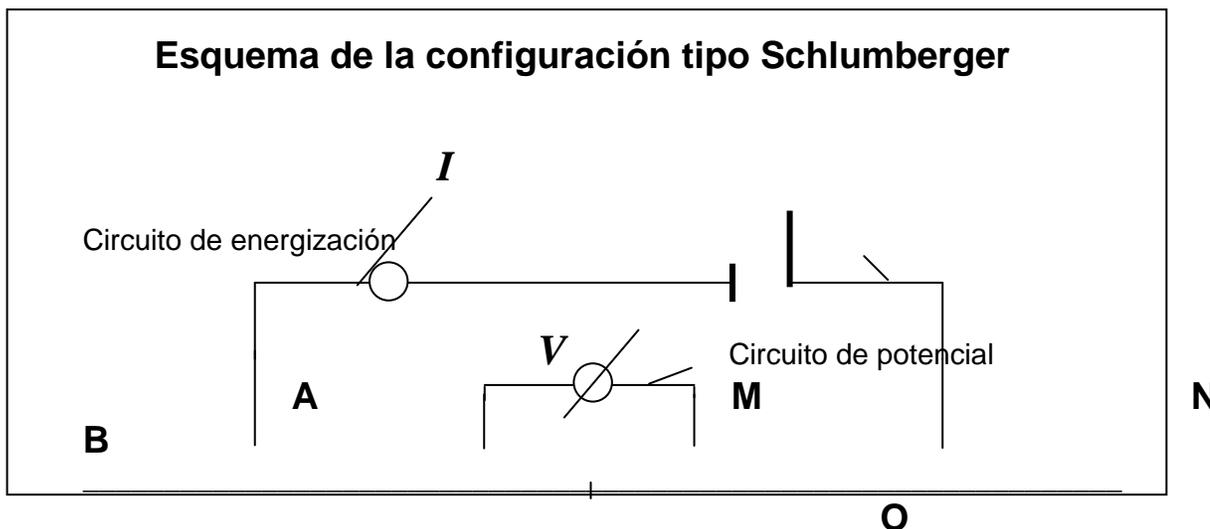
- La litología de las formaciones presentes.
- La presencia de agua (u otro fluido de imbibición).
- El contenido salino y la temperatura del agua.
- Los espesores y, de forma general, la geometría de las diferentes capas eléctricas en el subsuelo.

Estos factores hacen de este método una disciplina muy utilizada en el campo de la hidrogeología y de los problemas de intrusión marina.

Un aspecto muy importante a considerar es también el hecho de que, en la prospección y en la interpretación de los datos, hay una experiencia consolidada por más de 30 años de actividad con muchos “case history” de referencia.

Obviamente, como cualquier tipo de prospección indirecta, es decir que no mide directamente el objeto de la investigación (mide solamente desde la superficie parámetros relacionados con el objeto mismo), necesita una buena calibración para dar resultados confiables y representativos de la situación real (este aspecto es aún más importante si se consideran los problemas de “equivalencia”, es decir que diferentes situaciones del subsuelo pueden ocasionar la misma respuesta desde el punto de vista de los parámetros medidos).

Existen diferentes configuraciones electrónicas para la prospección geoelectrica. La más utilizada (adoptada también en el presente estudio) para la ejecución de los S.E.V. es la configuración cuadrielectrónica (arreglo) de tipo Schlumberger, representada esquemáticamente en la siguiente figura.



En los trabajos de campo, los parámetros que se miden son la intensidad de corriente I (poniendo un miliamperímetro en serie con el circuito de energización), la diferencia de potencial V (mediante un milivoltímetro puesto en paralelo al circuito de potencial) y las distancias entre los electrodos A, M, N, B utilizados.

El sondeo eléctrico vertical (S.E.V.) consiste en efectuar una serie de medidas dejando siempre el centro del dispositivo en un mismo punto "O" y aumentando sucesivamente la distancia AB, con el propósito de explorar siempre más en profundidad, hasta la profundidad deseada. Los electrodos A y B se llaman "electrodos de corriente" y los M y N "electrodos de potencial".

Por cada posición sucesiva de A y B se puede así calcular la resistividad ρ con la fórmula siguiente:

$$\rho = K \frac{V}{I}$$

donde K representa la constante característica del arreglo, conocida como factor geométrico por ser función de la separación de los electrodos A, B, M y N y que se calcula, por cada posición ABMN, de la forma siguiente:

$$K = \frac{2\pi}{\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} - \frac{1}{AN} + \frac{1}{BN}}$$

Desde el punto de vista teórico, si el subsuelo fuera un medio homogéneo e isótropo, la resistividad ρ que se calcula de la forma arriba indicada, representaría la resistividad real del mismo medio.

En circunstancias reales, estamos muy lejos de esta condición. Entonces el parámetro que se mide tiene las dimensiones físicas de una resistividad, pero no representa la resistividad de ningún medio conductor. Este parámetro es función:

- de las resistividades reales de las capas que se encuentran en el volumen de terreno donde está presente el campo eléctrico inducido durante la energización,
- de la geometría (espesores, estructura geológica),
- de las deshomogeneidades de las mismas capas.

Este parámetro se llama “resistividad aparente” y se indica con ρ_a .

Poniendo en un gráfico en las abscisas los valores de la semidistancia entre los electrodos AB ($AB/2$) y en las ordenadas la resistividad aparente (ρ_a) por cada posición sucesiva de los electrodos de corriente, se construye una curva que representa la función $\rho_a = f(AB/2)$ que se utiliza para la interpretación de los datos (ver párrafo 6.5.5 más abajo).

6.5.4 Equipos utilizados

El estudio geofísico fue conducido por dos brigadas cada una de ellas constituida por un geólogo-geofísico y dos ayudantes.

Los sondeos eléctricos fueron ejecutados con dos equipos diferentes: el primer equipo fue un PKE analógico fabricado en Polonia con escala de 1 a 3000 mV o mA; el segundo equipo fue un PASI digital fabricado en Italia con escala hasta 10000 mV y 3000 mA.

Fueron utilizados cables unipolares en acero y cobre para el circuito AB y cables con elevado aislamiento para el circuito MN.

En cada sondeo fueron utilizadas 4 barras de acero por cada electrodo de corriente (A, B) para disminuir los efectos de las resistencias de contacto y barras de cobre para los electrodos de potencial (M, N).

La fuente de energización utilizada fue constituida por baterías con una diferencia de potencial nominal máxima de 450 V por cada equipo.

Todo el equipo utilizado fue periódicamente controlado.

6.5.5 Interpretación de los resultados

Por lo que se refiere a los principios generales de la interpretación, se puede indicar lo que sigue:

Los métodos de interpretación existentes, permiten calcular con determinadas ecuaciones las curvas teóricas $\rho_a = f(AB/2)$ para diferentes modelos del subsuelo,

—

cada uno constituido por diferentes capas de espesor definido y resistividad real ρ . Para simplificar la resolución de las ecuaciones, se ha asumido que el espesor de la última capa sea infinito (en la práctica de dimensiones mucho más grandes que las de las otras capas superiores).

Cambiando los parámetros del modelo (número de capas, sus espesores y sus resistividades), se calculan las curvas teóricas correspondientes y se busca la que se superpone de mejor forma a la curva de campo (procedimiento de búsqueda del “best fit”). Una vez encontrado un “fit” satisfactorio, se atribuye el modelo elegido a la vertical del centro “O” del S.E.V. considerado.

Es obvio que cuando se tienen datos de calibración, éstos se colocan en los modelos teóricos como constantes y se dejan variar sólo los otros parámetros hasta encontrar el “fit” deseado.

Haciendo las mismas operaciones por cada S.E.V. ejecutado al lado de otro, se definen las secciones geoelectricas interpretativas (ver cuadros desde 3AI hasta 3HIV).

En la práctica, la interpretación se produjo de la forma siguiente:

Se aplicó generalmente un método que consiste en comparar la curva obtenida en las mediciones de campo con curvas patrón, elaboradas por aplicación de fórmulas apropiadas, que figuran en numerosas publicaciones científicas (las primeras fueron editadas por el padre de las interpretaciones de las prospecciones en corriente continua el Ing. Orellana).

Estas curvas, muy numerosas, aparecen en catálogos que las agrupan según el número de capas que representan (curvas de dos capas, de tres, de cuatro, etc.) y según configuraciones típicas (familias A, H, K, Q, etc.).

Esta primera fase permitió elegir el número de capas del modelo interpretativo (reduciendo así las variables de la interpretación) y obtener una buena interpretación preliminar.

Después, la electroestratigrafía resultante por cada sondeo, fue comprobada y optimizada en la computadora con un programa que, sin modificar el modelo geológico en input (en la práctica dejando invariable el número de capas), reduce al mínimo el error cuadrático medio de las diferencias entre las curvas de campo y las curvas teóricas.

Los sondeos eléctricos interpretados incluidos en el Anexo 10, tienen, en general, un error cuadrático medio comprendido entre 2% y 4%.

Para un mejor análisis de los datos obtenidos, fueron elaboradas en fase de interpretación las llamadas Pseudosecciones de Resistividad Longitudinal Diferencial. Éstas se elaboran con valores de resistividad aparente medidos directamente en campaña (sin alguna intervención humana de interpretación) utilizando un “normogram” que permite determinar gráficamente el valor de la Resistividad Longitudinal Diferencial según la fórmula:

$$RLD = \frac{L1 - L2}{\frac{L2}{\rho 2} - \frac{L1}{\rho 1}}$$

donde:

$$L1 = \frac{AB1}{2}$$

$$L2 = \frac{AB2}{2}$$

$$\rho 1 = \text{resistividad aparente referida a } \frac{AB1}{2}$$

$$\rho 2 = \text{resistividad aparente referida a } \frac{AB2}{2}$$

Este procedimiento que no presenta eventuales errores debidos a la interpretación manual gráfica inicial, es útil para aclarar dudas que puedan surgir en la correlación de los electroestratos. La elaboración de estas secciones particulares se realiza principalmente para obtener una mejor visión sobre la situación electroestratigráfica y para poner en evidencia las discontinuidades laterales en el subsuelo.

Es necesario recordar que estas pseudosecciones dan información de tipo cualitativo y no cuantitativo. Para una lectura en términos cuantitativos, es necesario hacer referencia a las secciones geoelectricas (electroestratigráficas) descritas en el capítulo siguiente e incluidas en los cuadros desde 3AI hasta 3HIV.

6.6 Realización de sondeos de exploración y de ensayos de bombeo

6.6.1 Realización de sondeos de exploración

Objetivos y cantidades de los sondeos de exploración

El objetivo general de los sondeos de exploración era obtener datos de variada naturaleza útiles para las diferentes actividades del proyecto, en primer lugar las actividades de modelización de los acuíferos en lo que se refiere a la reconstrucción del modelo conceptual de las seis áreas de estudio.

En el contrato estaba prevista la realización de 44 sondeos, divididos en clases según diámetro de la columna de revestimiento y por profundidades, como se indica en el siguiente esquema. El metraje total previsto era de 3250 metros de perforación. Estos sondeos eran a repartir en las diferentes áreas de estudio según las necesidades.

- Sondeos entubados a aproximadamente 7”
 - de profundidad inferior a 75 m # 20
 - de profundidad entre 75 y 150 m # 5
 - de profundidad entre 150 y 225 m # 2

- Sondeos entubados a aproximadamente 10”
 - de profundidad inferior a 75 m # 8
 - de profundidad entre 75 y 150 m # 2
 - de profundidad entre 150 y 225 m # 1

- Sondeos entubados a aproximadamente 12”
 - de profundidad inferior a 75 m # 3
 - de profundidad entre 75 y 150 m # 2
 - de profundidad entre 150 y 225 m # 1

Durante los estudios ejecutados se individualizaron los siguientes objetivos específicos para los sondeos a perforar en el Valle de Neiba:

- Mejorar el conocimiento geológico-estratigráfico.
- Servir de calibración para la interpretación de la geofísica.
- Adquirir datos relativos a los parámetros hidráulicos de los acuíferos (T, K, S).
- Integrar la red de control piezométrico con pozos dedicados a este efecto.

En relación con estos objetivos específicos y con los de las otras áreas, y tomando en cuenta la realidad de campo, se evidenció la necesidad de modificar en parte el programa original (ver Anexos memorias - Anexo 11).

Esta modificación se realizó una vez que se acordaron con INDRHI e UTG las modalidades específicas para contabilizar los cambios de acuerdo al presupuesto y a los precios unitarios.

De acuerdo con todo esto se realizaron en total 51 sondeos (7 más de los 44 previstos) totalizando 3422.58 metros de perforación (172.58 más de lo previsto). De estos se realizaron en el Valle de Neiba:

- Sondeos entubados a aprox. 7”
 - de profundidad inferior a 75 m 2
 - de profundidad entre 75 y 150 m -

- de profundidad entre 150 y 225 m	-
Sondeos entubados a aprox. 10”	-
- de profundidad inferior a 75 m	-
Sondeos entubados a aprox. 12”	
- de profundidad inferior a 75 m	1
Total	3

La ubicación de estos sondeos y un resumen de sus datos se encuentran en la figura Fig. 6.6.1/1 y en la tabla 6.6.1/1.

Metodología de perforación adoptada

Los 3 sondeos de exploración del Valle de Neiba se ejecutaron utilizando, entre las tecnologías aplicadas en el País, la que mejor se adaptaba a las litologías esperadas y a la obtención de los datos requeridos.

Tomando en cuenta estos factores, entonces, los 3 sondeos se realizaron todos con el método de percusión, según el siguiente esquema:

- a) Perforación con diámetro adecuado hasta la profundidad requerida con inserción progresiva de una tubería provisoria en acero;
- b) Limpieza del sondeo con “cubo” (cuchara);
- c) Introducción de la columna de producción con tubos ranurados y ciegos cuya posición se elige en relación con la profundidad, el nivel estático y la utilización prevista del sondeo (observación piezométrica, red de salinidad, bombeo);
- d) Extracción progresiva de la tubería provisional e introducción de grava entre la tubería y las paredes del sondeo hasta dos metros más arriba de los tubos ranurados más superficiales;
- e) Limpieza y desarrollo del sondeo con bomba y completando el relleno de grava después de la compactación durante el desarrollo;
- f) Realización de un tapón de arcilla de alrededor 2 metros;
- g) Continuación de la extracción de la tubería provisional y del relleno del espacio entre la tubería y las paredes del sondeo, por encima del tapón de arcilla hasta 5 metros de la superficie con los ripios de perforación;
- a) Realización de la cementación de los últimos 5 metros para protección sanitaria del acuífero;
- b) Realización en la superficie de una base de cemento cuadrada, de 1 metro de lado;
- c) Realización de una protección del tubo de la columna de revestimiento, con un tubo de acero de diámetro adecuado introducido en el cemento de la base, cerrado con tapa y candado.

6.6.2 Realización de ensayos de bombeo

En el área se han realizado 4 ensayos de bombeo, ampliamente descritos en el Anexo 12, y cuyos resultados han sido sintetizados en la Tab.6.6.2/1.

Todos los ensayos han tenido una duración de 72 horas.

En todos los pozos a bombear se han instalado electrobombas sumergidas con alimentación por generadores eléctricos donde no se tuvo la posibilidad de recurrir a la red eléctrica.

El caudal de bombeo se ha elegido de acuerdo con los observados durante la perforación y el desarrollo de los pozos; en caso de utilización de los pozos privados, los caudales eran ya conocidos.

Para permitir la correcta medida de los niveles, en la mayoría de los pozos se han instalado tuberías de diámetro pequeño como guía para el medidor.

Los niveles durante el ensayo (sea en los pozos sea en los piezómetros de observación), han sido medidos a través de sondas eléctricas con cable plano de 2 conductores e hilo de acero, cuya señal sonora o luminosa indica el contacto con el agua. El hilo está graduado un centímetros.

Todos los pozos se han dejado en paro 24 horas antes de empezar los ensayos, de manera que el nivel estático no fuese afectado de errores y por eso representativos del nivel natural del acuífero.

Para la medida y el ajuste del caudal de bombeo, como es extremadamente importante que quede lo mismo a lo largo del ensayo, se han utilizado recipientes de capacidad conocidas y cronómetros de precisión para la medida del tiempo de llenado.

Con este método, aunque bastante preciso, no se consigue una regulación instantánea del caudal extraído y por eso, cuando ha sido posible, se han empleado contadores totalizadores.

La medición de los niveles han sido efectuadas a intervalos regulares, así que éstos han podido quedar regularmente distribuidos en una escala logarítmica.

Se han tomado todos los cuidados necesarios para que el agua extraída no volviese al acuífero. Por eso el agua bombeada se ha descargado a una distancia mediamente superior a 100 m aguas abajo de la dirección del flujo, a través de tuberías puestas en obra a tal fin, y vertiendo el agua en barrancos, arroyos o canales que no tiene conexión hidráulica con el acuífero.

Al paro de la bomba, después de 72 horas de ensayo, se han medido los niveles en subida, al fin de calcular el parámetro de transmisividad también con los métodos de recuperación, es decir con medida del los ascensos con frecuencia similar a la de los descensos; este método es más preciso por no tener los problemas de las turbulencias generadas por el bombeo.

6.7 Integración de la red meteorológica existente

A fin de suplir la información de la red meteorológica existente del INDRHI y de la ONAMET (véanse Anexos Memorias n° 1 y 2), se instalaron 2 estaciones meteorológicas de tipo automático con alimentación por panel solar y con archivo en disco magnético de los valores medidos, es decir: precipitación, temperatura del aire, humedad relativa, radiación solar, dirección y velocidad del viento, evaporación (tanque tipo A).

La instalación de las estaciones meteorológicas fue efectuada en dos distintos momentos:

- en el mes de septiembre del año 1997 se instaló la estación meteorológica de Plaza Cacique (Neiba);
- en el mes de agosto del año 1999, consiguientemente a una variante de proyecto, se instaló la estación de Jimaní.

La identificación de los sitios idóneos para la instalación de las estaciones meteorológicas ha sido desarrollada en las siguientes fases:

- selección preliminar, en la oficina, de la distribución óptima de los sitios en los cuales ubicar las estaciones meteorológicas, teniendo en cuenta en particular:
 - el nivel de operatividad y fiabilidad de las estaciones climáticas vigentes;
 - la densidad y la distribución altimétrica de la red vigente;
 - la elevada variabilidad espacial de los parámetros climáticos;

Por cuanto atañe a la selección del sitio idóneo para la instalación de la ulterior estación meteorológica, se consideró la oportunidad de integrar la red ya operativa para garantizar un mejor control del área del lago Enriquillo (véase también Anexo Memorias n° 20).

- comprobación en el campo, de la posibilidad de efectuar la instalación considerando distintos factores, como.
 - facilidad de acceso;
 - idoneidad de los sitios (área casi llana, ninguna y/o mínima interferencia de árboles y de infraestructuras existentes o previstas);
 - seguridad contra actos vandálicos;
 - disposición de los dueños de los terrenos a dejar instalar las estaciones.

La inspección ocular en los sitios de interés fue llevada a cabo junto con funcionarios del INDRHI, y en particular con Antonio Ortíz Mena, Encargado de la Sección de Redes.

En el Anexo Memorias n° 2 se presentan la ubicación de las estaciones instaladas, los valores diarios y mensuales de los parámetros climáticos medidos junto al análisis del régimen climático.

6.8 Hidrología

6.8.1 Campañas de aforos en los ríos y canales

A fin de integrar y completar la información de la red hidrométrica del INDRHI se han efectuado dos campañas de aforos (septiembre 1997 - septiembre 1998, junio 1999 - agosto 1999) en diferentes secciones de los ríos que se encuentran en la zona de estudio, red de aforos del estudio (véase Anexo Memorias n° 13).

El diseño de la red de la primera campaña de aforos, la cual ha incluido también estaciones hidrométricas vigentes y/o suspendidas del INDRHI para alcanzar una distribución espacial óptima, ha sido desarrollado según los siguientes criterios básicos :

- criterios hidrogeológicos: el ingreso y la salida de la zona hidrogeológica afectada, puntos singulares (manantiales o cachones) y/o tramos de intercambio napa-río;
- criterios hidrológicos: régimen previsible de las corrientes de agua (ríos con régimen permanente y/o esporádico);
- criterios hidrográficos: principales confluencias e influencia de la marea;
- criterios económicos: existencia de obras que pueden modificar el régimen natural de las corrientes de agua, es decir: presas reguladoras, sistemas de riego y drenaje, diques derivadores para abastecimiento agrícola y urbano/rural.

Teniendo en cuenta tanto la comprobación en el campo de la posibilidad de efectuar las medidas de caudal, como los conocimientos adquiridos en los primeros períodos del estudio, se han identificado 15 lugares idóneos, en particular 14 secciones en cauces naturales y 1 en la orilla del lago Enriquillo, para efectuar medidas mensuales de caudal y nivel.

En la Tabla 6.8.1./1 aparecen los puntos de la red de aforos (evidenciando las secciones no consideradas en la segunda campaña), la ubicación de los cuales se presenta en el Anexo Memorias n° 13.

En el período junio-agosto 1999 se ha efectuado una segunda campaña de aforos en las zonas hidrológico-hidrogeológicas de interés.

El diseño de la nueva red ha sido desarrollado según los siguientes criterios básicos:

- representatividad hidrológica de las secciones consideradas a fin de caracterizar completamente en las zonas hidrogeológicas de interés tanto el régimen hidrológico como el intercambio napa-río, a la luz de los resultados de la primera campaña;
- mejor control del efecto sobre el régimen natural de la escorrentía de los principales canales destinados al riego que actualmente no son objeto de control sistemático;
- verificación de la posibilidad efectiva de efectuar mediciones en el cauce también sucesivamente a las modificaciones hidro-morfológicas consiguientes al paso del huracán George (sept. 98);
- disponer de una red de referencia eficiente y eficaz como sostén para la individuación de la red hidrométrica básica de control (ref. cap. 9.8 y Mapa n° 2).

Sobre la base de lo descrito anteriormente, se han considerado en total 15 secciones de aforos de las cuales 2 relativas a canales de riego (canales Santana y Vincente Noble).

En la Tabla 6.8.1./2 aparecen los puntos de la red de aforos, evidenciando las nuevas secciones, la ubicación de los cuales se presenta en el Mapa n° 2 (Red de control hidrogeológico e hidrométrico).

6.8.2 Instalación de regletas hidrométricas

En los Términos de Referencia, estaba prevista la instalación, en los cursos de agua superficiales, de 90 regletas hidrométricas (miras) en las seis zonas de estudio, para renovación e integración de la red de control hidrométrica del INDRHI.

Con el paso del huracán George en Septiembre de 1998, la red existente sufrió daños muy graves, tanto por la destrucción de las infraestructuras que las sustentaban, como por el desvío del curso de muchos ríos. Con estos acontecimientos, se presentó entonces, como prioridad absoluta, la reconstrucción de la red ya existente, con el fin de dar continuidad a las series históricas de medidas.

Todo esto significó un cambio radical en el diseño que se estaba definiendo, y condicionó la tipología de las instalaciones (se tuvieron que construir obras civiles inicialmente no previstas para sustentar muchas de las miras a instalar para la reconstitución de la vieja red de control) y la distribución inicialmente considerada.

La campaña de instalación se llevó a cabo en el segundo semestre del año 1999.

De las 90 regletas disponibles, 14 se instalaron en el Valle de Neiba, distribuidas en 6 estaciones, de las cuales, 5 pertenecientes a la vieja red de control del INDRHI y 1 nueva.

En la tabla 6.8.2/1 se encuentran los nombres y los datos de ubicación de las 6 estaciones indicadas.

6.8.3 Evaluación de la recarga

Para llegar en la zona hidrogeológica de interés a una estimación de los recursos disponibles de agua subterránea (tasa de recarga) fidedigna y significativa para proporcionar datos que sirvan de base, juntos con otros aspectos del estudio, a la evaluación del potencial aprovechable de los recursos hídricos subterráneos (cap. 6.10.2 y 8) y para la implementación de los modelos matemáticos de flujo subterráneo (cap. 6.12.1 y 7.1.9), nos hemos basado en el siguiente recorrido metodológico (por más detalles, hagase referencia al cap. 2 del Anexo Memorias n° 14):

a nivel de zona hidrogeológica:

- individuación de las principales fuentes de recarga del agua subterráneo (recarga pluvial directa, por infiltración de escorrentía superficial, en particular del flujo base, en los cauces, procedente de sistemas acuíferos cercanos en conexión hidráulica y por execo de riego);
- individuación de sub-zonas bastante homogéneas en sentido hidrogeológico (formaciones porosas o fisuradas homogéneas en función de la distribución y tipología de los litotipos permeables que afloran), climático (en particular hacia la

marcha de la precipitación), hidrológico y morfológico;

a nivel de sub-zona:

- evaluación del área y de la lluvia media hiperanual;
- análisis de las características del medio ambiente que más influyen sobre el ciclo natural del agua (marcha morfológica, desarrollo del retículo hidrográfico, régimen de las corrientes de agua, naturaleza de los suelos y de la vegetación);
- individuación de las estaciones meteorológicas de referencia;
- individuación de la metodología más apropiada para evaluar la tasa de recarga (balance hidrometeorológico y/o descomposición de hidrogramas diarios); metodología relacionada con la comprensión de los factores meteoroclimáticos, hidrológicos e hidrogeológicos que influyen y/o caracterizan al ciclo natural del agua;
- evaluación de la tasa anual media de recarga del agua subterránea, desagregada con referencia a las fuentes de recarga;
- comparación de los resultados obtenidos con aquéllos de otros estudios desarrollados en la misma área y/o en áreas cercanas similares;
- evaluación de la tasa de recarga pluvial directa con referencia a años húmedos y secos de período de retorno asignado (un año de cada 5 y un año de cada 10).

Para el desarrollo del estudio se tomaron en consideración:

- la cartografía hidrogeológica desarrollada en el ámbito del proyecto (Anexo Memorias n° 18 y Mapas n° 9);
- los resultados alcanzados en la caracterización climática e hidrológica del área de estudio (cap. 3 y 7.2);
- la información disponible en estudios desarrollados con referencia a las áreas de interés y/o áreas cercanas cotejables;
- los resultados alcanzados en la caracterización de los suelos (cap. 7.3) y la información disponible respecto a la eficiencia global de riego y al caudal de operación de los principales canales-sistemas de riego encontrada en literatura técnica y facilitada por el INDRHI (División de Manejo de Tierras y Aguas);
- los resultados alcanzados en la implementación de los modelos matemáticos de flujo de las aguas subterráneas (cap. 7.1.9) por cuanto atañe en particular a la sustentabilidad ambiental de los valores estimados de recarga directa relativamente a las distintas sub-zonas hidrogeológicas individuadas.

6.8.4 Estudios hidrológicos - modelización lluvia-escorrentía

El trabajo de análisis y modelización matemática de las aguas superficiales, desarrollado con referencia a la cuenca del río Yaque del Sur cerrada en Los Guiros, trabajo que integra y completa el análisis hidrológico desarrollado en el Anexo Memorias n° 13 (“Caracterización hidrológica de la zona de estudio (área del Caribe, R.D.)”, consistió en la reconstrucción, mediante el modelo matemático lluvia-escorrentía, de la serie histórica de los caudales naturales a fin de suministrar los elementos necesarios para dar apoyo a una gestión sustentable de los recursos hídricos (véanse cap. 8 y Anexos Memorias n° 17 y 20).

La reconstrucción de la serie histórica de la escorrentía natural ha sido efectuada en base temporal diaria mediante la aplicación de un modelo matemático lluvia-escorrentía

de tipo conceptual determinístico cuyos parámetros característicos han sido evaluados en función de la variabilidad espacio-temporal de los factores meteo-climáticos e hidro-geomorfológicos que afectan al ciclo natural del agua.

La estructura lógico-matemática y las características funcionales del modelo matemático utilizado (código MIKE-ZERO vers. 4.10, módulo lluvia-escorrentía, del Danish Hydraulic Institute, DHI) están ilustradas detalladamente en los anexos manuales originales en idioma inglés del DHI y, sintéticamente, en el Apéndice I del Anexo Memorias n° 15, junto con consideraciones sobre los valores atribuibles a los parámetros del modelo en sede de calibración y con una breve guía para la utilización práctica del código de cálculo.

La actividad de calibración del modelo matemático se ha desarrollado pues según el siguiente recorrido metodológico (detalladamente ilustrado en el Anexo Memorias n° 15 junto al análisis de los caudales de estiaje), con referencia a la cuenca del río Yaque del Sur en su conjunto (para llegar a la reconstrucción de la serie histórica de la escorrentía natural en Los Guiros ha sido necesario reconstruir las series históricas en 8 sub-cuencas aguas arriba, véanse Memoria Final n° 4 y Anexo memorias n° 15):

1. individualización de las secciones fluviales de referencia respecto de las cuales efectuar la reconstrucción de las series históricas de las escorrentías (sub-cuencas de interés del río Yaque del Sur);
2. individuación de las estaciones pluviométricas de referencia (datos meteorológicos de entrada: precipitación);
3. estimación de la evapotranspiración potencial de referencia por medio de la ecuación de Hergreaves-Samani, la cual puede ser elegida, en el área del Caribe de la República Dominicana, como método de referencia para evaluar la evapotranspiración potencial porque tiene el mejor ajuste, en sentido relativo, con la marcha mensual de la evaporación de tanque A (véase Anexo Memorias n° 1);
4. análisis de los datos de caudal medidos (hidrogramas) en las secciones de control para la calibración del modelo matemático;
5. selección de los valores de entrada de los parámetros del código de cálculo para la calibración del modelo (véase el Apéndice I, Anexo Memorias n° 15);

6. calibración del modelo: criterios de control

la calibración del modelo ha sido considerada como satisfactoria cuando resultaban satisfechos criterios de control esencialmente basados en el cotejo gráfico entre la marcha de los valores de caudal medidos y calculados con referencia, para cada año objeto de calibración, al hidrograma anual y a la curva de duración.

Los criterios de control, en condiciones de escorrentía medida natural y/o distorsionada por el uso, así como las modalidades de selección, están detalladamente ilustrados en el Anexo Memorias n° 15.

Los resultados de la aplicación del modelo matemático, también como apoyo de su sucesiva utilización para la evaluación de los balances hídricos (véanse cap. 7.2.2, 8 y Anexos Memorias n° 17 y 20), se han sintetizado en forma gráfica y numérica de la

siguiente manera:

- valores promedio mensuales y anuales de las escorrentías naturales históricas reconstruidas junto con sus valores característicos (promedio hiperanual, cv, valores máximos y mínimos);
- hidrogramas en base diaria de los valores del caudal reconstruidos junto, donde existan, con los valores medidos;
- curvas de duración reconstruidas promedio y de años húmedos y de sequía;
- curvas de duración medidas y reconstruidas;
- valores anuales de las precipitaciones y de los componentes superficial (escorrentía torrencial) y profundo (flujo base) de las escorrentías históricas reconstruidas junto con sus valores característicos (promedio hiperanual, cv, valores máximos y mínimos) expresados como volumen de agua equivalente a láminas (mm);
- indicadores hidrológicos de los caudales de estiaje obtenidos del análisis de las curvas de duración reconstruidas: caudal mínimo promedio diario, caudal igualado o superado respectivamente 355, 330 y 300 (Q_{300}) días por año, el número de días por año (no necesariamente consecutivos) en los cuales el caudal promedio diario fluente en el cauce es inferior a valores de referencia asignados.

6.9 Agronomía - Edafología

El objeto del presente estudio ha sido individualizar, a través de actividades de tipo agronómico y edafológico, las áreas susceptibles de riego, las zonas actualmente con ~~bajo riego~~ ~~regadíos~~ y las cantidades de agua subterránea y superficial utilizadas a fines agrícolas.

