



SERVICIO GEOLÓGICO NACIONAL

REPÚBLICA DOMINICANA

**MAPA GEOLÓGICO**

**DE LA REPÚBLICA DOMINICANA**

**ESCALA 1:50.000**

**SABANA DE LA MAR**

**(6373-III)**

Santo Domingo, R.D., Enero 2007-Diciembre 2010

La presente Hoja y Memoria forma parte del Programa de Cartografía Geotemática de la República Dominicana, Proyecto 1B, financiado, en consideración de donación, por la Unión Europea a través del programa SYSMIN II de soporte al sector geológico-minero (Programa CRIS 190-604, ex No 9 ACP DO 006/01). Ha sido realizada en el periodo 2007-2010 por el Instituto Geológico y Minero de España (IGME), 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 (IGME)

#### COORDINACIÓN Y REDACCIÓN DE LA MEMORIA

- Ing. Alberto Díaz de Neira (IGME)

#### INFORME DE LAS FORMACIONES ARRECIFALES DEL NEÓGENO Y CUATERNARIO

- Dr. Juan Carlos Braga (Universidad de Granada, España)

#### MICROPALEONTOLOGÍA

- Dr. Luis Granados (Geólogo Consultor)

#### PETROGRAFÍA DE ROCAS SEDIMENTARIAS

- Dra. Ana Alonso (Universidad Complutense de Madrid, España)
- Dra. María José Herrero (Universidad Complutense de Madrid, España)

#### PETROGRAFÍA Y GEOQUÍMICA DE ROCAS ÍGNEAS

- Dr. Javier Escuder Viruete (IGME)

#### GEOLOGÍA ESTRUCTURAL Y TECTÓNICA

- Ing. Alberto Díaz de Neira (IGME)

#### GEOMORFOLOGÍA Y PROCESOS ACTIVOS

- Ing. Alberto Díaz de Neira (IGME)
- Ing. Ángela Suarez (IGME)

#### MINERALES METÁLICOS Y NO METÁLICOS

- Ing. Eusebio Lopera (IGME)

#### TELEDETECCIÓN

- Ing. Juan Carlos Gumiel (IGME)

#### INTERPRETACIÓN DE LA GEOFÍSICA AEROTRANSPORTADA

- Dr. José Luis García Lobón (IGME)

#### DIRECTOR DEL PROYECTO

- Ing. Eusebio Lopera (IGME)

#### SUPERVISIÓN TÉCNICA POR PARTE DE LA UNIÓN EUROPEA

- Ing. Enrique Burkhalter. Director de la Unidad Técnica de Gestión (TYPESA) 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. 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 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:

- Mapas Geomorfológico y de Procesos Activos susceptibles de constituir Riesgo Geológico del Cuadrante a escala 1:100.000 de Samaná (6373) y Memoria adjunta
- Mapa de Recursos Minerales del Cuadrante a escala 1:100.000 de Samaná (6373) y Memoria adjunta

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

Y los siguientes Informes Complementarios:

- Informe sobre las Formaciones Arrecifales del Neógeno y Cuaternario de la República Dominicana
- Informe Estratigráfico y Sedimentológico del Terciario
- Informe de Petrología y Geoquímica de las Rocas ígneas y metamórficas
- Informe de Interpretación de la Geofísica Aerotransportada
- Informe de las Dataciones absolutas realizadas por el método Ar/Ar
- Informe de las Dataciones absolutas realizadas por el método U/Pb
- Informe/Catálogo de macroforaminíferos seleccionados

## RESUMEN

La Hoja a escala 1:50.000 de Sabana de la Mar (6373-III) se encuentra situada en el sector nororiental de la República Dominicana, de tal forma que la mayor parte de su territorio corresponde a la bahía de Samaná, en el océano Atlántico. Su superficie emergida, localizada en la mitad meridional, pertenece a la Cordillera Oriental (en cuyo sector occidental puede individualizarse la región de Los Haitises), exceptuándose parte de la franja litoral, perteneciente a la Llanura Costera de Sabana de la Mar.

Los materiales más antiguos, depositados durante el Neocomiano-Aptiano, afloran en el sector meridional, correspondiendo a los materiales volcánicos y volcano-clásticos de la Fm Los Ranchos, depositada en un contexto de arco insular y afectada por intrusiones tonalíticas y granodioríticas. En el sector oriental, la Fm Los Ranchos queda oculta por la Fm Las Guayabas, potente sucesión de areniscas y tobas depositadas en un ambiente turbidítico durante el Cretácico Superior.

En el sector occidental, sobre el conjunto cretácico se disponen discordantemente materiales margoso-calcareos pliocenos de la Fm Cevicos, depositada en un contexto de plataforma interna, que pasan en la vertical a las calizas arrecifales de la Fm Los Haitises.

La estructura de la cordillera se basa en una sucesión de pliegues de dirección NO-SE, interrumpida por fallas de idéntica orientación, fallas que también afectan al conjunto plioceno, que presenta un ligero basculamiento hacia el NE. Entre las fallas destaca la del Yabón, accidente levógiro que probablemente ha actuado desde el Cretácico y que constituye el principal elemento estructural de la cordillera.

Durante el Cuaternario, el proceso más relevante ha sido la elevación de la cordillera (incluyendo a la plataforma pliocena), con el consiguiente incremento superficial de La Española. Dentro de esta tendencia ascendente generalizada, la evolución más reciente ha ido acompañada por el desarrollo de la Llanura Costera de Sabana de la Mar, condicionado principalmente por la actividad fluvial del río Yabón y por la dinámica litoral.

## ABSTRACT

The 1:50.000 Sabana de la Mar Sheet (6373-III) is located in the northeastern sector of the Dominican Republic; most of its territory belongs to Samaná Bay in the Atlantic Ocean. Its land surface, located in the southern half belongs to the Cordillera Oriental (in the western area can be individualized Los Haitises region), except part of the coastline, which is the Llanura Costera de Sabana de la Mar.

The oldest material, deposited during the Neocomian-Aptian, outcrop in the southern sector, and correspond to the volcanic and volcanosedimentary materials of the Los Ranchos Fm, deposited in an island arc context and intruded by tonalitic and granodioritic plutons. In eastern sector, the Los Ranchos Fm Fm is hidden by the Las Guayabas Fm, a thick sequence of sandstones and tuffs laid down in a turbiditic environment during the Upper Cretaceous age.

In western sector, pliocene marl-limestone of Cevicos Fm lie unconformably on the cretaceous materials; this formation was deposited in a context of inner shelf and evolved in vertical to the reef limestone Los Haitises Fm.

The structure of the Cordillera Oriental is based on a succession of folds in a NW-SE direction, interrupted by same direction faults; faults affect Pliocene materials which show a low northeast dip. Most important structure, the Yabon fault, is a left-lateral strike-slip probably performing since the Cretaceous.

Main process during Quaternary has been the cordillera uplift (including the pliocene platform), increasing La Española surface. In this general trend, late events have been led by Llanura Costera de Sabana de la Mar development, included mainly by Yabon river activity and coastal dynamics.

## ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	10
1.1. Metodología .....	10
1.2. Situación geográfica .....	13
1.3. Marco geológico.....	17
1.4. Antecedentes .....	19
2. ESTRATIGRAFÍA .....	23
2.1. Cretácico.....	23
2.1.1. Cretácico Inferior.....	23
2.1.1.1. Fm Los Ranchos. (2) Coladas de lavas básicas con niveles de rocas volcanoclásticas. (3) Predominio de brechas volcánicas. (4) Rocas volcánicas y volcanoclásticas metamorfizadas (grado bajo). Neocomiano-Aptiano K <sub>1</sub> .....	25
2.1.2. Cretácico Superior .....	27
2.1.2.1. Fm Las Guayabas (5). Areniscas, grauvacas y lutitas en capas planoparalelas. Cretácico Superior K <sub>2</sub> . Mb Hato Mayor (6). Brechas y areniscas en capas gruesas. Santoniano K <sub>2</sub> <sup>4</sup> .....	30
2.1.2.2. Fm Arroyo La Yabana (7) Radiolaritas en capas finas. Santoniano K <sub>2</sub> <sup>4</sup> .....	32
2.1.3. Rocas intrusivas.....	33
2.1.3.1. Granodioritas y tonalitas (1) .....	33
2.2. Neógeno .....	34
2.2.1. Plioceno-Pleistoceno.....	34
2.2.1.1. Fm Cevicos (8) Margas y calizas. Plioceno N <sub>2</sub> .....	36
2.2.1.2. Fm Los Haitises (9) Calizas y calizas arrecifales masivas. Plioceno-Pleistoceno Inferior N <sub>2</sub> -Q <sub>1</sub> .....	38
2.2.2. Cuaternario .....	41
2.2.2.1. Abanicos aluviales de baja pendiente. (10) Gravas, arenas y lutitas. (11) Arenas y lutitas. Pleistoceno Medio-Superior Q <sub>2-3</sub> .....	41
2.2.2.2. Fondo de dolina (12). Arcillas de descalcificación. Pleistoceno-Holoceno Q <sub>1-4</sub> .....	42
2.2.2.3. Terraza (13). Gravas, arenas y lutitas. Pleistoceno Superior-Holoceno Q <sub>3-4</sub> .....	43
2.2.2.4. Piedemonte (14). Lutitas, arenas y gravas. Pleistoceno Superior-Holoceno Q <sub>3-4</sub> .....	43
2.2.2.5. Llanura de inundación (15) Arenas, lutitas, y gravas. Cauce o meandro abandonado (16) Lutitas y arenas. Holoceno Q <sub>4</sub> .....	44

2.2.2.6.	Marisma alta (17) Lutitas. Marisma baja (Manglar) (21) Lutitas y arenas. Holoceno Q <sub>4</sub> .....	44
2.2.2.7.	Área pantanosa (18). Lutitas con materia orgánica. Holoceno Q <sub>4</sub> ....	45
2.2.2.8.	Flecha litoral (19). Arenas. Holoceno Q <sub>4</sub> .....	45
2.2.2.9.	Fondo de valle (20). Gravas, arenas y lutitas. Holoceno Q <sub>4</sub> .....	45
2.2.2.10.	Cordón litoral (22). Arenas. Holoceno Q <sub>4</sub> .....	46
2.2.2.11.	Playa (23). Arenas. Holoceno Q <sub>4</sub> .....	46
2.2.2.12.	Relleno antrópico (24). Bloques, arenas y lutitas. Holoceno Q <sub>4</sub> ....	46
3.	PETROLOGÍA .....	47
3.1.	Descripción petrológica y petrográfica .....	47
3.1.1.	Formación Los Ranchos .....	47
3.1.2.	Granodioritas y tonalitas .....	48
3.2.	Geoquímica.....	49
3.2.1.	Formación Los Ranchos .....	49
3.2.2.	Granodioritas y tonalitas .....	53
3.3.	Geocronología .....	54
4.	TECTÓNICA .....	56
4.1.	Contexto geodinámico de La Española .....	56
4.2.	Estructura de la Cordillera Oriental .....	57
4.3.	Estructura de la Hoja de Sabana de la Mar .....	64
5.	GEOMORFOLOGÍA.....	67
5.1.	Análisis geomorfológico .....	67
5.1.1.	Estudio morfoestructural .....	67
5.1.1.1.	Formas estructurales .....	67
5.1.2.	Estudio del modelado.....	68
5.1.2.1.	Formas gravitacionales .....	69
5.1.2.2.	Formas fluviales y de escorrentía superficial .....	69
5.1.2.3.	Formas lacustres y endorreicas .....	70
5.1.2.4.	Formas marinas-litorales.....	71
5.1.2.5.	Formas originadas por meteorización química .....	72
5.1.2.6.	Formas poligénicas .....	73
5.1.2.7.	Formas antrópicas .....	73
5.2.	Evolución e historia geomorfológica .....	74
5.3.	Procesos Activos susceptibles de constituir Riesgo Geológico .....	75
5.3.1.	Actividad sísmica .....	76
5.3.2.	Tsunamis.....	79
5.3.3.	Tectónica activa .....	80
5.3.4.	Actividad asociada a movimientos de laderas .....	80

5.3.5.	Actividad asociada a procesos de erosión.....	80
5.3.6.	Actividad asociada a procesos de inundación y sedimentación .....	81
5.3.7.	Actividad asociada a litologías especiales .....	81
5.3.8.	Actividad antrópica.....	82
6.	HISTORIA GEOLÓGICA .....	83
7.	GEOLOGÍA ECONÓMICA.....	87
7.1.	Hidrogeología.....	87
7.1.1.	Climatología e hidrología .....	87
7.1.2.	Hidrogeología.....	87
7.2.	Recursos minerales .....	90
7.2.1.	Rocas Industriales.....	90
7.2.1.1.	Descripción de las Sustancias .....	91
7.2.2.	Potencial minero .....	91
7.2.2.1.	Rocas Industriales.....	91
8.	LUGARES DE INTERÉS GEOLÓGICO .....	92
8.1.	Relación de los L.I.G.....	92
8.2.	Descripción de los Lugares.....	92
9.	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 de la Dirección General de Minería (DGM), se decidió a abordar a partir de finales del siglo pasado, 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 del denominado Proyecto 1B, bajo el control de la Unidad Técnica de Gestión (UTG, cuya asistencia técnica corresponde a TYPESA) y la supervisión del Servicio Geológico Nacional (SGN).

