

ÍNDICE

1 INTRODUCCIÓN	5
2 PRINCIPALES LINEAMIENTOS SOCIO ECONÓMICOS GENERALES	6
3 CLIMATOLOGÍA	9
4 OROGRAFÍA , HIDROGRAFÍA Y GEOMORFOLOGÍA	10
5 LINEAMIENTOS GEOLÓGICOS Y TECTÓNICOS	11
5.1 Geología	11
5.2 Tectónica	13
6 ACTIVIDADES DE CAMPO Y ESTUDIOS	14
6.1 Actividades preliminares	14
6.1.1 Colección de los datos y recopilación de antecedentes	14
6.1.2 Inventario de puntos de agua	18
6.2 Base de datos y Sistema de Información Geográfica (SIG)	22
6.2.1 Realización de una base de datos	22
6.2.2 Implementación de un sistema de información geográfica	23
6.3 Piezometría	26
6.3.1 Campañas piezométricas	26
6.3.2 Determinación de las coordenadas plano-altimétricas de puntos de agua	28
6.4 Hidroquímica e intrusión marina	31
6.4.1 Muestreo y análisis para la calidad de las aguas	31
6.4.2 Muestreo y análisis isotópicas	33
6.4.3 Muestreo y análisis para la potabilidad	33
6.4.4 Muestreo y análisis para aguas minerales y minero-medicinales	36
6.4.5 Control de la salinidad y de la intrusión marina	36
6.5 Geofísica	38
6.6 Realización de sondeos de exploración, de pozos de observación y de ensayos de bombeo	39
6.6.1 Realización de los sondeos de exploración y de los pozos de observación	39
6.6.2 Realización de ensayos de bombeo	41
6.7 Integración de la red meteorológica existente	43

6.8 Hidrología	44
6.8.1 Campañas de aforos en los ríos y canales	44
6.8.2 Instalación de regletas hidrométricas	45
6.8.3 Evaluación de la recarga	45
6.8.4 Estudios hidrológicos - modelización lluvia-escorrentía	46
6.9 Agronomía - Edafología	49
6.9.1 Campaña agronómica y edafológica	49
6.9.2 Identificación zonas con regadío actual y de zonas potencialmente regables	50
6.10 Evaluación de la utilización del agua	55
6.10.1 Instalación de contadores volumétricos	55
6.10.2 Balances hídricos aguas subterráneas	55
6.10.3 Balances hídricos aguas superficiales	56
6.11 Cartografía temática	58
6.11.1 Realización de cartografía hidrogeológica	58
6.11.2 Realización de cartografía de vulnerabilidad	59
6.12 Modelización	68
6.12.1 Modelos matemáticos de flujo de las aguas subterráneas	68
6.12.2 Utilización conjunta de las aguas subterráneas y superficiales	69
7 RESULTADOS OBTENIDOS	70
7.1 Acuíferos y aguas subterráneas	70
7.1.1 Caracterización hidrogeológica de las diferentes formaciones geológicas	70
7.1.2 Pozos, sondeos y mananciales	71
7.1.3 Piezometría	72
7.1.4 Calidad de las aguas subterráneas - caracterización hidroquímica	73
7.1.5 Salinidad e ingresión marina	75
7.1.6 Resultados análisis isotópicas	76
7.1.7 Relaciones ríos-acuíferos	77
7.1.8 Evaluación de la recarga - infiltración eficaz	77
7.1.9 Modelos matemáticos de flujo	78
7.1.10 Recursos hídricos y reservas hídricas	79
7.1.11 Utilización de las aguas subterráneas	79
7.1.12 Vulnerabilidad	80
7.2 Aguas superficiales	82
7.2.1 Régimen hidrológico y recursos hídricos	82
7.2.2 Utilización de las aguas superficiales	82
7.2.3 Modelos matemáticos lluvia-escorrentía	82
7.3 Agronomía – Edafología	84
7.3.1 Campaña agronómica y edafológica	84
7.3.2 Identificación de zonas con regadío actual	84

8 CANTIDADES EXPLOTABLES DE AGUA	86
9 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	87
9.1 Resumen de datos generales y socio-económicos	87
9.2 Clima	88
9.3 Orografía, Hidrografía y Geomorfología	89
9.4 Geología y tectónica	90
9.4.1 Geología	90
9.4.2 Tectónica	90
9.5 Actividades preliminares, base de datos y SIG	91
9.6 Actividades de campo y estudios	93
9.6.1 Monitoreo piezométrico y actividades relacionadas	93
9.6.2 Monitoreo de calidad	94
9.6.3 Monitoreos especiales (isotopos, aguas minero-medicinales, potabilidad)	94
9.6.4 Control de la salinidad y de la intrusión marina	94
9.6.5 Geofísica	94
9.6.6 Perforación y ensayos de bombeo	95
9.6.7 Integración de la red meteorológica existente	96
9.6.8 Campañas de aforos directos e instalación regletas hidrométricas	97
9.6.9 Actividades agronómicas y edafológicas	98
9.6.10 Evaluación de la utilización del agua - Balance hídrico	100
9.6.11 Cartografía temática	101
9.6.12 Modelización aguas subterráneas	102
9.6.13 Modelización aguas superficiales	103
9.7 Resultados obtenidos	104
9.7.1 Caracterización hidrogeológicas de las diferentes formaciones geológicas y acuíferos presentes	104
9.7.2 Pozos, sondeos y manantiales	104
9.7.3 Piezometría	104
9.7.4 Calidad de las aguas subterráneas y caracterización hidroquímica	105
9.7.5 Salinidad e ingresión marina	106
9.7.6 Resultados análisis isotópicas	106
9.7.7 Relaciones ríos-acuíferos	107
9.7.8 Evaluación de la recarga - infiltración eficaz	108
9.7.9 Vulnerabilidad	109
9.7.10 Modelos matemáticos de flujo de las aguas subterráneas	109
9.7.11 Recursos hídricos y reservas hídricas subterráneas	110
9.7.12 Régimen hidrológico y recursos hídricos superficiales	111
9.7.13 Identificación de zonas con regadío actual y potencialmente regables - Evaluación de las necesidades hídricas para el riego	112
9.7.14 Utilización de las aguas subterráneas	113
9.7.15 Utilización de las aguas superficiales	114

9.7.16 Modelos matemáticos lluvia-escorrentía	115
9.7.17 Cantidades explotables de agua	116
9.8 Recomendaciones	117
FIGURAS	122
TABLAS	123

1 INTRODUCCIÓN

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

Conforme a lo indicado en la página 54 (capítulo 3) de los Términos de Referencia, donde se indica que “*El estudio hidrogeológico previsto no abarca toda la unidad. Se ceñiráal entorno de la franja paralela a la costa, de unos 20 Km de anchura y que se extiende entre las poblaciones de Oviedo y Enriquillo...*”: con el nombre de Península Sur de Barahona nos referimos a la zona aquí descrita.

El área de estudio (ver Fig. 1/1), comprendida entre 17° 43' 46" y 18° 03' 25" de Latitud Norte y entre 71° 12' 30" y 71° 31' 30" de Longitud Oeste, tiene una superficie de aproximadamente 519 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 dos provincias de Barahona y de Pedernales y comprende parcialmente el territorio de los municipios de Enriquillo y de Oviedo.

La población de estos dos municipios se estima hoy en 23,450 habitantes de los cuales el 56% viven en zonas rurales y el 44% en áreas urbana. Se puede estimar además que la población que vive realmente en el área de estudio representa el 85% de la población total de los dos municipios. Con este asunto se puede calcular que la población del área de estudio es de aproximadamente 19,950 habitantes de los cuales 11,200 viven en zonas rurales y 8,750 en áreas urbanas (el 54.6% son hombres y 45.4% mujeres).

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

Municipio	% analfabeto
Enriquillo	29.2
Oviedo	28.9

La tasa media de analfabetismo se calcula en un 29.0%.

La población económicamente activa representa el 32 % de la población total. La repartición en porcentaje de las categorías ocupacionales, está indicada a continuación.

Categoría ocupacional	Repartición en %
Patrón o empleador	4.1
Trabajador por propia cuenta	34.4
Trabajador servicio doméstico del hogar	1.0
Trabajador asalariado	57.4
Trabajador familiar no pagado	3.0

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	44.5
Servicios comunales, sociales y personales	16.6
Comercio y turismo	8.6
Construcción	5.5

Industrias manufactureras	5.1
Pesca	3.7
Transporte y telecomunicaciones	3.7
Estab. financieros, seguros, bienes, inmuebles y servicios prestados a las empresas	1.3
Electricidad, gas y agua	0.7
Explotación de minas y canteras	0.3
Otro	10.0

Las actividades agrícolas son las más importantes del área. En segundo lugar están los servicios locales. Pese a que el turismo en estos últimos años haya crecido mucho en la República Dominicana, este crecimiento no ha aportado un incremento significativo en esta actividad, dado que no hay centros turísticos frecuentados por clientes internacionales en el área. El 8.6% indicado como indicador del área comercial-turística se debe esencialmente, entonces, a la componente comercial. Las actividades de construcción ocupan la cuarta posición por importancia como fuente de ocupación.

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

Área industrial

En el territorio incluido en el área del proyecto no hay actividades industriales.

Área agrícola y ganadera

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

Productos agrícolas: Sorgo y guineos.

Productos ganaderos: actividad prácticamente inexistente.

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 atún, bocayate, sierra y machuelo. No existiendo ríos, no hay actividad pesquera interna.

Área turística

El turismo no está desarrollado en el área.

Por lo que atañe al ecoturismo está el parque de Jaragua que ocupa un área porcentualmente relevante de la superficie total de la zona de estudio.

Área minera / extractiva

No hay actividades extractivas desarrolladas en la zona de estudio.

Área de infraestructuras y servicios

La red de carreteras, es de calidad buena en la costa y medio-baja en la parte interna del área: en términos generales y no está muy desarrollada.

En el área de estudio no se encuentran ni aeropuertos ni puertos.

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 no alcanza la calidad de otras áreas del país. La cobertura celular es prácticamente inexistente.

3 CLIMATOLOGÍA

Para el desarrollo del análisis de las características climáticas del área, se tomaron en consideración los datos básicos medidos en 5 estaciones, a saber en:

- 1 estación pluviométrica/gráfica del INDRHI (Villa Nizao, período 1961-1996);
- 1 estación climatológica del INDRHI (Juancho, período 1967-1996);
- 1 estación climatológica de la ONAMET (Polo, período 1961-1990 y año 1997);
- 2 estación climatológica de la ONAMET (Enriquillo, período 1961-1992 y Oviedo, período 1964-97).

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 de interés es de 1071.6 mm, a nivel de estación los valores anuales medios oscilan entre 814 mm (Oviedo) y 2346 mm (Villa Nizao, río Nizaíto);
- el territorio de interés está caracterizado por una elevada variabilidad espacial 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 los meses de mayo y junio) y en verano-otoño (desde agosto hasta noviembre) y con sequía en el invierno y en julio.
- las áreas más lluviosas se localizan en la cuenca baja del río Nizaíto; las más secas cerca de Oviedo;
- 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%);
- la temperatura media del aire presenta valores anuales que fluctúan entre 22 °C (Polo) y más de 26 °C (Oviedo), la variación intranual de la temperatura media oscila entre 3 y 4 °C, y, el período de mayores temperaturas corresponde a los meses de julio a agosto y lo de mínima a los meses de diciembre-febrero;
- 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 Thornthwaite (Polo);
- el promedio anual de la ETPo de la zona hidrogeológica de interés es de 1636.6 mm. El balance entre la precipitación media anual y la ETPo llega a encontrar las áreas más secas, donde se señala un déficit hídrico alrededor de 8-10 meses, en las zonas costeras entre Enriquillo y Oviedo. En cambio, las áreas húmedas se encuentran en las zonas de sierra, en particular en la cuenca del río Nizaíto.

4 OROGRAFÍA , HIDROGRAFÍA Y GEOMORFOLOGÍA

El área de estudio se extiende desde el sector de Caletón-Enriquillo al N hasta la laguna y la ciudad de Oviedo al S, por aproximadamente unos 20 Km al interior desde la línea de costa. Trátase de un área caracterizadas por fenómenos kársticos importantes y bien visibles. La casi totalidad de los ríos no llegan hasta el mar Caribe, y desaparecen bien antes, para alimentar el sistema subterráneo.

Uno de los elementos morfológicos más llamativos del área resulta ser la presencia de mesetas alargadas, de origen tectónico, que caracterizan a la franja ubicada detrás de la Sierra de Batoruco.

No obstante se invoque, junto con los movimientos tectónicos diferenciales, el concurso del karsismo en la génesis de estas áreas tabulares, la falta en microescala de una fenomenología kárstica observable en los márgenes de las mismas áreas, y la escasa aptitud, verificada, para desarrollar formas de disolución por parte de las litologías calcáreas que afloran en la parte SE de esta franja, no permiten apoyar una hipótesis de este tipo.

Fenómenos kársticos bien evidenciados por las imágenes aéreas están presentes, en cambio, en el sector central de investigación donde se desarrollan pequeñas cuencas de morfología tabular en correspondencia de las zonas de cruce de fallas de distinta orientación.

Las depresiones más amplias que se observan son la de Tierra Colorada, situada a una cota de aproximadamente 450 m s.n.m., y las presentes en el paraje Santa Rosa, a aproximadamente 100 metros de cota, en proximidad del escarpe tectónico que corre, en dirección NNE-SSO, entre la laguna de Oviedo y la parte interna de la Llanura de Juancho.

Otra peculiaridad de este sector es, en las áreas donde el retículo no sufre la influencia de la red de fracturas, la presencia de talladuras fluviales en meandros encajados que evidencian el reciente rejuvenecimiento del relieve.

Los fenómenos kársticos se vuelven muy intensos en la parte occidental donde, al O de la Llanura de Oviedo, se observa la desaparición de las formas de drenaje superficial y la aparición de numeros campos y alineamientos de dolinas.

Parece remontable a este contexto de fuerte desarrollo de disolución kárstica también el origen de la Laguna de Oviedo que, de hipótesis anteriores, podría representar una gran depresión kárstica, actualmente invadida por las aguas marinas.