El estudio ha sido subdividido en dos partes principales: la primera referida a la revisión de las áreas con regadío actualmente presentes en el ~~Valle~~ ~~distrito~~ ~~regadío~~ de Neiba; en el ámbito de esta actividad, se ha efectuado una caracterización del sector agrícola del distrito de riego, a través de la individualización de los principales cultivos efectuados y de las prácticas agronómicas. Las áreas regadas han sido subdivididas en tres grupos: áreas regadas con aguas superficiales, áreas regadas con aguas subterráneas, áreas regadas con sistemas mixtos. ~~aree irrigate sono state suddivise in tre gruppi: aree irrigate con acque superficiali, aree irrigate con acque sotterranee e aree irrigate con sistemi misti.~~ Se han calculado además las necesidades hídricas para cada cultivo.

En la segunda parte del estudio se han individualizado, entre las áreas agrícolas no regadas, aquéllas con mayor o menor susceptibilidad al riego. Para obtener este resultado, se ha efectuado una campaña edafológica, que ha comprendido la ejecución de perfiles, barrenados, muestreos y análisis químicos de los suelos, ensayos infiltrométricos.

6.9.1 Campaña agronómica y edafológica

El estudio de cada elemento que caracteriza a un determinado territorio permite individualizar cuáles factores naturales y artificiales (antrópicos) han condicionado la formación y la evolución del ambiente estudiado, y cuánto dicho condicionamiento se ha prolongado hasta hoy.

El análisis de las relaciones existentes entre los factores anteriormente citados permite la subdivisión del territorio en áreas, cada una de las cuales está caracterizada por una diferente combinación de tales factores.

A través de una fotointerpretación preliminar, se han determinado una serie de áreas homogéneas caracterizadas por factores similares.

Después del control en campo, se ha procedido a una revisión de la fotointerpretación preliminar, y sobre la base de los datos recopilados en campo, se ha llegado a distinguir la distribución geográfica de los distintos tipos de suelo.

Se ha procedido además a la recopilación y al análisis del material bibliográfico y cartográfico existente, efectuados en la sede central del INDRHI y en las sedes periféricas.

Se hace presente que la bibliografía hallada está representada por documentación parcial (informes sin cartografía anexa), o por estudios a nivel de hacienda en pequeñas superficies.

El ~~levantamiento~~ ~~relevamiento~~ ha sido programado sobre la base de un plan que ha permitido una organización racional de ~~las actividades de campos~~ ~~levantamientos~~, junto con una homogénea distribución territorial de ~~las mismas~~ ~~as~~.

Se ha adoptado un tipo de ~~levantamiento~~ ~~relevamiento~~ denominado “razonado”, es decir que ha tenido en cuenta las características territoriales capaces de influir sobre la génesis de los suelos.

La campaña de levantamiento-relevamiento edafológico ha consistido en:

individualización de los puntos de observación

Presuposición fundamental del levantamiento-relevamiento “razonado” es la individualización de puntos de observación que puedan ser representativos del territorio objeto de estudio. Los puntos han sido elegidos sobre la base de la fotointerpretación preliminar, del sucesivo control de campo in situ y con la observación de numerosas secciones expuestas, también en las zonas cubiertas por la bibliografía ~~a los~~ fines del control.

Ejecución de 10 perfiles

Para cada perfil se han tomado en promedio tres muestras, sobre las cuales se han efectuado análisis físico-químicos específicos, útiles para la definición de la susceptibilidad al riego. En particular, para cada muestra, se han analizado los siguientes parámetros: ~~in particolare, per ciascun campione, sono stati analizzati i seguenti parametri:~~

textura
limo
arcilla
arena
conductividad eléctrica
densidad aparente
punto de marchitez
capacidad de campo
sustancia orgánica
pH
nitrógeno
fósforo
potasio
carbonato de calcio
capacidad de intercambio de cationes

Ejecución de 90 barrenados para una correcta determinación de la textura de los suelos y para definir mejor los límites de las diferentes unidades cartográficas (ver más adelante es este mismo informe).

Durante la campaña se han cumplido además observaciones puntuales de los suelos, que han constituido una ulterior ayuda ulterior para la definición de las áreas susceptibles al riego;

Ejecución de 8 ensayos infiltrométricos, localizados en proximidad de perfiles representativos de cada una de las series de suelo.

6.9.2 Identificación zonas con regadío actual y de zonas potencialmente regables

El estudio realizado ha permitido la producción de un mapa de las áreas irrigadas y de la susceptibilidad a la irrigación, que contiene las siguientes informaciones:

- áreas agrícolas no regadías
- áreas agrícolas regadas con aguas subterráneas
- áreas agrícolas regadas con aguas superficiales
- áreas agrícolas regadas con aguas mixtas
- áreas regadas ocasionalmente con aguas superficiales
- principales cultivos efectuados
- susceptibilidad a la irrigación de las áreas actualmente no regadías.
- localización de los perfiles edafológicos realizados

Para su realización, se han llevado a cabo las siguientes fases de trabajo:
delimitación de las áreas de estudio sobre la base topográfica en escala 1:50.000;
fotointerpretación de fotos aéreas en escala promedio 1:40.000 en blanco y negro,
derivadas de vuelos efectuados en los años 1983/1984; la interpretación ha sido
efectuado según el criterio de la predominancia: a cada uno de los polígonos se le ha
asociado el cultivo predominante.~~l'interpretazione è stata effettuata secondo il criterio
della prevalenza: a ciascun poligono è stata cioè associata la coltura prevalente;~~
verificación, actualización y terminación de la fotointerpretación a través de
investigaciones e inspecciones de campo;
digitalización de las informaciones cartográficas;
construcción del mapa y de la leyenda en ambiente GIS;
asociación a cada polígono de las siguientes informaciones alfanuméricas:

- áreas agrícolas (se trata de superficies brutas, que comprenden taras como carreteras, caminos, canales, terrenos no cultivados), subdivididas en:
 - áreas agrícolas no regadías;
 - áreas regadas con aguas subterráneas (100%);
 - áreas regadas con aguas superficiales (100%);
 - áreas regadas con aguas mixtas (% de agua superficial y subterránea);
 - áreas regadas ocasionalmente con aguas superficiales;
- cultivos predominantes en el momento del estudio, subdivididos así:
 - caña de azúcar
 - sabana
 - sabana-pasto
 - sorgo
 - arroz-frijoles
 - arroz-cultivos mixtos
 - arroz
 - pasto
 - plátano-pasto
 - plátano-hortícolas
 - plátano-cultivos mixtos
 - plátano
 - tomate
 - hortícolas
 - maíz
 - guandul
 - habichuela
 - cultivos mixtos-sabana
 - cultivos mixtos-pasto

– cultivos mixtos

En el presente estudio se definen además los volúmenes de agua de riego necesarios para los cultivos en el distrito de riego. Los volúmenes de agua han sido determinados mediante la realización de un balance hídrico agronómico en relación con los cultivos presentes.

Para la determinación de dicho balance hídrico se ha adoptado un modelo agronómico, que ha requerido informaciones sobre los suelos, clima y sobre los cultivos en cuestión.

Para calcular las demandas de agua de un área ha sido necesario conocer:

- 1) el área a regar;
- 2) el programa de los cultivos;
- 3) el ciclo vegetativo de cada cultivo;
- 4) la demanda de agua de cada cultivo;
- 5) las precipitaciones y demás aportes hídricos;
- 6) la eficiencia total del sistema de riego.

El balance hídrico permite determinar los probables volúmenes de agua que pueden ser utilizados por los cultivos, mediante la evaluación de la dinámica hídrica total en el sistema suelo-planta-atmósfera en ciertas condiciones agroecológicas dadas.

Los componentes del balance hídrico son: aportes de agua por precipitación y/o riego, sustracciones de agua, como ~~escorrentia~~ ~~escurrimiento~~ superficial, percolación o drenaje interno, evaporación y transpiración y el saldo hídrico o cambio de humedad en el perfil del suelo.

El cálculo del balance hídrico señala, en términos generales, períodos de déficit y períodos con exceso de agua.

El período de déficit pone en evidencia el lapso en el cual los cultivos dependerán del riego artificial; el período de exceso, al contrario, da una indicación de la posible existencia de problemas de drenaje superficial y/o subterráneo, cuando no existan condiciones naturales, que facilitan la evacuación de ~~las~~ ~~excedentes~~ ~~excesivas~~ y a su vez, permite cuantificar el grado de recarga de los acuíferos subterráneos.

Teniendo en cuenta que los datos climáticos están publicados en promedios mensuales, éste es el intervalo adoptado para efectuar el balance; sin duda, dado que la evaporación y los elementos climáticos de los cuales depende (radiación, temperatura, tensión de vapor, etc.) son fenómenos continuos y la precipitación es un fenómeno esporádico, puede haber diferencias notables en el resultado del balance, al alargar o acortar el período.

Un balance hídrico con un intervalo semanal permitiría individualizar períodos críticos, que ocasionalmente aquejan sensiblemente al rendimiento de los cultivos, especialmente cuando, tratándose de cultivos anuales de radicación superficial, las diferencias aumentan con la disminución de las capacidades de almacenamiento del agua durante el período de lluvia.

Para el cálculo de las necesidades hídricas de los cultivos, se ha tratado de suministrar contemporáneamente el dato final (en la forma más agregada posible) y todos los datos de partida, con la posibilidad de formular hipótesis variando los datos de partida, para obtener inmediatamente una respuesta, con la consiguiente variación del dato final. Para satisfacer estas exigencias se ha realizado una hoja electrónica, que se ha mantenido lo más uniforme posible para todas las estaciones meteorológicas consideradas.

A la luz de lo expuesto ~~A la luz de lo expuesto~~, se han elaborado dos tablas: en la

primera está calculada la demanda neta de agua, mensual y anual, de cada cultivo, referida a una superficie de 1 hectárea.

En la segunda tabla están calculadas las necesidades hídricas totales, considerando el orden promedio de los cultivos del trienio 1995-1998. [Esta tablas han sido agregadas al Anexo 16. ~~Queste tabelle sono state riporate in allegato all'Annesso 16.~~](#)

En fase de elaboración, se ha procedido además a la definición de la susceptibilidad de los terrenos al riego (indicada en el mapa en escala 1:100.000); se ha procedido a la subdivisión del territorio de estudio en clases texturales homogéneas, a fin de suministrar un valor a utilizar como input para la determinación de la vulnerabilidad intrínseca de los acuíferos.

Para la determinación de la susceptibilidad de los terrenos al riego, se han utilizado los datos procedentes del ~~levantamiento~~ ~~relevamiento~~ edafológico; la susceptibilidad se ha visto en efecto como la propensión de un terreno a hospedar cultivos regadíos, considerando la existencia de eventuales limitaciones derivantes de factores físicos y edafológicos, sin tomar en consideración la eventual disponibilidad hídrica o factores de tipo socioeconómico.

La susceptibilidad de los suelos al riego ha sido evaluada según la metodología USBR (1953) que prevé el uso de 6 clases y 3 subclases. La clasificación está estructurada por lo tanto de la siguiente manera:

- | | |
|----------------|---|
| Clase 1 | Arable: terrenos muy idóneos para la agricultura regadía, capaces de sustentar altas producciones en el tiempo con plantas climáticamente aptas. Alta capacidad de dar rédito – No tiene subclases. |
| Clase 2 | Arable: terrenos moderadamente aptos para el riego. Son adecuados para un menor número de cultivos y necesitan mayores costos de transformación o son menos productivos que los anteriores. Potencialmente tienen una capacidad intermedia de dar rédito. |
| Clase 3 | Arable: están considerados como marginales para el riego y menos aptos que los de la clase 2. Tienen una severa deficiencia o varias moderadas deficiencias en el suelo, en la topografía o en el drenaje. Es posible obtener un rédito satisfactorio sólo con una gestión adecuada. |
| Clase 4 | Poco arables o para usos especiales: tienen deficiencias muy acentuadas que implican costos elevados para superarlas y no garantizan siempre la amortización de los capitales invertidos. Son sin embargo aptos para el riego con plantas de alto rédito y para haciendas de gestión familiar. Si se los utiliza para usos especiales pueden dar réditos superiores a los de las tres clases anteriores. |
| Clase 5 | Terrenos no arables: presentan deficiencias graves como salinidad y/o sodicidad excesiva, drenaje inadecuado, riesgo de desbordes y demás. Estas deficiencias son tan amplias que requieren ulteriores estudios agronómicos, económicos y de ingeniería para determinar su irrigabilidad. Es por lo tanto una clase provisional que podrá ser retrocedida a clase 6 o llevada a una clase arable en el momento en que los ulteriores estudios requeridos y los trabajos necesarios para su restablecimiento den respuestas positivas. |
| Clase 6 | No arables: son terrenos con limitaciones que no pueden ser eliminadas como fuertes pendientes, fenómenos de erosión, rocosidad superficial, |

escaso drenaje, etc. No ofrecen por lo tanto las garantías mínimas requeridas por las clases anteriores y un eventual plan de riego no implicaría nunca una recuperación de los capitales invertidos.

Además de las clases indicadas arriba, la clasificación USBR prevé 3 subclases: (s = deficiencias del suelo; t = deficiencias de topografía y d = deficiencias de drenaje) y respectivas combinaciones (st – sd; td – std) las cuales indican los motivos de la colocación de los terrenos en una determinada clase.

En la tabla siguiente están indicados los valores de las clases consideradas; no está presente la clase quinta, porque, dada la amplia área investigada y a disposición para la introducción del riego, no se han tomado en consideración terrenos que habrían impuesto costos demasiado altos para su puesta en cultivo:

SUB CLASES	LIMITACIONES	CLASES (*)				
		1	2	3	4	6
Suelo	Profundidad en cm	>180	180-120	120-80	80-50	<50
	Esqueleto	<5%	5-25%	25-50%	>50%	
	Textura terrenos pesados	F	FA-FL	A	Arcilla alcalina o impermeable	
	Textura terrenos ligeros	F	FS	S	Arena gruesa	
	Reacción terrenos alcalinos	6,6-7,3	7,3-8,4	8,4-9	>9	
	Reacción terrenos ácidos.	7,3-6,6	6,6-5,4	5,4-5	<5	
	Salinidad en mS/cm (ECe)	0-4	4-8	8-15	15-30	>30
	Alcalinidad ESP	0-6	6-10	10-15	15-40	>40
	Permeabilidad en cm/h poco permeables	6-2	2-0,5	0,5-0,1	<0,1	
	Permeabilidad en cm/h demasiado permeables	2-6	6-12,5	12,5-25	>25	
Topografía	Pendiente %	0-5		5-8	8-16	>16
	Erosión	Ausente	Débil	Moderada	Excesiva	
	Nivelado del microrrelieve: en mc/ha	<600	600-1200	1200-2000	>2000	
Drenaje	Inundación	Ausente	Muy rara	Rara	Frecuente	
	Profundidad de capa en cm	>200	200-150	150-100	<100	
	Vías de deflujo de las aguas:	Presentes			Ausentes	

(*) La 5° clase no aparece en la tabla siendo una clase provisional

Para la asignación a una clase se elige el valor más limitante: por ejemplo un terreno que tuviera una pendiente mayor del 16% sería asignado a la sexta clase, aunque todos los demás valores pertenecieran a la primera. En la leyenda estaría indicado así: 6t o bien seis la clase, t la subclase que indica un límite topográfico.

6.10 Evaluación de la utilización del agua

6.10.1 Instalación de contadores volumétricos

En el ámbito de las actividades relacionadas con la evaluación del grado de explotación de las aguas subterráneas (cap. 6.10.2, 7.1.11 y Anexo Memoria n°17), como ayuda para la estimación de los consumos, se instalaron, 10 contadores volumétricos a la salida de pozos para uso doméstico y para riego para cuantificar los volúmenes de agua subterráneas extraídos.

Los contadores volumétricos instalados, modelo WAI de turbina tangencial y paso del agua de flujo libre, son fabricados por la Sociedad ABB-ASTRA CONTATORI s.r.l. de Gavirate, Varese (Italia).

Los contadores arriba citados, de diámetro nominal comprendido entre los 100 mm (4”) y los 250 mm (10”), están diseñados a propósito para la utilización también con aguas de riego y pueden ser instalados en posición vertical, horizontal e inclinada respecto del eje de la tubería, sin que se verifique ningún problema desde el punto de vista de la medición, siempre que el movimiento en la tubería sea de tubo lleno (contador completamente enajenado) y se respeten las distancias de eventuales curvas o compuertas iguales a aproximadamente por lo menos 10 DN por arriba y 5DN por debajo del tramo rectilíneo de tubería. El cuerpo del contador, protegido con pintura epoxídica, es de hierro fundido (UNI G25), el grupo de medida puede extraerse e intercambiarse con varios diámetros diferentes, facilitando las reparaciones y las substituciones. La lectura del volumen fluido, en m³, está garantizada por el reloj seco y de lectura directa, protegido por una tapa de metal.

La instalación de los contadores volumétricos fue efectuada en los meses de enero y febrero del año 1999, la identificación de los sitios idóneos ha sido desarrollada en las siguientes fases:

- selección preliminar, en la oficina, de la distribución óptima de los sitios en los cuales ubicar los contadores teniendo en cuenta en particular las características hidrogeológicas de los acuíferos afectados y la tipología y el nivel de las utilizaciones existentes de manera de individualizar pozos y/o grupos de pozos representativos de las modalidades y de la entidad de las tomas de aguas subterráneas en el territorio de interés;
- verificación en el campo tanto para confirmar la posibilidad de efectuar la instalación (facilidad de acceso e idoneidad de los pozos y de las tuberías), como para definir, en particular para los pozos para riego, eventuales intervenciones estructurales sobre la tubería a la salida del pozo mismo necesarias para garantizar el flujo de las aguas a pleno tubo en correspondencia del contador.

Para los contadores volumétricos instalados, en la tabla 6.10.1/1 se presentan los datos característicos de los pozos objeto de instalación (código, coordenadas, localidad, tipo de bomba, uso, propietario y fecha de instalación y de última lectura) junto con el valor de la lectura final en el contador, la ubicación de los cuales se presenta en el Mapa n° 8. En conjunto, en el período enero - septiembre se midieron 3592717 m³ para uso de riego (INDRHI y IAD) y 1084444 m³ para uso domestico (INAPA, INDRHI).

6.10.2 Balances hídricos aguas subterráneas

Se ha procedido al análisis integrado de los resultados de los estudios hidrológico, agronómico y modelístico, tratando por separado las entradas y las salidas del sistema. En particular se ha procedido a un nuevo examen de los valores de recarga, con referencia tanto a las condiciones de un año promedio como a las de un año seco, con tiempo de retorno de 10 años, siendo estas últimas representativas de las situaciones más críticas en términos de recurso aprovechable,. El papel de los cursos de agua (p. ej. alimentación o drenajes) y la entidad de los intercambios con el mundo subterráneo, la evaluación de los flujos a lo largo del área costera) y la evaluación de las explotaciones han completado el cuadro de referencia.

En particular, la evaluación de las explotaciones ha sido objeto de un análisis más pormenorizado. Se trata en efecto de un tema bastante controvertido, condicionado por la general falta de datos exhaustivos y fiables y sobre todo no tratado en otros anexos de proyecto. Los datos disponibles son sustancialmente los de fuente INAPA, por lo que atañe al abastecimiento de la red de acueductos, estimaciones de campo adquiridas a través de entrevistas y evaluaciones indirectas en el curso de las actividades de monitoreo de proyecto, y los datos adquiridos por los contadores volumétricos siempre instalados en el curso del proyecto. Aunque estuviesen presentes en un número más bien limitado; estos últimos han resultado de un cierto interés, también con relación al control cruzado de los datos oficiales suministrados por INAPA.

Los datos demográficos elaborados por la Oficina Nacional de Estadística, han permitido una evaluación indirecta de los consumos potables, teniendo como referencia tanto los estándares de consumo individual normalmente adoptados en la República Dominicana (100-150 l/habitante/día) como hipótesis de variaciones apreciables a nivel local. Un porcentaje adicional ha sido generalmente hipotetizado para tener en cuenta los consumos que atañen a las actividades productivas, comerciales y recreativas.

Las informaciones disponibles por lo que se refiere al sector turístico (número de presencias diarias, existencia de infraestructuras, etc....) han sido evaluadas a la luz de los consumos individuales generalmente muy elevados (700 l/turista/día) y del impacto de todas maneras elevado en términos de demanda hídrica.

Por lo que concierne a los consumos para fines agrícolas, se han considerado críticamente los resultados del estudio agronómico (véase Anexo Memorias n°16), con particular referencia a los cultivos practicados, a las exigencias hídricas netas y brutas (con hipótesis de eficiencia total generalmente de alrededor del 30%), a la extensión areal de los cultivos. En particular esta última ha sido evaluada a partir de de las macroáreas individualizadas por el estudio agronómico; el porcentaje de vez en vez realmente cultivado (las macroáreas comprenden en efecto a su vez sectores antropizados – aldeas, carreteras, ... - o sectores no cultivados o abandonados) ha sido evaluado sobre la base de la experiencia de campo y verificado frente a los datos INDRHI disponibles sobre la extensión de los cultivos en el curso de los últimos 3 años. El cuadro se ha completado luego, presentando también los términos de recarga adicional por exceso de riego, que han constituido objeto de calibración en el curso de las actividades de modelización y que son obviamente de particular importancia en áreas con fuerte irrigación con aguas superficiales y litologías superficiales relativamente gruesas.

Se ha concluido el estudio con un examen crítico del balance hídrico, con particular atención en poner en evidencia las condiciones críticas en términos cuantitativos (aprovechamiento elevado respecto de la recarga total) y la división, donde era necesario, en sub-áreas de distinta criticidad.

6.10.3 Balances hídricos aguas superficiales

La evaluación de los balances hídricos se ha basado en la interpretación, en escala de zona hidrológico-hidrogeológica y de sub-áreas internas a ellas, del estado que deriva de hecho del balance entre disponibilidades naturales y modalidad y entidad actuales de las utilizaciones, identificando las problemáticas existentes y/o posibles consiguientes a condiciones críticas y de competencia-insatisfacción entre los distintos usos.

Se ha procedido al análisis integrado de los resultados de los estudios

- hidrológico, por lo que atañe a la caracterización de los regímenes naturales de los cursos de agua.
- agronómico, por lo que atañe a la entidad de la hidroexigencia neta de los cultivos en las áreas actualmente regadas con aguas superficiales;
- modelístico (modelo matemático lluvia-escorrentía), por lo que atañe a la caracterización hidrológica (valores históricos naturales reconstruidos en base temporal diaria) de los principales cursos de agua.

Se ha prestado particular atención en la evaluación de las utilizaciones (tomas) del recurso superficial. Se trata en efecto de un componente fundamental y delicado del balance que puede condicionar, aun significativamente, la fiabilidad de los resultados obtenidos. Los datos disponibles y utilizados han sido substancialmente los de fuente:

- INAPA, por lo que concierne al abastecimiento de las redes de acueductos;
- INDRHI, Unidad Manejo de Tierras y Aguas, por lo que concierne a los valores del caudal de operación y de la eficiencia global de riego de los principales sistemas de riego (se recuerda que la eficiencia global de riego es estimada mediante el producto de: eficiencia de conducción del canal principal; eficiencia media de distribución, que abarca la eficiencia de conducción del canal principal en su tramo de distribución y la eficiencia de distribución en laterales desde el canal principal; eficiencia de aplicación de agua en el campo);
- CDE e INDRHI, por lo que concierne a las características hidráulicas de las presas (embalses) existentes.

Como se ha dicho anteriormente, la evaluación del balance hídrico entre oferta natural de los sistemas hidrológicos y actual nivel de las tomas de nuestro recurso hídrico (con relación al sector de riego se han considerado los valores de la hidroexigencia bruta, teniendo en cuenta la eficiencia global de riego, y/o del caudal de operación en cuanto representan el recurso efectivamente derivado, aunque mayor que la cantidad de agua efectivamente necesaria para los cultivos en condiciones de eficiencia optimal) ha sido referida a condiciones hidrológicas promedio y de sequía, con tiempo de retorno de 10 años, siendo estas últimas representativas de las situaciones de mayor criticidad en términos de recurso aprovechable. Del cotejo planteado de esta manera es posible definir para cada sistema fluvial de interés el actual nivel de sollicitación antrópica y la verificación de posibles situaciones de riesgo de insatisfacción de los distintos usuarios y

de comprometimiento del medio ambiente consiguiente a valores reducidos de la escorrentía residual en el cauce.

Con respecto al impacto de las actuales utilizaciones sobre la escorrentía mínima residual en el cauce, se suministran indicaciones tanto sobre el posible valor mínimo del caudal ecológico, sobre la base sólo de consideraciones de tipo hidrológico como, donde la información disponible era suficiente, sobre el nivel actual de posible criticidad ambiental a través del cotejo entre valores medidos del caudal mínimo en el cauce y valores de posible referencia del caudal ecológico.

6.11 Cartografía temática

6.11.1 Realización de cartografía hidrogeológica

En el curso del proyecto, para cada una de las áreas objeto de estudio ha sido preparada una cartografía hidrogeológica en escala 1:50.000 (Mapa 9/5 para el Valle de Neiba) que ha constituido una síntesis de actividades que han involucrado a personal especializado en hidrogeología, fotogeología y técnicas informáticas de elaboración cartográfica.

A partir del examen de la bibliografía y de la cartografía existente, se ha procedido a una verificación sistemática de la geología mediante:

- Inspecciones preliminares.
- Fotointerpretación a partir de fotos aéreas.
- Controles de terreno.

La definición de un cuadro geológico de mayor fiabilidad, contextualmente a las informaciones hidrogeológicas adquiridas en el curso del trabajo de campo, ha permitido proceder a la sucesiva caracterización hidrogeológica.

Los criterios de referencia (UNESCO, 1970) han sido seguidos en líneas generales; sin embargo la complejidad y la articulación de las características sobre todo del medio poroso y de los acuíferos que pueden remontarse a las formaciones carbonáticas del sistema arrecifal, han sugerido la oportunidad de una articulación de la clasificación mucho más compleja con subdivisión del territorio sobre la base de las siguientes clases hidrogeológicas:

- Formaciones porosas: acuíferos de permeabilidad muy alta y muy productivos.
- Formaciones porosas: acuíferos de permeabilidad variable y productividad media.
- Formaciones porosas: acuíferos de permeabilidad variable, pero normalmente poco productivos.
- Formaciones fisuradas: acuíferos extensos y productivos (permeabilidad a menudo alta).
- Formaciones fisuradas: acuíferos locales o discontinuos (permeabilidad moderada o variable).
- Acuíferos en caliza arrecifal organógena de permeabilidad elevada de origen primario y/o secundario.
- Acuíferos en caliza arrecifal con litofacies detrítica de permeabilidad de variable a buena, esencialmente de origen primario.
- Acuíferos en sucesiones terrígeno-carbonáticas, donde el componente terrígeno es predominante. Permeabilidad localmente buena.
- Formaciones no acuíferas o con acuíferos muy locales.

Para conocer los detalles, remitimos al Anexo 18 y, para una síntesis, al párrafo 7.1.1.

La cartografía en examen completa el cuadro de las informaciones de relieve hidrogeológico por lo que se refiere a:

- Pozos, distinguidos por tipología (excavados y perforados), por características del acuífero afectado (freático, artesiano no surgente y artesiano surgente) o bien por resultado final (pozos secos).
- Sondeos.
- Manantiales.
- Piezometría.
- Divisorios de aguas subterráneas.
- Límites de áreas artesianas.

Por lo que se refiere a los aspectos hidroquímicos, se ha decidido suministrar las informaciones relativas a la concentración de los cloruros, en cuanto son indicativas del estado de comprometimiento del sistema subterráneo sobre todo con referencia a los problemas de intrusión de la cuña salina a lo largo de las áreas costeras.

A fin de completar el cuadro, la cartografía presenta, además, los elementos de mayor relevancia de la red hidrográfica (ríos perennes, estacionales e intermitentes), comprendiendo lagos, lagunas saladas y embalses. El cuadro está completado por la red de canalización, que en algunos sectores resulta particularmente desarrollada.

En el respeto de los objetivos generales del proyecto, todo el trabajo llevado a cabo ha sido objeto de una informatización completa en plataforma software ArcView -PcArcInfo. Se ha desarrollado la interfase hacia el banco de datos de proyecto, a fin de permitir la representación y la interrogación de los elementos adquiridos sobre todo en el curso de las campañas de monitoreo. Todo lo relativo a la caracterización geológica, tectónica, hidrogeológica e hidrológica ha sido objeto de un proceso completo de digitalización y reconstrucción topológica, e integrado plenamente en el sistema informativo.

6.11.2 Realización de cartografía de vulnerabilidad

La creciente conciencia de que los cuerpos hídricos subterráneos no constituyen una reserva ilimitada, y el progresivo decaimiento cualitativo de las aguas de napa, tanto en naciones de elevada industrialización como en aquéllas de reciente y rápido crecimiento económico, han rendido urgente la necesidad de reducir el impacto ambiental de las actividades antrópicas sobre los recursos hídricos.

En esta óptica la comunidad científica, sobre la base de apropiados elementos de caracterización de los contextos físicos locales, ha elaborado en las últimas décadas algunos métodos de evaluación de los riesgos de contaminación de las aguas subterráneas, con la finalidad específica de planificar las actividades que se realizan en el territorio.

En este sentido se hace necesario introducir el concepto de vulnerabilidad de un acuífero, entendiendo, específicamente, como vulnerabilidad intrínseca la susceptibilidad de las aguas subterráneas de ser alcanzadas, y sucesivamente difundir, un agente contaminador procedente de la superficie. Tal definición prescinde del real contexto de riesgo ambiental y no considera, por lo tanto, la existencia de potenciales fuentes de peligro, las cuales podrían transformar esta “aptitud” de los acuíferos en un riesgo real de deterioro de la calidad de los recursos hídricos subterráneos.

La representación cartográfica conjunta de los centros de peligro potencial y de la vulnerabilidad intrínseca, conocida mejor como cartografía de vulnerabilidad integrada,

posee el mérito evidente de dar un cuadro de referencia para la programación más completo respecto de la mera representación solamente de la vulnerabilidad intrínseca. A esta cartografía pertenecen los mapas de vulnerabilidad realizados, en escala 1:100000, en el ámbito del proyecto.

La posibilidad de que un agente contaminador pueda alcanzar las napas subterráneas, y ser propagado por éstas, es función del sistema físico de la zona, cuya reconstrucción requiere necesariamente una cantidad de informaciones (estratigrafías detalladas, características hidrodinámicas de los acuíferos, desarrollo y tipología de los suelos, etc) no siempre disponibles y cuyo hallazgo no puede proponerse a veces en términos de costos y tiempos.

Por estas razones se recurre al auxilio de métodos de multicriterio mediante los cuales se logra, a través de un sistema de opiniones y valores atribuidos a parámetros físicos distintos (infiltración, tipo de suelo, etc), caracterizar al sistema hidrogeológico examinado, aun con un conocimiento general del mismo sistema físico.

Estos métodos estandarizados, aun necesitando de todas maneras selecciones subjetivas, con relación tanto a la densidad como a la calidad de las informaciones disponibles, que limitan métodos rigurosos o de todas maneras unívocos, permiten, mediante oportunas extrapolaciones e interpretaciones, la comparación entre áreas distintas, definidas sobre la base de la diferente vulnerabilidad.

De las distintas metodologías disponibles, la adoptada en este proyecto, denominada DRASTIC, resulta ser la más ampliamente difundida.

La metodología DRASTIC constituye un método paramétrico que permite, mediante índices numéricos, una evaluación estandarizada de la susceptibilidad a la contaminación de las aguas subterráneas para cargas generales de agentes contaminadores localizables en la superficie,

Una clave del éxito de este método reside además en la facilidad, ofrecida por la evaluación en términos numéricos, de representar cartográficamente la vulnerabilidad misma.