Este Proyecto comprende varias zonas que junto con las ya abordadas con motivo de los proyectos previos (C, ejecutado en el periodo 1997-2000; K y L, ejecutados en el periodo 2002-2004), completan la mayor parte del territorio dominicano. El Proyecto 1B incluye, entre otros trabajos, la elaboración de 63 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 Norte:

- La Vega (La Vega, 6073-I; Jarabacoa, 6073-II; Manabao, 6073-III; y Jánico, 6073-IV)
- San Francisco de Macorís (Pimentel, 6173-I; Cotuí, 6173-II; Fantino, 6173-III; y San Francisco de Macorís, 6173-IV)
- Sánchez (Sánchez, 6273-I; Palmar Nuevo, 6273-II; Cevicos, 6273-III; y Villa Riva, 6273-IV)
- Samaná (Las Galeras, 6373-I; Sabana de la Mar, 6373-III; y Samaná, 6373-IV)
- Santiago (San Francisco Arriba, 6074-I; Santiago, 6074-II; San José de las Matas, 6074-III; y Esperanza, 6074-IV)
- Salcedo (Río San Juan, 6174-I; Guayabito, 6174-II; Salcedo, 6174-III; y Gaspar Hernández, 6174-IV)

- Nagua (Nagua, 6274-III; y Cabrera, 6274-IV)
- La Isabela (Barrancón, 5975-I; El Mamey, 5975-II; Villa Vasquez, 5975-III; y El Cacao, 5975-IV)
- Puerto Plata (Puerto Plata, 6075-II; Imbert, 6075-III; y Luperón, 6075-IV)
- Sabaneta de Yásica (Sabaneta de Yásica, 6175-III)

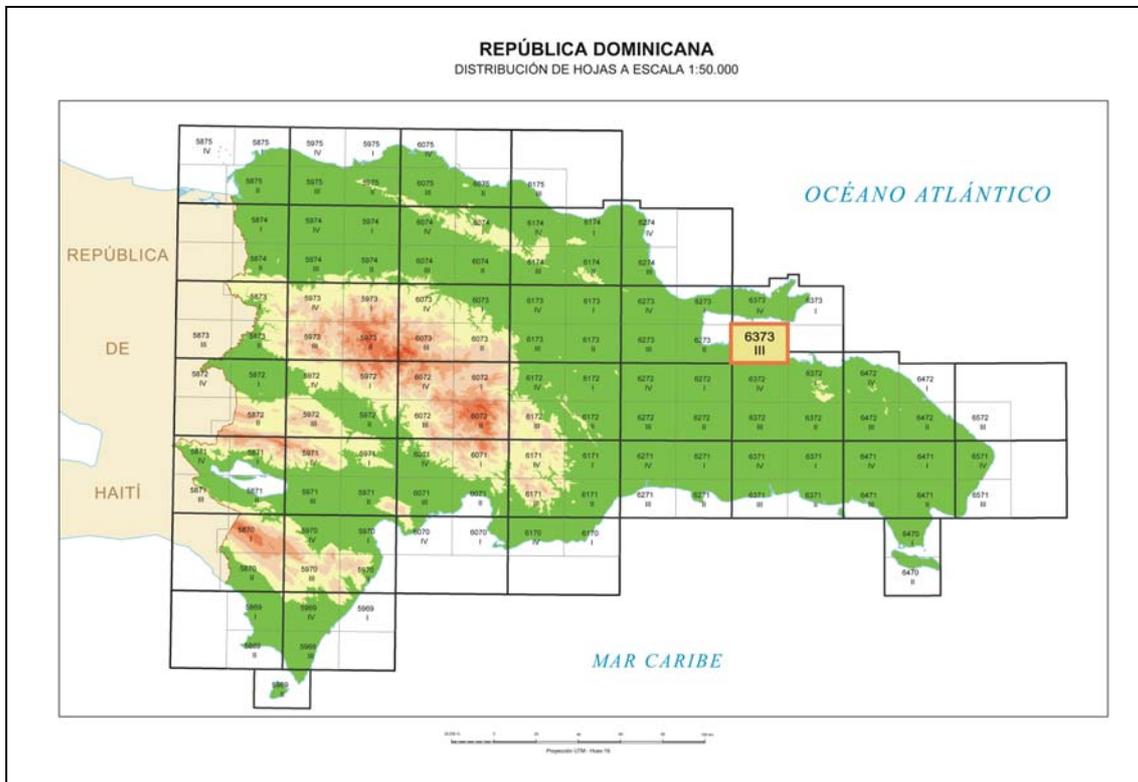


Fig. 1.1. Distribución de Hojas a escala 1:50.000 de la República Dominicana y situación de la Hoja de Sabana de la Mar (6373-III)

Zona Sureste:

- La Granchorra (La Granchorra, 6470-I; y Mano Juan, 6470-II)
- Santo Domingo (Guerra, 6271-I; Boca Chica, 6271-II; Santo Domingo, 6271-III; y Villa Mella, 6271-IV)
- San Pedro de Macorís (Ramón Santana, 6371-I; Boca del Soco, 6371-II; San Pedro de Macorís, 6371-III; y Los Llanos, 6371-IV)
- La Romana (Higüey, 6471-I; San Rafael del Yuma, 6471-II; La Romana, 6471-III; y Guaymate, 6471-IV)
- Juanillo (Juanillo, 6571-III; y Pantanal, 6571-IV)
- Las Lisas (La Vacama, 6472-I; y El Salado, 6472-II)
- Bávaro (Bávaro, 6572-III)

Zona Sur:

- Sabana Buey (Sabana Buey, 6070-I)
- Baní (Nizao, 6170-I; y Baní, 6170-IV)

Zona Suroeste:

- Isla Beata (Isla Beata, 5868-I)
- Cabo Rojo (Cabo Rojo, 5869-I; y Punta Ceminche, 5869-II)
- Enriquillo (Enriquillo, 5969-I; Oviedo, 5969-III; y Arroyo Dulce, 5969-IV)
- Pedernales (Puerto Escondido, 5870-I; y Pedernales, 5870-II)
- Barahona (La Ciénaga, 5970-II; y Polo, 5970-III)

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 a escala 1:50.000, en especial a la de El Valle (6372-IV).

Durante la realización de la Hoja a escala 1:50.000 de Sabana de la Mar 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 imágenes de satélite Spot P, Landsat TM y SAR. Para la identificación y el seguimiento de estructuras profundas o subflorantes, ha sido de gran utilidad el Mapa de Gradiente vertical de la República Dominicana (Fig. 1.2).

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 (Samaná, 6373).

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 a escala 1:50.000, 2ª serie (MAGNA).

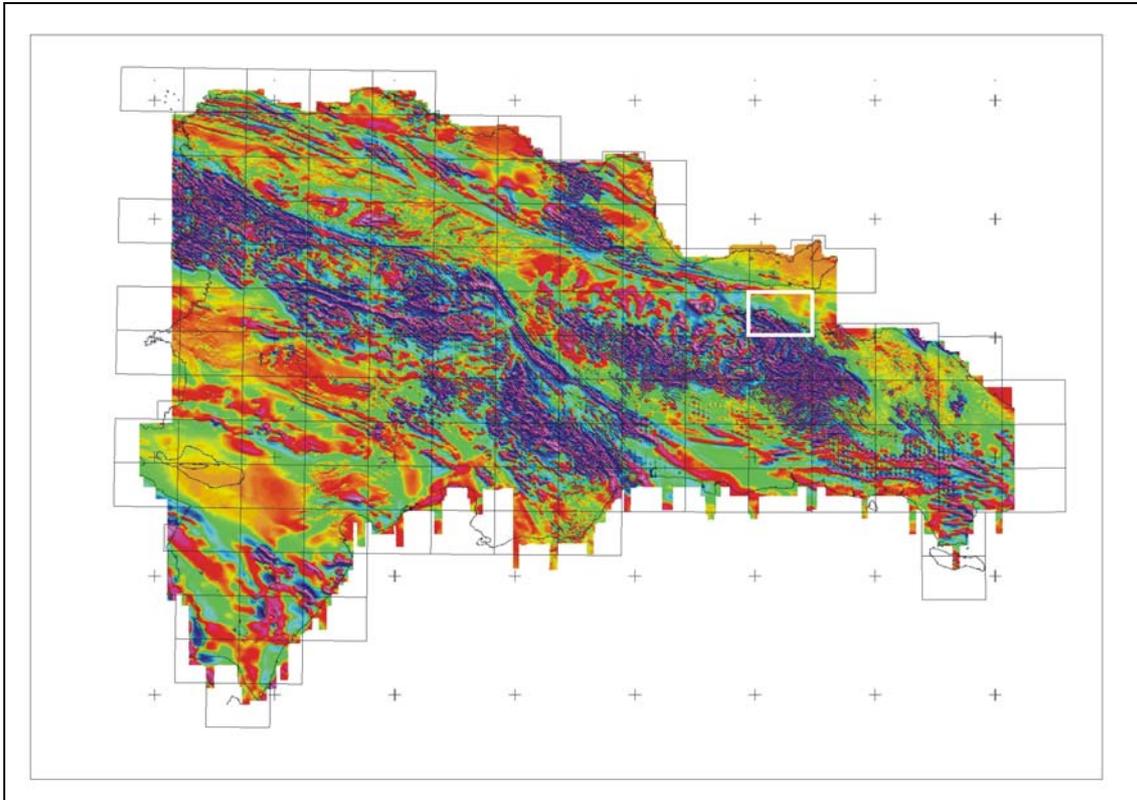


Fig. 1.2. Mapa de gradiente vertical de la República Dominicana (Ayala *et al.*, *in press*)

## 1.2. Situación geográfica

La Hoja a escala 1:50.000 de Sabana de la Mar (6373-III) se encuentra situada en el sector nororiental de la República Dominicana, en el ámbito del litoral meridional de la bahía de Samaná. Su territorio pertenece al municipio de Sabana de la Mar, en la provincia de Hato Mayor.

Su fisiografía queda definida por la presencia de la Cordillera Oriental, que en el sector occidental posee una peculiar fisonomía que permite diferenciar la región de Los Haitises, y por la de la Llanura Costera de Sabana de la Mar, que constituyen tres de los principales dominios fisiográficos de la República Dominicana (Fig. 1.3).

La Cordillera Oriental es una alineación montañosa de dirección E-O que, desde un punto de vista orográfico, constituye una ramificación de la Cordillera Central. Discurre en paralelo al mar Caribe y al océano Atlántico, pero mucho más próxima a éste, de

cuyo litoral llega a formar parte (Fig. 1.4). Sus mayores elevaciones se localizan en sus extremos, alcanzando su máxima altitud en la loma El Pequito (869 m); a grandes rasgos, las elevaciones del sector occidental forman parte de la sierra de Yamasá, y las del oriental, de la sierra de El Seibo; en el sector centro-oriental, la peculiar orografía de la región de Los Haitises, a modo de plataforma intensamente karstificada y suavemente basculada hacia el norte, hace que pierda la fisonomía como cordillera típica.

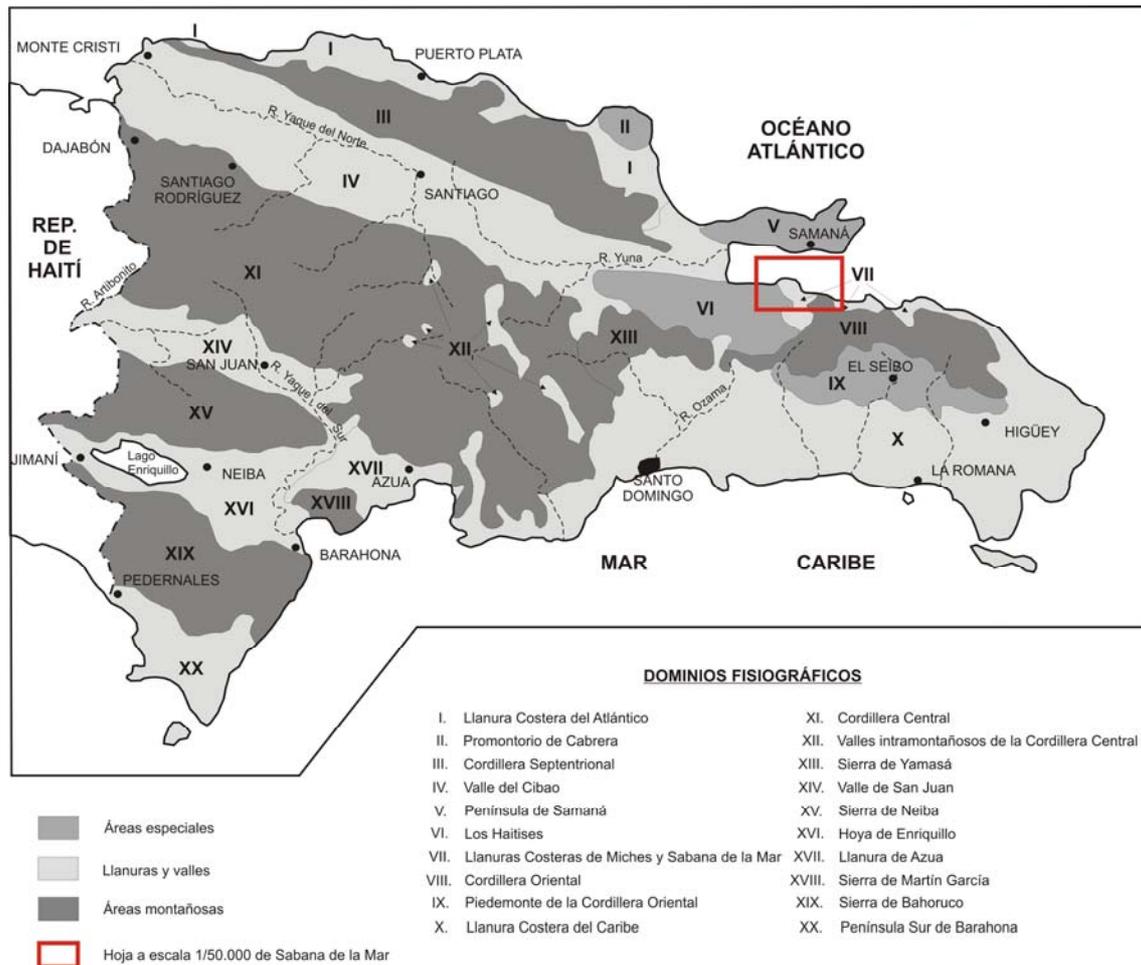


Fig. 1.3. Esquema de situación de la Hoja de Sabana de la Mar en relación con los principales dominios fisiográficos de la República Dominicana (De la Fuente, 1976, modificado)

En el ámbito de la Hoja, la cordillera evidencia su carácter abrupto pese a la proximidad del litoral atlántico, alcanzando su altitud máxima (330 m) a tan sólo 4 km de la línea de costa. En detalle está constituida por alineaciones menores de dirección NO-SE, separadas por ríos y arroyos que vierten sus aguas a la bahía de Samaná, de entre los que destaca con mucho el río Yabón.

