



SERVICIO GEOLÓGICO NACIONAL

REPÚBLICA DOMINICANA

MAPA GEOLÓGICO

DE LA REPÚBLICA DOMINICANA

ESCALA 1:50.000

VILLARPANDO

(5971-I)

Santo Domingo, R.D., Julio 2002-Octubre 2004

La presente Hoja y Memoria forma parte del Programa de Cartografía Geotemática de la República Dominicana, Proyecto L, financiado, en consideración de donación, por la Unión Europea a través del programa SYSMIN de desarrollo geológico-minero (Proyecto nº 7 ACP DO 024 DO 9999). Ha sido realizada en el periodo 2002-2004 por Informes y Proyectos S.A. (INYPSA), formando parte del Consorcio IGME-BRGM-INYPSA con normas, dirección y supervisión del Servicio Geológico Nacional, habiendo participado los siguientes técnicos y especialistas:

CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA

- Ing. Alberto Díaz de Neira (INYPSA)

COORDINACIÓN Y REDACCIÓN DE LA MEMORIA

- Ing. Alberto Díaz de Neira (INYPSA)

SEDIMENTOLOGÍA Y LEVANTAMIENTOS DE COLUMNAS

- Ing. Lluís Ardevol Oró (GEOPREP)

MICROPALAEONTOLOGÍA

- Dr. Luis Granados (Geólogo Consultor)

PETROGRAFÍA DE ROCAS SEDIMENTARIAS

- Dr. José Pedro Calvo (Universidad Complutense de Madrid, España)

PETROGRAFÍA DE ROCAS VOLCÁNICAS

- Dr. Javier Escuder Viruete (Universidad Complutense de Madrid, España)

GEOLOGÍA ESTRUCTURAL Y TECTÓNICA

- Ing. Pedro Pablo Hernaiz (INYPSA)

GEOMORFOLOGÍA

- Ing. Joan Escuer (GEOCONSULTORES TÉCNICOS Y AMBIENTALES)

MINERALES METÁLICOS Y NO METÁLICOS

- Ing. Eusebio Lopera (IGME)

TELEDETECCIÓN

- Dra. Carmen Antón Pacheco (IGME)

INTERPRETACIÓN DE LA GEOFÍSICA AEROTRANSPORTADA

- Ing. José Luis García Lobón (IGME)

DIRECTOR DEL PROYECTO

- Ing. Eusebio Lopera (IGME)

SUPERVISIÓN TÉCNICA POR PARTE DE LA UNIÓN EUROPEA

- Ing. Francisco Javier Montes. Director de la Unidad Técnica de Gestión (AURENSA) del Programa SYSMIN

EXPERTO A CORTO PLAZO PARA LA ASESORÍA EN LA SUPERVISIÓN TÉCNICA POR PARTE DE LA UNIÓN EUROPEA

- Dr. Andrés Pérez-Estaún (Instituto Ciencias de la Tierra Jaume Almera del Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Barcelona, España)

SUPERVISIÓN TÉCNICA POR PARTE DEL SERVICIO GEOLÓGICO NACIONAL

- Ing. Juan José Rodríguez
- Ing. Santiago Muñoz

- Ing. María Calzadilla

- Ing. Jesús Rodríguez

Se quiere agradecer muy expresamente al Dr. Andrés Pérez-Estaún la estrecha colaboración mantenida con los autores del presente trabajo; sus ideas y sugerencias sin duda han contribuido notablemente a mejorar la calidad del mismo.

Se pone en conocimiento del lector que en el Servicio Geológico Nacional existe una documentación complementaria de esta Hoja y Memoria, constituida por:

- Muestras y sus correspondientes preparaciones

- Fichas petrográficas y/o micropaleontológicas de cada una de las muestras

- Mapa de muestras

- Álbum de fotos

- Lugares de Interés Geológico

En el Proyecto se han realizado otros productos cartográficos relacionados con la Hoja:

- Mapa Geomorfológico y de Procesos Activos susceptibles de constituir Riesgo Geológico del Cuadrante a escala 1:100.000 de Villarpando (5971) y Memoria adjunta

- Mapa de Recursos Minerales del Cuadrante a escala 1:100.000 de Villarpando (5971) y Memoria adjunta

- Geoquímica de Sedimentos Activos y Mineralometría. Mapa a escala 1:150.000 y Memoria adjunta;

Y los siguientes Informes Complementarios

- Informe Sedimentológico del Proyecto L (Zonas Este y Suroeste)

- Informe de Petrología y Geoquímica de las Rocas Ígneas y Metamórficas del Proyecto L (Zonas Este y Suroeste)

- Informe de Interpretación de la Geofísica Aerotransportada del Proyecto L (Zonas Este y Suroeste)
- Informe de las dataciones absolutas realizadas por el método U/Pb (Proyectos K y L)
- Informe de las dataciones absolutas realizadas por el método Ar/Ar (Proyectos K y L)
- Informe/Catálogo de macroforaminíferos seleccionados (Proyectos K y L)

RESUMEN

La Hoja a escala 1:50.000 de Villarpando se encuentra situada en el sector suroccidental de la República Dominicana. La mayor parte de su territorio corresponde al extremo oriental de la sierra de Neiba exceptuándose el sector meridional, perteneciente a la hoya o cuenca de Enriquillo, y el sector nororiental, perteneciente a la cuenca de San Juan.

Los materiales más antiguos, depositados entre el Eoceno y el Mioceno Inferior, afloran en la sierra, correspondiendo a las calizas tableadas de la Fm Neiba, depositada en una extensa y uniforme cuenca submarina. Sobre ella se dispone el conjunto de margas con intercalaciones calcareníticas y calcáreas de la Fm Sombrerito, cuya sedimentación se produjo en un contexto de llanura submarina durante el Mioceno.

Los sectores de las cuencas de San Juan y de Enriquillo pertenecientes a la Hoja están rellenos por una potente serie sedimentaria neógena de carácter somerizante que evolucionó desde facies marinas (formaciones Trinchera y Quita Coraza) hasta facies litorales y transicionales (Fm Arroyo Blanco).

La estructuración de la sierra de Neiba se basa en el desarrollo de un antiformal cabalgante sobre las cuencas, con plegamiento de los materiales de ésta; en la sierra se reconocen pliegues menores que siguen la orientación principal E-O y en algunas zonas, ESE-ONO o ENE-OSO. El conjunto está afectado por una densa red de desgarres cuya principal expresión son los netos límites entre la sierra y las cuencas, especialmente en el caso de la de Enriquillo, marcado por la falla del mismo nombre.

Dentro de la evolución reciente de la región es preciso destacar las emisiones volcánicas pleistocenas de carácter calcoalcalino y más recientemente, la captura del Yaque del Sur hacia la cuenca de Enriquillo, con abandono de la de cuenca de Ázua y la bahía de Ocoa.

ABSTRACT

The 1:50,000 Villarpando sheet is located in the south-west of the Dominican Republic. Most of its territory corresponds to the eastern end of the Sierra de Neiba; except for the southern sector, which belongs to the Enriquillo basin, and the north-eastern sector, which is included in the San Juan basin.

The oldest materials, deposited during the Eocene and Lower Miocene, outcrop in the sierra and correspond to the well-bedded limestones of the Neiba Fm, deposited over a wide and even submarine basin. Over this lie the marls with calcarenitic and calcareous intercalations of the Sombrero Fm, whose deposition took place in a basin plain context during the Miocene.

The San Juan and Enriquillo basin sectors are filled by a thick Neogene sedimentary sequence of an upwelling pattern that evolved from marine facies (Trinchera Fm and Quita Coraza Fm) to coastal and transitional facies (Arroyo Blanco Fm).

The structure of the Sierra de Neiba is based on the development of a thrusting antiform over the basins, whose materials are also folded. In the sierra area, minor folds are identified which follow a mainly E-W direction, and in some areas an ENE-WNW or ENE-WSW direction. This structure is affected by a dense network of strike slips whose main expression is the clear limit between the sierra and the basins, especially the Enriquillo basin, which is limited by the Enriquillo fault.

With regard to the recent evolution of this region, attention is drawn to the calcoalkaline volcanic emissions of the Pleistocene and, more recently, the capture of the river Yaque del Sur towards the Enriquillo basin, leaving the Ázua basin and the bay of Ocoa.

ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN	1
1.1.	Metodología	1
1.2.	Situación geográfica	5
1.3.	Marco geológico	10
1.4.	Antecedentes	13
2.	ESTRATIGRAFÍA.....	16
2.1.	Paleógeno-Mioceno.....	16
2.1.1.	Eoceno medio-Mioceno inferior	16
2.1.1.1	Fm Neiba (1) Calizas tableadas blancas con sílex. Eoceno Medio-Mioceno Inferior P ₂ -N ₁ ¹	17
2.1.2.	Mioceno.....	19
2.1.2.1	Fm Sombrerito (2) Margas y calcarenitas. (3) Margas. (4) Calcarenitas. Mioceno N ₁	21
2.1.2.2	Fm Sombrerito. Mb Loma de Patilla (5). Calizas y margas. Mioceno Medio-Superior N ₁ ²⁻³	22
2.1.2.3	Fm Sombrerito. Mb Gajo Largo (6) Margas. (7) Calcarenitas. Mioceno Superior N ₁ ³	23
2.2.	Neógeno.....	25
2.2.1.	Mioceno Superior-Pleistoceno	25
2.2.1.1	Fm Trinchera (8) Areniscas y margas. Mioceno Superior-Plioceno N ₁ ³ -N ₂	27
2.2.1.2	Fm Quita Coraza (9) Margas. Plioceno N ₂	29
2.2.1.3	Fm Arroyo Blanco (10) Conglomerados, areniscas, y lutitas. (11) Calizas bioclásticas. (12) Arcillas verdes con intercalaciones bioclásticas. Plioceno N ₂	30
2.3.	Cuaternario	31
2.3.1.	Cuaternario volcánico	32
2.3.1.1	Traquiandesitas (13). Plioceno-Cuaternario N ₂ -Q	32

2.3.2.	Cuaternario continental.....	33
2.3.2.1	Abanicos aluviales antiguos (14). Conglomerados calcáreos y gravas. Pleistoceno Q ₁₋₃	33
2.3.2.2	Terrazas altas, medias y bajas (15, 16, 17) Gravas y arenas. Holoceno Q ₄	33
2.3.2.3	Abanicos aluviales y conos de deyección (18,19) Gravas, arenas y lutitas. Holoceno Q ₄	34
2.3.2.4	Fondos endorreicos (20) Lutitas. Holoceno Q ₄	35
2.3.2.5	Llanuras de inundación (21) Gravas y arenas. Meandros y cauces abandonados (22) Gravas, arenas y lutitas. Barras (24) Arenas y gravas. Holoceno Q ₄	35
2.3.2.6	Fondos de valle (23) Gravas y arenas. Holoceno Q ₄	36
2.3.2.7	Coluviones (25) Cantos, arenas y arcillas. Coluviones de bloques (26) Bloques de conglomerados calcáreos. Holoceno Q ₄	36
2.3.2.8	Deslizamientos (27) Calizas, margas y calcarenitas. Holoceno Q ₄ ...	37
3.	TECTÓNICA	38
3.1.	Introducción. Contexto Geodinámico.....	38
3.2.	Marco geológico estructural de la zona de estudio	43
3.3.	La estructura de la zona de estudio.....	44
3.3.1.	La estructura de la sierra de Neiba	45
3.3.2.	La estructura interna de la cuenca de Enriquillo	51
3.3.3.	La estructura de la cuenca de San Juan.....	53
3.3.4.	La fracturación.....	53
3.4.	Modelo de evolución tectónica de la zona de estudio.....	54
3.4.1.	Edad de la deformación.....	61
4.	GEOMORFOLOGÍA.....	63
4.1.	Análisis geomorfológico.....	63
4.1.1.	Estudio morfoestructural.....	63
4.1.1.1	Formas estructurales	64

4.1.1.2	Formas volcánicas	65
4.1.2.	Estudio del modelado	65
4.1.2.1	Formas gravitacionales	66
4.1.2.2	Formas fluviales	66
4.1.2.3	Formas lacustres y endorreicas	69
4.1.2.4	Formas poligénicas	69
4.2.	Evolución e historia geomorfológica	69
5.	HISTORIA GEOLÓGICA	72
5.1.	La cuenca paleógena	74
5.2.	Las cuencas neógenas	75
5.3.	La evolución holocena	77
6.	GEOLOGÍA ECONÓMICA	80
6.1.	Hidrogeología	80
6.1.1.	Hidrología y climatología	80
6.1.2.	Hidrogeología	81
6.2.	Recursos minerales	84
6.2.1.	Sustancias energéticas	86
6.2.1.1	Aspectos generales e historia minera	86
6.2.1.2	Potencial minero	89
6.2.2.	Rocas Industriales y Ornamentales	90
6.2.2.1	Descripción de las Sustancias.	90
6.2.2.2	Potencial minero	90
7.	LUGARES DE INTERÉS GEOLÓGICO	92
7.1.	Relación de los L.I.G.	92
7.2.	Descripción de los Lugares	92
8.	BIBLIOGRAFÍA	95

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Metodología

Debido al carácter incompleto y no sistemático del mapeo de la República Dominicana, la Secretaría de Estado de Industria y Comercio, a través del Servicio Geológico Nacional (SGN), se decidió a abordar a partir de finales de la década pasada, el levantamiento geológico y minero del país mediante el Proyecto de Cartografía Geotemática de la República Dominicana, incluido en el Programa SYSMIN y financiado por la Unión Europea, en concepto de donación. En este contexto, el consorcio integrado por el Instituto Geológico y Minero de España (IGME), el Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM) e Informes y Proyectos S.A. (INYPSA), ha sido el responsable de la ejecución, bajo el control de la Unidad Técnica de Gestión (UTG, cuya asistencia técnica corresponde a AURENSA) y la supervisión del Servicio Geológico Nacional (SGN), del denominado Proyecto L, cuyo desarrollo se ha producido simultáneamente al del Proyecto K, adjudicado al mismo consorcio.

Este Proyecto comprende, a su vez, dos zonas bien diferenciadas, denominadas Zona L-Este y Zona L-Suroeste, que se localizan en continuidad hacia el este y el oeste, respectivamente, del Proyecto C, primero de estas características, que fue ejecutado en el periodo 1997-2000. El Proyecto L incluye, entre otros trabajos, la elaboración de 21 Hojas Geológicas a escala 1:50.000 que componen la totalidad o parte de los siguientes cuadrantes a escala 1:100.000 (Fig. 1.1):

Zona L-Este:

- Monte Plata (Antón Sánchez, 6272-I; Bayaguana, 6272-II; Monte Plata, 6272-III, y Sabana Grande de Boyá, 6272-IV)

- El Seibo (Miches, 6372-I; El Seibo, 6372-II; Hato Mayor del Rey, 6372-III, y El Valle, 6372-IV)

- Las Lisas (Rincón Chavón, 6472-III y Las Lisas, 6472-IV)

Fig. 1.1

Zona L-Suroeste

- Jimaní (La Descubierta, 5871-I; Duvergé, 5871-II; Jimaní, 5871-III, y Boca Cachón, 5871-IV)
- Neiba (Villarpando, 5971-I; Vicente Noble, 5971-II; Neiba, 5971-III, y Galván, 5971-IV)
- Barahona (Barahona, 5970-I, y La Salina, 5970-IV)
- Azua (Barrero, 6070-IV)

Ya que cada Hoja forma parte de un contexto geológico más amplio, la ejecución de cada una de ellas se ha enriquecido mediante la información aportada por las de su entorno, con frecuentes visitas a sus territorios; por ello, a lo largo de la presente Memoria se hacen alusiones a otras Hojas, en especial a las que integran el cuadrante a escala 1:100.000 de Neiba.

Durante la realización de la Hoja a escala 1:50.000 de Villarpando se ha utilizado la información disponible de diversa procedencia, así como las fotografías aéreas a escala 1:40.000 del Proyecto MARENA (1983-84) y las del Proyecto ICM a escala 1:60.000 (1958) y las imágenes de satélite Spot P, Landsat TM y SAR. Para la identificación y el seguimiento de estructuras profundas o subaflorescentes, ha sido de gran utilidad el Mapa Aeromagnético de la República Dominicana (Fig. 1.2; CGG, 1999).

Los recorridos de campo se complementaron mediante fichas de control en las que se registraron los puntos de toma de muestras (petrológicas, paleontológicas y sedimentológicas), datos de tipo estructural y fotografías. De forma coordinada con la elaboración de la Hoja, se realizó la cartografía Geomorfológica y de Procesos Activos susceptibles de constituir Riesgo Geológico del cuadrante correspondiente, a escala 1:100.000 (Neiba, 5971).

Todos los trabajos se efectuaron de acuerdo con la normativa del Programa Nacional de Cartas Geológicas a escala 1:50.000 y Temáticas a escala 1:100.000 de la República Dominicana, elaborada por el Instituto Tecnológico y Geominero de España y el Servicio Geológico Nacional de la República Dominicana e inspirada en el Modelo del Mapa Geológico Nacional de España (escala 1:50.000), 2ª serie (MAGNA).

Fig. 1.2

1.2. Situación geográfica

La Hoja a escala 1:50.000 de Villarpando (5970-I) se encuentra situada en el sector suroriental de la República Dominicana (Fig.1.3), concretamente en el extremo oriental de la sierra de Neiba, que ocupa la mayor parte de su superficie, si bien el valle de San Juan y la hoya de Enriquillo también se encuentran representados en los sectores nororiental y meridional de la Hoja, respectivamente. La mitad suroccidental de su territorio pertenece a la provincia de Bahoruco, en tanto que la mitad nororiental se incluye en la de San Juan, excepción hecha del su sector NE, perteneciente a la provincia de Ázua. Desde un punto de vista fisiográfico, se observan dos dominios netamente contrastados: la sierra de Neiba y las depresiones que la limitan: el valle de San Juan, al noreste, y la hoya de Enriquillo, al sur.

La sierra de Neiba, continuación de las Montañas Negras de Haití, es una destacada cordillera de dirección E-O que se extiende hacia el este hasta alcanzar el valle del río Yaque del Sur. Se alza de forma brusca sobre las depresiones adyacentes, observándose un contraste mayor con relación a la hoya de Enriquillo, que posee cotas por debajo del nivel del mar, que con respecto al valle de San Juan (Fig. 1.4). Su sector oriental, en el que se encuadra la Hoja, posee un perfil general suave y ondulado que contrasta con el aspecto agreste e irregular del sector occidental, escondiendo en cualquier caso una marcada disección interna, con profundos desfiladeros y barrancos que le confieren un carácter abrupto. En detalle, muestra ciertas variaciones; así, en su sector meridional son frecuentes los desfiladeros y los barrancos estrechos, que contrastan con las depresiones y los valles más abiertos del sector septentrional. Ocupa la mayor parte de la Hoja e incluye las mayores elevaciones de ésta, alcanzando 990 m en el paraje de Naranja Dulce, altitud alejada de los 2.279 m del pico Neiba, máxima elevación de la sierra.

Fig. 1.3

Fig.

1.4

La hoya de Enriquillo, también denominada valle de Enriquillo o valle de Neiba, constituye un dominio de fisonomía muy peculiar dentro de la región caribeña. Se trata de una espectacular planicie afectada por un clima semiárido debido al “efecto de sombra” que la cordillera Central y la sierra de Neiba ejercen sobre los frentes lluviosos procedentes del norte y noreste. Con una orientación E-O conecta las bahías de Neiba y Puerto Príncipe, estando flanqueada por la sierra de Bahoruco, al sur, y las de Neiba y Martín García, al norte. Ocupa el sector meridional de la Hoja, donde no muestra su fisonomía característica, sino que aparece como un valle colgado (valle de El Granado) a cotas superiores a 200 m, con relación al cauce del Yaque del Sur y con respecto al resto de la depresión, que alberga las menores cotas de La Española, inferiores a 30 m bajo el nivel del mar.

Por lo que respecta al valle de San Juan, se trata de una depresión que con orientación NO-SE constituye la prolongación suroriental de la Llanura Central de Haití. Se encuentra flanqueado por la cordillera Central (al noreste) y la sierra de Neiba (al suroeste), mostrando una ligera inclinación hacia el sureste, de forma que el río Yaque del Sur recoge la mayor parte de los drenajes de la región. Ocupa el extremo nororiental de la Hoja, donde el citado río constituye su principal elemento fisiográfico.

Las estribaciones orientales de la sierra están delimitadas por el río Yaque del Sur, que discurre de NO a SE a lo largo del valle de San Juan, sufriendo una brusca inflexión hacia el SO en la vecina Hoja de Yayas de Viajama, hasta penetrar en el ámbito de la hoya de Enriquillo por el sector suroriental de la Hoja. En contraste con el dominio montañoso, las depresiones se caracterizan por frecuentes rellanos y relieves relativamente suaves que sólo ocasionalmente sobrepasan los 400 m de altitud; es precisamente en el cauce del citado río donde se encuentra la cota mínima, ligeramente inferior a 100 m al sur de Vuelta Grande.

La red fluvial está integrada por una gran cantidad de ríos, arroyos y cañadas, generalmente de carácter torrencial, que surcan la región sin un patrón definido, con áreas en las que la litología es su factor determinante, frente a otras donde el control es de tipo tectónico. De entre todos ellos destaca con mucho el citado Yaque del Sur, que configura la principal cuenca de drenaje de la vertiente meridional de la Cordillera Central y que actúa como colector de la mayor parte de la escorrentía del resto de la Hoja, exceptuándose un pequeño número de arroyos y cañadas del sector suroccidental pertenecientes a la cuenca endorreica del lago Enriquillo. Su caudal sufre una progresiva disminución al acercarse y penetrar en la hoya de Enriquillo, no sólo por evaporación, sino también por extracciones para regadíos y abastecimiento.

En cualquier caso, debido a la extensión de su cuenca, que drena una buena parte de la cordillera Central, su caudal aumenta con consecuencias catastróficas ante la llegada de huracanes y tormentas tropicales. Junto a él, cabe señalar por su carácter permanente el río Los Baos y el arroyo Salado y por sus dimensiones, los arroyos Guanarate y Blanco.

Se aprecia un notable contraste climático entre la hoya de Enriquillo y la sierra, con valores intermedios para el valle de San Juan, único dominio que no muestra variaciones sustanciales con respecto al clima tropical típico. En el ámbito de la depresión, las temperaturas medias se sitúan entre 26 y 28°C, con máximas medias de 29-33°C y mínimas de 21-23°C; en cuanto a la precipitación, se sitúa por debajo de 700 mm anuales en la depresión de Enriquillo. Estos valores varían sensiblemente en la zona montañosa, con un descenso de la temperatura media hasta 23°C y un aumento de las precipitaciones hasta sobrepasar los 1.000 mm anuales. Entre sus características tropicales, es frecuente la presencia de tormentas tropicales y huracanes, especialmente concentrada entre septiembre y octubre; también se aprecian variaciones estacionales ligeras, siendo algo más acusadas las diarias.

La vegetación varía notablemente según los dominios e incluso dentro de ellos. Así, en la sierra de Neiba abundan los bosques. En contraste con las sierras, la depresión ofrece una pobre vegetación, siendo típicas las plantas de tipo espinoso, excepción hecha de las zonas de influencia del Yaque del Sur, con suelos productivos en los que los regadíos han favorecido el desarrollo de extensos campos de caña de azúcar, y en las inmediaciones del cauce, una pequeña banda de vegetación tropical.

Se trata de una zona poco poblada, con sus escasos habitantes concentrados en pequeños núcleos localizados en las zonas bajas, destacando Cabeza de Toro, El Granado, Bastida y Villarpando, siendo estos dos últimos los que registran la mayor actividad de la zona merced a su situación a lo largo de la carretera Ázua-San Juan, que constituye la principal vía de comunicaciones, integrada por una escasa y deficiente red de pistas y caminos. La principal actividad de la población se centra en la agricultura y la ganadería, sin olvidar la intermitente actividad forestal.

