

ÍNDICE

1 INTRODUCCIÓN	5
2 PRINCIPALES LINEAMIENTOS SOCIO ECONÓMICOS GENERALES	6
3 CLIMATOLOGÍA	9
4 OROGRAFÍA , HIDROGRAFÍA Y GEOMORFOLOGÍA	12
5 LINEAMIENTOS GEOLÓGICOS Y TECTÓNICOS	14
5.1 Geología	14
5.2 Tectónica	18
6 ACTIVIDADES DE CAMPO Y ESTUDIOS	20
6.1 Actividades preliminares	20
6.1.1 Colección de los datos y recopilación de antecedentes	20
6.1.2 Inventario de puntos de agua	23
6.2 Base de datos y Sistema de Información Geográfica (SIG)	28
6.2.1 Realización de una base de datos	28
6.2.2 Implementación de un sistema de información geográfica	29
6.3 Piezometría	32
6.3.1 Campañas piezométricas	32
6.3.2 Determinación de las coordenadas plano-altimétricas de puntos de agua	34
6.3.3 Levantamiento taquimétrico de puntos de agua	37
6.4 Hidroquímica e intrusión marina	39
6.4.1 Muestreo y análisis para la calidad de las aguas	39
6.4.2 Muestreo y análisis isotópicas	41
6.4.3 Muestreo y análisis para la potabilidad	41
6.4.4 Muestreo y análisis para aguas minerales y minero-medicinales	44
6.4.5 Control de la salinidad y de la intrusión marina	44
6.5 Geofísica	45
6.5.1 Objetivos de las campañas geofísicas	45
6.5.2 Cantidades previstas y ejecutadas	45
6.5.3 Metodologías de prospección y de interpretación utilizadas	45
6.5.4 Equipos utilizados	48
6.5.5 Interpretación de los resultados	49
6.6 Realización de sondeos de exploración, de pozos de observación y de ensayos de bombeo	51

6.6.1 Realización de los sondeos de exploración y de los pozos de observación	51
6.6.2 Realización de ensayos de bombeo	54
6.7 Integración de la red meteorológica existente	55
6.8 Hidrología	56
6.8.1 Campañas de aforos en los ríos y canales	56
6.8.2 Instalación de regletas hidrométricas	57
6.8.3 Evaluación de la recarga	57
6.8.4 Estudios hidrológicos - modelización lluvia-escorrentía	58
6.9 Agronomía - Edafología	61
6.9.1 Campaña agronómica y edafológica	61
6.9.2 Identificación zonas con regadío actual y de zonas potencialmente regables	62
6.10 Evaluación de la utilización del agua	68
6.10.1 Instalación de contadores volumétricos	68
6.10.2 Balances hídricos aguas subterráneas	69
6.10.3 Balances hídricos aguas superficiales	70
6.11 Cartografía temática	72
6.11.1 Realización de cartografía hidrogeológica	72
6.11.2 Realización de cartografía de vulnerabilidad	73
6.12 Modelización	82
6.12.1 Modelos matemáticos de flujo de las aguas subterráneas	82
6.12.2 Utilización conjunta de las aguas subterráneas y superficiales	84
6.13 Ensayos de recarga inducida	85
7 RESULTADOS OBTENIDOS	87
7.1 Acuíferos y aguas subterráneas	87
7.1.1 Caracterización hidrogeológica de las diferentes formaciones geológicas	87
7.1.2 Pozos, sondeos y manantiales	89
7.1.3 Piezometría	89
7.1.4 Calidad de las aguas subterráneas - caracterización hidroquímica	91
7.1.5 Salinidad e intrusión marina	93
7.1.6 Resultados análisis isotópicas	93
7.1.7 Relaciones ríos-acuíferos	94
7.1.8 Evaluación de la recarga - infiltración eficaz	94
7.1.9 Modelos matemáticos de flujo	97
7.1.10 Recursos hídricos y reservas hídricas	98
7.1.11 Utilización de las aguas subterráneas	99
7.1.12 Vulnerabilidad	100
7.1.13 Recarga inducida	100
7.2 Aguas superficiales	104
7.2.1 Régimen hidrológico y recursos hídricos	104

7.2.2 Utilización de las aguas superficiales	105
7.2.3 Modelos matemáticos lluvia-escorrentía	106
7.3 Agronomía - Edafología	110
7.3.1 Campaña agronómica y edafológica	110
7.3.2 Identificación de zonas con regadío actual y de zonas potencialmente regables	110
8 CANTIDADES EXPLOTABLES DE AGUA	112
9 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	113
9.1 Resumen de datos generales y socio-económicos	113
9.2 Clima	115
9.3 Orografía, Hidrografía y Geomorfología	116
9.4 Geología y tectónica	116
9.4.1 Geología	116
9.4.2 Tectónica	117
9.5 Actividades preliminares, base de datos y SIG	118
9.6 Actividades de campo y estudios	120
9.6.1 Monitoreo piezométrico y actividades relacionadas	120
9.6.2 Monitoreo de calidad	121
9.6.3 Monitoreos especiales (isótopos, aguas minero-medicinales, potabilidad)	121
9.6.4 Control de la salinidad y de la intrusión marina	121
9.6.5 Geofísica	122
9.6.6 Perforación y ensayos de bombeo	122
9.6.7 Integración de la red meteorológica existente	124
9.6.8 Campañas de aforos directos e instalación regletas hidrométricas	125
9.6.9 Actividades agronómicas y edafológicas	126
9.6.10 Evaluación de la utilización del agua - Balance hídrico	128
9.6.11 Cartografía temática	129
9.6.12 Modelización aguas subterráneas	130
9.6.13 Modelización aguas superficiales	131
9.7 Resultados obtenidos	132
9.7.1 Caracterización hidrogeológicas de las diferentes formaciones geológicas y acuíferos presentes	132
9.7.2 Pozos, sondeos y manantiales	133
9.7.3 Piezometría	133
9.7.4 Calidad de las aguas subterráneas y caracterización hidroquímica	134
9.7.5 Salinidad e intrusión marina	134
9.7.6 Resultados análisis isotópicas	135
9.7.7 Relaciones ríos-acuíferos	136
9.7.8 Evaluación de la recarga - infiltración eficaz	137

9.7.9 Vulnerabilidad	138
9.7.10 Modelos matemáticos de flujo de las aguas subterráneas	138
9.7.11 Recursos hídricos y reservas hídricas subterráneas	139
9.7.12 Régimen hidrológico y recursos hídricos superficiales	140
9.7.13 Identificación de zonas con regadío actual y potencialmente regables - Evaluación de las necesidades hídricas para el riego	141
9.7.14 Utilización de las aguas subterráneas	142
9.7.15 Utilización de las aguas superficiales	143
9.7.16 Modelos matemáticos lluvia-escorrentía	144
9.7.17 Cantidades explotables de agua	145
9.8 Recomendaciones	146
FIGURAS	152
TABLAS	153

1 INTRODUCCIÓN

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

El área de estudio (ver Fig. 1/1), comprendida entre 18° 11’ 31” y 18° 23’ 18” de Latitud Norte y entre 70° 09’ 03” y 70° 35’ 53” de Longitud Oeste, tiene una superficie de aproximadamente 706 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 amplio tratamiento 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 de 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 comprendida al 100% en la provincia de Peravia y comprende los municipios de Baní, Nizao, Villa Fundación, Matanzas, Sabana Buey.

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

Municipio	Habitantes
Bani	114,349
Nizao	22,097
Villa Fundación	8,963
Matanzas	11,754
Sabana Buey	3,160

La población total de estos 5 municipios se estima hoy en 160,323 habitantes de los cuales 76,022 (54%) viven en zonas rurales y 63,854 (46%) en áreas urbanas. De estos, el 48.2% son hombres y el 51.8% mujeres).

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

Municipio	% analfabeto
Bani	24.25
Nizao	22.15
Villa Fundación	28.38
Matanzas	28.35
Sabana Buey	20.48

La tasa media de analfabetismo se calcula en un 24.42%.

La población económicamente activa representa el 41% de la población total. La repartición en porcentaje de las categorías ocupacionales está indicada a continuación:

Categoría ocupacional	Repartición en %
Patrón o empleador	4.5
Trabajador por propia cuenta	26.5
Trabajador servicio doméstico del hogar	2.1
Trabajador asalariado	63.3
Trabajador familiar no pagado	3.6

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	37.61
Servicios comunales, sociales y personales	16.86
Comercio y turismo	13.36
Industrias manufactureras	11.82
Construcción	6.07
Transporte y telecomunicaciones	4.95
Estab. financieros, seguros, bienes, inmuebles y servicios prestados a las empresas	1.50
Pesca	1.01
Electricidad, gas y agua	0.67
Explotación de minas y canteras	0.15
Otro	6.00

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 13% indicado como indicador del área comercial-turística se debe esencialmente, entonces, a la componente comercial. Las actividades industriales 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, las principales producciones industriales son la textil (esencialmente en la zona franca pública de Matanzas) y la alimenticia (industrias privadas).

Área agrícola y ganadera

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

Productos agrícolas: Caña de azúcar, Plátanos, Hortícolas (sobre todo Ajíes, Berenjenas, Tomates, Cebollas) y, menos importantes, Arroz y Lechuga.

Productos ganaderos: Aves, Vacunos

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. El producto principal es el atún en la zona de Las Salinas. En el estuario del Río Nizao se pescan esencialmente lisas.

Área turística

El turismo no está muy desarrollado. En la costa existen dos lugares principales de atracción turística interna en el área de Las Salinas - Palmar de Ocoa y Playa Los Almendros al Sur de Baní. A los fines de desarrollar la actividad turística de la provincia, ha sido creado un Polo Turístico denominado "Provincia Peravia-Baní".

Por lo que atañe al turismo ambiental, no existen parques o ecoturismo en general.

Área minera / extractiva

A parte de la extracción de arena y grava para la construcción (esencialmente concentrada en el sector oriental del área de estudio), las actividades en esta área son muy reducidas. Se extraen esencialmente Arcillas industriales y Sal (zona de Las Salinas).

Área de infraestructuras y servicios

La red de carreteras, es de calidad media en el área y no está muy desarrollada. La única carretera en buen estado es la Carretera Mella.

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 es bueno, así como, en general, la cobertura celular.

3 CLIMATOLOGÍA

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

- 6 estaciones pluviométricas/gráficas del INDRHI (período 1961-1996);
- 6 estaciones climatológicas del INDRHI (período 1967-1996);
- 2 estaciones climatológicas de la ONAMET (período 1961-90 y 97, 1931-97);

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 la Planicie de Baní es de 935.4 mm, a nivel de estación de interés hidrológico los valores anuales medios oscilan entre 932 mm (Baní) y 1769 mm (Valdesia, río Nizao);
- el territorio de interés está caracterizado por una elevada variabilidad espacial y temporal de la precipitación y no hay correlación con la altura ni entre estaciones cercanas;
- la variación mensual de la precipitación presenta un régimen de tipo bimodal con época lluviosa en la primavera (en términos generales en los meses de mayo y junio) y en verano-otoño (desde agosto hasta noviembre) y con sequía en el invierno y en julio. Pero si la marcha intranual está bastante homogénea en todo el territorio examinado, los meses máximos y mínimos relativos tienen una elevada variabilidad de un lugar al otro;
- las áreas más lluviosas se localizan en las cuencas altas de los ríos Nizao y Baní, las más secas a lo largo de la costa del Mar Caribe;
- 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 región hidrológica de la Planicie de Baní puede ser subdividida en dos zonas pluviométricas, en el interior de las cuales el coeficiente de variación CV de la lluvia total anual asume, en sentido estadístico, el mismo valor en todos los puntos:
 - área cerca del mar hasta la isoypsa 100 metros CV=0.260;
 - área intramontana (a cota mayor de 100 metros) CV=0.197.
- la temperatura media del aire presenta valores anuales que fluctúan entre menos de 10 °C (Alto Bandera) y más de 27 °C, la variación intranual de la temperatura media oscila entre 3 y 4 °C, y, en todo el área de estudio, el período de mayores

temperaturas corresponde a los meses de julio a agosto y lo de mínima a los meses de diciembre - febrero;

- los valores de la evaporación de tanque A medidos oscilan entre 1517 mm (El Naranjal-Ocoa) y 2009 mm (Valdesia), todos los meses presentan valores elevados de la evaporación. Debido reducido numero y heterogéneidad de los meses de medida completa de la evaporación, las medidas de evaporación utilizadas en el estudio, que en algunas estaciones llegan ciertamente a valores mensuales y anuales subestimados, tienen el sentido de indicación de la magnitud del fenómeno y, sobre todo, de su marcha.
- la ecuación de Hergreaves-Samani ha sido elegida como método de referencia para evaluar la evapotranspiración potencial ETPo por que tiene, a escala de toda el área de estudio del Caribe, el mejor ajuste, en sentido relativo, con la marcha mensual de los valores de la evaporación de tanque A (Epan).
- la distribución de la ETPo anual tiene una cierta correlación con las características morfológicas, el promedio anual en la zona hidrogeológica de la Planicie de Baní es alrededor de los 1700 mm, a nivel de estación los valores anuales medios oscilan entre 1033 mm (Alto Bandera) y 1723 mm (Baní);
- el balance entre la precipitación media anual y la ETPo (de Hergreaves-Samani) llega a encontrar las áreas más secas, donde se señala un déficit hídrico alrededor de todo el año, en las zonas costeras, en cambio, las áreas húmedas se encuentran en las zonas intramontanas y de sierra, ocurriendo los períodos húmedos más largos, hasta 5-7 meses, en la cuenca alta del río Ocoa y en la cuenca del río Nizao.

- 4 OROGRAFÍA , HIDROGRAFÍA Y GEOMORFOLOGÍA

El área de estudio se extiende desde el río Nizao al E, hasta la baja de Ocoa y las últimas áreas montañosas antes de la llanura de Azua al O.

La hidrografía del área de estudio está caracterizada por la presencia de 3 ríos principales, del E al O, ríos Nizao, Baní y Ocoa.

A lo largo del curso del río Nizao se encuentran los embalses de Jigüey, Aguacate, Valdesia y Los Barrías, que condicionan su régimen hidrológico. Más al S del contraembalse, el valle se extiende hacia el mar, inicialmente confinado por formaciones de baja permeabilidad, limitado por terrazas fluviales de las otras formaciones cuaternarias en el sector mediano, y luego a través de las formaciones litificadas y fisuradas hasta el mar Caribe.

En el sector central, el río Baní se extiende desde el pueblo de El Recodo (en el límite N del área de estudio) en dirección S entre formaciones calcáreas fisuradas y flysch impermeable casi a la altura del pueblo de Baní, donde modifica repentinamente su dirección a EO, cruzando una dorsal calcárea. Entonces, continúa al E de Baní, hacia el S hasta el mar Caribe. Este río es perenne en el sector aguas arriba de Baní y estacional aguas abajo, donde tiene que jugar un papel alimentante para el acuífero.

El río Ocoa se caracteriza, antes de todo, por pertenecer a un valle completamente aislado de la restante parte del área de estudio, en correspondencia del alto estructural de Villa Fundación Arroyo Hondo. El río que se extiende en dirección NS desde el límite N, a través de la carretera principal Baní-Azua, hasta el sector de Villa Fundación, modifica aquí su marcha y, continuando en dirección O, llega hasta la llanura de Palmar de Ocoa y sale a la gran baja de Ocoa. El río Ocoa juega un papel alimentante para el acuífero y en su tramo inferior es típicamente un curso estacional debido al tamaño de los depósitos cuaternarios de su lecho.

Muchos otros ríos se encuentran en el área de estudio, pero la mayoría son clasificables como cañadas o arroyos secos y juegan un papel alimentante para las aguas subterráneas y las aguas escurren en superficie sólo en ocasión de lluvias significativas.

Entre los terrenos que constituyen las dorsales se nota cómo la distinta resistencia a la alteración de las tres formaciones del Grupo de Peralta (para el detalle sobre la geología véase el párrafo 5.1) determina una diferente respuesta morfológica, con la formación de crestas más resistentes en correspondencia de las rocas carbonáticas de la formación Jura, mientras que los intervalos terrígenos están evidenciados por la presencia de pequeños valles interpuestos.

Una diferenciación de este tipo no se percibe en las formaciones que pertenecen al Grupo del río Ocoa, a no ser por una tendenciosa suavización del relieve en el sector al O de Baní, donde el litotipo aflorante, de tipo predominantemente siltítico, resulta ser generalmente más erosionable.

Con relación al Grupo de Ingenio Caei, la Formación Ingenio Caei constituye el altiplano costero de morfología tabular presente al O del río Nizao (Sabana Grande de Palenque), delimitando, con un escarpe de pendiente elevada, el valle del Arroyo Pajarito, afluente de izquierda del río Nizao, emplazado enteramente sobre las areniscas altamente erosionables de la formación basal del río Nizao.

Una reducción del nivel de base está testimoniada por la presencia de numerosas terrazas aluviales que se desarrollan en los valles principales del área con una

limitación al segmento de monte para aquéllas con expansión en la llanura costera central.

Fenómenos de erosión fluvial se observan todavía en el frente mar en la franja comprendida entre el Arroyo Agusadera y el Arroyo Vallo, cerca del pueblo de Matanzas.

Las terrazas resultan más llamativas en el sector del río Ocoa donde el levantamiento diferencial de la Sierra del Número ha llevado a la formación de mesetas con morfología sub-llana, a veces con suave declive en las vertientes, situadas en posición altimétricamente elevada.

Con relación a los sedimentos actuales, la forma del retículo de los ríos principales es indicativa de las litologías en el cauce; ejemplares resultan el río Ocoa cuyo curso anastomosado puede remontarse a depósitos exclusivamente gruesos mientras que la presencia de matriz fina en los aluviones del río Nizao determina una estabilización del cauce activo.

5 LINEAMIENTOS GEOLÓGICOS Y TECTÓNICOS

5.1 Geología

El área objeto de estudio constituye una exposición de rocas sedimentarias cenozoicas, con menores afloramientos cretáceos, que forman una sucesión de dorsales de elongación N-S o NNO-SSE, separadas por valles fluviales de igual dirección.

Los depósitos aluviales, además de constituir el relleno de estos valles, van a formar también extensas terrazas y bordes aislados en posición morfológicamente elevada, que representan un elemento característico de todo el sector.

Con mayor detalle, los litotipos presentes en el área pueden remontarse a las siguientes unidades:

Secuencias terrígenas Cenozoicas

Está representado por tres distintas secuencias de depósitos, en facies predominantemente flyschoides, parcialmente superpuestas. Éstas pueden distinguirse así:

Grupo de Peralta

Partiendo desde la posición estratigráfica más baja, las formaciones que constituyen esta unidad son las siguientes:

Formación Ventura

Sucesión de turbiditas siltíticas y siltítico-arenáceas en bancos de potencia media, con subordinación de areniscas gruesas y conglomerados.

Formación Jura

Calcarenitas, calcilutitas y calizas silíceas (hemipelagitas).

Formación El Número

Sucesión de marnas y mudstone calcáreos en estratos de potencia elevada.

Toda la secuencia se coloca en el Eoceno inferior y se desarrolla por un espesor estimado de aproximadamente 3000 metros.

Estos terrenos afloran en el sector occidental, en la Sierra del Número y en el Cerro del Burro; de los datos bibliográficos, confirmados por las observaciones fotogeológicas, la sucesión estratigráfica se muestra frecuentemente repetida por causa del desarrollo de escamaduras tectónicas que afectan de manera intensiva a estos relieves.

Grupo del río Ocoa

Los litotipos relativos a esta secuencia afloran extensamente desde la Sierra del Número hasta el valle del río Nizao.

A diferencia de las sucesiones terrígenas del Grupo de Peralta, esta unidad presenta frecuentes niveles de conglomerados, masas holistoestrómicas y una granulometría del sedimento tendenciosamente más gruesa.

Desde el punto de vista de la competencia, las formaciones de este grupo muestran generalmente un menor grado de endurecimiento y un sistema de diaclasas de menor densidad.

La secuencia está subdividida, partiendo desde la posición estratigráfica más baja, en las siguientes tres formaciones:

Formación río Ocoa

Los litotipos que la constituyen son turbiditas terrígenas arenáceo-siltíticas, calcarenitas y masas holistoestrómicas.

Formación El Limonal

Está constituida por conglomerados, turbiditas siltíticas y arenáceas y menores holistoestromas.

Formación Majugua

La formación está representada por mudstone, calcarenitas y siltitas. Es característica la presencia de estratos irregulares de fragmentos coralinos.

Estas formaciones afloran en progresión desde el O hacia el E.

La edad de toda la secuencia varía entre el Eoceno y el Mioceno inferior y los espesores estimados varían entre 2000 y 4000 metros.

Para estas secuencias ha resultado difícil armonizar la subdivisión estratigráfica con la de referencia, representada por la leyenda del “Mapa Geológico de la República Dominicana” en escala 1:250.000 del año 1991, que utiliza un criterio de distinción predominantemente litológico.

Las unidades estratigráficas se han reorganizado así:

En la unidad cartografiada con sigla **teo-tol’FI** se han agrupado las facies flyshoides de los Grupos Ventura y río Ocoa y las masas holistoestrómicas de este último.

De la Formación río Ocoa se han distinguido tanto los conglomerados (**teo’cg**) como las facies calcáreas (**teoi’c**).

Las formaciones El Limonal y Majugua mantienen su identidad de manera casi inalterada dado que en general pueden remontarse, respectivamente, a una unidad de siltitas predominantes con intercalaciones irregulares de conglomerados (**tol’m+cg**), y a una unidad constituida por una sucesión margoso-calcarenítica (**tolst-mim’m+car**). La única diferenciación hecha es la de la facies predominantemente arenácea de la formación El Limonal que ha sido indicada con la sigla (**teo’ar**), pero en la cual podrían asociarse, por lo menos en parte, también las areniscas de la Formación Las Palmas (ver formaciones cretáceas-paleogénicas de la Cordillera Central).

Grupo de Ingenio Caei

En la parte SE del área, en discordancia sobre los terrenos del Grupo río Ocoa, está presente, a caballo del río Nizao, una secuencia alternada de rocas terrígenas y carbonáticas.

En su interior se distinguen las siguientes formaciones:

Formación del río Nizao

Representa la parte basal y está constituida por un centenar de metros de areniscas de bajo grado de cementación (**Tmims'Mm**) con esporádicos niveles guijarrosos (**'Mm,cg**)

Formación Ingenio Caei

Está constituida por conglomerados, areniscas, siltitas y calizas arrecifales (parte de **tpl-qp'c**).

Siempre con referencia a la leyenda del mapa geológico 1:250.000, en la base de la formación se ha distinguido de todos modos un presumible nivel de granulometría fina (**tpl'm**), definido en la geología de referencia como margoso en facies litoral, que, no habiendo sido observado en afloramiento, resulta ser todavía dudoso sobre todo por lo que se refiere a la real extensión del mismo.

Esta secuencia, que se sobrepone en discordancia sobre los terrenos del Grupo río Ocoa, abraza un arco temporal que va desde el Mioceno inferior hasta, presumiblemente, el Pleistoceno.

La parte alta de la secuencia se hunde por debajo de las calizas arrecifales aterrazadas y de los depósitos costeros litificados.

Grupo de las formaciones de la Cordillera Central

En la parte central del área, en correspondencia de una estructura regional subvertical llamada San José-Restauración Fault Zone, se observa la juxtaposición entre la formación del Grupo río Ocoa y algunas formaciones ígneas y sedimentarias de edad cretáceo-paleocénica, características de la Cordillera Central. En síntesis, estas formaciones pueden distinguirse así:

Complejo del Tireo (k'mgm) (ks'v-s)

Constituidas por vulcanitas y piroclastitas

Formación Las Palmas (ks'ar)

Turbiditas arenáceo-siltíticas.