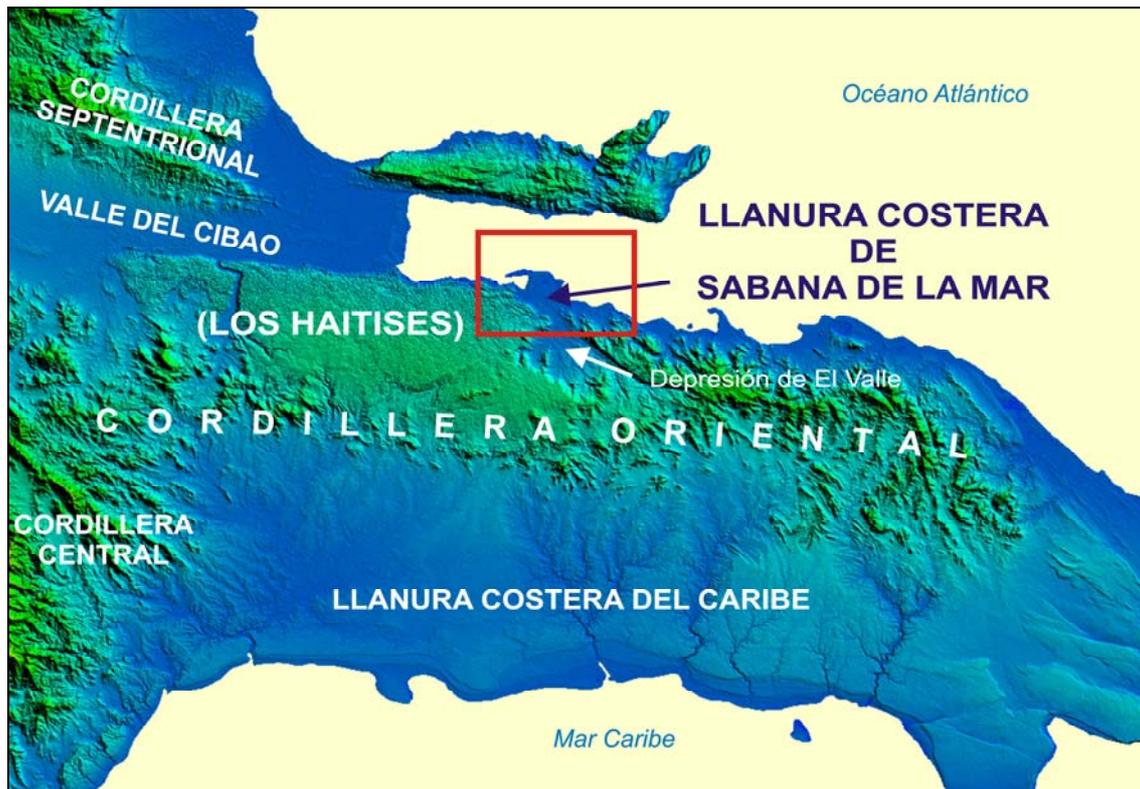


Fig. 1.4. Modelo digital del terreno de la Cordillera Oriental

La región de Los Haitises constituye un dominio muy peculiar, a modo de plataforma degradada por una intensísima acción de los procesos de karstificación (Fig. 1.5), pese a lo que en un sentido estricto debe considerarse como un subdominio de la Cordillera Oriental, con la cual se confunde en el paisaje. Sus máximas cotas, que sobrepasan 325 m, coinciden con los restos de la superficie de la plataforma, integrados por la cumbre de una multitud de cerros (*hums* o *haitises*) entre los que se intercala un enjambre de dolinas, configurando un espectacular relieve en “caja de huevos” (*cockpits*).

Esta región muestra sus típicas características en el ámbito de la Hoja, con cotas que disminuyen desde algo más de 200 m en el sector suroccidental, hasta valores cercanos a 50 m en el litoral, donde dan lugar a una costa acantilada de trazado muy irregular. Sus múltiples depresiones se encuentran alineadas de acuerdo con la red de fracturación principal, de dirección NO-SE. Debido al desarrollo kárstico, existe una práctica ausencia de cursos fluviales, cuya única manifestación la constituyen el arroyo del Agua y sus pequeños afluentes.

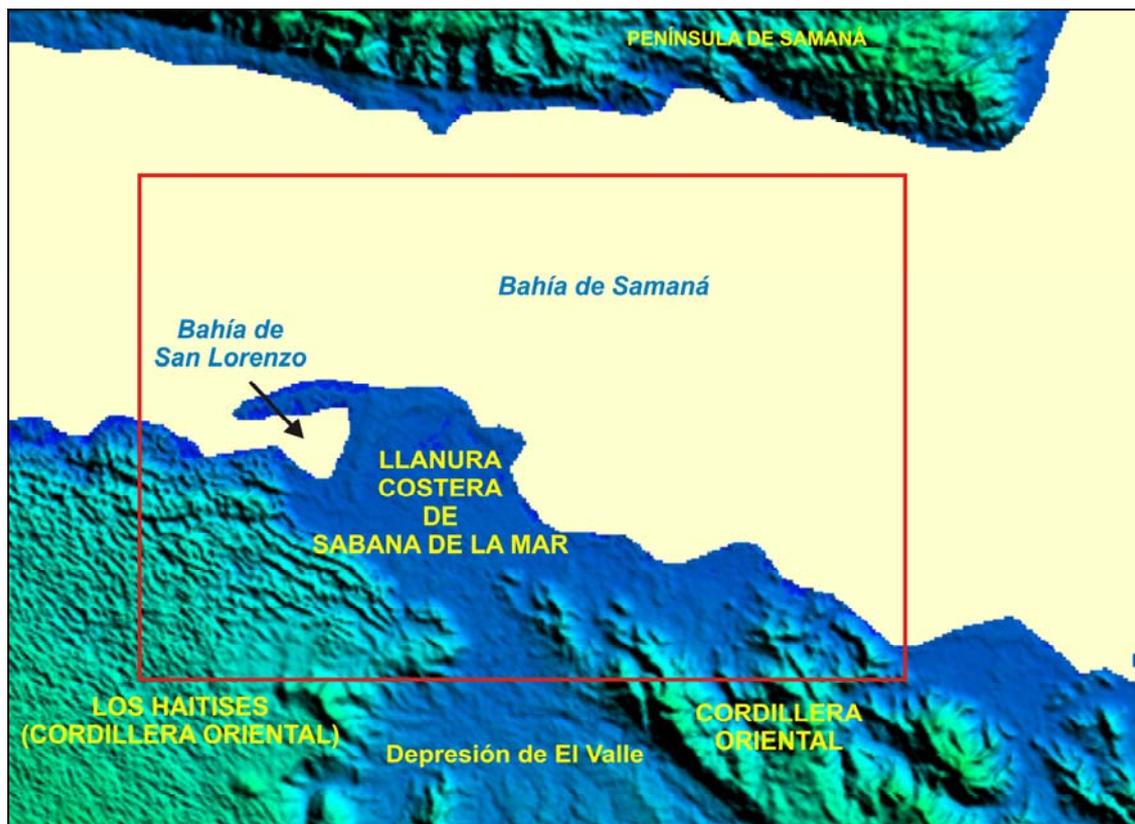


Fig. 1.5. Principales dominios fisiográficos del ámbito de la Hoja de Sabana de la Mar

La Llanura Costera de Sabana de la Mar es una de las numerosas llanuras litorales que orlan La Española. Aparece como una planicie dispuesta a cotas inferiores a 15 m, al sur de la cual se alzan bruscamente los relieves de la cordillera. Posee una anchura variable, alcanzando su máximo valor en el ámbito del río Yaque del Sur, con 8 km. En su seno alberga diversas ciénagas, algunas de las cuales se encuentran protegidas por el cordón litoral de Sabana de la Mar, que con una dirección E-O y una longitud de 8 km, permite la individualización de la bahía de San Lorenzo dentro de la de Samaná. Su litoral posee un carácter predominante de costa baja, con desarrollo de manglares y playas.

Al margen del mencionado río Yabón, la red de drenaje está integrada por una serie de elementos de corto recorrido entre los que destacan los ríos Capitán, Honduras y Catalina.

La región posee un típico clima tropical (De la Fuente, 1976), suavizado por su carácter insular, con temperaturas medias de 25-26° C y precipitaciones que aumentan de sureste a noroeste, desde 1.900 hasta 2.100 mm/año; es frecuente la llegada de tormentas tropicales y huracanes, especialmente concentrados entre

septiembre y octubre, observándose variaciones estacionales ligeras, siendo algo más acusadas las diarias. La estación de lluvias se extiende de diciembre a marzo y la seca, de marzo a diciembre.

La vegetación varía notablemente, con predominio de los bosques muy húmedos subtropicales, con extensos pastos y cultivos, especialmente en la llanura costera.

Se trata de una zona escasamente poblada, siendo Sabana de la Mar su principal núcleo de población, además del cual es preciso señalar Las Cañitas. En el resto de la zona, sus habitantes se encuentran desperdigados por pequeñas aldeas y casas de campo. Su principal actividad se centra en la agricultura, la ganadería y la pesca.

La red de comunicaciones es muy deficiente, lo que sin duda dificulta el desarrollo del indudable potencial turístico de la zona. Destacan las carreteras Hato Mayor-Sabana de la Mar y Sabana de la Mar-Miches, muy deterioradas, entre las numerosas pistas y sendas existentes, con numerosas áreas de muy difícil acceso.

### **1.3. Marco geológico**

La Hoja de Sabana de la Mar se localiza en el sector septentrional de la Cordillera Oriental, incluyendo también la Llanura Costera de Sabana de la Mar y el extremo nororiental de Los Haitises, subdominio de aquélla (Fig. 1.6).

La Cordillera Oriental se extiende con dirección E-O al sur del valle del Cibao y de la bahía de Samaná, siendo su límite septentrional la falla Meridional de Samaná, en tanto que su límite occidental coincide el cabalgamiento de Hatillo (Bowin, 1966), accidente tectónico que la separa de la Cordillera Central. Por el contrario, sus límites meridional y oriental son establecidos por la discordancia basal de los materiales carbonatados plio-cuaternarios de la Llanura Costera del Caribe. Su evolución es el resultado de la subducción y de la colisión oblicua entre el borde septentrional de la placa del Caribe y la plataforma de las Bahamas (Burke *et al.*, 1978). A nivel cortical, la Cordillera Oriental forma parte de un bloque volcano-plutónico de edad cretácica basculado hacia el sur, adyacente a las fallas de dirección E-O que limitan la cuenca de la bahía de Samaná.

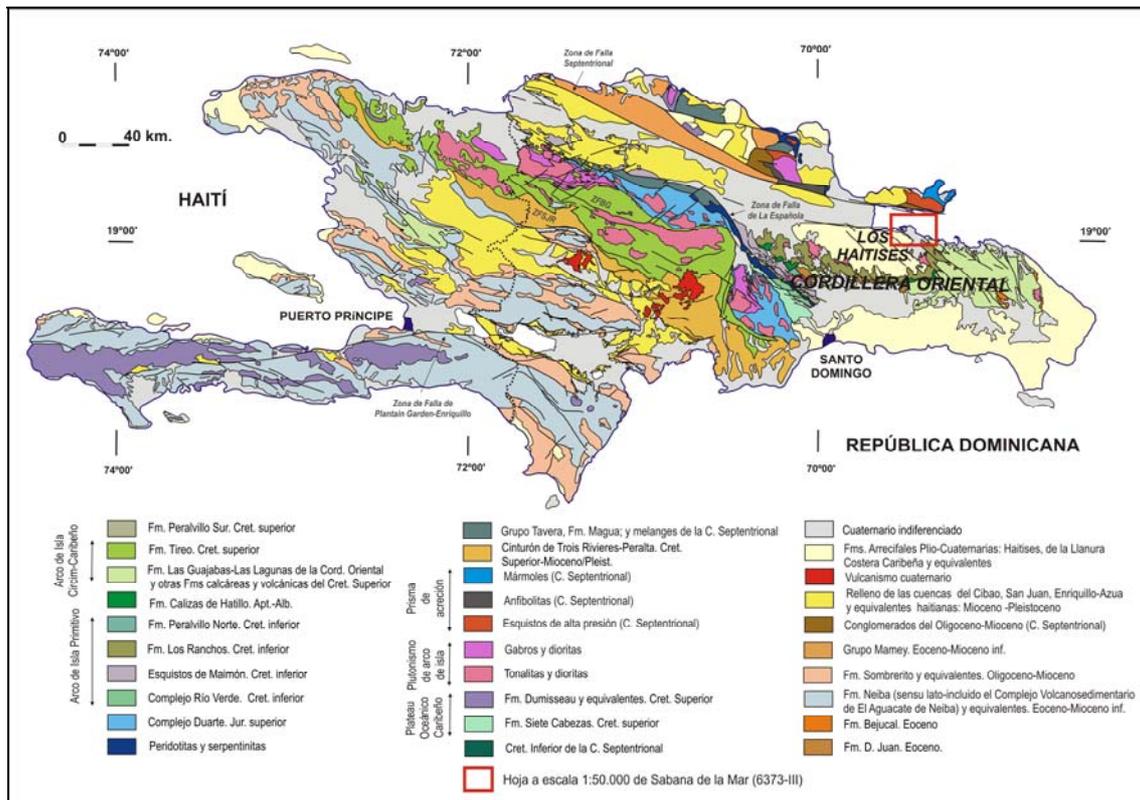


Fig. 1.6. Esquema geológico de La Española y situación de la Hoja de Sabana de la Mar

La Cordillera Oriental está integrada principalmente por rocas cretácicas generadas en un ambiente de arco insular. Su estructura interna se basa en pliegues de amplio radio, excepción hecha del sector suroriental, donde adquieren un carácter apretado, y, especialmente, una densa red de fracturación de orientación NO-SE, de entre la que destaca la falla del Yabón. Estas estructuras se generaron mayoritariamente a comienzos del Terciario, si bien se hallan afectadas por el sistema de desgarres E-O generado durante el Mioceno, cuya máxima expresión es la falla Meridional de Samaná.