Este método, puesto a punto por la U.S.EPA (United States Environmental Protection Agency) en 1985, debe su denominación al acrónimo derivado de las iniciales inglesas de los siete parámetros considerados como los principales en el control del movimiento de las aguas en los terrenos naturales. Éstos son:

- **D** (Depth of water) - Profundidad al acuífero
- **R** (Recharge Net) - Recarga neta
- **A** (Aquifer Media) - Tipo de acuífero
- **S** (Soil Media) - Tipo de suelo
- **T** (Topography) - Topografía, Pendiente
- **I** (Impact of vadose zone) - Impacto del tipo de zona vadosa
- **C** (Conductivity) - Conductividad hidráulica

D Profundidad al acuífero

Representa el espesor de los depósitos que el flujo contaminador debe atravesar antes de alcanzar efectivamente el acuífero. Mayor es la subyacencia, mayor es el tiempo necesario al agente contaminador para llegar a la napa y por lo tanto mayores serán los

procesos de atenuación del agente contaminador mismo por dilución, dispersión, filtración mecánica, etc.

R Recarga neta

Representa la infiltración eficaz por unidad de superficie, es decir el volumen de agua meteórica que se infiltra en el suelo por unidad de superficie, al neto de las pérdidas por escorrentía superficial y por evapotranspiración.

Incide sobre la vulnerabilidad dado que el agua representa el agente de transporte de los contaminadores desde la superficie hasta la napa, por lo cual, cuanto mayor es la cantidad de agua que llega a la napa por infiltración, tanto mayor es su vulnerabilidad por la posible difusión de contaminadores.

A Tipo de acuífero

Representa las características del acuífero, en particular la capacidad del medio poroso y/o fracturado de transmitir el contaminador. Ejercita un control importante sobre la longitud del recorrido seguido por el contaminador y sobre la dirección que éste toma, sufriendo ésta la influencia de las variaciones granulométricas y/o de la distribución y orientación de las discontinuidades. De estos elementos dependen los procesos de autodepuración.

S Tipo de suelo

Representa la capacidad de los suelos de oponerse a la movilización convectiva y/o difusiva de la sustancia contaminadora. Debe entenderse como la cobertura superficial de la zona vadosa (1.5 ÷ 1.8 m) e influye tanto sobre la cantidad de agua que puede infiltrarse y alcanzar los niveles que se encuentran por debajo, vehiculando posibles contaminadores, como, donde ésta es bastante espesa, sobre la autodepuración del contaminador por procesos ligados a la filtración, biodegradación y adsorción.

T Topografía

Representa la pendiente de la superficie topográfica, sobre la base de la cual la escorrentía está favorecida o bien impedida. Influye sobre el tiempo de permanencia y sobre la velocidad de flujo del agua de lluvia que llega al terreno reduciendo o incrementando la disponibilidad de agua para la infiltración.

I Impacto del tipo de zona vadosa

Es la zona comprendida entre el suelo (cuando está presente) y la superficie de la napa, donde se realizan procesos de biodegradación, filtración mecánica, reacciones químicas, dispersión, etc.

Este factor influye sobre la dirección seguida por el contaminador para llegar a la napa y, más en general, sobre los procesos de autodepuración de las aguas.

C Conductividad hidráulica

La conductividad hidráulica del acuífero controla la velocidad con la cual las aguas subterráneas fluyen en el medio permeable saturado, bajo un determinado gradiente piezométrico. Ésta depende de numerosos factores, como la granulometría, el estado de condensación, la presencia de elementos estructurales, o discontinuidades en general.

En la aplicación del método, a cada uno de estos factores, relativamente a las clases de variación consideradas, se le ha atribuido un puntaje (rating) a multiplicar sucesivamente por un peso (weight) atribuido por convención al factor mismo.

Los puntajes rinden cuenta de las condiciones de seguridad garantizadas por el factor considerado, que se reducen con el crecimiento del valor numérico.

Los pesos atribuidos a cada uno de los factores DRASTIC varían en función de la importancia con la cual concurren a la vulnerabilidad intrínseca de un acuífero.

A los factores se les atribuyen generalmente los siguientes pesos:

D 5 - R 4 - A 3 - S 2 - T 1 - I 5 - C 3

La vulnerabilidad potencial de los acuíferos está expresada bajo la forma de índice numérico (*Índice DRASTIC*) que se obtiene de la expresión:

$$\sum_i r_i w_i$$

con r_i representativo del puntaje y w_i del peso relativos al factor considerado.

Mayor es el valor de este índice y mayores resultan ser las condiciones de vulnerabilidad del acuífero en el sector considerado.

Sobre la base de los puntajes previstos y de los pesos atribuidos a los factores considerados, el campo teórico de los índices DRASTIC en las seis áreas de estudio está comprendido entre 26 – 221.

Este intervalo resulta levemente reducido respecto de la extensión del método estándar (23-226) debido a algunas modificaciones introducidas en la atribución de los puntajes, de las cuales se dará una explicación más adelante.

Sobre la base del campo de variación arriba citado se definieron de esta manera las siguientes clases de vulnerabilidad:

<i>Vulnerabilidad</i>	<i>Índice Drastic</i>
muy baja	23 - 64
baja	65 - 104
intermedia	105 - 145
alta	146 - 185
muy alta	186 - 221

La parcial indisponibilidad de los datos relativos a algunos factores limitó la evaluación de vulnerabilidad a áreas reducidas respecto de la extensión de la zona de estudio como está delimitada en la cartografía hidrogeológica de proyecto (Mapa 9/6). El área evaluada corresponde al valle entero, con extensiones en los sistemas de conoide de Galván, Neiba y La Descubierta, en los territorios de Duvergé y Jimaní, en el tramo terminal del Río Yaque del Sur antes de su ingreso a la planicie, y en los valles interiores de Angostura y El Limón

Mientras que, en efecto, para algunos factores la densidad de los datos no implicó limitaciones espaciales a su evaluación (R, A, I y T), en el caso de D y S no estaban disponibles, desdichadamente, datos suficientes a no ser para sectores arealmente más contenidos.

La Conductividad hidráulica (C), constituyó un caso particular: en términos rigurosos este factor resultó ser el de mayor indeterminación por la ausencia generalizada de datos. El artificio necesario de ligar este factor a los puntajes que se atribuyen generalmente en la literatura a litofacies acuíferas análogas permitió no obstante

extender su evaluación a toda el área de estudio.

De esta manera la extensión de las áreas sometidas a evaluación de vulnerabilidad resultó estar vinculada a la existencia de los datos relativos a los factores D y S, o por lo menos a la posibilidad de efectuar una evaluación aceptable de los mismos.

Sobre la base de estas premisas, en la cartografía de vulnerabilidad realizada se mantuvieron distinguidas las áreas de mayor atendibilidad de atribución, para las cuales estaban disponibles los datos relativos a todos los factores considerados, respecto de aquéllas donde se debió forzar de todos modos la interpretación de por lo menos uno de los factores D y S.

La producción cartográfica se realizó a través de un GIS (ARCVIEW de la ESRI) conectado con el Banco de Datos de Proyecto, que suministró, directamente o indirectamente, los valores relativos a algunos de los factores necesarios para la aplicación del modelo DRASTIC.

Para los factores que no podían derivarse automáticamente del Banco de Datos, la adquisición de los mismo requirió su informatización y la creación de archivos gráficos específicos.

La elaboración computada mediante GIS permite una buena integración entre datos de distinta tipología. En efecto, los niveles característicos del DRASTIC prevén el empleo de datos tanto puntuales, como los derivados de sondeos, como lineales, como curvas de nivel, y areales, como los texturales o de recarga.

El método informático aplicado a este tipo de modelo prevé una subdivisión del territorio de estudio según una grilla de unidades espaciales elementales que, en el caso específico, se definió de malla regular cuadrada de 200 m de lado. Este valor resultó ser el mejor compromiso entre densidad de los datos y detalle de representación.

Desde un punto de vista estrictamente conceptual cada uno de los parámetros analizados requirió un planteo específico que puede sintetizarse de la siguiente manera:

D Profundidad al acuífero

En el caso de disponibilidad de superficies piezométricas regionalizadas, el valor de la subyacencia se obtuvo directamente por sustracción de la superficie topográfica, como se la reconstruyó mediante DTM.

Cuando en cambio la densidad de las medidas no resultó suficiente para reconstruir con fiabilidad la piezometría local, se procedió a una atribución areal directa de la clase de profundidad en los casos en los cuales los datos disponibles, tanto topográficos como de subyacencia local obtenida de medidas directas, no permitiesen incurrir en errores sustanciales de evaluación

Los datos utilizados fueron los relativos a los niveles piezométricos medios, medidos en los pozos pertenecientes a la red de control piezométrico.

Las simplificaciones introducidas en la regionalización de los datos piezométricos y el paso más bien ancho entre las isohipsas, rindiendo veleidoso el intento de diferenciación ulterior por debajo de los 5 metros de subyacencia, hicieron indispensable simplificar las clases llevándolas a 4 respecto de las 7 previstas originalmente.

Las clases adoptadas, con los puntajes relativos, están sintetizadas en la tabla siguiente:

<i>Rango de profundidades (m)</i>	<i>Puntajes</i>
0 – 5	9
5 – 15	6

15 – 30	3
> 30	1

R Recarga neta

Los datos utilizados son los obtenidos de las elaboraciones del Anexo 14 (“Evaluación de la recarga en las zonas hidrogeológicas de interés”).

Los valores de infiltración eficaz se obtuvieron considerando subzonas homogéneas tanto en términos de precipitaciones medias anuales como por constitución litológica. A los fines del cálculo de la infiltración eficaz, las metodologías adoptadas, para las cuales se remite directamente al informe arriba citado, fueron diferenciadas en función de la disponibilidad y características de los datos meteorológicos de partida.

En la evaluación de la vulnerabilidad se utilizaron los valores calculados por año promedio de la tasa de recarga pluvial directa (recarga neta).

Las precipitaciones son casi constantes en el área examinada, con valores que varían generalmente entre 600 y 800 mm/año.

El factor litológico juega de esta manera un papel fundamental en la determinación, de modo casi sistemático, de la clase de recarga neta de pertenencia. En general las clases de pertinencia de los distintos sectores son de todas maneras más bien bajas; en la zona sometida a evaluación DRASTIC, los sectores de recarga más elevada resultan, en efecto, los de la franja de los conoides marginales y de los depósitos aluviales del río Yaque del Sur, en los cuales de todas maneras los valores son inferiores a 175 mm/año. La vasta llanura interior constituida por depósitos lacustres de granulometría muy fina (acuíferos en condiciones de confinamiento) fue atribuida a la clase de recarga más baja.

Las clases de variación consideradas para este factor corresponden a las canónicas y están sintetizadas en la tabla siguiente:

<i>Recarga neta (mm/año)</i>	<i>Puntajes</i>
0 – 50	1
50 – 100	3
100 – 175	6
175 – 250	8
> 250	9

A Tipo de acuífero

Los puntajes asignados a los litotipos acuíferos corresponden a las evaluaciones estándares propuestas por la metodología DRASTIC.

En este sentido, a los depósitos terrígenos cuaternarios se les atribuyeron puntajes diferenciados entre los sectores de conoide (8), con granulometrías gruesas, y los, tanto lacustres como fluviales (6), que constituyen buena parte del sector de estudio. A tal propósito se hipotetiza que en los sectores de pertinencia del relleno lacustre de la cuenca, esté presente un acuífero de granulometría mixta, extendido a la entera área de estudio. Esta asunción, forzada en las partes situadas más al interior de la cuenca por falta de pruebas reales, aun teniendo un carácter conservativo, no modifica de todas maneras la evaluación final que, como veremos más adelante, corresponde a la clase de vulnerabilidad más baja.

Puntajes análogos a los de los depósitos de conoide, fueron asignados también a los acuíferos en los depósitos coralinos recientes, de elevada porosidad, que rodean actualmente al lago Enriquillo y cubren extensamente la Gran Sabana de Tierra Prieta,

en el margen occidental del área de estudio.

En analogía con las atribuciones hechas en las demás áreas de estudio, a las formaciones precuaternarias, representadas principalmente por formaciones terrígenas neogénicas, el puntaje asignado fue igual a 4, con valor reducido a 3 sólo para los terrenos de las Formaciones Las Salinas (sucesión pelítico-evaporítica) y Quita Coraza (sucesión pelítica), caracterizadas por permeabilidades extremadamente reducidas.

En síntesis, para este parámetro se adoptaron los siguientes puntajes:

<i>Tipo de acuífero</i>	<i>Puntajes</i>
Depósitos fluviales y lacustres	6
Depósitos de conoide	8
Depósitos coralinos recientes	8
Formaciones terrígenas neogénicas	4
Formaciones Las Salinas y Quita Coraza	3

S Tipo de suelo

Para la definición de este factor se emplearon las clasificaciones texturales de los suelos realizadas en el ámbito del proyecto mismo y representadas en el Mapa 7 (Mapa de las áreas irrigadas y de la susceptibilidad a la irrigación).

Esta clasificación no cubre, sin embargo, toda el área sometida a la evaluación de vulnerabilidad. Por este motivo, sobre la base de las observaciones de campo, de la geomorfología de las áreas y de la naturaleza de los litotipos aflorantes, para asegurar una evaluación lo más extensa posible si bien con grado de fiabilidad disminuido, se atribuyeron puntajes también a zonas originalmente desprovistas de clasificación.

En tal sentido, considerando una general equivalencia entre la granulometría de las formaciones de origen y la clase textural de los suelos que se encuentran por encima, las asignaciones efectuadas para las áreas no clasificadas más extensas son las siguientes:

- Para la Formación Quita Coraza, constituida principalmente por sedimentos siltítico-arcillosos, con escasos episodios arenáceos, se consideró plausible el desarrollo de suelos asimilables a los clasificados con puntaje igual a 3.
- La Formación Las Salinas, constituida por alternaciones de niveles evaporíticos y arcillosos, más pertinentemente fue asociada al desarrollo de suelos arcillosos sensu stricto, con puntaje igual al 1.
- Para los depósitos terrígenos neogénicos, para los cuales en su conjunto la granulometría de los depósitos resulta extremadamente variable, la asignación de puntajes característicos de suelos de empaste intermedio (5), por cuanto localmente errónea, resulta la más oportuna en una evaluación general.
- Para los depósitos predominantemente gruesos de las áreas de conoide y de los depósitos coralinos recientes se consideró plausible que la génesis de los suelos local pueda desarrollar suelos con elevada fracción de arenas y gravas, bien representada por los suelos con puntaje 7.
- Los sectores de los depósitos centrales de la planicie, en virtud de la constitución predominantemente arcillosa, se atribuyeron a la clase de los suelos homónimos (1).

En la tabla siguiente están resumidos los puntajes relativos a todas las clases texturales de los suelos según lo determinado en el curso del proyecto.

<i>Suelo</i>	<i>Puntajes</i>
ausente o bajo	10

esquelético arenoso	ScSa	10
arenoso	Sa	9
esquelético fisurado franco	ScFeFr	8
franco arenoso pedregoso	FrSaPi	7
esquelético franco arenoso	ScFrSa	7
fisurado franco	FeFr	7
franco arenoso	FrSa	6
esquelético franco	ScFr	6
franco	Fr	5
esquelético fisurado arcilloso	ScFeAr	5
franco arcilloso limoso fisurado	FrArLiFe	5
franco arcilloso pedregoso	FrArPi	4
esquelético franco arcilloso	ScFrAr	4
fisurado arcilloso	FeAr	3
franco arcilloso	FrAr	3
esquelético arcilloso	ScAr	3
esquelético arcilloso limoso	ScArLi	3
arcilloso limoso pedregoso	ArLiPi	2
arcilloso	Ar	1

T Topografía

Las clases de escarpadura se obtuvieron partiendo de la vectorialización de las isohipsas, utilizadas para la reconstrucción de un Modelo Digital del Terreno (DTM) con malla de discretización 200 x 200 m, del cual se obtuvo, mediante un algoritmo de derivación la pendiente de pertinencia de cada una de las celdas.

Los intervalos considerados para las clases de escarpadura y los relativos puntajes asignados, en perfecta adherencia con las asignaciones estándares, están sintetizados en la tabla siguiente.

<i>Pendiente (%)</i>	<i>Puntajes</i>
0 – 2	10
2 – 6	9
6 – 12	5
12 – 18	3
> 18	1

I Impacto del tipo de zona vadosa

Utilizando las recomendaciones y los puntajes estándares del método DRASTIC, en el sector considerado se asignaron los siguientes puntajes:

<i>Litología del no saturado</i>	<i>Puntajes</i>
Cuarternario terrígeno s.l. – Arenas y gravas con matriz y/o niveles pelíticos	(5) -6
Cuaternario terrígeno s.l. Arenas y gravas predominantes	8
Cuaternario terrígeno s.l. - Arcillas predominantes	1
Depósitos coralinos recientes	10
Sucesiones terrígenas neogénicas s.l.	4

Formación Quita Coraza	3
Formación Las Salinas	2

Vista la predominancia de las arcillas en las porciones superiores de la secuencia lacustre de relleno de la cuenca, tal que determina una general condición de confinamiento de los acuíferos, a estos sectores se les asignó un puntaje igual a 1.

Los demás depósitos terrígenos cuaternarios fueron diferenciados entre los predominantemente gruesos (Conoides aluviales y cauce del Río Yaque del Sur en el tramo anterior al ingreso a la Planicie), con puntaje igual a 8, y aquéllos con presencia de un componente pelítico apreciable (depósitos aluviales actuales y recientes y cuaternarios s.l.), con puntaje igual a 6. De este último valor se diferenció sólo el sector al E de El Limón donde el desarrollo de una cobertura fina se consideró reduciendo el puntaje de una unidad (5).

La elevada porosidad de los depósitos coralinos recientes indujo a asignar a estos sectores el valor más elevado (10).

Con relación a los depósitos terrígenos neogénicos, compatiblemente con las decisiones tomadas en las demás áreas de estudio, se les atribuyó generalmente el valor 4, reducido para las formaciones Quita Coraza (3) y Las Salinas (2) en función de la reducción de la permeabilidad que se registra generalmente para los litotipos que predominan en la sucesión.

C Conductividad hidráulica

La escasez de datos relativos a este factor, no permitió una atribución canónica de los puntajes, es decir basada en los valores efectivos de conductividad hidráulica de los acuíferos.

Recordando que los campos de variación considerados en la metodología DRASTIC son extremadamente restringidos, comprendidos entre $7 \cdot 10^{-5}$ y $9 \cdot 10^{-4}$ en los campos intermedios, resulta claro que, faltando una suficiente densidad de datos al respecto, la variabilidad de este parámetro también en contextos aparentemente análogos no permitió más que una estimación general sobre la base de cuanto era posible obtener para varias tipologías de acuífero de la literatura específica.

Desde el punto de vista operativo se atribuyeron directamente puntajes en función de la facies acuífera, incrementando o reduciendo los puntajes de referencia en el caso en que estuviesen presentes elementos que se consideraba que pudiesen influir sensiblemente sobre la permeabilidad del mismo acuífero (karsismo, fracturación, granulometría, abundancia de la matriz en terrenos sueltos, etc.).

En el caso específico del sector de estudio, a los acuíferos aluviales del área (Planicie y Conoide) se les asignó un puntaje generalizado igual a 6. A los acuíferos en los sedimentos terrígenos cuaternarios, constituidos principalmente por los depósitos lacustres de relleno de la cuenca, se les asignó en cambio un puntaje más bajo (4) evaluando una permeabilidad más reducida de los mismos, función de una granulometría generalmente más baja.

Los valores más altos (8) fueron atribuidos en cambio a los depósitos coralinos de alta permeabilidad que se desarrollan alrededor del lago Enriquillo.

Para los restantes depósitos precuaternarios las condiciones de permeabilidad son plausiblemente tales que se justifica un puntaje más contenido, rebajado ulteriormente a 1 para aquellas formaciones con permeabilidad extremadamente reducida (Formaciones Las Salinas y Quita Coraza).

La síntesis de los puntajes atribuidos es la siguiente:

<i>Facies acuíferas</i>	<i>Puntajes</i>
Depósitos coralinos recientes	8
Depósitos terrígenos cuaternarios	4
Depósitos aluviales s.l.	6
Formaciones terrígenas neogénicas	2
Formaciones pelíticas pelítico-evaporíticas	1

Los puntajes obtenidos para cada uno de los factores, permitieron la redacción del mapa de vulnerabilidad en escala 1:100000 (Mapa 10/5), en el cual, además de la clasificación en términos de clase de vulnerabilidad intrínseca, están indicados también los centros de peligro potencial censados en el área de estudio.

En las Figs. 6.11.2/1 y 6.11.2/2 de la Memoria 6 (Península Sur de Barahona) están visualizados como ejemplificación los escenarios relativos a cada uno de los factores que concurren a la evaluación total de vulnerabilidad.

6.12 Modelización

6.12.1 Modelos matemáticos de flujo de las aguas subterráneas

Se realizó un modelo matemático bidimensional de flujo, mediante el código de cálculo de diferencias finitas Modflow, como cobertura del sector del valle, que se extiende desde el río Yaque del Sur, en el límite E, hasta el lago Enriquillo, en correspondencia del límite occidental, comprendiendo por otro lado los sectores de los conoides laterales de Villa Jaragua, Neiba y Galván, que a lo largo de los márgenes de la Cordillera de Neiba limitan la parte septentrional del valle. El objetivo principal de la modelización fue individualizado en la reconstrucción del sistema acuífero y de la circulación hídrica subterránea en el sector del fondo del valle. Se delegó en cambio al estudio hidrológico de carácter regional la reconstrucción del sistema de circulación en gran escala, comprendiendo toda el área hasta el límite con Haití, y considerando que el lago Enriquillo constituye la base del drenaje regional.

El modelo fue calibrado en condiciones estacionarias, teniendo como referencia la piezometría interpretada en el fondo del valle. Se trata en efecto de una marcha interpretada, sobre la base de las pocas informaciones (promedio del período 9/97 – 9/98), y de todas maneras de carácter bastante general. La actividad de calibración se articuló a partir de un modelo conceptual inicial de máxima, en consideración de la indeterminación de los espesores del sistema acuífero y de la caracterización de los parámetros hidrogeológicos del sistema examinado. Piénsese en general en el número limitado de pozos, en la distribución absolutamente deshomogénea y en la profundidad generalmente muy limitada, en un área en la cual se hipotetiza en la bibliografía un espesor de las formaciones sedimentarias aun del orden del millar de metros. La actividad de calibración se concluyó de todas maneras – a la luz de las limitaciones indicadas – cuando se alcanzaron objetivos de calibración satisfactorios, en términos de concordancia entre piezometría observada y calculada, el resultado fue la definición del modelo conceptual final y del modelo numérico, a utilizarse para los fines de la simulación.

En síntesis, el modelo conceptual final se caracteriza por formaciones que van aumentando de espesor desde el E (sector de Tamayo, río Yaque del Sur, a las espaldas de la loma que separa la llanura de la laguna de Rincón) hacia el O (lago Enriquillo). En efecto el límite oriental del área modelizada corre en correspondencia de un alto estructural (y divisorio de aguas subterráneo), que la separa de la llanura de Barahona. Por lo que atañe a las permeabilidades se pasa de valores relativamente elevados para los aluviones recientes del río Yaque del Sur a valores menores a medida que se va en dirección del lago Enriquillo, en razón de la predominancia gradual de depósitos finos, predominantemente limoso-arcillosos. Se puso en evidencia el papel fundamental de los cursos de agua, y en particular del río Yaque del Sur, importante fuente de alimentación del sistema subterráneo del valle, al que se le deben agregar luego todas las alimentaciones directas desde los depósitos de conoide a lo largo del límite septentrional, como así también las alimentaciones profundas de pertinencia de la Sierra de Bahouruco, al S, y de Neiba, al N. En la actividad de modelización, se calibró el sistema también en los sectores de conoide (Neiba, Galván), por cuanto el interés principal concierne a su papel de alimentación del sistema del valle subterráneo.

El modelo fue integrado con la individualización de las tomas para uso potable (pozos de

los centros mayores, como Villa Jaragua, Neiba, Galván, Tamayo) mientras que no existen actualmente áreas de interés turístico dotadas de infraestructuras. Por lo que atañe al sector agrícola, los cultivos están casi confinados en los sectores fértiles periféricos (conoides, depósitos aluviales recientes) y del todo ausentes a lo largo del eje del valle, también por causa de fenómenos generalizados de salinización de los suelos.

Una sucesiva actividad de modelización se refirió a la extensión del modelo a condiciones transitorias en un período de 30 años de duración. No se trató sin embargo de una calibración propiamente dicha, dado el número exiguo de informaciones acerca de los coeficientes de almacenamiento y sobre todo la falta total de datos históricos de toma y de piezometría.

6.12.2 Utilización conjunta de las aguas subterráneas y superficiales

Se han analizado los resultados de la modelización de las aguas superficiales (modelos lluvia-escorrentía) y subterráneas (modelos de flujo y de intrusión marina), junto con las informaciones elaboradas y presentadas en el ámbito de la redacción de los balances hídricos en la óptica de una definición de las mejores políticas de uso y manejo conjunto de los recursos hídricos disponibles.

El cuadro conocitivo, delineado en el curso de las distintas actividades del proyecto, ha sido sintetizado, con particular atención por los recursos disponibles en cada sector, por los usos actuales y por las posibles futuras evoluciones de los sistemas de utilización del recurso, y sobre todo en función de las interacciones que caracterizan al sistema superficial y al subterráneo. Se ha dedicado particular atención también a los problemas de tipo cualitativo de carácter regional, in primis los fenómenos de intrusión salina en acto o que podrían ser inducidos o favorecidos por un aumento de las explotaciones de aguas subterráneas a lo largo de las áreas costeras.

Por lo que respecta al sector superficial, los resultados del análisis del balance, en términos de individualización de situaciones críticas de utilización actual del recurso, con el sostén de la aplicación del modelo matemático lluvia-escorrentía, han sido discutidos en detalle y, donde era necesario, integrados a través de la evaluación de ulteriores escenarios de evolución del uso del recurso a nivel tanto de utilización en escala local de nuevos recursos como de ahorro de los mismos a través por ejemplo de un mejoramiento de la eficiencia global de riego a los fines esencialmente de liberar recursos actualmente ocupados devolviéndolos a los sistemas hídricos naturales y mitigando al mismo tiempo el riesgo de insatisfacción de los usuarios en particular en años hidrológicamente secos.

Por lo que atañe al sector subterráneo, los resultados de las simulaciones con modelo matemático (Anexo Memorias n°19) han sido discutidos en detalle y, donde era necesario, integrados a través de la evaluación de ulteriores escenarios de evolución del uso del recurso.

7 RESULTADOS OBTENIDOS

7.1 Acuíferos y aguas subterráneas

7.1.1 Caracterización hidrogeológica de las diferentes formaciones geológicas

Las formaciones geológicas presentes en el área de estudio han sido caracterizadas desde un punto de vista hidrogeológico utilizando como base de clasificación las especificaciones de la leyenda UNESCO.(1970). Esta base ha sido necesariamente adaptada, articulándola ulteriormente, a fin de adecuarla aún más a las características de los sistemas estudiados.

Es oportuno recordar que, ya que las formaciones están caracterizadas en función de sus reales potencialidades (recursos explotables y luego combinación de los parámetros permeabilidad y recarga), depósitos parecidos por composición litológica han sido considerados de manera diferente dependiendo de su propia posición estructural.

Considerando la existencia y la extensión de formaciones porosas de granulometría fina, sede de acuíferos confinados de gran importancia regional (ej. toda la llanura, desde el río Yaque del Sur hasta el lago Enriquillo), hemos adoptado la misma clasificación del área de Azua, donde además de las tres distintas tipologías hidrogeológicas para las formaciones porosas, han sido puestas en evidencia las situaciones locales de confinamiento de los acuíferos .

En tal sentido las formaciones han sido distinguidas en:

- Porosas, sede de acuíferos de permeabilidad alta y muy productivos. En este grupo hemos clasificado los depósitos aluviales asociados con el río Yaque del Sur, desde su trecho N (sectores de los pueblos de Barranca, Arroyo Grande y Tamayo, donde se concentran cultivos importantes y donde es bien evidente el contraste con las áreas secas de baja permeabilidad presentes alrededor) hasta su salida al Mar Caribe, algunos kilómetros al N de la ciudad de Barahona. De diferente origen, pero equivalentes en un sentido hidrogeológico (depósitos gruesos, muy permeables y con recursos hídricos importantes en relación con la recarga desde las áreas montañosas), son los depósitos de conoide, que se encuentran a lo largo de todo el límite N del valle desde la ciudad de Galván hasta el límite con Haití, en la extremidad O del área de estudio. Estas últimas son las áreas más productivas y de mayor interés agrícola de toda la región. Depósitos parecidos, pero de extensión areal muy limitada y en realidad con una alimentación mucho menos importante, se encuentran también en el vertiente SE del valle. En particular se encuentra aquí el valle de Angostura (pueblos de Los Saladillos y de Angostura), que se coloca al S de la llanura principal y que resulta bien distinguida de esta última por medio de la loma de Sal y Yeso, de permeabilidad muy baja. Este valle, sede de un gran número de perforaciones y de extensos cultivos agrícolas, tiene en realidad problemas importantes de evaluación de los recursos explotables, ya que los niveles piezométricos están bajando cada año más.
- Porosas, sede de acuíferos de permeabilidad variable y productividad media, en condiciones freáticas o confinadas. Este grupo se refiere a la casi totalidad de los depósitos cuaternarios de la llanura, desde el mar Caribe, en el límite E, hasta el límite O del lago Enriquillo y el sector de Jimani, en proximidad del límite con Haití. Las condiciones confinadas son las que generalmente se encuentran en la casi totalidad del área de interés (valle principal), pero sin embargo, se pueden distinguir 2

grupos en analogía con lo que se hizo para el área de Azua:

- Acuíferos en condiciones generalmente freáticas. Trátase de algunos sectores de llanura de extensión generalmente limitada, entre los cuales se encuentran el de Fundación-Cabral-Barahona en la extremidad SE del área de estudio (depósitos q'f y q'ab) y el al ENE de la ciudad de Galván, donde la recarga desde el N es seguramente importante (en analogía con los sectores de conoide de Galván-Neiba). Algunos otros sectores ubicados en el vertiente S del valle de Neiba, y aislados del valle principal por medio de formaciones de permeabilidad baja o muy baja (generalmente en correspondencia de ejes anticlinales), se colocan en este grupo. Los de mayor interés son el que se encuentra en proximidad del pueblo de Angostura (valle de Angostura) y el de El Limón, que se extiende en dirección EO por unos 15 kilómetros, inmediatamente al S del lago Enriquillo.
- Acuíferos en condiciones confinadas con intercalaciones arcillosas de espesores de medios a muy importantes. Trátase de las formaciones de mayor importancia y de gran extensión areal, presentes en todo el valle principal, desde el límite oriental hasta la orilla O del lago Enriquillo.
Empezando el análisis del sector NE, se encuentra la parte de llanura (de gran interés agrícola) que desde los pueblos de Neiba y Galván se extiende hacia los de Tamayo, El Palmar, La Cuchilla al SE. Este sector, limitado al E por el curso del río Yaque del Sur y el alto estructural laguna de Rincón-Canoa (dirección SO-NE en el mapa), se caracteriza sedimentológicamente por sedimentos finos relacionados también con eventos aluviales del río Yaque del Sur e intercalados con sedimentos a veces muy gruesos, como en el sector inmediatamente al S de Neiba y Galván. Los pozos existentes están concentrados en este sector.
La parte restante de llanura, al O del sector anterior, hasta las orillas del lago Enriquillo, inmediatamente alrededor de este último y en el interior de la isla de Los Cabritos, se caracteriza por sedimentos finos predominantes, suelos muy salinizados y condiciones secas generales inaceptables para cualquier actividad agrícola (así que en el sector no se encuentra ningún pueblo).
- Porosas, sede de acuíferos locales y discontinuos, de permeabilidad moderada o baja, poco productivos. Se clasifican en este grupo la casi totalidad de las formaciones porosas que, además que por las consideraciones litológicas, se encuentran en condiciones topográficas relativamente elevadas (también a pocas decenas de metros en proximidad de la llanura principal) y/o con condiciones de recarga desfavorables en los sectores montañosos próximos y/o también niveles piezométricos muy bajos con respecto a la superficie. El primer sector es el que, en el límite NE del área de estudio, se extiende desde el río Yaque del Sur en dirección O. Trátase de un sector de cotas elevadas (hasta 3000 m) y en condiciones desfavorables de recarga. Al SE, inmediatamente al N de la laguna de Rincón y en proximidad del pueblo de Canoa a lo largo de las estructuras tectónicas que limitan a la Sierra de Martín García al S, se encuentran otras formaciones terrígenas (Tpl'MI), a cotas menores (20-40 m) pero en condiciones parecidas. Las mismas formaciones se extienden en el límite S del valle, desde la laguna de Rincón (alrededor de la Loma de Yelo y Sal) hasta el límite con Haití. Con una extensión areal de gran importancia y condiciones estructurales generalmente desfavorables (muchas veces se localizan en correspondencia de ejes anticlinales de dirección EO), estas formaciones juegan tal vez el papel de divisorios de aguas por lo menos superficiales (ver por ej. las lomas

que limitan al N al valle de El Limón con diferencias de cotas de casi 100 m, o también los depósitos que se encuentran al N de la loma de Yelo y Sal al O de la laguna de Rincón).