La hidrografía se caracteriza por ríos secos y cañadas secas, ya que más al S del río Nizaíto (NO del pueblo de Enriquillo) y del río Los Patos (manantial a unos pocos metros de la línea de costa), ningún curso de agua superficial llega hasta el mar. Las características de circulación de las aguas superficiales son típicas de áreas calcáreas con fenómenos kársticos importantes.

5 LINEAMIENTOS GEOLÓGICOS Y TECTÓNICOS

5.1 Geología

Las rocas que afloran en la zona pueden remontarse a las formaciones geológicas descritas a continuación partiendo desde la posición estratigráfica más baja.

Formación de Neiba (teo-tolm'c)

A esta formación se atribuyen todas las facies francamente calcáreas presentes en la zona de investigación, excluyendo las que pertenecen inequívocamente a la Formación Pedernales.

Además de la usual sucesión estratificada de calizas de color blanco, de cristalinas a micríticas, con nódulos de pedernal pardo, a esta unidad se le ha asociado también un litotipo, siempre constituido por pedernal, de color variable desde crema hasta marrón claro, un tiempo atribuido a una unidad que se está redefiniendo actualmente, denominada Formación Plaisance.

Los afloramientos más extensos están en la parte central del área, en correspondencia de los relieves que se colocan entre la Llanura de Juancho y la Llanura de Oviedo; esta formación aflora también en el borde emergido que separa la Laguna de Oviedo del mar abierto.

Las rocas de esta formación constituyen el armazón de los relieves de la cercana Sierra de Bahoruco, de la cual el relieve situado al N de la población de Enriquillo representa una pequeña porción.

Las indicaciones relativas a la edad no siempre concuerdan; las microfauas presentes en los litotipos que afloran en la zona son típicamente eocénicas.

Los espesores estimados para esta formación en la cercana Sierra de Bahoruco oscilan alrededor de los 900 metros.

Formación Sombrerito (tols-tmin'cm)

El aspecto de la formación en esta área es decididamente diferente respecto del que se observa en los afloramientos de los valles de San Juan y Neiba, donde el componente marnoso resulta predominante.

Las litologías más comunes son calizas marnosas en estratos delgados, a veces no bien delineados, de color desde crema claro hasta crema rosado.

No son infrecuentes niveles de calizas cristalinas de color claro, tipo «Neiba», y facies de tipo organógeno que constituyen niveles resedimentados.

Algunos afloramientos observados en El Tacón muestran una facies calcárea tipo «creta» que puede parecerse a los litotipos característicos de la Formación de Lemba.

La Formación Sombrerito caracteriza predominantemente a los relieves ubicados al NE del alineamiento Llanura de Juancho-Sabana de la Primera Yerba.

El contacto con la Formación de Neiba situada por debajo se considera concordante.

No hay indicaciones sobre los espesores de la formación en el área de investigación.

La edad de esta formación, faltando dataciones precisas, se atribuye al Oligoceno-Mioceno.

Formación de Pedernales (tmi'c)

Está constituida por por calizas compactas, generalmente cristalinas, bien estratificadas, de color variable desde el rosa claro hasta el rojizo. La presencia de facies con color más claro se observa a lo largo de la carretera Oviedo-Pedernales en

proximidad del escarpe morfológico de Juan Goya.

Esta formación aflora extensamente en la parte SO del área de investigación mostrando formas kársticas muy pronunciadas. En la escala del afloramiento, en áreas de morfología casi llana, se observan frecuentemente crestas y cavidades de disolución que en formas más desarrolladas dan origen a grupos y/o alineamientos de barrancos condensados predominantemente en la esquina occidental del área.

Con respecto a los espesores de la formación, no hay informaciones a este propósito.

Para esta formación, atribuida al Oligoceno-Mioceno, no resulta muy clara la relación con las demás formaciones presentes en el área de investigación; la ausencia de los términos calcáreo-marnosos del Sombrerito en las zonas de contacto estratigráfico entre la Formación de Pedernales y la Formación de Neiba, podría encontrar una justificación en las hipótesis o de una discordancia interna en la secuencia carbonática eoceno-miocénica o de una heteropía entre las Formaciones Pedernales y Sombrerito.

Depósitos cuaternarios

Entre los depósitos de origen aluvial (**q'f**), el más importante está representado por el Valle de Juancho; las únicas indicaciones relativas a la naturaleza de estos sedimentos están limitadas a pocas decenas de metros expuestas en las paredes de algunas terrazas fluviales en las cuales se observa una sucesión de niveles guijarrosos en matriz fina, arenas y limos.

Depósitos de origen análogo están presentes en la llanura de origen tectónico de El Higuero para la cual, aun no teniendo datos sobre los espesores de la cobertura aluvial, se puede suponer un espesor decididamente más reducido.

Los depósitos de relleno de la llanura de Oviedo parecen ser sólo en parte de origen aluvial, mostrando a veces a lo largo de la carretera Oviedo-Pedernales, en el borde presente al N de Manuel Golla, un aspecto que se parece a las facies de tipo eluvial.

Depósitos detríticos y/o residuales (**q'**) constituyen la llanura morfológicamente más elevada de la zona, la Sabana de la Primera Yerba.

Desarrollos consistentes de tierras residuales de alteración se observan en algunas pequeñas depresiones presentes en la parte central del área de investigación.

Depósitos finos de tipo lagunar (**q'mr**) están presentes extensivamente en la franja costera, desde la altura de la población de Juancho hasta la Laguna de Oviedo.

La perforación realizada en el curso del proyecto en proximidad de la parte costera del Valle de Juancho (Sondeo JUANCHO 1-2) ha hecho relevar la presencia de calizas cuaternarias en facies arrecifal (**tpl-qp'c**) ubicadas inmediatamente por debajo de los depósitos aluviales de la planicie. Estas calizas pueden observarse en afloramiento sólo dentro de una estrecha franja de la costa inmediatamente al N del área de estudio.

5.2 Tectónica

Desde el punto de vista estructural toda el área se caracteriza por la presencia generalizada de fallas de naturaleza distensiva marcadas a menudo por terrazamientos morfológicos.

Las direcciones de estos elementos estructurales permiten definir dos distintos trends:

- El trend NO-SE, común a toda el área de investigación, presenta mayor densidad y elementos más llamativos en la franja Sabana de Los Candelones-Llanura de Juanito, comprendiendo también los relieves ubicados inmediatamente al NE.

Aquí una serie de fallas normales determina una sucesión de depresiones o mesetas entre las montañas como la Sabana de los Candelones, la Sabana de la Primera Yerba, la Sabana de El Higuero, además del Hoyo de Pelempito, externo al área de investigación.

También la Llanura de Juancho, tanto en la génesis como en el desarrollo, está probablemente relacionada con la presencia de la gran falla de borde presente en su límite septentrional.

- El trend NE-SO resulta representado predominantemente en la parte central del área, en la zona de afloramiento de las calizas de la Formación de Neiba, entre la Llanura de Juancho y la Llanura de Oviedo, donde el cruce de este trend con el NO-SE determina un mosaico de bloques fallados en cuyos bordes se observa el desarrollo de cuencas de origen kárstico.

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 isóneas

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 reporte 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 pluviómetros 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 Junio 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 de la Península Sur de Barahona

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 Neiba, 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.

Estudio de los Recursos Hídricos, Programa Integrado para el Desarrollo del Área Rural de Juancho.

CCE-Gitec Consult GMBT, 1981

Este informe contiene el análisis de las aguas superficiales y subterráneas de los recursos disponibles para la irrigación en área de Juancho y Oviedo.

El objetivo del estudio fue evaluar los volúmenes de agua disponible en el río Nizaíto como también evaluar otras fuentes de agua disponibles cerca del esquema de irrigación.

Las conclusiones del estudio fueron que la recarga de los acuíferos presentes en las áreas consideradas puede ser suficiente para suplir agua al proyecto de riego de Juancho.

Otra conclusión es que no existe diferencia significativa en la calidad de agua subterránea y el agua superficial en la cuenca del río Nizaíto.

Plan de Desarrollo de la Zona Fronteriza (Recursos Hídricos)

Secretaria General de la OEA-Departamento de Desarrollo Regional, 1987.

Este trabajo es un compendio basado en tres informes sectoriales:

- recursos hidráulicos;
- aguas subterráneas;
- riego y drenaje.

El área de estudio comprende las provincias de Monte Cristi, Dajabón, Elías Piña, Independencia, Santiago Rodríguez, Bahoruco y Pedernales, de tal manera que el área total del estudio cubre una superficie de 9,909 km².

Las actividades del estudio se agrupan en tres fases:

La primera plantea un análisis de la situación actual de la zona fronteriza, establece sus principales problemas y potencialidades de desarrollo, define una estrategia de desarrollo para el mediano y largo plazo e identifica los proyectos específicos de inversión que fundamentan dicha estrategia

La segunda comprende la elaboración de un programa de acciones inmediatas basado en la identificación y priorización de las necesidades más sentidas de la población

La tercera tiene como objetivo la formulación y evaluación de proyectos para la elaboración de un plan de desarrollo fronterizo para el mediano y largo plazo.

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 de la Península Sur de Barahona).

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 la Península Sur de Barahona eran 30.

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 58.

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

- el 24% de los puntos (14), eran aptos sólo para medidas piezométricas;
- el 14% de los puntos (8), eran aptos sólo para medidas de calidad de aguas;
- el 28% de los puntos (16), eran aptos para medidas piezométricas y de calidad de aguas al mismo tiempo.

Esto significa que:

- el 52% de los puntos inventariados (30), eran aptos para la red de control piezométrico;
- el 42% de los puntos inventariados (24), eran aptos para la red de control de calidad de aguas;
- el 34% de los puntos (20), 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. Están muy concentrados alrededor de las tres carreteras principales de la zona: la costera, la carretera a Polo y la de Oviedo a Pedernales. Su disposición en el espacio es en general muy desfavorable para la definición de una piezometría regional.

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;
- en los pozos hechos a mano algunas veces la cantidad de agua presente es muy poca y se tienen dificultades de muestreo con el toma-muestra;
- la falta de colaboración de algunos dueños;
- la gran mayoría de los pozos existentes en la zona son privados.

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 66 o sea el 120% más de lo previsto en los términos de referencia.

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 aguas existentes están representados por pozos (el 89.4%). Solamente fue inventariado 1 manantial.
- Entre los propietarios de los pozos, los más representados son los particulares (53.0%) e INAPA (16.7%). Los pozos de INDRHI, incluyendo los realizados en el proyecto, representan el 16.7% de los inventariados. En 7 pozos (10.6%) no se pudo identificar al propietario.
- En los pozos que tienen equipos de bombeo, los tipos de bombas más representados son las eléctricas sumergibles (76.7%) y los molinos de viento (20.0%).
- Los pozos se utilizan principalmente para uso doméstico (51.5%) y para el riego (10.6%).
- Las cotas de los pozos varían entre 3 y 480 m. s.n.m. .
- Solamente en el 3% 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 37.5 metros.
- El pH de las aguas se sitúa entre 6.3 y 7.3, con un promedio de 6.9.
- La temperatura de las aguas varía entre los 24.5 y los 29.5 grados Celsius con un promedio de 27.4 grados.
- Con referencia al número total de medidas ejecutadas, la conductividad eléctrica supera los 500 microSiemens/cm en el 93.8% de los casos, los 1000 microSiemens/cm en el 56.3% de los casos y los 3000 microSiemens/cm en el 25.0% 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 aquéllas 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 aquéllas 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 interfaces dedicados a la creación de mapas. Con procedimientos análogos, siempre con la ayuda de interfaces 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 georeferir, 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 25 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 piezométrico, 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 para 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 32 puntos (466 medidas) de los cuales 30 (366 medidas) antes del huracán y 26 (74 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 22 o sea el 68.8% del total considerado. En los últimos 3 meses se añadieron 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 (466 contra un número previsto de 425), fue superior de 41 a lo previsto (+9.6%).

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 estos a nivel regional, se distinguieron las isopiezas principales desde 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 sustitución/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 **campana de mediciones mediante instrumental GPS** tenía por fin la determinación de las coordenadas plano-altimétricas de un cierto número de pozos 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.

Para la Península Sur de Barahona, los puntos trigonométricos utilizados fueron Cabral y Alcoa.

La utilización de un número tan exiguo de puntos no permitió satisfacer la condición de distancia máxima de los pozos de 15-20 km. Fue necesario, pues, instituir un nuevo punto de referencia, seleccionado siempre durante la fase preliminar de inspección, en correspondencia de la mayor parte de los pozos.

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 elipsoidales 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 aquélla 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 29 para la Península Sur de Barahona.

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.

6.4 Hidroquímica e 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 15 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;
- HNO₃ 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

campana 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 campana).

Organización de los datos

Los resultados de las actividades analíticas relativas a la calidad de las aguas se organizaron en el banco de datos dividiendolos 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 2 muestras; en todas las muestras se han determinado: Oxígeno-18 (O18), Deuterio (D) y Tritio (T).

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, 4 de las cuales dentro del área de la Península Sur de Barahona, 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 17 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 en 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 alla 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

La ausencia de manantiales aptos, no ha permitido extender el estudio a esta área.

6.4.5 Control de la salinidad y de la intrusión marina

Por lo que concierne a la red de control de la intrusión marina, son necesarios los siguientes requisitos:

- disposición a lo largo de directrices paralelas a la dirección de flujo;
- ausencia de equipos en el pozo que impidan el uso del instrumental de medición.
- características de realización del pozo adecuadas;
- accesibilidad;
- distancia relativa de los demás puntos de la red;

En este sector sólo dos pozos han resultado idóneos para la ejecución de los perfiles verticales de salinidad.

Para la ejecución de los logs para la individualización de la interfase agua dulce agua salada se utilizó una sonda multiparamétrica Hydrolab DataSonde 4. La sonda estaba dotada de sensores para la determinación de:

profundidad (m, $\pm 0,3$ m, de 0 a 200 m)
conductividad eléctrica compensada a 25°C (mS/cm, 1%, de 0 a 100 mS/cm)
temperatura (°C, $\pm 0,01$ °C, de -5 a 50 °C)

Antes de comenzar cada perfil los operadores de campo seguían los procedimientos previstos por la empresa constructora para la verificación tanto de la calibración del instrumento como de la correcta funcionalidad de la parte electrónica.