Se trata de una región sometida a frecuentes acontecimientos naturales de tipo catastrófico, principalmente las avenidas producidas en las depresiones como respuesta a las intensas tormentas desencadenadas en las zonas montañosas y que alcanzan su máxima expresión en el caso de los ciclones y huracanes que azotan la

isla. Aunque menos frecuentes, no por ello deben olvidarse como factor destructivo los terremotos, que en época histórica han dejado su huella en áreas próximas.

1.3. Marco geológico

El estilo fisiográfico de la Hoja de Villarpando coincide plenamente con su estructura geológica, basada en la presencia de la sierra de Neiba entre las cuencas de San Juan y de Enriquillo (Fig. 1.5), depresiones que se unen hacia el este, en el ámbito de la cuenca de Ázua.

La sierra de Neiba está integrada por una potente y monótona sucesión de unidades eminentemente carbonatadas, depositadas durante el intervalo Eoceno-Mioceno, entre las que se intercalan esporádicos niveles volcánicos; en el ámbito de la Hoja afloran exclusivamente los niveles más altos de la serie paleógeno-miocena, integrados por las calizas tableadas de la parte alta de la Fm Neiba y las margas con intercalaciones de calcarenitas de la Fm Sombrerito. Aunque en detalle presenta una compleja sucesión de pliegues y fallas, de envergadura y geometrías diversas, a grandes rasgos se estructura como un gran antiforme cabalgante sobre las cuencas neógenas adyacentes: la cuenca de San Juan, al noreste, y la cuenca de Enriquillo, al sur, si bien los límites con ellas pueden estar profundamente retocados por desgarres, de entre los que destaca la falla de Enriquillo, de dirección E-O, que constituye el límite meridional.

Junto con la cuenca de Azua, las de San Juan, de dirección NO-SE, y Enriquillo, de dirección E-O, integran el sistema de cuencas neógenas del suroeste insular. En realidad forman parte de una cuenca sedimentaria única cuyo relleno se llevó a cabo a través de una sucesión somerizante que evolucionó desde facies marinas profundas (Mioceno) a facies netamente continentales (Plioceno-Pleistoceno); predominan con mucho las litologías detríticas, que en la Hoja corresponden a las formaciones Trinchera, Quita Coraza y Arroyo Blanco.

Los depósitos cuaternarios adquieren un importante desarrollo en las depresiones, destacando los sedimentos fluviales del valle del Yaque del Sur y los abanicos que orlan los sistemas montañosos. Destacan por su singularidad, los materiales volcánicos aflorantes en el valle de San Juan.

Fig. 1.5

Fig. 1.5 (leyenda)

1.4. Antecedentes

Pese a que las sierras de Bahoruco y Martín García parecen haber despertado un escaso interés geológico, las cuencas neógenas del suroeste dominicano, y en particular la de Enriquillo, han sido objeto de una gran cantidad de trabajos de diversa índole, cuya simple enumeración implicaría un profundo estudio bibliográfico. A continuación se señalan todos aquellos que se han considerado del máximo interés para la elaboración de la Hoja, tanto de carácter local como regional, y que engloban la mayor parte de los conocimientos existentes acerca de ella.

Aunque los trabajos pioneros se remontan a la época del descubrimiento de América, las primeras exploraciones sistemáticas tuvieron lugar durante el siglo pasado con motivo de campañas petrolíferas y mineras, de las cuales derivan los trabajos de Vaughan *et al.* (1921) para el Servicio Geológico de Estados Unidos, así como los de Arick (1941), Barnett (1941), Dohm (1941, 1942), Hunter (1943), Beall (1945) y Bermúdez (1949), entre otros, para la Dominican Seaboard Oil Company.

Entre las décadas de los años sesenta y ochenta tuvo lugar un notable impulso de los conocimientos geológicos de la República Dominicana, merced a la elaboración de una serie de tesis doctorales de carácter regional, entre las que cabe señalar las de: Bowin (1960), sobre el sector central de la República Dominicana; Mann (1983), centrada en aspectos estructurales y estratigráficos de La Española y Jamaica; Vespucci (1986), relativa al volcanismo cenozoico de la región; Boisseau (1987), que precisa la estructura del flanco nororiental de la cordillera Central; Mercier de Lepinay (1987), que desarrolla un ambicioso estudio estratigráfico y estructural de la isla a fin de establecer su interpretación geodinámica; De Zoeten (1988), que trata sobre la estratigrafía y la estructura de la cordillera Septentrional; Dolan (1988), que aborda la sedimentación paleógena en las cuencas orientales de las Antillas Mayores; y Heubeck (1988), centrado en la terminación suroriental de la cordillera Central.

Fruto del interés petrolífero de las cuencas del suroeste dominicano es el trabajo de Norconsult (1983) en el que se sintetizan los resultados de los estudios llevados a cabo, aportando una valiosa información estratigráfica, estructural y sobre todo, del subsuelo. En relación con la historia de la exploración petrolífera merece la pena destacar la síntesis histórica de Mann y Lawrence (1991).

Ante la gran cantidad de trabajos existentes y la consiguiente proliferación de términos referentes a Formaciones, el Servicio Geológico Nacional realizó un intento de unificación de la nomenclatura mediante la elaboración del Léxico Estratigráfico

Nacional, con uno de sus dos tomos dedicado a las formaciones del suroeste del país (1984). En cuanto a las cartografías geológicas de síntesis, a la realizada por la Organización de Estados Americanos a escala 1:250.000 (Blesch, 1966), hay que añadir la elaborada a la misma escala, pero con un detalle y calidad superiores, por el Servicio Geológico Nacional y el Instituto Cartográfico Universitario en colaboración con la Misión Alemana (1991). Mucho más interés, tanto por su ubicación como por su detalle, posee la elaborada a escala 1:100.000 por García y Harms (1988) en la que se aportan numerosos datos de tipo estratigráfico, petrológico y estructural válidos para la una buena parte de la superficie de la presente Hoja.

Otra notable cartografía de síntesis acompaña a la interesantísima recopilación de artículos que integran el trabajo de Mann *et al.* (1991) para la Sociedad Geológica de América y que supone una auténtica puesta al día de los conocimientos geológicos acerca de La Española y por tanto, un documento básico para trabajos posteriores. En esta última recopilación de artículos existen algunos que afectan de forma específica a diversos aspectos estratigráficos y estructurales de la Hoja de Villarpando; de entre ellos cabe destacar los de: McLaughlin *et al.*, quienes abordan la descripción bioestratigráfica y paleogeográfica de los materiales de las cuencas de Azua y Enriquillo; y Mann *et al.* (1991), que proponen una interpretación estructural de las citadas cuencas. Posteriormente, las referencias a la cuenca de Enriquillo fueron ampliadas y revisadas por Mann *et al.* (1999) dentro de un volumen monográfico relativo a las cuencas caribeñas.

Además de los anteriores, destacan por su importancia en la Hoja las tesis doctorales de Cooper (1983) y Breuner (1985), especialmente por su interés para la estratigrafía de los materiales neógenos, así como la de McLaughlin (1989), ésta enfocada desde un punto bioestratigráfico y evolutivo.

Entre los trabajos más recientes es preciso señalar los desarrollados en la región limítrofe con motivo del Proyecto de Cartografía Geotemática en la República Dominicana (Díaz de Neira, 2000a y b; Gómez, 2000), que suponen un considerable avance en el conocimiento geológico de la región, no sólo desde un punto de vista cartográfico, sino también por el tratamiento sistemático de su estratigrafía, tectónica, geomorfología, petrología y geología económica. Por último, merece la pena destacar la recopilación de artículos elaborados a partir de la información acumulada en dicho proyecto (Pérez-Estaún *et al.*, 2002), de entre los que cabe señalar el de Díaz de Neira y Solé por su interés en la estratigrafía de la Hoja.

Memoria

También dentro del Programa SYSMIN, aunque con un carácter más general con relación al ámbito dominicano, es preciso señalar los relativos a aspectos sísmicos (Prointec, 2000) e hidrogeológicos (Acuater, 2000 a y b).

2. ESTRATIGRAFÍA

En la Hoja a escala 1:50.000 de Villarpando afloran únicamente materiales cenozoicos, de origen sedimentario casi exclusivamente, que pueden agruparse en tres grandes conjuntos:

- Materiales paleógenos y miocenos, que configuran la morfoestructura de la sierra de Neiba. Se trata de una sucesión muy potente de materiales carbonatados de ambientes marinos relativamente profundos.
- Materiales neógenos, constituyentes del relleno de las cuencas de San Juan y Enriquillo. Integran una serie muy potente de sedimentos terrígenos de tendencia somerizante, que evolucionaron desde ambientes marinos hasta un régimen continental.
- Materiales cuaternarios, sobrepuestos a los conjuntos anteriores de forma irregular, alcanzando su máximo desarrollo en el ámbito de las cuencas. Excepción hecha de una pequeña manifestación volcánica en el sector nororiental, se trata de sedimentos de origen continental, predominando los de carácter fluvial.

2.1. Paleógeno-Mioceno

Los materiales sedimentarios aflorantes en el ámbito de la sierra de Neiba han sido interpretados en un contexto caracterizado por sedimentación marina profunda durante el Paleógeno y el Mioceno (Llinás, 1972; Cooper, 1983; Mann *et al.*, 1991). A grandes rasgos, se distinguen dos grandes conjuntos: el inferior, depositado durante la mayor parte de dicho periodo, consiste en una monótona y potente sucesión de calizas tableadas con sílex conocida como Fm Neiba; el superior, atribuido al Mioceno, corresponde a la Fm Sombrero, consistente en otra potente sucesión de margas con intercalaciones de calcarenitas y calizas.

2.1.1. Eoceno medio-Mioceno inferior

Está representado por la Fm Neiba, cuyas primeras referencias se remontan a los trabajos pioneros de Vaughan *et al.* (1921). Dos décadas después, el equipo de la Dominican Seaboard Oil Company (Arick, 1941; Dohm, 1941-42; y Wallace, 1945; en Bermúdez, 1949) estableció para el Paleógeno de las sierras de Neiba y Bahoruco una

estratigrafía integrada de muro a techo por las formaciones Plaisance, Neiba y Sombrerito.

Los autores que trabajaron durante las décadas de los 70 y 80 en ambos dominios, así como en la exploración de hidrocarburos de la cuenca de Enriquillo, han mantenido este esquema estratigráfico (Fig. 2.1), aunque con diversas modificaciones y precisiones de edades (Llinás, 1972; Bourgois *et al.*, 1979; Breuner, 1985; Canadian Oil Company, 1979; Norconsult, 1983). No obstante, en las publicaciones de síntesis más recientes se observa una tendencia a emplear la denominación de Fm Neiba en un sentido más amplio para nombrar estas formaciones, lo que sin duda es consecuencia de los problemas de correlación entre las sierras de la región (García y Harms, 1988; Mann *et al.*, 1991).

Los trabajos realizados durante el presente proyecto en el ámbito de la sierra de Neiba han sugerido la inclusión de todos los materiales carbonatados paleógenos en una Fm Neiba más general, que en el sector central de la sierra ha podido ser subdividido en dos conjuntos, Neiba superior y Neiba inferior, por la interposición entre ambos de la serie volcánica de El Aguacate.

En la Hoja de Villarpando, los afloramientos de esta típica unidad corresponden a la denominada Fm Neiba superior en las Hojas de Galván, La Descubierta y Rincón Chavón, manteniéndose aquí la denominación escueta de Fm Neiba a fin de mantener en la medida de lo posible la nomenclatura tradicional en la región.

2.1.1.1 Fm Neiba (1) Calizas tableadas blancas con sílex. Eoceno Medio-Mioceno Inferior P₂-N₁¹

Constituye uno de los conjuntos más característicos de la zona, aflorando extensamente en todo el ámbito de la sierra de Neiba. Sus afloramientos se encuentran asociados a dos antiformes alargados de dirección E-O, el más meridional de las cuales muestra vergencia hacia el sur, estando truncada por la falla de Enriquillo. Los mejores puntos de observación se localizan en la pequeña cantera abandonada junto al arroyo Hato Viejo y en diversas cañadas localizadas al noreste de El Granado, aunque en todos los casos corresponden a cortes muy parciales.

Fig. 2.1

La formación se presenta como una sucesión monótona de calizas de tonos claros estratificadas en capas decimétricas, que le confieren un característico aspecto tableado; la disposición tableada de la serie facilita su intenso replegamiento en las zonas de mayor tectonización. Ocasionalmente se observan intercalaciones margosas subordinadas. Junto con el aspecto tableado, su principal rasgo distintivo es la abundancia de sílex en niveles o nódulos.

No aflora su base, que en otros puntos de la sierra está constituida por el Complejo Volcánico de El Aguacate (Hoja de Galván). En cuanto a su techo, viene marcado por la desaparición de la estratificación tableada y del carácter calcáreo, sustituido por el carácter margoso de la Fm Sombrerito, aunque el contacto no ha sido observado en punto alguno. El espesor, imposible de determinar al no aflorar su base, posee un valor mínimo de 500 m.

Se trata de calizas micríticas que al microscopio aparecen como *wackestones* y, en menor medida, *mudstones* bioclásticos; son frecuentes las venas rellenas de calcita. El contenido micrítico varía entre 80 y 90%, con una proporción de fósiles del 10-20%.

Su depósito se llevó a cabo en condiciones pelágicas, en un contexto de cuenca submarina de relativa profundidad.

La unidad alberga un importante contenido faunístico. No obstante, en el ámbito de la Hoja tan sólo se han reconocido espículas, Radiolarios, Globigerínidos (*Globigerina sp.*, *Globorotalia sp.* y *Catapsydrax sp.*) y Ophthalmidiidos que han señalado de forma imprecisa el Oligoceno-Mioceno Inferior. En cualquier caso, su asignación en sectores próximos (hoja de Galván) al Eoceno Medio-Mioceno Inferior ha aconsejado enmarcarla en dicho intervalo.

2.1.2. Mioceno

Frente al gran confusionismo general que se observa en la bibliografía existente en relación con la nomenclatura de las formaciones neógenas, existe una gran unanimidad con respecto a la atribución a la Fm Sombrerito del potente conjunto margoso con intercalaciones carbonatadas que aflora en amplias zonas de la sierra de Neiba sobre la formación del mismo nombre (Fig. 2.1). Su denominación se atribuye a Olsson (en Bermúdez, 1949) en relación con la alternancia de niveles calcáreos y margosos que afloran en el arroyo del mismo nombre.

Tanto en la sierra de Neiba como en la cuenca de San Juan aparece como una monótona sucesión rítmica de más de 500 m de espesor de margas entre las que se

intercalan niveles decimétricos de calcarenitas y calizas, que localmente pueden adquirir espesores de orden decamétrico, dando lugar a destacados resaltes morfológicos en el relieve. Aunque en la cuenca de Ázua se reconocen facies similares, los niveles calcáreos parecen alcanzar allí un mayor desarrollo (Díaz de Neira y Solé, 2002); este enriquecimiento calcáreo a expensas del contenido margoso adquiere su máxima expresión en la sierra de Bahoruco, donde la formación aparece como un potente conjunto de calizas karstificadas estratificadas en bancos gruesos, perdiéndose el aspecto típico de la formación, por lo que se sugiere la denominación de Mb Barahona (de la Fm Sombrerito) para el conjunto calcáreo dispuesto sobre la Fm Neiba en la sierra de Bahoruco.

El corte de Cabeza de Toro (del cual se ha levantado una sección estratigráfica incluida en la Documentación complementaria), de unos 400 m de espesor, es muy ilustrativo de las características de la formación, especialmente entre la primera localidad y el paraje de El Puerto, pese a la existencia de tramos cubiertos. No se ha observado su base y por tanto, la naturaleza de su contacto con la Fm Neiba, pese a lo cual parece de naturaleza concordante; no obstante, en la sierra de Bahoruco ha sido señalada la presencia de un nivel conglomerático en la base de la formación (Llinás, 1972), sugiriendo la existencia de una discontinuidad entre ambas formaciones.

A lo largo del corte se aprecia un predominio de sus facies típicas (unidad 2), con algunos tramos de claro predominio margoso o calcarenítico que han sido representados cartográficamente cuando sus dimensiones lo han permitido (unidades 3 y 4, respectivamente). El techo está constituido por un tramo calcáreo que da lugar a notable resalte morfológico (unidad 5), cuyos rasgos peculiares y su amplia representación en la zona han sugerido su propuesta como Mb Loma de Patilla.

Pese a mostrar netas diferencias con relación a la suprayacente Fm Trinchera, caracterizada por una sucesión de niveles de areniscas entre los que se intercalan margas, la relación entre ambas ha sido objeto de varias interpretaciones. Aunque con frecuencia se ha señalado la existencia de un contacto neto entre ambas, en la zona se observa la existencia de un tramo de transición integrado por una sucesión margosa que intercala niveles decimétricos de areniscas y calcarenitas (unidad 6), conocido en la literatura regional como Mb Gajo Largo, que algunos autores han considerado como techo de la Fm Sombrerito (McLaughlin et al., 1991), en tanto que otros lo han considerado la base de la Fm Fondo Negro (Cooper, 1983) o, en su

denominación más aceptada, Fm Trinchera, habiéndose adoptado aquí la primera propuesta.

De acuerdo con los criterios señalados y de modo informal podría definirse el conjunto margoso con intercalaciones calcareníticas (unidad 2) como un Tramo margoso inferior; el Mb. Loma de Patilla, como un Tramo calcáreo intermedio; y el Mb Gajo Largo, como un Tramo margoso superior, pudiendo correlacionarse con los tramos propuestos para la cuenca de Ázua (Díaz de Neira y Solé, 2002).

2.1.2.1 Fm Sombrerito (2) Margas y calcarenitas. (3) Margas. (4) Calcarenitas. Mioceno N₁

El presente conjunto corresponde al denominado informalmente como Tramo margoso inferior de la Fm Sombrerito (unidad 2) y que aflora ampliamente por el ámbito septentrional de la sierra de Neiba en la Hoja, así como en su sector suroccidental, si bien en este caso con una extensión muy inferior. Su mejor corte se localiza a lo largo de la pista que parte de Cabeza de Toro hacia San Juan, entre la primera localidad y el paraje de Los Charcos, con varios tramos de excelente calidad, pudiendo efectuarse observaciones de cierta calidad también en diversos puntos del arroyo Blanco, especialmente en su sector oriental.

A grandes rasgos se trata de una sucesión de margas grises y oscuras entre las que se intercalan, de forma rítmica, niveles de calcarenitas bioclásticas de orden decimétrico de color ocre (unidad 2). En ocasiones se observan tramos con un claro predominio margoso que han sido diferenciados cartográficamente cuando sus dimensiones lo han permitido (unidad 3) pudiendo decirse otro tanto de los tramos calcareníticos (unidad 4); estas diferenciaciones son especialmente patentes en el sector noroccidental, donde la formación aparece como una alternancia de tramos blandos y duros.

En Cabeza de Toro no se observa su base, aunque parece evidente que su sustrato debe estar constituido por la Fm Neiba (unidad 1). Los niveles calcareníticos muestran una alta proporción de aloquímicos (57- 60%), con un contenido micrítico moderado (35-38%) y esparítico bajo (2-3%), este último igual que el de cuarzo; entre sus componentes texturales destaca el contenido fosilífero (68-76%), con una proporción considerable de pelets (14-20%) y menor de intraclastos (10-12%). De acuerdo con su análisis petrológico se clasifican como *packstones* bioclásticos peletoidales. Las calcarenitas poseen geometría tabular, así como granoclasificación, pasando gradualmente a los niveles margosos. El techo tampoco es visible, si bien está

marcado por el importante contraste morfológico que producen los niveles calcáreos del Mb Loma de Patilla. El espesor visible de este Tramo margoso inferior sobrepasa 300 m.

La ausencia de depósitos canalizados en las facies turbidíticas descritas, el tamaño de grano generalmente fino, la continuidad lateral de las capas, la proporción marga/calcarenita, la ausencia de ciclicidad y la presencia de megacapas apuntan a un medio sedimentario clásicamente interpretado como de llanura submarina (*basin plain*).

Los niveles margosos también han mostrado un elevado contenido faunístico, destacando especialmente la abundancia de Globigerínidos. En particular, la asociación de *Orbulina universa* d'Orb., *O. suturalis* Bronnimann, *Globorotalia scitula* (Brady), *G. gr. fohsi* Cushman y Ellisor, *G. sp.*, *G. gr. continua* Blow, *G. af. obesa* Bolli, *Globoquadrina altispira* (Cushman y Jarvis), *G. deshicens* (Chapman, Parr y Collins), *G. sp.*, *Globigerinoides trilobus* (Reuss), *G. obliquus* Bolli, *G. sp.* y *Globigerina bulloides* d'Orb., además de diversos Radiolarios y espículas, han señalado su pertenencia al Mioceno medio-superior, sin que deba descartarse que sus niveles basales pertenezcan al Mioceno inferior.

2.1.2.2 Fm Sombrerito. Mb Loma de Patilla (5). Calizas y margas. Mioceno Medio-Superior N₁²⁻³

Se trata del aquí denominado Tramo calcáreo intermedio de la Fm Sombrerito, que aparece como un destacado resalte morfológico dispuesto entre el conjunto más característico de la Fm Sombrerito (unidad 2) y el Mb Gajo Largo (unidad 6); este resalte es especialmente patente en el sector noroccidental, donde aparece como una alineación montañosa de más de 17 km entre las lomas de Patilla y Vieja, arqueándose allí hasta adquirir una disposición paralela al río Yaque del Sur. Un buen punto de observación de sus características se localiza dentro del corte de Cabeza de Toro, concretamente en el paraje de El Puerto, pero también ofrece buenas condiciones de afloramiento en los arroyos Blanco y Charco de la Savia.

Se dispone sobre el Tramo margoso inferior (unidades 2-4), estando constituido por un conjunto de calizas y calcarenitas tableadas y en bancos, de tonalidades blanquecinas, entre las que se intercalan delgados niveles margosos. Los niveles calcáreos poseen espesor de orden decimétrico a métrico y superficies planas y onduladas; incluyen nódulos de sílex y en algunos casos, abundante contenido fosilífero. El paso al tramo superior se produce mediante una superficie neta, tal como

puede apreciarse en el arroyo Blanco. El espesor de la unidad sobrepasa ligeramente los 75 m.

Los niveles calcáreos presentan importantes variaciones texturales, predominando las calizas micríticas fosilíferas de grano fino (*wackestones* bioclásticos), con orientación marcada de los granos, y las calizas fosilíferas de grano medio a grueso (*packstones-rudstones* bioclásticos). Las primeras poseen un elevado contenido micrítico (70-75%), con una fracción de aloquímicos integrada totalmente por fósiles (25-30%), en tanto que las segundas poseen un contenido fosilífero mayor (60-65%), con la consiguiente disminución micrítica (35-40%).

Se aprecia una organización en ciclos positivos de orden decimétrico a métrico con base neta. Esto, junto con las evidencias de resedimentación en los niveles calcáreos sugiere que su depósito es el resultado de sistemas turbidíticos carbonatados. Marginalmente a ellos, la sedimentación se mantuvo en un contexto de llanura submarina, como sugiere el acuñamiento parcial de la unidad en el sector suroccidental, donde aparece intercalada entre las facies típicas de la Fm Sombrerito (unidades 2-4).

De entre el abundante contenido fosilífero, la asociación de *Orbulina bilobata* (d'Orb.), *O. universa* d'Orb., *Globorotalia* sp. (cf. *G. praemenardii*), *G. af. mayeri* Cushman y Ellisor, *G. af. scitula* (Brady), *G. gr. fohsi* Cushman y Ellisor, *G. f. gr. continua* Blow, *Globoquadrina altispira* (Cushman y Jarvis), *G. sp.*, *Globigerinoides trilobus* (Reuss), *G. af. sacculifer* (Brady), *G. sp.*, *Globigerina* sp., *Amphistegina* sp. y *Sphaerogypsina* sp., junto con diversos Radiolarios, Rotálidos y restos de espículas, señala su pertenencia al Mioceno Medio-Superior.