Dentro de la Hoja presenta un registro estratigráfico amplio, pero incompleto, predominando los afloramientos volcánicos y volcano-sedimentarios de la Fm Los Ranchos (Cretácico Inferior) en relación con los del conjunto sedimentario y volcano-sedimentario de la Fm Las Guayabas (Cretácico Superior), estando ausente la Fm Caliza de Hatillo (Aptiano-Albiano), interpuesta regionalmente entre las anteriores; el conjunto cretácico se encuentra afectado por un cortejo intrusivo, constituido por tonalitas y granodioritas. Tampoco existen evidencias de los materiales paleógenos existentes en otros sectores de la cordillera, de entre los que destaca el típico conjunto conglomerático de la Fm Don Juan (Fig. 1.7).



Fig. 1.7. Esquema geológico de la Cordillera Oriental

Por su parte, la región de Los Haitises constituía durante el Plioceno una plataforma carbonatada en la que un sistema de construcciones arrecifales (Fm Los Haitises) protegía hacia el sur un *lagoon* (Fms. Yanigua-Cevicos) que eventualmente sufriría la llegada de descargas terrígenas procedentes de una incipiente Cordillera Oriental. La emersión de esta plataforma y su ligero basculamiento hacia el norte, son los condicionantes fundamentales de la morfoestructura de esta región, morfoestructura sobre la que se ha desarrollado una densa red de fracturación de orientación NO-SE, que a su vez ha favorecido una eficaz acción kárstica responsable de su peculiar fisonomía.

Por lo que respecta a la Llanura Costera de Sabana de la Mar, está constituida por un variado conjunto de depósitos recientes, destacando los relacionados con la dinámica fluvial y litoral.

#### 1.4. Antecedentes

Aunque los trabajos geológicos pioneros en la República Dominicana se remontan a la época del descubrimiento de América, las primeras observaciones geológicas válidas actualmente se remontan a finales del siglo XIX, cuando Gabb (1881) realizó un corte transversal de la Cordillera Oriental en el que interpretó correctamente la existencia de

un sustrato de rocas cretácicas y una cobertera delgada discordante de rocas terciarias.

No obstante, el conocimiento geológico actual de La Española se sustenta principalmente en el notable impulso que se produjo entre las décadas de los años sesenta y ochenta del pasado siglo, 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; Nagle (1966), relativa a la geología del sector de Puerto Plata; Mann (1983), centrada en aspectos estructurales y estratigráficos de La Española y Jamaica; Boisseau (1987), sobre la estructura del flanco nororiental de la Cordillera Central; Mercier de Lepinay (1987), ambicioso estudio estratigráfico y estructural de la isla para establecer su interpretación geodinámica; De Zoeten (1988), acerca de la estratigrafía y la estructura de la Cordillera Septentrional; y Dolan (1988), relativa a la sedimentación paleógena en las cuencas orientales de las Antillas Mayores.

En cualquier caso, es la tesis de Bourdon (1985) la que añadió un detalle considerable al conocimiento de la Cordillera Oriental, principalmente en sus aspectos estratigráficos y paleontológicos, así como en la petrología de las rocas ígneas. Además, el mapa geológico a escala 1:100.000 que la acompaña representa las formaciones más significativas, habiendo sido reproducido con pocos cambios en las cartografías de síntesis posteriores.

Es imprescindible destacar la auténtica puesta al día de los conocimientos geológicos acerca de La Española que supuso la interesante monografía de Mann *et al.* (1991a) para la Sociedad Geológica de América, documento básico para trabajos posteriores. Algunos trabajos afectan de forma específica a diversos aspectos estratigráficos y estructurales de la región, destacando de entre ellos los de Mann *et al.* (1991b), en el que se abordan los principales aspectos geodinámicos, y Kesler *et al.* (1991a), con una propuesta de esquema estratigráfico para la Fm Los Ranchos.

El volumen anterior va acompañado de diversas cartografías regionales de síntesis a escala 1:150.000, entre ellas la de la Cordillera Oriental (Lebron y Mann, 1991). Junto a estas cartografías sintéticas, es preciso citar la efectuada a escala 1:250.000 por la Dirección General de Minería y el Instituto Cartográfico Universitario en colaboración con la Misión Alemana (1991).

Entre los trabajos más recientes es preciso señalar por la ingente cantidad de información geológica aportada, el Proyecto L del Programa SYSMIN (IGME-BRGM-INYPSA, 2002-2004), desarrollado en el sector oriental de La Española, tanto en la Cordillera Oriental, como en la Llanura Costera del Caribe y la región de Los Haitises. Aunque destacan especialmente los aspectos relacionados con la cartografía geológica (escala 1/50.000) y geomorfológica y de procesos activos (escala 1/100.000), no deben olvidarse las memorias que acompañan a cada una de las Hojas elaboradas, ni los diversos informes complementarios, de carácter petrológico, sedimentológico y paleontológico.

La información acumulada, tanto el proyecto anterior como en los restantes relacionados con la cartografía geotemática del Programa SYSMIN, dieron pie a sendas monografías: Pérez-Estaún *et al.* (2002), relacionada con el Proyecto C, y Pérez-Estaún *et al.* (2007), relacionada con los proyectos K y L. En esta última existen diversos trabajos que abordan aspectos específicos de la Cordillera Oriental, concretamente los de: Escuder *et al.* (2007a), relacionado con el magmatismo de la Fm Los Ranchos; García-Senz *et al.* (2007a), relativo a la estratigrafía del Cretácico Superior; García Senz *et al.* (2007b), que aborda la estructura de la cordillera; y Díaz de Neira *et al.* (2007), centrado en aspectos geomorfológicos y de la evolución reciente.

De gran interés es el Informe elaborado por Braga (2010) dentro del presente proyecto, en el que además de tener en cuenta los datos aportados por los trabajos previos, aborda la estratigrafía, sedimentología y paleogeografía de las formaciones arrecifales del Neógeno y Cuaternario de la República Dominicana, incluyendo referencias concretas a la Hoja de Sabana de la Mar.

Además de los señalados, los escasos estudios temáticos de la Cordillera Oriental se centran en aspectos geoquímicos de las rocas ígneas aflorantes en ella, destacando el informe interno de Falconbridge-Dominicana (1988), basado en el interés minero de la Fm Los Ranchos, y el estudio de los materiales volcánicos del Cretácico Superior de Lebron y Perfit (1994), en el marco de una integración petrogenética y geoquímica del Cretácico caribeño.

En cuanto a los estudios de índole geomorfológica, son escasos, al igual que en el resto de la República Dominicana. De entre ellos, hay que resaltar el libro *Geografía Dominicana* (De la Fuente, 1976), que además de aportar una abundante cantidad de

datos geográficos e ilustraciones, apunta numerosas consideraciones de orden geomorfológico; sus denominaciones geográficas han servido de referencia durante la realización del presente trabajo. En relación con el modelado de la región de Los Haitises, cabe señalar el trabajo de Díaz del Olmo y Cámara (2003), elaborado en el ámbito de la Hoja.

Por último, dentro del Programa SYSMIN y con carácter general en relación al ámbito dominicano, es preciso señalar los trabajos relativos a geofísica aeroportada (CGG, 1997) y a aspectos sísmicos (Prointec, 1999) e hidrogeológicos (Acuater, 2000; Eptisa, 2004), elaborados en fases anteriores del programa.

## 2. ESTRATIGRAFÍA

En la Hoja a escala 1:50.000 de Sabana de la Mar afloran materiales de naturaleza y edad muy diversa, correspondientes a tres conjuntos netamente diferenciados (Fig. 2.1):

- Materiales cretácicos, que configuran la morfoestructura fundamental de la Cordillera Oriental. Se trata de una sucesión muy potente de materiales ígneos y sedimentarios, localmente afectados por un suave metamorfismo.
- Materiales plio-pleistocenos, que fosilizan a los anteriores en la región de Los Haitises, definiendo la morfoestructura de ésta. Son rocas sedimentarias de origen marino.
- Materiales cuaternarios, que se disponen discontinuamente sobre los dos conjuntos anteriores. Responden a un espectro genético variado que incluye depósitos de origen fluvial, lacustre-endorreico, litoral, poligénico, kárstico y antrópico.

### 2.1. Cretácico

El registro cretácico es bastante completo en relación con el de la cordillera, distinguiéndose un Cretácico Inferior, representado por la Fm Los Ranchos, el cortejo de cuerpos intrusivos que la acompaña, y un Cretácico Superior, representado por la Fm Las Guayabas, estando ausente la Fm Hatillo.

#### 2.1.1. Cretácico Inferior

Está constituido por la Fm Los Ranchos, a la que pertenecen los afloramientos más antiguos de la cordillera, integrados por un conjunto de rocas predominantemente volcánicas y volcanoclásticas, en las que se intercalan rocas sedimentarias, afectadas por un metamorfismo débil (facies de prehnita-pumpellita). Fue definida por Bowin (1966) en los alrededores del célebre yacimiento de oro de Pueblo Viejo. Más tarde, Kesler *et al.* (1991a) propusieron una organización litoestratigráfica de la formación, basada esencialmente en los trabajos realizados en el entorno de Pueblo Viejo, subdividiendo la formación de base a techo en cinco miembros, pero Nelson (2000)

discrepó de esta organización litoestratigráfica, proponiendo la existencia de tres facies volcánicas más o menos sincrónicas, relacionadas lateralmente.

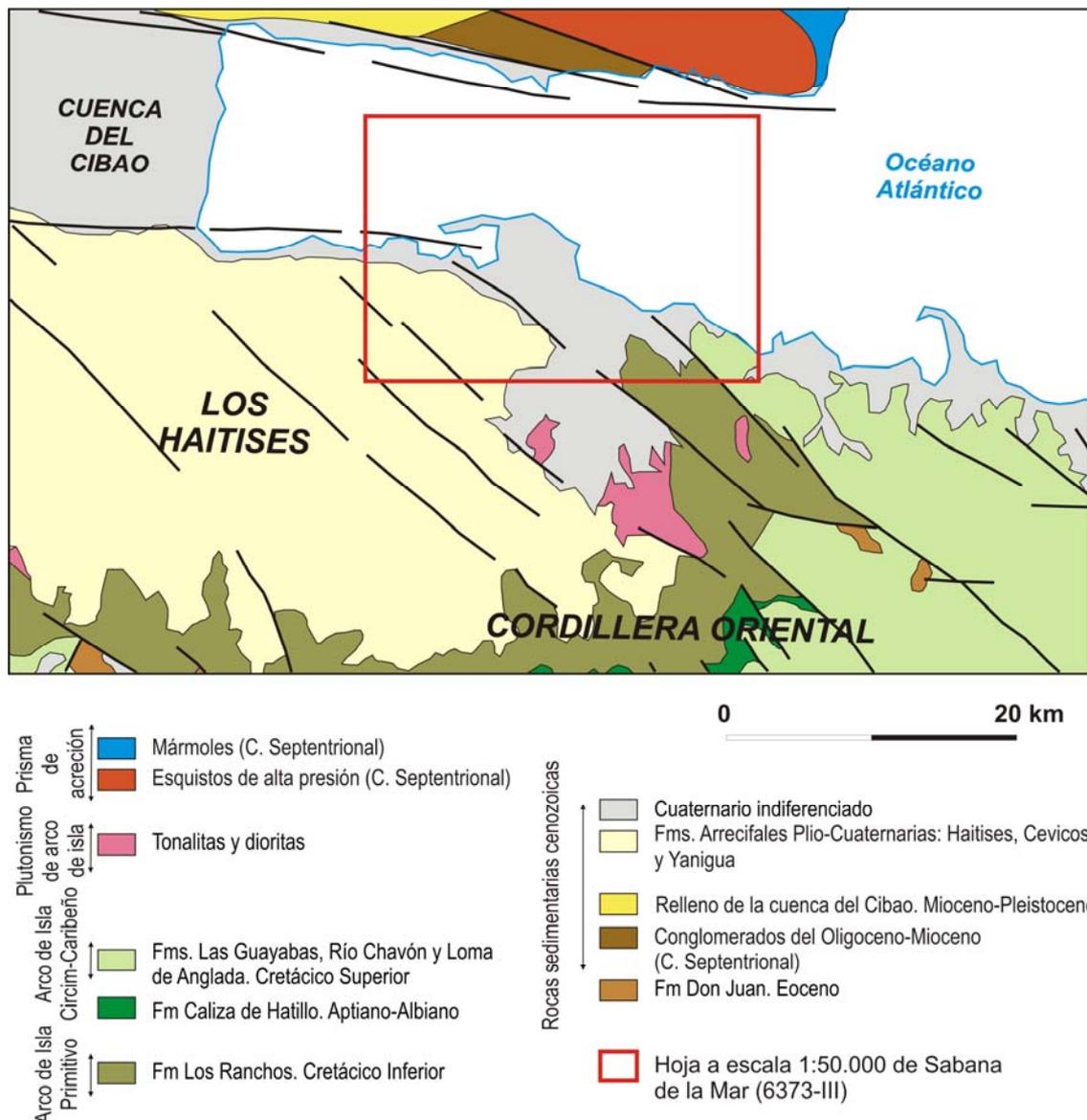


Fig. 2.1. Esquema geológico del ámbito de la Hoja de Sabana de la Mar

Posteriormente, la cartografía de las Hojas geológicas correspondientes al Proyecto L del Programa SYSMIN (2002-2004), establecieron tres unidades informales dentro de la formación. Concretamente, en las Hojas de Antón Sánchez (6272-I; Díaz de Neira y Hernaiz), Bayaguana (Monthel y Capdeville), Sabana Grande de Boyá (6272-IV; Monthel *et al.*) y El Valle (Monthel) se distinguieron: un miembro inferior, constituido por brechas volcanoclásticas poligénicas e intercalaciones de flujos lávicos y andesíticos, así como de horizontes volcanoclásticos finos, bien estratificados; un miembro intermedio, compuesto por lavas dacíticas y riódacíticas, con rocas piroclásticas y epiclásticas relacionadas; y un miembro superior, integrado por rocas

volcanoclásticas andesíticas, principalmente brechas y aglomerados monogénicos, y flujos masivos de andesitas y basaltos porfídicos.