A estas dos formaciones se agregan terrenos calcáreos, margas y arcillas (**ks'm+car**) que hasta el día de hoy no están distinguidos en formaciones definidas.

Depósitos terrígenos cuaternarios

Los depósitos principales son los de naturaleza predominantemente fluvial que, además de formar el relleno de los valles principales, constituyen toda la llanura costera formada por la fusión de distintos complejos aluviales.

Investigaciones geoelectricas efectuadas con anterioridad han determinado para los depósitos costeros espesores que no superan los cincuenta metros, con una disminución progresiva aguas arriba. Las investigaciones efectuadas en el curso del

presente proyecto hacen considerar pero que los espesores sean sensiblemente superiores, pudiendo estimar una potencia de un centenar de metros en proximidad de Baní.

En los valles principales los depósitos fluviales constituyen a menudo terrazas de distintas entidades, cuyo desnivel de las actuales cotas de corrimiento fluvial llega a algunas decenas de metros, como es bien visible recorriendo las carreteras que desde Baní, por los valles del río Baní y del Arroyo Guera, llegan hasta El Recodo y Cabeza de Toro.

Como consecuencia de un levantamiento reciente del lejano sector occidental, en las proximidades del río Ocoa, están presentes, en posición morfológicamente elevada, unos extensos depósitos aluviales, sin que haya ninguna conexión con la situación hidrográfica actual.

La fracción más extensa, aquella donde se encuentran las poblaciones de Sabana Buey y Villa Fundación, está constituida por un depósito de guijarros y cantos en matriz arenosa superpuesto a los litotipos flyshoides cenozoicos; estos últimos están puestos en evidencia por marcados escarpes de erosión lateral que otorgan al cuerpo aluvial el aspecto de un depósito cortical sub-llano.

En los puntos observables directamente dicho depósito muestra espesores no superiores a algunas decenas de metros.

Las cotas más elevadas alcanzan el centenar de metros s.n.m.; cotas todavía mayores se registran en correspondencia de la fusión con fracciones residuales del sistema de conoide presente al N de Sabana de Hato de Cabra.

Tal variedad en los depósitos aluviales, junto con la dificultad de distinción de un Cuaternario detrítico s.l. en un área muy condicionada por la tectónica reciente, ha inducido a conservar para estos terrenos el nombre genérico Cuaternario indiferenciado (**q'**), ya adoptado en la cartografía geológica en escala 1:250.000, manteniendo diferenciados sólo los depósitos aluviales actuales y recientes (**qh'a**).

En sentido general, los sedimentos que constituyen los depósitos aluviales son generalmente finos, estrictamente condicionados por las litologías que caracterizan a cada una de las cuencas, con excepción de los más antiguos que muestran, donde están expuestos, una granulometría más gruesa (ver Villa Fundación).

Los depósitos más gruesos se observan en correspondencia de los cauces actuales de los principales ríos del área, con un ejemplo marcado en los aluviones actuales del río Ocoa constituidos por cantos de gran tamaño y ausencia de matriz.

Depósitos cuaternarios de menor importancia se encuentran en el área de Las Calderas, donde están presentes sedimentos de ambiente palustre costero (**qh'mr**), Las Salinas y un campo de dunas (**q'd**) que se extiende desde Las Salinas hasta el Arroyo Agusadera.

5.2 Tectónica

El área está interpretada como una serie de thrusting de plegamiento hacia el SO, y el motivo tectónico de pertinencia de cada una de las unidades cenozoicas no resulta unívoco, diferenciándose en cada una de las unidades cenozoicas como se describe a continuación:

El grupo de Ocoa constituye una secuencia plegada y escamada en la que tanto las estructuras de plegamiento como las fallas de compresión, están interrumpidas por zonas transversales de fricción (shear zone) de disposición subvertical, particularmente evidentes al O de Baní en la Loma de las Tablas.

La tectonización resulta más intensa en proximidad de las aldeas de Recodo y La Gina donde están presentes numerosas fallas de pequeña escala.

El paralelismo que existe entre las estructuras de deformación plástica y las principales de naturaleza frágil, sugiere un estrecho enlace temporal en la formación entre estos dos tipos de elementos estructurales.

El contacto tectónico entre esta unidad y el Grupo de Peralta puede observarse a lo largo de la carretera Baní-Azua, en proximidad del margen occidental del área de estudio.

En el Grupo de Peralta la estratificación muestra una inmersión generalmente constante hacia E-NE.

En general, en esta unidad la tectónica frágil se remonta a la presencia de fallas de distinta tipología: fallas compresivas paralelas a la estratificación, tanto en pequeña como en gran escala, y fallas directas y transcurrentes, en pequeña escala, transversales a la estratificación.

Facies cataclásticas y amplias franjas de descompaginación de los estratos constituyen otro elemento tectónico característico.

La tectónica neogénica parece haber afectado sólo marginalmente a los terrenos del Grupo Ingenio Caei que muestran, como único evento deformativo, un tilting de aproximadamente 20 grados hacia el SE.

La situación tectónica del área es el resultado de la sucesión de los siguientes eventos deformativos:

En el Eoceno superior se verifican fenómenos sinsedimentarios de descompaginación de los estratos en la formación basal (Ventura) del Grupo Peralta, en consecuencia de la formación de la cuña de crecimiento.

En el Mioceno inferior se verifica el plegamiento y la formación de las franjas de sobreposición en las formaciones de Grupo Río Ocoa, por causa de la colisión entre las dos placas que constituyen la isla de Hispañola.

Desde el Mioceno superior hasta el día de hoy se verifica tiltaje hacia el SE de las formaciones del Grupo Ingenio Caei como consecuencia del levantamiento de la Cordillera Central y de la instauración de una zona de transcurrencia en la parte central de la isla.

En tiempos recientes se verifica el levantamiento de la Sierra del Número en consecuencia de la internación de la costa, en correspondencia de la Bahía de Ocoa, de la Beata Ridge.

Esta última fase deformativa reviste una importancia digna de nota por los efectos producidos en la situación hidrográfica del sector occidental, en el cual la presencia de los extensos depósitos aluviales en posición apical en la dorsal al N de Las Calderas, y la dirección anómala, respecto de la común a los demás ríos de la zona, del trecho terminal del Río Ocoa, hacen pensar que el levantamiento rápido del área haya inducido una variación en el trecho terminal del curso del Río Ocoa.

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

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

En el curso del proyecto se realizaron las siguientes actividades:

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

Intensidades Máximas y Erosividad de las Lluvias en la República Dominicana

SEA/IICA/INDRHI, 1982

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

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

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

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

Distritos de riego de la República Dominicana

INDRHI. 1995

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

Fundamentalmente está constituido por tres partes principales:

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

Situación hídrica de los sistemas cerrados en la República Dominicana

INDRHI, 1992

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

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

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

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

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

Proyecto de Código de Agua para la República Dominicana

INDRHI - GTZ, 1990

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

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

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

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

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

INDRHI - GTZ, 1988

Es un informe que consta de tres partes, en el cual están definidas todas las estaciones de aforos y, pluviométricas, con sus respectivas fotos.

Por cada una de las estaciones se presenta su situación con todos los datos necesarios y útiles para los diferentes usuarios.

Plan Nacional de Ordenamiento de los Recursos Hidráulicos (DIAGNÓSTICO)

OEA/INDRHI, 1994

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

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

El informe se presenta en tres partes fundamentales:

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

Inventario Nacional de los Recursos Hidráulicos Superficiales

INDRHI, 1990

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

Fotografías Aéreas de la República Dominicana

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

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

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

Información a nivel de la Planicie de Baní

Estudio de las Aguas Subterráneas entre el Sector de Avedaño y Boca de Gamboa Río Haina

H. Rodríguez, C. George (INAPA), 1995

El objetivo de este estudio fue evaluar el potencial, en términos de cantidad y calidad de aguas, de los acuíferos aluvionales de Avedaño y Boca de Gamboa, en la Cuenca del río Haina.

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:

- e) Verificación de los puntos de las redes de control monitoreadas por INDRHI.
- f) Verificación de los puntos “bibliográficos” y pesquisa de otros puntos existentes.
- g) Toma de informaciones generales sobre los puntos inventariados.
- h) Corrección de las fichas de los puntos “bibliográficos” en relación con la realidad encontrada en el terreno.
- i) Redacción de las fichas preliminares para los nuevos puntos.
- j) Ubicación en los mapas de todos los puntos inventariados.
- k) 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 San Pedro de Macorís (responsable de la Planicie de Baní).

Un componente de la brigada de monitoreo de la Oficina Regional Este (San Pedro de Macorís) de INDRHI, se integró 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 Planicie de Baní eran 50.

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 113.

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

- el 2.7% de los puntos (3), eran aptos sólo para medidas piezométricas;
- el 27% de los puntos (30), eran aptos sólo para medidas de calidad de aguas;
- el 39.3% de los puntos (45), eran aptos para medidas piezométricas y de calidad de aguas al mismo tiempo.

Esto significa que:

- el 42% de los puntos inventariados (48), eran aptos para la red de control piezométrico;
- el 66.3% de los puntos inventariados (75), eran aptos para la red de control de calidad de aguas;
- el 31% de los puntos (35), no eran aptos, en las condiciones en las cuales los

encontramos, para ser incluidos en las redes de control.

Se encontró una repartición de los puntos en el espacio muy irregular en los diferentes valles que constituyen la Planicie de Baní donde hay zonas con concentración elevada (por ejemplo cerca de Fundación de Sabana Buey y en Palmar de Ocoa) y otras (por ejemplo la parte sudoeste) donde los pozos son raros o inexistentes.

La mayor parte de los pozos, se concentran en la zona central al Sur de la carretera principal de Nizao a Baní y de la carretera Baní a Las Calderas y son utilizados sobre todo para ganado y riego aunque el uso doméstico no es muy raro.

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

Problemas encontrados

Los problemas que más afectaron a la ejecución del trabajo y que ocasionaron 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;
- los pozos que tienen características para ejecutar perfiles de salinidad son muy raros;
- 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 era muy poca y se tenían dificultades de muestreo con el toma-muestra;
- la falta de colaboración de algunos dueños y de parte de la población sobre todo en la parte más al Oeste.

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 139 o sea el 178% 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 casi totalidad de los puntos de aguas existentes están representados por pozos (el 92.1%). Solamente 3 son manantiales.
- Entre los propietarios de los pozos, los más representados son los particulares (39.6%), INAPA (24.5%) y el INDRHI, cuyos pozos/sondeos, incluyendo los realizados en el proyecto, representan el 8.6% de los inventariados. En 29 pozos (20.9%) no se pudo identificar al propietario.
- En los pozos que tienen equipos de bombeo, los tipos de bombas más representados son las eléctricas sumergibles (33.8%) y las de eje vertical (37.7%): los molinos de viento (2.6%) y las bombas manuales (7.8%) están muy poco representadas en el área.
- Los pozos se utilizan principalmente para uso doméstico (30.9%) y el riego (29.5%): entre las otras utilizaciones las más representadas son: industria (2.2%) y ganadería (3.6%).
- Las cotas de los pozos varían entre 1 y 180 m.s.n.m.
- Solamente en el 8.6% 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 11.09 metros.
 - El pH de las aguas se sitúa entre 6.6 y 8.7, con un promedio de 7.4.
 - La temperatura de las aguas varía entre los 26.3 y los 32.5 grados Celsius con un promedio de 28.7 grados.
 - Con referencia al número total de medidas ejecutadas, la conductividad eléctrica supera los 500 microSiemens/cm en el 80.0% de los casos, los 1000 microSiemens/cm en el 10.9% de los casos y los 3000 microSiemens/cm en el 1.8% 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 HIDROGEOLÓGICO NACIONAL EN LA REPÚBLICA 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 interfases dedicados a la creación de mapas. Con procedimientos análogos, siempre con la ayuda de interfases amigables, se alimentan también eventuales views o tablas intermedias creadas durante la producción de cartografía en función:

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

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

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

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

Además de las funcionalidades expresadas anteriormente, que se refieren

predominantemente a los aspectos de la cartografía y de la gráfica, el GIS dispone de funciones de integración y conexión con la **base de datos alfanumérica** de los puntos de agua, ampliamente utilizada en el curso del proyecto.

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

6.3 Piezometría

6.3.1 Campañas piezométricas

Cantidades y metodología de elaboración de los datos

En los Términos de Referencia del contrato estaba previsto utilizar unos 50 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 de la red “histórica” del INDRHI (para dar continuidad a las medidas) que ya tenían un mínimo de datos en tiempo pasado.

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

En total se tomaron en cuenta 71 puntos (801 medidas) de los cuales 53 (563 medidas) antes del huracán y 54 (158 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 36 o sea el 50.7% del total considerado. En los últimos 3 meses se añadieron 2 nuevos pozos de control más los 8 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 (801 contra un número previsto de 850) fue inferior de 49 a lo previsto (-5.8%). Este hecho se debe a la escasez de puntos aptos en el área.

El mapa de piezometría observada se realizó a partir de los datos piezométricos medidos en la red del proyecto a lo largo de las 13 campañas anteriores al huracán

George (9/97 - 9/98). Se evitó la utilización de cualquier método de regionalización semiautomático como el Kriging, considerando que en la mayoría de los casos la densidad de los datos no permitía alcanzar resultados satisfactorios y, más importante, porque estamos convencidos de que realmente se requiere una interpretación integrada y manual de todos los datos disponibles (ej. papel de los ríos y de los canales, influencia de áreas de fuerte explotación).

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

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

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

Una revisión de las interpretaciones, con relación solamente a los datos de pozos cuyas cotas y ubicación han sido determinadas por medio de técnicas Gps diferencial, ha evidenciado la existencia de diferencias apreciables en la proximidad de las áreas costeras y en las zonas con bajo gradiente. Por lo tanto la interpretación inicial se revisó y se modificó utilizando solo 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 fuese 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 era posible (en relación con la existencia de puntos y la cantidad de medidas que se habían podido ejecutar en cada uno de ellos) según el procedimiento indicado más arriba en este mismo informe
- c) Estudio/interpretación de las mismas.
- d) Selección de los puntos donde se pudieron ejecutar medidas durante todos los meses de campañas piezométricas (que incluyen los pertenecientes a la red histórica de INDRHI) y depuración de aquéllos cuyas medidas habían sido afectadas significativamente por bombeos.
- e) Selección de los puntos nuevos añadidos durante las diferentes campañas que se pudieron medir hasta (o por lo menos en) Agosto de 1999 y depuración de aquéllos cuyas medidas habían sido afectadas significativamente por bombeos.
- f) Selección de los pozos nuevos realizados en el proyecto después de Agosto de 1999 o que no se pudieron medir en los últimos tres meses por otras razones, pero que seguramente se podrán utilizar en futuro.
- g) Reunir y poner en un mapa de trabajo los pozos de los puntos d), e) y f) evidenciando los que tienen bombas (instaladas aunque no en funcionamiento) que llamaremos “puntos aptos” a ser utilizados en la red de control.
- h) Selección de aquéllos, entre los puntos aptos, que satisfacen los criterios indicados más arriba en este mismo párrafo y definición de la red de control.
- i) Redacción de la parte relacionada con la piezometría del Mapa 2 – “Mapa de la red piezométrica y de aforos directos”.

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

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

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

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

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

- 1) La medición está afectada por errores de distintos tipos, que hacen que a priori las indeterminaciones en las coordenadas del punto sean del orden de 100 m en

planimetría y de 150 m en altimetría.

- 2) El sistema de referencia en el que la medición se efectúa es el propio del GPS, denominado WGS 84 (World Geodetic Datum de 1984). Por lo que atañe a la planimetría, las coordenadas obtenidas pueden distar varios centenares de metros de aquéllas de los sistemas locales presentes en los varios países. Por lo que atañe a la altimetría, la cota medida es la relativa al elipsoide de referencia, o sea al WGS 84, y no se trata pues de una cota sobre el nivel del mar, que, en cambio, es la que es habitualmente de interés.

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

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

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

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

Los puntos trigonométricos utilizados en este área fueron Haina y Baní.

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 cierto número de nuevos puntos de referencia, seleccionados siempre durante la fase preliminar de inspección, de modo tal que se encontraran en correspondencia de la mayor parte de los pozos. En particular, para la Planicie de Baní, fueron seleccionados 2 nuevos puntos.

Por lo que atañe a la solución del punto 2) del que se ha tratado arriba, es necesario distinguir entre la conversión de las coordenadas planimétricas del sistema WGS 84

al NAD 27 y la conversión de la coordenada altimétrica de cota elipsóidica 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 elipsóidicas 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 manutención, 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 48 para la Planicie de Baní.

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

la coordenadas mediante GPS. Contemporáneamente se medía la distancia y la dirección de la línea que unía ambos puntos, de manera que se pudiese sucesivamente obtener las coordenadas del pozo a partir de las del punto medido.

6.3.3 Levantamiento taquimétrico de puntos de agua

El levantamiento taquimétrico para la determinación de la cota de puntos de agua, se aplicó en algunos casos específicos, donde era importante una determinación precisa de la elevación de cada punto.

Esta metodología de determinación de la cota se aplicó para alcanzar dos objetivos principales:

- En sondeos de control de la eficacia de la obra realizada para la recarga inducida (ver párrafo 6.12.2 del presente informe).
- En sondeos cerca de ríos, se quisieron comprobar las relaciones entre estos últimos y los acuíferos.

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

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

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

Se determinaron las cotas relativas de 6 puntos así repartidos:

- 3 puntos realizados para el control de la recarga inducida;
- 3 puntos para la relación río-acuífero. Para estos puntos se determinaron también las distancias entre ellos.

Los puntos interesados por el levantamiento fueron:

Objetivo recarga inducida

<i>Identificación del sondeo / punto</i>	<i>Código del punto en el Banco de datos</i>
Río Nizao 1	2896
Río Nizao 2	2895
Nivel del agua en el Río Nizao en el punto más próximo al sondeo Río Nizao 1.	

Objetivo relación río-acuífero

<i>Identificación del sondeo / punto</i>	<i>Código del punto en el Banco de datos</i>
Río Baní 1	2899
Río Baní 1	2898
Nivel del agua en el Río Baní en el punto más próximo al sondeo Río Baní 2.	

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

6.4 Hidroquímica e intrusión marina

6.4.1 Muestreo y análisis para la calidad de las aguas

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 24 puntos. Su distribución está presentada en el mapa: “Mapa de caracterización hidroquímica de las aguas subterráneas” (Mapa 4).

Muestreo

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

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

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

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

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

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

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

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

Actividad de laboratorio

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

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

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

Organización de los datos

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

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

- n° de inventario del punto;
- n° de la campaña;
- datos de toma;

- datos relevados;
- tipología de análisis;
- descripción de la red de pertenencia.

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

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

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

6.4.2 Muestreo y análisis isotópicas

En el curso del proyecto se han tomado un total de 3 muestras (Fig. 6.4.2/1), en todas las muestras tomadas 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, 5 de las cuales dentro del área di Baní, 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 32 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 mostrados 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 substancialmente ligadas al estado de la misma, es decir:

- Bomba in erogación continua. La muestra ha sido tomada directamente;
- Bomba instalada pero detenida. La 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 HNO_3 hasta pH 2.

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

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

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

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

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

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

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

6.4.4 Muestreo y análisis para aguas minerales y minero-medicinales

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

6.4.5 Control de la salinidad y de la intrusión marina

El área de Baní resulta estar caracterizada por la ausencia de perfiles verticales de salinidad, por la falta de pozos aptos para la ejecución de las mediciones.

6.5 Geofísica

6.5.1 Objetivos de las campañas geofísicas

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

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

El objetivo principal fue el estudio de la intrusión marina. Otro objetivo fue el estudio en detalle de los aluviones del río Ocoa en el área de Villa Fundación.

Se realizaron además dos sondeos en la zona de Cañafistol para determinar las características de los sedimentos de la cobertura aluvial-coluvial, cuyos resultados se utilizaron en la ubicación de un sondeo mecánico de exploración.

6.5.2 Cantidades previstas y ejecutadas

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

Las cantidades ejecutadas en la Planicie de Baní fueron las siguientes:

S.E.V. con AB = 150 m	77
S.E.V. con AB = 500 m	3
S.E.V. con AB = 1000 m	1
Total S.E.V. realizados	81

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

6.5.3 Metodologías de prospección y de interpretación utilizadas

Organización general de la prospección

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

En la primera campaña realizada en el período Agosto – Septiembre de 1998, se estudiaron las siguientes zonas:

- Area de Baní hasta Las Salinas.
- Area de Villa Fundación.

La segunda fase se realizó en el mes de Diciembre de 1998. En la segunda parte del trabajo se continuó/integró la prospección en el área de Bani y en Cañafistol.

Metodología de prospección adoptada

Los métodos geofísicos de investigación tienen por objeto obtener información sobre las características de las formaciones geológicas del subsuelo por medio de la determinación de parámetros físicos obtenidos a través de observaciones y mediciones realizadas en la superficie del terreno (métodos indirectos de prospección).

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

Los métodos de prospección geoelectrica se dividen en dos categorías:

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

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

Principios y descripción del método utilizado

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

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

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

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

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

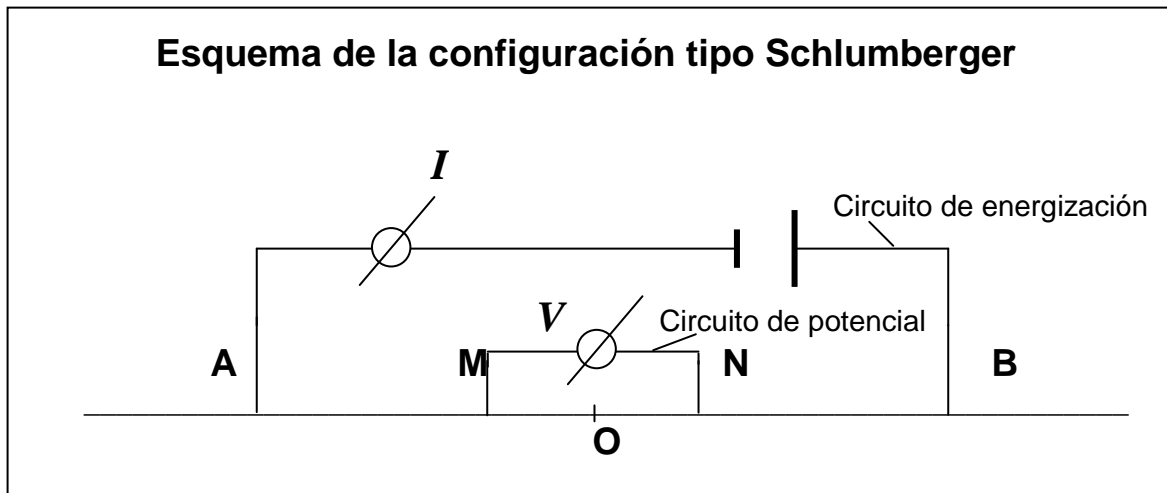
Estos factores hacen de este método una disciplina muy utilizada en el campo de la hidrogeología y de los problemas de intrusión marina.

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

Obviamente, como cualquier tipo de prospección indirecta, es decir que no mide

directamente el objeto de la investigación (mide solamente desde la superficie parámetros relacionados con el objeto mismo), necesita una buena calibración para dar resultados confiables y representativos de la situación real (este aspecto es aún más importante si se consideran los problemas de “equivalencia”, es decir que diferentes situaciones del subsuelo pueden ocasionar la misma respuesta desde el punto de vista de los parámetros medidos).

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



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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

6.5.4 Equipos utilizados

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

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

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

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

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

Todo el equipo utilizado fue periódicamente controlado.