Este Tramo calcáreo intermedio aparece en los flancos de los pliegues y por sus condiciones de afloramiento y geometría constituye el mejor marcador de la estructura, reflejando claramente la vergencia de los pliegues del sector septentrional hacia la cuenca de San Juan, así como la de los del sector meridional hacia la cuenca de Enriquillo.

2.1.2.3 Fm Sombrerito. Mb Gajo Largo (6) Margas. (7) Calcarenitas. Mioceno Superior N₁³

Constituyen el Tramo margoso superior de la Fm Sombrerito, que aflora exclusivamente en el núcleo del sinclinal de El Caney y en los escarpes de la margen derecha del valle del Yaque del Sur frente a Villarpando y Bastida. La denominación de Mb Gajo Largo alude al nombre de un paraje caracterizado por una alineación de

cuestas y *hog-backs* junto a la carretera Azua-Barahona, al noreste de Canoa (Hoja de Vicente Noble), como consecuencia del resalte morfológico producido por un nivel calcarenítico de orden métrico en el seno de un conjunto eminentemente margoso. Su interpretación como tramo basal de la Fm Trinchera (Cooper, 1983) o como techo de la Fm Sombrero (McLaughlin et al., 1991), sugiere el carácter transicional entre ambas.

Este tramo está constituido básicamente por una sucesión de margas oscuras entre las que se intercalan niveles de calcarenitas y areniscas de orden decimétrico, dispuestos de forma rítmica pero espaciada (unidad 6). En el ámbito de El Caney algunos niveles de calcarenitas alcanzan espesores de orden métrico, dando lugar a resaltes morfológicos que han permitido su individualización cartográfica (unidad 7). No existe corte alguno que permita una descripción detallada y completa de la unidad, siendo necesaria la observación de cortes parciales.

El presente conjunto se dispone sobre el Mb Loma de Patilla mediante un contacto neto, tal como puede apreciarse en el arroyo Blanco. El mejor punto de observación se localiza en las inmediaciones de Orégano Grande, junto al arroyo citado, donde la unidad muestra su aspecto más típico, con un espaciado superior al metro entre los niveles planoparalelos de calcarenitas, que muestran una gran continuidad lateral. El paso a la suprayacente Fm Trinchera se produce de forma gradual, mediante un enriquecimiento progresivo de areniscas a expensas del contenido calcáreo, hecho observable en los barrancos existentes al oeste de Villarpando. El espesor no es cuantificable en punto alguno, aunque pueden señalarse orientativamente un valor de 200 m.

Al microscopio, los niveles de calcarenitas aparecen como calizas fosilíferas de grano medio a fino, con un alto contenido de aloquímicos (60-65%), en relación al de micrita (25-30%) y esparita (4-6%), observándose la presencia de granos de cuarzo y feldespato en proporción inferior al 3%. Entre los componentes texturales, destaca con mucho el contenido de fósiles (80-85%), con presencia de pelets (8-12%) e intraclastos (5-7%), clasificándose como *packstones* bioclásticos peletoidales.

En el corte de El Mundito (Hoja de Galván), la parte baja contiene rítmicas intercalaciones de capas areniscosas con secuencias de Bouma; la estratificación es media pero evoluciona a gruesa hacia la parte alta de la serie, que intercala una megacapa. En Canoa (Hoja de Vicente Noble), el presente conjunto intercala una unidad carbonática constituida por calizas laminadas con estratificación gruesa y

abundantes estructuras orgánicas disueltas. En función de su ciclicidad, contenido faunístico y contexto, se interpretan como flujos turbidíticos carbonatados en aguas moderadamente profundas (Cooper, 1983).

Albergan un rico contenido faunístico, pudiendo señalarse la asociación de *Orbulina universa* d'Orb., *O. bilobata* (d'Orb.), *O. af. suturalis* Bronnimann, *Praeorbulina cf. glomerosa* (Blow), *Globorotalia mayeri* Cushman y Ellisor, *G. af. obesa* Bolli, *G. af. merotumida* Banner y Blow, *G. af. scitula*, *G. af. gr. fohsi*, *G. sp.*, *Globigerinita sp.*, *Globigerinoides trilobus* (Reuss), *G. obliquus* Bolli, *Globoquadrina altispira* (Cushman y Jarvis), *G. sp.*, *Globigerina sp.* y *Sphaeroidinellopsis af. seminulum* (Schwager), que sugiere su deposición durante el intervalo Mioceno medio-Plioceno. No obstante, la atribución de parte de las unidades infra y suprayacente al Mioceno superior obligan a enmarcar en él a la presente unidad.

2.2. Neógeno

Está representado por materiales sedimentarios constituyentes del relleno de las cuencas suroccidentales dominicanas, concretamente de las de San Juan y Enriquillo, en las proximidades de su confluencia con la de Ázua.

Los materiales neógenos de las cuencas de Ázua y San Juan, así como del sector nororiental de la de Enriquillo, poseen un espesor comprendido entre 2.000 y 4.000 m; comenzaron su deposición durante el Mioceno Inferior a través de los niveles marinos de la Fm Sombrerito, que evolucionaron con el paso del tiempo hacia materiales detríticos de ambientes progresivamente más someros, de tal forma que a lo largo del Plioceno se produjo la instalación de un régimen continental prolongado durante el Cuaternario. Durante todo este intervalo de tiempo, la región permaneció tectónicamente activa, existiendo diversas discordancias, más o menos evidentes según los casos, en el seno de la serie neógena.

2.2.1. Mioceno Superior-Pleistoceno

Existe un gran confusionismo en la literatura relativa a las series neógenas del suroeste dominicano, debida especialmente a dos causas: por una parte, la proliferación de nuevas denominaciones, sin aclaración de su correlación con las definidas previamente y, por otra, la determinación de unidades en base a criterios diferentes, litoestratigráficos en unos casos y paleontológicos en otros (Fig. 2.1). No obstante, la bibliografía reciente relacionada con el relleno sedimentario de la Cuenca de Azua-San Juan establece la individualización de las Formaciones Sombrerito,

Trinchera, Quita Coraza, Arroyo Blanco y Arroyo Seco (García y Harms, 1988; McLaughlin *et al.*, 1991; Díaz de Neira y Solé, 2002), asignadas al intervalo Mioceno-Pleistoceno inferior y perfectamente correlacionables con las propuestas por Cooper (1983) en la región de Fondo Negro. En cualquier caso, la bibliografía también señala la existencia de numerosos datos fosilíferos que evidencian una notable heterocronía en cuanto al depósito de dichas formaciones (McLaughlin *et al.*, 1991).

- La Fm Trinchera (Mioceno Medio-Plioceno Inferior) es una potentísima alternancia rítmica de areniscas y margas de origen turbidítico (1.000-2.700 m). Este aspecto general puede sufrir modificaciones locales como la práctica desaparición de los niveles margosos y la aparición de niveles conglomeráticos.
- La Fm Quita Coraza (Plioceno inferior) es un tramo esencialmente margoso en el que se intercalan delgados niveles de areniscas, cuyo espesor puede alcanzar 700 m. A nivel regional no siempre está presente entre las Formaciones Trinchera y Arroyo Blanco, tratándose de un tipo de facies de predominio margoso a techo de la Fm Trinchera, por lo que parecería más lógico que recibiera el rango de miembro (Díaz de Neira y Solé, 2002).
- La Fm Arroyo Blanco (Mioceno superior-Plioceno medio) posee un espesor próximo a 700 m. Es la unidad más heterogénea pues, pese al predominio de los tramos de gravas y conglomerados, no son extraños los niveles de calizas arrecifales, en algunos casos resedimentadas, ni de arcillas; hacia el oeste de la región sus niveles inferiores evolucionan hacia facies de tipo evaporítico.
- La Fm Arroyo Seco (o Fm Vía; Plioceno Superior-Pleistoceno Inferior) muestra un espesor muy variable que puede alcanzar 700 m, siendo la única unidad depositada íntegramente bajo un régimen continental. Está constituida por conglomerados polimícticos en bancos gruesos, entre los que se intercalan esporádicos niveles de arcillas.

En la Hoja de Villarpando, el relleno neógeno de las cuencas de San Juan y Enriquillo se encuentra bien representado en general, con una buena calidad de sus afloramientos, que ha permitido la diferenciación sucesiva de las formaciones Trinchera (unidad 8), Quita Coraza (unidad 9) y Arroyo Blanco (unidad 10), dentro de la cual se han diferenciado tramos calcáreos (unidad 11) y arcillosos (unidad 12).

2.2.1.1 Fm Trinchera (8) Areniscas y margas. Mioceno Superior-Plioceno N₁³-N₂

Se trata de una de las unidades más características de la región, cuya denominación fue utilizada en primer lugar por Dohm (1941), siendo utilizada posteriormente por la mayor parte de los autores que han trabajado en la región, aunque en algunos casos con distintas acepciones. Así, en unos casos, el término Fm Trinchera ha abarcado el conjunto de areniscas y margas limitado a muro y techo por las formaciones Sombrerito y Arroyo Blanco, respectivamente, mientras que en otros, sus términos superiores han sido individualizados como Fm Quita Coraza. Cuando estos términos superiores poseen composición carbonatada han recibido la denominación de Fm Florentino. Entre los equivalentes de la Fm Trinchera hallados en la literatura regional cabe destacar el de Fm Fondo Negro propuesto por Cooper (1983).

Un corte especialmente ilustrativo del aspecto de la Fm Trinchera en la región puede observarse en la carretera que une Azua y Barahona, al suroeste de Fondo Negro (Hoja de Vicente Noble), donde se observa una monótona y rítmica sucesión alternante de areniscas y margas de aspecto turbidítico, cuyo espesor sobrepasa 1.500 m. Dentro de los límites de la Hoja, las mejores observaciones pueden efectuarse a lo largo del arroyo Salado. Sobre el terreno se caracteriza por sus tonos ocre; cuando no se encuentra bajo depósitos cuaternarios, dibuja unas pequeñas alineaciones en el relieve, destacando con respecto a la suprayacente Fm Quita Coraza.

Su litofacies más común es una alternancia de niveles decimétricos de areniscas y margas de aspecto turbidítico. Hacia la parte inferior son más frecuentes los niveles margosos, aumentando el contenido arenoso en la vertical, hasta aparecer como una sucesión de niveles de areniscas; hacia techo también aparecen conglomerados.

El contacto con el Mb Gajo Largo no es visible generalmente, estando trastocado por fallas, pero en la margen derecha del Yaque del Sur se ha apreciado su carácter gradual mediante la progresiva sustitución de los niveles calcareníticos por los de areniscas. En cuanto a su techo, se produce por un aumento del contenido margoso a expensas del de areniscas, tal como se aprecia en el arroyo Salado, coincidiendo con una ligera disminución del relieve. No se ha medido el espesor de la unidad en lugar alguno, pero en el arroyo Salado parece sobrepasar los 1.000 m.

Las arenas muestran una clasificación mala a moderada, con notables variaciones en el tamaño de grano. Aunque sus constituyentes son muy variados, se aprecia una mayor abundancia de plagioclasa y fragmentos de roca, pudiendo alcanzar cierta

entidad el contenido de cuarzo; los tipos más comunes son arcosas y litarenitas feldespáticas. Los conglomerados muestran una gran semejanza con los de la Fm Arroyo Blanco, de carácter polimíctico y tonos oscuros; entre los cantos también se observa una gran variedad composicional, siendo frecuentes los derivados de rocas volcanoclásticas, plutónicas, carbonatadas y areniscosas, señalando a la Fm Tireo y al Grupo Peralta como área madre.

En el corte la carretera Ázua-Barahona, localizado en las proximidades de la Hoja, la Fm Trinchera puede ser dividida en tres tramos. El tramo inferior es margoso con intercalaciones de areniscas tabulares con estratificación fina y media, que se organizan en ciclos de escala decamétrica predominantemente negativos. El tramo intermedio posee más capas de areniscas, alternando ciclos de facies canalizadas estrato y granodecrecientes, y no canalizadas: las secuencias positivas, de escala decamétrica y métrica, están formadas por areniscas groseras amalgamadas con estratificación muy gruesa y gruesa, con bases erosivas laxas y escasos cantos blandos; las secuencias no canalizadas, mayoritarias, son de orden métrico, positivas y negativas, con estratificación media y fina. El conjunto parece formar una macrosecuencia positiva, si bien hacia la parte superior se intercalan un mínimo de dos niveles de *slump* y *debris flow*; en general, las estructuras sedimentarias son escasas y la clasificación es mala. El tramo superior de la formación intercala, en una serie margosa, una sucesión progradante de ciclos arenoso-conglomeráticos estrato y granocrecientes, de escala decamétrica; los cantos blandos son abundantes y la facies se caracteriza por su extrema mala clasificación.

La sucesión descrita puede ser interpretada como la progradación de un sistema deltaico sobre un rampa clástico. El tramo inferior contiene facies turbidíticas de *leveé* distal, en tanto que el tramo medio se interpreta como un sistema de *channel-leveé*, en el que las facies canalizadas representan depósitos de canal y las no canalizadas depósitos de margen de canal. Las secuencias negativas del tramo superior se interpretan como lóbulos de plataforma, depositados por corrientes de turbidez de origen fluvial en la plataforma distal (*shelfal lobes*; Mutti *et al.*, 2000).

La Fm Trinchera alberga un elevado contenido faunístico, destacando la elevada proporción de Foraminíferos planctónicos en los tramos margosos. En particular, la asociación de *Sphaeroidinellopsis seminulum* (Schwager), *Globigerinoides sacculifer* (Brady), *G. af. obliquus* Bolli, *Globigerina nepenthes* Todd, *Orbulina suturalis* Bronnimann y *O. universa* d'Orb., ha señalado el Mioceno Superior-Plioceno Inferior para su depósito.

Las variaciones regionales de espesor de la Fm Trinchera y sus relaciones con la Fm Sombrerito sugieren que durante el depósito de la Fm Trinchera, la cuenca sufriría episodios de inestabilidad a través de los cuales comenzaron a insinuarse las elevaciones de la Fm Sombrerito visibles hoy día en la zona.

Los afloramientos de la unidad configuran una serie monoclinas hacia el noreste, como parte del flanco suroccidental del sinforme de la cuenca de San Juan.

2.2.1.2 Fm Quita Coraza (9) Margas. Plioceno N₂

Es el conjunto litoestratigráfico de peor y más escasa representación de entre todos los que poseen rango de formación en la región; además, la literatura regional muestra poco acuerdo en torno a él. Así, el término fue utilizado por primera vez por Beall (1945), en referencia a un miembro del Grupo Yaque del Sur establecido previamente por Vaughan *et al.* (1921) y redefinido posteriormente por Bermúdez (1949) como Fm Bao. Entre los trabajos más recientes, Cooper (1983) adopta ésta última denominación, en tanto que McLaughlin *et al.* (1991) recuperan el término Fm Quita Coraza. Localmente, en posición estratigráfica equivalente a ésta, aparece un tramo carbonatado conocido en la literatura regional como Fm Florentino (Hoja de Yayas de Viajama).

Como puede apreciarse en su área tipo, se trata de un tramo que guarda ciertas semejanzas con la infrayacente Fm Trinchera, diferenciándose de ésta por un mayor contenido margoso en relación al de areniscas. No se ha reconocido en numerosos puntos de la región, lo que, unido a la existencia de tramos semejantes en el seno de la Fm Trinchera, sugiere que se trata de una facies relacionada con ésta y que el rango de formación tal vez sea excesivo para ella.

En el terreno aparece como una banda deprimida de tonalidades amarillentas, dispuesta entre los resaltes morfológicos producidos por las formaciones Trinchera y Arroyo Blanco. En la Hoja posee una pobre representación, restringida al arroyo Salado y al valle del Yaque del Sur. Su aspecto es el de una monótona sucesión de margas grises y azuladas que intercalan niveles de areniscas y calizas margosas de orden decimétrico; puntualmente, resulta difícil su diferenciación de la Fm Trinchera.

Su límite con ésta parece de carácter gradual, estando indicado por la progresiva disminución en la proporción de los niveles de areniscas a favor de los de margas. Su techo está mejor definido y coincide con la aparición de un nivel de calizas arrecifales perteneciente a la Fm Arroyo Blanco (unidad 10). Su espesor varía considerablemente en la región, estimándose menos de 200 m dentro de los límites de la Hoja.

La composición de las areniscas es semejante a las de la Fm Trinchera, clasificándose como arcosas y litarenitas. Entre los rasgos sedimentarios observados cabe señalar laminación paralela y *ripples* de oleaje. Su depósito se interpreta en un contexto de plataforma abierta de tipo bahía que, con el paso del tiempo, evolucionaría hacia ambientes más someros.

Su contenido faunístico es relativamente escaso y aparece mal conservado. La asociación de *Cibicides sp.*, *Globigerina sp.*, *Globigerinoides sp.*, *Planulina af. ariminensis* d'Orb y *Nonion sp.*, sugiere su pertenencia, de forma bastante imprecisa, al Mioceno-Plioceno. No obstante, las atribuciones de las unidades infra y suprayacentes, hace que se asigne al Plioceno.

2.2.1.3 Fm Arroyo Blanco (10) Conglomerados, areniscas, y lutitas. (11) Calizas bioclásticas. (12) Arcillas verdes con intercalaciones bioclásticas. Plioceno N₂

Constituye uno de los conjuntos más característicos del Neógeno de la región y tal vez el que posee una mayor heterogeneidad litológica. La primera aparición de su denominación se encuentra en Dohm (1942) quien señala la prioridad de Arick y Olsson. Equivale a la Fm Las Salinas de la cuenca de Enriquillo.

Su litología más frecuente son conglomerados polimícticos oscuros, intercalando tramos de arcillas y areniscas (unidad 10) y, como rasgo más característico, calizas arrecifales (unidad 11), en ocasiones resedimentadas. La práctica totalidad de sus afloramientos en la Hoja se localizan en el sector suroccidental, con excelentes condiciones de observación a lo largo del valle del río Yaque y de diversas cañadas y arroyos afluentes. Allí se observa el predominio de conglomerados y areniscas, que en afloramientos puntuales resultan difíciles de diferenciar de los de la Fm Trinchera, pero que proporcionan alineaciones morfológicas al terreno que permiten reconstruir la estructura y que facilitan su separación cartográfica de la Fm Quita Coraza.

La base de la unidad, de carácter neto, se ha establecido en la aparición de un nivel de calizas arrecifales dispuesto sobre las margas de la Fm Quita Coraza. El techo ha sido erosionado, al igual que la totalidad de la Fm Arroyo Seco suprayacente.

En el ámbito de la Hoja se estima un espesor cercano a 1.000 m, apreciándose una tendencia conjunta de carácter granocreciente. La unidad comienza a través de un nivel de orden métrico de corales en posición de vida, que resalta sobre el conjunto margoso de la Fm Quita Coraza, y prosigue a través de una sucesión de areniscas estratificadas en niveles de orden métrico entre los que se intercalan niveles de lutitas

de menor entidad. Sobre ellas, integrando la mayor parte de la unidad, aparecen conglomerados polimícticos agrupados en bancos de orden métrico, constituidos por cantos redondeados de hasta 25 cm, entre los que predominan los de composición ígnea y volcano-sedimentaria de edad cretácica, que confieren tonalidades oscuras al conjunto; se estructuran en ciclos estrato y granocrecientes de escala métrica formados por lutitas grises, areniscas con laminación cruzada y conglomerados, que suelen estar canalizados. Hacia la parte superior, cuerpos de escala métrica arenoso-conglomeráticos se intercalan entre lutitas rojas.

En base a éste y otros cortes de la región, el depósito de la Fm Arroyo Blanco se integra en un medio deposicional deltaico de tendencia progradante, con una paleogeografía compleja; el sector de la Hoja se interpreta como un frente deltaico con parches arrecifales y barras de desembocadura.

Las intercalaciones calcáreas (unidad 11) corresponden a niveles coralinos de tipo *framestone* y *floatstone*, en ocasiones resedimentados. Poseen espesor de orden métrico a decamétrico y dan lugar a resaltes morfológicos.

En el sector suroccidental se observa un cambio notable en la formación, que aparece como un conjunto arcilloso de tonos verdosos (unidad 12) en el que se intercalan niveles de acumulaciones bioclásticas de espesor métrico; inmediatamente al sur, en el paraje de El Yeso, las arcillas intercalan niveles yesíferos de espesor superior a 1 m, pertenecientes al Mb Loma de Yeso. No existen afloramientos que permitan una descripción detallada de la unidad, interpretada en un contexto lagunar de tendencias evaporíticas.

Pese a que en otras zonas la Fm Arroyo Blanco incluye un rico registro fosilífero, especialmente de Ostrácodos y Foraminíferos planctónicos (McLaughlin *et al.*, 1991), en la Hoja sólo se ha reconocido un pequeño conjunto de restos mal conservados, entre ellos *Fursenkoina schreibersiana* (Czjzek), *Gyroidina sp.*, *Globigerinoides sp.*, *Florilus sp.*, radiolas y espículas, que señala el intervalo Mioceno-Plioceno; no obstante, la edad inferior de la unidad en la Hoja queda acotada por la de las formaciones Trinchera y Quita Coraza, por lo que se ha incluido en el Plioceno.

2.3. Cuaternario

Los depósitos cuaternarios de la Hoja de Villarpando pueden agruparse en dos conjuntos: materiales volcánicos, mínimamente representados en el sector nororiental,

y depósitos continentales, que ocupan una buena parte de la superficie de las cuencas, estando representados con menor extensión en las sierras.

2.3.1. Cuaternario volcánico

El único afloramiento volcánico de la Hoja está relacionado con los extensos afloramientos cuaternarios de las provincias magmáticas de Yayas de Viajama-Constanza, de carácter calcoalcalino, y de San Juan, de carácter alcalino. Su mínima representación no permite excesivas aportaciones relativas a su petrogénesis, tema aún no resuelto. Aunque por su situación geográfica podría corresponder a cualquiera de las dos provincias, su litología parece más acorde con la provincia calcoalcalina de Yayas de Viajama.

2.3.1.1 Traquiandesitas (13). Plioceno-Cuaternario N₂-Q

Se encuentran representadas exclusivamente en los relieves del cerro Los dos Hermanos, constituyendo un centro de emisión perteneciente a la provincia volcánica de Yayas de Viajama. Pese a su cubierta vegetal, su morfología es evidente, con una forma cónica que se eleva más de 300 m sobre la llanura aluvial del Yaque del Sur. Sus características litológicas y texturales pueden observarse a lo largo del canal que discurre paralelo a la carretera Ázua-San Juan. En él se aprecian coladas de espesor de orden métrico derramadas desde el centro de emisión y dispuestas sobre la Fm Trinchera. Se trata de rocas lávicas con textura porfídica y de composición andesítica a traquiandesítica, con típicos fenocristales milimétricos blancos de plagioclasa, de cuarzo incoloro y de anfíboles aciculares verde-oscuros, inmersos en una matriz afanítica de colores claros.

En lámina delgada aparecen como traquiandesitas a andesitas porfídicas hornbléndico-plagioclásicas. Se observan fenocristales de anfíbol, plagioclasa y, en menor proporción, cuarzo, mostrando todos un grado variable de idiomorfismo; la plagioclasa forma grandes cristales, con inclusiones de anfíbol y bordes corroídos con epidota, que la reemplaza. La mesostasia es afanítica, con tabletas de plagioclasas, pequeños ferromagnesianos, agregados microcristalinos y opacos; las tabletas idiomorfas de plagioclasa marcan una fluidalidad, junto con el anfíbol. Algunos ferromagnesianos están completamente reemplazados a un agregado de clorita, epidota, sericita, zeolitas, opacos (magnetita e ilmenita) y óxidos de hierro.