Las deficientes condiciones de afloramiento de la Hoja de Sabana de la Mar no permiten excesivas precisiones acerca de la Fm Los Ranchos, por lo que su descripción se apoya en buena medida en los datos aportados por la vecina Hoja de El Valle (6372-IV; Montheil, 6372-IV). A grandes rasgos aparece como una monótona sucesión de rocas básicas con intercalación de rocas volcanoclásticas (unidad 2), aunque puntualmente se puede observar un predominio de brechas volcánicas (unidad 3). Localmente, la formación muestra los efectos de un metamorfismo de grado bajo (unidad 4) relacionado con la intrusión de cuerpos granodioríticos y tonalíticos (unidad 1).

2.1.1.1. Fm Los Ranchos. (2) Coladas de lavas básicas con niveles de rocas volcanoclásticas. (3) Predominio de brechas volcánicas. (4) Rocas volcánicas y volcanoclásticas metamorfizadas (grado bajo). Neocomiano-Aptiano  $K_1$

En general, la Fm Los Ranchos se presenta bajo unas deficientes condiciones de observación, tanto por la densa cubierta vegetal de la región, como por la intensidad con que los procesos de alteración han actuado sobre ella. Sus mejores puntos de observación, parciales en cualquier caso, se localizan en las canteras existentes junto a las carreteras Sabana de la Mar-Miches y Sabana de la Mar-El Valle. Sus afloramientos se localizan al oeste de la falla Norte del Yabón, que la pone en contacto con la Fm Las Guayabas.

Aparecen como un monótono conjunto de rocas volcánicas y volcánico-clásticas en las que predominan las facies de flujo de composición básica (basaltos) y ocasionalmente intermedia (andesita), frecuentemente transformadas superficialmente en arcillas rojas debido a los procesos de argilización; también se reconocen pequeños cuerpos intrusivos o diques de naturaleza básica. Son escasos los afloramientos donde la unidad muestra una estratificación evidente, lo que sugiere el predominio de las facies de lavas, coladas, domos, protrusiones y los productos volcanoclásticos primarios (brechas y tobas piroclásticas, nubes ardientes, colapsos, etc.) sobre los productos volcanoclásticos secundarios (epiclastitas), donde la sedimentación genera bancos mejor individualizados, haciendo patente la estratificación.

Abundan las lavas alteradas de tonos oscuros (verde-marrón) y grano fino a medio, salpicadas por cristales pequeños de tonos marrón-herrumbroso y beige-blancuzco,

según se trate de minerales ferromagnesianos o de feldespatos, respectivamente. Presentan una cierta variedad de facies, con basaltos microlíticos vacuolares, lavas básicas hidrotermalizadas con *pillow-lavas* y volcanoclastitas finas. No se ha observado en punto alguno su base, ni tampoco su techo, que ha sido erosionado, por lo que no puede precisarse su espesor, que en cualquier caso parece alcanzar 1.000 m.

Al microscopio aparecen como basaltos y basaltos andesíticos microporfídicos o afaníticos, con clinopiroxeno y plagioclasa. También se reconocen tobas máficas hidrotermalizadas y micrograbros/doleritas con textura intersertal.

En el paraje de la loma La Cucaracha se ha diferenciado un conjunto integrado por fragmentos de rocas, volcánicas en su mayoría, cementadas por materiales más finos (unidad 3). Se han reconocido brechas piroclásticas, monogénicas o poligénicas, pudiendo incluir las segundas cantos angulosos y redondeados.

La Fm Los Ranchos se encuentra afectada por cuerpos intrusivos, lo que ha dado lugar al desarrollo de facies peculiares (unidad 4) observadas en el paraje de Algarrobos. En afloramiento aparecen como una roca dura, con microgranos oscuros correspondientes a cristales milimétricos de magnetita, que le confieren propiedades magnéticas. Se asemeja a un microgabro, pero en ciertos casos la presencia de vesículas testimonia su origen volcánico. En lámina delgada muestra una recristalización total, así como una textura consistente en pequeños cristales alargados de plagioclasa albitizada y haces fibrosos de anfíbol secundario; también se observa biotita y cuarzo rellenando vacuolas. Se trata de facies de metamorfismo de contacto, relacionadas con intrusiones ígneas (unidad 1) en las volcanitas básicas.

La alteración es moderada y da lugar a la formación de clorita, albita, sericita y zeolitas, que reemplazan pseudomórficamente a los fenocristales y rellenan las cavidades (amígdalas), frecuentemente como agregados fibroso-radiales. La mesostasia podría estar ligeramente esquistosada, con láminas de disolución por presión.

En cuanto a su edad, no existen suficientes datos que permitan su precisión. En cualquier caso, la asignación de la Fm Hatillo (suprayacente en buena parte de la cordillera) al Aptiano-Albiano acota la edad del techo de la Fm Los Ranchos. Este hecho es congruente con la datación de 110-118 Ma señalada por Kesler *et al.* (2005) y Escuder-Viruete *et al.* (2007a) para el volcanismo félsico de la formación. Por otra parte, el hallazgo de plantas fósiles en el ámbito de la mina de Pueblo Viejo,

concretamente *Gleichenites* (o *Gleichenoides*), *Zamites*, *Phoenicopsis*, *Yuccites* (= *Pelourdia*), *Podozamites*, *Frenelopsis* (o *Pseudofrenelopsis*) y *Brachyphyllum*, sugiere su asignación al Neocomiano. De todo ello se deduce una edad Neocomiano-Aptiano para la Fm Los Ranchos.

### 2.1.2. Cretácico Superior

El Cretácico Superior está representado en la Cordillera Oriental por potentes series de rocas volcanoclásticas y sedimentarias, encontrándose su sucesión más completa, de unos 6 km de espesor (Fig. 2.2), al este de la cordillera, en el ámbito de sus principales relieves. La secuencia del Cretácico Superior está limitada por dos discordancias: la inferior es una superficie irregular sobre las Fms. Hatillo y Los Ranchos, en tanto que la superior es una discordancia bajo diversos conjuntos cenozoicos, que trunca pliegues contractivos y que puede llegar a erosionar a toda la serie del Cretácico Superior.

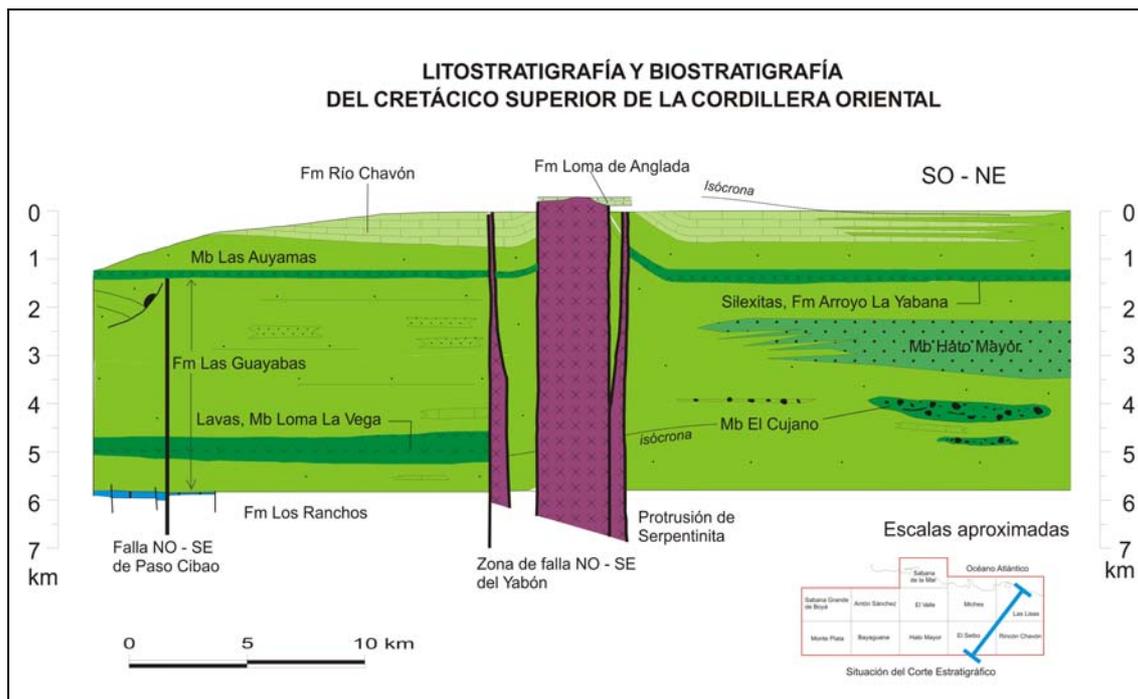


Fig. 2.2. Esquema estratigráfico del Cretácico Superior de la Cordillera Oriental (García-Senz *et al.*, 2007a, modificado)

Dentro del conjunto, mayoritariamente volcanoclástico, se diferencian diversas litologías que permiten su subdivisión estratigráfica: areniscas epiclásticas y tobas, lavas, radiolaritas y calizas, principalmente. Los trabajos cartográficos realizados dentro del Proyecto L del Programa SYSMIN (2002-2004) permitieron unificar la

estratigrafía de la Cordillera Oriental y, en base a ellos, García-Senz *et al.* (2007a) elaboraron un esquema estratigráfico del Cretácico Superior de la Cordillera Oriental (Fig. 2.3).

UNIDADES ESTRATIGRÁFICAS DEL CRETÁCICO SUPERIOR DE LA CORDILLERA ORIENTAL DOMINICANA

Bourdon (1985)		Lebron y Mann (1991)		García-Senz <i>et al.</i> (2007)	
Flysch calcáreo de La Mina	Areniscas calcáreas maastrichtienses	Fm Río Mana	Fm La Mina	Fm de Calizas de Loma de Anglada	Maastrichtiense
	Calizas maastrichtienses	Fm Loma de Anglada		Fm de Calizas de Río Chavón	Campaniense
	Serie calcárea y volcanodetrítica	Fm Bejucalito	Mb de Lutitas de Las Auyamas	Santonienne	
Serie detrítica del Coniaciense inferior	Calizas	Fm Río Chavón	Fm de Silexitas de Arroyo La Yabana		
	Intercalación silícea	Mb Arroyo La Yabana	Fm Las Guayabas	Mb de Areniscas de Hato Mayor	
					Serie volcano-detrítica y volcánica
	Conglomerado de rocas ultrabásicas	Fm El Cujano		Mb de Conglom. de El Cujano	
(Unidad del Oro)					(Unidad del Seibo)
Fm de Calizas de Hatillo				Albiense	

Fig. 2.3. Cuadro de unidades litoestratigráficas del Cretácico Superior de la Cordillera Oriental (García-Senz *et al.*, 2007a)

Este trabajo establece la Fm de Silexitas de Arroyo La Yabana (Santoniano) como un nivel guía que divide la sucesión del Cretácico Superior en dos grandes conjuntos. El inferior corresponde a la Fm de Areniscas de Las Guayabas (Cenomaniano-Santoniano), monótona sucesión de areniscas y pelitas con estratificación plano-paralela en la que se establecen tres miembros de carácter local: Conglomerados de El Cujano (Coniaciano), Vulcanitas de Loma La Vega (Coniaciano) y Areniscas de Hato Mayor (Santoniano). Por lo que respecta al superior, está integrado por las Fms. de Calizas de Río Chavón (Santoniano-Maastrichtiano) y de Calizas de Loma de Anglada (Maastrichtiano).

En la Hoja de Sabana de la Mar se han reconocido exclusivamente materiales atribuibles a las Fms. Arroyo La Yabana y Las Guayabas, así como al Mb Hato Mayor de ésta. La sucesión está dominada por detríticos de procedencia ígnea y metamórfica, que constituyen el componente principal de la Fm Las Guayabas (unidad 5, Cenomaniano-Senoniano), en cuyos términos inferiores ha podido diferenciarse el Mb Hato Mayor (unidad 6, Santoniano). Las radiolaritas de la Fm Arroyo La Yabana (unidad 7, Santoniano) han sido identificadas discontinuamente en el seno de la

sucesión, lo que ante la uniformidad litológica observada no ha permitido la individualización de dos conjuntos diferentes a techo y a muro de ella.

En general, la fauna presente en la sección del Cretácico Superior indica un ambiente de mar profundo. El contexto tectónico y deposicional del Cretácico Superior se relaciona con una cuenca de ante-arco desarrollada sobre el extinto arco volcánico de la Fm Los Ranchos y rellena por detríticos procedentes principalmente del nuevo arco volcánico situado al sur de la Cordillera Oriental, pero también de un basamento metamórfico situado al norte, probablemente comparable al actual de la Península de Samaná. Las estructuras sedimentarias son características de transporte por gravedad, ya sea por corrientes turbidíticas o por flujos en masa en abanicos submarinos (Fig.2.4).