Las mediciones se efectuaron en bajada respetando un tiempo mínimo de lectura de

aproximadamente 1', para estabilizar el instrumento.

Los datos medidos se registraban tanto en el datalogger como en fichas apropiadas para garantizar la seguridad de la medición también en caso de avería del instrumento.

Organización de los datos

Los resultados de las actividades relativas a los perfiles de salinidad se organizaron en el banco de datos ilustrando:

- fecha;
- análisis de laboratorio;
- profundidad de la tabla de agua;
- temperatura del aire;
- temperatura del agua;
- conductividad eléctrica.

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

- red de control de la intrusión marina;
- n° de inventario del punto.

6.5 Geofísica

En esta área no se realizaron prospecciones geofísica por el hecho de que la misma fue ya objeto de un buen estudio, cuyos resultados se tomaron en cuenta para las diferentes actividades del proyecto.

6.6 Realización de sondeos de exploración, de pozos de observación y de ensayos de bombeo

6.6.1 Realización de los sondeos de exploración y de los pozos de observación

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 la Península Sur de barahona:

- Mejorar el conocimiento geológico-estratigráfico del área de estudio.
- Adquirir datos relativos a los parámetros hidráulicos de los acuíferos (T, K, S).
- Averiguar la cantidad de agua extraíble en pozos en las formaciones carbonáticas.
- 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 la Península Sur de Barahona:

Sondeos entubados a aprox. 7”

- de profundidad inferior a 75 m	1
- de profundidad entre 75 y 150 m	2
- 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	-
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.

Objetivos y cantidades de los pozos de observación

El objetivo de estos sondeos era permitir el control de las variaciones piezométricas en zonas de recarga directa y ponerla en comparación con los parámetros climáticos para estudiar las relaciones que controlan la recarga. Para obtener los datos necesarios para lograr este objetivo, los 3 sondeos previstos se ejecutaron al lado de 3 de las estaciones meteorológicas instaladas en el proyecto, se les instaló un sensor de nivel (limnógrafo) y se conectó a uno de los canales disponibles en la unidad de adquisición de los datos de las estaciones. Esto va a permitir obtener en el mismo lugar las variaciones en el tiempo de los parámetros climatológicos (lluvia, temperatura, humedad, radiación solar) y las del nivel piezométrico, datos necesarios para el estudio de la recarga y de sus variaciones en función de los parámetros implicados.

De los 3 pozos de observación previstos, 1 se ejecutó en la Península Sur de Barahona, al lado de la estación meteorológica de Juancho, en zona de caliza arrecifal y su cobertura. El pozo se entubó como estaba previsto a 7": Su ubicación es visible en la Fig. 6.6.1/1 y un resumen de sus datos en la tabla 6.6.1/1.

Metodología de perforación adoptada

Los 4 sondeos de la Península Sur de Barahona (4 de exploración y 1 de observación) se ejecutaron utilizando, entre las tecnologías aplicadas en el País, las que mejor se adaptaban a la litologías esperadas y a la obtención de los datos requeridos.

Tomando en cuenta estos factores se realizaron entonces:

- 1 sondeo con rotación directa y circulación de lodo;
- 3 sondeo3 con rotación directa y circulación de aire/espuma.

Según el siguiente esquema:

- a) Perforación con el diámetro adecuado (superior al diámetro final previsto) de los terrenos más superficiales, sueltos o que pudieran tener problemas de estabilidad, hasta encontrar la roca o terrenos más estables;
- b) Introducción de una tubería provisional de diámetro adecuado;
- c) Continuación de la perforación con diámetro reducido (final previsto) hasta la profundidad requerida;
- d) Limpieza del sondeo con aire/agua o productos adecuados en caso de utilización de polímero;

- e) 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);
- f) Introducción de grava entre la tubería y las paredes del sondeo hasta dos metros más arriba de la profundidad donde se encuentran los tubos ranurados más superficiales;
- g) Limpieza y desarrollo del sondeo con aire y/o bomba. Se completa también el relleno de grava si se ha compactado durante estas operaciones;
- h) Realización de un tapón de arcilla de alrededor 2 metros;
- i) Extracción de la tubería provisional;
- j) 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;
- k) Realización de la cementación de los últimos 5 metros para protección sanitaria del acuífero;
- l) Realización en la superficie de una base de cemento cuadrada de 1 metro de lado;
- m) 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 2 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 en 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 ha sido efectuada 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 tienen 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 3 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 instalaron las estación meteorológicas de El Platón Villa Nizao (Paraiso) y de Juancho;
- en el mes de agosto del año 1999, consiguientemente a una variante de proyecto, se instaló la estación de Paso Sena (Pedernales), para garantizar un conocimiento más completo de las características climáticas del territorio de interés;

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;
- 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 sea del régimen climático, que de la marcha de la precipitación y de la velocidad del viento asociada al paso del huracán George en el mes de septiembre 1998.

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 9 lugares idóneos, en particular 7 secciones en cauces naturales y 2 en el canal de riego Nizaíto, 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 6 secciones de aforos de las cuales 1 relativa al canal de riego Nizaíto.

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, 9 se instalaron en la Península Sur de Barahona, distribuidas en 6 estaciones, de las cuales, 4 pertenecientes a la vieja red de control del INDRHI y 2 nuevas.

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 Nizaíto cerrada en Villa Nizao, 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:

1. individuación de las estaciones pluviométricas de referencia (datos meteorológicos de entrada: precipitación);
2. 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);
3. análisis de los datos de caudal medidos (hidrogramas) en la sección de control para la calibración del modelo matemático;
4. 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);

5. 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, 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;
 - 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** 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 la Península Sur de Barahona; 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** 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:

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 3 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 30 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 2 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 regadas
- 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 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~~ ~~tes~~ ~~cias~~ 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 5ª 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 esta área no se ha procedido a la instalación de contadores volumétricos visto el número exiguo de los pozos existentes como así también la entidad despreciable de las tomas en acto.

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.

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). 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.

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-escurrentía), 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);

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 9/6 para Península Sur de Barahona) 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 relevancia hidrogeológica 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 relieve 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).

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 aquellas donde se debió forzar de todos modos la interpretación de por lo menos uno de los factores D y S.

En consideración del hecho de que la cartografía de vulnerabilidad constituye un instrumento de planificación territorial, las limitaciones areales impuestas por la no disponibilidad de algunos de los factores DRASTIC, aun excluyendo sectores también amplios de la entera área de estudio, hacen que tal exclusión sea “indolora”, estando dichos sectores constituidos principalmente por relieves inaccesibles y escasamente poblados, para los cuales no parece razonable imaginar alguna forma de desarrollo en tiempos cercanos.

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).

En la distribución de los valores de la recarga neta en el área de estudio, juega un papel preponderante la fuerte disminución de las precipitaciones que se observa partiendo desde las laderas de la Sierra de Bahoruco en dirección de Oviedo – Manuel Golla.

En este caso, no obstante la existencia de sectores de elevada karsificación en el margen oriental del área, los valores de infiltración más altos son de pertinencia de los depósitos aluvionales presentes a las espaldas de los relieves septentrionales.

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 las calizas de la meseta central se les asignó un valor igual a 6, incrementado a 10 en el sector occidental, donde los fenómenos de disolución kársica se vuelven decididamente consistentes.

Las facies calcáreas arrecifales que constituyen parte del sistema acuífero de la Planicie de Juancho fueron consideradas como las calizas terciarias arriba mencionadas.

Un puntaje reducido a 4 fue atribuido en cambio a las facies acuíferas marnosas que

caracterizan tanto al sector entre Juancho y Oviedo como a la Planicie de El Higuero. A los acuíferos aluvionales se les asignó un puntaje igual a 6 en presencia de un apreciable componente pelítico, mientras que para el sector ubicado por arriba de Manuel Golla, en virtud del mayor tamaño de los elementos constituyentes, se consideró más indicado un puntaje igual a 8.

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

<i>Tipo de acuífero</i>	<i>Puntajes</i>
Calizas terciarias y cuaternarias	6
Calizas karsificadas	10
Depósitos aluvionales	6 - 8
Marnas estratificadas	4

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 este sentido, las asunciones más importantes están representadas por la asignación del valor 10 tanto en el área de intensa karsificación, donde los suelos resultan estar generalmente ausentes, como a los depósitos aluvionales al N de Manuel Golla, donde el material que aflora está constituido principalmente por elementos gruesos.

En la zona de afloramiento de las calizas terciarias se consideró, sobre la base de las observaciones en el terreno, que el valor 7, correspondiente a suelos con reducida fracción pelítica, pudiese representar de la mejor manera posible a este sector.

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	SB	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>
Arenas y gravas con matriz	6-8
Depósitos arcillosos	2
Calizas terciarias	7
Calizas terciarias karsificadas	10
Marnas estratificadas	6

La variación del puntaje de pertinencia de las arenas y guijarros con matriz, es consiguiente a una granulometría más gruesa de los depósitos aluvionales del sector meridional respecto de los que constituyen las planicies de Juancho y El Higuero.

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 7.10^{-5} y 9.10^{-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 aluvionales que caracterizan a las Planicies de Juancho, Oviedo y El Higuero, caracterizados por granulometrías variables, tanto en niveles segregados como en depósitos mixtos, se les asignó el valor unívoco igual a 6.

A las calizas arrecifales, que constituyen parte del sistema acuífero local en la Planicie de Juancho, por debajo de los depósitos aluvionales, se les atribuyó análogamente un puntaje igual a 6. Podría ser necesario, sin embargo, empeorar el puntaje en caso de que se verificase la probable existencia in situ de fenomenologías de disolución kársica. Con relación a los acuíferos fisurados, a las calizas terciarias se les asignó un valor igual a 4, incrementado a 10 en los sectores con elevada densidad de fenómenos kársicos, mientras que a los acuíferos marnosos estratificados se les asignó un puntaje igual a 2.

La síntesis de los puntajes atribuidos es la siguiente:

<i>Facies acuíferas</i>	<i>Puntajes</i>
Depósitos aluvionales	6
Calizas cuaternarias	6
Calizas terciarias	4
Calizas terciarias karsificadas	10
Marnas estratificadas	2

Los puntajes obtenidos para cada uno de los factores, para los cuales, como ejemplo, se ilustran en las Figs. 6.11.2/1 y 6.11.2/2 las distintas distribuciones areales, permitieron la redacción del mapa de vulnerabilidad en escala 1:100000 (Mapa 10/6).

Además de la clasificación en términos de clase de vulnerabilidad intrínseca, en el mapa están ilustrados también los centros de peligro potencial censados en el área de estudio.

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 de la entera área de estudio, incluyendo sobre todo el sector de la llanura de Juancho, hasta el divisorio septentrional a lo largo de la Sierra de Bahouruco, y al S el sector de Oviedo.

El modelo fue calibrado en condiciones estacionarias, teniendo como referencia la piezometría interpretada sobre la base de las pocas informaciones (promedio del período 9/97 – 9/98), por lo general concentradas en el área de Juancho, a lo largo del valle que se extiende desde esta última hacia el Ojo de Pelempito, y en el sector inmediatamente al NO del pueblo de Oviedo. 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 pueden hipotetizar espesores considerables. 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, cuya base se va gradualmente ahondando de NO en dirección SE, hacia el mar Caribe. Las variaciones de cota de calibración son consistentes, pasando de pocas decenas de metros sobre el nivel del mar al NO hasta algunos centenares de metros a lo largo de la costa. En general se trata de un esquema de bloques relativamente distintos, para los cuales es legítimo imaginar una influencia importante de la tectónica en escala regional. Por lo que atañe a las permeabilidades, se evaluaron en el curso de proceso de calibración con valores medio-bajos para las formaciones calcáreas y margosas presentes en afloramiento y valores muy elevados para las calizas arrecifales. En particular para estas últimas se hipotetizó su continuación en profundidad, por debajo de los depósitos sedimentarios del valle de Juancho, tanto en relación con los bajísimos gradientes piezométricos como con la evidencia de su existencia en una de las nuevas perforaciones. El papel de los cursos de agua es en esta área sustancialmente marginal. Por lo que atañe a la recarga se hizo sustancialmente referencia a los resultados del estudio hidrológico.

El modelo fue integrado con la individualización de las tomas para uso potable/agrícola (llanura de Juancho, ciudad de Oviedo), por cuanto los valores globales son mínimos y casi despreciables. Agréguese luego que los recursos hídricos normalmente explotados son sobre todo los superficiales del canal Nizaíto.

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.

Las formaciones porosas son de edad cuaternaria y se caracterizan según una distinción básica en:

- Porosas, sede de acuíferos extensos y productivos, de permeabilidad normalmente alta. En este grupo, se individualizan el área de la llanura de Juancho y los sedimentos de los valles de El Higuero y de Sabana de la Primera Yerba (dirección estructural Juancho-Ojo de Pelempito), como las áreas al O del pueblo de Oviedo y de Manuel Golla en la extremidad SO de la Península. En realidad, llanura de Juancho a parte, las otras áreas citadas se caracterizan por depósitos clásticos de espesor limitado arriba de formaciones calcáreas; los acuíferos existentes son en nuestra opinión interpretables como efecto de intercalaciones sedimentarias finas que juegan el papel de base de baja permeabilidad.
- Porosas, sede de acuíferos locales y discontinuos, de permeabilidad moderada o variable. Las áreas que hemos clasificado en este grupo son las que se encuentran en proximidad de la laguna de Oviedo, cerca del pueblo de Oviedo y al NE por algunos kilómetros. Se trata de formaciones finas de tipo lacustre, relacionadas con la historia reciente de la evolución de la laguna de Oviedo consecuentemente a una probable continuidad con el Mar Caribe. Fenómenos generalizados de intrusión de agua salobre indican estas formaciones como de interés casi nulo, además de las características granulométricas.

Las formaciones fisuradas son rocas calcáreas y margosas con fenómenos kársticos generalmente muy importantes, como es evidente sea de los alineamientos tectónicos y líneas de fracturación, como de las morfologías características de áreas kársticas (ej. barrancos) en los sectores de baja cota, en la parte SO de la Península. Siempre de acuerdo con la leyenda de referencia, se distinguen dos grupos en esta área:

- Fisuradas, sede de acuíferos extensos y productivos, de permeabilidad normalmente alta. En este grupo, se individualiza la mayoría de las formaciones con caliza predominante (teo-tol'c), cuya extensión areal es muy importante y que caracterizan al régimen de flujo subterráneo de la región. Característico de los sectores fracturados, el examen fotogeológico es determinante para definir las condiciones estructurales optimales (direcciones de fracturación, líneas de falla) de búsqueda de

recursos hídricos subterráneos (ver geología y análisis estructural).