6.5.5 Interpretación de los resultados

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

Los métodos de interpretación existentes, permiten calcular con determinadas ecuaciones las curvas teóricas $\rho_a = f(AB/2)$ para diferentes modelos del subsuelo, cada uno constituido por diferentes capas de espesor definido y resistividad real ρ . Para simplificar la resolución de las ecuaciones, se ha asumido que el espesor de la última capa sea infinito (en la práctica de dimensiones mucho más grandes que las de las otras capas superiores).

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Para un mejor análisis de los datos obtenidos, fueron elaboradas en fase de

interpretación las llamadas Pseudosecciones de Resistividad Longitudinal Diferencial. Éstas se elaboran con valores de resistividad aparente medidos directamente en campaña (sin alguna intervención humana de interpretación) utilizando un “normogram” que permite determinar gráficamente el valor de la Resistividad Longitudinal Diferencial según la formula:

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

donde:

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

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

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

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

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

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

6.6 Realización de sondeos de exploración, 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 Planicie de Baní:

- Mejorar el conocimiento geológico-estratigráfico del área de estudio.
- Servir de calibración para la interpretación de la geofísica.
- Adquirir datos relativos a los parámetros hidráulicos de los acuíferos (T, K, S).
- Realizar pozos de control aguas abajo de zonas de explotación intensiva por parte de INAPA.
- Integrar la red de control piezométrico con pozos dedicados a este efecto.
- Controlar el funcionamiento de la obra de recarga inducida realizada en el Río Nizao.

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 Planicie de Baní:

Sondeos entubados a aprox. 7”	
- de profundidad inferior a 75 m	7
- de profundidad entre 75 y 150 m	-
- de profundidad entre 150 y 225 m	-
Sondeos entubados a aprox. 10”	-
- de profundidad inferior a 75 m	-
Sondeos entubados a aprox. 12”	
- de profundidad inferior a 75 m	-
Total	7

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 Planicie de Baní, al lado de la estación meteorológica de Los Jobos, cerca de Sombrero, en zona de afloramiento de depósitos aluviales. El pozo se entubó como 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 7 sondeos de la Planicie de Baní (6 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;
- 6 sondeos con método de percusión.

Sondeo ejecutado con método a rotación

El sondeo ejecutado con método a rotación se realizó 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.

Sondeos ejecutados con método a percusión

Todos los sondeos ejecutados con método a percusión se realizaron según el siguiente esquema:

- n) Perforación con diámetro adecuado hasta la profundidad requerida con inserción progresiva de una tubería provisoria en acero;
- o) Limpieza del sondeo con “cubo” (cuchara);
- p) 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);
- q) Extracción progresiva de la tubería provisional e introducción de grava entre la tubería y las paredes del sondeo hasta dos metros más arriba de los tubos ranurados más superficiales;
- r) Limpieza y desarrollo del sondeo con bomba y completando el relleno de grava después de la compactación durante el desarrollo;
- s) Realización de un tapón de arcilla de alrededor 2 metros;
- t) g) Continuación de la extracción de la tubería provisional y del relleno del espacio entre la tubería y las paredes del sondeo, por encima del tapón de arcilla hasta 5 metros de la superficie con los ripios de perforación;
- u) Realización de la cementación de los últimos 5 metros para protección sanitaria del acuífero;
- v) Realización en la superficie de una base de cemento cuadrada, de 1 metro de

-
- lado;
- w) 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 6 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 en 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 estaban ya conocidos.

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

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

Todos los pozos se han dejado en paro 24 horas antes de empezar los ensayos, de manera que el nivel estático no fuese afectado por 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 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. 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 de los ascensos con frecuencia similar a la de los descensos; este método es más preciso por no tener 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 el mes de septiembre del año 1997 en Santana (Baní) y en Villa Fundación 2 estaciones meteorológicas de tipo automático con alimentación por panel solar y con archivo en disco magnético de los valores medidos, es decir: precipitación, temperatura del aire, humedad relativa, radiación solar, dirección y velocidad del viento, evaporación (tanque tipo A).

La estación de Villa Fundación fue afectada por actos vandálicos que perjudicaron su funcionamiento, consiguientemente en el mes de agosto del año 1999, se instaló la estación de Los Jobos (Baní) que sustituye la de Villa Fundación.

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 8 lugares idóneos, en particular 6 secciones en cauces naturales y 2 en canal de riego (canales Marcos A. Cabral y Ocoa), para efectuar medidas mensuales de caudal.

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 esorrentía 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 9 secciones de aforos de las cuales 3 relativas a canales de riego (canales Marcos A. Cabral, Juan Caballero y Ocoa).

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, 4 se instalaron en la Planicie de Baní, distribuidas en 2 estaciones, todas pertenecientes a la vieja red de control del INDRHI.

En la tabla 6.8.2/1 se encuentran los nombres y los datos de ubicación de las 2 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 exco 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 las cuencas de los ríos Nizao, Baní y Ocoa, 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 las series

—

históricas de los caudales naturales en secciones de interés de las cuencas arriba mencionadas 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 las series históricas de las escorrentías naturales 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, para cada cuenca, según el siguiente recorrido metodológico (detalladamente ilustrado en el Anexo Memorias n° 15 junto al análisis de los caudales de estiaje):

1. individualización de las secciones fluviales de referencia respecto de las cuales efectuar la reconstrucción de las series históricas de las escorrentías;
 2. individuación de las estaciones pluviométricas de referencia (datos meteorológicos de entrada: precipitación);
 3. estimación de la evapotranspiración potencial de referencia por medio de la ecuación de Hargreaves-Samani, la cual puede ser elegida, en el área del Caribe de la República Dominicana, como método de referencia para evaluar la evapotranspiración potencial porque tiene el mejor ajuste, en sentido relativo, con la marcha mensual de la evaporación de tanque A (véase Anexo Memorias n° 1);
 4. análisis de los datos de caudal medidos (hidrogramas) en las secciones de control para la calibración del modelo matemático;
 5. selección de los valores de entrada de los parámetros del código de cálculo para la calibración del modelo (véase el Apéndice I, Anexo Memorias n° 15);
 6. calibración del modelo: criterios de control
- la calibración del modelo ha sido considerada como satisfactoria cuando resultaban satisfechos criterios de control esencialmente basados en el cotejo gráfico entre la marcha de los valores de caudal medidos y calculados con referencia, para cada año objeto de calibración, al hidrograma anual y a la curva de duración. Los criterios de control, así como las modalidades de selección, están detalladamente ilustrados en el Anexo Memorias n° 15.

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

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

6.9 Agronomía - Edafología

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

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

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

6.9.1 Campaña agronómica y edafológica

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

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

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

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

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

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

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

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

La campaña de levantamiento~~relevamiento~~ edafológico ha consistido en:

Individualización de los puntos de observación

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

Ejecución de 6 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
nitrogeno
fósforo
potasio
carbonato de calcio
capacidad de interscambio de cationes

Ejecución de 60 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 regadías
- áreas agrícolas regadas con aguas subterráneas
- áreas agrícolas regadas con aguas superficiales
- áreas agrícolas regadas con aguas mixtas
- áreas regadas ocasionalmente con aguas superficiales
- principales cultivos efectuados
- susceptibilidad a la irrigación de las áreas actualmente no regadías.
- localización de los perfiles edafológicos realizados

Para su realización, se han llevado a cabo las siguientes fases de trabajo:

delimitación de las áreas de estudio sobre la base topográfica en escala 1:50.000;
fotointerpretación de fotos aéreas en escala promedio 1:40.000 en blanco y negro,
derivadas de vuelos efectuados en los años 1983/1984; la interpretación ha sido
efectuado según el criterio de la predominancia: a cada uno de los polígonos se le ha
asociado el cultivo predominante; l'interpretazione è stata effettuata secondo il criterio
della prevalenza: a ciascun poligono è stata cioè associata la coltura prevalente;

verificación, actualización y terminación de la fotointerpretación a través de
investigaciones e inspecciones de campo;

digitalización de las informaciones cartográficas;

construcción del mapa y de la leyenda en ambiente GIS;

asociación a cada polígono de las siguientes informaciones alfanuméricas:

- áreas agrícolas (se trata de superficies brutas, que comprenden taras 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 **loas excedentes** ~~guas~~ 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~~Alla luce di quanto esposto~~, 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 riportate in allegato all'Annesso 16.~~

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

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

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

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

retrocedida a clase 6 o llevada a una clase arable en el momento en que los ulteriores estudios requeridos y los trabajos necesarios para su restablecimiento den respuestas positivas.

Clase 6

No arables: son terrenos con limitaciones que no pueden ser eliminadas como fuertes pendientes, fenómenos de erosión, rocosidad superficial, escaso drenaje, etc. No ofrecen por lo tanto las garantías mínimas requeridas por las clases anteriores y un eventual plan de riego no implicaría nunca una recuperación de los capitales invertidos.

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

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

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

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

Para la asignación a una clase se elige el valor más limitante: por ejemplo un terreno

que tuviera una pendiente mayor del 16% sería asignado a la sexta clase, aunque todos los demás valores pertenecieran a la primera. En la leyenda estaría indicado así: 6t o bien seis la clase, t la subclase que indica un límite topográfico.

6.10 Evaluación de la utilización del agua

6.10.1 Instalación de contadores volumétricos

En el ámbito de las actividades relacionadas con la evaluación del grado de explotación de las aguas subterráneas (cap. 6.10.2, 7.1.11 y Anexo Memoria n°17), como ayuda para la estimación de los consumos, se instalaron, 2 contadores volumétricos a la salida de pozos para uso doméstico y para riego para cuantificar los volúmenes de agua subterráneas extraídos.

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

Los contadores arriba citados están diseñados a propósito para la utilización también con aguas de riego y pueden ser instalados en posición vertical, horizontal e inclinada respecto del eje de la tubería, sin que se verifique ningún problema desde el punto de vista de la medición, siempre que el movimiento en la tubería sea de tubo lleno (contador completamente enajenado) y se respeten las distancias de eventuales curvas o compuertas iguales a aproximadamente por lo menos 10 DN por arriba y 5DN por debajo del tramo rectilíneo de tubería.

El cuerpo del contador, protegido con pintura epoxídica, es de hierro fundido (UNI G25), el grupo de medida puede extraerse e intercambiarse con varios diámetros diferentes, facilitando las reparaciones y las substituciones. La lectura del volumen fluido, en m³, está garantizada por el reloj seco y de lectura directa, protegido por una tapa de metal.

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

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

Para los contadores volumétricos instalados, en la tabla 6.10.1/1 se presentan los datos característicos de los pozos objeto de instalación (código, coordenadas, localidad, tipo de bomba, uso, propietario y fecha de instalación y de última lectura) junto con el valor de la lectura final en el contador, la ubicación de los cuales se presenta en el Mapa n° 8.

En conjunto, en el período febrero - septiembre se midieron 1138012 m³ para uso de riego (IAD) y 124675 m³ para uso doméstico (INAPA).

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 substancialmente 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) 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 aquéllas 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-escorrentía), por lo que atañe a la caracterización hidrológica (valores históricos naturales reconstruidos en base temporal diaria) de los principales cursos de agua.

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

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

Como se ha dicho anteriormente, la evaluación del balance hídrico entre oferta natural de los sistemas hidrológicos y actual nivel de las tomas de nuestro recurso hídrico (con relación al sector de riego se han considerado los valores de la hidroexigencia bruta, teniendo en cuenta la eficiencia global de riego, y/o del caudal de operación en cuanto representan el recurso efectivamente derivado, aunque mayor que la cantidad de agua efectivamente necesaria para los cultivos en condiciones de eficiencia optimal) ha sido referida a condiciones hidrológicas promedio y de sequía, con tiempo de retorno de 10 años, siendo estas últimas representativas de las situaciones de mayor criticidad en términos de recurso

aprovechable. Del cotejo planteado de esta manera es posible definir para cada sistema fluvial de interés el actual nivel de solicitación 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 se ha preparado una cartografía hidrogeológica en escala 1:50.000 (Mapa 9/2 para la Planicie de Baní) 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 las siguientes clases hidrogeológicas:

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

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

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

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

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

Para dar un cuadro más completo, 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 - PArCInfo. 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 completa 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 no disponibilidad 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 9/2). El área evaluada corresponde aproximadamente a toda la planicie costera y a

los valles fluviales principales.

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

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

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

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

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).

Los valores de la recarga en esta zona reflejan fuertemente la sensible disminución desde el E hacia el O de los valores de precipitación meteórica.

Esto determina en los sectores occidentales una atribución a clases de recarga más bajas también para terrenos, como los gruesos de la llanura del Río Ocoa, que se caracterizan por una elevada fracción de infiltración eficaz.

Transversalmente a la costa los valores de la recarga reflejan en cambio la disminución hacia el interior del porcentaje de las precipitaciones disponibles para la infiltración directa.

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.

Los depósitos terrígenos cuaternarios fueron diferenciados entre los más gruesos presentes en los cauces activos en los ríos Ocoa, Baní y Nizao, y aquéllos con presencia consistente de la fracción fina ya sea en niveles distinguidos que como matriz.

A los reducidos bordes acuíferos constituidos por los litotipos flyshoides, como Matanzas y el altiplano de Sabana Buey y Villa Fundación, se les atribuyó un puntaje más contenido; en el caso de Sabana Buey no se consideraron como cuerpos acuíferos los delgados depósitos aluviales cuticulares que no parecen estar en condiciones de hospedar aguas subterráneas de otra forma que no sea marginal y efímera.

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

<i>Tipo de acuífero</i>	<i>Puntajes</i>
Flysch terciarios	4
Depósitos fluviales y costeros	6
Depósitos aluviales actuales	8

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).

La clasificación textural logra cubrir casi por entero al área sometida a la evaluación de vulnerabilidad. En los sectores no determinados se procedió, compatiblemente con las observaciones hechas en el terreno, con la conformación morfológica de las áreas y con la naturaleza de los litotipos que afloraban, o a la extrapolación a partir de las clases texturales adyacentes o a la interpretación de la clase de suelo más plausible a atribuir.

En tal sentido, las asunciones más importantes están representadas por la asignación del valor 10 a los sectores no cubiertos del valle del Río Ocoa, donde el lecho aluvial resulta estar constituido por sedimentos de tamaño grueso, y por el valor 9 en la franja costera de las arenas de las dunas debajo de Las Calderas.

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 standards, 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 standards del método DRASTIC, en el sector considerado se asignaron los siguientes puntajes.

<i>Litología del no saturado</i>	<i>Puntajes</i>
Arenas y guijarros con matriz e/o niveles pelíticos	3-5-6
Arenas y guijarros	8
Alternancias arenitas-pelitas (Flysch terciarios)	4

Los depósitos terrígenos cuaternarios se evaluaron de manera diferenciada, atribuyendo el valor más alto a los terrenos aluviales de granulometría elevada, y graduando la asignación del puntaje a los depósitos cuaternarios costeros, en función del tendencioso incremento hacia el interior de la fracción pelítica, tanto bajo la forma de niveles distinguidos que como en porcentaje en la matriz. En general se asignó el valor más bajo (3) a todo el sector comprendido entre Las Salinas y Matanzas, y a los sectores situados por arriba de Baní y Cañafistol.

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 (karstismo, fracturación, granulometría, abundancia de la matriz en terrenos sueltos, etc.).

En el caso específico del sector de estudio a los acuíferos aluviales del área se les asignó un puntaje generalizado igual a 6, diferenciando el cojín aluvial del Río Ocoa (8), en el cual la granulometría de los sedimentos deja suponer una permeabilidad elevada del acuífero, y la franja costera de Las Salinas (2), con predominancia de sedimentos pelíticos.

La síntesis de los puntajes atribuidos es la siguiente.

<i>Facies acuíferas</i>	<i>Puntajes</i>
Depósitos cuaternarios s.s.	6
Depósitos cuaternarios (Las Salinas)	2
Depósitos aluviales Río Ocoa	8
Alternancias arenitas-pelitas (Flysch terciarios)	2

Los puntajes obtenidos para cada uno de los factores, permitieron la redacción del mapa de vulnerabilidad en escala 1:100000 (Mapa 10/2), en el cual, además de la clasificación en términos de clase de vulnerabilidad intrínseca, están indicados también los centros de peligro potencial censados en el área de estudio.

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

6.12 Modelización

6.12.1 Modelos matemáticos de flujo de las aguas subterráneas

Se realizó un modelo matemático bidimensional de flujo, mediante el código de cálculo de diferencias finitas Modflow, como cobertura del sector que desde la bahía de Salinas, al Oeste, se extiende hasta el sector de Baní. Se excluyeron los sectores de Nizao, al E, y el valle del río Ocoa, al NO, ambos substancialmente aislados de la parte principal de la Planicie.

El modelo fue calibrado en condiciones estacionarias, teniendo como referencia la piezometría promedio del período 9/97 – 9/98. La actividad de calibración se articuló a partir de un modelo conceptual inicial bien definido en sus líneas generales, aun considerando que permanece de todas maneras un cierto grado de indeterminación en los espesores del sistema acuífero y en la caracterización hidrogeológica del sistema examinado. La actividad se concluyó cuando se alcanzaron objetivos de calibración satisfactorios, en términos de concordancia entre piezometría observada y calculada; el resultado fue la definición del modelo conceptual final y del modelo numérico, a utilizarse para los fines de la simulación.

En síntesis el modelo conceptual final se caracteriza por formaciones que van aumentando de espesor desde el límite N (a lo largo de la Cordillera Central) hacia el S (línea de costa), hasta valores máximos hipotetizados del orden de los 100 m. Análogamente, también las permeabilidades van aumentando hacia el S, pasando en algunos casos de formaciones francamente limoso-arcillosas (área de Cañafistol, inmediatamente al O del pueblo de Baní) a depósitos sueltos tendientes a términos limoso-arenosos. De este cuadro se alejan los depósitos aluviales recientes, asociados en el área estudiada con la marcha del río Baní. Se puso en evidencia el papel de alimentación del río Baní, que resulta casi completamente seco ya a la altura del pueblo homónimo, como así también la influencia en las pérdidas desde los canales superficiales (Marcos Cabral y Juan Caballero). Se tuvo en cuenta además que las formaciones impermeables se extienden hacia la costa, con evidente rumbo N-S, creando la subdivisión en una serie de sectores hidrogeológicamente separados. Por lo que atañe a la recarga, se hizo referencia a los resultados del estudio hidrológico, adoptando substancialmente valores medianos para las formaciones más meridionales y para los depósitos aluviales recientes (río Baní) y valores muy reducidos para las formaciones finas presentes en la parte septentrional de la Planicie.

El modelo fue integrado con la individualización de las tomas para uso potable/industrial (campo pozos de Baní, pueblo y zona franca de Matanzas). Las actividades turísticas son de interés predominantemente local y de limitado impacto. Por lo que atañe al sector agrícola, los cultivos son extensos pero con uso predominante de aguas superficiales (red de canales), excepto un pequeño sector al SO de Baní, según las indicaciones emergidas del estudio agronómico.

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

total de datos históricos de piezometría y de toma.

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.

6.13 Ensayos de recarga inducida

El Estudio Hidrogeológico Nacional tiene dentro de sus actividades la individuación de sitios idóneos para intervenciones de recarga inducida y la realización, en los sitios idóneos de ensayos de recarga inducida con el doble objetivo de minimizar, por una parte, el riesgo de avance de la intrusión marina frente a explotaciones actuales y futuras de aguas subterráneas y de evaluar, por otra, la viabilidad de regular caudales de ríos sin infraestructura hidrológica.

Los ensayos de recarga inducida se refieren a sistemas de recarga en superficie, es decir son de dos tipos: mediante acondicionamiento de cauces de ríos (dragado-escarificación del lecho del río y/o aumento de la superficie y del tiempo de contacto río-napa y/o ensanchamiento del cauce de crecida del río) y mediante balsas de recarga.

La actividad para la identificación de los sitios propuestos para la realización de los ensayos de recarga inducida ha sido desarrollada en las siguientes fases:

- en la oficina, individuación preliminar, de forma sintética, de las características del medio ambiente idóneas para realizar ensayos de recarga;
- en el campo, comprobación de la posibilidad de efectuar ensayos de recarga.

Con referencia a los objetivos del proyecto, se tomó en consideración el bajo curso de los ríos: Nizao, Baní, Ocoa y arroyos Paya y Bahía, incluyendo por lo tanto las áreas (efectivas o presuntas) de avance de la intrusión marina.

Para el desarrollo del análisis preliminar, se han tenido en cuenta tanto los criterios básicos para el proyecto de los ensayos de recarga inducida en superficie (expuestos en detalle en el Anexo Memorias n° 21, cap. 2), como las informaciones de interés adquiridas en el estudio (con referencia a las características hidrológicas, hidrogeológicas e hidroquímicas de los ríos y acuíferos de las áreas de interés) y las indicaciones de técnicos del INDRHI por lo que se refiere en particular al régimen hidrológico y a la calidad de las aguas de los ríos (niveles de contaminación y existencia de intrusión de agua marina).

En particular los criterios básicos relativos a las condiciones del medio ambiente (sistemas superficial y subterráneo) idóneas y necesarias para la realización de los ensayos de recarga inducida, también para una mejor búsqueda en el campo y sucesivo análisis de las informaciones adquiridas, fueron así sintetizados.

- Recarga por medio de acondicionamientos de cauces de ríos:

1. el río alimenta la napa;
2. régimen hidrológico del río:
 - permanente (recarga por medio de dragado-escarificación del lecho del río y/o aumento de la superficie y del tiempo de contacto río-napa;
 - efemérico (recarga por medio de ensanchamiento del cauce de crecida del río);
3. el material del lecho está constituido preponderantemente por grava gruesa y cantos;
4. valores del caudal suficientes para remover las partículas finas (en particular por obras de dragado-escarificación del lecho del río y aumento de la superficie y del

-
- tiempo de contacto río-napa);
5. aguas con bajo valor de turbidez y de contaminación (en régimen hidrológico intermedio y/o de estiaje).
- Recarga por medio de balsas:
 1. existencia de terrenos llanos a distancia de 30-50 metros del lecho de crecida del río (de preferencia en correspondencia de la interfase agua dulce-agua salada, si se tiene también el objetivo específico de controlar la intrusión de agua marina);
 2. buena permeabilidad y granulometría media y lo más posible homogénea del medio no saturado;
 3. profundidad del nivel de las aguas subterráneas, desde el nivel del suelo, no superior a los 4-5 metros;
 4. régimen hidrológico del río permanente (para garantizar el abastecimiento de agua a la balsa);
 5. aguas con bajo valor de turbidez y de contaminación;
 6. tramo del río (donde se toma el agua) no interesado por intrusión de agua marina;
 7. tramo del río, cerca de la balsa, no alimentado por el acuífero, para evitar un regreso inmediato de las aguas infiltradas al tronco de valle del curso de agua, rindiendo de hecho vana la intervención misma.

Durante el desarrollo de la segunda fase, es decir la identificación en el campo de los sitios idóneos para realizar ensayos de recarga inducida en superficie, se han tenido en cuenta los criterios arriba expuestos comprobando en particular las características granulométricas del lecho de los ríos, la morfología (área casi llana) y la granulometría de los terrenos cerca del cauce de crecida, el nivel de contaminación de las aguas (es decir: sus características como color y olor, existencia de basurales urbanos e industriales cerca y/o en el interior del cauce de los ríos, etc.) y la facilidad de acceso.

La inspección ocular en los sitios de interés se desarrolló en los meses de julio, agosto y noviembre 1998 y enero 1999.

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.