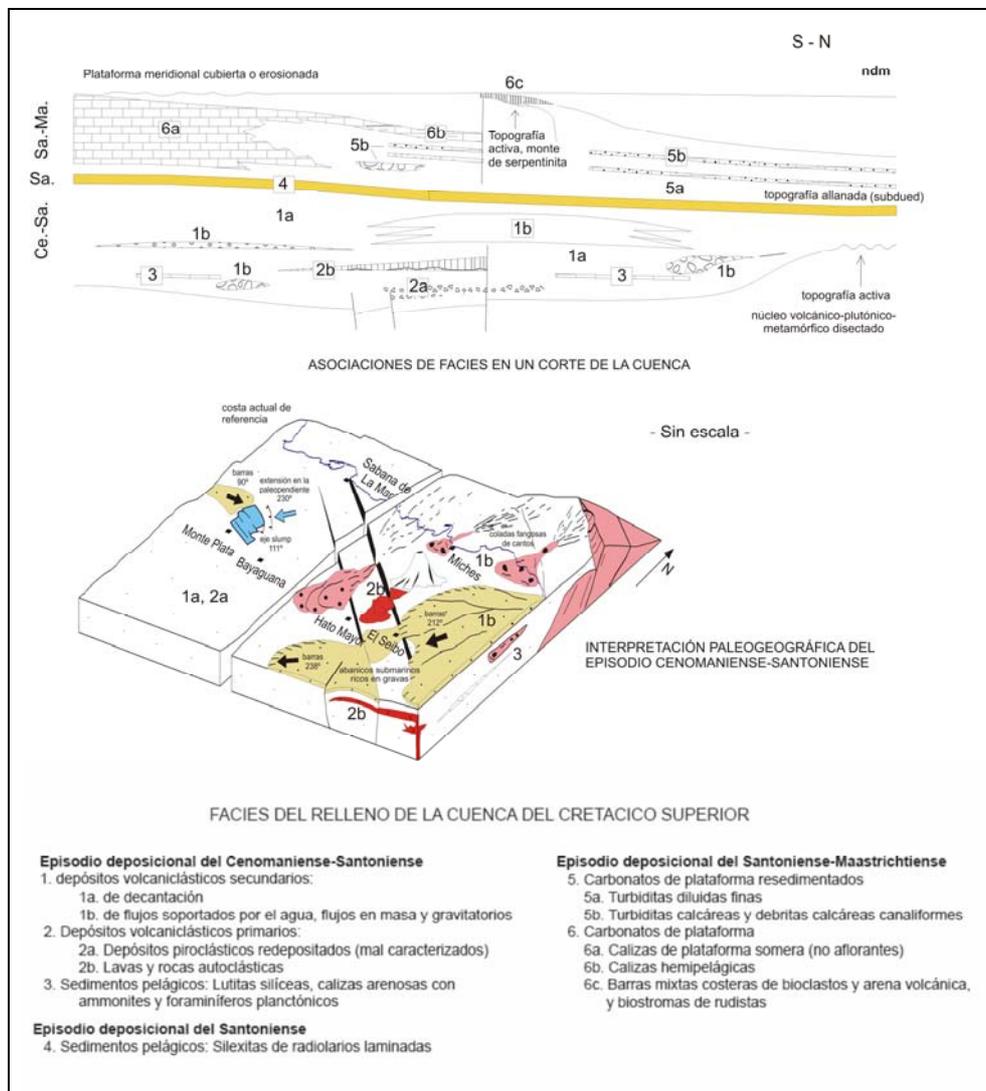


Fig. 2.4. Sistemas deposicionales del Cretácico Superior de la Cordillera Oriental (García-Senz *et al.*, 2007a)

2.1.2.1. Fm Las Guayabas (5). Areniscas, grauvacas y lutitas en capas planoparalelas. Cretácico Superior K<sub>2</sub>. Mb Hato Mayor (6). Brechas y areniscas en capas gruesas. Santoniano K<sub>2</sub><sup>4</sup>

La Fm Las Guayabas aflora en el sector oriental de la Hoja, al este de la falla Norte del Yabón, que la pone en contacto con la Fm Los Ranchos. En general aflora con deficiente calidad, tanto por la intensa argilización que la afecta, como por la extensa cobertera vegetal existente. Los mejores cortes de la formación se localizan en los pequeños taludes de carretera y en las canteras del ámbito de Las Cañitas, correspondientes al Mb Hato Mayor.

La localidad tipo propuesta por Lebron y Mann (1991), el corte de La Jagua-Los Cacaos (Hoja a escala 1:50.000 de Hato Mayor, 6372-III), tan sólo representa unos 200 m del tramo basal de la unidad, de los más de 4.000 m atribuidos por García-Senz *et al.* (2007a), pero en cualquier caso resulta bastante ilustrativa de las principales características litológicas y texturales de la unidad. Estos últimos autores sitúan su base en el contacto litológico brusco y discordante (a escala cartográfica), por el que se dispone sobre las calizas con rudistas de la Fm Hatillo o sobre rocas volcánicas de la Fm Los Ranchos, estableciendo su techo en los niveles de radiolaritas de la Fm Arroyo La Yabana; no obstante, en ausencia de este nivel guía, el techo de la Fm Las Guayabas asciende en la serie, tal como ocurre en la Hoja de Sabana de la Mar.

La litofacies más común de la Fm Las Guayabas (unidad 5) se compone de areniscas finas-medias de color oscuro, estratificadas en capas regulares planoparalelas de entre 1 cm y alrededor de 1 m de espesor. Las capas centimétricas se componen de arena fina-media, con o sin laminación; más raramente muestran buena granoclasificación y laminación tipo *ripple drift cross lamination*. Las capas de mayor espesor son de grano grueso a grava y generalmente masivas, con una exfoliación concéntrica característica.

En la parte baja de la sucesión afloran areniscas gruesas con cantos, estratificadas en capas de orden métrico, atribuidas al Mb Hato Mayor (unidad 6), definido por García-Senz *et al.* (2007a) en las proximidades de la localidad del mismo nombre. Aparecen como rocas de tonos verdosos a marronáceos. Existen evidencias de metamorfismo incipiente y de deformación, con desarrollo de un ligero clivaje, así como diques de anchura centimétrica a decimétrica intensamente replegados, fenómenos relacionados con la acción de la falla Norte del Yabón. Algunos niveles poseen carácter volcanoclástico. En ningún caso se ha observado su contacto con el resto de la Fm

Las Guayabas, por lo que no puede precisarse su espesor, que parece aproximarse a 700 m.

También en la parte baja de la serie se han reconocido niveles de naturaleza ígnea, incartografiados debido a sus reducidas dimensiones. Corresponden a basaltos y basaltos andesíticos porfídicos a microporfídicos con olivino, orto y clinopiroxeno, foliados frecuentemente. Su naturaleza y posición estratigráfica sugieren su correlación con el Mb de Vulcanitas de Loma de La Vega (García-Senz *et al.*, 2007a) de la Fm Las Guayabas.

Las características petrográficas de las areniscas de la Fm Las Guayabas (incluyendo al Mb Hato Mayor) indican una composición homogénea, rica en fragmentos líticos y feldespato y pobre en cuarzo (Fig. 2.5). Predominan los fragmentos de rocas volcánicas o plutónicas, con cantidades menores, aunque significativas, de fragmentos metamórficos y sedimentarios, principalmente chert y calizas. De acuerdo con la clasificación de Decker (1985), se trata de areniscas líticas y lítico-feldespáticas, volcanogénicas/plutonogénicas y en menor proporción, de areniscas metagénicas y sedigénicas. La pobreza en cuarzo permite precisar que provienen de un arco volcánico poco disectado, donde la erosión no habría alcanzado las rocas magmáticas intrusivas.

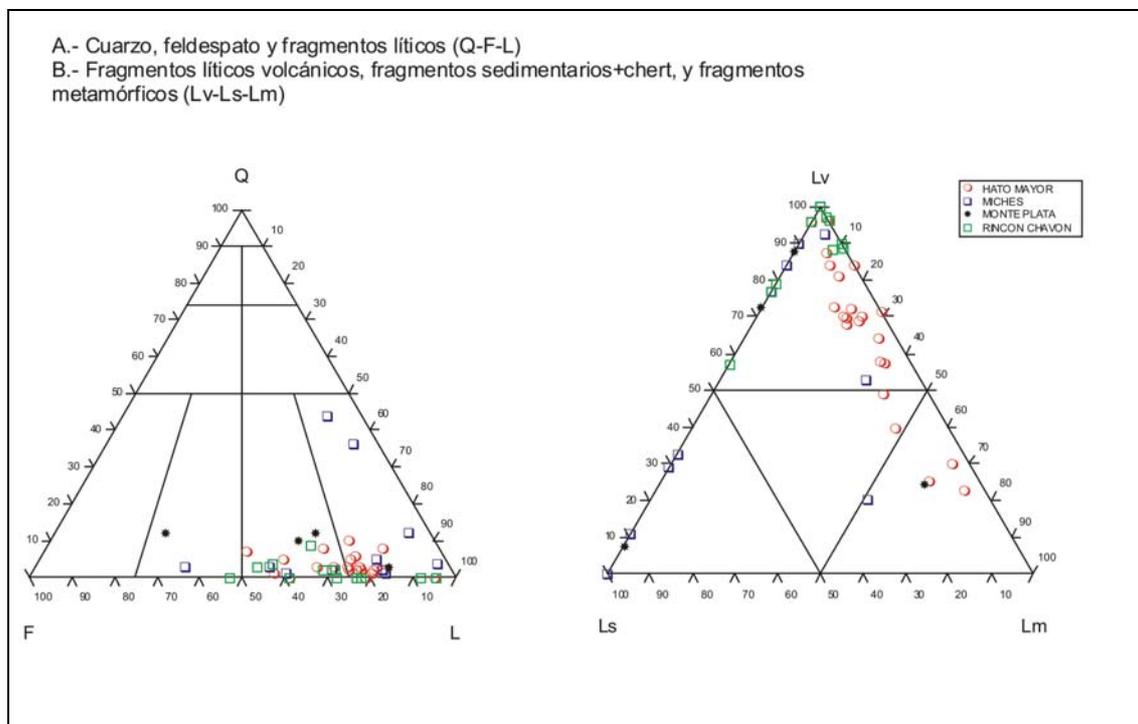


Fig. 2.5. Diagramas ternarios de areniscas de la Fm Las Guayabas (García-Senz *et al.*, 2007a)

En lámina delgada aparecen como rocas metasedimentarias y metavolcánicas de naturaleza básica, afectadas por una deformación dúctil-frágil que genera una esquistosidad y un metamorfismo de baja temperatura; la asociación mineralógica original ha sido sustituida por una serie de minerales neoformados metamórficamente: pumpellita, sericita, clorita, tremolita-actinolita, cuarzo y albita, indicativos de la facies de subesquistos verdes a esquistos verdes de más baja temperatura.

La Fm Las Guayabas contiene Radiolarios y Foraminíferos planctónicos mal conservados. Su disposición sobre la Fm Hatillo y el hallazgo en su base de un canto retrabajado con *Favusella* (*Hedbergella*) *washitensis* (Bourdon, 1985), acotan la edad de su base al Cenomaniano. Por otra parte, el hallazgo de *Globotruncana* sp., *Planoglobulina* sp., *Sigalia* sp. y *Ventilabrella* en el Mb Hato Mayor (Monthel, 2004) sugiere para éste un rango de edad Santoniano-Campaniano Inferior. Ya que además, la Fm Las Guayabas llega a disponerse en la Hoja sobre la Fm Arroyo La Yabana, el presente conjunto se ha asignado, de forma imprecisa, al Cretácico Superior, incluyendo en el Santoniano al Mb Hato Mayor.

Los fósiles, las estructuras sedimentarias y la petrografía indican que se trata de depósitos tobáceos de un ambiente de mar profundo alrededor de volcanes subacuáticos (volcanismo explosivo a freatomagmático) que aportan de forma continua las partículas volcanoclásticas, ya sea por resedimentación en turbiditas y flujos en masa, o más comúnmente por recepción directa de piroclastos por flotación y suspensión, como indica la escasez de estructuras tractivas. Una pequeña proporción de los fragmentos líticos podrían haber procedido de la erosión del prisma de acreción situado al norte (Fig. 2.4). No obstante, la escasez de datos de paleocorrientes y la dificultad de ordenar las variaciones de tamaño de grano en términos de proximal a distal impiden una reconstrucción fidedigna de los sistemas deposicionales.

#### 2.1.2.2. Fm Arroyo La Yabana (7) Radiolaritas en capas finas. Santoniano K<sub>2</sub><sup>4</sup>

Se trata del nivel guía de referencia en la sucesión del Cretácico Superior, tanto a nivel de la Cordillera Oriental, como de la Hoja. En la cordillera, sus mejores afloramientos se localizan en el sector suroriental, donde Lebron y Mann (1991) propusieron para su definición una sucesión de silexitas y tobas, con rango de miembro de la Fm Las Guayabas, concretamente en el arroyo La Yabana (Hoja a escala 1:50.000 de Rincón Chavón, 6472-III). Posteriormente, García-Senz *et al.* (2007a) excluyeron de la unidad los niveles de tobas y elevaron el nivel de silexita al rango de formación, debido a la dificultad para establecer relaciones genéticas con las rocas contiguas.

En su área tipo aparece como un nivel de sílexita de espesor cercano a 200 m, que se manifiesta en el relieve a modo de crestas alargadas que permiten reconstruir la geometría de la serie, permitiendo además la subdivisión de la sucesión del Cretácico Superior en dos tramos. En la Hoja, su expresión es sensiblemente inferior, tanto por su discreto resalte morfológico como por su deficiente afloramiento y, al menos aparentemente, por su falta de continuidad.

Consiste en capas centimétricas de sílice autigénica laminada, de color gris en sección fresca y pardo por alteración, separadas por juntas de limo. La superficie de la capas puede ser plana, ondulada por marcas de corriente o en caja de huevos por marcas de carga. Generalmente, la alteración hace que aparezca como una masa rojiza en cuyo seno se preservan restos frescos de geometrías pseudocúbicas. Estas características tan sólo son observables puntualmente en afloramientos de calidad deficiente, al este de la loma La Cucaracha.

Basándose en una asociación de radiolarios, Bourdon (1985) atribuyó este horizonte al Coniaciano. Sin embargo, en las escalas bioestratigráficas actuales se detecta una incoherencia en el diagnóstico porque coexisten formas del Albo-Cenomaniano, del Coniaciano Superior-Santoniano y del Campaniano. De acuerdo con la edad de las rocas entre las que se intercala, su edad es Santoniano (García-Senz *et al.*, 2007a).