- Fisuradas, sede de acuíferos locales y discontinuos, de permeabilidad moderada o variable. Hemos clasificado en este grupo a las formaciones constituidas por calizas y margas (tols-tmim'cm) que se extienden desde Oviedo hasta la llanura de Juancho (Colonia Juancho) y, sobre todo, el sector al N y NO de la llanura de Juancho. Esta clasificación no implica que recursos hídricos importantes y explotables puedan encontrarse en el área, pero evidencian la presencia de litologías menos karstificadas o permeables. En analogía con cuanto ya discutido en el punto anterior, condiciones estructurales optimales tienen que ser individualizadas por medio de la fotointerpretación y, tomando en cuenta el papel importante del alineamiento estructural Valle de Juancho-Ojo de Pelempito y los gradientes piezométricos elevados, consideramos que el sector tiene sin embargo un gran interés hidrogeológico.

Al conjunto de las distinciones operadas arriba, se vuelve oportuno agregar una ulterior unidad hidrogeológica constituida por:

- Formaciones calcáreas bioconstruidas, sede de acuíferos extensos y productivos, de permeabilidad de medio-alta a elevada.

A esta unidad hay que atribuir la secuencia de las calizas arrecifales halladas en la base de los depósitos aluviales en la parte costera de la llanura de Juancho.

Los terrenos acuíferos de esta franja están caracterizados por una elevada permeabilidad primaria por cavidades y microcavidades sindeposicionales.

La valencia hidrogeológica local de esta unidad no es evaluable hasta el día de hoy porque faltan elementos suficientes que permitan definir, plausiblemente, su extensión y la potencia en el sector investigado.

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 datos indican valores muy diferentes de transmisividad, o sea respectivamente desde 3.50×10^{-5} y $6.08 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$.

En detalle el pozo con código 6816, donde se midió el valor más alto, está ubicado no lejos de la cuesta en el límite NE de la llana de Juancho, pues se puede justificar con la buena permeabilidad de las calizas arrecifales.

En el norte de la llana formaciones carbonático-margosas indican una marcada disminución debida a la presencia de formaciones carbonático – margosas (véase el mapa hidrogeológico).

El coeficiente de almacenamiento medido es típico de acuíferos cautivos, confirmando lo dicho anteriormente.

7.1.2 Pozos, sondeos y manantiales

Un único manantial está monitoreado entre Oviedo y Colonia Juancho. Sobre la base de las informaciones disponibles prevalece una circulación por fracturación y de todas maneras los niveles piezométricos, generalmente profundos con respecto al nivel del terreno, justifican esta situación.

Los pozos (y sondeos) son pocos y distribuidos en todas las áreas llanas del sector de Juancho hasta la carretera Oviedo-Pedernales en la parte SO, con la excepción del área al S de Juancho hasta la laguna de Oviedo, por causa de los extensos fenómenos de salinización y consecuentemente del limitado interés agrícola. Muchas de las otras perforaciones se encuentran al NO de Arroyo Dulce a lo largo del alineamiento

tectónico Juancho-Ojo de Pelempito, en las proximidades de la carretera que sube hasta El Naranjal y El Higuero, y sobre todo en las formaciones cuaternarias porosas que llenan la depresión de El Higuero. Más al NO, se encuentran otras depresiones a cotas más elevadas, pero de interés agrícola nulo. Ninguna perforación está monitoreada en estos últimos sectores.

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 11/6 (ver Entrega final – Mapas – Mapas Piezométricos) y/o en el Mapa 9/6 (ver Entrega Final – Mapas – Mapas Hidrogeológicos)

Los datos piezométricos disponibles permiten la definición del comportamiento piezométrico general, sobre todo con referencia al sector NO del valle de Juancho y de las depresiones kársticas que se extienden en dirección del Hoyo de Pelempito, y de una manera muy general en el sector al O del pueblo de Oviedo. En este último, los gradientes son pequeños (alrededor del 2.5 por mil). Además, considerando los objetivos del proyecto en esta área de estudio y el hecho de que nos encontramos próximos a la terminación del canal Nizaíto, es bien evidente que el interés específico es muy limitado.

Muy diferente es la situación más al N, considerando las potencialidades agrícolas de la llanura de Juancho y la disponibilidad de recursos hídricos superficiales por medio del canal Nizaíto. Los pozos ubicados en la llanura en el triángulo Juancho, Los Cocos y Arroyo Dulce, y los que, a cotas más elevadas, se encuentran en el sector de El Naranjal y El Higuero, permiten la definición de una piezometría cuyos elementos básicos son: gradientes elevados en el sector montañoso al N y NO de Arroyo Dulce con direcciones de flujo de NE hasta SO. El alineamiento estructural Juancho-Ojo de Pelempito podría jugar un papel drenante a nivel regional, pero las pocas indicaciones en este sentido son las que se encuentran a lo largo de la curva de nivel 100 m y en general no existen pozos monitoreados en el lado derecho del valle. En el sector llano, el gradiente piezométrico se reduce significativamente hasta valores del orden de 1 por mil.

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 3.6/1 se visualiza distribución de los valores piezométricos máximos y mínimos a lo largo del año hidrológico.

Los mínimos se observan esencialmente entre Mayo y Julio.

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

Las variaciones anuales son muy reducidas y nunca superan 1 m.

Por lo que atañe a las variaciones de los niveles medios después de 1970, no se tienen datos para evidenciar la evolución de los mismos.

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 50 cm. Las cotas subieron en el 81.0% de los puntos, con una variación en gran parte inferior a los 50 cm (en el 57.1% de los puntos).

Proposición de una red de control piezométrico

En esta área los puntos aptos ilustrados en el Mapa 2/6 son en total 22. De éstos, el 86.4% (19 puntos) no tienen bombas instaladas: el restante 13.6% (3 puntos) están equipados con bomba.

La red de control escogida cuenta con 11 puntos, de los cuales 2 (18%) están dedicados solamente a la red y 9 (82%) son privados. Los puntos de la red sin bomba son 10 (91%) y con bomba instalada solo 1 (9%).

En esta área se ha podido lograr la proposición de una red casi ideal, donde la gran mayoría de los puntos no están equipados con 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 mas arriba indicados: se concentran en las zonas que tienen obras de captación, es decir a lo largo de las carreteras principales a Pedernales y a Polo.

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.

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.

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 60 muestras

En esta área la red de control resulta estar constituida por 15 puntos, la variación del número se debe a la disponibilidad a veces esporádica de algunos puntos.

En general en esta área se releva la presencia de dos tipologías de comportamiento:

- aguas de composición estable tanto a nivel de relaciones iónicas como de salinidad;
- aguas con bruscas variaciones en las relaciones iónicas.

Las variaciones no parecen deberse a razones climáticas, o sea no resultan estar relacionadas con la alternación entre temporada de lluvias y temporada seca.

El análisis comparado de los datos de todos los pozos muestreados en la zona pone en evidencia tres tipologías:

- aguas donde predomina siempre el par bicarbonato calcio;
- aguas donde predomina siempre el par cloro sodio;
- aguas donde generalmente predomina el par bicarbonato calcio, y ocasionalmente predomina el par cloro sodio.

Basándose en las informaciones recopiladas durante las operaciones de muestreo es posible formular la hipótesis, para los puntos de composición química variable, de una correlación directa entre la duración del bombeo, efectuado en las horas anteriores al muestreo, y el peso del componente clorurado-alcalino hallado.

La clasificación de las aguas del área comprende (Fig. 7.1.4/1-a,-b,-c,-d):

- aguas bicarbonato alcalino-térreas;
- aguas clorurado alcalinas;
- aguas mixtas bicarbonato alcalino-térreas, temporáneamente clorurado alcalinas.

La clasificación pone en evidencia el papel fundamental jugado en el área por las aguas bicarbonato alcalino-térreas, representativas de la recarga regional, y por las aguas clorurado-alcalinas, representativas de la intrusión marina, por lo menos a lo largo de la franja costera. Queda más problemática y por ahora sin solución, la presencia de estas últimas en el sector septentrional en las áreas más internas.

De la investigación específica sobre la calidad potable de las aguas subterráneas

emerge cómo (véase Anexo 8) el cuadro cualitativo en dicha área muestra un evidente, pero no generalizado, comprometimiento de las aguas subterráneas a lo largo de la franja costera, causado por fenómenos de salinización inducidos por la intrusión de agua marina.

En las zonas lejanas de la costa del área de Oviedo la calidad química de las aguas se vuelve generalmente aceptable.

Alejándose ulteriormente de la costa hacia el interior las aguas mejoran cualitativamente manteniendo sin embargo un residuo fijo sobre el umbral de tolerabilidad.

En dirección NE, en los primeros contrafuertes de la Sierra de Bahoruco, y específicamente en las mesetas de El Naranjal y de El Higuero, se señalan para algunos de los pozos considerados indicios de criticidad intermitente vinculados con la presencia, no generalizada, de magnesio (El Higuero), Nitratos y Residuo Fijo (El Naranjal).

En síntesis el cuadro que emerge es el de una potabilidad fuertemente reducida en la parte costera debido a fenómenos más o menos extendidos de contaminación con agua marina, mientras que en las zonas internas, salvo una sola indicación de decaimiento vinculado con factores antrópicos (nitratos), los parámetros que ponen en riesgo a la potabilidad de las aguas subterráneas son de origen generalmente natural estando vinculados con la carga que deriva de la interacción de las aguas subterráneas con litotipos generalmente calcáreos.

El cuadro local no resulta ser particularmente estimulante; en el área no están presentes campos de pozos utilizados para el acueducto y los pocos pozos presentes, todos de propiedad de INAPA, no parecen estar en condiciones de satisfacer las exigencias hídricas de las poblaciones locales.

Los posibles desarrollos locales parecen estar fuertemente condicionados por la presencia de acuíferos costeros con riesgo de salinización, mientras que en las partes internas las limitaciones están representadas por lo general por la distancia respecto de los usuarios mayores, colocados predominantemente a lo largo de la costa, y por las elevadas profundidades de los acuíferos mismos, cuya productividad parece ser por lo demás más bien contenida.

Debido a una mayor alimentación en las alturas, se puede considerar que los acuíferos situados a las espaldas de los relieves de la Sierra de Bahoruco ofrezcan mayores potencialidades, tanto en términos cualitativos como cuantitativos, a los fines del hallazgo de aguas a destinar al consumo humano.

7.1.5 Salinidad e ingresión marina

Para obviar a la escasez de puntos idóneos para la ejecución de los perfiles verticales de salinidad, en las zonas costeras de proyecto el análisis a los fines de la individualización del fenómeno de la intrusión marina se extendió a todos los puntos de la red de control de la calidad. Para alcanzar el objetivo se llevó a cabo un análisis del contenido de cloruros relevado en todas las muestras analizadas, seleccionando punto por punto aquella con el tenor más elevado. La clasificación presentada en el Mapa de la intrusión marina (Mapa 5) fue elaborada sobre la base de una escala subdividida en cuatro clases:

$Cl \leq 100$ mg/l;
100 mg/l < Cl < 250 mg/l;
250 mg/l < Cl < 1000 mg/l
Cl \geq 1000 mg/l.

Las clases propuestas se definieron en función de los siguientes objetivos:

- Caracterizar las aguas inalteradas;
- Poner en evidencia la evolución de las aguas, quedando en el interior de los límites de potabilidad válidos en la República Dominicana;
- Poner en evidencia los procesos de comprometimiento en acto;
- Poner en evidencia los comprometimientos irreversibles.

Por último se analizaron los perfiles verticales de salinidad efectuados para la evaluación tridimensional del fenómeno.

Una situación análoga a la encontrada para la zona de Azua está presente en la Península Sur de Barahona; también en este caso están presentes sólo dos perfiles, ubicados en el sector meridional del área. En las cercanías de la línea de costa el acuífero investigado presenta una salinidad muy elevada ya desde la superficie piezométrica y luego un aumento ulterior en profundidad. En el interior la situación resulta ser en cambio más que normal, con valores no muy altos y estables hasta la profundidad máxima investigable de 33 m bajo el nivel estático.

Sobre la base de los criterios arriba expuestos, la distribución de los cloruros en esta área (Mapa 5) pone en evidencia el grave fenómeno de salinización de las aguas subterráneas, sintetizado en la figura 7.1.5/1 en la cual están distinguidas las áreas con comprometimiento en acto de aquéllas que corren potencialmente el riesgo de comprometimiento.

7.1.6 Resultados análisis isotópicas

Anteponiendo que la exigüidad de los valores disponibles causa grandes incertidumbres en la interpretación, en el gráfico Oxígeno-18 – Deuterio (Fig. 7.1.6/1), uno de los puntos se coloca sobre la recta meteórica mientras que el otro se coloca a lo largo de la recta de enlace entre la muestra anterior y la composición del agua marina.

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 800 y los 1300 metros.

El contenido de Tritio coloca la muestra representativa de la recarga en el ámbito de las aguas que se infiltraron antes del pico registrado en 1961, mientras que la muestra contaminada con agua de mar resulta vinculada a una recarga actual.

7.1.7 Relaciones ríos-acuíferos

En conjunto hay numerosos fenómenos cársticos y en las partes más bajas se infiltra toda la precipitación eficaz sin llegar a producirse escorrentía superficial y aun la escorrentía, en particular el flujo base, que llega desde zonas más altas se pierde por infiltración en los cauces y vuelve a integrarse al agua subterránea.

En condiciones de escorrentía natural no hay ningún río que fluya en régimen permanente al sur de los ríos Nizaíto y Los Patos, fuera del área de interés en dirección NE.

7.1.8 Evaluacion de la recarga - infiltración eficaz

La zona hidrogeológica de interés, la cual se presenta en la Fig. 7.1.8./1 sacada del Mapa 9/6: Mapa hidrogeológico Península sur de Barahona, tiene un área total de 518.6 km², una precipitación promedio anual de 1071.6 mm y una evapotranspiración potencial de referencia de 1636.6 mm.