Tres distintas tipologías hidrogeológicas fueron identificadas para las formaciones porosas:

- Porosas, sede de acuíferos de permeabilidad alta y muy productivos. Están clasificados en este grupo los depósitos cuaternarios fluviales asociados con los ríos Nizao, parte del río Baní al S de Baní y del río Ocoa. Los depósitos son de granulometría grande y la alimentación está asegurada por los recursos superficiales. En general la extensión de estos depósitos es desde los ríos hasta las primeras terrazas fluviales principales.
- Porosas, sede de acuíferos de permeabilidad variable y productividad media. Se clasifican en este grupo la casi totalidad de los depósitos cuaternarios de llanura, limitados al E por el río Nizao hasta el límite occidental del área de estudio, y sus extensiones al N entre las formaciones en las áreas de loma o montañosas (de baja permeabilidad o fracturadas.), depósitos un poco más litificados como los que se encuentran en proximidad del río Nizao (conglomerados, areniscas, molasas marinas - ej. tms'Mm 'Mm,cg). Generalmente, hemos clasificado la mayoría de los depósitos fluviales aterrizados como pertenecientes a este grupo, evitando una ulterior diferenciación, que en escalas de mayor detalle, podrían separar, por ej., los sectores laterales de los valles (ej. el del río Ocoa, como el del río Baní) como áreas con acuíferos más profundos y más reducidos.
- Porosas, sede de acuíferos locales o discontinuos de permeabilidad medio-baja. Están clasificados en este grupo los depósitos cuaternarios del área de Las Salinas casi hasta Las Calderas, sea por la importancia de la fracción fina que por la influencia de las aguas salobres, presentes alrededor (mar Caribe y mar/laguna interna). De los resultados de las perforaciones realizadas en la zona, ha sido además atribuida a esta unidad, por las características de escasa permeabilidad del acuífero local, también la franja interna de los depósitos aluviales, en proximidad de la aldea de Canafistol. Sobre todo este grupo comprende todos los depósitos, que, en posición estructural elevada desde Villa Fundación al N hasta Arroyo Hondo al S, separan actualmente el valle del río Ocoa de los depósitos cuaternarios de Matanzas-Las Calderas al S. Estas áreas, semiáridas, se caracterizan por litologías también de buena permeabilidad pero condiciones de

alimentación fuertemente inadecuada.

Las formaciones fisuradas se encuentran en toda el área de estudio y están clasificadas en los 2 grupos siguientes:

- Fisuradas, sede de acuíferos productivos, de permeabilidad a menudo alta. En este grupo está representada sólo la formación del río Nizao (tpl-qp'c) en el límite oriental del área de estudio. Se trata de sedimentos marinos, tanto carbonáticos como terrígenos, caracterizados por valores muy elevados de permeabilidad.
- Fisuradas, sede de acuíferos locales y discontinuos, de permeabilidad medio-baja. En este grupo se encuentran las partes de mayor fracturación de las formaciones flyschoides (teo-tolm'FI), como las del Grupo Peralta en la extremidad O del área de estudio, y también un importante sector al N de la ciudad de Baní, extenso en dirección NS (en acuerdo con la marcha general de las formaciones geológicas) y que limita al O el valle del río Baní. Otros sectores de escaso interés areal se encuentran en el mapa (teo'c, Ks'm+car), considerando también algunas rocas volcánicas fracturadas (k'mgm) en el alto valle del río Baní.

El último grupo es el de las

- Formaciones de baja permeabilidad sin acuíferos significativos. Este grupo está muy bien representado en el mapa, tratándose de la casi totalidad de las formaciones existentes en las áreas montañosas, con un elemento común representado por las direcciones estructurales predominantes NS. En general el sector al NO del pueblo de Baní, hasta el límite O del área de estudio, está caracterizado por las formaciones flyschoides (teo-tolm'FI) la cuales, recordamos, se caracterizan por la frecuencia de niveles siltítico arcillosos. Al E de las grandes estructuras tectónicas (fallas y sobreposiciones) a lo largo del alineamiento de los pueblos El Carretón-Iguana (algunos kilómetros al E del pueblo de Baní), se encuentran otras formaciones (tol'm+cg, tol-tmim'm+car) que por la importancia de sus fracciones finas y, sobre todo, margosas, se caracterizan de la misma manera en un sentido hidrogeológico. Este grupo representa la base impermeable de referencia a nivel regional, relativamente continua y caracterizada por direcciones estructurales predominantes NS, así que en los sectores donde las formaciones se extienden más al S entre los depósitos cuaternarios es muy lógico que ellas puedan constituir divisorios hidrogeológicos subterráneos (ver Piezometría).

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 elaborados indican un valor medio de transmisividad alrededor de $10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$, relativamente elevado en general.

Los ensayos han sido realizados en zonas hidrogeológicamente distintas y precisamente en los depósitos aluviales del Río Baní, en las formaciones sedimentarias que se extienden al oeste de la ciudad de Baní en dirección de Salinas y en el valle del Río Ocoa, aislado desde la llanura principal a lo largo del límite NO del área de estudio.

A pesar de la diferenciación hidrogeológica, se ha denotado en general una cierta homogeneidad del área, así que las T se quedan alrededor del mismo orden de magnitud.

Los dos coeficientes de almacenamiento ($1.09 \cdot 10^{-4}$ y $2.20 \cdot 10^{-2}$), aunque no

suficientes para cualquier consideración de tipo regional, testimonian también una cierta variabilidad.

7.1.2 Pozos, sondeos y manantiales

Un número elevado de pozos está inventariado en toda el área de estudio con la mayor concentración en la llanura de Baní hasta el pueblo de Las Calderas al O en proximidad de la baja de Las Salinas. Se trata de un sector con cultivos intensos, para los cuales los recursos hídricos superficiales (canales) son los más relevantes. Un discreto número de otros pozos se localizan en el valle del río Ocoa, donde los recursos superficiales son de pequeña entidad y los cultivos, aun no siendo intensivos, son importantes en proximidad del pueblo de Villa Fundación y más al O hasta Palmar de Ocoa. La escasez de recursos hídricos superficiales en los sectores septentrionales de las formaciones cuaternarias de la llanura Salinas-Baní (Sabana Indio, Villa Guerra, Arroyo La Angostura) no corresponden a condiciones más favorables por lo que se refiere a los recursos subterráneos. Desde entonces estas áreas se caracterizan por un uso limitado de recursos subterráneos y la casi total ausencia de perforaciones.

No se han individualizado manantiales relevantes en el área de estudio.

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 11/2 (ver Entrega final – Mapas – Mapas Piezométricos) y/o en el Mapa 9/2 (ver Entrega Final – Mapas – Mapas Hidrogeológicos)

El área de estudio se caracteriza, en nuestra opinión, por una falta de continuidad lateral de los acuíferos o por un cierto nivel de independencia debido a la continuación subterránea de las principales formaciones de baja permeabilidad. Estas formaciones, alineadas según las direcciones tectónicas principales N-S, individualizan estructuras interpretadas por nosotros como divisorios de agua subterráneas, como los que se encuentran:

- al O de La Norja,
- al S del pueblo de Baní,
- en proximidad del pueblo de Matanzas.

Además no excluimos que existan otros divisorios subterráneos y por lo tanto, en sentido general, una subdivisión más compleja del acuífero principal

Las direcciones de flujo son generalmente desde N-S hasta NNO-SSE.

Los gradientes alrededor del 20 por mil en los sectores más al N (ciudad de Baní y valle del arroyo Bahía al O) bajan de valor en dirección S, manteniéndose todavía relativamente elevados.

Por lo que se refiere a la piezometría del valle del Río Ocoa, los datos disponibles son pocos y generalmente próximos al río mismo. A pesar de que el lecho del río está caracterizado por formaciones gruesas muy permeables y que el río permanece seco un largo trecho, los datos piezométricos están alrededor de las cotas topográficas, (presencia de un flujo base esencialmente subterráneo en el lecho actual del río). Al final la piezometría (aun con pocos datos) confirma la relación directa río-acuífero. Considerando la separación estructural desde la Planicie de Baní por la zona geomorfológicamente más elevada que se encuentra al S de Villa

Fundación, esta sub-área resulta estar caracterizada por un acuífero completamente independiente de los otros y con una buena base impermeable.

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 3.2/1 se visualiza la distribución de los valores piezométricos máximos y mínimos a lo largo del año hidrológico.

Los mínimos se observan esencialmente alrededor del mes de Abril y en el mes de Diciembre.

Los máximos por otro lado tienen mayor frecuencia, bien evidente, en Septiembre y se sitúan esencialmente entre Julio y Octubre.

Las variaciones anuales son generalmente muy reducidas (en la mayoría inferiores a 1 m): las máximas observadas no superan los 2 metros y son muy pocas en términos porcentuales.

Más en detalle, desde el punto de vista de las variaciones piezométricas anuales se puede observar:

- Zona del alto curso del Río Nizao

Se observan variaciones entre 1 y 2 m.

- Zona de Palmar de Ocoa

Se observan variaciones de hasta 1.5 m.

- En todas las otras zonas del área de estudio

Las variaciones observadas son muy reducidas y nunca superan 1 m. Única excepción en un pozo excavado a mano en Cañafistol donde se han observado variaciones entre 2.5 y 3 m muy probablemente relacionadas con su explotación aunque de tipo manual (acuífero de muy baja transmisividad y construcción del pozo no técnicamente correcta).

Por lo que atañe a las variaciones de los niveles medios después del 1970, con los pocos datos históricos en nuestro poder no se pueden formular conclusiones confiables sobre la magnitud de las variaciones: los niveles sin embargo parecen haber bajado por lo menos en el sector de Baní y Nizao.

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 inferior a los 80 cm.

Proposición de una red de control piezométrico

En esta área los puntos aptos para la realización de medidas piezométricas, ilustrados en el Mapa 2/2, son en total 44. De estos, el 56.8% (25 puntos) no tienen bombas instaladas: el restante 43.2% (19 puntos) están equipados con bomba.

La red de control escogida cuenta con 15 puntos, de los cuales 6 (40%) están dedicados solamente a la red y 9 (60%) son privados. Los puntos de la red sin bomba son 13 (87%) y con bomba instalada son 2 (13%).

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 más arriba indicados y con la ubicación de los acuíferos principales (en el valle del río Nizao, en el área entre Baní y Las Calderas, en el valle del río Ocoa).

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 2001/1 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 improvisa 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 93 muestras.

En esta área la red de control resulta estar constituida por 24 puntos. En general las aguas de la zona presentan una composición química estable. En la representación gráfica de Piper (Fig. 7.1.4/1-a,-b,-c,-d) las familias hidroquímicas predominantes

resultan ser las siguientes:

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

Las aguas pertenecientes al primer grupo son las más numerosas y homogéneamente difundidas; las aguas del segundo grupo están poco representadas y están presentes en el sector centro-occidental; por último una única muestra representa el tercer tipo hidroquímico.

La cercanía de la zona de recarga, constituida por el sector interno relevado, permite al grupo de las aguas bicarbonato-alcálico-térrreas ser el más representativo en un contexto hidroquímico estable. En general, se trata de aguas de salinidad no muy alta, aunque en menor medida, a este grupo contribuyen las aguas bicarbonato-magnésicas, en particular la 2014 alcanza una concentración de sales disueltas de casi 2 g/l.

Las aguas bicarbonato-alcálicas en el sector centro-occidental del área ponen en evidencia los efectos en la serie litoestratigráfica de flysch, al cual puede imputarse el intercambio entre calcio y sodio, haciendo predominar el componente alcálico sobre el alcálico-térrreo.

El grupo clorurado-alcálico, aun siendo el menos representado, una sola muestra 2114 (3886 mg/l en la primera campaña) pone en evidencia la existencia de aguas de pésima calidad en el sector sudoccidental del área.

De la investigación específica sobre la calidad potable de las aguas subterráneas emerge cómo (véase Anexo 8) los acuíferos utilizados para fines potables son exclusivamente aquéllos de porosidad primaria presentes en el fondo del valle de los principales cursos de agua y en la franja costera. Los términos litoides que constituyen los relieves que flanquean las depresiones de valle ofrecen escasas potencialidades acuíferas, con mejoramientos sólo en correspondencia de los principales cuerpos carbonáticos s.l., como la dorsal presente al norte de Baní (El Recodo), la Sierra del Número y el altiplano de Sabana Grande de Palenque. Las potencialidades acuíferas de éstos resultan ser sin embargo reducidas considerando, en función de la disposición geológico-estructural, su escasa alimentación en las alturas.

Los acuíferos porosos costeros y de fondo de valle representan sin embargo una fuente suficiente para las exigencias locales y parecen constituir una fuente de aguas potables de características generalmente buenas, siendo el estado cualitativo de las aguas subterráneas en esta área aceptable en la mayor parte de los puntos hídricos considerados.

En el sector del Río Nizao la totalidad de las aguas no presenta ninguno de los parámetros considerados por encima del umbral de aceptabilidad.

La situación resulta ser casi análoga en el sector de Baní donde se observa sólo, además de una parcial inaceptabilidad del contenido salino en las aguas por arriba del centro urbano, un exceso de cloruros, aparentemente injustificado, en el interior de la zona de Matanzas; este dato podría estar en relación con una excesiva extracción de los pozos del acueducto ubicados en las cercanías de la población.

En el trecho terminal del valle del Río Ocoa las condiciones de las aguas subterráneas resultan ser generalmente buenas, salvo un par de puntos con ascensos temporáneamente inaceptables del contenido salino.

La mayor criticidad que se observa en el área es aquella presente entre Las Calderas y Las Salinas donde las capas acuíferas sufren los efectos de la salinización costera.

7.1.5 Salinidad e intrusión marina

Para obviar a la falta 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:

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

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.

La distribución de los cloruros en este sector en general está en la norma, la situación está sintetizada en la figura 7.1.5/1 en la cual se distinguen las áreas con comprometimiento en acto de aquellas que corren potencialmente el riesgo de comprometimiento. En particular un pozo, situado en la localidad Las Calderas y uno al Norte de Matanzas, en el sector sudoccidental, superan respectivamente el nivel de 1000 y 250 ppm. Naturalmente una situación que por el momento puede considerarse como “tranquila”, deberá ser tenida bajo control para prevenir que se generalicen casos aislados. En este sector no están disponibles perfiles verticales de salinidad.

7.1.6 Resultados análisis isotópicas

En el gráfico O18 – D (Fig. 7.1.6/1), la distribución de los puntos tiende a disponerse en dirección de la composición media marina, poniendo en evidencia la influencia del mar sobre los acuíferos de la zona; los cocientes O18/Cl y Na/Cl evidencian detalladamente este proceso.

El contenido de Tritio coloca a estas muestras en el ámbito de la recarga actual, por lo tanto con un tiempo medio de residencia inferior al tiempo de reducción a la mitad del isótopo del hidrógeno (~12.5 años).

Le evaluación de la cota promedio de recarga basada en la correlación indicada en la bibliografía [Febrillet H. J., Bueno E., Seiler K. P., Stichler W., 1987. Estudios Isotopicos e hidrogeologicos en la region suroeste de la República Dominicana. Simp. Int. Viena Austria 30/marzo- 3 abril 1987, IAEA-SM-299/031] indica que las muestras pertenece a circuitos recargados en un franja altimétrica comprendida entre los 0 y los 300 metros.

7.1.7 Relaciones ríos-acuíferos

En la zona hidrogeológica la contribución directa a la escorrentía superficial natural es bastante omisible, el régimen hidrológico local es de tipo esporádico. Los ríos y arroyos locales juegan un papel de alimentación de los acuíferos y las aguas escurren en superficie sólo en correspondencia de episodios pluviométricos importantes (por ejemplo: los Arroyos Paya y Bahía).

Por lo que se refiere a los ríos principales (véanse Anexo Memorias n° 13, 14 y 15), se puede decir:

- río Baní: en su tramo superior (aguas arriba de la sección de control de El Recodo, 400001) tiene un régimen permanente debido a las características climatológicas y morfológicas de su cuenca. En el tramo final (aguas abajo de la ciudad de Baní) el río se encuentra prácticamente seco en condiciones de agua baja y alimenta el acuífero, la recarga promedio anual por infiltración de escorrentía superficial en el cauce ha sido evaluada en $13 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{a}$;
- río Ocoa: en la cuenca alta tiene un régimen permanente, en el tramo final es un curso estacional, normalmente hay solamente escorrentía subterránea, es decir las aguas escurren en superficie sólo en correspondencia de episodios pluviométricos importantes y el agua va naturalmente recargando el acuífero contenido en sus depósitos actuales, la recarga promedio anual por infiltración de escorrentía superficial en el cauce ha sido evaluada en cerca de $7 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{a}$;

7.1.8 Evaluación de la recarga - infiltración eficaz

La zona hidrogeológica de interés, la cual se presenta en la Fig. 7.1.8./1 sacada del Mapa 9/2: Mapa hidrogeológico Planicie de Baní, tiene un área total de 705.8 km^2 , una precipitación promedio anual de 935.4 mm y una evapotranspiración potencial de referencia alrededor de los 1700 mm.

Ésta se caracteriza por formaciones contribuyentes a la recarga de tipo poroso (azul), de permeabilidad de alta (terrenos de aluvión de los ríos Ocoa, Baní y Nizao) a baja, y de tipo fisurado (verde), con acuíferos de permeabilidad alta y medio-baja, las cuales, en conjunto, tienen una superficie de 472.8 km^2 , esto es el 67% de la superficie total.

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

- recarga pluvial directa;
- infiltración de escorrentía superficial en los cauces (en particular por lo que se refiere a los terrenos de aluvión de los ríos Ocoa y Baní);
- recarga por flujo de retorno de aguas de riego (exceso de riego) e infiltración en

canales.

En conjunto, teniendo en cuenta las características morfológicas, hidrogeológicas e hidrológicas, han sido individuadas 13 sub-zonas homogéneas (véase cap. 6.8.3, Fig. 7.1.8./1 y Anexo Memorias n° 14).

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

- de la marcha climática medida en las estaciones meteorológicas de Hatillo Azua y Baní, con referencia a la recarga pluvial directa en formaciones porosas;
- de los hidrogramas diarios medidos en las estaciones de Arroyo Limón, río Ocoa y El Recodo, río Baní (véase Anexo Memorias n° 14), con referencia a la recarga pluvial directa en formaciones fisuradas y a la recarga por ríos.

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): $32.09 * 10^6 \text{ m}^3/\text{a}$;
- años secos (T=5 años): $40.14 * 10^6 \text{ m}^3/\text{a}$;
- año medio: $58.62 * 10^6 \text{ m}^3/\text{a}$;
- años húmedos (T=5 años): $73.53 * 10^6 \text{ m}^3/\text{a}$;
- años húmedos (T=10 años): $86.06 * 10^6 \text{ m}^3/\text{a}$.

Por lo que atañe a la recarga promedio anual por infiltración de escorrentía superficial en los cauces de los ríos Ocoa y Baní, ésta ha sido evaluada teniendo en cuenta:

- los valores en régimen natural de la escorrentía torrencial y del flujo base en los ríos,
- la distorsión en el régimen de las corrientes de agua debida al uso para fines de riego (canales Ocoa y Juan Caballero-Baní);
- la naturaleza de los terrenos de los cauces de los ríos.

Con base en el análisis así establecido, se obtuvo la recarga media anual por infiltración de la escorrentía actual en los cauces de los ríos, recarga que resultó ser:

- en el cauce del río Ocoa (sub-zona 1): $6.74 * 10^6 \text{ m}^3/\text{a}$;
- en el cauce del río Baní (sub-zona 7): $12.98 * 10^6 \text{ m}^3/\text{a}$.

En fin ha sido evaluada la recarga por flujo de retorno de aguas de riego (exceso de riego) e infiltración en canales tomando en cuenta:

- una eficiencia total de los sistemas de riego alrededor del 25-30%;
- el caudal de operación de los canales;
- los caudales mensuales de operación medidos en el período '95-'98 en los

-
- canales Marcos A. Cabral y Nizao-Najayo;
- los caudales medidos en el período '97-'98 en la sección de aforo del Canal Ocoa en Loma de los Ranchos (440090).

La recarga media anual resultó ser:

- canal Ocoa (sub-zonas 3 y 1, orilla izquierda): $1.72 * 10^6 \text{ m}^3/\text{a}$;
- canal Marcos A. Cabral (sub-zonas 6 y 7): $10.93 * 10^6 \text{ m}^3/\text{a}$;
- canal Nizao-Najayo (sub-zona 10): $2.09 * 10^6 \text{ m}^3/\text{a}$;
- canal Juan Caballero (sub-zona 12, sector sur orilla derecha; sub-zona 5, sector sur-oeste): $0.49 * 10^6 \text{ m}^3/\text{a}$;

En conjunto la recarga media anual total en la zona hidrogeológica de interés alcanza el valor de $93.57 * 10^6 \text{ m}^3/\text{a}$ así repartido:

- recarga pluvial directa: $58.62 * 10^6 \text{ m}^3/\text{a}$;
- recarga por infiltración de los ríos: $19.72 * 10^6 \text{ m}^3/\text{a}$;
- recarga por exceso de riego: $15.23 * 10^6 \text{ m}^3/\text{a}$;

7.1.9 Modelos matemáticos de flujo

El modelo de flujo, implementado en el ámbito del proyecto, fue utilizado para una simulación de previsión, a los fines de la evaluación del impacto de un pequeño incremento de las tomas en dos sectores, que, pese a la proximidad geográfica, resultan hidrogeológicamente bien distinguidas. Se trata del sector inmediatamente al S de la ciudad de Baní, en correspondencia de depósitos sedimentarios relativamente gruesos, y del sector de Cañafistol, al O de la ciudad de Baní y al N del sistema de canalización superficial, caracterizado este último por formaciones predominantemente finas, limoso-arcillosas. En detalle, pues, el pequeño aumento de tomas hipotetizado (315000 m³/año en cada sector por un total de 8 nuevos pozos) puede imputarse a una hipótesis de incremento de las necesidades hídricas de la ciudad de Baní, por un lado, y de extensión de las actividades agrícolas a un sector que hoy día no está cultivado.

En detalle, recordamos que el área de estudio se caracteriza por condiciones bastante variables por lo que atañe a la disponibilidad de recursos hídricos aprovechables. La construcción de algunos canales (Marcos A. Cabral y Juan Caballero) han favorecido el desarrollo agrícola de la parte meridional de la llanura. Sin embargo todo el sector al N de los mismos canales se caracteriza por condiciones desde poco a muy poco favorables, sea en un sentido climático que geológico.

Los resultados indican un impacto considerable sobre todo en el sector al N de Cañafistol, donde las variaciones piezométricas calculadas llegan a casi 20 m después de 30 años y afectan a un área de gran extensión. También hipotetizando buscar condiciones hidrogeológicas favorables (y hay muchas dudas, después de los trabajos de campo realizados a lo largo de este proyecto), se confirma que el área no es apta para la explotación de recursos hídricos subterráneos. Por lo contrario, el sector al S de Baní se caracteriza por impactos mucho menores, siendo las variaciones piezométricas máximas calculadas después de 30 años en alrededor de los 3 m.

Además de dar informaciones de interés específico para los 2 sectores examinados, esta simulación puso en evidencia la variabilidad de las condiciones hidrogeológicas, en el interior del área de estudio, y por lo tanto la consiguiente variabilidad de opinión sobre la posibilidad de explotar los recursos hídricos subterráneos. Por otro lado, es verdad de todas maneras que los volúmenes que entran al sistema (predominantemente por recarga directa) son relativamente limitados y por lo tanto no es imaginable, en términos generales, un aumento consistente de las explotaciones de aguas subterráneas, como implícitamente indica la existencia de una red hídrica superficial apreciable.