Por lo que se refiere a las formaciones fisuradas, trátase siempre de calizas y margas, que se encuentran en los límites del valle principal y, pues, de las formaciones porosas de interés. Según la preponderancia de los términos margosos o no y según el grado de fracturación, y siempre de acuerdo con la leyenda de referencia, se identifican dos grupos distintos en esta área:

- Fisuradas, sede de acuíferos extensos y productivos, de permeabilidad normalmente alta. En este grupo se individualizan las calizas del vertiente S de la Sierra de Martín García (teo-tmi'c), en el límite E del área de estudio. Estas calizas juegan también el papel de divisorio con respecto al área de Azua, inmediatamente al NE. Considerando los fuertes gradientes topográficos y la marcha del eje anticlinal, esta sierra es sede de una alimentación apreciable a los depósitos (q'ab) que la separan al S de la bahía de Barahona. Además, calizas de gran importancia (sea por extensión areal que por grado de fracturación) se encuentran a lo largo de todo el sector N desde Galván hasta el límite con Haití. Sus límites S son generalmente tectónicos y morfológicamente representan áreas de cotas muy elevadas, así que, hidrológicamente, son áreas de recarga importante para todo el sistema del valle de Neiba. En la extremidad S, aparecen formaciones calcáreas análogas (teo-tolm'c) que pertenecen al sistema de la Sierra de Bahouruco; estas calizas (y sobre todo las que se extienden fuera del área cartografiada) juegan también el papel de áreas de recarga para el valle principal, alimentando el sistema profundo.
- Fisuradas, sede de acuíferos locales y discontinuos, de permeabilidad medio-baja. Hemos clasificado en este grupo a la casi totalidad de las formaciones calcáreas y margosas (tols-tmim'cm) que se encuentran a lo largo del límite S del valle, desde la ciudad de Barahona en el límite SE del valle, alrededor del sector de Angostura, y, generalmente limitadas al N por grandes estructuras tectónicas, hasta la frontera con Haití en el límite O. Son áreas de interés económico generalmente nulo por sus características topográficas (en unos 3-4 kilómetros, las cotas llegan hasta más de 1000 m) pero de gran interés hidrológico por su papel de área alimentante para el valle principal. En este sentido, el papel que juegan estas formaciones es lógicamente parecido al de las formaciones calcáreas muy fisuradas (ver punto anterior).

El último grupo es el relativo a:

- Formaciones de baja permeabilidad y sin acuíferos significativos. Comprende las formaciones (tmis'Mm) que se encuentran en el límite NE del valle, a lo largo de la carretera que llega de Azua, entre las calizas de la Sierra de Martín García al S y el río Yaque del Sur al N. Las mismas formaciones (predominantemente margosas) se extienden al N del río Yaque del Sur, y además aparecen formaciones finas en facies evaporítica (tpl'MI-ev). Siempre a lo largo del límite NE, desde la ciudad de Galván, se extienden también otros depósitos margosos con intercalaciones calcareníticas (tmim-s'm+car), clasificados también en este grupo. En particular, los sectores alrededor del río Yaque del Sur se caracterizan por condiciones muy secas, y en fuerte contraste con las condiciones de los depósitos aluviales recientes, sede de actividades agrícolas importantes.
En el sector SE del valle, la aparición de las formaciones evaporíticas (tpl'MI-ev) en el

límite N de la laguna de Rincón, y a lo largo del valle de Angostura (Loma de Sal y Yeso), representan divisorios de gran importancia sea para las aguas superficiales que para las subterráneas. En particular, la loma de Sal y Yeso se extiende en dirección ONO-ESE por más de 15 km, según un eje anticlinal, y separa el valle de Angostura al S del valle principal al N.

La determinación a través de los ensayos de bombeo de algunos parámetros hidrogeológicos (tab.6.6.2/1) de las principales formaciones acuíferas ha evidenciado cómo los valores de transmisividad están comprendidos entre $10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$ y $10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ pero hay que tener cuidado en considerar estos valores como significativos por áreas largas. Los pozos ensayados han sido ubicados en depósitos de origen aluvial, (abanicos aluviales) en los cuales la variación de los espesores permeables y tal vez la presencia en estos depósitos de niveles de los y arcillas juegan un papel determinante. El único valor del coeficiente de almacenamiento, es decir 1.26×10^{-2} , es muy poco indicativo y absolutamente puntual.

7.1.2 Pozos, sondeos y manantiales

Los manantiales más importantes de todas las áreas de estudio se encuentran aquí, en el valle de Neiba, donde existen más de 70 surgencias naturales alrededor del Lago Enriquillo.

Trátase de manantiales con caudales generalmente elevados y alineados a lo largo de las grandes líneas tectónicas de cabalgamiento que limitan al valle, en el contacto entre los depósitos de conoide y las formaciones finas de la llanura, o directamente entre estas últimas y las formaciones litoides de los relieves marginales.

La mayoría de los manantiales están cartografiados en todo el sector al N del lago Enriquillo, desde los pueblos de Boca Cachón y Descubierta (al O) hasta Postrer Río, Clavellina y alrededor de la ciudad de Neiba.

Emergencias con caudal apreciable, aunque en un número más contenido están presentes, siempre en el contacto entre los relieves y los depósitos de origen lacustre de la planicie, también en el margen meridional de la cuenca (Baitoa, Duvergé, Vengan a Ver).

Los pozos están concentrados en 3 áreas principales:

- Neiba-Galván. Los pozos se encuentran principalmente en las áreas de conoide, en un acuífero freático de elevadas permeabilidades, con una fuerte recarga desde los sectores montañosos de la Sierra de Neiba al N. Al S de la ciudad de Galván, las perforaciones, que se extienden por unos 2-3 kilómetros en la llanura, vuelven inmediatamente a condiciones confinadas, por la rápida preponderancia de las intercalaciones de granulometría fina.
- Llanura al O del río Yaque del Sur (tramo Tamayo-El Jobo). Trátase de un área de discreta extensión areal, caracterizada por cultivos extensos (la más importante, junto con la de Neiba-Galván). El acuífero es confinado y los pozos son todos artesianos, llorantes en la mayoría; son una excepción los pozos localizados en los depósitos aluviales gruesos del río Yaque del Sur (al E del pueblo de Tamayo), ya que estos depósitos representan también un sector importante de recarga del sistema subterráneo.
- Valle de Angostura. En el límite SE del área de estudio, los pozos están todos en acuífero freático y concentrados a unos 3-4 kilómetros al SE del pueblo de Angostura.

Los cultivos en esta área son relativamente extensos, pero las condiciones generales de alimentación no parecen ser muy favorables y los niveles piezométricos históricos indican una disminución constante y apreciable durante estos últimos años.

7.1.3 Piezometría

Piezometría y variaciones piezométricas en el tiempo

La piezometría observada y utilizada para la calibración de los modelos matemáticos es visible en el Mapa 11/5 (ver Entrega final – Mapas – Mapas Piezométricos) y/o en el Mapa 9/5 (ver Entrega Final – Mapas – Mapas Hidrogeológicos)

Esta área está caracterizada de forma particular por una distribución de los datos piezométricos muy desfavorable para la finalidad de una reconstrucción piezométrica regional. Los datos están concentrados en el sector N, a lo largo del alineamiento de las ciudades de Neiba-Galván, casi exclusivamente en los pozos existentes en las áreas de abanico. Los gradientes resultan generalmente fuertes (del orden de 40 por mil), antes de llegar al área confinada al Este de Tamayo, y son representativos de la alimentación perteneciente a la Sierra de Neiba al N. Las líneas de flujo se extienden desde el N hacia el S.

Además todo el sector al O del río Yaque del Sur (entre los pueblos de Tamayo, Isabela, El Palmar, La Cuchilla y El Jobo) se encuentra ya en condiciones confinadas. En consideración del número de pozos existentes (la mayoría artesianos surgentes), en esta área se tienen informaciones suficientes para una interpretación piezométrica, que indica el papel alimentante del Río Yaque del Sur.

Otros datos aislados permiten, junto con:

- . el papel drenante del lago Enriquillo (con cotas alrededor de los -43 m) y

- . la alimentación que, sin duda, compete a la Sierra de Bahouruco al S,

enfrentar el tema de una interpretación piezométrica regional. Aparece un esquema interpretativo, según el cual los fuertes gradientes observados en el límite N se convierten rápidamente en gradientes pequeños (del orden de 2 por mil) en el centro del valle, con líneas de flujo vertientes hacia el lago Enriquillo (base del drenaje regional). El límite oriental resulta marcado por el Río Yaque del Sur, que juega a la vez el papel de confín del área y el de alimentación, y por la loma de dirección E-O que limita al N a la laguna de Rincón. El sector que desde esta última se extiende en dirección E-NE, hasta las margas y las calizas de la Sierra de Martín García, se interpreta como un alto estructural, o sea como un divisorio de aguas subterráneas (véanse también los efectos sobre el curso del Río Yaque del Sur).

Por esto, toda el área al SE de este divisorio hasta la ciudad de Barahona (en el límite SE del valle) se interpreta como algo aislado. No se dispone de datos piezométricos, aunque parece lógico imaginar una alimentación directa del río y en parte de las sierras al N y al S y un vertiente general del flujo hacia el mar Caribe.

Por último, el sector del valle de Angostura, al S de la loma de Sal y Yeso, está caracterizado por la disminución importante de los niveles piezométricos en el tiempo (según informaciones verbales), sobre todo por efecto del aumento de los consumos para uso agrícola en los años más recientes.

Algunos datos en el sector de Jimani, en la extremidad O del valle, permiten una evaluación de los gradientes piezométricos en el área (flujo siempre en dirección del lago Enriquillo). Obviamente, se trata de pocos datos, pero representativos de un comportamiento piezométrico general, relacionado con las áreas montañosas

inmediatamente al S.

Por lo que se refiere al análisis de las variaciones piezométricas en el tiempo, vista la no disponibilidad de datos históricos en forma y cantidad adecuada, se tomaron en cuenta las medidas hechas en el período anterior al ciclón George (Septiembre de 1997 – Septiembre de 1998).

En la figura 3.5/1 se visualiza la distribución de los valores piezométricos máximos y mínimos a lo largo del año hidrológico.

Los mínimos se observan esencialmente alrededor del mes de Mayo (entre Marzo y Junio).

Los máximos, por otro lado, tienen mayor de frecuencia, bien evidente, en Septiembre y se sitúan esencialmente entre este mes y Noviembre.

Las variaciones anuales son muy diversificadas en relación con la existencia de acuíferos distintos. Las máximas observadas no superan los 4 metros.

Más en detalle:

- Zona entre Tamayo y Galván con acuífero cautivo.

Se observan variaciones entre 1 y 2.5 m.

- Zona de Angostura

Las variaciones observadas son inferiores a 1m.

- En las otras zonas, los datos son pocos y la magnitud de las variaciones parece muy diversificada.

Por lo que atañe a las variaciones de los niveles medios después de 1970, con los pocos datos históricos en nuestro poder se puede observar que:

- Los niveles han bajado con los años en la zona de Angostura, según informaciones recogidas localmente.

- Los niveles han subido en la zona de acuífero cautivo entre Tamayo y Galván (variaciones superiores a 40 cm).

Para tener indicaciones sobre los efectos de las lluvias del último año donde hay que tomar en cuenta los eventos relacionados con el huracán George, se analizaron los valores medios de los niveles piezométricos en Junio, Julio y Agosto de 1998 (antes del ciclón) y los del período Junio, Julio y Agosto de 1999. Los resultados se pueden resumir así:

Se ha observado un aumento de las cotas piezométricas con una variación media de 90 cm. Las cotas subieron en el 90.0% de los puntos con una variación más común inferior a 1 m (en el 55.0% de los puntos)

Proposición de una red de control piezométrico

En esta área los puntos aptos para la realización de medidas piezométricas, ilustrados en el Mapa 2/5, son en total 52. De éstos, el 82.7% (43 puntos) no tienen bombas instaladas: el restante 17.3% (9 puntos) están equipados con bombas.

La red de control escogida cuenta con 19 puntos, de los cuales 1 (5%) está dedicado solamente a la red y 18 (95%) son privados. Los puntos de la red están todos sin bomba.

En esta área se ha podido lograr la proposición de una red casi ideal, donde todos los puntos no están equipados de bombas, por lo cual las medidas serán influenciadas de forma muy marginal por su utilización (manual cuando exista). La repartición en el espacio de los puntos propuestos está de acuerdo con los criterios generales más arriba

indicados: se concentran en el acuífero cautivo entre Tamayo y Galván, en el área entre este último y Villa Jaragua y en el valle de Angostura. Puntos dispersos en acuíferos secundarios se encuentran alrededor del Lago Enriquillo.

7.1.4 Calidad de las aguas subterráneas - caracterización hidroquímica

El objetivo de la hidroquímica es suministrar un cuadro de las tipologías de las aguas subterráneas presentes en una región y verificar su estabilidad en el tiempo.

El programa de muestreo llevado a cabo en el arco del proyecto, articulado en cuatro campañas repetidas en los límites de lo posible en los mismos puntos, permite efectuar para cada área y en cada uno de los puntos un doble análisis, en función del tiempo y en función de la distribución areal.

Para un análisis rápido y funcional, los resultados analíticos de las cuatro campañas se transpusieron en el diagrama de Stiff (ver Anexos Memorias - Anexo 6), representando en cada ficha todos los análisis repetidos en el tiempo en el mismo punto de la red. En cada diagrama, para indicar la campaña de muestreo relativa a la representación gráfica de la muestra, al número de inventario del pozo se le agregó “/1, /2, /3, /4”, por ejemplo, la muestra 1001/1 se refiere a la primera campaña.

Este tipo de diagrama permite representar, con una poligonal cerrada, la tipología química de la muestra de agua y, contemporáneamente, tener el valor de la concentración de cada uno de los seis iones mayores, expresada en meq/l.

La clasificación hidroquímica propuesta fue redactada sobre la base del diagrama de Piper.

Desdichadamente, las informaciones litoestratigráficas no son suficientes para la codificación de una clasificación tan articulada, por lo tanto a nivel de interpretación se consideraron las familias principales sin ahondar en sus subdivisiones.

Para la redacción del “Mapa de la caracterización hidroquímica de las aguas subterráneas” (Mapa 4), se tuvo en cuenta la composición predominante de cada uno de los puntos en el arco de las cuatro campañas efectuadas.

En total, en las cuatro campañas efectuadas se tomaron 64 muestras

En esta área la red de control resulta estar constituida por 16 puntos. En general las aguas de esta zona presentan una composición química estable aun comprendiendo distintos tipos hidroquímicos. En la representación gráfica de Piper (Fig. 7.1.4/1-a,-b,-c,-d) la clasificación comprende:

En esta área la red de control resulta estar constituida por 16 puntos. En general las aguas de esta zona presentan una composición química estable. En la representación gráfica de Piper la clasificación comprende:

- aguas bicarbonato-alcálico-térreas;
- aguas clorurado-alcálicas.

El tipo hidroquímico del área está caracterizado por dos polos: el bicarbonato-alcalino-térreo, en el cual se distinguen algunas aguas en las que predomina el ion magnesio, y el clorurado-alcalino.

Para definir el cuadro general, es necesario recordar que la zona de Neiba se caracteriza por la presencia del Lago Enriquillo y por la parte de la cuenca lacustre abandonada en consecuencia del descenso del nivel del lago. La peculiaridad del lago está dada por su hipersalinidad, ampliamente debatida en la bibliografía. En el curso de la primera campaña, el análisis de la muestra tomada del lago relevó un contenido salino de aproximadamente 40 g/l.

Las aguas bicarbonato-alcalino-térreas, representativas de la recarga regional, a medida que nos acercamos altimétricamente al nivel del lago y/o a los sectores abandonados por éste, interactúan con las clorurado-alcalinas poniendo en evidencia la casi omnipresencia de este tipo hidroquímico, y por lo tanto la vulnerabilidad de las aguas subterráneas a una contaminación de tipo natural.

Es interesante notar la presencia de aguas clorurado-alcalinas también en el sector sudoccidental en dirección del Golfo de Barahona, lejos del área lacustre.

De la investigación específica sobre la calidad potable de las aguas subterráneas emerge cómo (véase Anexo 8) su empleo para abastecer a la población residente en el área resulta estar bien desarrollado, aprovechando principalmente los acuíferos presentes en los depósitos aluviales del Río Yaque del Sur y la franja de los conoides que flanquean tanto el lado septentrional como el meridional de la cuenca.

En un cuadro total generalmente bueno para la potabilidad de las aguas subterráneas, la situación más crítica es la que se observa en algunos puntos del sector occidental, en las cercanías del lago Enriquillo; en dicho ámbito no es infrecuente un comprometimiento permanente ligado a la presencia de un contenido inaceptable de cloruros. Para algunos de tales puntos se podría hipotetizar una influencia parcial de las aguas salinas del lago, pero más plausiblemente la evolución morfológica de la cuenca, con progresiva reducción de las áreas sumergidas y emersión de áreas más o menos amplias de salinización residual, podrían jugar un papel predominante en la determinación de dicha situación.

Entre las aguas muestreadas expresamente para la investigación de potabilidad, el punto 5184, ubicado en el cierre del Valle de Angostura, ha resultado ser el único inaceptable por causa del contenido de Fluoruros levemente superior a la norma de referencia adoptada (OMS).

El origen de este dato anómalo, generalmente ligado a la disolución de fluoruros presentes en las rocas o derivado de desagües industriales, queda decididamente misterioso, y consiguientemente deber ser verificado, visto tanto el contexto litológico inadecuado como la ausencia de industrialización en el área.

Los demás sectores no evidencian criticidades particulares, salvo indicaciones de un par de puntos anómalos, uno por una reducción excesiva, pero temporánea, del pH (El Salado) y otro por valores excesivos tanto del contenido salino como de los sulfatos (Tamayo).

Respecto de las 7 muestras de aguas de carácter minero-medicinal muestreadas en el ámbito del proyecto, la composición química determinada ha permitido individualizar las peculiares características terapéuticas, ilustradas en detalle en el Anexo No. 9 y obtener las siguientes interesantes informaciones:

- la presencia del ion NH_4 y de H_2S , que caracteriza de manera más o menos marcada, a las mezclas de agua producidas por los manantiales, indica aportes de circuitos vinculados con sistemas reductores, típicos de acuíferos profundos, y elevados tiempos de permanencia en los mismos; esta hipótesis está valorada por la presencia de los elementos menores Yodo, Bromo y Litio en concentraciones superiores a la norma;
- la gran parte de las aguas muestreadas presentan una discreta mineralización y análogos cocientes sodio/cationes predominantes y cloruros/aniones predominantes, indicando un probable origen profundo y sucesivas diluciones con aguas meteóricas más ricas de Calcio y Bicarbonatos.

Ulteriores indicaciones de probable circulación profunda de las agua muestreadas, son las temperaturas de emergencia generalmente bastante elevadas; resultan de todas maneras siempre inferiores a la local temperatura del aire, en promedio consistente en el período de la toma.

La confirmación de tales indicaciones podrá de todas maneras derivar de sucesivas investigaciones isotópicas.

Con relación a la clasificación de las aguas minero-medicinales (véase Anexo No. 9), las siete aguas pueden definirse como se sintetiza a continuación.

- Manantial n° 5050 (Cachón al Medio - Villa Jaragua):
Puede clasificarse como “agua oligomineral hipotermal” (temperatura 25°C; residuo fijo 280 mg/l); los elementos que resultan presentes de manera significativa son: bicarbonatos, calcio, magnesio, sílice, potasio. Esta agua puede ser utilizada en la balneoterapia especialmente en el ámbito dermatológico e *più in generale* per: Hidropinoterapia, Crenoterapia externa, Crenoterapia inhalatoria.
- Manantial n° 5053 - (Las Caritas - La Descubierta):
Puede clasificarse como “agua mineral hipotermal sulfúreo salado yódica” (temperatura 24,9°C; residuo fijo 2320 mg/l); los elementos predominantes resultan ser: Cloruros y Sodio; elevado es el contenido de Yodo y Hidrógeno sulfurado e buena es la presencia de Bicarbonatos, Sulfatos, Magnesio, Calcio, Potasio, Silicio, Flúor. Por su composición de extremado interés esta agua se presta a ser utilizada en una relevante variedad de indicaciones y más en general para: Hidropinoterapia, Crenoterapia externa, Crenoterapia inhalatoria, Fangoterapia.
- Manantial n° 5055 - (Las Barías - La Descubierta):
Puede clasificarse como “agua oligomineral fría” (temperatura 19.1°C; residuo fijo 210 mg/l); es buena la presencia de bicarbonatos, calcio, magnesio y sílice. Se trata de un agua verdaderamente oligomineral, con un residuo “clásico”, indicada para ser envasada y en general para: Hidropinoterapia y Crenoterapia externa.
- Manantial n° 5057 - (Boca Cachón):

Puede clasificarse como “agua mineral hipotermal bicarbonato salado sulfatado alcalino térrea” (temperatura 26°C; residuo fijo 840 mg/l); los elementos predominantes son: Bicarbonatos, Cloruros, Sodio, Sulfatos, Magnesio, Calcio; buena es la presencia de: Potasio, Yodo, Sílice, Flúor; por estas últimas sustancias tiene significativas posibilidades de ser utilizada en: Hidropinoterapia, Crenoterapia externa, Crenoterapia inhalatoria.

- Manantial n° 5074 - (Bartolomé - La Descubierta):

Puede clasificarse como “oligomineral hipotermal - bicarbonato alcalino térrea” (temperatura 24.6°C; residuo fijo 362 mg/l); los elementos predominantes son: Bicarbonatos, Sulfatos, Magnesio; buena es la presencia de: Magnesio, Calcio, Potasio, Flúor. Entre las distintas posibilidades de aplicación esta agua tiene también la de poder ser envasada, como agua de mesa y complemento dietético; y más en general es indicada para: Hidropinoterapia, Crenoterapia externa.

- Manantial n° 5082 - (Bartolomé - La Descubierta):

Puede clasificarse como “agua mineral hipotermal salado-yódica-bicarbonato-sulfatado-fluorurada” (temperatura 24.3°C; residuo fijo 1684 mg/l); los elementos predominantes son: Cloruros, Sodio, Bicarbonatos, Sulfatos, Yodo, Flúor; discreto es el contenido de: Potasio, Magnesio, Sílice. Resulta indicada para las siguientes utilidades: Hidropinoterapia, Crenoterapia externa e Crenoterapia inhalatoria.

- Manantial n° 5185 - (La Surza - Duverge):

Puede clasificarse como “oligomineral hipotermal bicarbonato-salado-sulfato-alcalino-térrea” (temperatura 23.3°C; residuo fijo 450 mg/l); los elementos predominantes son: Bicarbonatos, Cloruros, Sodio, Sulfatos, Magnesio, Calcio; discreto es el contenido de: Potasio, Yodo, Flúor. Presenta gran versatilidad de aplicación, y más en general para: Hidropinoterapia, Crenoterapia externa y Crenoterapia inhalatoria.

7.1.5 Salinidad e intrusión marina

La inexistencia de indicaciones sobre la presencia de fenómenos de intrusión marina ha hecho que fuera superfluo proceder a una investigación en tal sentido, vista también la insuficiencia de puntos de monitoreo en la franja costera.

7.1.6 Resultados análisis isotópicos, edad de las aguas y zonas de recarga

Los puntos relativos a las muestras se alinean con la recta meteórica (Fig. 7.1.6/1) mundial, se evidencia así una notable variación de la composición isotópica de la recarga a lo largo de la directriz NNE-SSO. Las causas de la variabilidad de la composición podrían deberse tanto a la presencia de áreas de recarga de diferente cota (gradiente de altitud), como a la distinta composición de las precipitaciones por efecto de su movimiento sobre la isla (gradiente de continentalidad). Le evaluación de la cota promedio de recarga basada en la correlación indicada en la bibliografía [Febrillet H. J., Bueno E., Seiler K. P., Stichler W., 1987. Estudios Isotopicos e hidrogeologicos en la region suroeste de la República Dominicana. Simp. Int. Viena Austria 30/marzo- 3 abril 1987, IAEA-SM-299/031] indica que las muestras pertenece a circuitos recargados en un franja altimétrica comprendida entre los 0 y los 1200 metros. Los datos en nuestro poder

no son suficientes para definir cuál es la causa predominante. Los cocientes O18 – Cl y Na – Cl indican la presencia de claros fenómenos de contaminación, con agua de tipo marino y/o de lixiviación de depósitos de tipo evaporítico, ambos fenómenos son plenamente pausibles vista la presencia de la cuenca lacustre de Enriquillo.

El contenido de Tritio pone en evidencia los distintos tiempos de residencia que caracterizan a los circuitos hídricos subterráneos presentes en el área; en efecto, se pasa de aguas que se infiltraron anteriormente al pico de 1961, a aguas que lo hicieron en el período del pico, hasta llegar a aguas infiltradas actualmente.

El valor de Carbono relevado en la única muestra analizada indican una edad comprendida entre los 500 y los 1850 años.

7.1.7 Relaciones ríos-acuíferos

En conjunto, por lo que atañe al intercambio napa-río, los ríos que llegan al Lago Enriquillo o juegan un papel de alimentación del sistema acuífero, o son indiferentes (es decir fluyen directamente al lago, que representa la base de drenaje del flujo superficial y subterráneo de la región.

El río Yaque del Sur juega un papel de alimentación de los sistemas acuíferos.

Por el elevado nivel de distorsión del régimen hidrológico de los ríos de la cuenca cerrada del lago Enriquillo y del Yaque del Sur (véase cap. 7.2) no ha sido posible llegar a una evaluación cuantitativa del intercambio napa-río.

7.1.8 Evaluación de la recarga - infiltración eficaz

La zona hidrogeológica de interés, la cual se presenta en la Fig. 7.1.8./1 sacada del Mapa 9/5: Mapa hidrogeológico Valle de Neiba, tiene un área total (excluido el Lago Enriquillo y la Laguna de Rincón) de 2500.9 km², una precipitación promedio anual de 683.2 mm y una evapotranspiración potencial de referencia de 1769.6 mm.

Ésta se caracteriza, por lo que atañe a las áreas de recarga directa, por formaciones porosas (azul), de permeabilidad de alta a baja, y formaciones fisuradas (verde), con acuíferos de permeabilidad alta y medio-baja, las cuales, en conjunto, tienen una superficie de 1504.5 km², esto es el 60% de la superficie total.

En términos generales, las principales fuentes de las aguas subterráneas son:

- la recarga pluvial directa;
- la recarga por flujo de retorno de aguas de riego (exceso de riego) e infiltración en canales.
- la recarga lateral, Sierra de Neiba (frontera norte) y Sierra de Bahoruco (frontera sur).

En conjunto, teniendo en cuenta las características morfológicas, hidrogeológicas e hidrológicas, han sido individuadas 16 sub-zonas homogéneas (véase cap. 6.8.3, Fig. 7.1.8./1 y Anexo Memorias n° 14).

Para evaluar la tasa de recarga se tomaron en cuenta los parámetros obtenidos del análisis:

- de la marcha climática medida en las estaciones meteorológicas de Neiba, La Descubierta, Jimaní, Angostura, Barahona, Tamayo y El Peñón con referencia a la recarga pluvial directa en formaciones porosas, y en las estaciones de Los Bolos, Puerto Escondido, Angostura y Barahona con referencia a la recarga en formaciones fisuradas;
- de los caudales medidos en las secciones de aforo de Los Conuquitos, río Guayabal, de Olivero, río Barrero y de Angostura, río Barnesí, con referencia a la recarga pluvial directa en formaciones fisuradas.

En la tabla 7.1.8./1, para cada sub-zona, aparecen los valores de la tasa de recarga pluvial directa con referencia al año medio y años secos y húmedos de período de retorno asignado, un año de cada 5 y un año de cada 10.

En conjunto la recarga pluvial directa en la zona hidrogeológica de interés alcanza los siguientes valores:

- años secos (T=10 años): $113.54 * 10^6 \text{ m}^3/\text{a};$
- años secos (T=5 años): $135.88 * 10^6 \text{ m}^3/\text{a};$
- año medio: $188.79 * 10^6 \text{ m}^3/\text{a};$
- años húmedos (T=5 años): $230.55 * 10^6 \text{ m}^3/\text{a};$
- años húmedos (T=10 años): $257.89 * 10^6 \text{ m}^3/\text{a}.$

Por lo que atañe a la recarga promedio anual por flujo de retorno de aguas de riego (exceso de riego) e infiltración en canales, ésta ha sido evaluada teniendo en cuenta:

- una eficiencia total de los sistemas de riego alrededor del 40-50%;
- el caudal de operación de los sistemas de canales.

La recarga media anual resultó ser:

- sector de Barahona (río Yaque del Sur), sub-zona 13: $13.18 * 10^6 \text{ m}^3/\text{a};$
- sector de Jimaní, sub-zonas 3 (La Descubierta), 4 y 5: $1.79 * 10^6 \text{ m}^3/\text{a};$
- sector de Duvergé-Neiba, sub-zonas 3 (este), 8 y 9: $3.36 * 10^6 \text{ m}^3/\text{a};$

En conjunto la recarga media anual total en la zona hidrogeológica de interés alcanza el valor de $207.17 * 10^6 \text{ m}^3/\text{a}$ así repartido:

- recarga pluvial directa: $188.79 * 10^6 \text{ m}^3/\text{a};$
- recarga por exceso de riego: $18.33 * 10^6 \text{ m}^3/\text{a};$

Por lo que atañe a la recarga lateral procedente de sistemas acuíferos cercanos en conexión hidráulica, han sido evaluados los siguientes valores en mm/a con referencia a años secos (T=10 y 5 años), medios y húmedos (T=5 y 10 años):

- frontera norte:
sub-zona 1: 240-280-360-410-450;

- **frontera sur:**
 - sub-zona 6: 50-60-92-112-128;
 - sub-zona 7: 53-72-115-150-170;
 - sub-zona 10: 140-180-250-280-300.

7.1.9 Modelos matemáticos de flujo

El modelo de flujo, realizado a lo largo del proyecto, fue utilizado para la evaluación del impacto de un aumento generalizado de las explotaciones del sistema acuífero subterráneo en el área entre Galván y Tamayo. Distribuimos estas explotaciones adicionales a lo largo de 12 pozos, que se extienden en dirección NNO-SSE, desde Galván hasta algunos kilómetros al S de Tamayo.