Ésta se caracteriza, por lo que atañe a las áreas de recarga directa, por formaciones porosas (azul), de permeabilidad de media a baja, y formaciones fisuradas (verde), con acuíferos de permeabilidad alta y medio-baja, las cuales, en conjunto, tienen una superficie de 509.4 km², esto es el 98% de la superficie total.

En conjunto hay numerosos fenómenos cársticos y en las partes más bajas se infiltra toda la precipitación eficaz sin llegar a producirse escorrentía superficial y aun la escorrentía, en particular el flujo base, que llega desde zonas más altas se pierde por infiltración en los cauces y vuelve a integrarse al agua subterránea. En condiciones de escorrentía natural no hay ningún río que fluya en régimen permanente al sur del río Nizaíto.

En términos generales, las aguas subterráneas proceden de tres fuentes:

- recarga pluvial directa;
- infiltración de escorrentía superficial (flujo base) en los cauces (sub-zonas n°5-9);
- recarga lateral.

En conjunto, teniendo en cuenta las características morfológicas, hidrogeológicas e hidrológicas, han sido individuadas 11 sub-zonas homogéneas (véase cap. 6.8.3, Fig. 7.1.8./1 y Anexo Memorias n° 14).

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

- del régimen hidrológico del río Nizaíto en la estación de Villa Nizao reconstruido por medio del modelo lluvia-escorrentía (cap. 6.8.4, 7.2.3 y Anexo Memorias n° 15), con referencia a las formaciones fisuradas;
- de la marcha climática medida en las estaciones meteorológicas de Oviedo y de Enriquillo, con referencia a las formaciones porosas.

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): $63.62 * 10^6 \text{ m}^3/\text{a};$
- años secos (T=5 años): $72.53 * 10^6 \text{ m}^3/\text{a};$
- año medio: $96.50 * 10^6 \text{ m}^3/\text{a};$
- años húmedos (T=5 años) $116.10 * 10^6 \text{ m}^3/\text{a};$
- años húmedos (T=10 años): $129.83 * 10^6 \text{ m}^3/\text{a}.$

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-zonas 1 y 2: 203-238-315-380-420;
 - sub-zona 3: 125-145-190-230-260;
- frontera oeste:
 - sub-zonas 1 y 2: 185-210-280-340-375;
 - sub-zona 4: 158-185-245-292-332;
 - sub-zona 6: 130-145-195-230-260;
 - sub-zona 9: 110-130-170-205-225.

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 una explotación distribuida en 10 puntos de bombeo a lo largo de un eje de rumbo NO-SE que desde la llanura de Juancho se extiende por unos algunos kilómetros. El modelo de base es el calibrado en condiciones estacionarias, con la piezometría inicial igual a la calculada con base en la simulación en estacionario. Después de algunas tentativas con caudales diferentes, decidimos comentar la prueba con un caudal total de $0.1 \text{ m}^3/\text{s}$, por lo tanto muy pequeño si se lo compara con los caudales necesarios para alimentar al canal Nizaíto.

Recordamos brevemente que esta área se caracteriza principalmente por condiciones generales de sequía, sea por la completa falta de recursos hídricos superficiales aprovechables, sea por las condiciones de fuerte comprometimiento cualitativo de las aguas subterráneas, afectadas por difundidos fenómenos de salinización por lo menos en la llanura de Juancho. El proyecto de realización del canal Nizaíto, que desde el río Nizaíto (fuera del área de estudio en dirección NE) se extiende hasta la ciudad de Oviedo, cruzando la llanura de Juancho al O, tenía como objetivo principal la solución de este problema, con un caudal de diseño de alrededor de los $3.5 \text{ m}^3/\text{s}$. En realidad los caudales de operación quedaron muy por debajo, generalmente alrededor de los $0.5 \text{ m}^3/\text{s}$ con máximos ocasionales de alrededor de los $2 \text{ m}^3/\text{s}$.

Los resultados de la simulación indican, a pesar del caudal total muy pequeño, un

impacto muy fuerte sobre el sistema acuífero subterráneo, con variaciones máximas del orden de los 15 m. Obviamente trátase de informaciones indicativas, sobre todo considerando la campaña de perforación realizada a lo largo del proyecto que testimonia – en escala local - una gran variabilidad de las condiciones hidráulicas y tal vez condiciones de circulación propias de sistemas fracturados. Podemos por lo tanto concluir que, a menos se verifiquen condiciones muy favorables a nivel local (sistema de fracturas de alta permeabilidad), el sistema aparece poco apto para una explotación significativa de los recursos hídricos subterráneos.

7.1.10 Recursos hídricos y reservas hídricas

El sistema acuífero subterráneo de la Península Sur de Barahona se caracteriza por una cierta riqueza de recurso potencialmente aprovechable. La recarga directa por infiltración ha sido estimada en efecto en el ámbito del estudio hidrológico (Anexo Memorias n° 14) en un valor total del orden de los $96.5 \cdot 10^6$ m³/año sobre una superficie total útil de 509 km², con referencia a un año promedio. Se trata de un valor cotejable con el utilizado en el ámbito de las actividades de modelización ($108 \cdot 10^6$ m³/año), teniendo en cuenta que estas últimas se han extendido de todas maneras hacia el NE hasta el divisorio de aguas principal. Aun en las condiciones más críticas de años secos con tiempo de retorno igual a 10 años, el valor total estimado en el orden de los $63.6 \cdot 10^6$ m³/año (-41% respecto de la referencia promedio anterior) permanece muy elevado.

Como se puso en evidencia en el capítulo anterior, el papel de los cursos de agua en esta área es muy limitado; ningún río llega hasta el mar y la totalidad de los mismos tiene un régimen esporádico y torrencial; los únicos cursos de agua de interés, aunque están lejos (hacia el NE) y fuera del área de estudio, son el río Nizaíto y el río Los Patos. Del río Nizaíto se origina el canal homónimo, el cual representa la única fuente de recursos hídricos superficiales para riego de la planicie de Juancho hasta la ciudad de Oviedo, en el límite meridional del área de estudio. El río Los Patos, actualmente objeto de una toma por parte de INAPA destinada al suministro en escala local, podría constituir teóricamente una fuente de abastecimiento adicional para el canal Nizaíto. Quedando estrictamente en el área de estudio, la neta predominancia de utilización de los recursos superficiales, puestos a disposición actualmente a través del canal Nizaíto, se debe también a las condiciones cualitativas más bien desfavorables de las aguas subterráneas y en particular a un discreto nivel de salinidad. En términos generales, tanto el canal como indirectamente las aguas de riego pueden contribuir a un efecto indirecto de recarga del sistema subterráneo, que de todas maneras ha sido evaluado como despreciable en porcentaje respecto de la recarga directa en el ámbito de las actividades de modelización de las aguas subterráneas.

Para concluir pues podemos sintetizar que la estimación de la recarga directa es en su conjunto representativa de la recarga total. Obviamente, además de la referencia al año promedio (utilizado en el curso de las actividades de modelización de las aguas subterráneas) debe tenerse en la debida cuenta la referencia al año seco con tiempo de retorno igual a 10 años, en cuanto es representativo de las condiciones de mayor criticidad.

7.1.11 Utilización de las aguas subterráneas

Las explotaciones son en esta área de entidad extremadamente limitada. No existen

centros importantes (Oviedo y Enriquillo son pueblos muy pequeños) y la población es de pocos millares de unidades. Las actividades agrícolas están casi exclusivamente limitadas a la planicie de Juancho y, por los citados problemas cualitativos, se prefiere recurrir a las aguas superficiales de pertinencia del canal Nizaíto.

La evaluación cuantitativa de la entidad de las explotaciones es difícil, pero de todas maneras menos crítica que en otras áreas. Los valores son bajos o casi despreciables, como indican las pocas estimaciones de campo disponibles, en correspondencia de pozos INAPA (total del orden de los 100000 m³/año, en el sector que desde Oviedo se extiende hacia el O). También por esta razón, no se han instalado contadores volumétricos en esta área.

7.1.12 Vulnerabilidad

Los resultados de la aplicación del método DRASTIC dentro del área de estudio, reproducidos en el mapa 10/6, delinean un cuadro de la vulnerabilidad local que puede detallarse de la siguiente manera.

La vulnerabilidad del territorio varía generalmente de baja a alta, con presencia de áreas extremadamente reducidas de vulnerabilidad más elevada, confinadas en los márgenes de la laguna de Oviedo, diferenciadas de los sectores superiores por la presencia de una tabla de agua más superficial.

En términos globales, la porción oriental, centrada aproximadamente en el centro poblado de Manuel Golla, debido a la constitución litológica local, calcárea con desarrollo de karsismo consistente, resulta ser aquella con mayor riesgo potencial, con índices DRASTIC que la colocan en la clase de alta vulnerabilidad, aunque la presencia simultánea de condiciones generalmente “de sequía” y de subyacencias extremadamente elevadas concurren a contener sensiblemente los valores obtenidos.

Sectores menos extensos pertenecientes a la misma clase de vulnerabilidad se individualizan también en las cercanías de Juancho y entre Los Cocos y Mencia, donde la textura de los suelos, determinando una menor protección local, es suficiente para producir un salto de estas áreas a la clase de vulnerabilidad alta.

Sectores de vulnerabilidad intermedia caracterizan tanto a las mesetas calcáreas no karsificadas de la zona central, como a la parte frontal de los terrenos calcáreo-marnosos de la franja costera y a las planicies aluvionales de Juancho y El Higuero.

Con relación a la Planicie de Juancho, por las consideraciones hechas en el párrafo 6,11.2 del presente informe, con relación a la presencia de facies calcáreas arrecifales subyacentes a los depósitos aluvionales, podría ser oportuno considerar también un planteo más “cauto” en la evaluación de este depósito, con consiguiente incremento local del índice de vulnerabilidad DRASTIC.

Las condiciones de mayor protección de los acuíferos se determinan en las zonas de afloramiento de los terrenos calcáreo-marnosos (planicie de El Naranjal, alineamiento tectónico Escobín-Planicie de Juancho) con mayores subyacencias de la napa.

No obstante el cuadro de la vulnerabilidad imponga una cierta cautela en el manejo de

un territorio en el cual la exigüidad de los recursos hídricos subterráneos locales hace que estos últimos sean particularmente preciosos, el cuadro actual de las actividades antrópicas en acto en el territorio no determina situaciones locales de elevado e inmediato peligro para los respectivos sistemas acuíferos.

En el área en cuestión no están presentes, en efecto, establecimientos industriales y las actividades primarias se limitan casi exclusivamente a la producción agrícola.

La misma actividad turística es prácticamente inexistente in situ.

Entre los centros de peligro censados, los riesgos relativamente mayores residen en efecto en la presencia de un surtidor de combustible en Oviedo y en algunos cementerios presentes en los centros poblados mayores.

7.2 Aguas superficiales

7.2.1 Régimen hidrológico y recursos hídricos

La hidrografía del área se caracteriza por ríos y cañadas secos, ya que ningún curso de agua superficial llega hasta el mar en condiciones naturales; el régimen es de tipo esporádico-torrencial y hay escorrentía superficial sólo cuando ocurren episodios pluviométricos importantes. Sólo el río La Colmena tiene agua en su tramo terminal, pero es consecuencia del drenaje de las aguas del canal Nizaíto (Anexo Memorias n° 13).

En el área de estudio no existe de hecho una escorrentía superficial prácticamente aprovechable, en efecto el abastecimiento hídrico para fines de riego de la planicie de Juancho hasta la ciudad de Oviedo, en el límite meridional del área de estudio; ocurre mediante acarreo de aguas desde fuera del área gracias al canal Nizaíto, alimentado por el río homónimo.

En fin, se recuerdan los cursos de agua exteriores en dirección NE, de interés relevante para el área, caracterizados por un régimen de tipo permanente (Tab. 7.2.1/1), es decir el río Nizaíto (cuyas características hidrológicas están expuestas en el cap. 7.2.3) y el río Los Patos, de posible futuro interés como recurso superficial de integración para fines de riego (véanse cap. 8 y Anexo Memorias n° 20).

7.2.2 Utilización de las aguas superficiales

El análisis del balance hídrico del área (véase también Tab. 7.3./1) ha evidenciado la falta de recursos hídricos superficiales locales prácticamente utilizables, ya que actualmente la hidroexigencia bruta de las áreas con regadíos del sector Juancho-Oviedo, estimada en aproximadamente 19×10^6 m³/a, hipotetizando una eficiencia global de riego del 50%, resulta satisfecha por el caudal de operación del canal Nizaíto, de alrededor de los 0.64 m³/s, con puntas máximas de 2.0 m³/s (Tab. 7.1.11/1 y 7.2.2./1).

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 Nizaíto en Villa Nizao (estación del INDRHI, código 510001), período 1970-1979, 1982-1991 y 1998 (21 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 = 116 km²

precipitación promedio = 1965 mm;
escorrentía total promedio = 996 mm ($Q = 3.67 \text{ m}^3/\text{s}$);
valores en promedio elevados del coeficiente de escorrentía (cociente entre escorrentía y lluvia), caracterizados también por una significativa variabilidad temporal (med=0.49, máx=0.71, mín=0.31);
régimen hidrológico de tipo permanente ($Q_{\text{mín}} = 0.372\text{-}1.912 \text{ m}^3/\text{s}$, $Q_{300} = 0.716\text{-}2.894 \text{ m}^3/\text{s}$);
elevado valor porcentual del flujo base sobre escorrentía total, en promedio del orden del 85% (máx=90.7%, mín=81.1%);
contenida variabilidad temporal de los caudales de estiaje (cv de alrededor de 0.37-0.41 con referencia a los caudales $Q_{365}\text{-}Q_{330}$), consiguiente también al elevado aporte a las escorrentías totales del flujo base;
significativa permanencia en el cauce de valores de la escorrentía de interés para fines de utilización (en promedio sólo 6 días por año están caracterizados por valores del caudal natural reconstruido inferiores a $0.65 \text{ m}^3/\text{s}$, valor igual al caudal de operación promedio del canal Nizaíto; sin embargo en promedio 221 días presentan valores de caudal inferiores a los $3.5 \text{ m}^3/\text{s}$, valor éste igual al caudal de diseño del canal, véase Anexo Memorias n° 17).