7.1.10 Recursos hídricos y reservas hídricas

El sistema acuífero subterráneo de la Planicie de Baní se caracteriza por condiciones muy variables de recurso potencialmente aprovechable, en relación con la elevada variabilidad de las condiciones hidrogeológicas, como así también con la existencia o no de sistemas hídricos superficiales en recarga (río Ocoa, río Baní y río Nizao). La recarga directa por infiltración ha sido estimada en el ámbito del estudio hidrológico en un valor total del orden de los 58.6×10^6 m³/año sobre una superficie total útil de 473 km², con referencia a un año promedio. Se trata de un valor muy diferente al utilizado en el ámbito de las actividades de modelización (15.8×10^6 m³/año), simplemente porque estas últimas conciernen sólo al sector de llanura que se extiende desde la bahía de Salinas, al O, hasta el área de la ciudad de Baní, al E. Están excluidos los sectores de Nizao, al E, y el valle del río Ocoa, al NO, en cuanto ambos sectores son áreas hidrogeológicamente distintas de la llanura principal y de interés agrícola más reducido.

Con ya hemos anticipado, el papel de los cursos de agua es seguramente determinante a nivel de sub-áreas; el río Ocoa, al O, y el mismo río Baní alimentan el sistema subterráneo y están por lo general secos, a parte de eventos excepcionales (el río Baní está, en condiciones normales, casi del todo seco ya en correspondencia del puente sobre la carretera San Cristóbal-Baní, en la entrada de esta última). En el ámbito del estudio hidrológico, se ha evaluado el caudal de alimentación del Ocoa y del Baní al sistema subterráneo en el orden de los 19.7×10^6 m³/año (de los cuales poco menos de 1×10^6 m³/año habrían sido atribuidos al río Baní en el ámbito de las actividades de modelización de las aguas subterráneas).

Un punto importante del balance está representado en escala regional por los aportes al mundo subterráneo que pueden imputarse a las pérdidas a partir de los sistemas de canalización superficial. Se trata de un valor elevado, estimado en el ámbito del estudio hidrológico en el orden de los 15.2×10^6 m³/año.

Para concluir pues podemos sintetizar que a la estimación de la recarga directa debe agregársele la alimentación a partir de los cursos de agua superficiales, que sobre todo a nivel local pueden resultar determinantes en la evaluación de los recursos subterráneos disponibles. Sin embargo la existencia de una serie de barreras hidrogeológicas superficiales o sepultadas, de todas maneras imputables a una situación tectónica con estructuras de evidente componente N-S, implica la separación en una serie de sub-áreas bien distintas, que imponen una mayor articulación espacial del balance hídrico. Frente a sub-áreas relativamente ricas como la que se encuentra al S del río Baní, existen otras, en cambio, como la de Cañafistol (inmediatamente al O de Baní) en la cual la presencia contemporánea de factores negativos (litologías poco permeables, formaciones finas en la superficie, lluvias limitadas y casi total ausencia de cursos de agua superficiales) lleva a la definición de una recarga total decididamente reducida (según el modelo de las aguas subterráneas aproximadamente el 50% de la recarga específica – por unidad de superficie – hipotetizada en la sub-área de Baní.

Obviamente, además de la referencia al año promedio (utilizado en el curso de las actividades de modelización de las aguas subterráneas) debe tenerse en cuenta la referencia al año seco con tiempo de retorno igual a 10 años, en cuanto

representativo de las condiciones de mayor criticidad. En tales condiciones la estimación elaborada en el ámbito del estudio hidrológico ha sido de aproximadamente $32 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{año}$, o bien aproximadamente el 45% inferior respecto de las condiciones de años intermedios.

7.1.11 Utilización de las aguas subterráneas

Las explotaciones son en esta área relativamente limitadas por lo que se refiere a los usos potables; el único centro más importante es el de Baní, para el cual se ha estimado una toma del orden de los $1.5 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{año}$, en correspondencia del campo de pozos existente al S de la ciudad (como integración de los recursos hídricos superficiales aprovechados directamente a partir del río Baní y del sistema de canalización asociado). Los demás centros son decididamente más pequeños y en particular, en el área modelizada para las aguas subterráneas, existe el centro de Matanzas (y una pequeña área franca asociada) para el cual se ha evaluado una toma del orden de los $0.5 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{año}$ (de los cuales $0.28 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{año}$ a partir de pozos INAPA). En tal sentido valores análogos se pueden hipotetizar también en el área de Nizao al E.

Por lo que atañe a las actividades agrícolas, éstas se extienden en el sector meridional de la planicie, con producciones concentradas sobre todo en la parte centro-occidental (Baní – Matanzas – al S de los sistemas de canalización superficiales) y pastos predominantes en la parte oriental. Por lo que concierne al área de Baní – Matanzas, el valor total de los consumos ha sido evaluado en el orden de los $3.3 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{año}$; se trata de un valor pequeño, estimado en el ámbito del estudio agronómico, considerando que la utilización de recursos hídricos superficiales en esta área es preponderante (canales Marcos A. Cabral y Juan Caballero) y se ha ampliamente incrementado en el curso de los últimos años. Actividades agrícolas existen por otro lado a lo largo del valle del río Ocoa, al O, y del río Nizao, al E. En ambos casos las explotaciones conciernen tanto a los recursos superficiales como a los subterráneos, estando estos últimos predominantemente concentrados en los depósitos aluviales recientes y por lo tanto en acuíferos de sub-cauce.

La tentativa de una evaluación cuantitativa de la entidad de las explotaciones en escala de la entera área de estudio es de todos modos más bien compleja, por la carencia de datos exhaustivos y fiables. Por lo tanto en el ámbito del proyecto nos hemos concentrado en un esfuerzo de recopilación, sistematización y verificación crítica de datos existentes (por lo general de fuente INAPA) y de nuevos datos (a través de estimaciones directas en campo, entrevistas con la población local, evaluación indirecta sobre la base del tamaño de las cisternas o bien del número de familias abastecidas por eventuales obras de captación) por un total del orden de los $5 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{año}$. Se trata de datos de interés para toda el área de estudio (desde el río Ocoa hasta el río Nizao), congruentes con los hipotetizados para Baní y Matanzas en el ámbito de las actividades de modelización e indicados arriba.

El dato directo y cierto, relativo a los contadores volumétricos instalados en el curso del proyecto, es desdichadamente poco representativo, en cuanto está limitado a 2 unidades instaladas en el área de Palmar de Ocoa, en el lado derecho del valle del río Ocoa. ($2.3 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{año}$).

7.1.12 Vulnerabilidad

Los resultados de la aplicación del método DRASTIC en el área de estudio, reproducidos en el Mapa 10/2, delimitan un cuadro de la vulnerabilidad local que puede detallarse de la siguiente manera.

La gradación de vulnerabilidad en el territorio examinado es más bien amplia, yendo desde sectores con vulnerabilidad muy alta en los valles aluviales de los ríos Ocoa, Baní y Nizao, hasta las áreas más internas de los depósitos cuaternarios costeros, de baja vulnerabilidad, entre Baní y Las Calderas.

Los sectores de vulnerabilidad elevada son más bien circunscriptos y los valles aluviales principales están caracterizados por una generalizada vulnerabilidad alta, análogamente a la franja de los depósitos que da a la costa entre el Río Nizao y Las Calderas.

El incremento de la subyacencia de la napa conjuntamente con el aumento del componente pelítico, determinan una clase de vulnerabilidad más contenida (intermedia) en los sectores más internos de los depósitos cuaternarios costeros, con condiciones de “seguridad” de los acuíferos aún mayores en la franja más interna al oeste de Baní.

Las condiciones tanto meteóricas como hidrogeológicas que caracterizan al alto morfológico de Sabana Buey-Villa Fundación determinan una vulnerabilidad local generalmente medio-baja; esta evaluación no considera sin embargo la presencia de los eventuales niveles acuíferos superficiales de los cuales, en virtud de la estructura hidrogeológica que limita la alimentación solamente a la infiltración directa, es plausible hipotetizar un desarrollo limitado y discontinuo.

Entre las actividades de impacto potencial sobre los sistemas acuíferos locales, las más comunes están constituidas por aquellas relacionadas con la industria de transformación alimenticia y con la cría de ganado bovino. Éstas se colocan principalmente en la franja costera y, específicamente, en los sectores de vulnerabilidad intermedia; sólo en proximidad del tramo final del Río Baní y del valle del tributario izquierdo del Río Nizao se observa la correspondencia con sectores de menor protección.

Del contexto actual, la situación de mayor riesgo parece estar confinada, tanto por la vulnerabilidad intrínseca local como por la entidad del impacto potencial, en el tramo terminal a la orilla derecha del Río Nizao, donde está presente un importante depósito de productos petrolíferos. En el caso específico, los riesgos eventuales de pérdidas y/o derrames, vista la cercanía al mar y la falta de utilizaciones locales de los recursos hídricos subterráneos, afectarían principalmente al ecosistema marino cercano a la costa.

Las descargas de residuos domésticos, ubicadas en el terreno, sin particulares medidas de contención, al lado de la carretera que une Baní con el Cruce de Ocoa, aun encontrándose levemente fuera del área sometida a la evaluación DRASTIC, parecen de todos modos beneficiar de un contexto local de buena protección, asumiendo una estrecha analogía con los sectores evaluados inmediatamente por debajo.

7.1.13 Recarga inducida

Los resultados de las actividades de análisis en la oficina y de comprobación en el campo (cap. 6.13) desarrolladas para llegar a la identificación de sitios idóneos para

—

realizar ensayos de recarga inducida en superficie (acondicionamiento de cauces y balsas), pueden ser así sintetizados (por más detalles, véase el Anexo Memorias n° 21):

- por lo que se refiere al bajo curso de los ríos de interés (Nizao, Baní, Ocoa y arroyos Paya y Bahía), en general no están satisfechos los requisitos morfo-hidrogeológicos y del medio ambiente necesarios para garantizar eficacia y utilidad a intervenciones de recarga inducida en superficie, excepción hecha por el río Nizao. En particular:
 - acondicionamiento de cauces:
son las características granulométricas del lecho (arroyos Paya y Bahía), de calidad de las aguas (arroyo Paya y río Baní) e hidrológicas-hidrogeológicas (ríos Ocoa y Baní), las que hacen que se deba excluir la realización de obras de acondicionamiento del cauce de cualquier tipo.
 - balsas:
además de lo que resulta de las actividades desarrolladas, que llevaría de hecho a excluir la posibilidad operativa de realizar tales intervenciones (profundidad del nivel de las aguas subterráneas mayor de 5 metros), se pone en evidencia que el régimen hidrológico efémerico de los cursos de agua en los tramos de interés (excluido el río Nizao) implica que el abastecimiento hídrico de las balsas no se podría garantizar en periodos hidrogeológicos de estiajes, es decir en los periodos de más interés para la recarga del acuífero, y, de todos modos, sería imposible definir a priori el mismo período temporal de disponibilidad del recurso hídrico necesario.
Para los arroyos Paya y Bahía, son también las características morfológicas e hidrogeológicas del área de interés alrededor de los ríos las que hacen que se deba excluir de cualquier modo la realización de tal intervención, mientras que para el río Baní y el arroyo Paya son las condiciones cualitativas de las aguas.

Sobre la base de las consideraciones arriba expuestas, el cauce del río Nizao es el único que presenta características idóneas para realizar obras de recarga inducida artificial por medio de acondicionamiento de cauce.

En los días 11-14/03/1999 en el cauce del río, abajo del puente de la carretera Sánchez entre la entrada y la salida del existente canal en orilla derecha, se realizaron:

- el dragado-escarificación del lecho del río;
- una mota transversal para incrementar la altura del agua;
- la perforación de dos piezómetros de control.

Las operaciones de dragado-escarificación del lecho del río afectaron al cauce de estiaje y parte del cauce de crecida del río por un trecho de aproximadamente 400 metros de largo con un ancho promedio de 65 metros y una pendiente longitudinal de 0,36% por un área de aproximadamente 26000 m².

Las operaciones de dragado-escarificación, por una profundidad media de no más de 50 centímetros, se llevaron a cabo con dirección paralela al eje del río, para evitar

la creación de surcos que facilitarían el depósito de sedimentos finos, acumulando el material dragado en las orillas.

Con parte del material dragado se realizó aguas arriba de la salida del canal existente, una pequeña mota transversal (1.8 m de altura máxima, 70 m de ancho y un pendiente, aguas abajo, muy suave, alrededor de 20 metros de largo por cada metro de altura, para garantizar una mayor duración de la obra misma), mota continuamente desbordada por las aguas del río, para concurrir a aumentar la infiltración por medio de un incremento de la altura del agua en el cauce y un aumento de la superficie de contacto río-napa.

A fin de evitar la verificación de situaciones de desmoronamiento aunque sea parcial de la mota por efecto de erosiones localizadas a los pies de la misma, se prestó particular atención en evitar la presencia de hoyos en el cauce a los pies de la mota misma, tanto naturales como consiguientes al movimiento del material del fondo del cauce para la realización de las intervenciones de las que se habla.

Por último, durante el período de control fueron necesarias sólo dos intervenciones de manutención para restablecer la funcionalidad de la mota misma comprometida en parte por el pasaje de olas de crecida.

Los controles de los efectos de la recarga inducida han sido efectuados a través de la medición del nivel del agua en dos piezómetros realizados en los meses de marzo-abril de 1999 y ubicados a 645 metros uno del otro:

- sondeo Nizao1: profundidad 25.6 m, ubicado en la orilla derecha 30 metros aproximadamente aguas arriba de la mota (control del acuífero en condiciones distorsionadas por el ensayo de recarga);
- sondeo Nizao2: profundidad 32.63 m, ubicado en la orilla izquierda aguas arriba del puente de la carretera Sánchez, aproximadamente 250 metros antes del tramo de cauce objeto de dragado-escarificación (control del acuífero en condiciones no distorsionadas).

Como indicador de la eficacia de la recarga inducida se ha considerado la marcha comparada de los niveles de la napa medidos en los dos piezómetros de control en el sentido que en el sondeo Nizao1 (condición distorsionada) se debe registrar un descenso menor y/o un ascenso mayor respecto de la concomitante medida referida al sondeo Nizao2 (condición no distorsionada de control) para que se pueda considerar significativo, por lo menos a nivel cualitativo, el efecto de la intervención de recarga inducida.

Los resultados de las mediciones del nivel del agua en los dos piezómetros (se efectuaron 24 mediciones del nivel del agua en el período 13/04-19/10/1999, véase el Anexo Memorias n° 21), ponen en evidencia cómo la eficacia de la intervención de recarga está limitada como entidad y, sobre todo, como duración temporal y en particular cómo se agota después de aproximadamente tres meses. Situación que puede remontarse probablemente también a un progresivo efecto de colmatación del área inundada por causa de la reducida velocidad de la corriente consiguiente al embalse creado con la mota, colmatación que de hecho contrabalancea en el tiempo el efecto positivo consiguiente a la mayor superficie de contacto napa-río debido a la

mota misma.

En conclusión, teniendo en cuenta:

- la imposibilidad de proponer la intervención de la que se habla en otros cursos de agua de la Planicie de Baní y de la Planicie Costera Oriental;
- los resultados modestos y limitados en el tiempo de la experimentación efectuada;
- la necesidad de frecuentes intervenciones de mantenimiento, tanto para restablecer la funcionalidad de la mota comprometida por eventos de crecida, como para controlar la posible colmatación del fondo (aunque en el caso particular resulta de hecho contenida por efecto de los embalses presentes en el tramo aguas arriba);

se considera de hecho que no puede proponerse a nivel operativo esta tipología de intervención para mejorar de manera significativa y útil la recarga natural de los sistemas acuíferos.

7.2 Aguas superficiales

7.2.1 Régimen hidrológico y recursos hídricos

La hidrografía del área está caracterizada por la presencia de 3 ríos principales del este al oeste: ríos Nizao, Baní y Ocoa (véanse Tab. 7.2.1./1 y Anexos Memorias n° 13 y 15).

A lo largo del curso del río Nizao, el más importante en sentido hidrológico, se encuentran los embalses de Jiguey, Aguacate, Valdesia y Las Barías (volumen máximo de operación total igual a $313.2 \cdot 10^6 \text{ m}^3$), que condicionan su régimen hidrológico; la potencialidad hídrica natural en la sección de Valdesia-Las Barías es elevada, indicativamente comprendida entre los $448 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{a}$ (año seco, $T=10$) y los $723 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{a}$ (año promedio).

En el sector central, el río Baní es perenne aguas arriba de Baní y estacional aguas abajo, donde hay escorrentía superficial sólo cuando ocurren episodios pluviométricos importantes. La potencialidad hídrica natural referida a la sección de El Recodo está comprendida indicativamente entre los $26 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{a}$ (año seco, $T=10$) y los $45 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{a}$ (año promedio), rendimiento cotejable con el del río Nizao (con referencia al año promedio; río Nizao 24.6 l/skm^2 , río Baní 23.2 l/skm^2).

El río Ocoa se caracteriza, antes de todo, por pertenecer a un valle completamente aislado de la restante parte del área de estudio, en correspondencia del alto estructural de Villa Fundación Arroyo Hondo. El río es perenne en el sector de montaña (como los otros dos ríos) y en su tramo inferior es típicamente un curso estacional donde normalmente hay solamente escorrentía subterránea, es decir las aguas corren en superficie y llegan al mar sólo en correspondencia de episodios pluviométricos importantes.

La potencialidad hídrica natural referida a la sección de Arroyo Limón está comprendida indicativamente entre $83 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{a}$ (año seco $T=10$) y $114 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{a}$ (año promedio), rendimiento de todas maneras inferior al evaluado para los ríos Nizao y Baní (con referencia al año promedio el rendimiento natural del río Ocoa es de alrededor de 9 l/skm^2 , uno de los mínimos en toda el área de estudio).

Otros ríos se encuentran en el área de estudio (por ej. Arroyos Paya y Bahía), pero son clasificables como cañadas o arroyos secos y juegan un papel alimentante para las aguas subterráneas y las aguas escurren en superficie sólo en ocasión de lluvias significativas. La escorrentía superficial de dichos cursos de agua no resulta de hecho prácticamente aprovechable.

Otros arroyos tienen un régimen distorsionado por la entrada de aguas de retorno de riego (arroyos Pajarito y Catalina) y/o por efecto de tomas de riego (arroyo Guerra); en condiciones naturales deberían tener un régimen esporádico y alimentar el acuífero.

Por lo que atañe a la identificación de la entidad promedio mensual de la escorrentía torrencial y del flujo base, fue preciso basarse en los resultados de la aplicación de los modelos matemáticos lluvia-escorrentía (véase pár. 7.2.3 y Anexo Memorias n°15) por los cuales resultó, con referencia a las cuencas altas:

- río Ocoa, una contribución media del flujo base alrededor del 69% de la escorrentía total (cv = 0.30);
- río Baní, una contribución media del flujo base alrededor del 76% de la escorrentía total (cv = 0.43);
- río Nizao (en Valdesia-Las Barías), una contribución media del flujo base alrededor del 55% de la escorrentía total (cv = 0.40);

En conjunto, los recursos hídricos superficiales naturales potencialmente utilizables en la Planicie de Baní son significativos, esencialmente pueden referirse al río Nizao (aproximadamente el 80% del total), y varían entre $558 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{a}$ (año seco T=10) y $882 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{a}$ (año promedio).

7.2.2 Utilización de las aguas superficiales

La demanda de recurso hídrico superficial en la Planicie de Baní resulta estar articulada de la siguiente manera (véanse Tablas 7.2.2./1-2):

- para aprovechamiento urbano (aguas potables): el caudal de explotación total puede estimarse en aproximadamente $195.7 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{a}$, repartido de la siguiente manera:
 - $11 - 12.5 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{a}$ INAPA;
 - $183.3 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{a}$ CAASD (abastecimiento de la ciudad de Santo Domingo, río Nizao).
- para riego: la hidroexigencia neta puede estimarse en aproximadamente $93 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{a}$, repartida de la siguiente manera:
 - $17.9 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{a}$, sector río Ocoa;
 - $16.3 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{a}$, izquierda del río Nizao;
 - $58.8 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{a}$, derecha del río Nizaoequivalente a una demanda bruta total del orden de los $372 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{a}$ (eficiencia global de riego de alrededor del 25% (fuente: Unidad Manejo de Tierras y Aguas – INDRHI), valor cotejable con el conjunto de los caudales de operación de los canales de riego, comprendido entre 11.3 y 13.6 m^3/s , equivalentes a 358 – $430 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{a}$).

Sobre la base de la entidad de la oferta hídrica natural y de la hidroexigencia actual (Tab. 7.1.11/1), se puede decir que el nivel de explotación de las aguas superficiales es elevado en toda la Planicie, los recursos hídricos superficiales representan en efecto la principal fuente de abastecimiento para fines de riego y potables, con utilización también de las aguas procedentes de fuera del área (acueducto de Santo Domingo, CAASD).

A nivel de cada una de las cuencas hidrográficas emerge que:

1. río Ocoa: el actual nivel de utilización resulta compatible con la oferta natural de la cuenca; viceversa tomas más elevadas no resultarían garantizadas por períodos temporales de dimensión significativa ya con referencia al año promedio, además la reducción de la escorrentía en el cauce que alimenta aguas abajo el sistema acuífero implicaría posibles alteraciones de los actuales equilibrios hidrogeológicos;

2. río Baní: el actual nivel de utilización resulta tendenciosamente crítico si se lo compara con la oferta natural de la cuenca ya con referencia al año promedio; análogamente al río Ocoa, mayores tomas implicarían también una reducción de la escorrentía en el cauce que alimenta aguas abajo el sistema acuífero con consiguiente posible alteración de los actuales equilibrios hidrogeológicos;
3. río Nizao: el actual nivel de utilización, de hecho concentrado en el tramo final del río aguas abajo del embalse de Valdesia y que afecta casi exclusivamente a áreas ubicadas al exterior de la cuenca, resulta elevado. Las tomas de aguas superficiales, para fines de riego y potables, están caracterizadas por valores del orden del 76% de la escorrentía natural anual promedio. El actual nivel de utilización del recurso resulta por lo tanto tendenciosamente crítico sobre todo en años secos, en los cuales, en la hipótesis de garantizar la toma de la CAASD para el acueducto de Santo Domingo, quedaría asegurado solo el 71-82% (años secos, con $T=5$ años) y el 52-63% (años secos, con $T=10$ años) del caudal de operación promedio de los sistemas de riego Marcos A. Cabral y Nizao-Najayo, teniendo en cuenta un valor del caudal ecológico comprendido por lo menos entre $1 \text{ m}^3/\text{s}$ y $2.3 \text{ m}^3/\text{s}$ (véase Anexo Memorias n°17, Apéndice A).

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 las secciones de:

- río Ocoa en Arroyo Limón (vieja estación del INDRHI, código 490001), período 1986-1995 (10 años);
- río Baní en El Recodo (estación del INDRHI, código 400001), período 1980, 1982-1985 y 1987-1994 (13 años);
- río Nizao en Palo de Caja (vieja estación del INDRHI, código 380002, ahora embalse de Jiguey), período 1975-1978, 1980-1981, 1983-1984, 1986-1990 y 1993 (14 años);
- río Nizao en Valdesia-Las Barías (código 380022,, sección ubicada en correspondencia del contraembalse de Valdesia-las Barías), período 1975-1978, 1980-1981, 1983-1984, 1986-1990 y 1993 (14 años).