Recordamos el cuadro general, que caracteriza a los sistemas acuíferos en esta área. El valle de Neiba, o mejor el sector del valle que se extiende desde las orillas del lago Enriquillo al O y el río Yaque del Sur-laguna de Rincón al E, se caracteriza generalmente por la ausencia de cualquier actividad humana, productiva o habitativa. Las condiciones climáticas, la calidad de los suelos (arcillosos y afectados por extensos fenómenos de salinización) y la escasa disponibilidad de recursos hídricos son todos factores que contribuyen a la imposibilidad de desarrollar el sitio. Son una excepción las áreas periféricas (Neiba, Galván y Tamayo), caracterizadas por extensas actividades de producción agrícola, y donde sin embargo prevalece la utilización de recursos hídricos superficiales (ej. la extensa red de canalización del área de Tamayo, todavía sólo parcialmente funcionante). Los objetivos de la modelización fueron de carácter bastante general y preliminar (análisis y validación del modelo conceptual en escala regional).

Los resultados de la simulación indican un impacto muy fuerte sobre el sistema acuífero, aun para consumos totales muy limitados que – para el caso examinado – quedan en alrededor de los 380000 m³/año (1l/s para cada uno de los pozos). Trátase por lo tanto de un área muy crítica, donde un desarrollo sostenible sólo puede relacionarse con los recursos hídricos superficiales.

7.1.10 Recursos hídricos y reservas hídricas

El sistema acuífero subterráneo del Valle de Neiba se caracteriza por presentar condiciones muy variables, en términos de recurso potencialmente aprovechable. El sector de los conoides aluviales, que limitan al N la llanura (pueblos de Galván, Neiba, Villa Jaragua y en general la orilla septentrional del lago Enriquillo), es muy rico de recursos subterráneos, en razón de la alimentación directa desde la Cordillera Central y de la litología gruesa y de elevada permeabilidad. Análogamente, también los aluviones del río Yaque del Sur son relativamente ricos de recursos, dada la alimentación directa por parte del curso de agua. Al contrario, toda el área de la llanura, que se extiende hacia el lago Enriquillo, se caracteriza por la presencia de formaciones finas de permeabilidad relativamente baja, con un flujo en dirección al lago pero condiciones ambientales generalmente desfavorables para el aprovechamiento de los recursos subterráneos. Un sector a parte, en cuanto está estructuralmente aislado de la llanura principal por la Loma de Yeso y Sal, es el Valle de Angostura; se trata de un área con una alimentación directa desde la Sierra de Bahouruco (al S), con importantes producciones agrícolas y un balance negativo evidente, como atestiguan los fuertes descensos piezométricos, en acto en el curso de los últimos años.

Recordamos en esta sede que las actividades de modelización de las aguas subterráneas han concernido para este sector sólo a la zona de llanura, que se extiende desde el río Yaque del Sur hasta las orillas orientales del lago Enriquillo, con objetivos de detalle en relación también con los fenómenos de subida capilar y de salinización de sus suelos. Por lo tanto los resultados de la calibración del modelo en cuestión resultan limitados a un pequeño sector del valle entero, y la evaluación del balance en escala regional debe remontarse más bien al estudio hidrológico.

La recarga directa por infiltración ha sido estimada en el ámbito del estudio hidrológico (Anexo Memorias n° 14) en un valor total del orden de los $188.8 \cdot 10^6$ m³/año sobre una superficie total útil de 1504 km², con referencia a un año promedio. Se trata de un dato promedio que debe ser desagregado espacialmente, a la luz de consideraciones de carácter hidrogeológico, distinguiendo netamente la llanura principal (predominancia de formaciones finas, acuífero en presión, recarga estimada nula) de los sectores marginales, caracterizados por formaciones de granulometría de fina a gruesa. En las condiciones más críticas de años secos con tiempo de retorno igual a 19 años, el valor total estimado en el orden de los $113.5 \cdot 10^6$ m³/año (-40% respecto de la referencia promedio anterior) se reduce significativamente.

Téngase en cuenta que a nivel de conceptualización, el valle constituye la base del drenaje regional, tanto para la Sierra de Bahouruco (al S) como para la Sierra de Neiba (al N). En tal sentido, los relieves circundantes contribuyen a la recarga del valle también de manera indirecta alimentando seguramente acuíferos profundos en presión, que encuentran de todas maneras su desembocadura natural en el lago Enriquillo.

El papel de los cursos de agua es importante, como en el caso del río Yaque del Sur, que constituye una de las fuentes de alimentación principal del valle, y de los cursos de agua laterales, en el tramo en el que alimentan el sistema a través de depósitos de conoide y el pequeño sector de llanura que se extiende al E de la laguna de Rincón hasta el pueblo de Barahona. Al mismo tiempo existen otros cursos de agua, en el interior del valle (Las Dos Marías, Cañada El Ramillo) o laterales (ej. río Bermesí del valle de Angostura), que juegan un papel predominantemente drenante y participan encañalando recursos directamente hacia el lago.

Obviamente, además de la referencia al año promedio (utilizada en el curso de las actividades de modelización de las aguas subterráneas, aunque en un sector limitado) debe tenerse en la debida cuenta la referencia al año seco con tiempo de retorno igual a 10 años, en cuanto representativo de las condiciones de mayor criticidad.

Por lo que concierne en cambio a las salidas del sistema, debemos seguramente distinguir el sector principal del valle (desde el río Yaque del Sur hasta la frontera con Haití, comprendiendo el lago Enriquillo) del sector oriental (el tramo de llanura al E de la laguna de Rincón hasta el pueblo de Barahona). En el primero, la base del drenaje regional está representada evidentemente por el lago Enriquillo, que con sus -43 m marca la cota topográfica más baja; las direcciones de flujo son desde el N y desde el S, y en el tramo principal del valle desde el E (río Yaque del Sur hacia el O (lago Enriquillo)). Para el segundo en cambio la desembocadura natural está representada por el mar Caribe, con alimentación directa desde el río Yaque del Sur y direcciones de flujo desde el O hacia el E.

7.1.11 Utilización de las aguas subterráneas

En esta área las explotaciones son de entidad limitada por lo que concierne a los abastecimientos hidro-potables, aun en consideración del hecho de que los centros urbanos principales (entre los cuales Villa Jaragua, Neiba, Galván, Tamayo, San Cristóbal) no están dotados de sistemas de acueductos tradicionales. La única ciudad importante es la de Barahona, en la extremidad oriental del área de estudio, para la cual actualmente una parte significativa del abastecimiento hídrico procede de un campo de pozos ubicado al O de la misma, en dirección de la laguna de Rincón. Varios proyectos están actualmente en curso de estudio y de realización, con la finalidad de integrar los recursos actualmente aprovechados con otras fuentes de abastecimiento (ej. río San Rafael).

En el área, existen algunas áreas turísticas de interés, específicamente la ciudad de Barahona y todo el sector del lago Enriquillo. Sin embargo la primera se caracteriza hoy día por pocas estructuras hoteleras y por un número de presencias turísticas limitado., en razón de la falta de infraestructuras o de su degradación (ej. el aeropuerto, la zona costanera). Por lo que concierne al lago Enriquillo en cambio, aun considerando su notable valor desde el punto de vista del medio ambiente, no existen sin embargo infraestructuras turísticas de carácter internacional y las únicas áreas de interés, aunque puramente locales, son los distintos balnearios, en correspondencia de la línea de las surgencias. Por lo tanto en ambos casos, y con más razón para el lago Enriquillo, se pueden estimar tomas para fines turísticos generalmente limitadas.

El sector agrícola juega también en este caso un papel fundamental, sobre todo por lo que se refiere a los cultivos presentes en los conoides aluviales del N del valle (Villa Jaragua-Neiba-Galván) y en los depósitos aluviales recientes (río Yaque del Sur). Sin embargo predomina, sobre todos para estos últimos, un riego con aguas superficiales a partir de un sistema de canalización más bien articulado, causa entre otras cosas de una recarga adicional del sistema acuífero subterráneo. El sector de Angostura en cambio se distingue netamente, con actividades agrícolas importantes y uso exclusivo de recursos hídricos subterráneos.

El examen cruzado de las estimaciones de recarga (ref. estudio hidrológico) y de las estimaciones de las tomas (ref. estudio agronómico – evaluaciones sobre los usos potables), no pueden prescindir en el área de estudio del análisis de cada uno de los sectores. En tal sentido recordamos en efecto que, frente a condiciones generalmente favorables en correspondencia de los conoides a lo largo del límite septentrional del valle, e intermedias en correspondencia de los depósitos aluviales del río Yaque del Sur, se pasa a una situación fuertemente crítica en correspondencia del valle de Angostura.

La evaluación cuantitativa de la entidad de las explotaciones, ya discutida anteriormente, es obviamente muy compleja, por la substancial falta de datos exhaustivos y fiables. En el ámbito del proyecto recordamos que nos hemos concentrado en un esfuerzo de recopilación, sistematización y verificación crítica de datos existentes (por lo general de fuente INAPA) y de nuevos datos (a través de estimaciones directas de campo, entrevistas con la población local, evaluación indirecta sobre la base del tamaño de las cisternas o bien del número de familias abastecidas por eventuales obras de captación). El único dato directo y cierto es el suministrado por los contadores volumétricos

instalados en el curso del proyecto. Estos contadores están presentes en un número exiguo y no pueden (ni debían) suministrar un cuadro exhaustivo de los consumos.

En rápida síntesis, recordamos que los datos INAPA indicarían un aprovechamiento total del orden de los $24.7 \cdot 10^6$ m³/año, incluyendo tanto fuentes superficiales (ríos, manantiales) como subterráneas. De éstas, la más importante en absoluto, por casi el 70% del valor total arriba indicado, se referiría al abastecimiento hídrico desde el río (río Palomina) y pozos, en proximidad del pueblo de Caballero (acueducto de Barahona).

Por lo que concierne a las estimaciones de campo, hasta ahora no comentadas, el valor global de los consumos está limitado a menos de $0.3 \cdot 10^6$ m³/año; se trata sólo de dos pozos INAPA (en Neiba y en Vicente Noble) que completan pues el cuadro de los suministros hidropotables.

Por último los contadores volumétricos contribuyen a la variación de las tomas totales, sobre todo por su función de control cruzado respecto de las estimaciones indirectas o de las informaciones directas de distinta procedencia. Los caudales totales medidos resultan ser del orden de los $8 \cdot 10^6$ m³/año, tanto para pozos de propiedad del INDRHI como de propiedad de INAPA.

7.1.12 Vulnerabilidad

Los resultados de la aplicación del método DRASTIC en el área de estudio, reproducidos en el Mapa 10/5, delimitan un cuadro de la vulnerabilidad local que puede detallarse de la siguiente manera.

El elemento más llamativo en el área de estudio es la vulnerabilidad extremadamente contenida que caracteriza a los terrenos lacustres de la planicie, con modesta reducción de las condiciones de protección de los acuíferos sólo en el sector oriental, en correspondencia del ingreso del río Yaque del Sur al Valle de Neiba.

Grados de protección igualmente elevados corresponden también a la pequeña dorsal que separa la cuenca interior de El Limón del sector de Jimaní, y a los sectores que flanquean el curso del Yaque del Sur antes de su expansión en la planicie.

La presencia de vastas áreas de vulnerabilidad muy baja constituye un factor de seguridad con respecto a las descargas de residuos urbanos que se han censado en proximidad (4 km al E) de Vicente Noble, al S de Neiba y Villa Jaragua y, de manera menos marcada, por detrás de Jimaní.

La ubicación de las descargas de Duvergé y La Descubierta en sectores de vulnerabilidad respectivamente alta e intermedia, puede en cambio dar preocupaciones, sobre todo si estas descargas hubiesen sido instaladas sin ninguna obra de contención basal. No debe olvidarse además que la descarga de La Descubierta se sitúa por encima de una serie de importantes manantiales, de elevado caudal total, algunos de los cuales se manifiestan directamente dentro del lago Enriquillo.

Entre las áreas de vulnerabilidad alta, como las mencionadas arriba, la más extensa es la que corresponde a los terrenos aluviales del Río Yaque del Sur. A lo largo de esta franja están presentes actividades e instalaciones antrópicas, y de éstas la agricultura es la que tiene mayor desarrollo. De los centros poblados colocados dentro de esta zona, sólo en Tamayo y Vicente Noble están censados centros de peligro (surtidores de combustibles, cementerios) cuyo impacto parece estar de todas maneras contenido en un estricto ámbito local.

La vulnerabilidad, generalmente intermedia, que caracteriza por extensos sectores a los

grandes conoides septentrionales de Neiba-Villa Jaragua y Galván, además del occidental de la Descubierta y la del Valle interior de Angostura, es principalmente fruto de la elevada subyacencia de las napas en estos sectores; donde la napa resulta más alta (lado izquierdo del conoide de Neiba, en el tramo atravesado por el río Colorado) la clase aumenta y la vulnerabilidad se vuelve alta.

En estos sectores los principales centros de peligro están confinados en los centros poblados, con actividad generalmente de bajo impacto (hospitales, cementerios, surtidores); la actividad agrícola, fuente potencial de contaminaciones más difundidas, está generalmente confinada a los pies de los conoides, donde la interdigitación entre estos depósitos y los finos de la planicie lacustre, determina un elevado grado de protección de los acuíferos presentes, a menudo en condiciones confinadas.

En el mismo valle de Angostura, si se excluyen los impactos indirectos de las actividades de extracción en acto en la dorsal evaporítica que limita su desarrollo al N, la actividad principal es la agrícola, confinada de todas maneras en las cotas más bajas del valle mismo.

De una visión general del área de evaluación, no emergen áreas de criticidad inmediata, salvo los sectores donde se encuentran las descargas arriba citadas, de la cuales es necesario un conocimiento específico para poder definir su peligrosidad real.

Actividades de impacto elevado no están presentes en el área. En efecto, las principales producciones industriales son generalmente de transformación alimenticia, con diversificaciones productivas esencialmente sólo en la zona franca pública de Barahona, de todas maneras fuera del área de evaluación.

7.2 Aguas superficiales

7.2.1 Régimen hidrológico y recursos hídricos

La red hidrográfica del Valle de Neiba se caracteriza de una manera muy distinta en dos áreas: al este, la cuenca baja del río Yaque del Sur, y al oeste, la cuenca cerrada del lago Enriquillo (por más detalles, véase el Anexo Memorias n° 13).

El río más importante del valle es el Yaque del Sur, en la extremidad oriental del área de estudio; este río llega desde el área del pueblo de Barranco, y se extiende en dirección SO hasta el pueblo de Tamayo; aguas abajo de Tamayo, la dirección del río se modifica radicalmente, hacia el SE y E cruzando un área de alto estructural (laguna de Rincón-Sierra de Martín García), nuevamente hacia el SO, para modificar definitivamente su marcha en proximidad del pueblo de Cabral, y de la laguna de Rincón, con dirección E y salir al mar Caribe.

La potencialidad hídrica natural del río Yaque del Sur es elevada, indicativamente comprendida en Los Guiros entre los $1197 \cdot 10^6$ m³/a (año seco, T=10) y os $1532 \cdot 10^6$ m³/a (año promedio), Tab. 7.2.1./1; sin embargo el elevado nivel de las tomas del recurso hídrico para fines de riego en la cuenca, recurso utilizado también en áreas exteriores a la cuenca (área al este del lago Enriquillo y Planicie de Azua), implica una radical reducción de la escorrentía en el cauce, como se expone detalladamente a continuación en el pár. 7.2.2.

Por lo que atañe a la identificación de la entidad promedio mensual de la escorrentía torrencial y del flujo base, fue preciso basarse en los resultados de la aplicación de los modelos matemáticos lluvia-escorrentía (véase pár. 7.2.3 y Anexo Memorias n°15) por los cuales resultó en Los Guiros una contribución media del flujo base alrededor del 64% de la escorrentía total (cv = 0.18);

Los ríos de la cuenca cerrada del lago Enriquillo son generalmente ríos pequeños, algunos caracterizados, en condiciones de escorrentía natural, también por un régimen hidrológico de tipo permanente y los más importantes se originan de la Sierra de Neiba (sector norte). La potencialidad hídrica natural, evaluada sobre la base de los resultados de las campañas de aforos efectuadas en el curso del proyecto, es por lo menos del orden de los $108 \cdot 10^6$ m³/a (ríos Bermesí, Majagual, Las Damas, Guayabal, Barrero y Don Juan, período sept. '97 – ago. '98, caracterizado por condiciones climáticas bastante secas, de alrededor de los 5 años de período de retorno, véase Anexo Memorias n° 2, y Tab. 7.2.1./1). También para el sistema hidrográfico del Lago Enriquillo, la utilización de los recursos hídricos superficiales para fines de riego implica una significativa distorsión del régimen natural de la escorrentía y algunos ríos, por ejemplo los ríos Bermesí, Las Damas, Barreno y Panzo fluyen secos y/o casi secos aguas abajo de las obras de toma de los canales de riego.

7.2.2 Utilización de las aguas superficiales

La demanda de recurso hídrico superficial en el Valle de Neiba resulta articulada de la siguiente manera (véanse Tablas 7.2.2./1-2):

- cuenca baja del río Yaque del Sur:

- para riego: la hidroexigencia neta puede estimarse en aproximadamente $150 \cdot 10^6$ m³/a (equivalente a una demanda bruta del orden de los $300 - 375 \cdot 10^6$ m³/a, eficiencia global de riego entre 40 y 50%).
- área del lago Enriquillo:
 - para aprovechamiento urbano (aguas potables): caudal de explotación de alrededor de los $8.8 \cdot 10^6$ m³/a – $10 \cdot 10^6$ m³/a (INAPA);
 - para riego: la hidroexigencia neta puede estimarse en aproximadamente $67 \cdot 10^6$ m³/a, repartida de la siguiente manera:
 - $24.9 \cdot 10^6$ m³/a, sector de Neiba – Galván;
 - $11.7 \cdot 10^6$ m³/a, sector de Jimaní – La Descubierta;
 - $30 \cdot 10^6$ m³/a, sector de Angostura – Duvergé;equivalente a una demanda bruta total del orden de los $167 \cdot 10^6$ m³/a (eficiencia global de riego de alrededor del 40%).

Sobre la base de la entidad de la oferta hídrica natural y de la actual hidroexigencia, balance hídrico del Valle de Neiba resulta:

- cuenca baja del río Yaque del Sur:

como hemos recordado anteriormente (pár. 7.2.1), el grado de explotación de las aguas superficiales, en particular para fines de riego, es muy alto en toda la cuenca del río Yaque del Sur (véanse Fig. 7.2.2./1 y Anexos Finales n° 3 y 4), situación que obviamente se refleja sobre la entidad de los recursos disponibles en el tramo fluvial de interés y sobre la posible verificación de situaciones de criticidad hidrológica.

En particular, también en la cuenca baja las derivaciones para fines de riego son tan extensas que la marcha de los caudales ha sido ampliamente distorsionada, como se encuentra en la Fig. 7.2.2./2 donde se coteja la marcha de la escorrentía promedio mensual medida en los años 1986-87 y 1989 en las estaciones hidrométricas de Los Guiros y Palo Alto. En total la reducción de la entidad de la escorrentía medida en el cauce es del orden de los $364 \cdot 10^6$ m³/a, valor cotejable con la hidroexigencia bruta estimada con referencia a los actuales sistemas de riego.

Con referencia a la estación hidrométrica de Palo Alto, la actual utilización del recurso hídrico superficial en el interior de la cuenca hidrográfica es muy elevada, próxima a valores del orden del 80% del recurso natural (ref. años 1984-87 y 1989, escorrentía medida= $320.4 \cdot 10^6$ m³/a, escorrentía natural= $1555.4 \cdot 10^6$ m³/a, considerando como escorrentía natural la reconstruida en la estación de Los Guiros mediante modelo matemático lluvia-escorrentía, pár. 7.2.3), situación representativa de un nivel de utilización del recurso de hecho crítico, situación de demanda muy próxima al promedio, por lo cual se puede concluir que la situación más frecuente de hecho es la de sequía de tipo socio-económico.

Además, el actual nivel de utilización del recurso superficial implica también que puedan verificarse situaciones de comprometimiento ambiental del cauce del río. En efecto, la escorrentía mínima diaria medida en Palo Alto resulta extremadamente reducida, variando, en el período 1981-89, entre 0.36 m³/s y 3.59 m³/s con un valor promedio igual a 1.70 m³/s, valores significativamente inferiores al del caudal ecológico que, sobre la base de consideraciones sólo de tipo hidrológico (Anexo Memorias n° 17, Apéndice A) debería ser por lo menos igual a $4.9 - 6.5$ m³/s.
- área del lago Enriquillo:

como se ha recordado anteriormente (pár. 7.2.1), el grado de explotación de las

aguas superficiales, en particular para fines de riego, es muy alto en la cuenca cerrada del lago Enriquillo implicando una significativa distorsión del régimen natural de la escorrentía. Por ejemplo, excluyendo episodios pluviométricos importantes, la escorrentía resulta de hecho nula en los ríos Panzo, Las Damas y Bermesí y reducida por lo menos del 94% y del 76% respectivamente en los ríos Barrero y Majagual. Entre los cursos de agua más importantes, sólo el río Guayabal fluye hacia el lago en condiciones de régimen hidrológico natural.

El nivel actual de utilización del recurso hídrico superficial resulta por lo tanto crítico tanto por la elevada probabilidad en años secos de no satisfacer el actual nivel de la demanda bruta para riego, como, sobre todo, por el equilibrio hidrológico del lago Enriquillo.

En efecto, el equilibrio hidrológico del lago Enriquillo (precipitación sobre el lago de alrededor de los 600 mm/a y evaporación del orden de 1700 mm/a) resulta muy frágil, es decir es fácil llegar hasta una situación en la cual el lago no esté en una situación estacionaria. Sin embargo, aumentar el desvío de los caudales de los ríos (también del agua que llega por medio del canal Cristóbal desde el río Yaque del Sur) para nuevos usos agrícolas puede conducir en un período breve de tiempo a un descenso pronunciado de los niveles del lago con consiguiente comprometimiento ambiental de todo el ecosistema (véase también Anexo Memorias n° 20).

Vale la pena anotar que durante el período nov. '97 –jun. '98, período de leve sequía en sentido climático (precipitaciones de alrededor de los 5 años de período de retorno, véase Anexo Memorias n° 2), se midió una baja continua del nivel del lago Enriquillo, sólo en el mes de febrero se tuvo una pequeña subida de 10 cm. En conjunto, el nivel del lago se bajó de 50 cm, es decir el balance entre salidas (evaporación directa) y entradas (lluvia directa más escorrentía superficial y flujos subterráneos) fue negativo.

7.2.3 Modelos matemáticos lluvia-escorrentía

Sobre la base de la información climatológica disponible se han reconstruido las escorrentías naturales diarias en correspondencia de la sección de:

- río Yaque del Sur en Los Guiros (vieja estación del INDRHI, código 490014), período 1984-1994 (11 años);

Los resultados de la aplicación del modelo matemático están presentados de forma numérica y gráfica en el Anexo Memorias n° 15, junto a los datos que caracterizan a la calibración.

Las características del régimen de la escorrentía natural reconstruida pueden así sintetizarse:

superficie = 4054 km²

precipitación promedio = 1175 mm;

escorrentía total promedio = 380 mm (Q = 48.58 m³/s);

valores en promedio significativos del coeficiente de escorrentía (cociente entre escorrentía y lluvia), caracterizados por una contenida variabilidad temporal (med = 0.32, máx = 0.37, mín = 0.24);

régimen hidrológico de tipo permanente (Q_{mín} = 6.523-17.144 m³/s, Q₃₀₀ = 11.070-25.598 m³/s);

significativo aporte del flujo base a la escorrentía total, en promedio del orden del 64% (máx = 73.2%, mín = 57.7%);
contenida variabilidad temporal de los caudales de estiaje (cv = 0.31-0.36 con referencia a los caudales Q_{365} - Q_{330}), consiguiente tanto a la entidad del aporte del flujo base como a la modesta variabilidad temporal de las lluvias y de las escorrentías en la cuenca (cv lluvia=0.12, cv escorrentía total=0.19);
buena permanencia en el cauce de valores de escorrentía significativos (en promedio sólo 66 días por año están caracterizados por valores del caudal natural reconstruido inferiores a los 18 m³/s, y apenas 4 por valores inferiores a los 8 m³/s). Estos valores revisten un carácter esencialmente conocitivo del comportamiento hidrológico natural de la cuenca y pueden ser utilizados como referencia para evaluar por ejemplo la entidad del caudal ecológico (véase cap. 7.2.2 y Anexo Memorias n°17), teniendo en cuenta las actuales condiciones de escorrentía significativamente distorsionadas por el efecto conjunto de las tomas masivas para riego y de la regulación operada por el ejercicio del embalse de Sabana Yegua.

Valores del caudal natural promedio anual de asignada probabilidad según el modelo logarítmico-normal (véase Anexo Memorias n° 13):

años secos:

período de retorno de 1 en 20 años:	Q = 35.57 m ³ /s;
período de retorno de 1 en 10 años:	Q = 37.97 m ³ /s;
período de retorno de 1 en 5 años:	Q = 41.09 m ³ /s;

años húmedos:

período de retorno de 1 en 5 años:	Q = 55.60 m ³ /s;
período de retorno de 1 en 10 años:	Q = 60.18 m ³ /s;
período de retorno de 1 en 20 años:	Q = 64.24 m ³ /s;

7.3 Agronomía – Edafología

7.3.1 Resultado de la investigación edafológica ~~ey~~ identificación de zonas potencialmente regables

El distrito regadío de Neiba pertenece a una cuenca endorreica que se cierra con el Lago Enriquillo. La cuenca se ha formado por el levantamiento de un umbral que ha aislado una bahía. Calizas arrecifales, y depósitos de limos son las formaciones que influyen más sobre la génesis de los suelos.

Desde el punto de vista de las texturas y de las velocidades de infiltración en el distrito examinado prevalecen suelos de empaste medio ligero, a veces pedregoso y velocidades de infiltración medio altas.

La investigación edafológica ha permitido evaluar la existencia de áreas susceptibles al riego; éstas han sido subdivididas por clases de susceptibilidad, según criterios de carácter agronómico, así como está indicado en el pár. 6.9.2.
~~L'indagine pedologica ha permesso di valutare l'esistenza di aree suscettibili per l'irrigazione; queste sono state suddivise per classi di suscettibilità, secondo criteri di carattere agronomico, così come indicato nel par.6.9.2.~~

De la evaluación de los datos elaborados y de la cartografía producida, se han identificado, en el interior del Valle de Neiba, 10.747 ha susceptibles al riego, de éstas, 2370 caen en la primera clase, 3195 en la segunda y 5182 en la tercera clase. Los suelos presentan generalmente limitaciones debidas a sus características químico-físicas.
~~Dalla valutazione dei dati elaborati e della cartografia prodotta, sono stati identificati, all'interno della Valle de Neiba 10.747 ha suscettibili di irrigazione; di questi, 2370 ricadono in prima classe, 3195 in seconda e 5182 nella terza classe. I suoli presentano generalmente limitazioni dovute alle loro caratteristiche chimico-fisiche.~~

7.3.2 Identificación de zonas con regadío actual

Los cultivos que ocupan las mayores superficies resultan ser la caña de azúcar, el plátano y los pastos naturales y artificiales.

El arroz se cultiva en menor proporción. Otros cultivos importantes son frijol, maíz, yuca, batata, guandul, cebollas, cilantro, papaya, plátano, guineo, uva y coco.

En síntesis, se pueden definir cuatro tipos principales de uso agrícola de la tierra:

- caña de azúcar;
- musáceas (plátano y guineo);
- cultivos de ciclo corto (cultivos menores);
- cultivos permanentes (fructíferas y pastos mejorados)

La superficie total agrícola del Valle de Neiba es igual a 58.363 ha; es oportuno reiterar que dicha superficie comprende superficies brutas, que comprenden taras como carreteras, caminos, canales, terrenos no cultivados. Además ha sido delimitada según el criterio de la predominancia, habiéndose realizado el levantamiento
~~La superficie totale agricola della Valle de Neiba è pari a 58.363 ha; è opportuno ribadire che tale superficie è comprensiva di superfici brutas, che comprenden taras como carreteras, caminos, canales, terrenos no cultivados. Inoltre è stata delimitata secondo il criterio della prevalenza, essendo stato il rilevamento~~

effettuato ad una scala di sintesi.

En el interior de esta superficie, se han individualizado 44.607 ha con regadíos, de las cuales 34.000 con aguas superficiales, 4.777 con aguas subterráneas y 5830 con aguas mixtas, subterráneas y superficiales. ~~All'interno di questa superficie, sono stati individuati 44.607 ha irrigui, di cui 34.000 con acque superficiali, 4.777 con acque sotterranee e 5830 con acque miste, sotterranee e superficiali.~~

Por lo que concierne en fin a la demanda de agua de cada uno de los cultivos, la siguiente tabla contiene las necesidades netas anuales por unidad de superficie (1 hectárea). Para los datos de mayor detalle, se remite a las tablas adjuntas del Anexo 16. ~~Per quanto riguarda infine la richiesta di acqua delle singole colture, la seguente tabella riporta i fabbisogni netti annuali per unità di superficie (1 ettaro). Per i dati di maggiore dettaglio, si rimanda alle tabelle allegate all'Annesso 16.~~

Cultivos	DEM. NETA ANUAL(mm)
maíz	854,03
arroz	631,98
caña	1484,11
musáceas	1484,11
yuca	790,83
frijol	323,4
batata	434,28
pastos	745,71
guandul	580,58
papaya	1299,51
cebollas	434,28
coco	745,71
uva	1114,91

8 CANTIDADES EXPLOTABLES DE AGUA

Por lo que concierne a los recursos hídricos subterráneos, ha emergido un cuadro más bien articulado. En el sector de los conoides (límite norte del área), donde ya hoy día se concentra la utilización de aguas subterráneas para fines de riego, se puede razonablemente considerar la posibilidad de ulteriores incrementos de tomas en razón de la entidad de la recarga a partir de la Sierra de Neiba y de las litologías relativamente gruesas y permeables. Al contrario las simulaciones con modelo matemático han puesto en evidencia no sólo la criticidad de toda la zona afectada por irrigación del río Yaque del Sur (Tamayo), sino también la imposibilidad de prever en tal sector un gradual aumento de las tomas de aguas subterráneas. Otros sectores, aun no habiendo sido objeto de modelización matemática, deben recordarse en relación con las criticidades conocidas y ya objeto de reflexión en el curso del proyecto.

El principal de éstos es, sin duda, el Valle de Angostura, que, aislado del Valle principal a lo largo de la Loma de Yeso y Sal, está caracterizado por fuertes tomas para fines de riego en una condición de balance desequilibrada; en consideración de la ausencia de fuentes superficiales no se puede hacer otra cosa que sugerir vivamente una reducción de las tomas de aguas subterráneas a través de un mejoramiento de la eficiencia global de riego.

Por lo que concierne a los recursos hídricos superficiales, la situación en el valle de Neiba puede sintetizarse de la siguiente manera:

- el grado de explotación de las aguas superficiales, en particular para fines de riego, en toda la cuenca del río Yaque del Sur es muy alto, por ejemplo, con referencia a la estación hidrométrica de Palo Alto, el conjunto de la actual utilización del recurso hídrico superficial es próximo a valores del orden del 80% del recurso natural, situación que obviamente no permite en condiciones actuales, hipotetizar ulteriores utilizaciones del recurso hídrico superficial para no comprometer tanto los equilibrios ambientales de los sistemas fluviales (la escorrentía mínima diaria medida en Palo Alto resulta comprendida entre el 26 y el 35% del caudal ecológico de referencia), como la satisfacción de los usuarios, en particular en años de posible riesgo de sequía en sentido socio-económico.

Una intervención de buen auspicio sería en cambio recuperar recursos, dejándolos fluir libremente en los cauces, a través de un mejoramiento de la eficiencia global de los sistemas de riego, garantizando de todas maneras, a través del canal Cristóbal, un aporte significativo de agua al lago Enriquillo aporte que puede contribuir a garantizar condiciones de equilibrio hidro-biológico al delicado ambiente natural del lago mismo.