Se interpretan como un depósito pelágico depositado bajo o cerca de la línea de compensación de la calcita (CCD), a una profundidad menor que el CCD postulado para el Santoniano en el océano Atlántico (<3,5 km; Van Andel, 1975).

### 2.1.3. Rocas intrusivas

Están representadas por dos pequeños afloramientos de composición tonalítica y granodiorítica, encontrándose encajadas en la Fm Los Ranchos.

#### 2.1.3.1. Granodioritas y tonalitas (1)

Se trata de dos afloramientos de muy deficiente calidad y dimensiones cercanas a 1 km<sup>2</sup>, localizados en los parajes de Tío Pepe y El Escobal. Intruyen en la Fm Los Ranchos y probablemente correspondan a apófisis del gran plutón de El Valle, ampliamente representado en la Hoja del mismo nombre (6372-IV). Dadas las deficientes condiciones de afloramiento en la Hoja, su descripción se basa en la de El Valle.

El macizo tonalítico o granodiorítico de El Valle configura una depresión de dirección NO-SE groseramente paralela a los principales accidentes que afectan a la región. Su intrusión ha generado una reducida aureola de metamorfismo de contacto en los materiales volcánicos de la Fm Los Ranchos. En la Hoja de Sabana de la Mar tan sólo son visibles los productos de su arenización, que en el ámbito de El Valle alcanzan 10 m de espesor. Allí se constata el predominio de tonalitas y granodioritas de grano grueso, con textura isogranular, de tono beige claro. Se observa plagioclasa, parcialmente alterada a sericita y epidota, con cuarzo abundante; también aparece anfíbol y, más raramente, biotita sistemáticamente transformada en clorita. Son frecuentes los enclaves de tamaño centimétrico.

De acuerdo con los estudios geoquímicos existentes, estos intrusivos tonalítico-granodioríticos están ligados genéticamente con las rocas volcánicas ácidas de la Fm Los Ranchos, relacionándose ambos con los primeros estadios de la formación del arco de islas intraoceánico del Cretácico Inferior. Esta idea es coherente con las dataciones efectuadas en otros cuerpos intrusivos de la Cordillera Oriental.

## **2.2. Neógeno**

### **2.2.1. Plioceno-Pleistoceno**

Los sedimentos plio-pleistocenos son el constituyente fundamental de la región de Los Haitises (Fig. 2.6), disponiéndose sobre el paleorrelieve configurado por los materiales mesozoicos y paleógenos de la Cordillera Oriental, intensamente deformados. Presentan un ligero basculamiento hacia el norte, perceptible a nivel cartográfico, y un espesor variable que puede sobrepasar 200 m.

Pese al indudable atractivo que ofrece la región de Los Haitises como dominio geológico peculiar, son escasos los trabajos elaborados sobre ella. Dichos trabajos aluden a la estratigrafía de las tradicionales calizas de Los Haitises de forma marginal, bien por tratarse de trabajos de índole regional o bien porque abordan específicamente la minería del ámbar, centrada en el perímetro de la región.

De entre los trabajos que describen la estratigrafía de la región de Los Haitises, cabe destacar el de Brower y Brower (1982), relativo al ámbar, en el que se describen cuatro unidades superpuestas, de muro a techo: conglomerado basal, Fm Yanigua, caliza de Cevicos y caliza de Los Haitises. Iturralde (2001), en un nuevo estudio sobre

la geología del ámbar en el ámbito caribeño, simplifica el esquema estratigráfico, que queda reducido a dos unidades: la Fm Yanigua, constituida por margas entre las que se intercalan niveles de conglomerados y de calizas, además de albergar masas discontinuas de ámbar y lignito; y la Fm Los Haitises, dispuesta sobre la anterior e integrada por las calizas arrecifales que constituyen los característicos afloramientos de la mayor parte de la región.

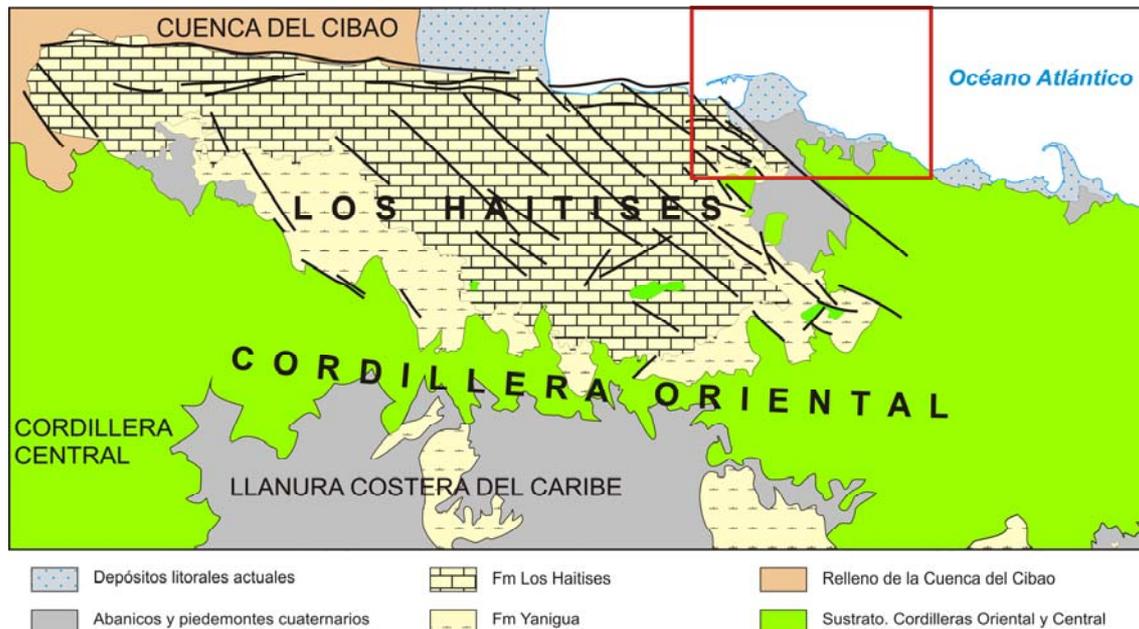


Fig. 2.6. Esquema geológico de la región de Los Haitises

Durante la realización de las Hojas Geológicas a escala 1:50.000 del Proyecto L del Programa SYSMIN (2002-2004) se adoptaron los criterios generales propuestos por Iturralde, con dos unidades principales. No obstante, existe todo un tránsito gradual entre los materiales margosos de la Fm Yanigua y los calcáreos de la Fm Los Haitises, pudiendo emplearse el término Fm Cevicos para las sucesiones con una proporción similar de ambas litologías. En este sentido, en la presente Hoja se ha considerado como Fm Los Haitises al territorio constituido de forma prácticamente absoluta por calizas y como Fm Cevicos, al que incluye margas en su composición, criterio que va asociado a cambios morfológicos e hidrológicos perceptibles.

No existe unanimidad en cuanto a la edad de esta secuencia sedimentaria, pero el hallazgo de asociaciones faunísticas características del Plioceno dentro de la Fm Yanigua durante la elaboración de la Hoja a escala 1:50.000 de Antón Sánchez (6272-I; Díaz de Neira y Hernaiz, 2004) señaló la pertenencia de la Fm Los Haitises al Plioceno-Pleistoceno.

Los afloramientos de la Fm Yanigua se distribuyen por el borde de la región de Los Haitises, soterrándose bajo los de la Fm Los Haitises, existiendo entre ambas no sólo una relación vertical, sino también de cambio lateral de facies. La Fm Yanigua se interpreta en un contexto de *lagoon* de baja energía, en tanto que la Fm Los Haitises representa una plataforma carbonatada de carácter arrecifal.

En la presente Hoja se han diferenciado dos conjuntos.

- Fm Cevicos (unidad 8). Se trata de una sucesión de margas entre las que se intercalan potentes niveles de calizas. Constituye un tránsito entre las Fms. Yanigua y Los Haitises, aflorando exclusivamente en el sector meridional.
- Fm Los Haitises (unidad 9). Es un peculiar conjunto calcáreo, que presenta una fisonomía muy característica debido a la evolución eustática de la región y a la intensa acción de la meteorización química. Constituye el extremo nororiental del afloramiento de la región del mismo nombre, siendo esta unidad la que confiere una fisonomía tan peculiar a la zona.

#### 2.2.1.1. Fm Cevicos (8) Margas y calizas. Plioceno N<sub>2</sub>

Como se ha señalado, la presente unidad se asimila a uno de los conjuntos litoestratigráficos característicos de la región de Los Haitises, cuyas relaciones graduales confieren cierta subjetividad a sus límites. En cualquier caso, se ha asimilado a la Fm Cevicos siguiendo los criterios empleados en la Hoja a escala 1:50.000 de El Valle (6372-IV), aunque pudiera haberse asimilado igualmente a la Fm Yanigua. Sus afloramientos se localizan en el sector meridional, al oeste de la falla del Yabón, presentando una deficiente calidad de observación debido a la fácil alterabilidad de los materiales margosos. No obstante, sus características esenciales pueden apreciarse al norte de la loma Clara, en la Hoja citada, donde la Fm Cevicos aparece como una monótona sucesión de margas de tonos marrones a grisáceos, que intercalan niveles de calizas y acumulaciones de moluscos o de corales ramosos, así como de arenas. Los niveles de calizas y acumulaciones fosilíferas alcanzan espesores de orden decamétrico. Por alteración proporciona al terreno típicas coloraciones amarillentas y ocres.

No se observa su base, de carácter discordante sobre materiales cretácicos de la Fm Los Ranchos y los plutones intruidos en ella, en tanto que su techo posee carácter gradual, consistiendo en un enriquecimiento calcáreo, hasta la total desaparición del contenido margoso, dando paso a la Fm Los Haitises. Su espesor mínimo sobrepasa 80 m.

Petrográficamente, se observa una gran variedad dentro de los niveles calcáreos, que aparecen como calizas fosilíferas, en ocasiones con estructura coralina bioconstruida, identificándose como *wackestones* a *grainstones* bioclásticos, a veces peletoidales, y *framestones* coralinos. El contenido de aloquímicos varía ampliamente (30-60%), así como el de los ortoquímicos (43-66%), con presencia de micrita (26-66%) y esparita (4-19%); otro tanto puede decirse de la proporción de sus componentes texturales, entre los que suelen predominar los fósiles (44-98%) sobre los pelets (2-56%). En el caso de las bioconstrucciones, se aprecia un predominio de aloquímicos (80-85%), casi exclusivamente de carácter fosilífero, con un contenido de ortoquímicos (15-20%) prácticamente repartido entre micrita y esparita.

En los niveles calcáreos se han encontrado Corales, Algas rojas, Miliólidos, Nummulítidos, Bivalvos, Gasterópodos, Briozoos, Braquiópodos y placas de Equinodermos, carentes de valor determinativo. Por lo que respecta a los niveles margosos, su contenido faunístico es escaso, pudiendo destacarse la presencia de *Lenticulina* sp. y *Nonion* sp., además de Radiolas de Equínidos, Gasterópodos, Ostrácodos y fragmentos de Lamelibranquios, que tampoco han permitido establecer la edad de la unidad, que ha sido asignada al Plioceno en base a la fauna encontrada en la Hoja a escala 1:50.000 de Antón Sánchez (6272-I; Díaz de Neira y Hernaiz, 2004).

El depósito de la Fm Cevicos se interpreta en un contexto de plataforma interna protegida por la barrera arrecifal constituida por la Fm Los Haitises (Fig. 2.7). La barrera protegía, probablemente, áreas con desarrollo de praderas de corales ramosos que crecían sobre y entre acumulaciones de calcarenitas bioclásticas. Hacia tierra, estos depósitos darían paso a barros calcáreos con proporciones variables de bioclastos y pequeños cuerpos calcareníticos, en los que proliferaron distintos tipos de moluscos y foraminíferos, y crecimientos parcheados de coral. Donde la influencia de sedimento arcilloso en suspensión fue mayor, los barros calcáreos dejaron paso a margas que albergaron comunidades similares de organismos. A los sectores más

internos de la plataforma llegarían avalanchas de terrígenos procedentes de los relieves de la Cordillera Oriental, representadas por los niveles arenosos.

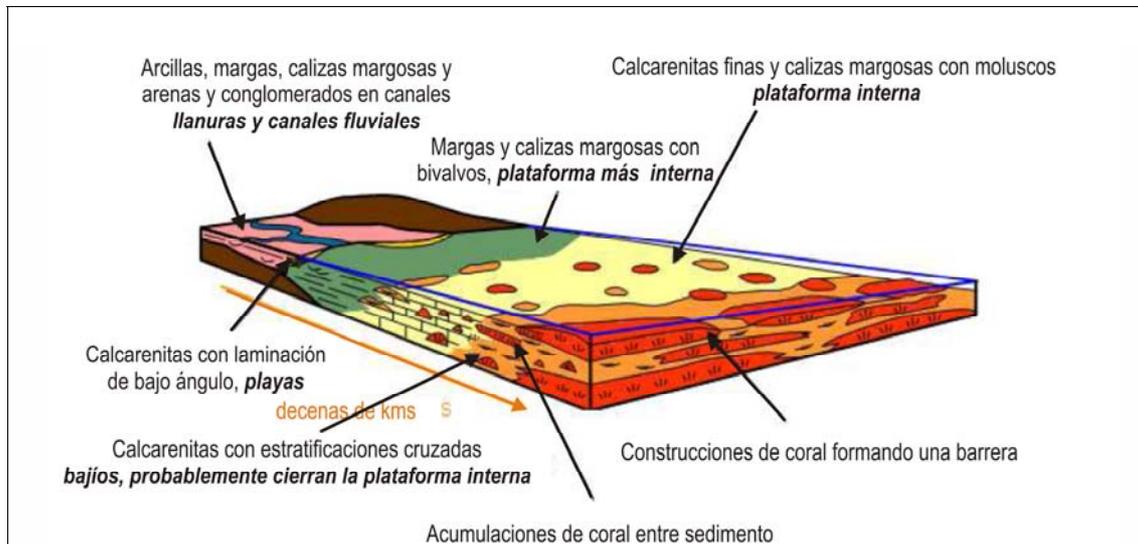


Fig. 2.7. Esquema paleogeográfico del Plioceno-Pleistoceno Inferior (Fms. Yanigua-Los Haitises) (Braga, 2010)

#### 2.2.1.2. Fm Los Haitises (9) Calizas y calizas arrecifales masivas. Plioceno-Pleistoceno Inferior N<sub>2</sub>-Q<sub>1</sub>

Se trata del conjunto calcáreo que constituye los peculiares afloramientos de morfología kárstica de la región de Los Haitises, configurada a modo de denso entramado en el que alternan profundas dolinas y uvalas con pronunciados montículos (*hums* o *haitises*). Afloran en el sector occidental de la Hoja, cuya impenetrabilidad dificulta extraordinariamente su estudio, que queda limitado a los bordes del afloramiento, destacando el litoral por su calidad de exposición.