Los resultados de la aplicación del modelo matemático están presentados de forma numérica y gráfica, para cada cuenca anteriormente citada, 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, con referencia a cada cuenca:

- río Ocoa en Arroyo Limón (superficie = 397 km^2):
precipitación promedio = 1266 mm;
escorrentía total promedio = 285 mm ($Q = 3.6 \text{ m}^3/\text{s}$);

valores del coeficiente de escorrentía (cociente entre escorrentía y lluvia) caracterizados por una discreta variabilidad temporal (máx=0.29, mín=0.14); régimen hidrológico de tipo torrencial aunque permanente ($Q_{\text{mín}} = 0.393\text{-}2.746 \text{ m}^3/\text{s}$, $Q_{300} = 0.534\text{-}3.598 \text{ m}^3/\text{s}$);

elevado valor porcentual del flujo base sobre la escorrentía total, en promedio del orden del 68% (máx=78.7%, mín=58.6%);

elevada variabilidad temporal de los caudales de estiaje (cv de alrededor de 0.48-0.49 con referencia a los caudales $Q_{365}\text{-}Q_{330}$);

buena permanencia en el cauce de valores de la escorrentía de interés para los fines de utilización (sólo en dos años, 1987 y 1990, se han reconstruido valores del caudal natural inferiores a $0.75 \text{ m}^3/\text{s}$, valor cotejable con el caudal de operación del canal Unificador río Ocoa, cuya toma está aguas abajo de la sección considerada, 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: $Q = 2.42 \text{ m}^3/\text{s}$;

período de retorno de 1 en 10 años: $Q = 2.63 \text{ m}^3/\text{s}$;

período de retorno de 1 en 5 años: $Q = 2.90 \text{ m}^3/\text{s}$;

años húmedos:

período de retorno de 1 en 5 años: $Q = 4.25 \text{ m}^3/\text{s}$;

período de retorno de 1 en 10 años: $Q = 4.70 \text{ m}^3/\text{s}$;

período de retorno de 1 en 20 años: $Q = 5.10 \text{ m}^3/\text{s}$;

- río Baní en El Recodo (superficie = 62 km^2):

precipitación promedio = 1328 mm;

escorrentía total promedio = 735 mm ($Q = 1.44 \text{ m}^3/\text{s}$);

valores en promedio elevados del coeficiente de escorrentía (cociente entre escorrentía y lluvia), caracterizados también por una significativa variabilidad temporal (med=0.53, máx=0.74, mín=0.25);

régimen hidrológico de tipo torrencial aunque de hecho es permanente ($Q_{\text{mín}} = 0.005\text{-}0.364 \text{ m}^3/\text{s}$, $Q_{300} = 0.020\text{-}0.707 \text{ m}^3/\text{s}$), sólo en dos años reconstruidos (1990 y 1991) el valor de $Q_{\text{mín}}$ tiende a cero;

elevado valor porcentual del flujo base sobre la escorrentía total, en promedio del orden del 76% (máx=90.7%, mín=69.7%);

elevada variabilidad temporal de los caudales de estiaje (cv de alrededor de 0.71-0.85 con referencia a los caudales $Q_{365}\text{-}Q_{330}$);

reducida permanencia en el cauce de valores de escorrentía de interés para los fines de utilización (en promedio 112 días por año están caracterizados por valores del caudal natural inferiores a $0.40 \text{ m}^3/\text{s}$, valor cotejable con el caudal de operación promedio del canal Juan Caballero, cuya toma está aguas abajo de la sección considerada, 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: $= 0.71 \text{ m}^3/\text{s}$;

período de retorno de 1 en 10 años: $= 0.82 \text{ m}^3/\text{s}$;

período de retorno de 1 en 5 años:	= 0.97 m ³ /s;
años húmedos:	
período de retorno de 1 en 5 años:	= 1.85 m ³ /s;
período de retorno de 1 en 10 años:	= 2.19 m ³ /s;
período de retorno de 1 en 20 años:	= 2.51 m ³ /s;

- río Nizao en Palo de Caja (superficie = 559 km²):

precipitación promedio = 1497 mm;
escorrentía total promedio = 775 mm (Q = 13.78 m³/s);
valores medianamente elevados del coeficiente de escorrentía (cociente entre escorrentía y lluvia), caracterizados también por una significativa variabilidad temporal (med=0.50, máx=0.70, mín=0.31);
régimen hidrológico de tipo torrencial aunque permanente (Q_{mín} = 0.574-5.425 m³/s; Q₃₀₀ = 1.082-9.401 m³/s);
elevado valor porcentual del flujo base sobre la escorrentía total, en promedio del orden del 62% (máx=75.4%, mín=50.7%);
significativa variabilidad temporal de los caudales de estiaje (cv de alrededor de 0.58-0.61 con referencia a los caudales Q₃₆₅-Q₃₃₀);

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 = 7.09 m ³ /s;
período de retorno de 1 en 10 años:	Q = 8.09 m ³ /s;
período de retorno de 1 en 5 años:	Q = 9.50 m ³ /s;

años húmedos:

período de retorno de 1 en 5 años:	Q = 17.51 m ³ /s;
período de retorno de 1 en 10 años:	Q = 20.54 m ³ /s;
período de retorno de 1 en 20 años:	Q = 23.45 m ³ /s;

- río Nizao en Valdesia-Las Barías (superficie = 933 km²):

precipitación promedio = 1596 mm;
escorrentía total promedio = 773 mm (Q = 22.92 m³/s);
valores en promedio elevados del coeficiente de escorrentía (cociente entre escorrentía y lluvia), caracterizados también por una significativa variabilidad temporal (med=0.47, máx=0.62, mín=0.34);
régimen hidrológico de tipo torrencial aunque permanente (Q_{mín} = 1.012-9.279 m³/s; Q₃₀₀ = 2.102-13.668 m³/s);
valor porcentual del flujo base sobre la escorrentía total menor que en la cuenca de montaña es en promedio igual al 45% (máx=51.1%, mín=36.9%);
significativa variabilidad temporal de los caudales de estiaje (cv de alrededor de 0.52-0.62 con referencia a los caudales Q₃₆₅-Q₃₃₀);

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 = 12.62 m ³ /s;
período de retorno de 1 en 10 años:	Q = 14.23 m ³ /s;
período de retorno de 1 en 5 años:	Q = 16.45 m ³ /s;

años húmedos:

período de retorno de 1 en 5 años:	$Q = 28.64 \text{ m}^3/\text{s};$
período de retorno de 1 en 10 años:	$Q = 33.11 \text{ m}^3/\text{s};$
período de retorno de 1 en 20 años:	$Q = 37.32 \text{ m}^3/\text{s};$

7.3 Agronomía - Edafología

7.3.1 Campaña agronómica y edafológica

La Planicie de Baní está constituida por una serie de terrazas casi llanas que descienden hacia el mar, y por depósitos aluvio-coluviales (conoídes) que forman una parte de la gran planicie costera del Caribe.

Desde el punto de vista de las texturas y de las velocidades de infiltración en la zona examinada prevalecen suelos de empaste medio ligero, a veces pedregosos y velocidades de infiltración altas.

La investigación edafológica ha permitido evaluar la existencia de áreas susceptibles al riego; éstas han sido subdivididas por clases de susceptibilidad, según criterios de carácter agronómico, así como está indicado en el pár. 6.9.2. L'indagine pedologica ha permesso di valutare l'esistenza di aree suscettibili per l'irrigazione; queste sono state suddivise per classi di suscettibilità, secondo criteri di carattere agronomico, così come indicato nel par.6.9.2.

De la evaluación de los datos elaborados y de la cartografía producida, se han identificado, en el interior de la Planicie de Baní 6.887 ha susceptibles al riego, de éstas, 582 caen en la primera clase, 27 en la segunda, 4.015 en la tercera y 2.263 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 limitazioni dovute alle loro caratteristiche chimico-fisiche.

7.3.2 Identificación de zonas con regadío actual y de zonas potencialmente regables

Entre los cultivos permanentes los principales resultan ser caña de azúcar, musáceas (plátano y guineo), pastos naturales y artificiales y algunas especies fructíferas como papaya, aguacate, coco, cítricos, mango, cajuil; entre los cultivos anuales: cebolla, tomate, pimiento, berenjena, molondrón, maíz, sorgo y arroz.

En los meses de otoño e invierno se siembran cebollas, tomates, pimientos, frijoles, utilizando en parte las aguas procedentes de la suspensión del riego de la caña por el comienzo de la cosecha; en primavera predominan yuca, maíz, arroz, molondrón.

Plátano, tomate, arroz, cebolla y papaya son los cultivos más importantes desde el punto de vista de la superficie, seguidos por frijoles, berenjenas y pimientos.

El arroz se cultiva en las zonas bajas con terrenos arcillosos de drenaje lento (área de Nizao).

Una parte de las tierras dedicadas al arroz están puestas en rotación con tomate o pimiento en el período invernal.

En algunos casos se repite un segundo ciclo con tomate.

Los diferentes usos agrícolas se pueden agrupar en seis tipos principales:

- caña permanente;
- plátano y otras fructíferas;
- pastos;
- anuales de otoño invierno en rotación con anuales de primavera;
- arroz en rotación con anuales de otoño invierno;
- arroz con repetición de arroz.

—La superficie total agrícola del la Planicie de Baní es igual a 28.201 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 relevamiento 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 de superficies 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 18.766 ha con regadíos, de las cuales 17.776 con aguas superficiales, 685 con aguas subterráneas y 305 con aguas mixtas, subterráneas y superficiales. All'interno di questa superficie, sono stati individuati 44.607 ha irrigui, di cui 34.000 con acque superficiali, 4.777 con acque sotterranee e 5830 con acque miste, sotterranee e superficiali. Por lo que concierne en fin a la demanda de agua de cada uno de los cultivos, la siguiente tabla contiene las necesidades netas anuales por unidad de superficie (1 hectárea). Para los datos de mayor detalle, se remite a las tablas adjuntas del Anexo 16. Per quanto riguarda infine la richiesta di acqua delle singole colture, la seguente tabella riporta i fabbisogni netti annuali per unità di superficie (1 ettaro). Per i dati di maggiore dettaglio, si rimanda alle tabelle allegate all'Annesso 16.

Cultivos	DEM. NETA ANUAL(mm)
maíz	725,58
arroz	1153,75
tomate	401,88
musáceas	1216,38
yuca	639,49
frijol	297,67
molondrón	868,65
pastos	527,06
guandul	380,96
papaya	1044,05
cebollas	401,88
pimiento	726,1
berenjena	726,1
sorgo	613,95

8 CANTIDADES EXPLOTABLES DE AGUA

El cuadro general indica un uso decididamente reducido de los recursos hídricos subterráneos pero también una fuerte criticidad frente a cualquier hipótesis de incremento de las tomas de aguas subterráneas. Considerando el papel determinante de los recursos hídricos superficiales en el área, se puede seguramente llegar a un esquema de utilización conjunta que limite la utilización de los recursos hídricos subterráneos sólo para fines hidropotables, reduciendo hasta anularla la ya pequeña utilización para fines agrícolas. Las potencialidades de cada sector son efectivamente muy variables; sin embargo se puede sugerir que no sean sostenibles en ningún caso incrementos importantes de las tomas, aun en áreas relativamente más favorables (como en el caso de los depósitos aluviales del río Baní).

Con respecto a los recursos hídricos superficiales, teniendo en cuenta el elevado nivel de explotación que no permite de todas maneras en las condiciones actuales, hipotetizar ulteriores tomas, también para no comprometer los equilibrios ambientales tanto de los sistemas acuíferos (los cursos de agua alimentan las napas) como de los cauces (garantía de caudales ecológicos compatibles), se sugiere liberar recursos superficiales, dejándolos fluir libremente en los cauces, a través de una recuperación de eficiencia de los sistemas de riego, eficiencia actualmente bastante modesta en particular en los sistemas de canales alimentados por el río Nizao (Marcos A. Cabral y Nizao-Najayo).

9 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

9.1 Resumen de datos generales y socio-económicos

El área de estudio, denominada "Planicie de Baní", (ver Fig. 1/1), está comprendida entre 18° 11' 31" y 18° 23' 18" de Latitud Norte y entre 70° 09' 03" y 70° 35' 53" de Longitud Oeste y tiene una superficie de aproximadamente 706 Km².

La zona estudiada está comprendida a 100% en la provincia de Peravia y comprende los municipios de Baní, Nizao, Villa Fundación, Matanzas, Sabana Buey.

La población de los 5 municipios se estima hoy a 160,323 habitantes de los cuales 86,574 (54%) viven en zonas rurales y 73,749 (46%) en áreas urbanas. De estos, el 48.2% son hombres y el 51.8% mujeres.

La tasa media de analfabetismo se calcula en un 24.4%. La población económicamente activa representa el 41.0 % de la población total. La mayoría son trabajadores asalariados (63.3%) y trabajadores por propia cuenta (26.5%).

Los sectores que más contribuyen a la economía y que son las mayores fuentes de empleo son, en orden de importancia la agricultura (37.61%), los servicios (16.86%), el comercio (13.36%), las industrias manufactureras (11.82%).

Las industrias están esencialmente concentradas en la zona franca de Matanzas (sector textil principalmente) y en el área de Baní (sector alimentario).

Los principales productos agrícolas son representados por la caña de azúcar, plátanos y hortícolas.

El sector ganadero produce esencialmente vacunos y aves.

No existe una actividad pesquera desarrollada y organizada a nivel industrial. Sólo existe la pesca de bajura con barcos pequeños a distancias no muy grandes de la costa. El producto principal es el atún.

El turismo no es muy desarrollado. En la costa existen dos lugares principales de atracción turística interna en el área de Las Salinas - Palmar de Ocoa y Playa Los Almendros al Sur de Baní. Con fines de desarrollar la actividad turística de la provincia, ha sido creado un Polo Turístico denominado "Provincia Peravia-Baní".

Por lo que atañe al turismo ambiental, no existen parques o ecoturismo en general.

A parte la extracción de arena y grava para la construcción (esencialmente concentrada en el sector oriental del área de estudio), las actividades en esta área son muy reducidas. Se extraen esencialmente Arcillas industriales y Sal (zona de Las Salinas).

La red de carreteras, es de calidad media en el área y no está muy desarrollada. La única carretera en buen estado es la Carretera Mella.

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 es bueno, así como, en general, la cobertura celular.

9.2 Clima

Los datos climáticos del área hidrológica del proyecto fueron tomados de las estaciones meteorológicas del INDRHI (6 estaciones pluviométricas/gráficas, período 1961-1996 y 6 estaciones climatológicas, período 1967-1996) y de la ONAMET (2 estaciones, período 1961-1990 y 1997 y 1939-1997).

La característica principal del clima en las zonas costeras, en particular al oeste de Baní, es la aridez, caracterizada por una evapotranspiración potencial de referencia ETPo (de Hergreaves-Samani) mayor que la precipitación en todos los meses del año, en cambio, las áreas húmedas se encuentran en las zonas intramontanas y de sierra, ocurriendo los períodos húmedos más largos, hasta 5-7 meses, en la cuenca alta del río Ocoa y en la cuenca del río Nizao.

El promedio de lluvia anual de la zona hidrogeológica de la Planicie es de 935.4 mm, a nivel de estación de interés hidrológico los valores anuales medios oscilan entre 932 mm (Baní) y 1769 mm (Valdesia, río Nizao). La variación mensual de la precipitación presenta un régimen de tipo bimodal con época lluviosa en la primavera (en términos generales en los meses de mayo y junio) y en verano-otoño (desde agosto hasta noviembre) y con sequía en el invierno y en julio; pero si la marcha intranual está bastante homogénea en todo el territorio examinado, los meses máximos y mínimos relativos tienen una elevada variabilidad de un lugar al otro.

La región hidrológica de la Planicie de Baní puede ser subdividida en dos zonas pluviométricas, en el interior de las cuales el coeficiente de variación CV de la lluvia total anual asume, en sentido estadístico, el mismo valor en todos los puntos: el área cerca del mar hasta la isoypsa 100 metros (CV=0.260) y el área intramontana, a cota mayor de 100 metros, (CV=0.197).

Se ha verificado, por las series históricas de la lluvia anual, como representativo a escala regional, el modelo logarítmico-normal por sus mejores resultados absolutos y relativos respecto a los modelos normal-Gauss y gamma-Pearson II, mientras que la ecuación de Hergreaves-Samani ha sido elegida como método de referencia para evaluar la evapotranspiración potencial ETPo.

La temperatura media del aire presenta valores anuales que fluctúan entre menos de 10 °C (Alto Bandera) y más de 27 °C, la variación intranual de la temperatura media oscila entre 3 y 4 °C, y, en todo el área de estudio, el período de mayores temperaturas corresponde a los meses de julio a agosto y lo de mínima a los meses de diciembre - febrero.

El promedio anual de la ETPo en la Planicie es alrededor de los 1700 mm, a nivel de estación los valores anuales medios oscilan entre 1033 mm (Alto Bandera) y 1723 mm (Baní), mientras que los valores de la evaporación de tanque A medidos oscilan entre 1517 mm (El Naranjal-Ocoa) y 2009 mm (Valdesia).

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

9.3 Orografía, Hidrografía y Geomorfología

La Planicie de Baní es una llanura costera de origen aluvial limitada al N por las formaciones que constituyen los relieves de la Sierra de Ocoa que por motivos estructurales, intruyen dentro del área de estudio formando en la parte interna una sucesión alternada de estrechos valles y dorsales con desarrollo NO-SE.

En los relieves occidentales la diferente resistencia a la alteración de las formaciones del Grupo de Peralta (ver par 5.1) determina una morfología superficial con crestas (rocas carbonáticas) y pequeños valles interpuestos (Flysch).

En la parte central la única diferenciación es una tendenciosa suavización del relieve en el sector al O de Baní.

En la extremidad oriental del área de estudio, al O del río Nizao, los relieves asumen en cambio el aspecto de un altiplano costero de morfología tabular.

Numerosas terrazas aluviales se desarrollan en los valles principales del área con una limitación al segmento de monte para aquéllas con expansión en la llanura costera central.

Las terrazas resultan más llamativas en el sector del río Ocoa donde el levantamiento diferencial de la Sierra del Número ha llevado a la formación de mesetas con morfología sub-llana.

La hidrografía del área de estudio está caracterizada por la presencia de 3 ríos principales, del E al O:

- río Nizao
- río Baní
- río Ocoa.

La forma del retículo de estos ríos es indicativa de las litologías en el cauce; el curso anastomosado del río Ocoa puede remontarse a depósitos exclusivamente gruesos mientras que la presencia de matriz fina en los aluviones del río Nizao determina una estabilización del cauce activo.

9.4 Geología y tectónica

9.4.1 Geología

El área objeto de estudio está caracterizada por la presencia de rocas sedimentarias cenozoicas, con menores afloramientos cretáceos, que forman una sucesión de dorsales de elongación N-S o NNO-SSE, separadas por valles fluviales de igual dirección.

Los depósitos aluviales cuaternarios, además de constituir el relleno de estos valles, van a formar también extensas terrazas y bordes aislados en posición morfológicamente elevada, que representan un elemento característico de todo el sector.

Los litotipos presentes en el área pueden remontarse a las siguientes unidades:

Secuencias terrígenas Cenozoicas, representada por tres distintas secuencias de

depósitos, en facies predominantemente flyschoides, parcialmente superpuestas (Grupo de Peralta, Grupo del Río Ocoa, Grupo de Ingenio Caei)

Grupo de las formaciones de la Cordillera Central, que se encuentra por debajo del Grupo del Río Ocoa y cuyos afloramientos empiezan en correspondencia de una estructura regional subvertical llamada San José-Restauración Fault Zone, constituido por formaciones ígneas y sedimentarias de edad cretáceo-paleocénica, características de la Cordillera Central (Complejo del Tiro, constituido por vulcanitas y piroclastitas, Formación Las Palmas, constituida por turbiditas arenáceo-siltíticas y terrenos calcáreos, margas y arcillas que hasta el día de hoy no están distinguidos en formaciones definidas).

Depósitos terrígenos cuaternarios de naturaleza predominantemente fluvial que, además de formar el relleno de los valles principales, constituyen toda la llanura costera formada por la fusión de distintos complejos aluviales.

En los valles principales los depósitos fluviales constituyen a menudo terrazas de distintas entidades, cuyo desnivel de las actuales cotas de corrimiento fluvial llega a algunas decenas de metros. Como consecuencia de un levantamiento reciente del lejano sector occidental, en las proximidades del Río Ocoa, están presentes, en posición morfológicamente elevada, unos extensos depósitos aluviales, sin que haya ninguna conexión con la situación hidrográfica actual.

En sentido general, los sedimentos que constituyen los depósitos aluviales son generalmente finos en los sectores internos de los valles, estrictamente condicionados por las litologías que caracterizan a cada una de las cuencas, con excepción de los más antiguos que muestran, donde están expuestos, una granulometría más gruesa (ver Villa Fundación).

Los depósitos más gruesos se observan en correspondencia de la zona costera y de los cauces actuales de los principales ríos del área, con un ejemplo marcado en los aluviones actuales del Río Ocoa constituidos por cantos de gran tamaño y ausencia de matriz.

Depósitos cuaternarios de menor importancia se encuentran en el área de Las Calderas (sedimentos de ambiente palustre costero), y desde Las Salinas hasta el Arroyo Agusadera (campo de dunas).

9.4.2 Tectónica

El área está interpretada como una serie de thrusting de plegamiento hacia el SO, y el motivo tectónico de pertinencia de cada una de las unidades cenozoicas no resulta unívoco, diferenciándose en cada unidad.

El grupo de Ocoa constituye una secuencia plegada y escamada en la que tanto las estructuras de plegamiento como las fallas de compresión, están interrumpidas por zonas transversales de fricción (shear zone) de disposición subvertical.

En el Grupo de Peralta la tectónica frágil se remonta a la presencia de fallas de distinta tipología: fallas compresivas paralelas a la estratificación, tanto en pequeña como en gran escala, y fallas directas y transcurrentes, en pequeña escala, transversales a la estratificación. Facies cataclásticas y amplias franjas de

descompaginación de los estratos constituyen otro elemento tectónico característico.

La tectónica neogénica parece haber afectado sólo marginalmente a los terrenos del Grupo Ingenio Caei que muestran, como único evento deformativo, un tilting de aproximadamente 20 grados hacia el SE.

La situación tectónica del área es el resultado de la sucesión de los siguientes eventos deformativos:

En el Eoceno superior se verifican fenómenos sinsedimentarios de descompaginación de los estratos en la formación basal (Ventura) del Grupo Peralta, en consecuencia de la formación de la cuña de crecimiento.

En el Mioceno inferior se verifica el plegamiento y la formación de las franjas de sobreposición en las formaciones de Grupo Río Ocoa, por causa de la colisión entre las dos placas que constituyen la isla de Hispañola.

Desde el Mioceno superior hasta el día de hoy se verifica tiltaje hacia el SE de las formaciones del Grupo Ingenio Caei como consecuencia del levantamiento de la Cordillera Central y de la instauración de una zona de transcurrencia en la parte central de la isla.

En tiempos recientes se verifica el levantamiento de la Sierra del Número en consecuencia de la internación de la costa, en correspondencia de la Bahía de Ocoa, de la Beata Ridge. Esta última fase deformativa reviste una importancia digna de nota por haber provocado la desviación el trecho terminal del Río Ocoa hacia el Oeste.

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 1 informe específico 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 9 hojas del mapa topográfico nacional en escala 1:250000 relativos a la Planicie de Baní).

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 139 pertenecen a la Planicie de Baní
- las fichas de identificación de 114 estaciones de aforos de las cuales 10 se

-
- encuentran en cuencas de la Planicie de Baní
- las fichas de identificación de 28 estaciones meteorológicas instaladas en el curso del proyecto, de las cuales 4 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 Planicie de Baní 113 puntos. Entre estos, 48 resultaron aptos para ser incluidos en la red de control piezométrico, 75 resultaron aptos para la red de calidad y 35 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 139, de los cuales el 92.1% son pozos y solamente 3 manantiales. De los pozos/sondeos, el 39.6% pertenecen a particulares, el 24.5% a INAPA y el 8.6% al INDRHI. Los pozos se utilizan principalmente a fines domésticos (30.9%) y de riego(29.5%). Entre las otras utilizaciones, las más representadas son la industria (2.2%) y la ganadería (3.6%). Los equipos de bombeo más utilizados son las bombas eléctricas sumergibles (33.8%), las de eje vertical (37.7%) y las bombas manuales (7.8%).