- con referencia a la cuenca cerrada del lago Enriquillo, el grado de explotación de las aguas superficiales, en particular para fines de riego, es muy alto implicando una significativa distorsión del régimen natural de la escorrentía, muchos ríos fluyen secos o casi secos gran parte del año aguas abajo de las obras de toma. El nivel actual de utilización del recurso hídrico superficial resulta por lo tanto crítico tanto por la elevada probabilidad en años secos de no satisfacer el actual nivel de la demanda bruta para riego, como, sobre todo, por el equilibrio hidrológico-ecológico del lago Enriquillo, equilibrio muy frágil. Sin embargo, aumentar las tomas de aguas subterráneas y el desvío de los caudales de los ríos (también del agua que llega por medio del canal Cristóbal desde el río Yaque del Sur) para nuevos usos agrícolas puede conducir en

un período breve de tiempo a un descenso pronunciado de los niveles del lago con consiguiente comprometimiento ambiental de todo el ecosistema.

Por lo tanto se sugiere no prever ulteriores utilizaciones de los recursos hídricos locales, tanto superficiales como subterráneos, utilizaciones que puedan interferir con el equilibrio del lago.

9 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

9.1 Resumen de datos generales y socio-económicos

El área de estudio denominada "Valle de Neiba" (ver Fig. 1/1), está comprendida entre 18° 11' 11" y 18° 39' 17" de Latitud Norte y entre 70° 58' 36" y 72° 00' 03" de Longitud Oeste y tiene una superficie de aproximadamente 2,501 Km².

Está dividida entre las provincias de Bahoruco, Independencia e Barahona y comprende en todo o en parte el territorio de 18 municipios.

La población de estos municipios que vive dentro del área de estudio se estima hoy a 289,860 habitantes de los cuales 130,045 (39%) viven en zonas rurales y 159,815 (61%) en áreas urbanas. De estos, el 51.4% son hombres y el 48.6% mujeres.

La tasa media de analfabetismo se calcula en un 31.6%. La población económicamente activa representa el 30.7 % de la población total. La mayoría son trabajadores asalariados (51.2%) y trabajadores por propia cuenta (39.6%).

Los sectores que más contribuyen a la economía y que son las mayores fuentes de empleo son, en orden de importancia la agricultura (47.62%), los servicios (17.15%), las industrias manufactureras (8.99%) y el comercio y turismo (6.90%).

En el territorio incluido en el área del proyecto, las principales producciones industriales son la textil (esencialmente en la zona franca pública de Barahona) y la alimentaria (industrias privadas).

Los principales productos agrícolas son plátanos, caña de azúcar, guandules y hortalizas en general.

La actividad ganadera es muy reducida y constituida esencialmente por caprinos.

No existe una actividad pesquera desarrollada y organizada a nivel industrial. Sólo existe la pesca de bajura con pocos barcos pequeños a distancias no muy grandes de la costa. Los productos principales son lambí, mero, sierra y atún en la zona de Barahona.

El turismo no es muy desarrollado, pero presente. En la costa existen buenos Hoteles en el área de Barahona, donde se encuentran turistas extranjeros (esencialmente norteamericanos).

Una buena potencialidad de desarrollo turístico en zonas internas está representada por los balnearios en el sector del Lago Enriquillo.

Por lo que atañe al turismo ambiental, que no está desarrollado de manera conforme a sus potencialidades, existen los parques de La Descubierta - Isla Cabrito, Laguna de Rincón, Sierra de Bahoruco. Un área científica se encuentra en correspondencia de la Laguna de Rincón.

A parte la extracción de arena y grava para la construcción (esencialmente concentrada en el sector occidental del área de estudio), las actividades en el área minera y

extractiva tienen un cierto desarrollo, aunque no ocupen una posición muy importante como fuente de empleo. Se extraen Sal y Yeso en correspondencia de la loma omónima, Caliza (en la provincia de Independencia, al Norte del lago Enriquillo) y Travertino (zona de Vicente Noble).

La red de carreteras, es de calidad medio-baja en el área y no está muy desarrollada.

En el área de estudio se encuentra el puerto y el aeropuerto de Barahona, únicos en toda la Región Sur.

La distribución de electricidad es muy carente tanto en las áreas urbanas, como en las zonas rurales, donde el servicio no alcanza todos los pueblos.

El servicio telefónico y la cobertura celular son buenos en la zona de Barahona. No se puede decir la misma cosa en las áreas más internas.

9.2 Clima

Los datos climáticos del área hidrológica del proyecto fueron tomados de las estaciones meteorológicas del INDRHI (3 estaciones pluviométricas/gráficas, período 1961-1996 y 5 estaciones climatológicas, período 1967-1996) y de la ONAMET (6 estaciones, período 1961-1990 y 1997 y período 1939-1997);

La característica principal del clima en el área de estudio a lo largo del alineamiento lago Enriquillo - El Peñón es la aridez, caracterizada por una evapotranspiración potencial de referencia ETPo (de Hergreaves-Samani) mayor que la precipitación en todos los meses del año, en cambio, las áreas húmedas se encuentran en las zonas altas de la Sierra de Neiba y cerca de Barahona.

El promedio de lluvia anual de la zona hidrogeológica del Valle es de 683.2 mm, a nivel de estación los valores anuales medios oscilan entre 446 mm (Tamayo) y 1527 mm (Los Bolos, cuenca alta río Barrero, Sierra de Neiba), la precipitación promedio sobre el lago Enriquillo es alrededor de los 600 mm/a.

La variación mensual de la precipitación presenta un régimen de tipo bimodal con época lluviosa en la primavera (en términos generales en los meses de mayo y junio) y en verano-otoño (desde agosto hasta noviembre) y con sequía en el invierno y en julio. En el área cerrada alrededor del lago Enriquillo el coeficiente de variación CV de la lluvia total anual asume, en sentido estadístico, el mismo valor en toda el área, es decir $CV = 0.275$.

Se ha verificado, por las series históricas de la lluvia anual, como representativo a escala regional, el modelo logarítmico-normal por sus mejores resultados absolutos y relativos respecto a los modelos normal-Gauss y gamma-Pearson II, mientras que la ecuación de Hergreaves-Samani ha sido elegida como método de referencia para evaluar la evapotranspiración potencial ETPo.

La temperatura media del aire presenta valores anuales que fluctúan entre menos de 23 °C (Puerto Escondido) y más de 28 °C (Duvergé), la variación intranual de la temperatura media oscila entre 3 y 4 °C, y, en todo el área de estudio, el período de mayores temperaturas corresponde a los meses de julio a agosto y lo de mínima a los meses de enero y febrero.

El promedio anual de la ETPo en el Valle es de 1770 mm, a nivel de estación los valores anuales medios oscilan entre 1651 mm (El Peñón) y 1925 mm (Angostura), mientras que los valores de la evaporación de tanque A medidos oscilan entre 1547 mm (Guayabal Poster Río) y alrededor de los 2450 mm (Neiba y Barahona).

Para mayores detalles, refiérase al cap. 3 y al Anexo Memorias n° 1.

9.3 Orografía, Hidrografía y Geomorfología

El valle de Neiba se extiende desde la Sierra de Martín García y la Bahía de Barahona al E, y el límite con Haití al O. Los límites N y S están representados, a lo largo de grandes lineamientos tectónicos, por las áreas montañosas de la Sierra de Neiba y de Bahouruco.

El área se distingue por la presencia de una llanura interna, delimitada por relieves marginales de alta elevación que en la porción meridional resultan articulados por la presencia de numerosas cuencas internas de tamaño variable (El Limón, Angostura).

El levantamiento de las partes marginales ha determinado la formación de numerosos conoides aluviales y/o de deyección, también de dimensiones notables, que caracterizan a ambas laderas de la cuenca.

La zona interna de la cuenca está constituida por un valle de morfología plana, ocupado en la parte occidental por el vasto lago de Enriquillo.

En la parte oriental, en proximidad de la Bahía de Neiba, a la llanura de origen lacustre se le sobrepone el valle aluvial del río Yaque del Sur.

Depósitos calcáreos organógenos delimitan actualmente al lago Enriquillo formando una franja de morfología casi tabular que se desarrolla desde la cota 0 hasta aproximadamente -30m s.n.m.

Una de las características de los relieves calcáreos y calcáreo margosos que flanquean a la llanura de Neiba es la aspereza de los vertientes con partes apicales maduras, de aspecto tabular, a menudo consteladas por numerosas formas kársticas.

El río más importante del valle es el Yaque del Sur. En su trecho inicial atraviesa, con curso meandriforme, los terrenos neogénicos al NE de Vicente Noble; en el ingreso a la llanura forma una amplia área de sobrealuvionamiento.

En el trecho terminal del río, aguas abajo de El Peñon, está presente la unión de un brazo inactivo, llamado Río Viejo, que ha representado el curso del río hasta tiempos recientes.

Otros ríos se encuentran en el área de estudio. Trátase generalmente de ríos pequeños y de una cierta importancia sólo para los pueblos de los alrededores.

Por lo que se refiere a lagos y lagunas saladas, el elemento más llamativo está constituido por la extensa cuenca del lago Enriquillo.

Subordinadamente se indica la presencia de una cuenca de tamaño más reducido, la laguna de Rincón, en el límite SE del área.

9.4 Geología y tectónica

9.4.1 Geología

Los relieves que delimitan a la cuenca del Lago Enriquillo están constituidos por rocas pertenecientes a las formaciones calcáreo marnosas de edad eo-miocénica, con una parte frontal predominantemente representada por las formaciones de la secuencia terrígena neogénica.

El fondo de la cuenca está constituido en cambio por los depósitos recientes de origen fluvio-lacustre.

Las unidades aflorantes en el área de estudio son las siguientes:

Terrenos paleogénicos, constituidos por la Formación de Neiba (calizas de color claro, de micríticas a cristalinas, con pedernales, en sucesiones bien estratificadas) y la Formación Sombrerito (en facies preponderantemente calcárea).

Depósitos neogénicos, constituidos por la Formación Sombrerito (calizas pelágicas, marnas y calcarenitas), la Formación Lemba (calizas marnosas y marnas calcáreas tipo “creta”, en sucesiones monótonas de estratificación gruesa), la Formación Trinchera (alternancias de arcillitas, siltitas y areniscas, con conglomerados subordinados, en sucesión bien estratificada), la Formación Quita Coraza (siltitas masivas, con escasas y delgadas intercalaciones arenáceas), la Formación Arroyo Blanco (secuencia sedimentaria de carácter regresivo, generalmente caracterizada por una porción inferior dominada por siltitas, y por una porción superior con predominancia de conglomerados y areniscas), la Formación Arroyo Seco (en facies típicamente continental, constituida por guijarros, cantos en matriz fina, arenas, limos y arcillas, generalmente sueltos o con bajo grado de cementación), la Formación Angostura (intercalaciones entre evaporitas y niveles detríticos finos), la Formación Las Salinas (areniscas, conglomerados y siltitas, generalmente poco cementados, y calizas fosilíferas de tipo “coquina”) y la Formación de Jimaní (calizas fosilíferas, areniscas y mudstone).

Depósitos Cuaternarios, de vario origen, que cubren buena parte del área de estudio. Los más extensos resultan ser los de origen lacustre (generalmente limosos-arcillosos), que constituyen el relleno final de la cuenca de Neiba, fruto de la desecación progresiva del antiguo canal marino que ocupaba con continuidad todo el Valle de Neiba hasta el actual Golfo de Port Au Prince (Haití).

En las partes marginales, sobretodo en el sector Norte, existen interdigitaciones entre los depósitos lacustres y numerosos abanicos que se desarrollan frente a la llanura interna. Son presentes también depósitos fluviales, de los cuales más extensos son los aluviones recientes y actuales del Río Yaque del Sur y en los valles de Angostura y El Limón.

Al margen del actual Lago Enriquillo, están presentes unos depósitos coralinos tanto en colocación primaria como en facies detrítica

A señalar también la presencia de depósitos eluvio-coluviales, tanto en la franja situada a los pies de las montañas, como en la cobertura apical de los relieves de morfología casi llana. Depósitos de menor extensión formados por dunas costeras y barras litorales están presentes entre Barahona y la Laguna La Sierra.

9.4.2 Tectónica

El área de estudio y de forma particular la cuenca del Lago Enriquillo, se coloca en un contexto tectónico que caracteriza a todo el SO de la isla y se ha desarrollado en dos fases: una fase anterior al Mioceno inferior, durante la cual las condiciones son de océano abierto y tectónica en descanso, y una fase clástica de cierre de la cuenca, sucesiva al Mioceno inferior, con formación de Ramp Basin de eje ONO-ESE.

Los elementos tectónicos más llamativos están constituidos por las fallas de compresión y de importancia regional que se desarrollan, según un trend general ONO-ESE, longitudinalmente a la cuenca y se asocian espacialmente a numerosos pliegues de dirección concordante.

Este plegamiento puede ser responsable de la emersión de la Isla Cabritos en las aguas del Lago Enriquillo que representaría la culminación axial de un anticlinal de dirección E-O.

Las cuencas internas de El Limón, Angostura y otras menores, constituyen un elemento morfotectónico relevante en el sector meridional de la llanura. La asociación de estas cuencas internas con estructuras de naturaleza compresiva no resulta clara, si no directamente incongruente, y necesitaría que se la investigara más profundamente para permitir la plena comprensión del fenómeno.

La continuidad de la depresión central está parcialmente interrumpida en el sector oriental por la presencia de un alto estructural que aflora parcialmente, en forma de una estrecha dorsal evaporítica de desarrollo E-O, con lomas asociadas, al N de la Laguna de Rincón.

El aislamiento de la parte occidental del valle, ocurrido con certeza en tiempos muy recientes, está plausiblemente vinculado con un levantamiento diferencial de la parte oriental al cual podría sobreponerse también el efecto de barrera determinado por el depósito de los sedimentos del Yaque del Sur.

9.5 Actividades preliminares, base de datos y SIG

La realización de esta etapa preliminar, ha permitido antes de todo la planificación correcta en todos sus detalles y luego la realización en forma optimizada de las actividades de proyecto.

La primera de las actividades preliminares, fue la recopilación de los antecedentes y la colección de todos los documentos cartográficos necesarios al desarrollo del estudio.

En esta fase se pudieron recoger y sintetizar 14 informes de interés a nivel nacional (entre los cuales el Informe final del Proyecto PLANIACAS) y 8 informes específicos sobre el área de estudio, además de adquirir los documentos cartográficos de base (2 mapas temáticos en escala 1:250000 el mapa topográfico nacional en escala 1:250000 y 14 hojas del mapa topográfico nacional en escala 1:250000 relativos al Valle de Neiba).

Paralelamente se llevó a cabo el diseño del banco de datos alfanumérico (realizado en ambiente Microsoft Access 97) y la implementación del Sistema de Información Geográfica - SIG (realizado en ambiente ArcView versión 3.0a) y al desarrollo de la integración entre los dos instrumentos de trabajo.

El banco de datos alfanumérico, contiene:

- las fichas de identificación de 1489 puntos de agua de los cuales 199 pertenecen al Valle de Neiba
- las fichas de identificación de 114 estaciones de aforos de las cuales 17 se encuentran en cuencas del Valle de Neiba
- las fichas de identificación de 28 estaciones meteorológicas instaladas en el curso del proyecto, de las cuales 3 están en relación con esta área de estudio
- los datos piezométricos, de calidad de las aguas (análisis y determinaciones de campo y análisis de rutina y especiales de laboratorio, incluyendo isótopos, metales etc.. cuando ejecutados), de control de la salinidad (perfiles en pozo).

En el SIG están incluidas todas las aplicaciones y los files que permiten tanto de visualizar los diferentes parámetros del banco de datos alfanumérico y de efectuar elaboraciones específicas relacionadas con estos datos (selecciones, operaciones matemáticas), como de realizar la cartografía temática de proyecto en las escalas deseadas.

Como última actividad preliminar se realizó la primera etapa del inventario de puntos de agua con el fin de poder escoger las redes de control piezométrico, de calidad y de salinidad previstas.

En esta fase se inventariaron en el Valle de Neiba 171 puntos. Entre estos, 46 resultaron aptos para ser incluidos en la red de control piezométrico, 91 resultaron aptos para la red de calidad y 49 no eran aptos, en las condiciones en las cuales se encontraron, para ser incluidos en redes de control.

Naturalmente las actividades de inventario continuaron también durante el desarrollo del proyecto, para permitir de incluir los nuevos puntos de agua realizados en el periodo del estudio y de añadir nuevos puntos en substitución de otros mientras tanto no más utilizables para las redes de control.

Al final del estudio las cantidades totales de puntos de agua inventariados es de 199, de los cuales el 85.4% son pozos y el 12.1% manantiales. De los pozos/sondeos, el 26.6% pertenecen al INDRHI, el 14.5% a INAPA, el 13.6% a particulares y el 10.6% al IAD. Los pozos se utilizan principalmente para el riego (39.5%) y a fines domésticos (15.3%). Los equipos de bombeo más utilizados son las bombas de eje vertical (54.8%), las eléctricas submergibles (16.1%) y las eléctricas de superficie (11.3%).

9.6 Actividades de campo y estudios

9.6.1 Monitoreo piezométrico y actividades relacionadas

Durante el proyecto se ejecutaron 17 campañas de medidas mensuales desde Septiembre 1997 hasta Octubre 1998 y luego desde Junio hasta Agosto 1999.

Vista la variabilidad y la inestabilidad previstas por el hecho de que la casi totalidad de los puntos existentes no eran dedicados para el control piezométrico, se tomaron en cuenta para el monitoreo todos los puntos (65 por un total de 775 medidas), donde se podía medir el nivel piezométrico para poder definir, al final de los dos años, todos los puntos potencialmente utilizables en una red de control que a la vez fueran aptos técnicamente y confiables en términos de continuidad de las medidas en el tiempo.

Como núcleo inicial se tomaron en cuenta los puntos incluidos en el banco de datos del INDRHI que ya tenían un mínimo de datos en tiempo pasado.

Los puntos que se pudieron medir siempre en las campañas de monitoreo fueron 43 o sea el 66.2% del total considerado

El mapa piezométrico se realizó utilizando las cotas determinadas con el método GPS diferencial en 46 puntos del Valle de Neiba y los datos piezométricos medios calculados a partir de los datos medidos en la red del proyecto a lo largo de las 13 campañas anteriores al huracán Georges (9/97 - 9/98).

Para el diseño final de la red de control piezométrico, se tomaron en cuenta los siguientes factores:

- Distribución en el espacio y densidad de los puntos
- Confiabilidad de los datos obtenidos
- Continuidad de toma de medidas en el tiempo
- Facilidad de acceso
- Optimización entre número de puntos técnicamente aptos y recursos humanos y materiales disponibles para los controles futuros.

Tomando en cuenta todo esto, el procedimiento adoptado para definir la red de control ha sido el siguiente:

- a) Selección de todos los puntos aptos (donde se pueden realizar medidas piezométricas confiables)
- b) Reconstrucción de las isopiezas
- c) Estudio/interpretación de las mismas
- d) Selección de los puntos donde se pudieron ejecutar medidas durante todos los meses de campañas piezométricas
- e) Selección de los puntos nuevos añadidos confiables
- f) Selección de los pozos nuevos realizados en el proyecto
- g) Reunión en un mapa de trabajo de los pozos de los puntos d), e) y f)
- h) Selección entre estos, de aquellos, que satisfacen los criterios indicados más arriba en este mismo párrafo y definición de la red de control

En algunos casos específicos, (pozos/sondeos utilizados también para el control de la salinidad o cerca de ríos para comprobar las relaciones entre estos y los acuíferos), donde entonces era importante una determinación más precisa de la elevación de

algunos puntos, para la determinación de la cota se utilizó el levantamiento taquimétrico. Esta metodología se aplicó en el Valle de Neiba en 3 puntos.

Los resultados se introdujeron en el banco de datos y se tomaron en cuenta para las actividades de conceptualización hidrogeológica y para la modelización.

9.6.2 Monitoreo de calidad

La actividad de monitoreo se estructuró, como preveía el contrato, en base trimestral. El número elevado de muestras y la notable amplitud del área, respecto de la viabilidad disponible, a veces ocuparon un arco temporal un poco superior al mes previsto.

De las ocho campañas originalmente previstas por el contrato, se efectuaron 4. La reducción de la actividad de control fue necesaria como consecuencia del pasaje del huracán “George” en octubre de 1998, que habiendo afectado al área del proyecto, rindió impracticable tanto la viabilidad primaria como la menor.

En total se recolectaron 64 muestras de agua de la red de calidad.

9.6.3 Monitoreos especiales (isotopos, aguas minero-medicinales, potabilidad)

En el curso del proyecto se han efectuado una campaña de monitoreo, por un total de ocho muestras, con determinación de O18, D y T. En una muestra se ha determinado también el contenido de C13 y C14.

La evaluación de las características de potabilidad de las aguas subterráneas ha sido realizada específicamente a través de una campaña de toma y análisis de 6 aguas, procedentes de pozos públicos, localizados en las áreas de estudio. Tales resultados fueron integrados con la reinterpretación, a fines de la utilización potable, de los datos relativos a las aguas de 26 pozos pertenecientes a la Red de Calidad.

Las 6 muestras tomadas expresamente para esta investigación han sido sometidas a la determinación de los parámetros químico-físicos y microbiológicos enumerados en el pár. 6.4.3. En el mismo párrafo están indicados también los parámetros químico-físicos reelaborados para las muestras pertenecientes a la Red de Calidad.

9.6.4 Control de la salinidad y de la intrusión marina

La inexistencia de indicaciones sobre la presencia de fenómenos de intrusión marina ha hecho que fuese superfluo proceder a una investigación en tal sentido, vista también la insuficiencia de puntos de monitoreo en la franja costera.

9.6.5 Geofísica

Objetivos específicos de la prospección geofísica fueron:

- definir la profundidad del techo de la cobertura impermeable del acuífero cautivo en el área de Tamayo;
- determinar la continuidad del mismo acuífero en las zonas más internas de la depresión del Lago Enriquillo;
- el estudio de las relaciones entre abanicos y sedimentos lacustres en la zona de

Neiba.

En el presente estudio el método de prospección empleado fue el geoelectrico (de resistividad) en su modalidad Sondeos Electricos Verticales (S.E.V.) con configuración de tipo Schlumberger.

El trabajo se ejecutó en dos campañas, en las cuales se ejecutaron:

S.E.V. con AB = 150 m	0
S.E.V. con AB = 500 m	30
S.E.V. con AB = 1000 m	33
Total S.E.V. realizados	63

Las curvas de campo fueron interpretadas inicialmente mediante los abacos de Orellana-Mooney y luego con software dedicado a la computadora.

Los resultados se presentaron en forma de secciones geoelectricas y pseudosecciones de resistencia longitudinal diferencial.

9.6.6 Perforación y ensayos de bombeo

Perforación

Durante los estudios ejecutados se individualizaron los siguientes objetivos específicos para los sondeos a perforar en el Valle de Neiba:

- Mejorar el conocimiento geológico-estratigráfico.
- Servir de calibración para la interpretación de la geofísica.
- Adquirir datos relativos a los parámetros hidráulicos de los acuíferos (T, K, S).
- Integrar la red de control piezométrico con pozos dedicados a este efecto.

En relación con estos objetivos específicos se realizaron:

Sondeos entubados a aprox. 7”	
- de profundidad inferior a 75 m	2
Sondeos entubados a aprox. 12”	
- de profundidad inferior a 75 m	1
Total	3

Los 3 sondeos se realizaron todos con el método de percusión.

Ensayos de bombeo

En 4 pozos a bombear se han instalado electrobombas sumergidas; el caudal de bombeo se ha elegido de acuerdo con los observados durante la perforación.

Los niveles durante el ensayo (sea en los pozos sea en los piezómetros de observación), han sido medidos a través de sondas electricas con cable plano.

Para la medida y el ajuste del caudal de bombeo, se han utilizado recipientes de capacidad conocidas y cronómetros de precisión para la medida del tiempo de llenado y cuando ha estado posible, se han empleado contadores totalizadores.

La medición de los niveles han estado efectuadas a intervalos regulares, así que estas

han podido quedar regularmente distribuidas en una escala logaritmica.
Se han tomado todos los cuidados necesarios para que el agua extraida no volviese al acuífero.
Al paro de la bomba, después de 72 horas de ensayo, se han medido los niveles en subida, al fin de calcular el parametro de transmisividad también con los metodos de recuperaciòn.

9.6.7 Integración de la red meteorológica existente

A fin de suplir la información de la red meteorológica existente del INDRHI y de la ONAMET, se instalaron 2 estaciones meteorológicas de tipo automático con alimentación por panel solar y con archivo en disco magnético de los valores medidos, es decir: precipitación, temperatura del aire, humedad relativa, radiación solar, dirección y velocidad del viento, evaporación (tanque tipo A).

La instalación de las estaciones meteorológicas fue efectuada en dos distintos momentos: en el mes de septiembre del año 1997 se instaló la estación meteorológicas de Plaza Cacique (Neiba), en el mes de agosto del año 1999, consiguientemente a una variante de proyecto, se instaló la estación de Jimaní, para garantizar un mejor control del área del lago Enriquillo (véase también Anexo Memorias n° 20).

La identificación de los sitios idóneos para la instalación de las estaciones meteorológicas ha sido desarrollada en dos fases: selección preliminar, en la oficina, de la distribución óptima de los sitios en los cuales ubicar las estaciones meteorológicas, y comprobación en el campo, de la posibilidad de efectuar la instalación.

Para mayores detalles, refiérase al cap. 6.7 y al Anexo Memorias n° 2, donde en particular se presentan: la ubicación de las estaciones instaladas, los valores diarios y mensuales de los parámetros climáticos medidos junto al análisis de las características climáticas.

9.6.8 Campañas de aforos directos e instalación regletas hidrométricas

A fin de integrar y completar la información de la red hidrométrica del INDRHI se han efectuado dos campañas de aforos (septiembre 1997 - septiembre 1998, junio 1999 - agosto 1999) en diferentes secciones de los ríos que se encuentran en la zona de estudio, red de aforos del estudio.

El diseño de la red de la primera campaña de aforos, la cual ha incluido también estaciones hidrométricas vigentes y/o suspendidas del INDRHI para alcanzar una distribución espacial óptima, ha sido desarrollado según criterios hidrogeológicos, hidrológicos, hidrográficos y económicos. En fin, se han identificado 15 lugares idóneos, en particular 14 secciones en cauces naturales y 1 en la orilla del lago Enriquillo, para efectuar medidas mensuales de caudal y nivel.

En el período junio-agosto 1999 se ha efectuado una segunda campaña de aforos en las zonas hidrológico-hidrogeológicas de interés cuyo diseño ha sido desarrollado, a la luz tanto de los resultados de la primera campaña como de las modificaciones hidro-morfológicas consiguientes al paso del huracán George (sept. 98), según los siguientes criterios: representatividad hidrológica hacia el régimen hidrológico y el intercambio napa-río, mejor control de los principales canales de riego y disponer de una red de referencia eficiente y eficaz como sostén para la individuación de la red hidrométrica básica de control.

Sobre la base de lo descrito anteriormente, se han considerado en total 15 secciones de aforos de las cuales 2 relativas a canales de riego (canales Santana y Vincente Noble).

Para mayores detalles, refiérase al cap. 6.8.1, al Anexo Memorias n° 1 y al Mapa n° 2 (Red de control hidrogeológico e hidrométrico).

Con el paso del huracán George en Septiembre de 1998, la red INDRHI de control hidrométrico mediante regletas (miras) sufrió daños muy graves, tanto por la destrucción de las infraestructuras que las sustentaban, como por la desviación del curso de muchos ríos.

Con estos acontecimientos, se presentó entonces, como prioridad absoluta, la reconstrucción de la red ya existente, con el fin de dar continuidad a las series históricas de medidas.

Fue así que de las 90 regletas disponibles, 14 se instalaron en el Valle de Neiba, distribuidas en 6 estaciones, de las cuales, 5 pertenecientes a la vieja red de control del INDRHI y 1 nueva.

9.6.9 Actividades agronómicas y edafológicas

El **levantamiento edafológico** ha sido programado sobre la base de un plan que ha permitido una organización racional de **las actividades de campos levantamientos**, junto con una homogénea distribución territorial de **las mismas**.

Se ha adoptado un tipo de **levantamiento** denominado “razonado”, es decir que ha tenido en cuenta las características territoriales capaces de influir sobre la génesis de los suelos.

La campaña de **levantamiento edafológico** ha consistido en:

Ejecución de 10 perfiles

Para cada perfil se han tomado en promedio tres muestras, sobre las cuales se han efectuado análisis físico-químicos específicos, útiles para la definición de la susceptibilidad al riego.

Ejecución de 90 barrenados para una correcta determinación de la textura de los suelos y para definir mejor los límites de las unidades cartográficas.

Durante la campaña se han cumplido además observaciones puntuales de los suelos, que han constituido una ulterior ayuda para la definición de las áreas susceptibles al riego;

Ejecución de 8 ensayos infiltrométricos, localizados en proximidad de perfiles representativos de cada una de las series de suelo.

Para la determinación de la susceptibilidad de los terrenos al riego, se han utilizado los datos procedentes del **levantamiento edafológico**; la susceptibilidad se ha visto en efecto como la propensión de un terreno a hospedar cultivos regadíos, considerando la existencia de eventuales limitaciones derivantes de factores físicos y edafológicos, sin tomar en consideración la eventual disponibilidad hídrica o factores de tipo socioeconómico.

Los factores físicos considerados han sido esencialmente la topografía y el drenaje.

Los factores edafológicos tomados en consideración han sido esencialmente la profundidad efectiva, la textura, la estructura, la consistencia, el color, la permeabilidad, la tasa de infiltración.

El estudio realizado ha permitido la producción de un mapa de las áreas irrigadas y de la susceptibilidad a la irrigación, que contiene las siguientes informaciones:

- áreas agrícolas no regadías
- áreas agrícolas regadas con aguas subterráneas
- áreas agrícolas regadas con aguas superficiales
- áreas agrícolas regadas con aguas mixtas
- áreas regadas ocasionalmente con aguas superficiales
- principales cultivos efectuados
- susceptibilidad a la irrigación de las áreas actualmente no regadías.
- localización de los perfiles edafológicos realizados

Para su realización, se han llevado a cabo las siguientes fases de trabajo:
delimitación de las áreas de estudio sobre la base topográfica;
fotointerpretación de fotos aéreas en escala promedio 1:40.000 en blanco y negro, derivadas de vuelos efectuados en los años 1983/1984;
verificación, actualización y terminación de la fotointerpretación a través de investigaciones e inspecciones de campo;
digitalización de las informaciones cartográficas;
construcción del mapa y de la leyenda en ambiente GIS.

En fase de elaboración, se ha procedido además a la subdivisión del territorio de estudio en clases texturales homogéneas, a fin de suministrar un valor a utilizar como input para la determinación de la vulnerabilidad intrínseca de los acuíferos.

En el presente estudio se definen además los volúmenes de agua de riego necesarios para los cultivos en el distrito de riego. Los volúmenes de agua han sido determinados mediante la realización de un balance hídrico agronómico en relación con los cultivos presentes.

Para la determinación de dicho balance hídrico se ha adoptado un modelo agronómico, que ha requerido informaciones sobre los suelos, clima y sobre los cultivos en cuestión.

El balance hídrico permite determinar los probables volúmenes de agua que pueden ser utilizados por los cultivos, mediante la evaluación de la dinámica hídrica total en el sistema suelo-planta-atmósfera en ciertas condiciones agroecológicas dadas.

Para el cálculo de las necesidades hídricas de los cultivos, se ha tratado de suministrar contemporáneamente el dato final (en la forma más agregada posible) y todos los datos de partida, con la posibilidad de formular hipótesis variando los datos de partida, para obtener inmediatamente una respuesta, con la consiguiente variación del dato final. Para satisfacer estas exigencias se ha realizado una hoja electrónica, que se ha mantenido lo más uniforme posible para todas las estaciones meteorológicas consideradas.