Con respecto a su edad, su pertenencia a la provincia calcoalcalina de Yayas de Viajama-Padre Las Casas, donde una datación radiométrica por K/Ar ha señalado una

edad de 1.8-2.7 m.a. (Electroconsult, 1983; OLADE, 1980), sugiere su pertenencia al Plioceno-Pleistoceno, si bien el grado de conservación del centro de emisión hace más probable la primera de las opciones, e incluso que se trate de un evento más reciente.

2.3.2. Cuaternario continental

Posee una amplia representación en las cuencas de San Juan y Enriquillo, con predominio de los depósitos de origen fluvial relacionados con la evolución del Yaque del Sur y con los abanicos aluviales dispuestos al pie de la sierra de Neiba. Con menor extensión, también aparecen depósitos de origen gravitacional y endorreico.

2.3.2.1 Abanicos aluviales antiguos (14). Conglomerados calcáreos y gravas. Pleistoceno Q₁₋₃

Entre la loma El Saltadero y el paraje de Calero, existe una serie de afloramientos que dan lugar a ligeros resaltes dentro del suave relieve configurado por los sistemas de conos y abanicos más modernos que tapizan el valle localizado al este del Granado; se trata de los restos de un sistema de abanicos aluviales antiguo. En el extremo oriental del valle se conservan ápices que señalan su procedencia de la sierra de Neiba. El aspecto poco incidido que presentan en este valle contrasta fuertemente con el que ofrecen desde el sur y sureste, donde aparecen colgados más de 100 m con respecto al cauce del Yaque, a tan sólo 2 km de distancia. Se encuentran afectados por fallas de dirección E-O relacionadas con la zona de falla de Enriquillo, confirmando la inestabilidad de la zona en épocas recientes.

Se pueden realizar observaciones de cierto detalle junto a la carretera que une El Granado con Tamayo, frente a la loma El Barrero, así como en el paraje de Calero. Se trata de gravas de cantos calcáreos redondeados cuyo diámetro puede sobrepasar los 30 cm; poseen tonos blanquecinos y ocreos en corte fresco y tonos oscuros en alteración. Con frecuencia se encuentran fuertemente cementados y transformadas en conglomerados, presentando un espesor variable que puede llegar a 50 m.

En cuanto a su edad, parecen corresponder a un episodio previo a la captura del Yaque del Sur por la hoya de Enriquillo, por lo que es probable su pertenencia al Pleistoceno o a los inicios del Holoceno.

2.3.2.2 Terrazas altas, medias y bajas (15, 16, 17) Gravas y arenas. Holoceno Q₄

El principal sistema de terrazas aparece asociado al Yaque del Sur, en el que se reconocen diversos niveles que arbitrariamente han sido incluidos en tres grupos: terrazas altas, con cotas superiores a +60 m sobre el cauce actual (unidad 15);

terrazas medias, dispuestas a cotas de +20-60 m (unidad 16); y terrazas bajas, con cotas inferiores a +20 m (unidad 17). Pueden aparecer con dispositivos colgados, frecuentes en los niveles más elevados, o solapados, comunes entre los niveles más bajos, estando limitadas generalmente por un marcado escarpe hacia el valle. También poseen terrazas asociadas los principales cursos (río Los Baos y arroyos Salado y Guanarate, entre otros), pero en ellos únicamente se han depositado o conservado terrazas bajas.

Las terrazas del Yaque del Sur son los únicos depósitos de la región constituidos por elementos derivados de rocas volcánicas y volcano-sedimentarias, de la cordillera Central principalmente. Por ello, sus afloramientos, con tonalidades oscuras contrastan con los tonos blanquecinos típicos de los restantes depósitos fluviales de la zona, entre los que predominan los integrantes de naturaleza calcárea.

Existen buenos puntos de observación de sus características a lo largo de todo el valle del citado río, siendo los más accesibles los localizados en la carretera Ázua-San Juan. Se trata de sucesiones de gravas polimícticas en matriz arenosa, con cantos de composición litarenítica y arcósica y tamaño muy variable, que llega a sobrepasar los 50 cm. En cuanto al espesor, puede aproximarse a 10 m en algunos casos.

Por lo que respecta a su edad, su presencia en la zona de enlace entre el valle de San Juan y la hoya de Enriquillo sugiere su depósito una vez que se había producido la captura del Yaque y, por tanto, en el Holoceno.

2.3.2.3 Abanicos aluviales y conos de deyección (18,19) Gravas, arenas y lutitas. Holoceno Q₄

Los conos de deyección y los abanicos aluviales tienen una notable representación en el borde meridional de la sierra de Neiba, sin olvidar los existentes en la depresión de El Caney. Se forman en la confluencia de los elementos de la red fluvial con áreas menos encajadas, en las cuales la carga transportada por aquéllos pierde su confinamiento, expandiéndose; cuando los ápices se encuentran próximos entre sí, se producen formas coalescentes. En algunos casos, alcanzan longitudes superiores a 4 km con respecto al ápice, como al noreste de El Granado. En base a sus características geométricas y su cronología se han diferenciado tres sistemas principales, de los que el más antiguo ha sido descrito previamente (unidad 14).

El sistema intermedio (unidad 18) engloba probablemente diversas generaciones imposibles de correlacionar debido a la desconexión de la mayoría de los conos, caracterizándose por mostrar un retoque erosivo que, aunque variable de unos

cuerpos a otros, indica que ya no son funcionales. Por su parte, el sistema más moderno (unidad 19) agrupa los dispositivos potencialmente activos, como se deduce de su mínimo retoque erosivo.

Son numerosos sus puntos de observación a lo largo de las numerosas cañadas y arroyos que los atraviesan. Están integrados por proporciones variables de gravas y arenas, cuya composición es función del área madre, por lo que predominan los integrantes de naturaleza calcárea, agrupados en sucesiones de niveles de orden decimétrico a métrico de gravas heterométricas, con bloques cuyo diámetro sobrepasa con frecuencia los 50 cm. En ocasiones, incluyen proporciones variables de lutitas, especialmente cuando derivan de los afloramientos margosos de la Fm Sombrerito. Su espesor también es muy variable, tanto entre los diversos aparatos como dentro de uno mismo, pudiendo señalarse valores máximos cercanos a 60 m en los ápices de los más relevantes.

Por su relación con la dinámica actual se asignan al Holoceno, sin descartar que algunos del conjunto intermedio pudieran pertenecer al Pleistoceno.

2.3.2.4 Fondos endorreicos (20) Lutitas. Holoceno Q₄

Aparecen representados exclusivamente en la depresión de Cabeza de Toro, de carácter endorreico e intramontañoso, actualmente capturada por el arroyo Hato Viejo. Su depósito está constituido por lutitas oscuras de aspecto masivo. No se ha hallado corte alguno que permita una descripción completa de la unidad, cuyo espesor debe de estar comprendido entre 2 y 5 m. Se asignan al Holoceno.

2.3.2.5 Llanuras de inundación (21) Gravas y arenas. Meandros y cauces abandonados (22) Gravas, arenas y lutitas. Barras (24) Arenas y gravas. Holoceno Q₄

El río Yaque del Sur discurre con un carácter más o menos divagante en el seno de una banda de anchura kilométrica que constituye la llanura de inundación (unidad 21). Dentro de la llanura se reconocen barras (unidad 22), en ocasiones con cicatrices de acreción lateral, y estrechas bandas serpenteantes, correspondientes a cauces y meandros abandonados (unidad 23), que pueden ser inundados temporalmente.

La llanura de inundación del río Yaque del Sur está constituida por gravas polimícticas de cantos heterométricos cuyos diámetros suelen oscilar entre 5-10 cm, entre los que se intercalan niveles de arenas; las barras poseen una composición muy semejante, aunque una granulometría inferior; otro tanto puede decirse de los cauces y meandros

abandonados, aunque éstos muestran un cierto contenido lutítico. También otros cursos, como el río Los Baos, poseen una llanura de inundación, aunque mucho menos extensa, integrada por gravas y arenas de naturaleza eminentemente calcárea. El espesor de todos estos depósitos es difícil de determinar ante la ausencia de afloramientos de calidad, pero debe fluctuar entre 2 y 5 m.

2.3.2.6 Fondos de valle (23) Gravav y arenas. Holoceno Q₄

Los fondos de valle son el principal testimonio de la actividad sedimentaria de la red fluvial actual, predominando entre ellos los fondos de cañada torrencial, que muestran algunas diferencias relativas a su funcionamiento y, en ocasiones, tipo de depósito. Predominan con mucho las cañadas de dinámica torrencial, siendo escasos los cursos de régimen permanente. En general, se trata de formas estrechas y alargadas coincidentes con el canal de estiaje.

Están constituidos fundamentalmente por gravas y arenas de naturaleza carbonatada, excepto en el caso del Yaque del Sur, alimentado por rocas volcánicas y volcano-sedimentarias de la cordillera Central; puntualmente pueden presentar predominio lutítico. Las gravas contienen cantos redondeados heterométricos, con un valor orientativo de su diámetro de 10-20 cm. Aunque no existen cortes que permitan determinar su espesor, sin duda éste puede variar notablemente en función del curso en cuestión; en los de mayor envergadura podría alcanzar 5 m. Se trata de depósitos afectados por la dinámica actual.

2.3.2.7 Coluviones (25) Cantos, arenas y arcillas. Coluviones de bloques (26) Bloques de conglomerados calcáreos. Holoceno Q₄

Poseen escasa representación, formándose como respuesta al desequilibrio provocado en las laderas por la erosión fluvial y la actividad tectónica. En el ámbito del paraje de la Boda del Agua son frecuentes las caídas de bloques, que en algunos casos configuran coluviones de bloques.

Básicamente, son depósitos de cantos heterométricos subangulosos englobados en una matriz areno-arcillosa, procedentes del desmantelamiento de las vertientes (unidad 24); por ello, la naturaleza de sus componentes varía en función de la constitución del área madre. Su potencia y características internas también son variables, no pudiendo precisarse aquélla por ausencia de cortes de detalle, aunque se deducen potencias de orden métrico.

En el caso de los coluviones de bloques, están constituidos por grandes fragmentos de conglomerados calcáreos derivados de los abanicos aluviales antiguos (unidad 14), con potencias que pueden sobrepasar 5 m. Se asignan al Holoceno.

2.3.2.8 Deslizamientos (27) Calizas, margas y calcarenitas. Holoceno Q₄

Su presencia en la sierra de Neiba se ve favorecida por los importantes desniveles existentes, la presencia de los materiales margosos de la Fm Sombrerito, las elevadas precipitaciones y la ocurrencia de eventos sísmicos; pese a la elevada velocidad de meteorización, a la actividad de los procesos de arroyada y al rápido crecimiento de la vegetación, que hacen que sus cicatrices queden rápidamente enmascaradas, dificultando su reconocimiento, son varios los ejemplares cartografiables observados.

Los afloramientos repartidos por la sierra de Neiba, de envergadura incluso kilométrica, están constituidos por un conjunto de aspecto desordenado de arcillas que engloban cantos y bloques derivados de las formaciones Neiba y Sombrerito; debido a la propia naturaleza del depósito, su espesor puede variar considerablemente según las zonas, llegando a alcanzar más de 30 m en algunos puntos. Se atribuyen al Holoceno.

3. TECTÓNICA

En este capítulo se abordan las características estructurales de la Hoja de Villarpando y su evolución tectónica. Como preámbulo, se hace una exposición del contexto geodinámico de La Española, en cuyo sector meridional se encuentra ubicada la Hoja. A continuación se describe la estructura de la Hoja de Villarpando y posteriormente se contempla esta estructura en el marco geológico-estructural de la sierra de Neiba y las cuencas limítrofes, presentando una propuesta de evolución tectónica para el conjunto de la región

3.1. Introducción. Contexto Geodinámico

La Española es la segunda isla en extensión de las Antillas Mayores que forman el segmento septentrional de la cadena de arcos de isla que circunda la Placa del Caribe desde Cuba hasta Venezuela (Figs. 3.1 y 3.2). Entre las denominaciones más habituales para referirse a esta cadena están las de Gran Arco del Caribe (Mann *et al.*, 1991) y Arco de Isla Circum-Caribeño (Burke 1988). Todos los segmentos de este Gran Arco de Islas son litológicamente similares y se empezaron a formar en el Pacífico, a partir del Jurásico superior?-Cretácico Inferior (Mann *et al.*, 1991 b), como un arco volcánico más o menos continuo, el cual migró hacia el este durante el Cretácico Superior y parte del Terciario, hasta alcanzar su posición actual en la región del Caribe (Pindell y Barret, 1990; Pindell, 1994; Fig. 3.3). Los procesos relacionados con el desarrollo y la evolución de este arco en el segmento correspondiente a La Española y, especialmente, en sus estadios finales, son los que conforman el cuerpo fundamental de este capítulo.

La Española, conjuntamente con Puerto Rico, constituye una unidad que puede interpretarse como una microplaca, limitada al norte por una zona de subducción, con desplazamiento oblicuo a supbaralelo a su traza, y al sur por otra zona de subducción incipiente, a la que se asocia la Fosa de los Muertos (Byrne *et al.*, 1985; Masson y Scanlon, 1991; Fig. 3.1). El margen septentrional de la Placa del Caribe ha evolucionado desde constituir un límite controlado por subducción en el Cretácico y parte del Eoceno, a ser hoy, tras la colisión de esta placa con la plataforma de las Bahamas (colisión arco-continente), un límite dominado en gran parte por desplazamientos en dirección de carácter senestro que acomodan el desplazamiento hacia el este de la Placa del Caribe en relación con Norteamérica (Mann *et al.*, 1991).

Fig. 3.1

Fig. 3.2

Figs. 3.3 y 3.4

La colisión con la plataforma de Las Bahamas, con componente oblicua, fue diacrónica, ya que comenzó en el Eoceno Medio en Cuba (Pardo, 1975) y terminó en el Oligoceno Inferior en Puerto Rico (Dolan *et al.*, 1991). Entre estas dos islas, en el segmento correspondiente a La Española, la colisión ocurrió en el intervalo Eoceno Medio-Superior. La tectónica transcurrente comenzó, en este margen septentrional de la placa, a partir del Eoceno Medio con la apertura del surco del Caimán en un régimen transtensivo (Mann *et al.*, 1991 b) y se ha mantenido hasta la actualidad, en un contexto fundamentalmente transpresivo, para todo el conjunto de la isla.

A partir del Eoceno, el margen meridional de La Española y Puerto Rico ha pasado desde comportarse como una trasera de arco al comienzo del Eoceno, a constituir en la actualidad un margen activo con subducción de la corteza oceánica del Caribe bajo el arco de islas Circum-Caribeño (Burke *et al.*, 1978; Burke, 1988; Dolan *et al.* 1991). En consecuencia, a partir del Eoceno Superior, la sedimentación y la deformación de las cuencas de trasera de arco generadas en relación con el arco de islas Circum-Caribeño, pasaron a estar controladas por procesos típicos de una cuenca de Antearco. En relación con esta deformación de la parte meridional de la Isla se produjo el levantamiento de las sierras del sur y en el núcleo de algunas de ellas los afloramientos de rocas oceánicas (sierras de Hotte, Selle y Barohuco)

La placa del Caribe se desplaza hoy día hacia el este con respecto a las placas Norte y Sudamericanas (Dolan y Mann, 1998; Dixon *et al.*, 1998; De Mets *et al.*, 2000; Mann *et al.*, 2002). Este movimiento relativo se acomoda, en el margen septentrional de la isla, por la zona de subducción de la fosa de Puerto Rico y por la falla Septentrional, en un tipo de articulación en el que se conjugan la convergencia oblicua, en la primera, y los movimientos senestrales, en la segunda (Dolan y Mann, 1998; Dolan *et al.*, 1998; Fig. 3.4. En el interior de la isla, el citado movimiento relativo lo articula principalmente la zona de falla de Enriquillo-Plantain Garden (Mann *et al.*, 1991), que interviene directamente en la zona de estudio.

La estructura de la zona de estudio es el resultado de la superposición de la mayoría de los procesos que se acaban de mencionar, si bien en ella intervienen de forma especial: la transformación de la cuenca trasera de arco en un margen activo a partir del Eoceno; el levantamiento de una parte de la meseta oceánica del Caribe a partir del Mioceno; y la tectónica desgarres, en parte simultánea con las anteriores, pero que sobre todo ha incidido en su evolución más reciente.

Entre los dominios que la integran, el más meridional, la sierra de Bahoruco, constituye un fragmento emergido de la meseta oceánica del Caribe. Los territorios situados entre este dominio y la cuenca trasera propiamente dicha del arco de isla (el Cinturón de Peralta), fueron incluidos por Mann *et al.* (1991) en el terreno de Presqu'île du Nord-Ouest-Neiba, y presentan más dudas sobre su adscripción regional; esto es así por cuanto se desconoce si su sustrato está formado por la meseta oceánica que aflora en la sierra de Bahoruco (Mann *et al.*, 1991, 2002) o si, por el contrario, este sustrato podría estar constituido por unidades meridionales del arco isla similares o lateralmente equivalentes a las observadas como sustrato en el Cinturón de Peralta (Díaz de Neira 2000a; Gómez, 2000). Por el momento, se desconocen la posición y naturaleza del límite entre ambas unidades tectónicas. Esta cuestión tiene que ver, además, con la continuidad hacia el oeste del prisma acrecional de la fosa de Los Muertos, que algunos autores sugieren que se prolonga hacia el interior de la isla (Biju-Duval *et al.*, 1983; Dolan *et al.*, 1991) pero que otros sugieren que se interrumpe contra una supuesta transformante de la cresta de Beata o lo desplazan a favor de ésta (Mann *et al.*, 2002). Ayuda a esta indefinición el hecho de que mientras que al este de la supuesta transformante se conoce bien la estructura cortical de La Española y Puerto Rico, que responde a dos zonas de subducción, una al norte y otra al sur, con buzamientos hacia el interior de estas islas, sin embargo al oeste del accidente de Beata la estructura cortical es desconocida.

3.2. Marco geológico estructural de la zona de estudio

En la figura 1.5 se muestra la zona de estudio en su marco geológico-estructural. En ella, además de los cinco dominios que se enmarcan en el presente proyecto (sierras de Neiba, Bahoruco y Martín García y cuencas de Enriquillo y San Juan), cuya descripción en detalle es el objeto del presente capítulo, se representan otros dominios y estructuras de su entorno que por intervenir directa o indirectamente en la evolución de aquéllos, merecen una mención previa.

Al norte y noreste hay que destacar la Cordillera Central, como elemento de primer orden en la geología de la isla, en cuyo segmento suroccidental, el más próximo a la zona de estudio se distinguen dos dominios principales (Mann *et al.*, 1991; Dolan *et al.*, 1991, Heubeck y Mann, 1991; Hernaiz Huerta 2000 a y b; Hernaiz Huerta y Pérez-Estaún, 2002): el basamento representado por formaciones oceánicas y de arco isla que fueron generadas y amalgamadas durante el intervalo Jurásico Superior-Eoceno (Bowin, 1966; Draper *et al.*, 1994, 1996; Lewis *et al.*, 2002), y el Cinturón de Peralta,

potente secuencia de rocas sedimentarias del Cretácico Superior- Pleistoceno, que con una dirección general NO-SE se dispone a lo largo del flanco meridional de la cordillera Central (Mann et al., 1991 b; Heubeck y Mann, 1991; Hernaiz Huerta y Pérez-Estaún 2002).

El contacto entre ambas unidades se resuelve mediante un cabalgamiento de la primera sobre la segunda, que posteriormente ha sido modificado por fallas con movimiento en dirección (falla de San José-Restauración; Mann et al., 1991 b). No obstante, en algunos puntos se ha podido comprobar el contacto originalmente discordante entre algunas formaciones del Cinturón de Peralta (Fm Trois Rivières sobre la Fm Tireo en las Hojas de Arroyo Limón, Restauración y Jácome; formaciones Jura y Ventura sobre la Fm Tireo: Díaz de Neira, 2000a; Gómez, 2000) circunstancia que, por otra parte, permite considerar a la Fm Tireo como el sustrato más probable de al menos una buena parte de la cuenca trasera de Trois Rivières-Peralta.

Otro elemento estructural a considerar en la región es la cresta oceánica de Beata (Heubeck y Mann, 1991), promontorio alargado con forma de cuña hacia el norte que se dispone en el centro de la meseta oceánica del Caribe con una dirección NNE-SSO, transversalmente al límite meridional de La Española y al septentrional de la placa Sudamericana (Mauffret y Leroy, 1997). Según Heubeck y Mann (1991) y Mann *et al.* (1991 c), la cresta de Beata funcionó a partir del Plioceno Medio como una indentación, empujada desde el otro margen, bajo el cual subduce (Mauffret y Leroy, 1997).

Por último, hay que hacer mención, por sus implicaciones neotectónicas, al volcanismo cuaternario del sector centro-occidental de la isla, de naturaleza principalmente calcoalcalina aunque en sus estadios finales también se produjeron emisiones de carácter alcalino. Este volcanismo se dispone en una banda de 10 a 20 km de anchura, con dirección NNE-SSO, atravesando parte de la cordillera Central y de la cuenca de San Juan hasta entrar ligeramente en la zona de estudio. Para algunos autores (Mann *et al.*, 1991 c) tiene una relación genética con la cresta, aunque también sugieren que alternativa o adicionalmente, el volcanismo también pudo estar controlado por la terminación oriental de la falla de Enriquillo.

3.3. La estructura de la zona de estudio

La estructura de la Hoja de Villarpando se basa en la presencia de la sierra de Neiba a modo de anticlinorio cabalgante sobre sus cuencas adyacentes: hacia el noreste, sobre la cuenca de San Juan, y hacia el sur, sobre la cuenca de Enriquillo. En detalle,

el anticlinorio se resuelve mediante una sucesión de anticlinales y sinclinales de orientación próxima a E-O. Los cabalgamientos señalados están afectados por desgarres que limitan la sierra, siendo más evidente en el caso del borde meridional, afectado por la zona de falla de Enriquillo. En cuanto a las cuencas, se disponen a modo de estructuras sinformales, si bien los estudios sísmicos efectuados en ellas reflejan que en detalle se encuentran compartimentadas por diversos accidentes del sustrato (Nemec, 1980; Mann *et al.*, 1999).

3.3.1. La estructura de la sierra de Neiba

La estructura de la sierra de Neiba está definida por pliegues de longitud de onda kilométrica, generalmente limitados por fallas inversas o cabalgamientos de alto ángulo, y por una intensa fracturación, sincrónica o posterior con relación a aquéllos. En conjunto configuran un domo de geometría anticlinorial elevado más de 2.000 m sobre las cuencas de San Juan y Enriquillo.

Los pliegues presentan, de forma característica, direcciones cambiantes de NO-SE a E-O e incluso ENE-OSO y una disposición escalonada y en relevo en sentido senestral de sus trazas axiales que, no obstante, determinan, para el conjunto de este dominio, unas directrices regionales ONO-ESE (Fig. 3.5). En el ámbito de la zona de estudio, las estructuras más prominentes coinciden con grandes anticlinales en cuyos núcleos afloran la serie calcárea de la Fm Neiba y el conjunto volcanosedimentario de El Aguacate (Hoja de Galván). Es habitual que estos anticlinales presenten doble inmersión de sus charnelas y que, por tanto, desaparezcan en escasos kilómetros para ser relevados en dirección por una nueva estructura. No obstante, toda la estructura anticlinorial de la sierra muestra una clara tendencia a la inmersión hacia el ESE y ello determina que las series más antiguas afloren principalmente en los sectores occidentales, mientras que las más modernas lo hagan principalmente en los sectores orientales, caso de la Hoja de Villarpando en la que afloran exclusivamente la Fm Sombrerito y los términos superiores de la Fm Neiba. Los sinclinales, en general, quedan restringidos cartográficamente a estrechas bandas por cuanto sus márgenes están fallados y cobijados parcialmente por los flancos cabalgantes de las grandes estructuras anticlinales que los limitan (principalmente por el norte). Sus núcleos suelen estar ocupados por la Fm. Sombrerito en el sector oriental y por la Fm Neiba o el conjunto volcanosedimentario en el occidental.