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 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 no eran dedicados para el control piezométrico, se tomaron en cuenta para el monitoreo todos los puntos (71 por un total de 801 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 de la red “histórica” del INDRHI (para dar continuidad a las medidas) que ya tenían un mínimo de datos en tiempo pasado.

Los puntos que se pudieron medir siempre en las campañas de monitoreo fueron 36 o sea el 50.7% del total considerado

El mapa piezométrico se realizó utilizando las cotas determinadas con el método GPS diferencial en 48 puntos de la Planicie de Baní 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 George (9/97 - 9/98).

Para el diseño final de la red de control piezométrico, se tomaron en cuenta los siguientes factores:

- Distribución en el espacio y densidad de los puntos
- Confiabilidad de los datos obtenidos
- Continuidad de toma de medidas en el tiempo
- Facilidad de acceso
- Optimización entre número de puntos técnicamente aptos y recursos humanos y materiales disponibles para los controles futuros.

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

- a) Selección de todos los puntos aptos (donde se pueden realizar medidas piezométricas confiables)
- b) Reconstrucción de las isopiezas
- c) Estudio/interpretación de las mismas
- d) Selección de los puntos donde se pudieron ejecutar medidas durante todos los meses de campañas piezométricas
- e) Selección de los puntos nuevos añadidos confiables
- f) Selección de los pozos nuevos realizados en el proyecto
- g) Reunión en un mapa de trabajo de los pozos de los puntos d), e) y f)
- h) Selección entre estos, de aquellos, que satisfacen los criterios indicados más arriba en este mismo párrafo y definición de la red de control

En algunos casos específicos, (pozos/sondeos utilizados también para el control de la salinidad o cerca de ríos para comprobar las relaciones entre estos y los acuíferos), donde entonces era importante una determinación más precisa de la elevación de algunos puntos, para la determinación de la cota se utilizó el levantamiento taquimétrico.

Esta metodología se aplicó en la Planicie de Baní en 6 puntos.

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

9.6.2 Monitoreo de calidad

La actividad de monitoreo se estructuró, como preveía el contrato, en base trimestral. El número elevado de muestras y la notable amplitud del área, respecto de la viabilidad disponible, a veces ocuparon un arco temporal un poco superior al mes previsto.

De las ocho campañas originalmente previstas por el contrato, se efectuaron 4. La reducción de la actividad de control fue necesaria como consecuencia del pasaje del huracán “George” en octubre de 1998, que habiendo afectado al área del proyecto, rindió impracticable tanto la viabilidad primaria como la menor.

En total se recolectaron 93 muestras de agua de la red de calidad.

9.6.3 Monitoreos especiales (isótopos, aguas minero-medicinales, potabilidad)

En el curso del proyecto se han efectuado una campaña de monitoreo, por un total de tres muestras, con determinación de Oxígeno-18 (O18), Deuterio (D) y Tritio (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 5 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 32 pozos pertenecientes a la Red de Calidad.

Las 5 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 se presentan 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 el estudio realizado.

9.6.4 Control de la salinidad y de la intrusión marina

El área de Baní resulta estar caracterizada por la ausencia de datos directos sobre la intrusión marina (perfiles) por la falta de pozos aptos para la ejecución de las mediciones.

Para obviar a la falta 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:

9.6.5 Geofísica

Objetivos específicos de la prospección geofísica fueron:

- el estudio del problema de la intrusión marina, tratando de definir presencia y amplitud de las áreas de extensión de la misma así como la determinación de cota de la interfase agua dulce-agua salada;
- el estudio en detalle de los aluviones del río Ocoa en el área de Villa Fundación.;
- determinar, en la zona de Cañafistol, las características de los sedimentos de la cobertura aluvial-coluvial.

En el presente estudio el método de prospección empleado fue el geoelectrico (de resistividad) en su modalidad Sondeos Eléctricos Verticales (S.E.V.) con configuración de tipo Schlumberger.

El trabajo se ejecutó en dos campañas, en las cuales se ejecutaron:

S.E.V. con AB = 150 m	77
S.E.V. con AB = 500 m	3
S.E.V. con AB = 1000 m	1
Total S.E.V. realizados	81

Las curvas de campo fueron interpretadas inicialmente mediante los abacos de Orellana-Mooney y luego con software dedicado a la computadora.

Los resultados se presentaron en forma de secciones geoelectricas, mapas de isopacas o mapas de resistencia transversal.

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 Planicie de Baní:

- Mejorar el conocimiento geológico-estratigráfico del área de estudio.
- Servir de calibración para la interpretación de la geofísica.
- Adquirir datos relativos a los parámetros hidráulicos de los acuíferos (T, K, S).
- Realizar pozos de control aguas abajo de zonas de explotación intensiva por parte de INAPA.
- Integrar la red de control piezométrico con pozos dedicados a este efecto.
- Controlar el funcionamiento de la obra de recarga inducida realizada en el Río Nizao.

En relación con estos objetivos específicos se realizaron en la Planicie de Baní 7 sondeos entubados a aprox. 7" de profundidad inferior a 75 m.

Además se realizó un pozo de observación al lado de la estación meteorológica de

Los Jobs, cerca de Sombrero.

De los 8 sondeos totales realizados, se ejecutaron:

- 2 sondeos con rotación directa y circulación de aire, espuma o lodo;
- 6 sondeos con método de percusión.

Ensayos de bombeo

En 6 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 éstas 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 el mes de septiembre del año 1997 en Santana (Baní) y en Villa Fundación 2 estaciones meteorológicas de tipo automático con alimentación por panel solar y con archivo en disco magnético de los valores medidos, es decir: precipitación, temperatura del aire, humedad relativa, radiación solar, dirección y velocidad del viento, evaporación (tanque tipo A).

La estación de Villa Fundación fue afectada por actos vandálicos que perjudicaron su funcionamiento, consiguientemente en el mes de agosto del año 1999, se instaló la estación de Los Jobos (Baní) que sustituye la de Villa Fundación.

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 8 lugares idóneos, en particular 6 secciones en cauces naturales y 2 en canal de riego (canales Marcos A. Cabral y Ocoa).

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 9 secciones de aforos de las cuales 3 relativas a canales de riego (canales Marcos A. Cabral, Juan Caballero y Ocoa).

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 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.

Fue así que de las 90 regletas disponibles, 4 se instalaron en la Planicie de Baní, distribuidas en 2 estaciones, todas pertenecientes a la vieja red de control del INDRHI.

9.6.9 Actividades agronómicas y edafológicas

El **levantamiento** edafológico ha sido programado sobre la base de un plan que ha permitido una organización racional de **las actividades de campo** levantamientos, junto con una homogénea distribución territorial de **las mismas**. Se ha adoptado un tipo de **levantamiento** denominado “razonado”, es decir que ha tenido en cuenta las características territoriales capaces de influir sobre la génesis de los suelos.

La campaña de **levantamiento** edafológico ha consistido en:

Ejecución de 6 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 60 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** 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 esorrentía 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 se ha preparado tanto una cartografía hidrogeológica en escala 1:50.000 (Mapa 9/2 para la Planicie de Baní) como una cartografía de vulnerabilidad en escala 1:100.000 (Mapa 10/2 para la Planicie de Baní).

Para la producción de la cartografía hidrogeológica, se ha procedido al examen de la bibliografía y de la cartografía existente, para realizar luego una verificación sistemática de la geología mediante inspecciones preliminares, fotointerpretación a partir de fotos aéreas y controles de terreno.

Una vez definido el cuadro geológico de mayor fiabilidad, contextualmente a las informaciones hidrogeológicas adquiridas en el curso del trabajo de campo, se ha procedido a la sucesiva caracterización hidrogeológica, utilizando como criterios de referencia lo de la Leyenda UNESCO del año 1970, que pero han sido seguidos en líneas generales; desde el momento que la complejidad y la articulación de las características sobre todo del medio poroso y de los acuíferos del sistema arrecifal, han sugerido la oportunidad de una articulación de la clasificación mucho más compleja, que ha subdividido el territorio sobre la base de las siguientes clases hidrogeológicas:

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

La representación cartográfica del territorio subdividido sobre la base de las clases enumeradas arriba ha sido completada con piezometrías, elementos geológico-hidrogeológicos, elementos hidroquímicos y elementos hidrográficos.

Los mapas de vulnerabilidad realizados son mapas de vulnerabilidad integrada que consisten en la representación cartográfica conjunta de los centros de peligro potencial y de la vulnerabilidad intrínseca.

Tales mapas han sido producidos adoptando el método de evaluación paramétrica DRASTIC, que permite, mediante índices numéricos, una evaluación estandarizada de la susceptibilidad a la contaminación de las aguas subterráneas (vulnerabilidad intrínseca) para cargas generales de agentes contaminadores localizables en la superficie.

- Este método los siete parámetros principales en el control del movimiento de las aguas en los terrenos naturales. Éstos son: *Profundidad al acuífero*; *Recarga*

neta; Tipo de acuífero; Tipo de suelo; Pendiente; Impacto del tipo de zona vadosa; Conductividad hidráulica.

A cada uno de estos factores, relativamente a las clases de variación consideradas, se le atribuye un puntaje (rating) a multiplicar sucesivamente por un peso (weight) atribuido por convención al factor mismo. De la sumatoria de los productos de los factores considerados se obtiene un índice numérico (Índice DRASTIC) que expresa la vulnerabilidad potencial del acuífero que se encuentra por debajo del punto considerado.

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

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

La parcial indisponibilidad de los datos relativos a algunos factores limitó la evaluación de vulnerabilidad a áreas reducidas respecto de la extensión de la zona de estudio.

9.6.12 Modelización aguas subterráneas

Se realizó un modelo matemático bidimensional de flujo, mediante el código de cálculo de diferencias finitas Modflow, como cobertura del sector que desde la bahía de Salinas, al Oeste, se extiende hasta el sector de Baní. Se excluyeron los sectores de Nizao, al E, y el valle del río Ocoa, al NO, ambos substancialmente aislados de la parte principal de la Planicie.

El modelo fue calibrado en condiciones estacionarias, teniendo como referencia la piezometría promedio del período 9/97 – 9/98.

El modelo fue integrado con la individualización de las tomas para uso potable/industrial (campo pozos de Baní, pueblo y zona franca de Matanzas). Las actividades turísticas son de interés predominantemente local y de limitado impacto. Por lo que atañe al sector agrícola, los cultivos son extensos pero con uso predominante de aguas superficiales (red de canales), excepto un pequeño sector al SO de Baní, según las indicaciones emergidas del estudio agronómico.

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

9.6.13 Modelización aguas superficiales

El trabajo de análisis y modelización matemática de las aguas superficiales, desarrollado con referencia a las cuencas de los ríos Nizao, Baní y Ocoa, 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 las series históricas de los caudales naturales en secciones de interés de las cuencas arriba mencionadas 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 (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: individualización de las secciones fluviales de referencia respecto de las cuales efectuar la reconstrucción de las series históricas de las escorrentías, 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 las secciones de control para la calibración del modelo matemático, selección de los valores de entrada de los parámetros del código de cálculo para la calibración del modelo.

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

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

Para mayores detalles, refiérase al cap. 6.8.4 y al Anexo Memorias n° 15.

9.7 Resultados obtenidos

9.7.1 Caracterización hidrogeológicas de las diferentes formaciones geológicas y acuíferos presentes

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

Las tipologías hidrogeológicas identificadas para las formaciones en el área de estudio han sido:

- *Porosas, sede de acuíferos de permeabilidad alta y muy productivos*: Depósitos cuaternarios fluviales, de granulometría grande, asociados con los ríos Nizao, parte del río Baní al S de Baní y del río Ocoa.
- *Porosas, sede de acuíferos de permeabilidad variable y productividad media*: La mayoría de los depósitos cuaternarios de llanura; La mayoría de los depósitos fluviales aterrazados; Conglomerados, areniscas y molasas marinas (tmis'Mm - 'Mm,cg).
- *Porosas, sede de acuíferos locales o discontinuos de permeabilidad medio-baja*. Depósitos cuaternarios del área de Las Salinas; Depósitos cuaternarios del área del altiplano de Villa Fundación; Franja interna de los depósitos aluviales, en proximidad de la aldea de Canafistol..
- *Fisuradas, sede de acuíferos productivos, de permeabilidad a menudo alta*: Formación del río Nizao (tpl-qp'c) en el límite oriental del área de estudio. Se trata de sedimentos marinos, tanto carbonáticos como terrígenos.
- *Fisuradas, sede de acuíferos locales y discontinuos, de permeabilidad medio-baja*. Litofacies de mayor fracturación de las formaciones flyschoides (teo-tolm'FI); Areniscas, calizas e rocas volcánicas (k'mgm, teo'c, Ks'm+car), en el alto valle del río Baní.
- *Formaciones de baja permeabilidad sin acuíferos significativos*: Constituyen la casi totalidad de las formaciones existentes en las áreas montañosas. Son formaciones flyschoides (teo-tolm'FI) con alta frecuencia de niveles siltítico arcillosos. Por la importancia de sus fracciones finas y margosas las formaciones flyschoides de la parte oriental (tol'm+cg, tol-tmim'm+car)

La determinación a través de los ensayos de bombeo de algunos parámetros hidrogeológicos (tab.6.6.2/1) de las formaciones acuíferas aluviales ha evidenciado cómo los ensayos, aun habiendo sido realizados en zonas distintas, (valle río Baní, O de la ciudad de Baní valle del río Ocoa) muestran una cierta homogeneidad del área, así que las T se quedan alrededor del mismo orden de magnitud ($10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$).

9.7.2 Pozos, sondeos y manantiales

La mayor concentración de pozos es en la llanura de Baní, hasta el pueblo de Las Calderas al O en proximidad de la baja de Las Salinas

Un discreto número de otros pozos se localizan en el valle del río Ocoa

La escasez de recursos hídricos superficiales en los sectores septentrionales de las formaciones cuaternarias de la llanura Salinas-Baní (Sabana Indio, Villa Guerra, Arroyo La Angostura) no corresponden a condiciones más favorables por lo que se refiere a los recursos subterráneos. Desde entonces estas áreas se caracterizan por un uso limitado de recursos subterráneos y la casi total ausencia de perforaciones. No se han individualizado manantiales relevantes en el área de estudio.

9.7.3 Piezometría

Piezometría y variaciones piezométricas en el tiempo

El área de estudio se caracteriza, en nuestra opinión, por una falta de continuidad lateral de los acuíferos o por un cierto nivel de independencia debido a la continuación subterránea de las principales formaciones de baja permeabilidad. Estas formaciones, alineadas según las direcciones tectónicas principales N-S, individualizan estructuras interpretadas por nosotros como divisorios de agua subterráneas

Las direcciones de flujo son generalmente desde N-S hasta NNO-SSE.

Los gradientes alrededor del 20 por mil en los sectores más al N (ciudad de Baní y valle del Arroyo Bahía al O) bajan de valor en dirección S, manteniéndose todavía relativamente elevados.

Por lo que se refiere a la piezometría del valle del Río Ocoa, los datos disponibles son pocos y generalmente próximos al río mismo. De todas formas se confirma la relación directa río-acuífero: este último resulta ser completamente independiente de los otros y con una buena base impermeable.

Por lo que se refiere al análisis de las variaciones piezométricas en el tiempo, los mínimos se observan esencialmente alrededor del mes de Abril y en el mes de Diciembre: los máximos tienen mayor frecuencia, bien evidente, en Septiembre y se sitúan esencialmente entre Julio y Octubre.

Las variaciones anuales son generalmente muy reducidas (en mayoría inferiores a 1 m).

Por lo que atañe a las variaciones de los niveles medios después del 1970, con los pocos datos históricos en nuestra posesión no se pueden formular conclusiones confiables sobre la magnitud de las variaciones: los niveles todavía parecen haber bajado por lo menos en el sector de Baní y Nizao.

Proposición de una red de control piezométrico

La red de control propuesta cuenta con 15 puntos, de los cuales 6 (40%) están dedicados solamente a la red y 9 (60%) son privados. Los puntos de la red sin bomba son 13 (87%) y con bomba instalada son 2 (13%).

La repartición en el espacio de los puntos propuestos está en acuerdo con los criterios generales indicados en este mismo informe.

9.7.4 Calidad de las aguas subterráneas y caracterización hidroquímica

La caracterización que emerge del análisis de los datos químicos, relativos a las aguas subterráneas, pone en evidencia una situación generalmente homogénea en todas la zona objeto de investigación del presente proyecto. Están presentes tres grandes familias hidroquímicas:

- Aguas bicarbonato-alkalino térreas;
- Aguas bicarbonato-alkalinas;
- Aguas clorurado-alkalinas.

El primer grupo representa las aguas típicas de la recarga regional, que aun aumentando su contenido salino a lo largo de su recorrido, mantienen generalmente valores de salinidad inferiores a 1 g/l.

El segundo grupo representa áreas litológicamente independientes (sector a), estas aguas varían su contenido salino de 0,1 a más de 1 g/l.

El tercer grupo esencialmente se coloca a lo largo de la franja costera, poniendo en evidencia con su mayor o menor extensión la influencia de la interacción aguas dulces subterráneas y agua marina. En general se trata de aguas de salinidades superiores a 1 g/l. La presencia de este tipo de aguas en sectores muy lejanos a la costa podría ser imputable a la lixiviación de depósitos de tipo lagunar costero.

Además de las muestras incluidas en los tres grupos arriba citados, existe un número exiguo de muestras que se distingue o por la predominancia de uno de los componentes alkalino-térreos, o bien por la pertenencia a otra tipología hidroquímica. Estos casos son aislados, y por lo tanto estan relacionados con situaciones locales, cuyos detalles litoestratigráficos se desconocen.

El nivel de comprometimiento de los acuíferos está puesto ulteriormente en evidencia tanto por la distribución del contenido de cloruros como por los datos relevados en los perfiles verticales de salinidad efectuados.

De la investigación específica sobre la calidad potable de las aguas subterráneas emerge cómo en el sector del Río Nizao la totalidad de las aguas no presenta ninguno de los parámetros considerados por encima del umbral de aceptabilidad.

La situación resulta ser casi análoga en el sector de Baní donde se observa sólo, además de una parcial inaceptabilidad del contenido salino en las aguas por arriba del centro urbano, un exceso de cloruros, aparentemente injustificado, en el interior de la zona de Matanzas.

En el trecho terminal del valle del Río Ocoa las condiciones de las aguas subterráneas resultan ser generalmente buenas, salvo un par de puntos con ascensos temporáneamente inaceptables del contenido salino.

La mayor criticidad que se observa en el área es aquélla presente entre Las Calderas y Las Salinas donde las capas acuíferas sufren los efectos de la salinización costera.

9.7.5 Salinidad e intrusión marina

El área resulta estar caracterizada por la ausencia de datos directos sobre la

intrusión marina, fue necesario por lo tanto formular consideraciones basándose en el tenor de cloruros y en la carga hidráulica. En general el área parecería estar exenta de fenómenos de intrusión marina, sin embargo en algunos sectores resultaría estar en acto un fenómeno de comprometimiento. La escasez de puntos de control, tanto químico como piezométrico, en los sectores con riesgo no permite verificar la atendibilidad de dichas hipótesis.

9.7.6 Resultados análisis isotópicas

La combinación de las informaciones obtenidas de los isótopos estables con las informaciones químicas parecen indicar una influencia muy limitada de las aguas marinas sobre las dulces.

El contenido de Tritio coloca a estas muestras en el ámbito de la recarga actual.

9.7.7 Relaciones ríos-acuíferos

En la zona hidrológica la contribución directa a la escorrentía superficial natural es bastante omisible, el régimen hidrológico local es de tipo esporádico. Los ríos y arroyos locales juegan un papel de alimentación de los acuíferos y las aguas escurren en superficie sólo en correspondencia de episodios pluviométricos importantes (por ejemplo: los Arroyos Paya y Bahía).

Por lo que se refiere a los ríos principales (véanse Anexo Memorias n° 13, 14 y 15), se puede decir:

- río Baní: en su tramo superior (aguas arriba de la sección de control de El Recodo, 400001) tiene un régimen permanente debido a las características climatológicas y morfológicas de su cuenca. En el tramo final (aguas abajo de la ciudad de Baní) el río se encuentra prácticamente seco en condiciones de agua baja y alimenta el acuífero, la recarga promedio anual por infiltración de escorrentía superficial en el cauce ha sido evaluada en $13 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{a}$;
- río Ocoa: en la cuenca alta tiene un régimen permanente, en el tramo final es un curso estacional, normalmente hay solamente escorrentía subterránea, es decir las aguas escurren en superficie sólo en correspondencia de episodios pluviométricos importantes y el agua va naturalmente recargando el acuífero contenido en sus depósitos actuales, la recarga promedio anual por infiltración de escorrentía superficial en el cauce ha sido evaluada en cerca de $7 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{a}$;

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 9/2: Mapa hidrogeológico Planicie de Baní, tiene un área total de 705.8 km², una precipitación promedio anual de 935.4 mm y una evapotranspiración potencial de referencia alrededor de los 1700 mm.

Ésta se caracteriza por formaciones contribuyentes a la recarga de tipo poroso (azul), de permeabilidad de alta (terrenos de aluvión de los ríos Ocoa, Baní y Nizao) a baja, y de tipo fisurado (verde), con acuíferos de permeabilidad alta y medio-baja, las cuales, en conjunto, tienen una superficie de 472.8 km², esto es el 67% de la superficie total.

En términos generales, las aguas subterráneas proceden de tres fuentes: recarga pluvial directa, infiltración de escorrentía superficial en los cauces (en particular por lo que se refiere a los terrenos de aluvión de los ríos Ocoa y Baní) y recarga por flujo de retorno de aguas de riego (exceso de riego) e infiltración en canales.

En conjunto, teniendo en cuenta las características morfológicas, hidrogeológicas e hidrológicas, han sido individuadas 13 sub-zonas homogéneas (véase cap. 6.8.3, Fig. 7.1.8./1 y Anexo Memorias n° 14).

En conjunto (véase Tab7.1.8./1) la recarga pluvial directa en la zona hidrogeológica de interés alcanza los siguientes valores:

- años secos (T=10 años): 32.09 * 10⁶ m³/a;
- años secos (T=5 años): 40.14 * 10⁶ m³/a;
- año medio: 58.62 * 10⁶ m³/a;
- años húmedos (T=5 años): 73.53 * 10⁶ m³/a;
- años húmedos (T=10 años): 86.06 * 10⁶ m³/a.

Por lo que atañe a la recarga promedio anual por infiltración de escorrentía superficial en los cauces de los ríos Ocoa y Baní, ésta resultó ser: en el cauce del río Ocoa: 6.74 * 10⁶ m³/a y en el cauce del río Baní: 12.98 * 10⁶ m³/a.

En fin ha sido evaluada la recarga por flujo de retorno de aguas de riego (exceso de riego) e infiltración en los canales Ocoa, Marcos A. Cabral, Nizao-Najayo y Juan Caballero.

En conjunto la recarga media anual total en la zona hidrogeológica de interés alcanza el valor de 93.57 * 10⁶ m³/a así repartido:

- recarga pluvial directa: 58.62 * 10⁶ m³/a;
- recarga por infiltración de los ríos: 19.72 * 10⁶ m³/a;
- recarga por exceso de riego: 15.23 * 10⁶ m³/a;

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

9.7.9 Vulnerabilidad

La gradación de vulnerabilidad en el territorio examinado es más bien amplia, yendo desde sectores con vulnerabilidad muy alta en los valles aluviales de los ríos Ocoa, Baní y Nizao, hasta las áreas más internas de los depósitos cuaternarios costeros, de baja vulnerabilidad, entre Baní y Las Calderas.