9.6.10 Evaluación de la utilización del agua - Balance hídrico

La evaluación de los balances hídricos se ha basado en la interpretación, en escala de zona hidrológico-hidrogeológica y de sub-áreas internas a ellas, del estado que deriva de hecho del balance entre disponibilidades naturales y modalidad y entidad actuales de las utilizaciones, identificando las problemáticas existentes y/o posibles consiguientes a condiciones críticas y de competencia-insatisfacción entre los distintos usos.

Por lo que atañe al sector superficial, se ha procedido al análisis integrado de los resultados de los estudios hidrológico, agronómico y modelístico, prestando particular atención en la evaluación de las utilizaciones (tomas). La evaluación del balance hídrico entre oferta natural de los sistemas hidrológicos y actual nivel de las tomas de nuestro recurso hídrico ha sido referida a condiciones hidrológicas promedio y de sequía, con tiempo de retorno de 10 años, siendo estas últimas representativas de las situaciones de mayor criticidad en términos de recurso aprovechable. Con respecto al impacto de las actuales utilizaciones sobre la escorrentía mínima residual en el cauce, se han suministrado indicaciones tanto sobre el posible valor mínimo del caudal ecológico, sobre la base sólo de consideraciones de tipo hidrológico como, donde la información disponible era suficiente, sobre el nivel actual de posible criticidad ambiental a través del cotejo entre valores medidos del caudal mínimo en el cauce y valores de posible referencia del caudal ecológico.

También por lo que atañe al sector subterráneo, se ha procedido al análisis integrado de los resultados de los estudios hidrológico, agronómico y modelístico. En particular se ha procedido a un nuevo examen de los valores de recarga, con referencia tanto a las condiciones de un año promedio como a las de un año seco, con tiempo de retorno de 10 años, siendo estas últimas representativas de las situaciones más críticas en términos de recurso aprovechable. El papel de los cursos de agua (p. ej. alimentación o drenajes) y la entidad de los intercambios con el mundo subterráneo, la evaluación de los flujos a lo largo del área costera) y la evaluación de las explotaciones han completado el cuadro de referencia.

La evaluación de las explotaciones ha sido objeto de un análisis más pormenorizado. Los datos demográficos elaborados por la Oficina Nacional de Estadística, han permitido una evaluación indirecta de los consumos potables. Las informaciones disponibles por lo que se refiere al sector turístico (número de presencias diarias, existencia de infraestructuras, etc....) han sido evaluadas a la luz de los consumos individuales generalmente muy elevados y del impacto de todas maneras elevado en términos de demanda hídrica. Por lo que concierne a los consumos para fines agrícolas, se han considerado críticamente los resultados del estudio agronómico, con particular referencia a los cultivos practicados, a las exigencias hídricas netas y brutas (con hipótesis de eficiencia total generalmente de alrededor del 30%), a la extensión areal de los cultivos.

Se ha concluido el estudio con un examen crítico del balance hídrico, con particular atención en poner en evidencia las condiciones críticas en términos cuantitativos (aprovechamiento elevado respecto de la recarga total) y la división, donde era necesario, en sub-áreas de distinta criticidad. Aunque no concerniese estrictamente al tema del balance hídrico, se han relevado también aquellas situaciones críticas desde el punto de vista cualitativo, con particular referencia a las áreas costeras y a los fenómenos de intrusión salina en acto.

9.6.11 Cartografía temática

En el curso del proyecto ha sido preparada tanto una cartografía hidrogeológica en escala 1:50.000 (Mapa 9/5 para el Valle de Neiba) como una cartografía de vulnerabilidad en escala 1:100.000 (Mapa 10/5 para el Valle de Neiba)

Para la producción de la cartografía hidrogeológica se ha procedido al examen de la bibliografía y de la cartografía existente, para realizar luego una verificación sistemática de la geología mediante inspecciones preliminares, fotointerpretación a partir de fotos aéreas y controles de terreno.

Una vez definido el cuadro geológico de mayor fiabilidad, contextualmente a las informaciones hidrogeológicas adquiridas en el curso del trabajo de campo, se ha procedido a la sucesiva caracterización hidrogeológica, utilizando como criterios de referencia lo de la Leyenda UNESCO del año 1970, que pero han sido seguidos en líneas generales; desde el momento que la complejidad y la articulación de las características sobre todo del medio poroso y de los acuíferos del sistema arrecifal, han sugerido la oportunidad de una articulación de la clasificación mucho más compleja, que ha subdividido el territorio sobre la base de las siguientes clases hidrogeológicas:

- Formaciones porosas: acuíferos de permeabilidad muy alta y muy productivos.
- Formaciones porosas: acuíferos de permeabilidad variable y productividad media.
- Formaciones porosas: acuíferos de permeabilidad variable, pero normalmente poco productivos.
- Formaciones fisuradas: acuíferos extensos y productivos (permeabilidad a menudo alta).
- Formaciones fisuradas: acuíferos locales o discontinuos (permeabilidad moderada o variable).
- Acuíferos en caliza arrecifal organógena de permeabilidad elevada de origen primario y/o secundario.
- Acuíferos en caliza arrecifal con litofacies detrítica de permeabilidad de variable a buena, esencialmente de origen primario.
- Acuíferos en sucesiones terrígeno-carbonáticas, donde el componente terrígeno es predominante. Permeabilidad localmente buena.
- Formaciones no acuíferas o con acuíferos muy locales.

La representación cartográfica del territorio subdividido sobre la base de las clases arriba enumerada ha sido completada con piezometrías, elementos geológico-hidrogeológicos, elementos hidroquímicos y elementos hidrográficos.

Los mapas de vulnerabilidad realizados son mapas de vulnerabilidad integrada que consisten en la representación cartográfica conjunta de los centros de peligro potencial y de la vulnerabilidad intrínseca.

Tales mapas han sido producidos adoptando el método de evaluación paramétrica DRASTIC, que permite, mediante índices numéricos, una evaluación estandarizada de la susceptibilidad a la contaminación de las aguas subterráneas (vulnerabilidad intrínseca) para cargas generales de agentes contaminadores localizables en la superficie.

Este método los siete parámetros principales en el control del movimiento de las aguas en los terrenos naturales. Éstos son: *Profundidad al acuífero; Recarga neta; Tipo de acuífero; Tipo de suelo; Pendiente; Impacto del tipo de zona vadosa; Conductividad hidráulica.*

A cada uno de estos factores, relativamente a las clases de variación consideradas, se le atribuye un puntaje (rating) a multiplicar sucesivamente por un peso (weight) atribuido por convención al factor mismo. De la sumatoria de los productos de los factores considerados se obtiene un índice numérico (Índice DRASTIC) que expresa la vulnerabilidad potencial del acuífero que se encuentra por debajo del punto considerado. Sobre la base del campo de variación arriba citado se definieron de esta manera las siguientes clases de vulnerabilidad:

<i>Vulnerabilidad</i>	<i>Índice Drastic</i>
muy baja	23 - 64
baja	65 - 104
intermedia	105 - 145
alta	146 - 185
muy alta	186 - 221

La parcial indisponibilidad de los datos relativos a algunos factores limitó la evaluación de vulnerabilidad a áreas reducidas respecto de la extensión de la zona de estudio.

9.6.12 Modelización aguas subterráneas

Se realizó un modelo matemático bidimensional de flujo, mediante el código de cálculo de diferencias finitas Modflow, como cobertura del sector del valle, que se extiende desde el río Yaque del Sur, en el límite E, hasta el lago Enriquillo, en correspondencia del límite occidental, comprendiendo por otro lado los sectores de los conoides laterales de Villa Jaragua, Neiba y Galván, que a lo largo de los márgenes de la Cordillera de Neiba limitan la parte septentrional del valle. El objetivo principal de la modelización fue individualizado en la reconstrucción del sistema acuífero y de la circulación hídrica subterránea en el sector del fondo del valle. Se delegó en cambio al estudio hidrológico de carácter regional la reconstrucción del sistema de circulación en gran escala, comprendiendo toda el área hasta el límite con Haití, y considerando que el lago Enriquillo constituye la base del drenaje regional.

El modelo fue calibrado en condiciones estacionarias, teniendo como referencia la piezometría interpretada en el fondo del valle. Se trata en efecto de una marcha interpretada, sobre la base de las pocas informaciones (promedio del período 9/97 – 9/98), y de todas maneras de carácter bastante general.

Una sucesiva actividad de modelización se refirió a la extensión del modelo a condiciones transitorias en un período de 30 años de duración. No se trató sin embargo de una calibración propiamente dicha, dado el número exiguo de informaciones acerca de los coeficientes de almacenamiento y sobre todo la falta total de datos históricos de toma y de piezometría.

9.6.13 Modelización aguas superficiales

El trabajo de análisis y modelización matemática de las aguas superficiales, desarrollado con referencia a la cuenca del río Yaque del Sur cerrada en Los Guiros, trabajo que integra y completa el análisis hidrológico desarrollado en el Anexo Memorias n° 13 (Caracterización hidrológica de la zona de estudio, área del Caribe, R.D.), consistió en la reconstrucción, mediante el modelo matemático lluvia-escorrentía, de la serie histórica de los caudales naturales a fin de suministrar los elementos necesarios para dar apoyo a una gestión sustentable de los recursos hídricos.

La reconstrucción de la serie histórica de la escorrentía natural ha sido efectuada en base temporal diaria mediante la aplicación de un modelo matemático lluvia-escorrentía (código MIKE-ZERO vers. 4.10, módulo lluvia-escorrentía, del Danish Hydraulic Institute, DHI) de tipo conceptual determinístico cuyos parámetros característicos han sido evaluados en función de la variabilidad espacio-temporal de los factores meteo-climáticos e hidro-geomorfológicos que afectan al ciclo natural del agua.

La actividad de calibración del modelo matemático se ha desarrollado según el siguiente recorrido metodológico: individuación de las estaciones pluviométricas de referencia; estimación de la evapotranspiración potencial de referencia por medio de la ecuación de Hargreaves-Samani, análisis de los datos de caudal medidos (hidrogramas) en la sección de control para la calibración del modelo matemático, selección de los valores de entrada de los parámetros del código de cálculo para la calibración del modelo.

La calibración del modelo ha sido considerada como satisfactoria cuando resultaban satisfechos criterios de control esencialmente basados en el cotejo gráfico entre la marcha de los valores de caudal medidos y calculados con referencia, para cada año objeto de calibración, al hidrograma anual y a la curva de duración.

Los criterios de control, en condiciones de escorrentía medida distorsionada por el uso, así como las modalidades de selección, están detalladamente ilustrados en el Anexo Memorias n° 15.

Para mayores detalles, refiérase al cap. 6.8.4 y al Anexo Memorias n° 15.

9.7 Resultados obtenidos

9.7.1 Caracterización hidrogeológicas de las diferentes formaciones geológicas y acuíferos presentes

Las formaciones geológicas presentes en el área de estudio han sido caracterizadas desde un punto de vista hidrogeológico utilizando como base de clasificación las especificaciones de la leyenda UNESCO.(1970). Esta base ha sido necesariamente adaptada, articulándola ulteriormente, a fin de adecuarla aún más a las características de los sistemas estudiados.

Las tipologías hidrogeológicas identificadas para las formaciones en el área de estudio han sido:

- *Formaciones porosas, sede de acuíferos de permeabilidad alta y muy productivos:* Depósitos aluviales asociados con el río Yaque del Sur; Depósitos gruesos de conoide; Depósitos calcáreos arrecifales en asociación con los anteriores depósitos de conoide.
- *Formaciones porosas, sede de acuíferos de permeabilidad variable y productividad media, en condiciones freáticas o confinadas:* Mayoría de los depósitos cuaternarios de la llanura, desde el mar Caribe, en el límite E, hasta el límite con Haití. Las condiciones confinadas son las que generalmente se encuentran en la casi totalidad del valle principal en correspondencia de los depósitos lacustres di relleno de la cuenca.
- *Formaciones porosas, sede de acuíferos locales y discontinuos, de permeabilidad moderada o baja, poco productivos.* Formaciones terrígenas neogenicas (tpl'MI, tpl-qp'Mc); Depósitos cuaternarios s.l. que, además que por las consideraciones litológicas, se encuentran en condiciones topográficas relativamente elevadas con condiciones de recarga desfavorables.
- *Formaciones fisuradas, sede de acuíferos extensos y productivos, de permeabilidad normalmente alta:* Calizas fracturadas de la Formación de Neiba, presentes en los relieves septentrionales.
- *Formaciones fisuradas, sede de acuíferos locales y discontinuos, de permeabilidad medio-baja:* Formaciones calcáreas y margosas (tols-tmim'cm) a lo largo del límite S del valle.
Formaciones de baja permeabilidad y sin acuíferos significativos. Formación pelítica Trinchera (miembro de Quita Coraza) al límite NE del valle; Formaciones finas en facies evaporítica (tpl'MI-ev); Depósitos margosos terciarios con intercalaciones calcareníticas (Formación Sombrerito).

La determinación a través de los ensayos de bombeo de algunos parámetros hidrogeológicos (tab.6.6.2/1) en acuíferos aluviales, (abanicos aluviales) ha evidenciado cómo los valores de T están comprendidos entre 10^{-2} m²/s y 10^{-4} m²/s; es importante sin embargo considerar estos valores como no significativos por áreas largas dado que la variación de los espesores permeables y tal vez la presencia en estos depósitos de niveles de los y arcillas juegan un papel determinante.

9.7.2 Pozos, sondeos y manantiales

Los manantiales más importantes de todas las áreas de estudio se encuentran aquí, en el valle de Neiba. Trátase de manantiales con caudales generalmente elevados y alineados a lo largo de las grandes líneas tectónicas de cabalgamiento, que limitan al valle

Los pozos están concentrados en 3 áreas principales:

- Neiba-Galván. Los pozos se encuentran principalmente en las áreas de conoide, en un acuífero freático de elevadas permeabilidades, con una fuerte recarga. En dirección de la llanura, los pozos vuelven inmediatamente a condiciones confinadas, por la rápida preponderancia de las intercalaciones de granulometría fina.
- Llanura al O del río Yaque del Sur (trazo Tamayo-El Jobo). Los pozos son todos artesianos, llorantes en la mayoría; con excepción para los pozos localizados en los depósitos aluviales gruesos del río Yaque del Sur
- Valle de Angostura. Los pozos están todos en acuífero freático y concentrados a unos 3-4 kilómetros al SE del pueblo de Angostura.

9.7.3 Piezometría

Piezometría y variaciones piezométricas en el tiempo

Esta área está caracterizada de forma particular por una distribución de los datos piezométricos muy desfavorable para la finalidad de una reconstrucción piezométrica regional.

Los gradientes resultan generalmente fuertes en la zona Norte (del orden de 40 por mil), antes de llegar al área confinada al Este de Tamayo, y son representativos de la alimentación perteneciente a la Sierra de Neiba. Las líneas de flujo se extienden desde el N hacia el S.

Todo el sector al O del río Yaque del Sur (entre los pueblos de Tamayo, Isabela, El Palmar, La Cuchilla y El Jobo) se encuentra en condiciones confinadas con gradientes bajos que llegan a valores del orden del 2 por mil en el centro del valle, con líneas de flujo vertientes hacia el lago Enriquillo (base del drenaje regional).

El límite oriental resulta marcado por el Río Yaque del Sur, que juega a la vez el papel de confín del área y el de alimentación, y por la loma de dirección E-O que limita al N a la laguna de Rincón.

Desde esta última, en dirección E-NE, hasta las margas y las calizas de la Sierra de Martín García, existe un alto estructural que juega el papel de divisorio de las aguas subterráneas: toda el área al SE de este divisorio hasta la ciudad de Barahona representa entonces un sector completamente aislado del resto del área, donde se supone existir una alimentación directa del Yaque del Sur. Otros sectores aislados existen en el área: el más importante es el de Angostura.

Por lo que se refiere al análisis de las variaciones piezométricas en el tiempo, los mínimos se observan esencialmente alrededor del mes de Mayo (entre Marzo y Junio); los máximos, por otro lado, tienen mayor frecuencia, bien evidente, en Septiembre y se sitúan esencialmente entre este mes y Noviembre.

Las variaciones anuales son muy diversificadas en relación con la existencia de acuíferos distintos. Las máximas observadas no superan los 4 metros.

Más en detalle:

- Zona entre Tamayo y Galván con acuífero cautivo.
Se observan variaciones entre 1 y 2.5 m.
- Zona de Angostura
Las variaciones observadas son inferiores a 1m.
- En las otras zonas, los datos son pocos y la magnitud de las variaciones parece muy diversificada.

Por lo que atañe a las variaciones de los niveles medios después del 1970, con los pocos datos históricos en nuestra posesión se puede observar que:

- Los niveles han bajado con los años en la zona de Angostura, según informaciones recogidas localmente.
- Los niveles han subido en la zona de acuífero cautivo entre Tamayo y Galván (variaciones superiores a 40 cm).

Proposición de una red de control piezométrico

La red de control propuesta cuenta con 19 puntos, de los cuales 1 (5%) está dedicado solamente a la red y 18 (95%) son privados. Los puntos de la red están todos sin bomba.

La repartición en el espacio de los puntos propuestos está en acuerdo con los criterios generales indicados en este mismo informe: se concentran esencialmente en el acuífero cautivo entre Tamayo y Galván, en el área entre este último y Villa Jaragua y en el valle de Angostura.

9.7.4 Calidad de las aguas subterráneas y caracterización hidroquímica

El tipo hidroquímico del área está caracterizado por dos polos: el bicarbonato-alkalino-térreo, en el cual se distinguen algunas aguas en las que predomina el ion magnesio, y el clorurado-alkalino.

Las aguas bicarbonato-alkalino-térreas, representativas de la recarga regional, a medida que nos acercamos altimétricamente al nivel del lago y/o a los sectores abandonados por éste, interactúan con las clorurado-alkalinas poniendo en evidencia la casi omnipresencia de este tipo hidroquímico, y por lo tanto la vulnerabilidad de las aguas subterráneas a una contaminación de tipo natural.

De la investigación específica sobre la calidad de las aguas subterráneas emerge un cuadro total generalmente bueno acerca de su potabilidad. La situación más crítica es la que se observa en algunos puntos del sector occidental, en las cercanías del lago Enriquillo; en dicho ámbito no es infrecuente un comprometimiento permanente ligado a la presencia de un contenido inaceptable de cloruros.

Los demás sectores no evidencian criticidades particulares, salvo decaimientos cualitativos circunscriptos alrededor de El Salado y Tamayo.

Del estudio de las 7 aguas minero-medicinales se deduce lo siguiente:

- las propiedades químicas que las caracterizan las hacen resultar de interés para las clásicas utilidades terapéuticas ; generalmente presentan caudales tales que puede considerarse posible el aprovechamiento comercial en establecimientos termales de discretas dimensiones, adecuados en algunos casos también para utilización en baños terapéuticos en piscinas y para actividades que requieren un elevado consumo de aguas minerales;

-
- los análisis efectuados en el ámbito del proyecto, desde el punto de vista bacteriológico, no permiten declarar la loro pureza microbiológica, que deberá ser verificada con tomas por lo menos estacionales.

9.7.5 Salinidad e intrusión marina

La inexistencia de indicaciones sobre la presencia de fenómenos de intrusión marina ha hecho que fuera superfluo proceder a una investigación en tal sentido, vista también la insuficiencia de puntos de monitoreo en la franja costera.

9.7.6 Resultados análisis isotópicas, edad de las aguas y zonas de recarga

La variabilidad de la composición podrían deberse tanto a la presencia de áreas de recarga de diferente cota, comprendida entre los 0 y los 1200 metros, como a la distinta composición de las precipitaciones por efecto de su movimiento sobre la isla.

El contenido de Tritio pone en evidencia los distintos tiempos de residencia que caracterizan a los circuitos hídricos subterráneos muestreados en el área; en efecto, se pasa de aguas que se infiltraron anteriormente al pico de 1961, a aguas que lo hicieron en el período del pico, hasta llegar a aguas infiltradas actualmente.

El valor de Carbono relevado en la única muestra analizada indican una edad comprendida entre los 500 y los 1850 años.

9.7.7 Relaciones ríos-acuíferos

En conjunto, por lo que atañe al intercambio napa-río, los ríos que llegan al Lago Enriquillo o juegan un papel de alimentación del sistema acuífero, o son indiferentes (es decir fluyen directamente al lago, que representa la base de drenaje del flujo superficial y subterráneo de la región.

El río Yaque del Sur juega un papel de alimentación de los sistemas acuíferos.

Por el elevado nivel de distorsión del régimen hidrológico de los ríos de la cuenca cerrada del lago Enriquillo y del Yaque del Sur (véase cap. 7.2) no ha sido posible llegar a una evaluación cuantitativa del intercambio napa-río.

Para mayores detalles, refiérase a los Anexos Memorias n° 13 y 14.

9.7.8 Evaluación de la recarga - infiltración eficaz

La zona hidrogeológica de interés, la cual se presenta en la Fig. 7.1.8./1 sacada del Mapa 9/5: Mapa hidrogeológico Valle de Neiba, tiene un área total (excluido el Lago Enriquillo y la Laguna de Rincón) de 2500.9 km², una precipitación promedio anual de 683.2 mm y una evapotranspiración potencial de referencia de 1769.6 mm.

Ésta se caracteriza, por lo que atañe a las áreas de recarga directa, por formaciones porosas (azul), de permeabilidad de alta a baja, y formaciones fisuradas (verde), con acuíferos de permeabilidad alta y medio-baja, las cuales, en conjunto, tienen una superficie de 1504.5 km², esto es el 60% de la superficie total.

En términos generales, las principales fuentes de las aguas subterráneas son: la recarga pluvial directa, la recarga por flujo de retorno de aguas de riego (exceso de riego) e infiltración en canales y la recarga lateral, Sierra de Neiba (frontera norte) y Sierra de Bahoruco (frontera sur).

En conjunto, teniendo en cuenta las características morfológicas, hidrogeológicas e hidrológicas, han sido individuadas 16 sub-zonas homogéneas (véase cap. 6.8.3, Fig. 7.1.8./1 y Anexo Memorias n° 14).

En conjunto (véase Tab. 7.1.8./1) la recarga pluvial directa en la zona hidrogeológica de interés alcanza los siguientes valores:

- años secos (T=10 años): 113.54 * 10⁶ m³/a;
- años secos (T=5 años): 135.88 * 10⁶ m³/a;
- año medio: 188.79 * 10⁶ m³/a;
- años húmedos (T=5 años): 230.55 * 10⁶ m³/a;
- años húmedos (T=10 años): 257.89 * 10⁶ m³/a.

En fin ha sido evaluada la recarga por flujo de retorno de aguas de riego (exceso de riego) e infiltración en los principales canales de los sectores de: Barahona (río Yaque del Sur), Jimaní-La Descubierta y Duvergé-Neiba.

En conjunto la recarga media anual total en la zona hidrogeológica de interés alcanza el valor de 207.17 * 10⁶ m³/a así repartido:

- recarga pluvial directa: 188.79 * 10⁶ m³/a;
- recarga por exceso de riego: 18.33 * 10⁶ m³/a;

Por lo que atañe a la recarga lateral procedente de sistemas acuíferos cercanos en conexión hidráulica, han sido evaluados los siguientes valores en mm/a con referencia a años secos (T=10 y 5 años), medios y húmedos (T=5 y 10 años):

- frontera norte:
 - sub-zona 1: 240-280-360-410-450;
- frontera sur:
 - sub-zona 6: 50-60-92-112-128;
 - sub-zona 7: 53-72-115-150-170;
 - sub-zona 10: 140-180-250-280-300.

Para mayores detalles, refiérase al cap.7.1.8 y al Anexo Memorias n° 14.

9.7.9 Vulnerabilidad

El elemento más llamativo en el área de estudio es la vulnerabilidad extremadamente contenida que caracteriza a los terrenos lacustres de la planicie, con modesta reducción de las condiciones de protección de los acuíferos sólo en el sector oriental, en correspondencia del ingreso del río Yaque del Sur al Valle de Neiba.

Grados de protección igualmente elevados corresponden también a la pequeña dorsal que separa la cuenca interior de El Limón del sector de Jimaní, y a los sectores que flanquean el curso del Yaque del Sur antes de su expansión en la planicie.

Entre las áreas de vulnerabilidad alta, como las mencionadas arriba, la más extensa es la que corresponde a los terrenos aluviales del Río Yaque del Sur.

La vulnerabilidad, generalmente intermedia, que caracteriza por extensos sectores a los grandes conoides septentrionales de Neiba-Villa Jaragua y Galván, además del occidental de la Descubierta y la del Valle interior de Angostura, es principalmente fruto de la elevada subyacencia de las napas en estos sectores.

De una visión general del área de evaluación, no emergen áreas de criticidad inmediata, salvo los sectores donde se encuentran algunas descargas, de la cuales es necesario un conocimiento específico para poder definir su peligrosidad real.

Actividades de impacto elevado no están presentes en el área. En efecto, las principales producciones industriales son generalmente de transformación alimenticia, con diversificaciones productivas esencialmente sólo en la zona franca pública de Barahona, de todas maneras fuera del área de evaluación.

9.7.10 Modelos matemáticos de flujo de las aguas subterráneas

El modelo de flujo, realizado a lo largo del proyecto, fue utilizado para la evaluación del impacto de un aumento generalizado de las explotaciones del sistema acuífero subterráneo en el área entre Galván y Tamayo. Distribuimos estas explotaciones adicionales a lo largo de 12 pozos, que se extienden en dirección NNO-SSE, desde Galván hasta algunos kilómetros al S de Tamayo.

Recordamos el cuadro general, que caracteriza a los sistemas acuíferos en esta área. El valle de Neiba, o mejor el sector del valle que se extiende desde las orillas del lago Enriquillo al O y el río Yaque del Sur-laguna de Rincón al E, se caracteriza generalmente por la ausencia de cualquier actividad humana, productiva o habitativa. Las condiciones climáticas, la calidad de los suelos (arcillosos y afectados por extensos fenómenos de salinización) y la escasa disponibilidad de recursos hídricos son todos factores que contribuyen a la imposibilidad de desarrollar el sitio. Son una excepción las áreas periféricas (Neiba, Galván y Tamayo), caracterizadas por extensas actividades de producción agrícola, y donde sin embargo prevalece la utilización de recursos hídricos superficiales (ej. la extensa red de canalización del área de Tamayo, todavía sólo parcialmente funcionante). Los objetivos de la modelización fueron de carácter bastante general y preliminar (análisis y validación del modelo conceptual en escala regional).

Los resultados de la simulación indican un impacto muy fuerte sobre el sistema acuífero, aun para consumos totales muy limitados que – para el caso examinado – quedan en alrededor de los 380000 m³/año (1l/s para cada uno de los pozos). Trátase por lo tanto de un área muy crítica, donde un desarrollo sostenible sólo puede relacionarse con los recursos hídricos superficiales.

9.7.11 Recursos hídricos y reservas hídricas subterráneas

Se ha estimado un valor de recarga total del orden de los $188.8 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{a}$, con referencia al año promedio, valor que se reduciría a $113.5 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{a}$ con referencia al año seco con tiempo de retorno de 10 años.

9.7.12 Régimen hidrológico y recursos hídricos superficiales

La red hidrográfica del Valle de Neiba se caracteriza de una manera muy distinta en dos áreas: al este, la cuenca baja del río Yaque del Sur, y al oeste, la cuenca cerrada del lago Enriquillo

El río más importante del valle es el Yaque del Sur, en la extremidad oriental del área de estudio; este río llega desde el área del pueblo de Barranco, y se extiende en dirección SO hasta el pueblo de Tamayo.

Aguas abajo de Tamayo, la dirección del río se modifica radicalmente, hacia el SE y E cruzando un área de alto estructural (laguna de Rincón-Sierra de Martín García), nuevamente hacia el SO, para modificar definitivamente su marcha en proximidad del pueblo de Cabral, y de la laguna de Rincón, con dirección E y salir al mar Caribe.

La potencialidad hídrica natural del río Yaque del Sur es elevada, indicativamente comprendida en Los Guiros entre los $1197 \cdot 10^6$ m³/a (año seco, T=10) y os $1532 \cdot 10^6$ m³/a (año promedio), Tab. 7.2.1./1; sin embargo el elevado nivel de las tomas del recurso hídrico para fines de riego en la cuenca, recurso utilizado también en áreas exteriores a la cuenca (área al este del lago Enriquillo y Planicie de Azua), implica una radical reducción de la escorrentía en el cauce, como se expone detalladamente en el pár. 7.2.2.

Por lo que atañe a la identificación de la entidad promedio mensual de la escorrentía torrencial y del flujo base, fue preciso basarse en los resultados de la aplicación de los modelos matemáticos lluvia-escorrentía por los cuales resultó en Los Guiros una contribución media del flujo base alrededor del 64% de la escorrentía total (cv = 0.18);

Los ríos de la cuenca cerrada del lago Enriquillo son generalmente ríos pequeños, algunos caracterizados, en condiciones de escorrentía natural, también por un régimen hidrológico de tipo permanente y los más importantes se originan de la Sierra de Neiba (sector norte).

La potencialidad hídrica natural, evaluada sobre la base de los resultados de las campañas de aforos efectuadas en el curso del proyecto, es por lo menos del orden de los $108 \cdot 10^6$ m³/a (ríos Bermesí, Majagual, Las Damas, Guayabal, Barrero y Don Juan, período sept. '97 – ago. '98, caracterizado por condiciones climáticas bastante secas, de alrededor de los 5 años de período de retorno, véase Anexo Memorias n° 2, y Tab. 7.2.1./1).

También para el sistema hidrográfico del Lago Enriquillo, la utilización de los recursos hídricos superficiales para fines de riego implica una significativa distorsión del régimen natural de la escorrentía y algunos ríos, por ejemplo los ríos Bermesí, Las Damas, Barreno y Panzo fluyen secos y/o casi secos aguas abajo de las obras de toma de los canales de riego.

Para mayores detalles a los Anexos Memorias n° 13, 15 y 17.

9.7.13 Identificación de zonas con regadío actual y potencialmente regables - Evaluación de las necesidades hídricas para el riego

Las actividades agronómicas y edafológicas efectuadas han permitido identificar las áreas con regadío actual y las potencialmente regables. ~~Le attività agronomiche e pedologiche effettuate hanno permesso di identificare le aree con irrigazione attuale e quelle potenzialmente irrigabili.~~

Las áreas con regadío han sido ulteriormente subdivididas entre las regadas con aguas subterráneas, con aguas superficiales y con sistemas mixtos. ~~Le aree irrigue sono state ulteriormente suddivise fra quelle irrigate con acque sotterranee, con acque superficiali e con sistemi misti.~~

Estas áreas han sido indicadas en la cartografía en escala 1:100.000. ~~Queste aree sono state riportate nella cartografia in scala 1:100.000.~~

Se recuerda que el criterio utilizado para la delimitación de las áreas con regadío y de las potencialmente regables ha sido el de la predominancia, que considera, en el interior de un área cartografiable, el cultivo predominante; las áreas además han sido delimitadas al bruto de carreteras, viviendas, pequeñas áreas no cultivadas, etc. ~~Si ricorda che il criterio utilizzato per la delimitazione delle aree irrigue e di quelle potenzialmente irrigabili è stato quello della prevalenza, che considera, all'interno di un'area cartografabile, la coltura prevalente; le aree inoltre sono state delimitate al lordo di strade, abitazioni, piccole aree non coltivate ecc.~~

En el Valle de Neiba se han obtenido los siguientes datos:

~~Nella Valle de Neiba si sono ottenuti i seguenti dati:~~

<u>total superficie agrícola totale superficie agricola:</u>	<u>58.363 ha</u>
<u>total áreas con regadío totale aree irrigue:</u>	<u>44.607 ha</u>
<u>total áreas con regadíos con aguas subterráneas totale aree irrigue con acque sotterranee:</u>	<u>4.777 ha</u>
<u>superficiales “ “ “ “ “ superficiali:</u>	<u>34.000 ha</u>
<u>mixtas “ “ “ “ “ miste:</u>	<u>5.830 ha</u>

Desde un punto de vista de la susceptibilidad al riego, las zonas donde se considera que pueda ser incrementada la agricultura con regadío, resultan ser aquellas con suelos que presentan relieve de llano a levemente inclinado, con pendientes entre 0 y 3%, permeabilidad moderada y una capacidad de retención hídrica medio alta (cerca de Boca Cachón, la zona de Jimani en Piedra Blanca, El Limón). Otras zonas, situadas en las cercanías de Angostura y de La Salina, presentan limitaciones de textura y de esqueleto tales que se las ha clasificado como sexta clase y por lo tanto, no son idóneas para el riego.