La escasa continuidad y el relevo de las estructuras no impiden, sin embargo, que en el ámbito de la Hoja se reconozcan una serie de alineaciones anticlinales y sinclinales de cierta continuidad (Fig.3.5):

- Sinclinal de Vallejuelo-El Caney. Es un sinclinal con una media longitud de onda de 5-6 km, que ocupa el sector más septentrional de las Hojas de Villarpando y Galván donde aflora ampliamente la Fm. Sombrerito y, con menos extensión, la Fm. Trinchera. En planta, su eje presenta una acusada inflexión al pasar de tener una dirección ENE-OSO en el sector oriental, a ONO-ESE en el occidental. En sección, el plano axial es subvertical o ligeramente vergente al sur en el sector de Vallejuelo, pero pasa a ser ligeramente vergente al norte, en el sector de El Caney (Figs. 3.6 y 3.7). Aquí, la estructura consiste en un sinclinorio, en el que el plano axial del anticlinal meridional (de la loma del Caimón) y del sinclinal contiguo (de la loma del Teniente) muestran una ligera vergencia al sur; estas dos estructuras tienen una continuidad cartográfica inferior.

 - Anticlinal de Cabeza de Toro-El Aguacate-Sabana del Silencio. Discurre desde el sector meridional de la Hoja de Villarpando hasta el septentrional de las Hojas de La Descubierta y Boca Cachón. En realidad consiste en una sucesión escalonada y en relevo de anticlinales en cuyo núcleo afloran la Fm Neiba superior (en el sector oriental) y la Fm Neiba inferior y el conjunto volcanosedimentario de El Aguacate (en los sectores central y occidental). En el ámbito de la Hoja la estructura se resuelve mediante el relevo de tres anticlinales principales, de longitudes comprendidas entre 5 y 10 km; de este a oeste son: el anticlinal de la loma de la Zurza, el de los cerros de Las Demajaguas y el de la loma del Granado. El flanco septentrional del anticlinal de Cabeza de Toro aparece completo y con buzamientos moderados, en tanto que el meridional muestra buzamientos algo mayores, apareciendo limitado por la zona de falla de Enriquillo.
- Hacia el oeste de la sierra, estas estructuras encuentran su continuidad y su sucesión hacia el suroeste, mostrando en general una mayor complejidad.

Fig. 3.6

Fig. 3.7 A

Fig. 3.7B

La geometría del margen meridional de la sierra de Neiba, en su límite con la cuenca de Enriquillo, se caracteriza por la ausencia de un frente cabalgante neto y de grandes desplazamientos. Los perfiles sísmicos realizados en la cuenca (Canadian Oil Superior Ltd., 1979, en Norconsult, 1983) sugieren una cierta continuidad entre el perfil sinforme de ésta y el perfil anticlinal de la sierra. Probablemente, el enlace entre ambas se articula mediante un sistema de fallas inversas o cabalgamientos de alto ángulo, con sucesivos saltos en la vertical, pero sin desplazamientos importantes en sentido horizontal (Figs. 3.6 y 3.7); la mayoría de estos cabalgamientos estarían ocultos bajo los depósitos marginales de la cuenca, habiéndose reconocido algunos de ellos en los citados perfiles sísmicos.

3.3.2. La estructura interna de la cuenca de Enriquillo

El extenso recubrimiento de la cuenca de Enriquillo por materiales cuaternarios hace que el conocimiento de su estructura interna se haya apoyado en técnicas geofísicas y perforaciones (Norconsult, 1983; Canadian Oil Superior Ltd., 1979; y Mann *et al.*, 1999). En el sector oriental de la cuenca se constata la existencia de dos fallas inversas o cabalgamientos de dirección NNO-SSE, completamente oblicuos al resto de las directrices estructurales del entorno de la cuenca (Fig. 3.8); tienen vergencia hacia el oeste, el más oriental con un salto muy pronunciado (aproximadamente 4.500 m), mayor que el del occidental (unos 1.300 m). Ambos cabalgamientos, junto con el margen meridional de la sierra de Martín García y alguna otra estructura asociada, dividen el subsuelo de la cuenca en varios bloques (Mann *et al.*, 1999), algunos de ellos con altos estructurales de geometría anticlinal, que fueron el objetivo principal de la exploración petrolífera.

La cartografía del subsuelo de la cuenca también recoge la posición del frente de la sierra de Neiba, no existiendo una correspondencia clara entre los cabalgamientos más frontales cartografiados en superficie y el frente cabalgante de la sierra cartografiado en dichos trabajos, que parece situarse algo más al sur que aquéllos. A este respecto, la cartografía de Mann *et al.* (1999) sustituye el frente cabalgante por la traza rectilínea de la falla de Enriquillo.

Figs. 3.8 y 3.9

Mann *et al.* (1999) descartan la existencia de una superficie general de despegue para los cabalgamientos del interior de la cuenca y dibujan planos de cabalgamiento subverticales que también afectan a la Fm Sombrerito y penetran al menos hasta la parte alta de la Fm Neiba (Fig. 3.9). No obstante, las líneas sísmicas muestran una disarmonía en el plegamiento y un despegue de la Fm Angostura con respecto a las infrayacentes formaciones Trinchera (muy adelgazada) y Sombrerito, así como una tendencia a acumularse y formar engrosamientos diapíricos en las charnelas anticlinales. Por ello, no se descarta que, al menos en el ámbito de depósito de la Fm Angostura, puedan existir despegues parciales de la serie a favor de cabalgamientos locales algo más tendidos, que enraizarían en dicha formación.

3.3.3. La estructura de la cuenca de San Juan

Se localiza entre la cordillera Central y la sierra de Neiba con un perfil geométrico sinforme relativamente sencillo. Está rellena por más de 7.000 m de materiales terciarios y cuaternarios correspondientes a ambientes marinos en la base y continentales a techo (Norconsult, 1983; García y Harms, 1988; Mann *et al.*, 1991 b y c). Esta cuenca se sitúa en el antepaís del Cinturón de Peralta y tanto su relleno como su estructura interna han sido controladas principalmente por la evolución estructural de éste (Mann *et al.*, 1991 b y c). Su límite septentrional con este cinturón consiste en una falla inversa o un cabalgamiento frontal con un importante salto en dirección (falla de San Juan-Los Pozos) y algunos autores le atribuyen grandes desplazamientos senestrales durante el Oligoceno-Mioceno (Pindell y Barret, 1990; Dolan *et al.*, 1991). El límite meridional o suroriental con la sierra de Neiba es menos neto y se resuelve por medio de un sistema escalonado de fallas de alto ángulo, con saltos menores en la vertical, y también en dirección. En su extremo suroriental, donde se produce el enlace con la cuenca de Enriquillo, la cuenca de San Juan adquiere el nombre de cuenca de Ázua. Este cambio toponímico responde también a un cambio en la geometría de la cuenca, que justifica su individualización: un sustrato elevado con respecto a la de San Juan, con el consiguiente menor espesor de relleno (inferior a los 3.000 m) y una mayor complejidad estructural, efectos adicionales producidos por la acción localizada de la indentación de la cresta de Beata (Díaz de Neira 2000b, 2002) y, probablemente, la falla de Enriquillo.

3.3.4. La fracturación

La zona de estudio está afectada por una intensa fracturación, por lo que se ha optado por hacer un análisis cartográfico de la misma, enfocado principalmente a determinar

su posible relación con las estructuras de plegamiento y cabalgamiento descritas en párrafos anteriores. Las pautas de la fracturación son muy complejas y su incidencia es desigual en los distintos dominios de la zona de estudio.

En el ámbito de la Hoja se reconocen dos familias principales. La primera agrupa las fallas de direcciones cercanas a E-O, que poseen longitudes de orden incluso decakilométrico, y poseen un notable reflejo cartográfico, como ponen de manifiesto el límite meridional de la sierra de Neiba, la presencia de grandes valles con dicha orientación en el interior de la sierra y la desaparición de parte de los flancos de las estructuras de plegamiento; de entre todas ellas, destaca por su relevancia y por su incidencia en la evolución reciente de la región la falla de Enriquillo-Plantain Garden. La segunda familia está integrada por fallas de orientación NNO-ESE a NO-SE, de longitud kilométrica y que distorsionan el trazado de los pliegues y de las fallas de la familia anterior.

Ya que la interpretación cinemática de la fracturación desborda el ámbito de la Hoja, se aborda en el apartado correspondiente al modelo de evolución tectónica.

3.4. Modelo de evolución tectónica de la zona de estudio.

La integración de los datos estructurales procedentes de todas las Hojas que engloban a la cuenca de Enriquillo y sus sierras circundantes (Neiba, Martín García y Bahoruco), permite comprender mejor el tipo de deformación regional y la relación entre las diferentes estructuras. El conocimiento regional alcanzado durante la elaboración del Proyecto K (del Programa SYSMIN) de Cartografía Geológica de la República Dominicana y los datos ya existentes (Díaz de Neira, 2000a y b; Gómez, 2000; Hernaiz Huerta y Pérez Estaún, 2002; Mann *et al.*, 1991; Mann *et al.*, 2000) permiten observar que la zona de estudio está dominada por estructuras contractivas con una fuerte participación de desgarres. Para su análisis, en una zona de este tipo se debe tener en cuenta tanto la geometría en corte de las estructuras como su desarrollo en planta. La figura 3.10 presenta un mapa estructural integrado, elaborado a partir de las diferentes Hojas del proyecto y las figuras 3.6 y 3.7, muestran una serie de cortes realizados a través de las estructuras mayores. Una descripción detallada de cada zona puede encontrarse en las memorias correspondientes.

Fig. 3.10

En la figura 3.5 se representan las principales fallas y fracturas que afectan al ámbito de estudio, seleccionadas y sintetizadas a partir de las cartografías a escala 1:50.000 de cada Hoja. En la figura 3.10 se han resaltado en color y por familias o sistemas, aquellas fallas en las que las evidencias cartográficas permiten asignar un sentido de movimiento, habiéndose dejado en blanco y negro y sin resaltar aquellas fallas en las que no se ha podido determinar el sentido de movimiento o en las que no es tan evidente, aunque en algunas de ellas también se ha indicado.

Hay dos sistemas en los que las fallas presentan direcciones y sentidos de desplazamiento bastante consistentes. Son los sistemas NNO-SSE y ENE-OSO que, en planta, reproducen mayoritariamente sentidos de movimiento en dirección dextrales y senestrales, respectivamente. Ambos sistemas alteran y modifican las trazas de los pliegues y cabalgamientos pero es el segundo el que muestra una relación genética con ellos de forma más clara, como se desprende de sus relaciones de corte, asintóticas y escalonadas.

El sistema ENE-OSO es el principal responsable de los giros en planta y alabeos de las estructuras mayores de la sierra de Neiba, donde, además, sus fallas delimitan transversalmente las terminaciones de los grandes núcleos anticlinales y les confieren un aspecto romboidal o de facoides a gran escala. Pese a estos efectos cartográficos tan evidentes, las fallas asociadas a este sistema tienen trazados poco netos y discontinuos en superficie, que quizá se puedan explicar por su funcionamiento desde las primeras etapas del plegamiento o, también, porque representen el reflejo en superficie de accidentes de zócalo.

El sistema NNO-SSE tiene su mayor incidencia en el sector central de la sierra de Neiba, donde sus fallas presentan trazados muy netos y acusados desplazamientos en planta con sentido dextral. Algunas fallas de este sistema producen, en pliegues y cabalgamientos, efectos similares al descrito anteriormente, que evidencian su desarrollo simultáneo con ellos, aunque, en general este sistema muestra mayores pautas de superposición a las estructuras que el anterior. Este sistema presenta un cierto giro en planta y pautas asintóticas, al menos en apariencia, contra la traza discontinua de la falla de Enriquillo, consistentes con el sentido de movimiento senestral de ésta.

En la figura 3.10 se ha separado con distinto color, un sistema de dirección NE-SO a NNE-SSO, con un registro casi exclusivo en la sierra de Neiba donde se caracteriza por cortar a las estructuras principales en sentido casi perpendicular. Las fallas de este sistema tienen pautas de movimiento peor definidas que los anteriores y parte de ellas corresponden a fallas con componente normal y el resto a desgarres con desplazamientos menores tanto dextrales como senestrales.

Completan el esquema de fracturación de la zona de estudio las numerosas fallas de dirección E-O a ONO-ESE que, en general, muestran desplazamientos senestrales de pequeña cuantía. Estas fallas son subparalelas a la falla de Enriquillo y se desarrollan principalmente al norte de ésta, donde parecen conformar un corredor o una banda o de cizalla muy distribuida que coincide en anchura con el propio dominio de la sierra de Neiba.

La falla de Enriquillo es un elemento principal dentro del esquema de fracturación. En su prolongación occidental por el territorio haitiano presenta un trazado E-O relativamente neto al que se asocian diversos elementos que han permitido determinar su sentido de desplazamiento senestral (Mann *et al.*, 1995), aunque no de forma concluyente la cuantía del mismo, que algunos autores han estimado en 30-50 km (Van der Berghe, 1983; Calmus, 1983). En territorio dominicano, ya dentro de la zona de estudio, esta falla queda oculta bajo los depósitos cuaternarios del lago Enriquillo, siendo difícil determinar su trazado cartográfico hasta su completa desaparición en el seno de la cuenca de Ázua, posiblemente contra el accidente de Beata. En cualquier caso, parece probable su coincidencia con la terminación meridional de la sierra de Neiba (Mann, 1983; Mann *et al.*, 1991) como denuncia su trazado rectilíneo y de forma más sutil, la disposición escalonada senestral de los pliegues que afectan a la sierra, contra ella. En dicho sector se han cartografiado varias fallas de dirección E-O que cortan y desplazan los sistemas de abanicos aluviales más antiguos procedentes de esta sierra, sin que ninguna de ellas se pueda identificar con la traza concreta de la falla, pudiendo ocurrir que en este sector la falla se diverticule en varios ramales.

Los cortes seriados de las figuras 3.6 y 3.7 dan cuenta principalmente del carácter compresivo de la estructura general, que viene definida por los cabalgamientos de alto ángulo y sentido opuesto de las sierras de Bahoruco y Neiba sobre la cuenca de Enriquillo, así como por el perfil sinclinal de ésta entre ambas, que le confiere el carácter de “cuenca entre rampas” (*ramp basin*) ya descrito en la literatura (Mann *et al.* 1991). Los cortes también muestran el carácter más localizado del frente cabalgante

de la sierra de Bahoruco con respecto al perfil más transicional entre la sierra de Neiba y la cuenca de Enriquillo, así como los cabalgamientos en el interior de ésta que, con vergencia meridional, involucran a la Fm Angostura, con un comportamiento halocinético añadido. En el corte más oriental, la sierra de Martín García emerge como un gran anticlinal en el seno de la cuenca, con márgenes cabalgantes sobre ella: el meridional, de alto ángulo y con un importante salto en la vertical, y el septentrional, más gradual, articulado con sucesivos cabalgamientos de ángulo medio y menor salto. No son cortes geológicos de “*plane strain*”, debido a la existencia de muchos desplazamientos fuera del plano (desgarres) y por ello sólo proporcionan una idea de una componente del acortamiento, el medido perpendicularmente a la dirección de los pliegues, que para el horizonte de la base o el techo de la Fm Sombrero (y equivalentes) se ha calculado de 7,5 km (10%), en el corte C-C´ a 11,75 km (15%), en el corte D-D´.

La estructura, en corte, de la sierra de Martín García y de la vertiente norte de la sierra de Bahoruco muestra una evidente asociación del plegamiento, incluida la franja frontal más deformada, a fallas inversas o cabalgamiento de alto ángulo.

En la sierra de Neiba, los cortes (Fig. 3.7) muestran la geometría dominante de sus pliegues, con ángulos entre flancos relativamente abiertos (120°) a algo cerrados (75°) y planos axiales subverticales o ligeramente vergentes al sur. El cambio de vergencia observado, desde el sinclinal de Vallejuelo hacia el norte, se intuye en la Hoja de Villarpando (cortes D-D´ y IX-IX´; Figs. 3.6 y 3.7). Una línea sísmica con buena resolución, realizada para la exploración petrolífera de la cuenca de San Juan (Fig. 3.11; Nemeč, 1980) resulta definitoria de la estructura del margen septentrional de la sierra de Neiba. En ella, los principales reflectores identificados en el seno de la cuenca resultan afectados, en el contacto con la sierra, por sucesivos cabalgamientos de alto ángulo que se verticalizan aún más en profundidad. Una observación adicional en esta línea es que las secuencias de relleno de la cuenca comprendidas entre estos reflectores apenas muestran acunamiento hacia este margen.

La estructura en corte de la sierra de Martín García responde a las mismas pautas que la sierra de Neiba y lo mismo se puede decir de la vertiente norte de la sierra de Bahoruco, donde incluso es más evidente la asociación del plegamiento, incluida la franja frontal más deformada, a fallas inversas o cabalgamiento de alto ángulo.

Fig. 3.11

Un análisis de las pautas cartográficas y de la evolución en planta de los pliegues y cabalgamientos y su relación con la fracturación, ya descritas en apartados anteriores, permite las siguientes observaciones: 1) los pliegues anticlinales presentan una geometría no cilíndrica, cónica, con doble inmersión de sus charnelas en corto espacio; 2) existe un relevo relativamente rápido de los pliegues; proporcionando una disposición escalonada de los mismos y de los cabalgamientos que los limitan contra fallas o sistemas de fallas que los interrumpen o desplazan asintóticamente hacia su traza; 3) muchos de los aparentes cabalgamientos finalmente se aprecia que tienen una importante componente como fallas con movimiento en dirección; 4) existe un gran desarrollo de varios sistemas de fallas con direcciones y sentidos de movimiento en general consistentes entre sí, aunque las relaciones de corte entre ellos muestran pautas complejas que revelan cambios en el sentido de movimiento a lo largo de su historia.

De acuerdo con lo anterior, la evolución estructural de la zona de estudio se explica bien en un contexto compresivo regulado por desgarres senestrales, es decir, en un contexto transpresivo levógiro. El modelo que se propone, al menos para los últimos estadios de la deformación, se recoge, de forma simplificada, en el esquema adjunto de la figura 3.10: Responde a un modelo sencillo de cizalla subvertical en régimen transpresivo (o de convergencia oblicua) senestral que, con dirección E-O y dimensiones regionales afectaría en su totalidad al ámbito de la zona de estudio durante un amplio lapso de tiempo, de acuerdo con los sedimentos sintectónicos asociados. La dirección de máximo esfuerzo, NE-SO, es aproximadamente normal a la traza de los pliegues y cabalgamientos principales y coincide con la obtenida por algunos autores mediante el análisis de la fracturación (Van den Berghe, 1983). Al tratarse de una región con una fuerte heterogeneidad litológica sometida a una deformación rotacional, es difícil clasificar cada una de las estructuras existentes y atribuirles con precisión a un determinado sistema dentro del citado modelo; no obstante, los atributos de las fracturas y la posición de los pliegues y cabalgamientos muestran un alto grado de acuerdo con la interpretación global. Los sistemas de fracturación se han interpretado cinemáticamente en la figura 3.10, con respecto a la dirección de la cizalla principal representada por la falla de Enriquillo, en los siguientes términos (Tchalencko 1968, Rutter *et al.*, 1986): sistema ENE-OSO, fallas de tipo R o Riedel sintéticas de primer orden; sistema NNO-SSE, fallas de tipo R' antitéticas de primer orden; sistema NNE-SSO, fallas de tipo X, antitéticas de segundo orden; sistemas ONO-ESE a E-O, fallas sintéticas de segundo orden subparalelas (D) o

ligeramente oblicuas (P) a la dirección de cizalla principal y con igual sentido de movimiento senestral que ella; también se identifican fallas normales NE-SO subparalelas a la dirección de máximo esfuerzo.

3.4.1. Edad de la deformación

La edad de la deformación en el ámbito de la zona de estudio y su entorno regional viene determinada por los siguientes eventos:

- En la Cordillera Central, el depósito esencialmente caótico de la Fm Ocoa, a partir del Eoceno Superior, en un surco fuertemente subsidente, se relaciona con la implantación de un frente activo como es el levantamiento y la aproximación del Arco de Islas Circum-Caribeño (Fm Tireo) hacia el suroeste. Comienza así la inversión de la cuenca trasera de arco de Trois Rivières-Peralta (Dolan et al. 1991; Díaz de Neira, 2000a; Hernaiz Huerta, 2000b; Hernaiz Huerta y Pérez-Estaún, 2002).
- Al norte de la cuenca de San Juan (Hoja de Bánica) existen discordancias progresivas relacionadas con los pliegues del margen meridional de la Cordillera Central.
- En la zona específica de estudio no hay evidencias de deformación hasta, al menos el Mioceno Superior, coincidiendo con el depósito de la Fm Trinchera. No obstante, la deformación fue suave, en forma de pequeños umbrales, como demuestra el hecho de que las mismas facies turbidíticas que caracterizan esta formación en el centro de la cuenca de San Juan, también se encuentren en algunos sinclinales de la sierra de Neiba.
- La deformación principal en la zona de estudio ocurre a partir del Plioceno Inferior-Medio con el levantamiento continuado de las sierras de Neiba, Batoruco y Martín García y su cabalgamiento sobre la cuenca de Enriquillo. El análisis de la subsidencia de la cuenca mediante la descompactación de la columna de sedimentos registrada en el sondeo Charco Largo (Mann *et al.*, 1999) refleja el primer impulso tectónico, ya mencionado, correspondiente al depósito de la Fm Trinchera y a la parte baja de la Fm Angostura; posteriormente, a este impulso principal, la deformación proseguiría durante el depósito de las formaciones Arroyo Blanco (Las Salinas) y Jimaní. Estas formaciones constituyen el relleno principal en el sector central de la cuenca, con un espesor total cercano a los 3.000 m y en los márgenes de la cuenca,

llevan asociadas tectofacies conglomeráticas que proceden directamente de la denudación de las sierras limítrofes. Aunque es muy posible que estas tectofacies se desarrollaran a lo largo de la totalidad de sus respectivas secuencias, parece que se concentran principalmente a techo de las mismas (Fm Arroyo Seco a techo de la Fm Arroyo Blanco y conglomerados rojos de la unidad superior de la Fm Jimaní). Los conglomerados rojos de la unidad superior de la Fm Jimaní parecen enrasar, en la sierra de Bahoruco, con una primera superficie de erosión a la que estarían ligados fenómenos de alteración y karstificación a gran escala.

- La deformación y el levantamiento han continuado durante todo el Holoceno hasta la actualidad, como pone de manifiesto la superposición y el encajamiento de varios sistemas de abanicos aluviales al pie de las sierras, en general progradantes hacia el centro de la cuenca o la emersión de los arrecifes cuaternarios del ámbito de playa Andina.

4. GEOMORFOLOGÍA

4.1. Análisis geomorfológico

En el presente apartado se trata el relieve desde un punto de vista puramente estático, entendiendo por tal la explicación de la disposición actual de las distintas formas, pero buscando al mismo tiempo el origen de las mismas (morfogénesis). Se procede a continuación a la descripción de las distintas formas diferenciadas en la Hoja, cuya representación aparece plasmada en el Mapa Geomorfológico a escala 1:100.000 de Neiba (5971), atendiendo a su geometría, tamaño y génesis; el depósito que acompaña a algunas de estas formas (formaciones superficiales) es tratado en el apartado correspondiente a la estratigrafía de los materiales cuaternarios.