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: $Q = 1.95 \text{ m}^3/\text{s}$;

período de retorno de 1 en 10 años: $Q = 2.20 \text{ m}^3/\text{s}$;

período de retorno de 1 en 5 años: $Q = 2.55 \text{ m}^3/\text{s}$;

años húmedos:

período de retorno de 1 en 5 años: $Q = 4.48 \text{ m}^3/\text{s}$;

período de retorno de 1 en 10 años: $Q = 5.20 \text{ m}^3/\text{s}$;

período de retorno de 1 en 20 años: $Q = 5.87 \text{ m}^3/\text{s}$;

7.3 Agronomía – Edafología

7.3.1 Campaña agronómica y edafológica

Desde el punto de vista de las texturas y de las velocidades de infiltración en la zona examinada prevalecen suelos de empaste medio pesado y velocidades de infiltración medio lentas.

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 de la Península sur de Barahona, 5.420 ha susceptibles al riego, de éstas, 2.494 2370 caen en la segunda clase, 2.611 en la tercera y 315 en la cuarta 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 la mayor superficie son la caña de azúcar, el plátano, los pastos naturales y artificiales. El arroz se cultiva en menor proporción.

En la península de Barahona los cultivos de ciclo corto más importantes son el arroz, el maíz, el tomate, la yuca, la batata, el pimiento y la berenjena. Entre los cultivos perennes, se encuentran plátano guineo, coco, aguacate y mango.

Las especies cultivadas se siembran de forma permanente, aunque con una cierta restricción por la falta de agua.

En general se pueden individualizar 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 7.340 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/levantamiento en una escala de síntesis. ~~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, que 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 1.906 ha con regadíos. 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.~~ todas regadas con aguas superficiales.

~~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	623,65
arroz	502
tomate	187,82
caña	1061,1
musáceas	1061,1
yuca	475,98
frijol	282,37
batata	333,64
papaya	906,97
coco	444,58
cebollas	333,64
pimientos	621,39
berenjena	333,64
pastos	396,98

8 CANTIDADES EXPLOTABLES DE AGUA

Por lo que atañe a los recursos hídricos subterráneos, los volúmenes potencialmente aprovechables resultan considerables en relación tanto con la recarga natural, como con el hecho de que las tomas actuales son de entidad prácticamente despreciable. Sin embargo el cuadro es extremadamente crítico debido a los problemas de orden cualitativo en todos los sectores altimétricamente más bajos, riesgo de intrusión marina (sectores de las llanuras de Juancho y Oviedo).

Por lo tanto es generalmente desaconsejable cualquier aumento de las tomas a no ser para usos estrictamente potables respetando los criterios fundamentales como: profundidad muy reducida de los pozos y tomas de entidad limitada.

En relación con el tema clave del área, es decir el hallazgo de recursos hídricos adicionales para el canal Nizaíto, los modelos matemáticos han puesto en evidencia, en armonía con los resultados de las actividades de perforación y en general del cuadro hidrogeológico (véanse Mapa n°9 y Anexo Memorias n°18), condiciones generalmente desfavorables (impactos piezométricos no sostenibles aun frente a incrementos de la tomas de todas maneras modestos) también en el área inmediatamente cuesta arriba de la llanura de Juancho (El Naranjal, Higuero); consiguientemente se sugiere recurrir a fuentes superficiales exteriores al área como se expone a continuación.

Sin embargo, en la hipótesis de un incremento de las explotaciones en el sector cuesta arriba de la llanura de Juancho (El Naranjal, Higuero), se hace presente, de todas maneras, que las condiciones de circulación subterránea podrían variar sensiblemente en relación con los efectos en escala local de la tectónica regional. Por lo tanto se sugiere proceder de todas maneras a estudios geológicos e hidrogeológicos de detalle con particular énfasis en los aspectos de fotointerpretación.

Por lo que atañe a los recursos hídricos superficiales, en el área de estudio no existe de hecho una escorrentía superficial prácticamente aprovechable, en efecto el abastecimiento hídrico para fines de riego está garantizado mediante acarreo de agua desde fuera del área por medio del canal Nizaíto, alimentado por el río homónimo, pero cuyo sistema de distribución no resulta completo, debiéndose realizar aún algunos de los laterales.

Futuros incrementos de las áreas con regadío y, consiguientemente, de la hidroexigencia, podrían resultar satisfechos por recursos superficiales (véase análisis de las aguas subterráneas) y en particular tanto por ulteriores recursos del río Nizaíto, cuya escorrentía ulteriormente derivable, una vez garantizado el caudal ecológico mínimo, resulta al máximo comprendida entre $17 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{a}$ (año seco $T=10$ años) y $32 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{a}$ (año promedio), escorrentías correspondientes a un caudal promedio de operación, que comprende el caudal actualmente derivado, del orden de los $2.0 \text{ m}^3/\text{s}$, como del río Los Patos del cual teniendo en cuenta el actual empleo para fines recreativos e hidropotables, se puede hipotetizar una toma de todas maneras no superior a los $9 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{a}$.

Para satisfacer futuros incrementos de las áreas con regadío resultarían por lo tanto ulteriormente disponibles de fuentes superficiales exteriores, sobre la base de consideraciones de tipo exclusivamente hidrológico, aproximadamente $26 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{a}$ (año seco, $T=10$ años) – $42 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{a}$ (año promedio), como integración de los recursos superficiales actualmente utilizados.

9 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

9.1 Resumen de datos generales y socio-económicos

El área de estudio denominada "Península Sur de Barahona" (ver Fig. 1/1), está comprendida entre 17° 43' 46" y 18° 03' 25" de Latitud Norte y entre 71° 12' 30" y 71° 31' 30" de Longitud Oeste y tiene una superficie de aproximadamente 519 Km².

Está dividida entre las provincias de Barahona y Pedernales y comprende en parte el territorio de los municipios de Enriquillo y de Oviedo.

La población de los 2 municipios que reside en el área de estudio se estima hoy a 19,950 habitantes de los cuales 11,200 (56%) viven en zonas rurales y 8,750 (44%) en áreas urbanas. De estos, el 54.6% son hombres y el 45.4% mujeres.

La tasa media de analfabetismo se calcula en un 29%. La población económicamente activa representa el 32.0 % de la población total. La mayoría son trabajadores asalariados (57.4%) y trabajadores por propia cuenta (34.4%).

Los sectores que más contribuyen a la economía y que son las mayores fuentes de empleo son, en orden de importancia la agricultura (44.5%), los servicios (16.6%) y el comercio (8.6%) y la construcción (5.5%).

En el territorio incluido en el área del proyecto no hay actividades industriales.

Las principales producciones agrícolas son el sorgo y los guineos.
La actividad ganadera es prácticamente inexistente.

No existe una actividad pesquera desarrollada y organizada. Sólo existe la pesca de bajura con pocos barcos pequeños a distancias no muy grandes de la costa. Los productos principales son atún, bocayate, sierra y machuelo.

El turismo no es desarrollado en el área.

Por lo que atañe al ecoturismo hay el parque de Jaragua que ocupa un área porcentualmente relevante de la superficie total de la zona de estudio.

No hay actividades extractivas desarrolladas en la zona de estudio.

La red de carreteras, es de calidad buena en la costa y medio-baja en la parte interna del área: en términos generales no está muy desarrollada. No se encuentran ni aeropuertos ni puertos.

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 no alcanza la calidad de otras áreas del país. La cobertura celular es prácticamente inexistente.

9.2 Clima

Los datos climáticos del área hidrológica del proyecto fueron tomados de las estaciones meteorológicas del INDRHI (1 estación pluviométrica/gráfica, Villa Nizao, período 1961-1996 y 1 estación climatológica, Juancho, período 1967-1996) y de la ONAMET (3 estaciones: Polo, período 1961-1990 y 1997, Enriquillo, período 1961-1992 y Oviedo, período 1964-97).

La característica principal del clima en el área hidrológica de interés es la elevada variabilidad espacial entre las zonas costeras entre Enriquillo y Oviedo, donde se señala un déficit hídrico alrededor de 8-10 meses, y las zonas húmedas de la Sierra de Bahoruco, en particular la cuenca del río Nizaíto.

El promedio de lluvia anual de la zona hidrogeológica de interés es de 1071.6 mm, a nivel de estación los valores anuales medios oscilan entre 814 mm (Oviedo) y 2346 mm (Villa Nizao, río Nizaíto).

La variación mensual de la precipitación presenta un régimen de tipo bimodal con época lluviosa en la primavera (en los meses de mayo y junio) y en verano-otoño (desde agosto hasta noviembre) y con sequía en el invierno y en julio.

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 en el área costera.

La temperatura media del aire presenta valores anuales que fluctúan entre 22 °C (Polo) y más de 26 °C (Oviedo), la variación intranual de la temperatura media oscila entre 3 y 4 °C, y, el período de mayores temperaturas corresponde a los meses de julio a agosto y lo de mínima a los meses de diciembre-febrero.

El promedio anual de la ETPo en la zona hidrogeológica de interés es de 1636.6 mm.

Para mayores detalles, refiérase al cap. 3 y al Anexo Memorias n° 1.

9.3 Orografía, Hidrografía y Geomorfología

El área de estudio se extiende desde el sector de Caletón-Enriquillo al N hasta la laguna y la ciudad de Oviedo al S, por aproximadamente unos 20 Km al interior desde la línea de costa. Trátase de un área caracterizadas por fenómenos kársticos importantes y bien visibles.

Uno de los elementos morfológicos más llamativos del área resulta ser la presencia de mesetas alargadas, de origen tectónico, con concurso de fenomenos karsismos, que caracterizan a la franja ubicada detrás de la Sierra de Bahoruco (Hoya de Pelempito, El Higuero).

Importantes fenómenos kársticos están en el sector central de investigación donde se desarrollan pequeñas cuencas (ej. Tierra Colorada) de morfología tabular en correspondencia de las zonas de cruce de fallas de distinta orientación. Otra peculiaridad de este sector es el reciente rejuvenecimiento del relieve.

Los fenómenos kársticos se vuelven muy intensos en la parte occidental donde, al O de la Llanura de Oviedo, se observa la desaparición de las formas de drenaje superficial y la aparición de numeros campos y alineamientos de dolinas.

Parece remontable a este contexto de fuerte desarrollo de disolución kársica también el origen de la Laguna de Oviedo.

La casi totalidad de los ríos no llegan hasta el mar Caribe, y desaparecen bien antes, para alimentar el sistema subterráneo.

La hidrografía se caracteriza por ríos secos y cañadas secas, ya que más al S del río Nizaíto ningún curso de agua superficial llega hasta el mar.

9.4 Geología y tectónica

9.4.1 Geología

Las unidades que afloran en la zona de estudio, desde la posición estratigráfica más baja, son:

Formación de Neiba (calizas de cristalinas a micríticas, con nódulos de pedernal), de edad oligocénica, que tiene sus afloramientos más extensos en la parte central del área, en correspondencia de los relieves entre la Llanura de Juancho y la Llanura de Oviedo.

Formación Sombrerito de edad oligoceno-miocénica, en facies de calizas margosas en estratos delgados, a veces no bien delineados que caracteriza predominantemente a los relieves ubicados al NE del alineamiento Llanura de Juancho-Sabana de la Primera Yerba.

Formación de Pedernales (calizas compactas, generalmente cristalinas, bien estratificadas) de edad atribuida al Oligoceno-Mioceno, aflora extensamente en la parte SO del área de investigación mostrando formas kársticas muy pronunciadas.

Depósitos cuaternarios, esencialmente de origen aluvial a veces en terrazas (el afloramiento más importante está representado por el Valle de Juancho).

Debajo de los depósitos cuaternarios del valle de Juancho están presentes calizas cuaternarias en facies arrecifal, presentes en afloramiento al N del área de estudio, a lo largo de la franja costera.

Depósitos detríticos y/o residuales constituyen la llanura morfológicamente más elevada de la zona, la Sabana de la Primera Yerba.

Tierras residuales de alteración se observan en algunas depresiones y depósitos finos de tipo lagunar están presentes extensivamente en la franja costera.

9.4.2 Tectónica

Desde el punto de vista estructural toda el área se caracteriza por la presencia generalizada de fallas de naturaleza distensiva en dos trends distintos, NO-SE (presente en toda el área) y NE-SO (representado predominantemente en la parte central del área, entre la Llanura de Juancho y la Llanura de Oviedo) que, entre otro, contribuyen a la formación de pequeñas depresiones kársticas.

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 3 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 4 hojas del mapa topográfico nacional en escala 1:250000 relativos a la Península Sur de Barahona).

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 66 pertenecen a la Península Sur de Barahona
- las fichas de identificación de 114 estaciones de aforos de las cuales 10 se encuentran en cuencas de la Península Sur de Barahona
- 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 la Península Sur de Barahona 58 puntos. Entre estos, 30 resultaron aptos para ser incluidos en la red de control piezométrico, 24 resultaron aptos para la red de calidad y 20 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 66, de los cuales el 89.4% son pozos. De los pozos/sondeos, el 53.0% pertenecen a particulares, el 16.7% a INAPA, el 16.7% al INDRHI. Los pozos se utilizan principalmente a fines domésticos (51.5%) y para el riego (10.6%). Los equipos de bombeo más utilizados son las bombas eléctricas submergibles (76.7%) y los molinos de viento (20.0%).

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 (32 por un total de 466 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 22 o sea el 68.8% del total considerado

El mapa piezométrico se realizó utilizando las cotas determinadas con el método GPS diferencial en 29 puntos de la Península Sur de Barahona 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

9.6.2 Monitoreo de calidad

La actividad de monitoreo se estructuró, como preveía el contrato, en base trimestral..

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 60 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 dos muestras, con determinación de O18, D y T.

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 4 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 17 pozos pertenecientes a la Red de Calidad.

Las 4 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.

La falta de manantiales con características minero-medicinales no ha permitido extender a esta área de estudio el estudio realizado.

9.6.4 Control de la salinidad y de la intrusión marina

El número total de puntos de la red de control de la intrusión marina fue de 2, la distribución está presentada en el mapa: “Mapa de control de la intrusión marina” (Mapa 5).