Los sectores de vulnerabilidad elevada son más bien circunscriptos y los valles aluviales principales están caracterizados por una generalizada vulnerabilidad alta, análogamente a la franja de los depósitos que da a la costa entre el Río Nizao y Las Calderas.

Una clase de vulnerabilidad más contenida (intermedia) es la de los sectores más internos de los depósitos cuaternarios costeros, con condiciones de “seguridad” de los acuíferos aún mayores en la franja más interna al oeste de Baní.

En el alto morfológico de Sabana Buey-Villa Fundación se determina una vulnerabilidad local generalmente medio-baja.

Del contexto actual, la única situación de mayor riesgo parece estar confinada, tanto por la vulnerabilidad intrínseca local como por la entidad del impacto potencial, en el trecho terminal a la orrilla derecha del Río Nizao, donde está presente un importante depósito de productos petrolíferos.

9.7.10 Modelos matemáticos de flujo de las aguas subterráneas

El modelo de flujo, implementado en el ámbito del proyecto, fue utilizado para una simulación de previsión, a los fines de la evaluación del impacto de un pequeño incremento de las tomas en dos sectores, que, pese a la proximidad geográfica, resultan hidrogeológicamente bien distinguidas. Se trata del sector inmediatamente al S de la ciudad de Baní, en correspondencia de depósitos sedimentarios relativamente gruesos, y del sector de Cañafistol, al O de la ciudad de Baní y al N del sistema de canalización superficial, caracterizado este último por formaciones predominantemente finas, limoso-arcillosas. En detalle, pues, el pequeño aumento de tomas hipotetizado (315000 m³/año en cada sector por un total de 8 nuevos pozos) puede imputarse a una hipótesis de incremento de las necesidades hídricas de la ciudad de Baní, por un lado, y de extensión de las actividades agrícolas a un sector que hoy día no está cultivado.

En detalle, recordamos que el área de estudio se caracteriza por condiciones bastante variables por lo que atañe a la disponibilidad de recursos hídricos aprovechables. La construcción de algunos canales (Marcos A. Cabral y Juan Caballero) han favorecido el desarrollo agrícola de la parte meridional de la llanura. Sin embargo todo el sector al N de los mismos canales se caracteriza por condiciones desde poco a muy poco favorables, sea en un sentido climático que geológico.

Los resultados indican un impacto considerable sobre todo en el sector al N de Cañafistol, donde las variaciones piezométricas calculadas llegan a casi 20 m después de 30 años y afectan a un área de gran extensión. También hipotetizando buscar condiciones hidrogeológicas favorables (y hay muchas dudas, después de los trabajos de campo realizados a lo largo de este proyecto), se confirma que el área no es apta para la explotación de recursos hídricos subterráneos. Por lo contrario, el sector al S de Baní se caracteriza por impactos mucho menores, siendo las

variaciones piezométricas máximas calculadas después de 30 años en alrededor de los 3 m.

Además de dar informaciones de interés específico para los 2 sectores examinados, esta simulación puso en evidencia la variabilidad de las condiciones hidrogeológicas, en el interior del área de estudio, y por lo tanto la consiguiente variabilidad de opinión sobre la posibilidad de explotar los recursos hídricos subterráneos. Por otro lado, es verdad de todas maneras que los volúmenes que entran al sistema (predominantemente por recarga directa) son relativamente limitados y por lo tanto no es imaginable, en términos generales, un aumento consistente de las explotaciones de aguas subterráneas, como implícitamente indica la existencia de una red hídrica superficial apreciable.

9.7.11 Recursos hídricos y reservas hídricas subterráneas

Se ha evaluado una recarga total del orden de los $58.6 \cdot 10^6$ m³/a, con referencia al año promedio a los cuales deben agregarse las contribuciones de recarga adicional desde los sistemas hídricos superficiales (ríos y sistemas de riego).

9.7.12 Régimen hidrológico y recursos hídricos superficiales

La hidrografía del área está caracterizada por la presencia de 3 ríos principales del este al oeste: ríos Nizao, Baní y Ocoa (véanse Tab. 7.2.1./1).

A lo largo del curso del río Nizao, el más importante en sentido hidrológico, se encuentran los embalses de Jigüey, Aguacate, Valdesia y Las Barías (volumen máximo de operación total igual a $313.2 \times 10^6 \text{ m}^3$), que condicionan su régimen hidrológico; la potencialidad hídrica natural en la sección de Valdesia-Las Barías es elevada, indicativamente comprendida entre los $448 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{a}$ (año seco, $T=10$) y los $723 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{a}$ (año promedio).

En el sector central, el río Baní es perenne aguas arriba de Baní y estacional aguas abajo, donde hay escorrentía superficial sólo cuando ocurren episodios pluviométricos importantes. La potencialidad hídrica natural referida a la sección de El Recodo está comprendida indicativamente entre los $26 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{a}$ (año seco, $T=10$) y los $45 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{a}$ (año promedio), rendimiento cotejable con el del río Nizao (con referencia al año promedio; río Nizao 24.6 l/skm^2 , río Baní 23.2 l/skm^2).

El río Ocoa se caracteriza, antes de todo, por pertenecer a un valle completamente aislado de la restante parte del área de estudio, en correspondencia del alto estructural de Villa Fundación Arroyo Hondo. El río es perenne en el sector de montaña (como los otros dos ríos) y en su tramo inferior es típicamente un curso estacional donde normalmente hay solamente escorrentía subterránea, es decir las aguas corren en superficie y llegan al mar sólo en correspondencia de episodios pluviométricos importantes.

La potencialidad hídrica natural referida a la sección de Arroyo Limón está comprendida indicativamente entre $83 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{a}$ (año seco $T=10$) y $114 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{a}$ (año promedio), rendimiento de todas maneras inferior al evaluado para los ríos Nizao y Baní (con referencia al año promedio el rendimiento natural del río Ocoa es de alrededor de 9 l/skm^2 , uno de los mínimos en toda el área de estudio).

Otros ríos se encuentran en el área de estudio (por ej. Arroyos Paya y Bahía), pero son clasificables como cañadas o arroyos secos y juegan un papel alimentante para las aguas subterráneas y las aguas escurren en superficie sólo en ocasión de lluvias significativas. La escorrentía superficial de dichos cursos de agua no resulta de hecho prácticamente aprovechable. Otros arroyos tienen un régimen distorsionado por la entrada de aguas de retorno de riego (arroyos Pajarito y Catalina) y/o por efecto de tomas de riego (arroyo Guerra); en condiciones naturales deberían tener un régimen esporádico y alimentar el acuífero.

Por lo que atañe a la identificación de la entidad promedio mensual de la escorrentía torrencial y del flujo base, fue preciso basarse en los resultados de la aplicación de los modelos matemáticos lluvia-escorrentía por los cuales resultó una contribución media del flujo base alrededor del 69% por el río Ocoa, del 76% por el río Baní y del 55% por el río Nizao en Valdesia-Las Barías.

En conjunto, los recursos hídricos superficiales naturales potencialmente utilizables en la Planicie de Baní son significativos, esencialmente pueden referirse al río Nizao (aproximadamente el 80% del total), y varían entre $558 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{a}$ (año seco $T=10$) y $882 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{a}$ (año promedio). Para mayores detalles a los Anexos Memorias n° 13, 15 y 17.

9.7.13 Identificación de zonas con regadío actual y potencialmente regables - Evaluación de las necesidades hídricas para el riego

Las actividades agronómicas y edafológicas efectuadas han permitido identificar las áreas con regadío actual y las potencialmente regables. Le attività agronomiche e pedologiche effettuate hanno permesso di identificare le aree con irrigazione attuale e quelle potenzialmente irrigabili.

Las áreas con regadío han sido ulteriormente subdivididas entre las regadas con aguas subterráneas, con aguas superficiales y con sistemas mixtos. Le aree irrigue sono state ulteriormente suddivise fra quelle irrigate con acque sotterranee, con acque superficiali e con sistemi misti.

Estas áreas han sido indicadas en la cartografía en escala 1:100.000. Queste aree sono state riportate nella cartografia in scala 1:100.000.

Se recuerda que el criterio utilizado para la delimitación de las áreas con regadío y de las potencialmente regables ha sido el de la predominancia, que considera, en el interior de un área cartografiable, el cultivo predominante; las áreas además han sido delimitadas al bruto de carreteras, viviendas, pequeñas áreas no cultivadas, etc. Si ricorda che il criterio utilizzato per la delimitazione delle aree irrigue e di quelle potenzialmente irrigabili è stato quello della prevalenza, che considera, all'interno di un'area cartografabile, la coltura prevalente; le aree inoltre sono state delimitate al lordo di strade, abitazioni, piccole aree non coltivate ecc.

En la Planicie de Bani se han obtenido los siguientes datos:

<u>total superficie agrícola</u>	<u>totale superficie agricola:</u>	8.201	ha
<u>total áreas con regadíos</u>	<u>totale aree irrigue:</u>	8.766	ha
<u>total áreas con regadíos con aguas subterráneas</u>	<u>totale aree irrigue con acque sotterranee:</u>	68	ha
<u>total áreas con regadíos con aguas superficiales</u>	<u>superficiali:</u>	17.776	ha
<u>total áreas con regadíos con aguas mixtas</u>	<u>miste:</u>	305	ha

La zona más prometedor por lo que concierne a la extensión de áreas con regadíos es la planicie de Bani, donde se encuentran extensas áreas, en particular por arriba del canal Juan Caballero; aquí se encuentran terrenos de empaste ligero, particularmente aptos para los cultivos hortícolas, ya en parte cultivados y regados en superficies limitadas en la zona por debajo del canal. Otras zonas susceptibles de riego resultan estar en el área de Sabana Buey y en la zona de influencia del Canal Unificador de Ocoa, donde se encuentran suelos más aptos para el cultivo del arroz y ya en parte cultivados y regados con aguas subterráneas, sólo en la zona de Sabana Buey, y superficiales, por expansión del río.

En el conjunto, las áreas susceptibles al riego suman 6.887 ha. Nel complesso, le aree suscettibili di irrigazione individuate nel distretto di Neiba ammontano a 10.747 ha.

De éstas, 582 ha pertenecen a la primera clase de susceptibilidad y por lo tanto no presentan limitaciones de carácter agronómico; 27 ha pertenecen a la segunda clase, 4.015 a la tercera, y 2.263 a la cuarta clase. Di questi, 2.370 ha appartengono alla prima classe di suscettibilità e quindi non presentano limitazioni di carattere agronomico; 3.195 ha appartengono alla seconda classe e 5.182 alla terza.

Por lo que concierne en fin a las necesidades hídricas de los principales cultivos encontrados en la Planicie de Baní, la demanda neta anual por hectárea asume un valor promedio de 773 mm, oscilando desde un mínimo de 401 hasta un máximo de 1216 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

El nivel de aprovechamiento resulta limitado tanto para fines potables como agrícolas, sobre todo recordando la absoluta predominancia de la utilización de los recursos superficiales.

Un análisis atento del balance del área requiere sin embargo una mayor articulación espacial, con sectores, como el de Cañafistol, con condiciones extremadamente desfavorables tanto a nivel de suelos como de litología de los acuíferos.

Más al oeste, en el sector de Salinas, a las consideraciones de balance solamente se les suman también evaluaciones respecto de la calidad por efecto de fenómenos de intrusión marina. Las condiciones del valle del río Ocoa son más favorables, con un acuífero de sub-cauce, y el sector aguas abajo del río Baní (al sur de la ciudad homónima) tanto por el papel de recarga jugado por el río como por la existencia de litologías presumiblemente más permeables (véase Mapa n° 9).

En conclusión un cuadro extremadamente fragmentado en relación con la existencia de alineamientos tectónicos de rumbo norte-sur tales que separan el área en una serie de sub-áreas casi independientes.

9.7.15 Utilización de las aguas superficiales

El nivel de explotación de las aguas superficiales es elevado en toda la Planicie, los recursos hídricos superficiales representan en efecto la principal fuente de abastecimiento para fines de riego y potables, con utilización también de las aguas procedentes de fuera del área (acueducto de Santo Domingo, CAASD).

A nivel de cada una de las cuencas hidrográficas emerge que:

- 1) río Ocoa: el actual nivel de utilización resulta compatible con la oferta natural de la cuenca; viceversa tomas más elevadas no resultarían garantizadas por períodos temporales de dimensión significativa ya con referencia al año promedio, además la reducción de la escorrentía en el cauce que alimenta aguas abajo el sistema acuífero implicaría posibles alteraciones de los actuales equilibrios hidrogeológicos;
- 2) río Baní: el actual nivel de utilización resulta tendenciosamente crítico si se lo compara con la oferta natural de la cuenca ya con referencia al año promedio; análogamente al río Ocoa, mayores tomas implicarían también una reducción de la escorrentía en el cauce que alimenta aguas abajo el sistema acuífero con consiguiente posible alteración de los actuales equilibrios hidrogeológicos;
- 3) río Nizao: el actual nivel de utilización, de hecho concentrado en el tramo final del río aguas abajo del embalse de Valdesia y que afecta casi exclusivamente a áreas ubicadas al exterior de la cuenca, resulta elevado. Las tomas de aguas superficiales, para fines de riego y potables, están caracterizadas por valores del orden del 76% de la escorrentía natural anual promedio. El actual nivel de utilización del recurso resulta por lo tanto tendenciosamente crítico sobre todo en años secos, en los cuales, en la hipótesis de garantizar la toma de la CAASD para el acueducto de Santo Domingo, quedaría asegurado solo el 71-82% (años secos, con T=5 años) y el 52-63% (años secos, con T=10 años) del caudal de operación promedio de los sistemas de riego Marcos A. Cabral y Nizao-Najayo, teniendo en cuenta un valor del caudal ecológico comprendido por lo menos entre 1 m³/s y 2.3 m³/s.

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 las secciones de:

- río Ocoa en Arroyo Limón (vieja estación del INDRHI, código 490001), período 1986-1995 (10 años);
- río Baní en El Recodo (estación del INDRHI, código 400001), período 1980, 1982-1985 y 1987-1994 (13 años);
- río Nizao en Palo de Caja (vieja estación del INDRHI, código 380002, ahora embalse de Jigüey), período 1975-1978, 1980-1981, 1983-1984, 1986-1990 y 1993 (14 años);
- río Nizao en Valdesia-Las Barías (código 380022,, sección ubicada en correspondencia del contraembalse de Valdesia-las Barías), período 1975-1978, 1980-1981, 1983-1984, 1986-1990 y 1993 (14 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, con referencia a cada cuenca:

- río Ocoa en Arroyo Limón (superficie = 397 km²):
precipitación promedio = 1266 mm; escorrentía total promedio = 285 mm (Q = 3.6 m³/s); valores del coeficiente de escorrentía caracterizados por una discreta variabilidad temporal; régimen hidrológico de tipo torrencial aunque permanente; elevada variabilidad temporal de los caudales de estiaje; buena permanencia en el cauce de valores de la escorrentía de interés para los fines de utilización
- río Baní en El Recodo (superficie = 62 km²):
precipitación promedio = 1328 mm; escorrentía total promedio = 735 mm (Q = 1.44 m³/s); valores en promedio elevados del coeficiente de escorrentía caracterizados también por una significativa variabilidad temporal; régimen hidrológico de tipo torrencial aunque de hecho es permanente; elevada variabilidad temporal de los caudales de estiaje y reducida permanencia en el cauce de valores de escorrentía de interés para los fines de utilización.
- río Nizao en Valdesia-Las Barías (superficie = 933 km²):
precipitación promedio = 1596 mm; escorrentía total promedio = 773 mm (Q = 22.92 m³/s); valores en promedio elevados del coeficiente de escorrentía caracterizados también por una significativa variabilidad temporal; régimen hidrológico de tipo torrencial aunque permanente y significativa variabilidad temporal de los caudales de estiaje.

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

En conclusión pues un cuadro general, que indica un uso decididamente reducido de los recursos hídricos subterráneos pero también una fuerte criticidad frente a cualquier hipótesis de incremento de las tomas de aguas subterráneas. Considerando el papel determinante de los recursos hídricos superficiales en el área, se puede seguramente llegar a un esquema de utilización conjunta que limite la utilización de los recursos hídricos subterráneos sólo para fines hidropotables, reduciendo hasta anularla la ya pequeña utilización para fines agrícolas. Las potencialidades de cada sector son efectivamente muy variables; sin embargo se puede sugerir que no sean sostenibles en ningún caso incrementos importantes de las tomas, aun en áreas relativamente más favorables (como en el caso de los depósitos aluviales del río Baní).

Además, con respecto a los recursos hídricos superficiales, teniendo en cuenta el elevado nivel de explotación que no permite de todas maneras en las condiciones actuales, hipotetizar ulteriores tomas, también para no comprometer los equilibrios ambientales tanto de los sistemas acuíferos (los cursos de agua alimentan las napas) como de los cauces (garantía de caudales ecológicos compatibles), se sugiere liberar recursos superficiales, dejándolos fluir libremente en los cauces, a través de una recuperación de eficiencia de los sistemas de riego, eficiencia actualmente bastante modesta en particular en los sistemas de canales alimentados por el río Nizao (Marcos A. Cabral y Nizao-Najayo).

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 Planicie de Baní, 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 a los fenómenos de intrusión marina, por el momento, en el ámbito de las prioridades emergidas, no parecería indispensable prever una red de control, cuya realización sería sin embargo oportuna para el futuro.

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 Ghyben-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 sería necesario disponer de una red de monitoreo geoquímico e isotópico de las aguas subterráneas y 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 seguito della evaluación de la calidad potable de las aguas subterráneas, el cotejo con los términos normativos tanto de la ley nacional vigente (NORDOM 64) como con lo prescrito por la OMS en la emanación de 1993 y de la Directiva CEE n°778 de 1980, ha hecho emerger una cierta inadecuadez 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 en tema de 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.

A fin de aumentar la eficiencia regadía y limitar las pérdidas de agua, sería oportuno tener en mayor consideración las propiedades limitantes de los suelos, a través de un mejor uso de los mismos, dado que a menudo los cultivos no resultan estar adecuadamente distribuidos en relación con las condiciones de los suelos, del clima y de la disponibilidad de agua, con graves repercusiones sobre la reutilidad.

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 aquellos con mejor drenaje. Se tratará de ofrecer a los agricultores un rédito suplementario, utilizando plenamente la capacidad laboral de sus familias.

A la luz de los resultados conseguidos en el ámbito de las actividades de modelización de flujo (calibración y simulación) se recomienda contener las tomas de aguas subterráneas dentro de valores mínimos y por lo general para usos hidropotables. En el respeto de un cuadro estructural extremadamente fragmentado con muchos sectores hidrogeológicamente distintos, se recomienda además evaluar las condiciones estrictamente locales (recarga, tipos de acuíferos, presencia de cursos de agua superficiales y de redes de canalización, recarga por exceso de riego); estas condiciones, como está confirmado por los modelos matemáticos (ej. área de Cañafistol), pueden a veces resultar extremadamente críticas. A diferencia de otras áreas costeras, la Planicie de Baní no resulta estar afectada por fenómenos importantes de intrusión salina, sobre todo debido a gradientes piezométricos seguramente elevados. Sin embargo se recomienda la utilización del modelo de flujo para evaluar los impactos piezométricos, sobre todo en el sector occidental, en proximidad de la bahía de Salinas (el único sector que está afectado por fenómenos de salinización a una cierta distancia de la costa). La simple aplicación de una formulación teórica, como la de Ghyben-Herzberg, puede en tal sentido poner en evidencia, junto con una simulación de flujo, eventuales condiciones de criticidad que se pudiesen presentar frente a un aumento de las tomas.

Por lo que se refiere a las actividades en el ámbito de la climatología, de la hidrología y del manejo de los recursos hídricos superficiales, a la luz de los resultados conseguidos y para garantizar la posibilidad de un control sistemático tanto de la oferta como de la utilización de los recursos hídricos como ayuda para un manejo sostenible y eficaz de los mismos, se recomienda:

- climatología:
- la instalación de por lo menos cuatro nuevas estaciones: dos en la cuenca del río Nizao y una respectivamente en las cuencas altas de los ríos Baní y Ocoa, a fin de integrar y completar la red meteorológica instalada en el curso del proyecto para garantizar la disponibilidad, en el futuro, de datos climáticos fiables y representativos, en particular por lo que atañe a la evaluación de la evapotranspiración potencial, en las cuencas de sierra a favor de la utilización y recalibración de los modelos matemáticos lluvia-escorrentía suministrados en el ámbito del proyecto;
- mantener eficiente la actual red meteorológica (estaciones instaladas en curso del proyecto, actuales redes INDRHI y ONAMET), rindiendo disponibles de esta manera, para el futuro control meteorológico, una red moderna suficientemente amplia y articulada en el territorio de interés, integrada con las estaciones climáticas sugeridas aquí arriba;

- instalar evaporímetros en los embalses de Jigüey y Valdesia para llegar a una correcta evaluación de las pérdidas directas por evaporación como ayuda, junto con los resultados del modelo lluvia-escorrentía, para el manejo hidrológico de los mismos;

- hidrología:

se sugiere la activación de la red hidrométrica de control como hemos indicado en el Anexo memorias n° 13 y presentado en el Mapa n° 2, red constituida por estaciones hidrométricas, para garantizar un control en base diaria de los principales cursos de agua, y por secciones de aforo en las cuales efectuar mediciones de caudal con cadencia mensual en los ríos menores y sobre todo en los canales para riego (en particular los canales Ocoa y Juan Caballero, que actualmente no son objeto de control sistemático). Por lo que atañe a los canales de riego, se recuerda que el conocimiento de la entidad de los recursos efectivamente tomados es fundamental a fin de evaluar correctamente tanto el actual nivel de solicitación sobre el régimen fluvial, como el efecto, en particular sobre las escorrentías de estiaje (equilibrio ecológico), de menores tomas consiguientes a mejoramientos del actual eficiencia de los sistemas de riego.

- manejo de los recursos hídricos:

teniendo en cuenta el actual nivel de utilización, tendenciosamente crítico, se sugiere:

- actualizar-recalibrar los modelos matemáticos lluvia-escorrentía sobre la base de la información climática que resultará disponible de la integración de la red meteorológica antes mencionada;

- evaluar, también sobre la base de consideraciones de tipo biológico, la entidad del caudal ecológico de los cauces de los ríos, se recuerda que el caudal ecológico definido sólo sobre la base de criterios hidrológicos representa de todas maneras un umbral mínimo que debe ser garantizado al ecosistema fluvial;

- evaluar oportunas modalidades operativas para mejorar la eficiencia de los sistemas de riego, tanto para reducir el riesgo de situaciones de sequía socio-económica (insatisfacción de los usuarios) aun en años moderadamente secos en sentido hidrológico, como para garantizar, liberando recursos actualmente ocupados, condiciones de escorrentía en el cauce (flujo base, caudales de estiaje) compatibles con los equilibrios ambientales de los sistemas fluviales mejorando al mismo tiempo la recarga de los sistemas acuíferos compensando la menor alimentación de los mismos consiguiente a la reducción del exceso de riego (con referencia en particular a los ríos Baní y Ocoa). En un segundo momento será posible hipotetizar, también con la ayuda de los modelos de simulación suministrados, la posibilidad y sostenibilidad de ulteriores utilidades disipadoras, en particular agrícolas, del recurso hídrico.

Se recuerda que a fin de garantizar una utilización sostenible de los recursos hídricos, la actividad de planificación debe referirse necesariamente al entero sistema cuenca, tanto en sentido hidrológico como hidrogeológico, según un método “supply-demand oriented”.

FIGURAS

TABLAS