El análisis morfológico puede abordarse desde dos puntos de vista: morfoestructural, en el que se analiza el relieve como consecuencia del sustrato geológico, en función de su litología y su disposición tectónica; y morfogenético, considerando las formas resultantes de la actuación de los procesos externos.

4.1.1. Estudio morfoestructural

Como ya se ha señalado, el relieve de la Hoja está condicionado fundamentalmente por su pertenencia a los grandes dominios morfoestructurales de la hoya de Enriquillo, el valle de San Juan y, especialmente, la sierra de Neiba.

Aquí, la sierra de Neiba se estructura como un gran antiforme de orientación E-O, que en detalle se resuelve mediante una sucesión de pliegues de dirección aproximada E-O desarrollados sobre una potente serie carbonatada paleógeno-miocena. En los sectores meridional y nororiental cabalga sobre el conjunto detrítico plio-cuaternario de la hoya de Enriquillo y del valle de San Juan, respectivamente, si bien en el primer caso la destacada acción de los desgarres de dirección E-O relacionados con la falla de Enriquillo han modificado la geometría original.

Pese al aspecto de extraordinaria monotonía que ofrece la hoya de Enriquillo en general, dentro de la Hoja muestra ciertas variaciones con respecto a su fisonomía más típica; la mayor parte consiste en un extenso valle colgado (valle de El Granado) en el que se ha encajado el valle del río Yaque del Sur. El valle de San Juan aparece como una depresión tectónica por la que discurre el Yaque, a través de una ancha llanura aluvial.

Así pues, el relieve de la zona está condicionado en gran medida por la naturaleza y la disposición de los materiales que la conforman. Por una parte, los materiales de la sierra están afectados por frecuentes escalonamientos debidos a la acción de fallas, facilitando éstas el encajamiento de numerosos segmentos de la red de drenaje y el desarrollo de los procesos gravitacionales. Por lo que respecta a las depresiones, abundan los relieves estructurales, manifestados como capas deformadas en el caso del conjunto pliocuaternario; mención aparte merece el variado cortejo de formas fluviales asociadas al valle del Yaque del Sur.

La red hidrográfica se articula en torno al Yaque del Sur, que discurre a través del valle de San Juan siguiendo la máxima pendiente regional, rodea la sierra de Neiba mediante un brusco giro y penetra en la hoya de Enriquillo atravesando los moderados relieves existentes en la zona de enlace entre ambas depresiones, buscando finalmente la bahía de Neiba.

La red de drenaje se adapta a la directriz estructural de las zonas montañosas tan sólo en algunos segmentos, destacando en este sentido el arroyo Blanco, pues su discurrir tiene lugar principalmente transversalmente a ella, a favor de la fracturación secundaria. Los cursos de la vertiente meridional poseen un marcado carácter consecuente, fluyendo de forma directa hacia la hoya de Enriquillo; su erosión remontante ha provocado la captura de valles y depresiones intramontañosas como la de Cabeza de Toro por el arroyo Hato Viejo. En el sector montañoso se observan cursos de carácter obsecuente, destacando entre éstos el río Los Baos.

4.1.1.1 Formas estructurales

Se encuentran diseminadas por todo el ámbito de la Hoja, condicionando en buena medida la morfoestructura tanto de la sierra como de las depresiones. En el caso de la sierra predominan las formas relacionadas con estructuras tectónicas, en tanto que en el de las depresiones se aprecia una gran abundancia de las formas relacionadas con las características litológicas de la serie aflorante.

La densa red de fracturación tiene una clara expresión morfológica, especialmente en relación con las elevaciones montañosas, aunque su principal manifestación es su límite con las planicies. También se refleja claramente por el encajamiento de la red fluvial en algunos de sus tramos y por la existencia de fuertes desniveles.

Las *fallas con expresión morfológica* se agrupan en torno a dos familias principales: NO-SE y E-O. Las primeras son muy abundantes en el seno de la sierra de Neiba, condicionando su estructura interna por distorsión de la estructura general de

plegamiento. En cuanto a las segundas, destacan las que integran la zona de falla de Enriquillo, que constituye el límite entre la sierra de Neiba y la depresión. Poseen una tipología variada, observándose *fallas normales, inversas y en dirección*, de longitud decakilométrica en algunos casos. Con frecuencia, algún rasgo morfológico parece estar condicionado por una falla sin que se tenga la total certeza de su existencia o bien parecen encontrarse bajo depósitos cuaternarios sin afectarlos, habiéndose representado en ambos casos como *fallas supuestas*.

Pese a la elevada velocidad con la que la meteorización elimina o enmascara algunas formas, existen diversos rasgos derivados de la acción de fallas, entre ellos *escarpes de falla degradados y facetas triangulares de escarpe de falla*.

En algunas áreas, especialmente el valle del Yaque del Sur y la depresión de El Caney, también han adquirido notable desarrollo las morfologías relacionadas con la distinta resistencia a la meteorización ofrecida por los materiales aflorantes; entre ellas abundan los resaltes de *líneas de capa monoclinales* acompañadas de *escarpes* de las formaciones Trinchera y Arroyo Blanco. También en capas plegadas se observan: *relieves conformes sinclinales*, como el de la loma del Charco Azul; *superficies estructurales*, asociadas a los niveles calcáreos del Mb Loma de Patilla y otros resaltes de la Fm Sombrerito, en ocasiones *degradadas* y generalmente con *buzamientos moderados*; y *chevrons*, configurados por sucesiones de resaltes de capas monoclinales.

4.1.1.2 Formas volcánicas

Se encuentran representadas exclusivamente por los relieves del cerro Los dos Hermanos, *centro de emisión* perteneciente a la provincia volcánica de Yayas de Viajama. Pese a su cubierta vegetal, su morfología es evidente, con una forma cónica que se eleva más de 300 m sobre la llanura aluvial del Yaque del Sur.

4.1.2. Estudio del modelado

La acción de los agentes externos sobre dominios tan contrastados como la sierra de Neiba y las depresiones de Enriquillo y San Juan, tiene como resultado una expresión sensiblemente diferente. Así, el modelado de las sierras es el producto de una larga evolución presidida por los procesos sedimentarios y tectónicos acaecidos a lo largo del Terciario principalmente, generadores de un relieve positivo sobre el que han actuado, con mayor o menor efectividad, diversos agentes morfogenéticos

encaminados a la destrucción o modelado de dichos relieves, destacando los de carácter fluvial y gravitacional.

En el caso de la hoya de Enriquillo y del valle de San Juan, puede considerarse que la creación de su fisonomía básica se inició con la deformación de la serie plio-pleistocena constituyente del relleno de las cuencas del mismo nombre. Con posterioridad, la evolución reciente ha estado presidida por el encajamiento del Yaque del Sur, cuyos depósitos han tenido un notorio efecto en el sector oriental de la hoya de Enriquillo.

Además de los anteriores, también han participado en mayor o menor medida en la construcción del relieve actual los procesos endorreicos, de meteorización química y poligénicos.

4.1.2.1 Formas gravitacionales

Su presencia en la sierra de Neiba, se ve favorecida por los importantes desniveles existentes. Pese a ello, se trata de formas efímeras, ya que la propia dinámica de retroceso de las vertientes provoca su permanente evolución.

Las más extendidas son los *deslizamientos*, generados como consecuencia de las elevadas pendientes y precipitaciones, así como de la ocurrencia de eventos sísmicos; pese a la elevada velocidad de meteorización y al rápido crecimiento de la vegetación, que hacen que sus *cicatrices* queden rápidamente enmascaradas, dificultando su reconocimiento, son varios los ejemplares cartografiados observados. Menor representación poseen los *coluviones*, formados como respuesta al desequilibrio provocado en las laderas por la erosión fluvial. En el ámbito de los cerros del Rincón de la Palma son frecuentes las *caídas de bloques*, que en algunos casos configuran *vertientes de bloques*; aunque la práctica totalidad de la zona montañosa es susceptible de sufrir este tipo de fenómenos, prácticamente no se han hallado zonas cuyas dimensiones permitan su cartografía.

4.1.2.2 Formas fluviales

Son con mucho las más extensamente representadas y las más ampliamente distribuidas. Aunque abundan en el ámbito montañoso, es en las depresiones donde adquieren un notable desarrollo: por una parte, poseen una gran representación a lo largo del valle del Yaque del Sur; al que se asocian depósitos de fondo de valle, llanura de inundación, barras, cauces y meandros abandonados y terrazas; por otra,

adquieren una notable extensión los abanicos aluviales y conos de deyección que orlan los principales relieves y tapizan buena parte de los valles existentes.

Los *fondos de valle* y los *fondos de cañada torrencial* son el principal testimonio de la actividad sedimentaria de la red fluvial actual, habiéndose diferenciado en base a su funcionamiento y tipo de depósito. Predominan con mucho las cañadas de dinámica torrencial, habiéndose representado como fondos de valle los cursos de régimen permanente. En general, se trata de formas estrechas y alargadas coincidentes con el canal de estiaje.

El fondo de valle más destacado es el del río Yaque del Sur, que avanza por el valle de San Juan, girando bruscamente fuera de los límites de la Hoja para adentrarse en la hoya de Enriquillo; discurre con un carácter más o menos divagante en el seno de una banda de anchura kilométrica que constituye la *llanura de inundación*; dicho carácter se incrementa aguas abajo. En algunos tramos se observa más de un *cauce*, reconociéndose *barras*, en ocasiones con *cicatrices de acreción lateral*, y estrechas bandas serpenteantes, correspondientes a *cauces y meandros abandonados*, que pueden ser *inundados temporalmente*.

El cortejo de formas con depósito del Yaque se completa por su sistema de *terrazas*, en el que se reconocen diversos niveles que arbitrariamente han sido incluidos en tres grupos: terrazas altas, con cotas superiores a +60 m sobre el cauce actual; terrazas medias, dispuestas a cotas de +20-60 m; y terrazas bajas, con cotas inferiores a +20 m. Pueden aparecer con dispositivos colgados, frecuentes en los niveles más elevados, o solapados, comunes entre los niveles más bajos, estando limitadas generalmente por un marcado *escarpe* hacia el valle.

Además de las formas ligadas con el sistema deposicional del Yaque, cabe señalar las del río Los Baos, que discurriendo por la depresión de El Caney, gira hacia el norte hasta penetrar en el valle de San Juan; aunque con mucha menor entidad que en el caso del Yaque, posee llanura de inundación y terrazas. Entre los fondos de cañada torrencial, cabe señalar el de los arroyos Blanco y El Puerto, tanto por su longitud como por su anchura.

Los *conos de deyección* y los *abanicos aluviales* tienen una notable representación, especialmente en el borde meridional de la sierra de Neiba, sin olvidar los existentes en la depresión de Vallejuelo-El Caney. Se forman en la confluencia de los elementos de la red fluvial con áreas menos encajadas, en las cuales la carga transportada por aquéllos pierde su confinamiento, expandiéndose; cuando los ápices se encuentran

próximos entre sí, se producen formas coalescentes. En algunos casos, alcanzan longitudes superiores a 4 km con respecto al ápice, destacando por sus dimensiones los localizados al este de El Granado. En base a sus características geométricas y su cronología se han diferenciado tres sistemas principales.

El sistema más antiguo se localiza entre la loma El Saltadero y el paraje de Calero. Sus afloramientos dan lugar a ligeros resaltes dentro del suave relieve configurado por los sistemas de conos y abanicos más modernos que configuran el valle localizado al este del Granado; en el extremo oriental de éste se conservan ápices que señalan su procedencia de la sierra de Neiba. El aspecto poco incidido que presentan en este valle contrasta fuertemente con el que ofrecen desde el sur y sureste, donde aparecen colgados más de 100 m con respecto al cauce del Yaque, a tan sólo 2 km de distancia. Se encuentran afectados por fallas de dirección E-O relacionadas con la zona de falla de Enriquillo.

El sistema intermedio engloba probablemente diversas generaciones imposibles de correlacionar debido a la desconexión de la mayoría de los conos, caracterizándose por mostrar un retoque erosivo que, aunque variable de unos cuerpos a otros, indica que ya no son funcionales. Por su parte, el sistema más moderno agrupa los dispositivos potencialmente activos, como se deduce de su mínimo retoque erosivo.

Entre las formas erosivas predomina la *incisión lineal*, ampliamente distribuida por las zonas montañosas, donde su intensidad ha dado lugar a *barrancos*, *cañones* y *desfiladeros*. También son frecuentes las *aristas*, reconociéndose en menor medida *divisorias montañosas redondeadas*, posiblemente relacionadas con antiformes. La notable erosión remontante ha dado lugar a *capturas*, destacando la de la depresión endorreica de Cabeza de Toro, así como al abandono de *valles colgados*, como ocurre a gran escala con el localizado al este de El Granado, y al retroceso de algunas *divisorias montañosas*, de entre las que destaca la que separa la hoya de Enriquillo del valle de San Juan (aunque en su génesis probablemente hayan intervenido otros procesos morfogenéticos), conservándose restos de su trazado *antiguo*.

La *erosión lateral* del cauce es casi una constante en los segmentos más curvados del Yaque del Sur. Completan las formas fluviales de carácter erosivo las *cárcavas*, que con frecuencia dan lugar a *áreas acaravadas*, cuyo principal desarrollo se encuentra asociado con afloramientos de las formaciones Trinchera y Arroyo Blanco.

4.1.2.3 Formas lacustres y endorreicas

Aparecen representadas principalmente por el área endorreica de la depresión de Cabeza de Toro, de más de 4 km de eje mayor, situada en el interior de la sierra de Neiba y capturada por el arroyo Hato Viejo; no debe descartarse que las depresiones de El Caney y Guanarate hayan sufrido una evolución similar.

Además de la depresión endorreica señalada, pertenecen a este grupo dos formas menores: la *laguna* de El Caney, de espesor de orden hectométrico y elevada más de 100 m con respecto a la depresión del mismo nombre, instalada sobre materiales margosos de la Fm Sombrerito; y los pequeños *ojos de agua* del paraje de Calero, generados por descargas subterráneas procedentes de la sierra de Neiba.

4.1.2.4 Formas poligénicas

Se incluyen en este grupo las formas cuya morfogénesis puede atribuirse a la acción simultánea o sucesiva de más de un proceso genético. Una vez más, se concentran principalmente en las sierras, donde la velocidad de los procesos erosivos hace que su conservación sea efímera.

Los *escarpes* poseen la mayor representación, con desniveles muy variables, pero que pueden sobrepasar 200 m en algunos puntos de la sierra de Neiba; su génesis se debe a la acción combinada de procesos fluviales, tectónicos y gravitacionales, en proporción variable según los casos. El estilo morfoestructural regional de la sierra en este sector, con predominio de las cumbres de formas suaves y subredondeadas, hace que escaseen los relieves que puedan considerarse *picos principales*, localizándose los más destacados en la sierra de Neiba, a lo largo de la divisoria que separa el valle de San Juan y la hoya de Enriquillo, destacando la loma La Mesa (823 m) y el pico del paraje de Naranjo Dulce (990 m), que constituye la mayor elevación de la Hoja.

Casi con carácter anecdótico, debido a sus reducidas dimensiones, se ha reconocido un reducido número de *cerros cónicos*, generados como respuesta a procesos de erosión selectiva.

4.2. Evolución e historia geomorfológica

Aunque evidentemente la morfología de la región está influenciada en última instancia por los procesos sedimentarios acaecidos a lo largo del Paleógeno, su fisonomía actual se ha perfilado fundamentalmente y de un modo continuo desde el Mioceno. No obstante, pueden visualizarse dos etapas de su historia diferenciadas por la velocidad

e intensidad de los procesos tectónicos acaecidos: la primera, durante el Mioceno, en el que la deformación transpresiva, en la parte suroccidental de La Española, estableció la distribución de cordilleras y depresiones visibles hoy día (sierras de Neiba, Martín García y Bahoruco y cuencas de Enriquillo y San Juan); y la segunda, ya en el Cuaternario, cuando el relleno plio-cuaternario de las cuencas fue deformado de acuerdo con la geometría actual.

La superposición de ambas etapas estableció el diseño regional básico sobre el que ha actuado el modelado reciente, diseño basado en la presencia de las sierras de Neiba y Martín García entre el valle de San Juan y la hoya de Enriquillo. Con carácter efímero en la zona, se produjo a comienzos del Cuaternario un evento volcánico, manifestado de forma más extensa y duradera en el ámbito de la cordillera Central. La evolución holocena ha estado condicionada principalmente por la actividad neotectónica, que ha producido una tendencia regional ascendente, y por los procesos fluviales, que no sólo han llevado a cabo una importante labor de incisión en las áreas montañosas, sino que con su faceta sedimentaria han provocado drásticos cambios en la fisonomía de la hoya de Enriquillo, especialmente señalados por la retirada marina hacia la actual bahía de Neiba y el subsiguiente desarrollo de los procesos lacustres en el sector occidental.

A comienzos del Holoceno, la depresión de Enriquillo constituiría un entrante marino desde la bahía, en tanto que, simultáneamente, el río Yaque del Sur discurriría hacia el sureste a través del valle de San Juan hasta alcanzar la bahía de Ocoa. Las sierras de Neiba y Martín García ya habrían adquirido prácticamente su configuración actual, mediante la acción conjunta de la disolución kárstica, el encajamiento de la red fluvial, el desarrollo de superficies de erosión y la actividad neotectónica, manifestada especialmente por el desnivelamiento y el desplazamiento horizontal de bloques. Las sierras de Neiba y Martín García se encontrarían separadas por el valle de El Granada, tapizado por el sistema de abanicos más antiguos, valle que a su vez se encontraría elevado con relación al río Yaque y al entrante marino.

Bajo este dispositivo tuvo lugar el acontecimiento fundamental de la evolución regional reciente, cuando el río Yaque del Sur, por razones aún no convenientemente aclaradas (actividad de la falla de Enriquillo, perturbaciones debidas a la indentación del *ridge* de Beata en el ámbito de la bahía de Ocoa o captura por un elemento fluvial de la cuenca de Enriquillo, entre las causas posibles), abandonó su curso bajo en la Llanura de Ázua, pasando a discurrir entre las sierras de Martín García y Neiba, mediante un brusco giro en torno al cierre oriental de ésta (De la Fuente, 1976).

El principal resultado de la modificación del curso bajo del Yaque del Sur fue la irrupción de su sistema deltaico en el entrante marino de la depresión de Enriquillo. La ingente cantidad de sedimentos asociados con el delta provocaron la desconexión entre la bahía de Neiba y el sector occidental del entrante, convertido desde entonces en la cuenca lacustre del lago Enriquillo. El complejo arrecifal abandonado allí, se configuró como una superficie estructural de la que arrancaría el encajamiento lacustre, incrementado de una forma paulatina por razones climáticas. Además, durante este periodo, la activa erosión e incisión desencadenada por la captura del Yaque ha dejado colgado el valle de El Granado sobre aquél.

Tras este episodio, la red de drenaje ya habría esbozado su geometría general, basada en cursos fuertemente encajados en el ámbito de las sierras, proceso facilitado en buena medida por la actividad kárstica y neotectónica.

Además, la actividad de las áreas montañosas, liderada por el encajamiento de la red fluvial y la actividad neotectónica, desencadenó el desarrollo de una extensa orla de abanicos aluviales y conos de deyección. Simultáneamente, se ha producido una notable erosión remontante favorecida por la existencia de líneas de debilidad estructural, cuya principal expresión es el retroceso hacia el norte de algunos segmentos de la divisoria montañosa localizada entre el valle de San Juan y la hoya de Enriquillo.

Como principales motores en la futura evolución de la red, deben tenerse en cuenta: la influencia de las fallas relacionadas con la elevación general de las sierras, al menos desde el Plioceno; las posibles modificaciones del nivel de base en la bahía de Neiba; el retroceso de las vertientes; la erosión remontante y las posibles capturas derivadas de ella; los retoques producidos en las zonas montañosas por los fenómenos kársticos; y la actividad gravitacional de las vertientes.

5. HISTORIA GEOLÓGICA

La historia geológica de la Hoja de Villarpando (Fig. 5.1) se enmarca dentro de la evolución general del dominio suroccidental de La Española, entendiendo como tal el territorio situado al suroeste de la falla de San Juan-Los Pozos, accidente considerado como límite meridional de la cordillera Central. Dicha evolución posee una personalidad propia a lo largo del Cretácico y del Paleógeno, si bien a partir del Mioceno se ve influida por los acontecimientos ocurridos en la cordillera.

Aunque en el ámbito de las cordilleras Central y Oriental ha podido establecerse una historia geológica para el Cretácico Inferior, lo acontecido en la región suroccidental a lo largo de dicho periodo es más difícil de establecer. A partir del Cretácico Superior, la historia geológica de La Española es, a grandes rasgos, el resultado de la interacción entre las placas Norteamericana y Caribeña; aunque el límite entre ambas ha sufrido modificaciones en su régimen debido a los cambios de orientación de sus desplazamientos relativos, se ha llevado a cabo bajo un contexto general de convergencia.

Pese a que la actividad tectónica y sedimentaria en el área de estudio ha sido un acontecimiento prácticamente constante a partir del Paleógeno, su evolución a lo largo del tiempo permite diferenciar tres etapas principales:

- Paleógeno-Mioceno, definido por la sedimentación carbonatada de una extensa cuenca marina.
- Mioceno superior-Pleistoceno, caracterizado por una restricción del área sedimentaria, reducida al ámbito de las cuencas actuales y llevada a cabo bajo una progresiva tendencia somerizante.
- Holoceno, durante el cual la intensa actividad de la región (continuando con la deformación previa) ha desencadenado una importante modificación de la estructura hidrográfica regional, así como en la geometría del litoral, hasta alcanzar la fisonomía observable hoy día.

Fig. 5.1

Los registros más antiguos, aunque muy precarios, sugieren que en el Cretácico Superior la región formaba parte de la meseta oceánica caribeña (Pindell y Barret, 1990), ya que en la sierra de Bahoruco se reconocen basaltos toleíticos de fondos oceánicos y calizas pelágicas con niveles de cherts (Fm Río Arriba; Llinás, 1972), en la sierra de Neiba, la unidad de El Manguito está integrada por calizas y lutitas pizarrosas subordinadas de ambientes marinos abiertos.

5.1. La cuenca paleógena

La ausencia de depósitos paleocenos impide precisar la secuencia de acontecimientos seguida entre el cese de la actividad magmática de la meseta oceánica y el comienzo de la sedimentación paleógena. Ésta se produjo en el contexto de una extensa cuenca carbonatada, subsidente y afectada por un régimen de desgarres relacionado con la apertura de la fosa de Caimán. Las variaciones sedimentarias a lo largo del tiempo estarían provocadas por los cambios batimétricos, siendo interrumpidas por esporádicas emisiones volcánicas de afinidad alcalina.

La sedimentación paleógena dio comienzo probablemente durante el Eoceno, mediante el depósito de la Fm Plaisence en el ámbito de la sierra de Bahoruco y de la Fm Neiba, en el de la sierra del mismo nombre. La estabilidad de la cuenca se vio perturbada a mediados del Eoceno debido a la emisión de productos volcánicos de naturaleza alcalina, proceso que se repetiría nuevamente, aunque con menos intensidad, en periodos posteriores. Tras este periodo de inestabilidad, se generalizó el depósito de la Fm Neiba, con la región configurada como una extensa y uniforme cuenca subsidente de afinidad pelágica.

La homogeneidad de las facies de la Fm Neiba en las sierras de Bahoruco, Neiba y Martín García parece indicar que durante el Paleógeno formaban parte de una misma cuenca y que los importantes accidentes estructurales que afectan hoy en día al dominio suroccidental de La Española han sido generados posteriormente o que, al menos, permanecieron inactivos durante el Paleógeno.