Para obviar a la escasez de puntos idóneos para la ejecución de los perfiles verticales de salinidad, en las zonas costeras de proyecto el análisis a los fines de la individualización del fenómeno de la intrusión marina se extendió a todos los puntos de la red de control de la calidad. Para alcanzar el objetivo se llevó a cabo un análisis del contenido de cloruros relevado en todas las muestras analizadas, seleccionando punto por punto aquella con el tenor más elevado.

9.6.5 Geofísica

En esta área no se realizaron prospecciones geofísica por el hecho de que la misma fue ya objeto de un buen estudio, cuyos resultados se tomaron en cuenta para las diferentes actividades del proyecto.

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 la Península Sur de Barahona:

- Mejorar el conocimiento geológico-estratigráfico del área de estudio.
- Adquirir datos relativos a los parámetros hidráulicos de los acuíferos (T, K, S).
- Averiguar la cantidad de agua extraible en pozos en las formaciones carbonáticas.
- 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	1
- de profundidad entre 75 y 150 m	2

Total 3

Además se realizó un pozo de observación cerca de la estación meteorológica de Juancho.

Los 4 sondeos se realizaron con las siguientes metodologías:

- 1 sondeo con rotación directa y circulación de lodo;
- 3 sondeo3 con rotación directa y circulación de aire/espuma.

Ensayos de bombeo

En 2 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 eléctricas 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 logarítmica.

Se han tomado todos los cuidados necesarios para que el agua extraída 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 parámetro de transmisividad también con los métodos de recuperación.

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 3 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 instalaron las estaciones meteorológicas de El Platón Villa Nizao (Paraiso) y de Juancho, en el mes de agosto del año 1999, consiguientemente a una variante de proyecto, se instaló la estación de Paso Sena (Pedernales), para garantizar un conocimiento más completo de las características climáticas del territorio de interés;

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 tanto de las características climáticas, como de la marcha de la precipitación y de la velocidad del viento asociadas al paso del huracán George en el mes de septiembre 1998.

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 9 lugares idóneos, en particular 7 secciones en cauces naturales y 2 en el canal de riego Nizaíto, 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 6 secciones de aforos de las cuales 1 relativa al canal de riego Nizaíto.

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, 9 se instalaron en la Península Sur de Barahona, distribuidas en 6 estaciones, de las cuales, 4 pertenecientes a la vieja red de control del INDRHI y 2 nuevas.

9.6.9 Actividades agronómicas y edafológicas

El ~~levantamiento~~ ~~relevamiento~~ 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~~ ~~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:

Ejecución de 3 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 30 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 2 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~~ ~~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.

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 utilidades, 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 utilidades (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 utilidades sobre la escurriencia 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 9/6 para la Península Sur de Barahona) como una cartografía de vulnerabilidad en escala 1:100.000 (Mapa 10/6 para la Península Sur de Barahona)

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; dal 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 enumeradas 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 de la entera área de estudio, incluyendo sobre todo el sector de la llanura de Juancho, hasta el divisorio septentrional a lo largo de la Sierra de Bahouruco, y al S el sector de Oviedo.

El modelo fue calibrado en condiciones estacionarias, teniendo como referencia la piezometría interpretada sobre la base de las pocas informaciones (promedio del período 9/97 – 9/98), por lo general concentradas en el área de Juancho, a lo largo del valle que se extiende desde esta última hacia el Ojo de Pelempito, y en el sector inmediatamente al NO del pueblo de Oviedo.

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 Nizaíto cerrada en Villa Nizao, 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 Hergreaves-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.

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 de 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 extensos y productivos, de permeabilidad normalmente alta:* Sedimentos aluviales de los valles de Juancho, El Higuero y Sabana de la Primera Yerba; Depósitos cuaternarios en las áreas al O del pueblo de Oviedo y de Manuel Golla.
- *Formaciones porosas, sede de acuíferos locales y discontinuos, de permeabilidad moderada o variable:* Depósitos finos de tipo palustre que se encuentran en proximidad de la laguna de Oviedo.
- *Formaciones fisuradas, sede de acuíferos extensos y productivos, de permeabilidad normalmente alta:* Formaciones con caliza predominante (teo-tol'c), con fenómenos de karstificación a veces muy intensos.
- *Formaciones fisuradas, sede de acuíferos locales y discontinuos, de permeabilidad moderada o variable.* Formaciones constituidas por calizas y margas (tols-tmim'cm).
Formaciones calcáreas bioconstruidas, sede de acuíferos extensos y productivos, de permeabilidad de medio-alta a elevada: Secuencia de las calizas arrecifales halladas en la base de los depósitos aluviales en la parte costera de la llanura de Juancho.

La determinación a través de los dos ensayos de bombeo de algunos parámetros hidrogeológicos (tab.6.6.2/1) ha evidenciado valores muy diferentes de transmisividad entre el acuífero litoide calcáreo-margoso de El Naranjal (3.50×10^{-5}) y el de la planicie de Juancho. donde se midió el valor más alto ($6.08 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$) justificado por la presencia de calizas arrecifales de buena permeabilidad.

9.7.2 Pozos, sondeos y manantiales

Un único manantial está indicado entre Oviedo y Colonia Juancho.

Los pozos son pocos y distribuidos en todas las áreas llanas del sector de Juancho hasta la carretera Oviedo-Pedernales por causa de los extensos fenómenos de salinización costera.

Muchas de las otras perforaciones se encuentran al NO de Arroyo Dulce a lo largo del alineamiento tectónico Juancho-Ojo de Pelempito y sobre todo en las formaciones cuaternarias porosas en la llana de El Higuero.

9.7.3 Piezometría

Piezometría y variaciones piezométricas en el tiempo

En el sector al O del pueblo de Oviedo, los gradientes son pequeños (alrededor del 2.5

por mil con líneas de flujo en dirección del mar.

Más al Norte, en el sector de Juancho, El Naranjal y El Higuero, se encuentran gradientes elevados en el sector montañoso y muy bajos (hasta valores de 1 por mil) en la llanura de Juancho. Este hecho se debe al efecto de la recarga de las áreas de montaña y a la fuerte transmisividad de las formaciones de caliza arrecifal que, conjuntamente a la cobertura aluvional, constituyen el acuífero en la zona de llanura. Las líneas de flujo convergen desde las zonas de montaña hasta el eje del valle, para dirigirse luego en dirección del mar.

Por lo que se refiere a las variaciones piezométricas en el tiempo, los mínimos se observan esencialmente entre Mayo y Julio: los máximos, por otro lado, tienen mayor frecuencia, bien evidente, en Septiembre y se sitúan esencialmente entre este mes y Diciembre.

Las variaciones anuales son muy reducidas y nunca superan 1 m.

Por lo que atañe a las variaciones de los niveles medios después del 1970, no se tienen datos para evidenciar la evolución de los mismos.

Proposición de una red de control piezométrico

La red de control propuesta cuenta con 11 puntos, de los cuales 2 (18%) están dedicados solamente a la red y 9 (82%) son privados. Los puntos de la red sin bomba son 10 (91%) y con bomba instalada solo 1 (9%).

La repartición en el espacio de los puntos propuestos está en acuerdo con los criterios generales indicados en este mismo informe: se concentran en las pocas zonas que tienen pozos, es decir a lo largo de las carreteras principales a Pedernales y a Polo.

9.7.4 Calidad de las aguas subterráneas y caracterización hidroquímica

El análisis comparado de los datos de todos los pozos muestreados en la zona pone en evidencia tres tipologías:

- aguas donde predomina siempre el par bicarbonato calcio;
- aguas donde predomina siempre el par cloro sodio;
- aguas donde generalmente predomina el par bicarbonato calcio, y ocasionalmente predomina el par cloro sodio.

Basándose en las informaciones recopiladas durante las operaciones de muestreo es posible formular la hipótesis, para los puntos de composición química variable, de una correlación directa entre la duración del bombeo, efectuado en las horas anteriores al muestreo, y el peso del componente clorurado-alcalino hallado.

La clasificación de las aguas del área comprende:

- aguas bicarbonato alcalino-térreas;
- aguas clorurado alcalinas;
- aguas mixtas bicarbonato alcalino-térreas, temporáneamente clorurado alcalinas.

La clasificación pone en evidencia el papel fundamental jugado en el área por las aguas bicarbonato alcalino-térreas, representativas de la recarga regional, y por las aguas

clorurado-alcalinas, representativas de la intrusión marina, por lo menos a lo largo de la franja costera. Queda más problemática y por ahora sin solución, la presencia de estas últimas en el sector septentrional en las áreas más internas.

De la investigación específica sobre la calidad potable de las aguas subterráneas emerge cómo el cuadro cualitativo en dicha área muestra un evidente, pero no generalizado, comprometimiento de las aguas subterráneas a lo largo de la franja costera, causado por fenómenos de salinización inducidos por la intrusión de agua marina.

En las zonas lejanas de la costa del área de Oviedo la calidad química de las aguas se vuelve generalmente aceptable.

Alejándose ulteriormente de la costa hacia el interior las aguas mejoran cualitativamente manteniendo sin embargo un residuo fijo sobre el umbral de tolerabilidad.

En las mesetas de El Naranjal y de El Higuero, se señalan unos indicios de criticidad intermitente vinculados con la presencia, no generalizada, de magnesio (El Higuero), Nitratos y Residuo Fijo (El Naranjal).

9.7.5 Salinidad e ingresión marina

La red utilizada fue muy afectada por la disponibilidad muy escasa de puntos aptos para la ejecución de las mediciones con la sonda multiparamétrica. En efecto, la sonda puede ser utilizada sólo en pozos libres de cualquier impedimento para evitar la pérdida del instrumento.

En las cercanías de la línea de costa el acuífero investigado presenta una salinidad muy elevada ya desde la superficie piezométrica y luego un aumento ulterior en profundidad.

En el interior la situación resulta ser en cambio más que normal, con valores no muy altos y estables hasta la profundidad máxima investigable de 33 m bajo el nivel estático.

9.7.6 Resultados análisis isotópicas

La combinación de las informaciones obtenidas de los isótopos estables y las informaciones químicas indican la influencia ejercida por las aguas marinas sobre las dulces.

Las muestras pertenece a circuitos recargados en un franja altimétrica comprendida entre los 800 y los 1300 metros.

El contenido de Tritio coloca a las muestras en el ámbito de la recarga anterior al pico registrado en 1961.

9.7.7 Relaciones ríos-acuíferos

En conjunto hay numerosos fenómenos cársticos y en las partes más bajas se infiltra toda la precipitación eficaz sin llegar a producirse escorrentía superficial y aun la escorrentía, en particular el flujo base, que llega desde zonas más altas se pierde por infiltración en los cauces y vuelve a integrarse al agua subterránea.

En condiciones de escorrentía natural no hay ningún río que fluya en régimen permanente al sur de los ríos Nizaíto y Los Patos, que están fuera del área de interés en dirección NE.

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 9/6: Mapa hidrogeológico Península sur de Barahona, tiene un área total de 518.6 km², una precipitación promedio anual de 1071.6 mm y una evapotranspiración potencial de referencia de 1636.6 mm.

Ésta se caracteriza, por lo que atañe a las áreas de recarga directa, por formaciones porosas (azul), de permeabilidad de media a baja, y formaciones fisuradas (verde), donde hay numerosos fenómenos cársticos, con acuíferos de permeabilidad alta y medio-baja, las cuales, en conjunto, tienen una superficie de 509.4 km², esto es el 98% de la superficie total.

En términos generales, las aguas subterráneas proceden de tres fuentes: recarga pluvial directa, infiltración de escorrentía superficial (flujo base) en los cauces (sub-zonas n°5-9) y recarga lateral.

En conjunto, teniendo en cuenta las características morfológicas, hidrogeológicas e hidrológicas, han sido individuadas 11 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): 63.62 * 10⁶ m³/a;
- años secos (T=5 años): 72.53 * 10⁶ m³/a;
- año medio: 96.50 * 10⁶ m³/a;
- años húmedos (T=5 años) 116.10 * 10⁶ m³/a;
- años húmedos (T=10 años): 129.83 * 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-zonas 1 y 2: 203-238-315-380-420;
 - sub-zona 3: 125-145-190-230-260;
- frontera oeste:
 - sub-zonas 1 y 2: 185-210-280-340-375;
 - sub-zona 4: 158-185-245-292-332;
 - sub-zona 6: 130-145-195-230-260;
 - sub-zona 9: 110-130-170-205-225.

Para mayores detalles, refiérase al cap.7.1.8 y al Anexo Memorias n° 14.

9.7.9 Vulnerabilidad

La vulnerabilidad del territorio varía generalmente de baja a alta, con presencia de áreas extremadamente reducidas de vulnerabilidad más elevada, confinadas en los márgenes de la laguna de Oviedo.

En términos globales, la porción oriental, centrada aproximadamente en el centro poblado de Manuel Golla, debido a la constitución litológica local, calcárea con desarrollo de karsismo consistente, resulta ser aquella con mayor riesgo potencial, Sectores menos extensos pertenecientes a la misma clase de vulnerabilidad se individualizan también en las cercanías de Juancho y entre Los Cocos y Mencia.

Sectores de vulnerabilidad intermedia caracterizan tanto a las mesetas calcáreas no karsificadas de la zona central. como a la parte frontal de los terrenos calcáreo-marnosos de la franja costera y a las planicies aluvionales de Juancho y El Higuero.

Las condiciones de mayor protección de los acuíferos se determinan en las zonas de afloramiento de los terrenos calcáreo-marnosos en la llanura de El Naranjal.

No obstante el cuadro de la vulnerabilidad imponga una cierta cautela el cuadro actual de las actividades antrópicas en acto en el territorio no determina situaciones locales de elevado e inmediato peligro para los respectivos sistemas acuíferos.

En el área en cuestión no están presentes, en efecto, establecimientos industriales y las actividades primarias se limitan casi exclusivamente a la producción agrícola.

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 una explotación distribuida en 10 puntos de bombeo a lo largo de un eje de rumbo NO-SE que desde la llanura de Juancho se extiende por unos algunos kilómetros. El modelo de base es el calibrado en condiciones estacionarias, con la piezometría inicial igual a la calculada con base en la simulación en estacionario. Después de algunas tentativas con caudales diferentes, decidimos comentar la prueba con un caudal total de $0.1 \text{ m}^3/\text{s}$, por lo tanto muy pequeño si se lo compara con los caudales necesarios para alimentar al canal Nizaíto.