En el distrito examinado, existe además una amplia superficie de suelos salinos y salino-sódicos, denominada El Salado, considerada como utilizable por los agrónomos locales. Se trata en efecto de suelos con un buen desarrollo en profundidad, pero para su puesta en cultivo sería necesario realizar inversiones ingentes. Siendo esta área objeto de estudios desde hace numerosos años sin que se la haya cultivado aún, se ha considerado oportuno no incluirla en el presente trabajo.

En el conjunto, las áreas susceptibles al riego individualizadas en el distrito de Neiba suman 10.747 ha. ~~Nel complesso, le aree suscettibili di irrigazione individuate nel distretto di Neiba ammontano a 10.747 ha.~~

De éstas, 2.370 ha pertenecen a la primera clase de susceptibilidad y por lo tanto no presentan limitaciones de carácter agronómico; 3.195 ha pertenecen a la segunda clase

y 5.182 a la tercera. Di questi, 2.370 ha appartengono alla prima classe di suscettibilità e quindi non presentano limitazioni di carattere agronomico; 3.195 ha appartengono alla seconda classe e 5.182 alla terza.

Por lo que concierne en fin a las necesidades hídricas de los principales cultivos encontrados en el Valle de Neiba, la demanda neta anual por hectárea asume un valor promedio de 905 mm, oscilando desde un mínimo de 323 hasta un máximo de 1484 mm anuales. Per quanto riguarda infine le necessità idriche delle principali colture riscontrate nella Valle de Neiba, la domanda netta annua per ettaro assume un valore medio di 905 mm, oscillando da un minimo di 323 a un massimo di 1484 mm annui.

9.7.14 Utilización de las aguas subterráneas

Un análisis de las tomas ha evidenciado por un lado valores totales más bien limitados pero por el otro una distribución más bien articulada, tal que sugiere una mayor desagregación espacial del balance.

En síntesis, en el área de llanura que se extiende desde el río Yaque del Sur, al E, hasta el lago Enriquillo, al O, las tomas de aguas subterráneas resultan concentradas en proximidad de los centros poblados principales (Villa Jaragua, Neiba, Galván, Tamayo ...) – aun quedando de entidad contenida – y de algunas áreas agrícolas localizadas en los mismos conoides y en la parte meridional de Duvergé (utilización mixta de recursos hídricos superficiales y subterráneos). En el área de Tamayo, que se extiende al O del río Yaque del Sur y se caracteriza por producciones agrícolas importantes, la utilización de recursos subterráneos para fines de riego es casi irrelevante. En síntesis un balance positivo entre recurso disponible y realmente aprovechado.

En la extremidad meridional del área de estudio, en cambio, el valle de Angostura está hidrogeológicamente aislado por la loma de Yeso y Sal respecto del valle principal. Es un valle cerrado, con una alimentación directa (infiltración eficaz) y por la Sierra de Bahouruco (al S), caracterizado por importantes actividades agrícolas. Las informaciones piezométricas disponibles indican un progresivo descenso de los niveles en el curso de los últimos años y por lo tanto una situación de fuerte criticidad en términos de balance.

En el sector oriental (al E de la laguna de Rincón) sigue predominando la utilización de recursos superficiales para fines de riego y las únicas tomas de importancia son las de pertinencia hidro-potable y turística (ciudad de Barahona).

Por último en los sectores occidentales, a lo largo de las orillas del lago Enriquillo y en proximidad de la frontera con Haití, los usos son generalmente limitados.

9.7.15 Utilización de las aguas superficiales

La demanda de recurso hídrico superficial en el Valle de Neiba resulta articulada de la siguiente manera (véanse Tablas 7.2.2./1-2):

- **cuenca baja del río Yaque del Sur:**
 - para riego: la hidroexigencia neta puede estimarse en aproximadamente $150 \cdot 10^6$ m³/a (equivalente a una demanda bruta del orden de los $300 - 375 \cdot 10^6$ m³/a, eficiencia global de riego entre 40 y 50%).
- **área del lago Enriquillo:**
 - para aprovechamiento urbano (aguas potables): caudal de explotación de alrededor de los $8.8 \cdot 10^6$ m³/a – $10 \cdot 10^6$ m³/a (INAPA);
 - para riego: la hidroexigencia neta puede estimarse en aproximadamente $67 \cdot 10^6$ m³/a, repartida de la siguiente manera:
 - 24.9*10⁶ m³/a, sector de Neiba – Galván;
 - 11.7*10⁶ m³/a, sector de Jimaní – La Descubierta;
 - 30*10⁶ m³/a, sector de Angostura – Duvergé;equivalente a una demanda bruta total del orden de los $167 \cdot 10^6$ m³/a (eficiencia global de riego de alrededor del 40%).

Sobre la base de la entidad de la oferta hídrica natural y de la actual hidroexigencia, el balance hídrico del Valle de Neiba resulta:

- **cuenca baja del río Yaque del Sur:**

el grado de explotación de las aguas superficiales, en particular para fines de riego, es muy alto en toda la cuenca del río Yaque del Sur (véanse Fig. 7.2.2./1 y Memorias Finales n° 3 y 4), situación que obviamente se refleja sobre la entidad de los recursos disponibles en el tramo fluvial de interés y sobre la posible verificación de situaciones de criticidad hidrológica.

Con referencia a la estación hidrométrica de Palo Alto, la actual utilización del recurso hídrico superficial en el interior de la cuenca hidrográfica es muy elevada, próxima a valores del orden del 80% del recurso natural (ref. años 1984-87 y 1989, escurrimiento medido= $320.4 \cdot 10^6$ m³/a, escurrimiento natural= $1555.4 \cdot 10^6$ m³/a, considerando como escurrimiento natural la reconstruida en la estación de Los Guiros mediante modelo matemático lluvia-escurrimiento), situación representativa de un nivel de utilización del recurso de hecho crítico, situación de demanda muy próxima al promedio, por lo cual se puede concluir que la situación más frecuente de hecho es la de sequía de tipo socio-económico.

Además es elevado también el riesgo de comprometimiento ambiental del cauce del río. En efecto, la escurrimiento mínima diaria medida resulta extremadamente reducida, variando entre 0.36 m³/s y 3.59 m³/s (período 1981-89) y significativamente inferiores a los valores mínimos de referencia del caudal ecológico (4.9 – 6.5 m³/s).

- área del lago Enriquillo:

el grado de explotación de las aguas superficiales, en particular para fines de riego, es muy alto en la cuenca cerrada del lago Enriquillo implicando una significativa distorsión del régimen natural de la escorrentía. Por ejemplo, excluyendo episodios pluviométricos importantes, la escorrentía resulta de hecho nula en los ríos Panzo, Las Damas y Bermesí y reducida por lo menos del 94% y del 76% respectivamente en los ríos Barrero y Majagual. Entre los cursos de agua más importantes, sólo el río Guayabal fluye hacia el lago en condiciones de régimen hidrológico natural.

El nivel actual de utilización del recurso hídrico superficial resulta por lo tanto crítico tanto por la elevada probabilidad en años secos de no satisfacer el actual nivel de la demanda bruta para riego, como, sobre todo, por el equilibrio hidrológico del lago Enriquillo.

En efecto, el equilibrio hidrológico del lago Enriquillo (precipitación sobre el lago de alrededor de los 600 mm/a y evaporación del orden de 1700 mm/a) resulta muy frágil, es decir es fácil llegar hasta una situación en la cual el lago no esté en una situación estacionaria. Sin embargo, aumentar el desvío de los caudales de los ríos (también del agua que llega por medio del canal Cristóbal desde el río Yaque del Sur) para nuevos usos agrícolas puede conducir en un período breve de tiempo a un descenso pronunciado de los niveles del lago con consiguiente comprometimiento ambiental de todo el ecosistema (véanse también el cap. 8 y el Anexo Memorias n° 20).

Vale la pena anotar que durante el período nov. '97 –jun. '98, período de leve sequía en sentido climático (precipitaciones de alrededor de los 5 años de período de retorno, véase Anexo Memorias n° 2), se midió una baja continua del nivel del lago Enriquillo, sólo en el mes de febrero se tuvo una pequeña subida de 10 cm. En conjunto, el nivel del lago se bajó de 50 cm, es decir el balance entre salidas (evaporación directa) y entradas (lluvia directa más escorrentía superficial y flujos subterráneos) fue negativo.

9.7.16 Modelos matemáticos lluvia-escorrentía

Sobre la base de la información climatológica disponible se han reconstruido las escorrentías naturales diarias en correspondencia de la sección de:

- río Yaque del Sur en Los Guiros (vieja estación del INDRHI, código 490014), superficie = 4054 km², período 1984-1994 (11 años);

Los resultados de la aplicación del modelo matemático están presentados de forma numérica y gráfica (valores promedio mensuales y anuales, hidrogramas en base diaria de los valores del caudal reconstruidos junto, donde existan, con los valores medidos, curvas de duración medidas y reconstruidas, valores anuales de las precipitaciones y de los componentes superficial (escorrentía torrencial) y profundo (flujo base), indicadores hidrológicos de los caudales de estiaje y valores del caudal natural promedio anual de asignada probabilidad según el modelo logarítmico-normal) para cada cuenca anteriormente citada, en el Anexo Memorias n° 15, junto a los datos que caracterizan a la calibración.

Las principales características del régimen de la escorrentía natural reconstruida pueden así sintetizarse:

precipitación promedio = 1175 mm; escorrentía total promedio = 380 mm ($Q = 48.58 \text{ m}^3/\text{s}$); valores en promedio significativos del coeficiente de escorrentía caracterizados por una contenida variabilidad temporal; régimen hidrológico de tipo permanente; contenida variabilidad temporal de los caudales de estiaje consiguiente tanto a la entidad del aporte del flujo base como a la modesta variabilidad temporal de las lluvias y de las escorrentías en la cuenca y buena permanencia en el cauce de valores de escorrentía significativos.

Para mayores detalles y por los resultados gráficos y numéricos de la aplicación del modelo matemático, refiérase al Anexo Memorias n° 15.

9.7.17 Cantidades explotables de agua

Por lo que concierne a los recursos hídricos subterráneos, ha emergido un cuadro más bien articulado. En el sector de los conoides (límite norte del área), donde ya hoy día se concentra la utilización de aguas subterráneas para fines de riego, se puede razonablemente considerar la posibilidad de ulteriores incrementos de tomas en razón de la entidad de la recarga a partir de la Sierra de Neiba y de las litologías relativamente gruesas y permeables. Al contrario se ha puesto en evidencia no sólo la criticidad de toda la zona afectada por irrigación del río Yaque del Sur (Tamayo), sino también la imposibilidad de prever en tal sector un gradual aumento de las tomas de aguas subterráneas. Otros sectores, aun no habiendo sido objeto de modelización matemática, deben recordarse en relación con las criticidades conocidas y ya objeto de reflexión en el curso del proyecto.

El principal de éstos es, sin duda, el Valle de Angostura, que, aislado del Valle principal a lo largo de la Loma de Yeso y Sal, está caracterizado por fuertes tomas para fines de riego en una condición de balance desequilibrada; en consideración de la ausencia de fuentes superficiales no se puede hacer otra cosa que sugerir vivamente una reducción de las tomas de aguas subterráneas a través de un mejoramiento de la eficiencia global de riego.

Por lo que concierne a los recursos hídricos superficiales, la situación en el valle de Neiba puede sintetizarse de la siguiente manera:

- el grado de explotación de las aguas superficiales, en particular para fines de riego, en toda la cuenca del río Yaque del Sur es muy alto. Tratase de una situación que no permite en condiciones actuales, hipotetizar ulteriores utilizaciones del recurso hídrico superficial para no comprometer tanto los equilibrios ambientales de los sistemas fluviales, como la satisfacción de los usuarios, en particular en años de posible riesgo de sequía en sentido socio-económico. Una intervención de buen auspicio sería en cambio recuperar recursos, dejándolos fluir libremente en los cauces, a través de un mejoramiento de la eficiencia global de los sistemas de riego, garantizando de todas maneras, a través del canal Cristóbal, un aporte significativo de agua al lago Enriquillo aporte que puede contribuir a garantizar condiciones de equilibrio hidro-biológico al delicado ambiente natural del lago mismo.
- con referencia a la cuenca cerrada del lago Enriquillo, el grado de explotación de las aguas superficiales, en particular para fines de riego, es muy alto implicando una significativa distorsión del régimen natural de la escorrentía, muchos ríos fluyen secos o casi secos gran parte del año aguas abajo de las obras de toma. El nivel actual de utilización del recurso hídrico superficial resulta por lo tanto crítico tanto por la elevada probabilidad en años secos de no satisfacer el actual nivel de la demanda bruta para riego, como, sobre todo, por el equilibrio hidrológico-ecológico del lago Enriquillo, equilibrio muy frágil. Sin embargo, aumentar las tomas de aguas subterráneas y el desvío de los caudales de los ríos (también del agua que llega por medio del canal Cristóbal desde el río Yaque del Sur) para nuevos usos agrícolas puede conducir en un período breve de tiempo a un descenso pronunciado de los niveles del lago con consiguiente comprometimiento ambiental de todo el ecosistema. Por lo tanto se sugiere no prever ulteriores utilizaciones de los recursos hídricos locales.

9.8 Recomendaciones

El cierre del proyecto concluyó la fase preparatoria de la puesta en marcha de un control sistemático de los recursos hídricos subterráneos de las seis áreas consideradas. A la luz de los resultados obtenidos, es evidente la necesidad de llevar a cabo actividades de monitoreo en el futuro que impliquen las obtención de los máximos resultados con el mínimo esfuerzo. La red operativa aun basándose en el esqueleto constituido por la utilizada en el curso del proyecto, deberá ser optimizada tanto por lo que se refiere a la frecuencia y a los parámetros controlados como en su distribución areal.

La relativa constancia del quimismo evidenciada por los muestreos sucesivos permite prever, salvo el registro de datos anómalos, un muestreo semestral, en función de las dos estaciones que caracterizan la climatología tropical de la Isla La Española; en particular se considera ideal efectuar los muestreos al comienzo de la estación húmeda y de la seca.

Naturalmente, en el caso en que en uno o más puntos se relevasen empeoramientos significativos de los parámetros controlados, se deberá planificar un monitoreo con mayor frecuencia, a fin de mantener el control del fenómeno en acto.

Se aconseja tener bajo control todos los parámetros que fueron objeto de las campañas de monitoreo en el curso del proyecto, y analizar los resultados sobre la base de los límites de potabilidad. Lo que a primera vista podría parecer un exceso de rigidez, en realidad responde a las exigencias socio-económicas del país. La presencia de muchos centros poblados menores y de instalaciones rurales, autónomos para el abastecimiento hidropotable, requiere la selección de las condiciones más conservadoras. Esta elección naturalmente no impide que se evalúe la posibilidad de utilización del recurso también para otros fines menos calificados.

Las características de selección de los puntos de la red propuesta fueron definidos teniendo en cuenta las siguientes indicaciones:

1. Para los puntos inventariados en el curso del proyecto e incluidos en la red utilizada:

indicaciones dadas por el monitoreo;
características de los pozos (perforados, excavados, tipo de acuífero captado, presencia de un equipo de bombeo);
distribución areal.

2. Para los puntos inventariados en el curso del proyecto, pero no incluidos en la red utilizada:

distribución areal, a fin de integrar, donde sea necesario, la red utilizada;
características de los pozos (perforados, excavados, tipo de acuífero captado, presencia de un equipo de bombeo).

Los 19 en el Valle de Neiba, están en el mapa de la red de control de calidad y de la intrusión marina (Mapa 3).

En la eventualidad de que los puntos indicados en el Mapa 3 no fueren disponibles en el futuro, ellos deberán ser sustituidos con otros circundantes, que respondan a los criterios arriba enumerados.

Para afinar la interpretación isotópicas, en general, sería necesario disponer de:

-
- Una red de muestreo de las precipitaciones que pueda cubrir de manera homogénea el área.
 - Una red de monitoreo geoquímico e isotópico de las aguas superficiales que pueda describir los procesos hidrológicos e hidrodinámicos que tienen lugar bajo diferentes condiciones.

Sólo con la comparación los isótopos y la geoquímica pueden dar explicaciones y pueden ser aprovechados para una correcta elaboración de los modelos de los sistemas.

Con respecto a las aguas minero-medicinales analizadas se aconseja una evaluación más detallada para verificar la posibilidad de un adecuado aprovechamiento. A tal fin deberán llevarse a cabo las siguientes actividades:

- a) identificación del origen y de las potencialidades de la napa a través de las siguientes investigaciones:
- b) estudio geológico e hidrogeológico de detalle, encuadrado en el ámbito regional;
- c) balance hidrológico de los sistemas y evaluación cuantitativa de los recursos y de las reservas;
- d) pormenorizados monitoreos hidroquímicos, microbiológicos e isotópicos en las distintas fases hidrológicas del año;
- e) evaluación económica de la inversión y, en caso de resultado positivo, ejecución de las investigaciones ulteriores:
- f) monitoreo, con frecuencia por lo menos estacional, de: caudal, quimismo, contenido microbico;
- g) eventuales estudios farmacológicos y clínicos de detalle, experimentales también ;
- h) ejecución del proyecto de la obra de toma;

. A seguito della evaluación de la calidad potable de las aguas subterráneas, el cotejo con los términos normativos tanto de la ley nacional vigente (NORDOM 64) como con lo prescrito por la OMS en la emanación de 1993 y por la Directiva CEE n°778 de 1980, ha hecho emerger una cierta inadecuación de algunos de los límites fijados por la norma nacional, que han resultado tan restrictivos, como injustificados, que una aplicación rigurosa habría determinado un juicio final negativo casi para la mayoría de las aguas consideradas

En tal sentido se sugiere al legislador una revisión por lo menos de los límites reativos a la dureza total (fijar un límite a 100 mg/l cuanto ésta o no está reglamentada [CEE] o es por lo menos 5 veces más alta [500 – OMS], significa prohibir por exceso de dureza también el uso de aguas consideradas por lo común poco duras) y a los sólidos disueltos, que resultan ser respectivamente la mitad y un tercio de los límites de OMS y CEE

Siempre en tema de aguas potables, respecto de su protección, la falta de una referencia nacional en la definición de las acciones a emprender para la protección de las captaciones de aguas potables, no ha permitido, en el ámbito del proyecto, definir ni la geometría ni la gradación de las franjas de respeto de los pozos además de las tipologías de actividades a prohibir en el interior de las mismas.

En tal sentido resulta indispensable que la misma República Dominicana, sobre la base de las experiencias de los demás países, se dote de un propio instrumento normativo que sea apropiado, y realísticamente aplicable, a las peculiaridades del país mismo.

En términos generales, podríamos sugerir un método para afrontar el problema que respete las siguientes líneas guía en la delimitación de zonas en las cuales se respetan vínculos para la protección de las aguas subterráneas:

Área de protección directa. Debe referirse únicamente a la obra de captación y deben impedirse las infiltraciones desde la superficie, delimitando una zona a impermeabilizar con arcilla que debe extenderse sobre una lámina de polietileno. El terreno que rodea al pozo debería protegerse ulteriormente con una cobertura de cemento.

Área de protección territorial Debería referirse a la zona ubicada alrededor de las captaciones en la cual se prohíbe o se reglamenta cualquier actividad potencialmente contaminadora. La protección territorial podría realizarse considerando tres franjas distintas:

Franja A – Área de prohibición total de cualquier actividad, salvo cultivos de pradera o bosque, siempre y cuando no se utilicen abonos, pesticidas, herbicidas, etc.

Franja B – Deben estar prohibidas las actividades susceptibles de alteración de las modalidades de flujo y alimentación natural de las aguas subterráneas. Las actividades en el interior de esta franja deben garantizar que no haya contaminación bacteriana, que las sustancias no biodegradables no puedan llegar hasta las aguas subterráneas, que aquéllas biodegradables no constituyan una carga biológica suplementaria (ej. consumo de oxígeno). Por último, debe quedar tiempo suficiente, en caso de contaminación, para realizar una obra de saneamiento. En esta zona no deberían realizarse construcciones desagües, canales, ni deberían esparcirse en el terreno sustancias químicas como fertilizantes, antiparasitarios, etc.

Franja C – Deben estar reglamentadas y controladas las actividades potencialmente contaminadoras, limitando el número de instalaciones y operando de manera que haya una dilución suficiente de las aguas subterráneas antes que la contaminación llegue hasta los pozos.

La delimitación de dichas áreas podrá definirse adoptando un criterio a elegirse entre el geométrico, el temporal y el hidrogeológico, remarcando de todos modos dos principios que deberían inspirar la zonación:

- La ejecución de las nuevas captaciones deber estar subordinada a la posibilidad de establecer las franjas de respeto.
- En territorios ya urbanizados, la funcionalidad de las franjas puede mostrar una eficacia limitada; en tal caso deberían potenciarse los sistemas de control preventivo de la calidad de las aguas subterráneas.

A fin de aumentar la eficiencia regadía y limitar las pérdidas de agua, sería oportuno tener en mayor consideración las propiedades limitantes de los suelos, a través de un mejor uso de los mismos, dado que a menudo los cultivos no resultan estar adecuadamente distribuidos en relación con las condiciones de los suelos, del clima y de la disponibilidad de agua, con graves repercusiones sobre la reditividad.

Por ejemplo, en los terrenos de textura pesada, caracterizados por alta retención de humedad y drenaje imperfecto, con escasa o ausente pedregosidad, podrían incentivarse los cultivos de radicación superficial, como papa (usando variedades adecuadas como la red pontiac), batata, maíz, frijoles, plátano, berenjena, maní.

Con sencillas prácticas agronómicas, como nivelados, siembras en surcos, necesarios aportes de potasio y fósforo y la construcción de drenajes para evitar estancamientos de agua, con una dotación de agua basada estrictamente en la demanda de estos cultivos,

se obtendrían elevados rendimientos unitarios y aumento de la eficiencia del riego. Donde las limitaciones principales están constituidas por escasa profundidad, topografía ondulada, alta tendencia a la erosión, abundante pedregosidad y fertilidad natural baja, los cultivos deberían limitarse a tipologías como aguacate y cítricos, que implican pocas labores de cultivo, pero requieren oportunas prácticas de conservación del suelo, como la construcción de barreras para evitar la erosión, el enterramiento de los residuos orgánicos y el uso de sistemas de riego por aspersión, a fin de aumentar la eficacia de riego y evitar la erosión del suelo, además ~~de~~ los necesarios aportes de fertilizantes de corrección o de fondo, para garantizar un buen resultado de las cosechas.

Por lo que concierne a las áreas individualizadas como potencialmente regables, éstas están constituidas por núcleos de extensión variada, limítrofes o no a las zonas actualmente con regadío. La conveniencia de llevar el agua a todos estos cuerpos es dudosa, considerando que una parte de estas superficies ya se cultiva utilizando aguas de sistemas de riego (pero que no son suficientes para satisfacer a toda la zona) o aguas meteóricas procedentes de las colinas cercanas o de ríos.

También las aguas de drenaje, que representan un recurso importante, podrían ser mejor utilizadas para extender la superficie cultivada al interior de los distritos ~~de riego~~ **regadíos**, a través de dos posibilidades: mezclar las aguas recuperadas con aguas frescas, de modo que lleguen a un grado de salinidad tal que sea posible realizar un riego normal, o utilizarlas separadamente considerando la agricultura que deriva como algo complementario.

La condición necesaria para la utilización de las aguas recuperadas es que lleguen al lugar de uso con la misma salinidad con la que salen de los canales de las áreas con regadío, evitando contaminaciones con aguas de calidad inferior, hecho que implicaría una serie de obras indudablemente costosas para mejorar la red de los canales existentes.

La primera solución podría ser considerada en caso de que se quiera extender al máximo el riego normal de los terrenos o por lo menos de los mejores individualizados.

La mezcla de las aguas frescas y recuperadas debe establecerse en relación con las características de cada tipo de suelo y cultivo, a fin de llegar a una dosis que corresponda al mejor uso de los recursos disponibles. Esta solución teóricamente aceptable, puede presentar varias incógnitas y resulta necesario verificar si vale la pena correr riesgos para utilizar una cantidad de agua al final de cuentas bastante modesta. La otra solución más sencilla sería utilizar las aguas recuperadas así como están, para regar entre los terrenos peores aquéllos con mejor drenaje. Se tratará de ofrecer a los agricultores un rédito suplementario, utilizando plenamente la capacidad laboral de sus familias.

A la luz de los resultados conseguidos en el ámbito de las actividades de modelización de flujo (calibración y simulación) se recomienda un manejo articulado de los recursos hídricos subterráneos, en relación con las específicas condiciones locales de disponibilidad y posibilidad de utilización del recurso. A lo largo del sector septentrional (área de los conoides) hay espacio para un eventual incremento de las tomas, en razón de las condiciones favorables de alimentación y de características

hidrogeológicas. Al contrario, los impactos calculados en simulación en el área agrícola al O del río Yaque del Sur (Tamayo – Uvilla) desanconsejan cualquier hipótesis de incremento de las tomas. En la extremidad S, el sector de Angostura no ha sido objeto de modelización en cuanto se encuentra estructuralmente aislado del valle principal. En consideración del evidente problema de balance entre alimentación y aprovechamiento de aguas subterráneas, se recomienda de todas maneras en esta área tener bajo control los niveles piezométricos.

Por lo que se refiere a las actividades en el ámbito de la climatología, de la hidrología y del manejo de los recursos hídricos superficiales, a la luz de los resultados conseguidos y para garantizar la posibilidad de un control sistemático tanto de la oferta como de la utilización de los recursos hídricos como ayuda para un manejo sostenible y eficaz de los mismos, se recomienda:

- climatología:

- la instalación de por lo menos tres nuevas estaciones: una en la Sierra de Neiba (vertiente norte), una en la Sierra de Bahouruco (vertiente sur) y una en el área llana y seca entre el lago Enriquillo y la laguna del Rincón a fin de integrar y completar la red meteorológica instalada en el curso del proyecto, para garantizar la disponibilidad, en el futuro, de datos climáticos fiables y representativos a favor de la utilización con referencia a la cuenca cerrada del lago Enriquillo (véanse puntos siguientes) del modelo matemático lluvia-escorrentía suministrado en el ámbito del proyecto;
- mantener eficiente la actual red meteorológica (estaciones instaladas en el curso del proyecto, actuales redes INDRHI y ONAMET), rindiendo disponible de esta manera, par el futuro control meteorológico, una red moderna suficientemente amplia y articulada en el territorio de interés, integrada con las estaciones climáticas sugeridas aquí arriba;
 - instalar un evaporímetro en el lago Enriquillo para llegar a una correcta evaluación de las pérdidas directas por evaporación como ayuda, junto con los resultados del modelo lluvia-escorrentía (véase más adelante), para la definición de un manejo sostenible del delicado sistema del lago;

- hidrología:

se sugiere la activación de la red hidrométrica de control como hemos indicado en el Anexo memorias n° 13 y presentado en el Mapa n° 2, red constituida por estaciones hidrométricas, para garantizar un control en base diaria de los principales cursos de agua, y por secciones de aforo en las cuales efectuar mediciones de caudal con cadencia mensual en los ríos menores y sobre todo en los canales para riego, es decir los canales alrededor del lago Enriquillo, el canal Cristóbal y los canales de la cuenca baja del río Yaque del Sur, que actualmente no son objeto de control sistemático. Por lo que atañe a los canales de riego, se recuerda que el conocimiento de la entidad de los recursos efectivamente tomados es fundamental a fin de evaluar correctamente tanto el actual nivel de solicitación sobre el régimen fluvial, como el efecto sobre las escorrentías de estiaje (equilibrio ecológico) de menores tomas consiguientes a mejoramientos de la actual eficiencia de los sistemas de riego, y para definir completamente el balance del lago Enriquillo.

- manejo de los recursos hídricos:

teniendo en cuenta el actual elevado nivel de utilización, potencialmente crítico, se sugiere:

- evaluar, por lo menos para los cursos de agua más significativos, la entidad del caudal ecológico, también sobre la base de consideraciones de tipo biológico; se recuerda que el caudal ecológico definido sólo sobre la base de criterios hidrológicos representa de todas maneras un umbral mínimo que debe ser garantizado al ecosistema fluvial;

Además:

cuenca baja del río Yaque del Sur:

- evaluar oportunas modalidades operativas para mejorar la eficiencia de los sistemas de riego tanto para reducir el riesgo de situaciones de sequía socio-económica (insatisfacción de los usuarios) aun en años moderadamente secos en sentido hidrológico, como para garantizar, liberando recursos actualmente ocupados, condiciones de escorrentía en el cauce (flujo base, caudales de estiaje) compatibles con los equilibrios ambientales del sistema fluvial mismo y del lago Enriquillo (a través de los aportes del sistema Cristóbal). En un segundo momento será posible hipotetizar, también con la ayuda de los modelos de simulación suministrados, la posibilidad y sostenibilidad de ulteriores utilidades disipadoras, en particular agrícolas, del recurso hídrico.

Se recuerda que para garantizar una utilización sostenible de los recursos hídricos, la actividad de planificación debe referirse necesariamente al entero sistema cuenca del río Yaque del Sur (véase en particular la Memoria Final n°4, Valle de San Juan), operando según un método “supply-demand oriented”. A tal fin se sugiere, para la definición de alternativas sostenibles de manejo, en particular en condiciones de sequía en sentido tanto climático como socio-económico, el empleo del código de balance WEAP suministrado en el ámbito del proyecto, también para evaluar el impacto de diferentes escenarios de uso en términos de costos-beneficios, previa integración y complemento de la información necesaria, en particular sobre el trend temporal de las tomas, la eficiencia del riego y el nivel de contaminación de las aguas, actualmente no suficiente.

cuenca cerrada del lago Enriquillo:

teniendo en cuenta que el nivel actual de utilización del recurso hídrico superficial resulta crítico (hay una significativa distorsión del régimen natural de la escorrentía y algunos ríos fluyen secos y/o casi secos aguas abajo de las obras de toma de los canales de riego), tanto por la elevada probabilidad en años secos de no satisfacer el actual nivel de la demanda bruta para riego, como, sobre todo, por el equilibrio hidrológico y biológico del lago Enriquillo, equilibrio que resulta muy frágil, es decir es fácil llegar hasta una situación en la cual el lago no esté en una situación estacionaria, a fin de garantizar una utilización sostenible en sentido ambiental de los recursos hídricos superficiales, se sugiere:

- implementar un modelo matemático lluvia-escorrentía sobre la base de la información climática que resultará disponible consiguientemente a la integración de la red meteorológica antes mencionada para llegar a un conocimiento confiable de la potencialidad hídrica natural;

- no activar ulteriores empleos de recursos superficiales, tales, es decir, que reduzcan ulteriormente el aporte de la escorrentía superficial al lago;

- mejorar la eficiencia global de riego, actualmente del orden del 30-40%, a fin de liberar recursos útiles para el balance del sistema del lago;

- evaluar las características hidro-biológicas del sistema lago a fin de individualizar, en distintas condiciones de solicitación climática, las mejores condiciones de aporte hídrico superficial (también a través de una gestión a tal fin del canal Cristóbal) para garantizar el equilibrio ecológico del lago mismo.

FIGURAS

TABLAS