Esta notable uniformidad se truncó a comienzos del Mioceno, de tal forma que el sector oriental constituiría una llanura submarina que recibiría aportes de naturaleza turbidítica, denunciando síntomas de la inestabilidad del borde activo constituido al noreste por la cordillera Central. Su resultado son las potentes acumulaciones de la típica Fm Sombrerito, a diferencia de los sectores occidental y meridional, donde la sedimentación miocena se llevó a cabo en condiciones carbonatadas más someras, dando lugar al depósito del Mb Barahona (de la Fm Sombrerito). Los signos de

actividad en el borde se acentuaron a finales de dicho periodo, como sugieren los aportes terrígenos intercalados en el depósito del Mb Gajo Largo, precursores de la llegada masiva posterior.

5.2. Las cuencas neógenas

La abundancia de datos relativos a los materiales neógenos y cuaternarios permite mayores precisiones paleogeográficas que en el caso de las etapas anteriores, si bien aún permanecen algunas imprecisiones, como la correlación de la Fm Lemba, la relación de la Fm Angostura con las formaciones Trinchera, Quita Coraza y Arroyo Blanco, la de ésta con la Fm Arroyo Seco y la génesis de los eventos volcánicos cuaternarios. La extensa cuenca marina paleógena se quebró a finales del Mioceno debido a la colisión entre el dominio suroccidental de La Española y el constituido por el resto de la isla, produciendo la mayor transformación paleogeográfica de la historia cenozoica de la región, con la creación de las cuencas y cordilleras observables hoy en día.

A partir de este momento, el flanco suroccidental de la cordillera Central actuó como un frente activo, mediante el avance de un cinturón de pliegues y cabalgamientos (Cinturón de Peralta; Dolan, 1989) hacia las cuencas de San Juan y Ázua, que constituirían su cuenca de antepaís; el avance del frente no sólo provocó el ascenso de la cordillera, sino también la restricción y somerización de las áreas de sedimentación, además de una diacronía en el registro sedimentario de los diversos sectores. En algunas áreas, este esquema evolutivo general se vio modificado por el desarrollo de otros dos acontecimientos de envergadura geodinámica: los desgarres de dirección E-O generados como consecuencia de la convergencia oblicua entre las placas Norteamericana y Caribeña y la aproximación de la cresta oceánica de Beata desde el suroeste, cuyos efectos se han sentido especialmente en el extremo oriental de la región.

El ascenso y avance de la cordillera Central provocó la irrupción en la cuenca de ingentes cantidades de materiales terrígenos mediante dispositivos turbidíticos y deltaicos correspondientes a la Fm Trinchera, que a pesar del obstáculo que configurarían ya las incipientes sierras de Neiba y Martín García, conseguirían llegar a la cuenca de Enriqueillo por la vía existente entre ambas.

Las potentes acumulaciones de la Fm Trinchera tendieron a nivelar las áreas sedimentarias, en las que se generalizarían los ambientes someros, de tal forma que a comienzos del Plioceno la cuenca correspondería a una plataforma poco profunda

salpicada por diversos relieves emergidos. Con el ámbito de las cuencas de Ázua y San Juan configurando una amplia bahía, se produciría el depósito de la Fm Quita Coraza coincidiendo con un periodo de cierta estabilidad, confirmada por el desarrollo inmediatamente posterior de complejos arrecifales. Simultáneamente, en el sector de la cuenca de Enriquillo se darían las condiciones climáticas y geográficas necesarias para el depósito evaporítico de la Fm Angostura.

La tendencia somerizante en las cuencas y de elevación de las cadenas montañosas prosiguió a lo largo del Plioceno, con las cuencas dispuestas bajo un contexto litoral, en tanto que los sistemas montañosos alcanzaron prácticamente su configuración actual. La inestabilidad regional dio lugar a nuevos aportes procedentes de la cordillera Central, característicos de la Fm Arroyo Blanco; los sistemas deltaicos iniciales serían sustituidos paulatinamente por la progradación hacia el sur de sistemas aluviales, generalizados a finales del Plioceno en las cuencas de San Juan y Ázua con motivo del depósito de la Fm Arroyo Seco y que pueden considerarse los antecesores directos de los sistemas aluviales que orlan actualmente las áreas montañosas.

Simultáneamente, la cuenca de Enriquillo seguiría sometida a condiciones marinas, configurándose como un estrecho que uniría las bahías de Neiba y Puerto Príncipe, flanqueado por las sierras de Neiba, Martín García y Batoruco. El depósito de la Fm Jimaní durante el intervalo Plioceno-Pleistoceno se caracterizó por la alternancia entre niveles carbonatados de afinidad marino-litoral y niveles conglomeráticos de afinidad aluvial, indicando que los diversos intentos de estabilización de la cuenca a lo largo de este periodo, puestos de manifiesto por el desarrollo de ambientes arrecifales y lagunares, serían abortados por las perturbaciones sufridas en sus bordes, principalmente por la acción de los sistemas de desgarres asociados a ellos, de entre los que destaca la zona de falla de Enriquillo.

La deformación debida al avance de la cordillera Central ha perdurado hasta el Cuaternario, como denuncian tanto el acusado plegamiento de la Fm Jimaní como el cabalgamiento de la cordillera sobre la Fm Arroyo Seco, pero otros factores han dado lugar a fenómenos de gran relevancia igualmente. Por una parte, el avance del *ridge* de Beata hacia la bahía de Ocoa, produjo el arqueamiento y la posterior ruptura de las estructuras del ámbito de la bahía, especialmente en el caso del extremo oriental de la sierra de Martín García, actualmente dispuesto en fragmentos en torno al litoral de la Llanura de Ázua (Díaz de Neira, 2002).

También desde finales del Plioceno y tal vez en relación con el avance del *ridge*, dio comienzo uno de los fenómenos más característicos y complejos de la historia reciente, con el desarrollo de un intenso volcanismo de afinidad geoquímica heterogénea en el ámbito de la cordillera Central y la cuenca de San Juan. Inicialmente, ambos dominios registraron la emisión de productos calcoalcalinos, cuyas manifestaciones más tardías coexistieron con las emisiones alcalinas de la cuenca de San Juan, de menor duración.

5.3. La evolución holocena

La evolución holocena ha estado presidida por la acción de procesos externos de notable envergadura, sin que ello implique el cese de la actividad tectónica de esta región.

A comienzos del Holoceno las cuencas de Enriquillo y San Juan se desarrollarían bajo condiciones sensiblemente diferentes (Fig. 5.2). La primera persistiría como un estrecho marino colonizado por bioconstrucciones, en tanto que la segunda se desarrollaría en un contexto continental presidido por la actividad fluvial del río Yaque del Sur, que recogiendo todos los drenajes de su amplia cuenca, desembocaría en la bahía de Ocoa. Simultáneamente, la actividad de las sierras de Neiba, Batoruco y Martín García se desarrollaría principalmente mediante la activa incisión de la red fluvial, la creación de desnivelamientos provocados por la acción neotectónica y, en las áreas asociadas a las litologías más favorables, una intensa actividad kárstica.

El acontecimiento decisivo en la evolución de la región sobrevino con la llegada del río Yaque del Sur a la cuenca de Enriquillo, con el consiguiente abandono de la bahía de Ocoa. Aunque las causas de este hecho no han sido convenientemente aclaradas, probablemente la captura desencadenante del proceso haya sido favorecida por la acción de la falla de Enriquillo o por las modificaciones producidas en el entorno de la bahía debido al avance de la cresta oceánica de Beata. Si bien en el caso del valle de San Juan no se han producido modificaciones aguas arriba de la captura y la evolución ha seguido presidida por la dinámica del Yaque del Sur, los cambios acaecidos en la cuenca de Enriquillo han sido notables.

Fig. 5.2

La irrupción del río en el sector oriental del estrecho dio lugar a su invasión por un amplio delta que a partir de ese momento ha impedido la conexión entre el sector occidental y la actual bahía de Neiba. Privada de su conexión con el mar Caribe, la depresión occidental se convirtió en el lago Enriquillo, que posteriormente ha sufrido una tendencia al encajamiento, fundamentalmente por razones climáticas. En el sector oriental, el delta alcanzó el borde septentrional de la sierra de Bahoruco, pero la interposición de una serie de relieves menores ha dejado fuera de su influencia una pequeña depresión, a modo de “zona de sombra”, que ha permitido la instalación de la laguna del Rincón.

Actualmente, la región está sometida a una dinámica muy variada, destacando la acción fluvial, especialmente en relación con el río Yaque del Sur, lacustre y endorreica, principalmente en la hoya de Enriquillo, y kárstica, ligada a los materiales carbonatados de las sierras.

6. GEOLOGÍA ECONÓMICA

6.1. Hidrogeología

6.1.1. Hidrología y climatología

El clima en el territorio ocupado por la Hoja de Villarpando presenta características netamente contrastadas entre la sierra de Neiba, por una parte, y la hoya de Enriquillo y el valle de San Juan, por otra. La temperatura media anual en las depresiones varía entre 25,0°C (San Juan) y 26,8°C (Tamayo), con máximas medias que varían entre 30,5 y 32,3°C, respectivamente, y mínimas medias de 19,5 °C (San Juan) a 21,4°C (Tamayo). En el caso de las precipitaciones medias anuales, varían desde los 446 mm del sector meridional (Tamayo) hasta los 979 mm del septentrional (San Juan). En la sierra de Neiba, la temperatura media anual disminuye, sirviendo de referencia los 23,1°C de El Cercado, donde las medias máximas son de 30,3°C y las mínimas medias de 16,0°C; en cuanto a la precipitación media anual, aumenta hasta 1.069 mm.

En general, el régimen de lluvias es de tipo bimodal, con una época lluviosa en primavera (meses de mayo y junio) y en verano-otoño (desde agosto hasta noviembre) y con sequía en el invierno y en julio. En cuanto a la temperatura, el periodo más caluroso corresponde a los meses de julio y agosto y el más fresco, a los meses de enero y febrero.

La evapotranspiración potencial anual media es de 1.431,9 mm (San Juan), valor que, al ser comparado con los de las precipitaciones, indica un evidente déficit hídrico para el ámbito de la depresión.

El déficit hídrico es compensado por las aportaciones del río Yaque de sur, principal curso fluvial de la zona, que recoge los drenajes de una buena parte de la cordillera Central y de la sierra de Neiba. Ésta se encuentra surcada por una red de ríos, arroyos y cañadas, generalmente de carácter estacional, que en ocasiones sufren pérdidas de drenaje al alcanzar la hoya de Enriquillo.

El río Yaque sufre una progresiva disminución de su caudal hacia su curso bajo, con 42,67 m³/s en la estación hidrométrica de Villarpando y 26,44 m³/s en la de Conuquito (Hoja de Vicente Noble, 5971-III). Las pérdidas no sólo se producen por la alta evaporación de la zona y por los procesos de infiltración, sino también por las frecuentes extracciones mediante acequias y canales, cuyo fin principal es el regadío de los extensos cultivos de la zona.

6.1.2. Hidrogeología

En el cuadro adjunto (Fig. 6.1) se resumen las unidades o agrupaciones hidrogeológicas consideradas en la Hoja de Villarpando, ajustadas a las tipologías hidrogeológicas establecidas en el esquema hidrogeológico simplificado del valle de Enriquillo realizado por ACUATER (2000a) dentro del Estudio Hidrogeológico Nacional a partir de las cartografías geológicas previas (Fig. 6.2); los datos aportados en él han servido de base para la elaboración del presente apartado. En el cuadro citado, se describe, para cada unidad o agrupación hidrogeológica, su litología predominante, el grado y tipo de permeabilidad y, en su caso, las características de los acuíferos que albergan, además de algunas observaciones puntuales. Las tipologías hidrogeológicas diferenciadas son:

- *Formaciones porosas, sede de acuíferos de permeabilidad alta y muy productivos:* depósitos fluviales, destacando los asociados con el río Yaque del Sur, y depósitos gruesos de abanicos y conos aluviales.
- *Formaciones porosas, sede de acuíferos de permeabilidad variable y productividad baja:* resto de depósitos cuaternarios, sin acuíferos significativos.
- *Formaciones porosas, sede de acuíferos locales y discontinuos, de permeabilidad moderada o baja, poco productivos:* formaciones terrígenas del relleno neógeno de las cuencas (formaciones Trinchera y parte de Arroyo. Blanco).
- *Formaciones fisuradas, sede de acuíferos extensos y productivos, de permeabilidad normalmente alta:* calizas fracturadas y karstificadas de la Fm Neiba.
- *Formaciones fisuradas, sede de acuíferos locales y discontinuos, de permeabilidad media-baja:* formaciones calcáreas con intercalaciones margosas y margocalcáreas (Mb Loma de Patilla e intercalaciones calcareníticas de la Fm Sombrerito).
- *Formaciones de baja permeabilidad y sin acuíferos significativos:* formaciones predominantemente pelíticas (Mb Gajo Largo, Fm. Sombrerito, Fm Quita Coraza) o pelítico-evaporíticas (Fm. Arroyo Blanco arcillosa).

Las transmisividades más altas se dan en los acuíferos que albergan los conos y abanicos aluviales (10^{-2} m²- 10^{-4} m²/s). Las variaciones piezométricas observadas son muy diversas, aunque no superan los 4 m.

Fig. 6.1

Fig. 6.2

Las principales fuentes de alimentación de los acuíferos de las depresiones son la infiltración directa del agua de lluvia, el flujo de retorno de las aguas de riego y la infiltración de los canales, el trasvase lateral de los relieves marginales y la infiltración del agua de los elementos de la red de drenaje. Los aportes laterales desde la sierra de Neiba son muy importantes, pues la fracturación y la intensa karstificación de las calizas de la Fm Neiba determinan condiciones muy favorables tanto para la infiltración superficial como para el tránsito de las aguas subterráneas, que también involucra a circuitos profundos; su ascenso se produce a favor de las fallas que limitan el valle. Estas fallas favorecen la aparición de surgencias, puestas de manifiesto como manantiales (mucho más abundantes en el sector suroccidental de la sierra), y ojos de agua.

La potabilidad de las aguas subterráneas es buena, con predominio de las de carácter bicarbonatado-alcalino-térreo.

El modelo hidrogeológico de la zona en su conjunto es similar al propuesto en el borde meridional de la sierra de Neiba (Fig. 6.3): acuíferos fluviales en las depresiones y acuíferos altamente permeables en los abanicos aluviales y conos de deyección de los bordes, que trasvasan las aguas subterráneas hacia los depósitos del valle. En estos últimos, los gradientes hidráulicos son fuertes (del orden del 4%), con líneas de flujo dirigidas hacia las depresiones. Más concretamente, en el ámbito de la Hoja, los acuíferos de la sierra de Neiba aportan parte de sus aguas a los acuíferos de la depresión, con el nivel freático de las superficies relacionado con el río Yaque del Sur que, al menos localmente, puede comportarse como suministrador de aquéllos.

6.2. Recursos minerales

Sin duda, el mayor interés económico despertado por la región en relación con el campo de los recursos minerales es el relacionado con la exploración de hidrocarburos, si bien los numerosos trabajos llevados a cabo en ella desde comienzos del siglo pasado afectan marginalmente al territorio de la Hoja de Villarpando. Dentro de ella, tan sólo se ha identificado un indicio, correspondiente al grupo de las rocas Industriales y Ornamentales. Los extensos afloramientos de las formaciones Neiba, Sombrerito, Trinchera y Arroyo Blanco no denotan presencia alguna de mineralizaciones.

Fig. 6.3

6.2.1. Sustancias energéticas

Tan sólo el territorio de la Hoja perteneciente a las cuencas de San Juan y Enriquillo ha sido objeto de trabajos de exploración, si bien de forma marginal, pero el interés que ha despertado desde hace varias décadas la búsqueda de hidrocarburos en la región suroccidental de la República Dominicana, merece algunos comentarios sobre su evolución histórica, así como sobre su potencialidad.

6.2.1.1 Aspectos generales e historia minera

Una interesante puesta al día sobre estos aspectos es la elaborada por Mann y Lawrence (1991), de la que a continuación se resumen los rasgos más relevantes relativos a la Llanura de Ázua, el valle de San Juan y la hoya de Enriquillo. Diversas razones, principalmente la compleja evolución tectónica de la región y la poca favorabilidad para el desarrollo de rocas madre en ámbitos de arco insular, han provocado una tradicional desconfianza general sobre la potencialidad del sector septentrional del Caribe en cuanto a la explotación de hidrocarburos. No obstante, la aparición de éstos tanto en Cuba como en La Española, ha sugerido su potencialidad desde los primeros compases del siglo pasado.

Las primeras perforaciones de la región de Azua tuvieron lugar en 1905 en los campos Maleno e Higuerito, algunos kilómetros al oeste de dicha capital, donde se obtuvo petróleo de buena calidad y gas (Fig. 6.4); no obstante, la producción no alcanzó un nivel relevante hasta 1927, en el campo de Higuerito, por parte de la Texas Company.

Los trabajos fueron interrumpidos entre los años 1928 y 1939 en que la Seaboard Oil Company adquirió una amplia concesión. Sus primeros sondeos, Maleno-1 y Maleno-1A encontraron petróleo en las areniscas de la Fm Arroyo Blanco; además, se señalaron diversos anticlinales fuera de los campos Maleno e Higuerito y se desarrollaron campañas geofísicas entre 1944 y 1946 (gravedad, sísmica), así como cuatro nuevas perforaciones, Quita Coraza-1, Mella-1, El Mogote-1 y Las Hormigas-1, la primeras de ella en las proximidades del límite meridional de la Hoja. En el sondeo Las Hormigas-1 se reportaron muestras de petróleo y gas, así como de gas en el Mella-1, por debajo de los 8.000 pies, pero sin valor comercial.

Fig 6.4

Las exploraciones sufrieron un nuevo abandono hasta que en 1956 la Compañía Petrolera Dominicana adquirió concesiones que cubrieron la mayor parte del país; su filial, la Compañía Petrolera Azuana inició en 1958 sus trabajos con dos nuevas perforaciones (Kilómetro 19-1 y Arroyo Blanco-1). En 1960 se efectuaron dos nuevos sondeos (Kilómetro 19-2 y Maleno DT-1), y se volvió la vista nuevamente al sector de Maleno, cuya producción resultó, no obstante, insignificante. A finales de ese mismo año se perforó el sondeo Palo Alto-1 al norte de Barahona, en el ámbito de una anomalía gravimétrica cuya estructura se había perfilado mediante sísmica, pero el pozo resultó estéril. En años posteriores la Compañía Petrolera Dominicana continuó desarrollando campañas sísmicas e investigaciones de campo en la cuenca de Enriquillo, cuyo resultado fueron los sondeos Mella-2 y Cabritos-1, en el segundo de los cuales se encontraron trazas de material asfáltico pero ni petróleo ni gas, pese a que se observaron indicios de éstos en superficie.

En 1969 Gas y Petróleo Dominicana (Gaspedom) e International Resources Limited reiniciaron los estudios de la región mediante campañas sísmicas, seguidas por una serie de perforaciones que en su mayor parte encontraron petróleo y gas, que resultaron improductivos. Simultáneamente, Tenneco desarrolló diversas campañas sísmicas en la plataforma marina, entre ellas una en la bahía de Ocoa y otra en la bahía de Neiba.

A finales de los años 70, la Canadian Oil Superior Ltd. comenzó a operar en la cuenca de Enriquillo donde disparó un total de 1043 km de líneas sísmicas y realizó una campaña gravimétrica además de los pertinentes estudios geológicos de superficie. Los trabajos culminaron con la perforación del pozo Charco Largo-1 en el sector central y más profundo de la cuenca, pozo en el cual se llevaron a cabo cuatro pruebas de producción que resultaron fallidas.

En épocas más recientes hay que reseñar las diversas campañas sísmicas efectuadas por la Mobil Oil Company desde 1991 en la bahía de Ocoa, así como la campaña sísmica realizada en la región de la Llanura de Ázua por parte de Murphin Dominicana entre 1997 y 2000, a la que, dada su confidencialidad, no se tuvo acceso. Durante, la realización del presente proyecto esta misma compañía acabó en el ámbito del lago Enriquillo la perforación del pozo Boca Cachón-1, del que no se ha facilitado su columna litoestratigráfica.

6.2.1.2 Potencial minero

Trabajos efectuados sobre la potencialidad petrolífera de la región (Mann y Lawrence, 1991) han señalado la Fm. Sombrero y la parte inferior de la Fm. Trinchera como roca madre de la mayor parte de los hidrocarburos existentes; igualmente, la roca almacén de éstos correspondería a los niveles areniscosos de la Fm. Trinchera y a ciertos tramos porosos, cuya génesis no ha sido bien explicada, de la Fm. Sombrero. En la cuenca de Enriquillo, el reducido espesor de la Fm Trinchera disminuye su potencialidad que, no obstante, se considera suficiente por el apreciable contenido en materia orgánica de sus facies distales; en esta cuenca también tienen valor como roca madre algunos intervalos pelíticos intercalados en las evaporitas de la Fm Angostura. Una segunda génesis, de mucha menor entidad, podría estar relacionada con la Fm Arroyo Blanco, que además serviría como roca almacén. En cuanto a su mejor trampa, corresponde a una serie de estructuras anticlinales selladas por cabalgamientos, dispositivo que a la vez se relaciona con el grado de madurez más óptimo.

Sea como fuere, no existen datos que permitan cuantificar las reservas de ninguno de los potenciales almacenes de hidrocarburos; no obstante, existen algunas cifras orientativas acerca de la posible productividad, basadas en las explotaciones pasadas. La primera extracción de la que se tiene noticia se cifra en torno a 400 barriles diarios de petróleo en el pozo Higuero (Texas Company, 1905). La producción de los campos de Maleno e Higuero alcanzó 19.000 barriles (Seaboard Oil Company, 1939) de petróleo de 20° API; de los sondeos efectuados por esta compañía entre 1940 y 1947, Las Hormigas-1 mostró hidrocarburos en cantidades irrelevantes. Un nuevo intento de explotación del campo de Maleno (Petrolera Azuana, 1960) concluyó cuando se habían extraído 10.000 barriles y apareció agua, sin que se disponga de ninguna cuantificación de producción posterior. En la cuenca de Enriquillo la explotación ha sido prácticamente nula. Estas cifras, que reflejan a grandes rasgos los resultados extractivos de la exploración de casi un siglo, no invitan a adoptar una postura demasiado optimista con respecto a la potencialidad petrolífera de estas cuencas, aunque tal vez los nuevos modelos geológicos de la región sugieran un replanteamiento de las estrategias a seguir en futuras exploraciones.

6.2.2. Rocas Industriales y Ornamentales

Como ya se ha señalado, la única señal de actividad extractiva se ha centrado en una cantera localizada entre las localidades de Cabeza de Toro y El Granado (Fig. 6.5). Se trata de una cantera de pequeñas dimensiones que aprovechó los niveles calcáreos de la Fm Neiba, susceptible de ser abierta de forma intermitente con el fin de solventar pequeñas demandas de áridos para la reparación de la carretera que une las poblaciones citadas.

Su explotación debió estar desprovista de mecanización, sin que fuese necesario el empleo de perforación y explosivos para realizar el arranque.

6.2.2.1 Descripción de las Sustancias.

Los niveles aprovechados corresponden a los típicos niveles de calizas tableadas blancas de la Fm Neiba, que en este caso engloban numerosos nódulos de sílex. Su ubicación junto a la carretera haría que su transporte fuese mínimo, lo que favorece su reapertura cuando la necesidad se presente.

6.2.2.2 Potencial minero

Regionalmente, la actividad en este sector está ligada al campo de las obras públicas, fundamentalmente a la construcción y reparación de la red viaria, si bien en las inmediaciones del límite oriental de la Hoja se extraen bloques de calizas de tipo travertino con fines ornamentales.

Los litotectos definidos en la zona no tienen características geotécnicas que les aseguren un panorama de explotación permanente y de exportación a otras zonas del país. No obstante, las reservas de todos ellos son grandes y son susceptibles de ser aprovechados para resolver demandas locales en relación con la construcción y reparación de la red viaria.