Recordamos brevemente que esta área se caracteriza principalmente por condiciones generales de sequía, sea por la completa falta de recursos hídricos superficiales aprovechables, sea por las condiciones de fuerte comprometimiento cualitativo de las aguas subterráneas, afectadas por difundidos fenómenos de salinización por lo menos en la llanura de Juancho. El proyecto de realización del canal Nizaíto, que desde el río Nizaíto (fuera del área de estudio en dirección NE) se extiende hasta la ciudad de Oviedo, cruzando la llanura de Juancho al O, tenía como objetivo principal la solución de este problema, con un caudal de diseño de alrededor de los $3.5 \text{ m}^3/\text{s}$. En realidad los caudales de operación quedaron muy por debajo, generalmente alrededor de los $0.5 \text{ m}^3/\text{s}$ con máximos ocasionales de alrededor de los $2 \text{ m}^3/\text{s}$.

Los resultados de la simulación indican, a pesar del caudal total muy pequeño, un impacto muy fuerte sobre el sistema acuífero subterráneo, con variaciones máximas del orden de los 15 m. Obviamente trátase de informaciones indicativas, sobre todo considerando la campaña de perforación realizada a lo largo del proyecto que testimonia – en escala local - una gran variabilidad de las condiciones hidráulicas y tal

vez condiciones de circulación propias de sistemas fracturados. Podemos por lo tanto concluir que, a menos se verifiquen condiciones muy favorables a nivel local (sistema de fracturas de alta permeabilidad), el sistema aparece poco apto para una explotación significativa de los recursos hídricos subterráneos.

9.7.11 Recursos hídricos y reservas hídricas subterráneas

Se ha estimado una recarga directa en $63.3 \text{ m}^3/\text{a}$ (año seco, T=10) – $96.5 \text{ m}^3/\text{a}$ (año promedio). Este cuadro aparentemente positivo resulta fuertemente condicionado por problemas de orden cualitativo (contenido salino en el área de la planicie de Juancho) y por parámetros hidrogeológicos a menudo no favorables en los sectores topográficamente más elevados. Se trata de consideraciones que están fuera del análisis del balance sensu stricto.

9.7.12 Régimen hidrológico y recursos hídricos superficiales

La hidrografía del área se caracteriza por ríos y cañadas secos, ya que ningún curso de agua superficial llega hasta el mar en condiciones naturales; el régimen es de tipo esporádico-torrencial y hay escorrentía superficial sólo cuando ocurren episodios pluviométricos importantes. Sólo el río La Colmena tiene agua en su tramo terminal, pero es consecuencia del drenaje de las aguas del canal Nizaíto.

En el área de estudio no existe de hecho una escorrentía superficial prácticamente aprovechable, en efecto el abastecimiento hídrico para fines de riego de la planicie de Juancho hasta la ciudad de Oviedo, en el límite meridional del área de estudio; ocurre mediante acarreo de aguas desde fuera del área gracias al canal Nizaíto, alimentado por el río homónimo.

En fin, se recuerdan los cursos de agua exteriores en dirección NE, de interés relevante para el área, caracterizados por un régimen de tipo permanente (Tab. 7.2.1/1), es decir el río Nizaíto (cuyas características hidrológicas están expuestas en el cap. 7.2.3) y el río Los Patos, de posible futuro interés como recurso superficial de integración para fines de riego.

Para mayores detalles a los Anexos Memorias n° 13, 15, 17 y 20.

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 Península Sur de Barahona se han obtenido los siguientes datos:

~~Nella Valle de Neiba si sono ottenuti i seguenti dati:~~

<u>total superficie agrícola</u> totale superficie agricola:	7.340 <u>ha</u>
<u>total áreas con regadío</u> totale aree irrigue:	1.906 <u>ha</u>
<u>total áreas con regadíos con aguas superficiales</u> “ “ “ “ “	“ “ “ “ “
<u>superficiales:</u>	1.906 <u>ha</u>

En la península sur de Barahona, se han individualizado áreas potencialmente regables en la zona de El Naranjal, ocupadas por sorgo y pastos, en la parte alta de la zona del Juancho, actualmente ocupada por sabana, en el área situada por arriba de la carretera en la localidad Lengua de Vaca y, por último, los terrenos que rodean a Oviedo.

La presencia de terrenos generalmente pesados aconseja tener bajo estricto monitoreo los suelos y las aguas, para evitar el riesgo de sodicización; se aconseja de todos modos, en situaciones semejantes, no abusar de las tierras con una agricultura demasiado intensiva.

En el conjunto, las áreas susceptibles al riego suman 5.420 ha. ~~Nel complesso, le aree suscettibili di irrigazione individuate nel distretto di Neiba ammontano a 10.747 ha.~~

De éstas, 2.494 ha pertenecen a la segunda clase de susceptibilidad; 2.611 ha pertenecen a la tercera clase y 315 a la cuarta. ~~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, la demanda neta anual por hectárea asume un valor promedio de 666 mm, oscilando desde un mínimo de 333 hasta un máximo de 1061 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

Considerando el papel absolutamente preponderante de los recursos hídricos superficiales (de pertinencia del canal Nizaíto), la marginalidad de las actividades agrícola y la baja densidad de población, la utilización de los recursos hídricos subterráneos es de hecho despreciable.

9.7.15 Utilización de las aguas superficiales

El análisis del balance hídrico del área (véase también Tab. 7.3./1) ha evidenciado la falta de recursos hídricos superficiales locales prácticamente utilizables, ya que actualmente la hidroexigencia bruta de las áreas con regadíos del sector Juancho-Oviedo, estimada en aproximadamente $19 \cdot 10^6$ m³/a, hipotetizando una eficiencia global de riego del 50%, resulta satisfecha por el caudal de operación del canal Nizaíto, de alrededor de los 0.64 m³/s, con puntas máximas de 2.0 m³/s (Tab. 7.1.11/1 y 7.2.2./1).

Para mayores detalles, refiérase a los Anexos Memorias n° 15 y 17.

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 Nizaíto en Villa Nizao (estación del INDRHI, código 510001), superficie = 116 km², período 1970-1979, 1982-1991 y 1998 (21 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 = 1965 mm; escorrentía total promedio = 996 mm ($Q = 3.67 \text{ m}^3/\text{s}$); valores en promedio elevados del coeficiente de escorrentía caracterizados también por una significativa variabilidad temporal; régimen hidrológico de tipo permanente; contenida variabilidad temporal de los caudales de estiaje y significativa permanencia en el cauce de valores de la escorrentía de interés para fines de utilización

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 atañe a los recursos hídricos subterráneos, los volúmenes potencialmente aprovechables resultan considerables en relación tanto con la recarga natural, como con el hecho de que las tomas actuales son de entidad prácticamente despreciable. Sin embargo el cuadro es extremadamente crítico debido a los problemas de orden cualitativo en todos los sectores altimétricamente más bajos, riesgo de intrusión marina (sectores de las llanuras de Juancho y Oviedo). Por lo tanto es generalmente desaconsejable cualquier aumento de las tomas a no ser para usos estrictamente potables respetando los criterios fundamentales como: profundidad muy reducida de los pozos y tomas de entidad limitada.

En relación con el tema clave del área, es decir el hallazgo de recursos hídricos adicionales para el canal Nizaíto, se han puesto en evidencia condiciones generalmente desfavorables también en el área inmediatamente cuesta arriba de la llanura de Juancho (El Naranjal, Higuero); consiguientemente se sugiere recurrir a fuentes superficiales exteriores al área como se expone a continuación.

Sin embargo, en la hipótesis de un incremento de las explotaciones en el sector cuesta arriba de la llanura de Juancho (El Naranjal, Higuero), se hace presente, de todas maneras, que las condiciones de circulación subterránea podrían variar sensiblemente en relación con los efectos en escala local de la tectónica regional. Por lo tanto se sugiere proceder de todas maneras a estudios geológicos e hidrogeológicos de detalle con particular énfasis en los aspectos de fotointerpretación.

Por lo que atañe a los recursos hídricos superficiales, en el área de estudio no existe de hecho una escorrentía superficial prácticamente aprovechable, en efecto el abastecimiento hídrico para fines de riego está garantizado mediante acarreo de agua desde fuera del área por medio del canal Nizaíto, alimentado por el río homónimo, pero cuyo sistema de distribución no resulta completo, debiéndose realizar aún algunos de los laterales.

Futuros incrementos de las áreas con regadío y, consiguientemente, de la hidroexigencia, podrían resultar satisfechos por recursos superficiales (véase análisis de las aguas subterráneas) y en particular tanto por ulteriores recursos del río Nizaíto, cuya escorrentía ulteriormente derivable, una vez garantizado el caudal ecológico mínimo, resulta al máximo comprendida entre $17 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{a}$ (año seco T=10 años) y $32 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{a}$ (año promedio), escorrentías correspondientes a un caudal promedio de operación, que comprende el caudal actualmente derivado, del orden de los $2.0 \text{ m}^3/\text{s}$, como del río Los Patos del cual teniendo en cuenta el actual empleo para fines recreativos e hidropotables, se puede hipotetizar una toma de todas maneras no superior a los $9 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{a}$.

Para satisfacer futuros incrementos de las áreas con regadío resultarían por lo tanto ulteriormente disponibles de fuentes superficiales exteriores, sobre la base de consideraciones de tipo exclusivamente hidrológico, aproximadamente $26 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{a}$ (año seco, T=10 años) – $42 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{a}$ (año promedio), como integración de los recursos superficiales actualmente utilizados.

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 14 en la Península Sur de Barahona, 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.

Con respecto al fenómeno de intrusión marina, en el ámbito de las prioridades

emergidas, no parecería ser indispensable por el momento extender la red de control, sin embargo en el futuro sería oportuno individualizar nuevos puntos de monitoreo.

Para realizar una red adecuada al control areal del fenómeno, sería necesario efectuar perforaciones a lo largo de direcciones ortogonales a la piezometría, que disten 20 km entre sí. En la red propuesta aquí se consideró la mayor parte de los pozos ya utilizados. El orden de magnitud de la profundidad a alcanzar está dado por la estimación indicada por el cociente de Ghybern-Herzberg, en la cual se define una proporción de aproximadamente 1:40 entre la cota piezométrica sobre el nivel del mar y la profundidad de la interfase agua dulce-agua salada.

Naturalmente, en el curso de la perforación será necesario efectuar logs verticales de salinidad que permitan adecuar el objetivo de la perforación al caso específico. En línea de máxima las perforaciones deberán superar la profundidad de -50 m sobre el nivel del mar.

La distancia y el número de pozos a efectuar a lo largo de cada perfil deberá ser función de los resultados obtenidos, tomando la precaución de proceder en las perforaciones desde el mar hacia el interior. De todas maneras, el número no deberá ser inferior a tres.

Las zonas caracterizadas por extracciones intensas requerirán tanto la disminución de la distancia entre los perfiles, como su localización respecto al centro de las depresiones piezométricas existentes.

La red deberá ser tenida bajo control con una cadencia semestral, de tal manera se podrán entrecruzar los datos relevados con logs verticales de salinidad, con aquéllos relativos al contenido de cloruros relevados a partir de la red de control de la calidad de las aguas subterráneas. Naturalmente, para los cloruros deberán tomarse en consideración los pozos ubicados en las primeras dos zonas.

Para afinar la interpretación isotópica 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.

A continuación de la 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 relativos 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 in tema di aguas potables, con respecto a 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.

Al 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 que 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, 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) y en el respeto del cuadro concocitivo emergido en el curso de las actividades de proyecto, se recomienda la búsqueda de recursos hídricos en los sectores ubicados por arriba de la llanura de Juancho, con el evidente objetivo

de no incurrir en recursos comprometidos desde el punto de vista cualitativo (salinidad). Sin embargo, a la luz de los resultados de la simulación matemática, se pone de manifiesto que el impacto de eventuales tomas resultaría consistente, aun para valores totales pequeños si se los compara con las necesidades de abastecimiento del canal Nizaíto. En consideración de la posible importante influencia de la tectónica en esta área, la única recomendación que hacemos, en el caso en que de todas maneras se tenga la exigencia de perforar nuevos pozos en este sector, es la realización de estudios geológicos y de fotointerpretación de detalle.

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:
 - mantener eficiente la actual red meteorológica (estaciones instaladas en el curso del proyecto, actuales redes INDRHI y ONAMET), rindiendo disponible de esta manera, para el futuro control meteorológico, una red moderna suficientemente articulada en el territorio de interés;
- hidrología:
 - se sugiere la activación de la red hidrométrica de control como hecos indicado en el Anexo memorias n° 13 y presentado en el Mapa n° 2, en particular para garantizar un control sistemático de los recursos en los ríos Nizaíto y Los Patos (cuyos recursos pueden ser utilizados para integrar la disponibilidad hídrica del sistema Nizaíto, véase Anexo Memorias n° 20 y cap. 8 y 9.7.17) y del canal Nizaíto.
- manejo de los recursos hídricos:
 - teniendo en cuenta que en el área de estudio no existe de hecho una escorrentía superficial prácticamente aprovechable, en efecto el abastecimiento hídrico para fines de riego de la planicie de Juancho hasta Oviedo; ocurre mediante acarreo de aguas desde fuera del área gracias al canal Nizaíto, alimentado por el río homónimo, y que un futuro incremento de las áreas con regadío y, consiguientemente, de la demanda hídrica podría resultar satisfecho tanto por ulteriores recursos del río Nizaíto como del río Los Patos, se sugiere:
 - evaluar, también sobre la base de consideraciones de tipo biológico, la entidad del caudal ecológico en los cauces de los dos ríos, se recuerda que el caudal ecológico definido sólo sobre la base de los criterios hidrológicos representa de todas maneras un umbral mínimo que debe ser garantizado al ecosistema fluvial;
 - evaluar, sobre la base del control hidrológico arriba mencionado, los recursos potencialmente utilizables del río Los Patos en particular en años hidrológicamente secos, de manera tal que tomas de recurso no comprometan tanto la actual utilización hidropotable (véase Anexo Memorias n° 17), como el equilibrio ambiental (se recuerda que actualmente el río tiene un cierto interés turístico por la existencia de un balneario).

FIGURAS

TABLAS