Fig. 6.5

7. LUGARES DE INTERÉS GEOLÓGICO

La protección de diversas zonas del territorio tiene como finalidad asegurar la continuidad natural de los ecosistemas, preservándolos de actividades antrópicas destructivas, así como evitar el uso abusivo de sus recursos. Dentro de los recursos no renovables de un país, el patrimonio ocupa un lugar relevante, pues proporciona una información fundamental para conocer la historia de la Tierra y la vida que en ella se desarrolla. Al mismo tiempo, su estudio e interpretación ponen de manifiesto otros recursos potencialmente utilizables que, empleados de forma racional y ordenada, pueden resultar beneficiosos para la humanidad. Es por ello necesario, no sólo preservar el medio natural y, en este caso, el patrimonio geológico, sino también estudiarlo en detalle, para así difundir el conocimiento que encierra y crear conciencia de su conservación.

Atendiendo a estas consideraciones, se puede definir un Lugar de Interés Geológico (L.I.G.), como un recurso natural no renovable, donde se reconocen características de especial importancia para interpretar y evaluar los procesos geológicos que han actuado en un área.

En este sentido, es conveniente la realización de un inventario de lugares de interés geológico dignos de medidas de protección y aprovechamiento con fines divulgativos, educativos o turísticos. Por tanto, contenido, posible utilización y nivel de significado definen un L.I.G., que puede corresponder a un punto, un itinerario o un área.

7.1. Relación de los L.I.G.

En la Hoja de Villarpando se han inventariado dos Lugares de Interés Geológico: la Sección estratigráfica de Cabeza de Toro y el Valle del río Yaque del Sur.

7.2. Descripción de los Lugares

Se describen los L.I.G. considerados, señalando el tipo de interés en función de su contenido, de su posible utilización de acuerdo con su contenido científico, didáctico, económico o científico, así como de su ámbito de influencia (local, regional, nacional o internacional).

- Sección estratigráfica de Cabeza de Toro

Se localiza al noreste de Cabeza de Toro, a lo largo de la pista que se dirige a San Juan y concretamente hasta la cañada de La Caobita. A través de ella puede observarse un corte bastante completo, con diversos tramos de buena calidad, de la Fm Sombrerito. Su interés principal es de tipo estratigráfico, en tanto que por su utilización se puede catalogar como científico y por su influencia, regional.

La serie se inicia mediante una monótona sucesión de margas entre las que se intercalan niveles de orden decimétrico de calcarenitas ocreas. A lo largo de la subida a la cuesta de la Sierrecita se observan diversos cortes de los tramos margosos, a la vez que hacia el norte, el relieve está presidido por el resalte morfológico producido por los niveles calcáreos del Mb Loma de Patilla, de varios kilómetros de longitud. Tras una serie de afloramientos con el aspecto típico de la Fm Sombrerito, se atraviesa el Mb Loma de Patilla, constituido por un conjunto de calizas y calcarenitas blanquecinas, dispuestas en niveles decimétricos a métricos, entre las que se intercalan niveles margosos de espesor decimétrico. El corte culmina mediante un pequeño asomo del Mb Gajo Largo en el arroyo La Caobita, donde aparece como un conjunto margoso con esporádicas intercalaciones calcareníticas de orden decimétrico. El espesor del conjunto se aproxima a 400 m, de los que los 300 m inferiores corresponden a la Fm Sombrerito típica, 75 m al Mb Loma de Patilla y unos 20 m al Mb Gajo Largo.

- Valle del Yaque del Sur

Al igual que el anterior, se trata en realidad de un itinerario con diversos puntos de observación. A través de ellos se contemplan las características del río Yaque del Sur y su cortejo de formas asociadas. Su interés principal es de tipo geomorfológico, con interés subordinado de tipo sedimentológico y estratigráfico. Por su utilización se puede catalogar como científico y por su influencia, regional.

Desde la terraza alta (+100 m) localizada al noroeste de Villarpando, existe una buena panorámica del valle del Yaque, observándose cursos anastomosados en el seno de una amplia llanura de inundación con desarrollo de barras. El depósito de la terraza contrasta notablemente con la infrayacente Fm Trinchera,

que aparece ligeramente deformada. En las inmediaciones de Bastidas, el principal rasgo es la presencia de los prominentes cerros Los dos Hermanos, centros de emisión volcánica que destacan con respecto a la depresión.

Rodeando la sierra de Neiba, en el sector de Los Güiros-Vuelta Grande, el río discurre con un acusado carácter meandriforme, observándose una disminución en el caudal debido a pérdidas por evaporación y derivaciones para regadíos principalmente. Allí, en sus márgenes, se observan buenas exposiciones de la Fm Arroyo Blanco.

8. BIBLIOGRAFÍA

- ACUATER (2000a).** Mapa Hidrogeológico Nacional. Valle de Neiba Escala 1:50.000. Programa SYSMIN, Proyecto J. Servicio Geológico Nacional, Santo Domingo.
- ACUATER (2000b).** Mapa Hidrogeológico Nacional. Valle de San Juan Escala 1:50.000. Programa SYSMIN, Proyecto J. Servicio Geológico Nacional, Santo Domingo.
- ARICK, M.B. (1941).** Annual report of Geological Department, Nueva York, 34 pp.
- BARNETT, J.F. Jr (1941).** Report of Semi-detailed Geology Mosaics nº 20 (Trinchera-Dos Hermanos), nº 28 (Sabana Yegua), and nº 29 (Río Mijo)-Dominican Republic. Oficina de Santo Domingo, 18, 8 pp. (Inédito).
- BEALL, R. (1945).** The geology of the Sierra Martín García, Dominican Republic. Standard Oil Company. Nueva Jersey, 17 pp. (Inédito).
- BERMÚDEZ, P.J. (1949).** Tertiary smaller foraminifera of the Dominican Republic. Cushman Laboratory for Foraminiferal Research Special Publication, 25, 322 pp.
- BIJU-DUVAL, B., BIZON, B., MASCLE, A., MULLER, C. (1983).** Active margin processes; field observations in southern Hispaniola. En WATKINS, J. S., DRAKE, C.L (eds.). Studies in continental margin geology, American Association of Petroleum Geologist Memoir, 34, 325-346.
- BLESCH, R.R. (1966).** Mapa geológico preliminar. En: Mapas. Volumen 2, Reconocimiento y Evaluación de los Recursos Naturales de la República Dominicana. Unión Panamericana, escala 1:250.000.
- BOISSEAU, M. (1987).** Le flanc nord-est de la Cordillere Centrale Dominicaine (Española, Grandes Antillas);. Un édifice de nappes Crétacé polyphase. Tesis Doctoral, Universidad Pierre y Marie Curie, París, 200 pp.
- BOURGOIS, J., NG, R., TAVARES, I., VILA, J. M. (1979).** L'Éocène a blocs d'Ocoa (Republique Dominicaine, Grandes Antilles); Témoin d'une Tectonique

tangentielle a vergence sud dans l'île d'Hispaniola. Bulletin de la Societé Geologique de France, 7, 759-764.

BOWIN, C. (1960). Geology of central Dominican Republic. Tesis Doctoral. Universidad de Princeton, Nueva Jersey, 211 pp.

BOWIN, C. (1966). Geology of the Central Dominican Republic. A case history of part of an island arc. En HESS, H. (ed.). Caribbean geological investigations. Geological Society of America, 98, 11-84.

BREUNER. T. A. (1985). The geology of the Eastern Sierra de Neiba. Tesis doctoral, Universidad de Washington, 120 pp. (Inédito).

BURKE, K. (1988). Tectonic evolution of the Caribbean. Annales Rev. Earth and Planetary Science Letters, 16, 201-230.

BURKE, K., FOX, P.J., SENGOR, M.C. (1978). Buoyant ocean floor and the origin of the Caribbean. Journal of Geophysical Research, 83, 3949-3954.

BYRNE, D.B., SUÁREZ, G., McCANN, W.R. (1985). Muertos Trough subduction-Microplate tectonics in the northern Caribbean. Nature, 317, 420-421.

CALMUS, T. (1983). Contribution à l'étude géologique du Massif du Macaya (sud-ouest d'Haïti, Grandes Antilles); Sa place dans l'évolution de l'orogène Nord-Caraïbe. Tesis Doctoral, Universidad Pierre y Marie Curie, París, 163 pp.

CANADIAN OIL COMPANY (1979). Geophysical and Geological Interpretation of the Enriquillo Contract Area, Dominican Republic. (Informe inédito).

CGG (COMPAGNIE GENERALE DE GEOPHYSIQUE) (1999): Informe final sobre la prospección magnética y radiométrica aereoportada del territorio de la República Dominicana. Programa SYSMIN, Proyecto E. Servicio Geológico Nacional. Santo Domingo.

COOPER, C (1983). Geology of the Fondo Negro region, Dominican Republic. Tesis Doctoral, Universidad del Estado de Nueva York, Albany, 145 pp. (Inédito).

DE LA FUENTE, S. (1976). Geografía Dominicana. Ed. Colegial Quisqueyana S.A., Instituto Americano del Libro y Santiago de la Fuente sj; Santo Domingo, 272 pp.

DE METS, C., JANSMA, G., MATTIOLI, C., DIXON, F., FARINA, R., BILHAM, E., CALAIS, E., MANN, P. (2000). GPS geodetic constraints on Caribbean-North America plate motion. *Geophys. Res. Lett.*, 27, 437-440.

DE ZOETEN, R. (1988). Structure and stratigraphy of the central Cordillera Septentrional, Dominican Republic. Tesis Doctoral, Universidad de Texas, Austin, 299 pp.

DÍAZ DE NEIRA, A. (2000a). Mapa Geológico de la Hoja a E. 1:50.000 nº 6072-III (Padre Las Casas) y Memoria correspondiente. Proyecto de Cartografía Geotemática de la República Dominicana. Programa SYSMIN, Proyecto C. Servicio Geológico Nacional, Santo Domingo

DÍAZ DE NEIRA, A. (2000b). Mapa Geológico de la Hoja a E. 1:50.000 nº 6071-I (Ázua) y Memoria correspondiente. Proyecto de Cartografía Geotemática de la República Dominicana. Programa SYSMIN, Proyecto C. Servicio Geológico Nacional, Santo Domingo

DÍAZ DE NEIRA, J. A. (2002). Evolución geomorfológica del Llano de Azua (Sur de la República Dominicana). En PÉREZ-ESTAÚN, A.; TAVARES, I.; GARCÍA CORTES, A., HERNAIZ HUERTA, P.P. (eds.). Evolución geológica del margen norte de la Placa del Caribe, República Dominicana. *Acta Geologica Hispanica*, 37, 207-227.

DÍAZ DE NEIRA, J. A., SOLÉ, F. J. (2002). Precisiones estratigráficas sobre el Neógeno de la Cuenca de Azua. En PÉREZ-ESTAÚN, A.; TAVARES, I.; GARCÍA CORTES, A., HERNAIZ HUERTA, P.P. (eds.). Evolución geológica del margen Norte de la Placa del Caribe, República Dominicana. *Acta Geologica Hispanica*, 37, 163-181.

SERVICIO GEOLÓGICO NACIONAL (SGN) (1984). Formaciones del suroeste de la República Dominicana. Santo Domingo, 500 pp.

SERVICIO GEOLÓGICO NACIONAL (SGN), BUNDESANSTALT FÜR GEOWISSENSCHAFTEN UND ROHSTOFFE (BGR); COOPERACIÓN MINERA DOMINICO-ALEMANA (1991). Mapa geológico de la República Dominicana Escala 1:250.000.

- DIXON, T., FARINA, F., DE METS, C., JANSMA, P., MANN, P., CALAIS, E. (1998).** Relative motions between the Caribbean and North American plates and related plate boundary zone deformation based on a decade of GPS measurements. *J. Geophys. Res.*, 103, 15, 157-15, 182.
- DOHM, C.F. (1941).** The geology of the Azua-Enriquillo Basin areas covered by Aerial Mosaics nº 7,14 and 15. Dominican Republic. Santo Domingo Office 15, 17 pp. (Inédito).
- DOHM, C.F. (1942).** The geology of the Sierra de Neiba and Valles San Juan and Enriquillo in Mosaic Areas 16, 17, 21, 22, 23, 24, 25, 32 and 33. Dominican Republic. Santo Domingo Office, 20, 18 pp.
- DOLAN, J.F. (1988).** Paleogene sedimentary basin development in the eastern Greater Antilles; Three studies in active-margin sedimentology. Tesis Doctoral, Universidad de California, Santa Cruz, 235 pp.
- DOLAN, J.F., 1989.** Eustatic and tectonic controls on deposition of hybrid siliciclastic/carbonate basinal cycles; discussion with examples. *American Assotiation of Petroleum Geologists Bulletin*, 73, 1233-1246.
- DOLAN, J.F., MANN, P., Eds. (1998).** Active Strike-Slip and collisional Tectonics of the Northern Caribbean Plate Boundary Zone. *Geological Society of America Special Paper*, 326, 174 pp.
- DOLAN, J.F., MANN, P., DE ZOETEN, R., HEUBECK, C., SHIROMA, J., MONECHI, S. (1991).** Sedimentologic, stratigraphic, and tectonic synthesis of Eocene-Miocene sedimentary basins, Hispaniola and Puerto Rico. En MANN, P., DRAPER, G., LEWIS, J.F. (eds.). *Geologic and tectonic development of the North America-Caribbean plate boundary in Hispaniola. Geological Society of America Special Paper*, 262, 217-263.
- DOLAN, J.F., MULLINS, H.T., WALD, D.J. (1998).** Active tectonics of the north-central Caribbean: Oblique collisison, strain partitioning and opposing subducted slabs. En DOLAN, J.F., MANN, P. (eds.). *Active Strike-Slip and Collisional Tectonics of the Northern Caribbean Plate Boundary Zone. Geological Society of America Special Paper*, 326, 1-61.

DRAPER, G., MANN, P., LEWIS, J. F. (1994). Hispaniola. En DONOVAN, S.K., JACKSON, T.A. (eds.). Caribbean Geology: An introduction. University of the West Indies Publishers Association. University of the West Indies Press, Kingston, Jamaica, 129-150.

ELECTROCONSULT (1983). Estudio de pre-factibilidad del área geotérmica Yayas-Constanza. República Dominicana. Santo Domingo, Servicio Geológico Nacional, 23 pp. (Inédito).

GARCIA, E., HARMS, F. (1988). Informe del Mapa Geológico de la República Dominicana escala 1:100.000 San Juan (4972). Santo Domingo, 97 pp.

GÓMEZ, J.A. (2000). Mapa Geológico de la Hoja a E. 1:50.000 n° 6071-III (Yayas de Viajama) y Memoria correspondiente. Proyecto de Cartografía Geotemática de la República Dominicana. Programa SYSMIN, Proyecto C. Servicio Geológico Nacional, Santo Domingo

HERNAIZ HUERTA, P.P. (2000a). Mapa Geológico de la Hoja a E. 1:50.000 n° 6172-III (Arroyo Caña) y Memoria correspondiente. Proyecto de Cartografía Geotemática de la República Dominicana. Programa SYSMIN, Proyecto C. Servicio Geológico Nacional, Santo Domingo

HERNAIZ HUERTA, P.P. (2000b). Mapa Geológico de la Hoja a E. 1:50.000n° 6071-I (San José de Ocoa) y Memoria correspondiente. Proyecto de Cartografía Geotemática de la República Dominicana. Programa SYSMIN, Proyecto C. Servicio Geológico Nacional, Santo Domingo

HERNAIZ HUERTA, P.P., PÉREZ-ESTAÚN, A. (2002). Estructura del cinturón de pliegues y cabalgamientos de Peralta, República Dominicana. En PÉREZ-ESTAÚN, A.; TAVARES, I.; GARCÍA CORTES, A., HERNAIZ HUERTA, P.P. (eds.). Evolución geológica del margen Norte de la Placa del Caribe, República Dominicana. Acta Geologica Hispanica, 37, 183-205.

HEUBECK, C. (1988). The Geology of the southeastern termination of the Cordillera Central, Dominican Republic. Tesis Doctoral. Universidad de Texas, Austin, 333 pp.

HEUBECK, C., MANN, P. (1991). Structural Geology and Cenozoic Tectonic History of the Southeastern Termination of the Cordillera Central, Dominican Republic.

En MANN, P., DRAPER, G., LEWIS, J.F. (eds.). Geologic and tectonic development of the North America-Caribbean plate boundary in Hispaniola. Geological Society of America Special Paper, 262, 315-336.

HUNTER, J.W. (1943). The Geology of the Western Portion of the Enriquillo Basin. Oficina de Santo Domingo, 23, 8 pp.

LEWIS, J.F., ESCUDER VIRUETE, J., HERNAIZ HUERTA, P.P., GUTIERREZ, G., DRAPER, G., PÉREZ-ESTAÚN, A. (2002). Subdivisión geoquímica del Arco Isla Circum-Caribeño, Cordillera Central Dominicana: Implicaciones para la formación, acreción y crecimiento cortical en un ambiente intraoceánico. En PÉREZ-ESTAÚN, A., TAVARES, I, GARCÍA CORTES, A., HERNAIZ HUERTA, P.P. (eds.). Evolución geológica del margen Norte de la Placa del Caribe, República Dominicana. Acta Geologica Hispanica, 37, 81-122.

LLINÁS, R.A. (1972). Geología del área Polo-Duvergé, Cuenca de Enriquillo, República Dominicana. Tesis Profesional, Universidad Nacional Autónoma de México, México, 83 pp.

MANN, P. (1983). Cenozoic tectonics of the Caribbean structural and stratigraphic studies in Jamaica and Hispaniola. Tesis Doctoral. Universidad de Nueva York, Albany, 688 pp. (Inédito).

MANN, P., DRAPER, G., LEWIS, J.F., Eds. (1991a). Geologic and tectonic development of the North America-Caribbean plate boundary in Hispaniola. Geological Society of America Special Paper, 262, 401 pp.

MANN, P., DRAPER, G., LEWIS, J.F. (1991b). An overview of the geologic and tectonic development of Hispaniola. En MANN, P., DRAPER, G., LEWIS, J.F. (eds.). Geologic and tectonic development of the North America-Caribbean plate boundary in Hispaniola. Geological Society of America Special Paper, 262, 1-28.

MANN, P., LAWRENCE, S.R. (1991). Petroleum potential of southern Hispaniola. Journal of Petroleum Geology, 14, 291-308.

MANN, P., McLAUGHLIN, P.P., COOPER, C. (1991c). Geology of the Azua and Enriquillo basins, Dominican Republic; 2, Structure and tectonics. En MANN,

P., DRAPER, G., LEWIS, J.F. (eds.). Geologic and tectonic development of the North America-Caribbean plate boundary in Hispaniola. Geological Society of America Special Paper, 262, 367-390.

MANN, P., McLAUGHLIN, P., VAN DEN BOLD, W.A., LAWRENCE, S.R., LAMAR, M.E. (1999). Tectonic and Eustatic Controls on Neogene Evaporitic and Siliciclastic Deposition in the Enriquillo Basin, Dominican Republic. En MANN, P. (ed.). Caribbean Basins. Sedimentary Basins of the World, 4 (HSÜ, K.J.; Series Editor), 287-342.

MANN, P., TAYLOR, F.W., EDWARDS, R.L., KU, T.L. (1995). Actively evolving microplate formation by oblique collision and sideways motion along strike-slip faults: An example from the northeastern Caribbean plate margin. Tectonophysics, 246, 1-69.

MASSON, D.G., SCANLON, K.M. (1991). The neotectonic setting of Puerto Rico. Geological Society of America Bulletin, 103, 144-154.

MAUFFRET, A., LEROY, S. (1997). Seismic stratigraphy and structure of the Caribbean igneous province. Tectonophysics, 283, 61-104.

McLAUGHLIN, P.P. (1989). Neogene planktonic foraminiferal biostratigraphy of the SW Dominican Republic: A foraminiferal study. Journal Foraminiferal Research, 19, 294-310.

McLAUGHLIN, P.P., VAN DEN BOLD, W.A., MANN, P. (1991). Geology of the Azua and Enriquillo basins. Dominican Republic; 1, Neogene lithofacies, biostratigraphy, biofacies, and paleogeography. En MANN, P., DRAPER, G. y LEWIS, J.F. (eds.). Geologic and tectonic development of the North America-Caribbean plate boundary in Hispaniola. Geological Society of America Special Paper, 262, 337-366.

MERCIER DE LEPINAY, B. (1987). L'évolution géologique de la bordure Nord-Caraïbe: L'exemple de la transversale de l'île d'Hispaniola (Grandes Antilles). Tesis Doctoral, Universidad Pierre y Marie Curie, 378 pp. (Inédito).

NEMEC, M.C. (1980). A two phase model for the tectonic evolution of the Caribbean. Trans. Caribb. Geol. Conf., 9th, 23-34.

NORCONSULT (1983). Dominican Republic. Petroleum Exploration Appraisal. Report for Servicio Geológico Nacional. Santo Domingo. (Inédito).

OLADE (1980). Proyecto de investigación geotérmica de la República Dominicana; estudio de reconocimiento-informe geoquímico. En Bureau de Recherches Geologiques et Miniers (BRGM) y Organización Latinoamericana de Energia (OLADE). Orleans, Quito, 24 pp.

PARDO G. (1975). Geology of Cuba. En NAIRM, A.E.M., STELHI, F.G. (eds.). The Ocean Basins and Margins. New York Plenum, 3, 553-615.

PÉREZ-ESTAÚN, A., TAVARES, I., GARCÍA CORTES, A., HERNAIZ, P.P., Eds. (2002). Evolución geológica del margen Norte de la Placa del Caribe, República Dominicana. Acta Geologica Hispanica, 37, 77-80.

PINDELL, J.L. (1994). Evolution of the Gulf of Mexico and the Caribbean. En DONOVAN, S.K., JACKSON, T.A. (eds.). Caribbean Geology: an introduction. University of the West Indies Publishers Association. University of the West Indies Press, Kingston, Jamaica, 13-39.

PINDELL, J. L., BARRETT, S. F. (1990). Geological evolution of the Caribbean region: a plate tectonic perspective. En DENG, G., CASE, J.E. (eds.). The Caribbean, Volume H, Decade of North American Geology. Geological Society of America, Boulder, Colorado, 404-432.

PROINTEC (1999). Prevención de Riesgos geológicos (Riesgo sísmico). Programa SYSMIN, Proyecto D. Servicio Geológico Nacional, Santo Domingo.

TCHALENKO, J.S. (1968). The evolution of kink-bands and the development of compression textures in sheared clays. Tectonophysics, 6, 159-174.

VAN DEN BERGUE, B. (1983). Evolution sédimentaire et structurale depuis le Paléocène du secteur "Massif de la Selle" (Haiti), Bahoruco (République Dominicaine), "Nord de la Ride Beata" dans l'Orogène Nord Caribe (Hispaniola, Grandes Antilles). Tesis Doctoral, Universidad Pierre y Marie Curie, París, 205 pp.

VAUGHAN, T.W., COOKE, W., CONDIT, D.D., ROSS, C.P., WOODRING, W.P., CALKINS, F.C. (1921). A Geological Reconaissance of the Dominican

Republic. En Editora de Santo Domingo. Colección de Cultura Dominicana de la Sociedad Dominicana de Bibliófilos, Santo Domingo, 18 (1983), 268 pp.

VESPUCCI, P. (1986). Petrology and geochemistry of the Late Cenozoic volcanic rocks of the Dominican Republic. Tesis Doctoral, Universidad George Washington, Washington D. C., 223 pp.

WALLACE, M.H. (1945). Stratigraphy of the pre-Oligocene rocks of the Azua Basin, Dominican Republic. Private report Dominican Seaboard Company, Nueva York, 24 pp.