A grandes rasgos, presenta una gran uniformidad litológica, que se refleja en la monotonía observada en el paisaje, encontrándose afectada por una densa red de fracturación, de orientación preferente NO-SE, condicionante en buena medida del enjambre de dolinas de la región. Se dispone concordantemente sobre la Fm Cevicos, mediante un progresivo enriquecimiento calcáreo de la serie, existiendo posiblemente entre ambas unidades también una relación de cambio lateral. Su espesor visible sobrepasa 100 m.

Aparecen como un monótono conjunto de calizas y, en menor medida, calcarenitas grises, en las que el elevado contenido fosilífero es observable a simple vista. Se agrupan en bancos de espesor métrico a decamétrico, aunque con frecuencia su estratificación no es fácilmente observable, lo que acentúa su aspecto masivo.

Predominan las calizas constituidas por el amontonamiento, en posición de vida, de corales masivos, incrustantes o laminares, y la acumulación de ramas y fragmentos grandes de ramas de corales ramosos. Se distinguen tres subtipos básicos de construcciones de corales: masivos, laminares y ramosos (Braga, 2010).

Se observan armazones (*framestones*), generalmente de escasa potencia, producidos por la superposición de colonias masivas, con morfologías de domos a tabulares y dimensiones generalmente de centimétricas a decimétricas, aunque en algunos casos se observan colonias de varios metros de anchura; entre las colonias, el sedimento interno suele ser escaso y varía de calcarenitas bioclásticas finas a barro micrítico o margoso. No obstante, los armazones cambian lateral y verticalmente a construcciones con mayor proporción de sedimento entre colonias hasta depósitos en los que las colonias están soportadas por calcarenitas y calcirruditas, siempre con matriz micrítica. Tienen geometrías lenticulares más o menos acentuadas, con espesores máximos de orden métrico y anchura de hasta varias decenas de metros. *Porites* es el género de coral predominante en esta sub-facies, siendo también frecuentes las colonias de *Montastrea* y *Siderastrea*. Una de las canteras del camino de Caño Hondo presenta un magnífico desarrollo de este tipo de construcción.

Las colonias laminares se encuentran en acumulaciones de pequeñas dimensiones, de unos pocos decímetros a unos pocos metros de espesor, y poca continuidad lateral. Los corales, con forma de platos irregulares, cóncavos hacia arriba, se apoyan unos sobre otros o flotan en un sedimento calcarenítico con matriz micrítica a margosa. Los corales laminares pertenecen mayoritariamente a la familia *Agaricidae*.

Las colonias ramosas pueden preservarse puntualmente intactas en posición de vida o volcadas, pero generalmente dan lugar a una acumulación de fragmentos heterométricos de ramas, es decir a una calcirrudita que puede ser clasto-soportada (*rudstone*), con sedimento interno fino (calcarenita fina, micrita o marga) o presentar todas las transiciones hasta depósitos formados por ramas dispersas en un sedimento calcarenítico con matriz micrítica (*floatstones* en *packstones* a *wackestones*). En la

matriz hay bioclastos de corales, algas rojas, equinodermos, moluscos, foraminíferos y briozoos. Las acumulaciones de corales ramosos forman capas tabulares o lentejones de poco espesor (decímetros a unos pocos metros). Las concentraciones de corales ramosos gruesos, suelen pertenecer al género *Porites*, como en la base de la sección de la cantera cercana a Caño Hondo. Los corales ramosos más típicos en estas acumulaciones (grosos de 0,5 a 1,5 cm) corresponden a *Acropora cervicornis* y a especies de *Stylophora*, observándose en la sección próxima a Caño Hondo varios niveles con estos corales.

Las calcarenitas poseen carácter bioclástico, con estratificaciones cruzadas. Son calcarenitas finas y medias con contenido micrítico (*packstones*) y bioclastos que son fragmentos de corales, moluscos, equinodermos, escasos briozoos, abundantes foraminíferos (textuláridos, rotálidos, miliólidos, sorítidos -*Androsinopsis*- y *Amphistegina*) y algas rojas coralinales, *Halimeda* y peloides. Localmente presentan estratificaciones y laminaciones cruzadas en artesa de poca entidad, con longitudes de onda decimétricas o de muy pocos metros y alturas (amplitudes) decimétricas. Frecuentemente sólo se observa una bioturbación penetrativa con una estratificación irregular mal definida. Como en otras facies, los componentes aragoníticos están disueltos y más o menos rellenos de calcita espática posterior. Hay sedimentos que son de transición a las facies de calizas con moluscos.

Las construcciones de coral conformaban arrecifes en la plataforma carbonatada pliocena, separando una plataforma interna somera, pero protegida y con baja turbulencia, de una plataforma externa cuyos depósitos no se han reconocido por el momento en la zona (Fig. 2.7). De acuerdo con las zonaciones de morfologías de coral observadas en arrecifes actuales del Caribe (Geister, 1977), las subfacies de corales masivos y de corales ramosos gruesos probablemente corresponden a las construcciones más expuestas al oleaje, mientras que las laminares y las ramosas crecen en zonas protegidas del arrecife o en zonas más profundas, fuera de la influencia del oleaje continuo. Las colonias ramosas se extienden formando praderas en la plataforma protegida y sus ramas se acumulan como fragmentos entre el sedimento fino de este ambiente, dando lugar a capas o cuerpos tabulares.

Por lo que respecta a las calcarenitas, se formaron en medios marinos someros de plataforma interna protegida, con una cierta agitación por corrientes que lavaron un

poco las partículas bioclásticas y produjeron las pequeñas dunas que dieron lugar a las estratificaciones cruzadas.

Petrográficamente, aparecen como calizas fosilíferas, en ocasiones con estructuras fenestrales y orientadas, o bien como calizas bioconstruidas por corales; texturalmente, muestran una cierta variedad, predominando los *wackestones* y *packstones* de carácter bioclástico, junto con *framestones* coralinos. El contenido de ortoquímicos varía entre 63-79%, con predominio de micrita (52-75%) sobre esparita (3-16%). En cuanto a los aloquímicos (45-62%), predominan los fósiles, con un contenido superior al 90%, con ocasional presencia de intraclastos, que en ningún caso sobrepasan el 7%. En cuanto a las bioconstrucciones, al menos el 95% corresponde a fósiles, con ocasional presencia de micrita (hasta 5%).

Incluye un elevado, aunque poco determinativo, contenido faunístico integrado por Corales, Foraminíferos, Algas, Gasterópodos, Ostrácodos, Bivalvos, Equínidos y Briozoos. En cualquier caso, la asignación de la Fm Yanigua al Plioceno limita la edad del presente conjunto al Plioceno-Pleistoceno Inferior.

### 2.2.2. Cuaternario

Los depósitos cuaternarios poseen una extensa representación, especialmente en la Llanura Costera de Sabana de la Mar, observándose en general un predominio de los de carácter fluvial. No obstante, también se aprecia un notable desarrollo de los de origen lacustre-endorreico y marino-litoral, que junto con los de origen kárstico, poligénico y antrópico, completan el espectro de la Hoja.

#### 2.2.2.1. Abanicos aluviales de baja pendiente. (10) Gravas, arenas y lutitas. (11) Arenas y lutitas. Pleistoceno Medio-Superior Q<sub>2-3</sub>

Poseen una notable extensión, tanto en la Llanura Costera de Sabana de la Mar, como en la depresión de El Valle. Su depósito se produce en la salida de ríos y arroyos a las grandes planicies, donde la carga transportada por aquéllos pierde su confinamiento, expandiéndose; son frecuentes los dispositivos coalescentes por la proximidad de los ápices. Predominan los de dimensiones kilométricas, superando los 6 km de longitud con respecto al ápice en el caso del generado por el río Yabón al alcanzar la llanura costera.

Se han diferenciado dos sistemas en función de su morfología y composición. El más extenso se dispone con baja pendiente a modo de orla de la Cordillera Oriental, mostrando proporciones variables de lutitas, arenas y gravas (unidad 10) cuya composición varía ligeramente en función del área madre. En cualquier caso, abundan los términos lutíticos rojizos, como consecuencia del desarrollo alcanzado por las argilizaciones en la cordillera, y los cantos de composición basáltica derivados de la Fm Los Ranchos. Aunque con carácter puntual, pueden observarse sus principales rasgos en el litoral del sector Sabana de la Mar-Punta Tiburón y en los diversos arroyos que los inciden.

En la depresión de El Valle poseen una pendiente ligeramente superior y muestran un claro predominio de los componentes arenosos (unidad 11), con cierta proporción lutítica, debido al desarrollo alcanzado por los procesos de arenización sobre los cuerpos tonalíticos. Al igual que en el caso de los anteriores, su espesor puede llegar a 20 m.

Se asignan al Pleistoceno Medio-Superior por su evidente posterioridad al depósito de la Fm Los Haitises y por el grado de incisión en ellos mostrado por los principales cursos fluviales.

#### 2.2.2.2. Fondo de dolina (12). Arcillas de descalcificación. Pleistoceno-Holoceno Q<sub>1-4</sub>

Se concentran en la región de Los Haitises, donde poseen una notable representación. Se relacionan con las depresiones kársticas desarrolladas sobre los materiales calcáreos de la Fm Los Haitises, correspondiendo a dolinas de formas subcirculares o subelípticas orientadas de NO a SE, dirección de fracturación principal.

Se trata de arcillas rojas de aspecto masivo generadas por la descalcificación de las litologías calcáreas por karstificación. Su espesor varía según los casos, pudiendo superar 2 m. Su edad inferior está acotada por la de la Fm Los Haitises, por lo que se enmarcan en el Pleistoceno-Holoceno.

### 2.2.2.3. Terraza (13). Gravas, arenas y lutitas. Pleistoceno Superior-Holoceno Q<sub>3-4</sub>

Su principal manifestación se relaciona con el valle del río Yabón, cuyas terrazas constituyen una franja de más de 2 km de anchura paralela al cauce, estando representadas también en el valle del río Capitán, aunque con una extensión sensiblemente inferior. Se disponen a cotas próximas a +5 m sobre el cauce del río.

No existen cortes que permitan una descripción detallada de estos depósitos, pero sí diversos puntos donde observar sus características litológicas esenciales. Poseen una composición similar, estando constituidos por gravas polimícticas integradas por cantos de origen ígneo-metamórfico y sedimentario en matriz arenosa, observándose niveles de lutitas y coloraciones rojizas; el tamaño de los cantos varía notablemente, predominando los diámetros de 5-15 cm. Su potencia oscila entre 5 y 10 m.

Por lo que respecta a su edad, en función del grado de incisión de la red actual en ellas se atribuyen tentativamente al Pleistoceno Superior-Holoceno.

### 2.2.2.4. Piedemonte (14). Lutitas, arenas y gravas. Pleistoceno Superior-Holoceno Q<sub>3-</sub>

4

Su principal representación se localiza al pie de la loma Algarrobos, donde configuran una planicie de hasta 2 km de longitud, integrada por un delgado depósito, de orden métrico, dispuesto sobre las intrusiones tonalítico-grandioríticas y la Fm Cevicos. Se observan arcillas rojas con esporádicos cantos y bloques de composición basáltica, así como arenas, probablemente por removilización del sustrato tonalítico arenizado.

Al pie de la Loma La Cucaracha se han diferenciado otras formas de menor entidad constituidas por gravas en matriz lutítica roja, de aspecto muy semejante al de las terrazas. En este caso, su espesor sobrepasa 10 m.

En cuanto a su edad, por su aspecto morfológico se asignan al Pleistoceno Superior, sin que deba descartarse su pertenencia, al menos parcialmente, al Holoceno.

#### 2.2.2.5. Llanura de inundación (15) Arenas, lutitas, y gravas. Cauce o meandro abandonado (16) Lutitas y arenas. Holoceno Q<sub>4</sub>

Las llanuras de inundación se encuentran ligadas a los principales ríos y arroyos de la zona, destacando entre todas ellas la del río Yabón, que configura una franja que llega a superar 1 km de anchura, alcanzando su máxima extensión en las proximidades de su desembocadura. Dentro de esta llanura se reconocen cauces y meandros abandonados, que denotan una continua deriva del río en su curso bajo.

La llanura de inundación está constituida por arenas y lutitas de tonos rojizos, entre las que se intercalan niveles de gravas polimícticas de espesor decimétrico a métrico. Su espesor es difícil de determinar al no observarse el sustrato, pero sobrepasa 5 m en el caso del río Yabón. En cuanto a los cauces y meandros abandonados, la proporción de gravas es mínima, incrementándose el contenido lutítico debido a los procesos de decantación ligados a su actual dinámica de encharcamiento.

Por su dinámica actual se asignan al Holoceno, sin que deba descartarse su pertenencia parcial al Pleistoceno.

#### 2.2.2.6. Marisma alta (17) Lutitas. Marisma baja (Manglar) (21) Lutitas y arenas. Holoceno Q<sub>4</sub>

Son zonas afectadas por las mareas: diarias, en el caso de las marismas bajas, coincidentes con el manglar, y por mareas excepcionales, en el caso de las marismas altas. Las primeras aparecen por diversos puntos del litoral, pero su mayor exponente se localiza en torno a la bahía de San Lorenzo y entre los cauces actual y antiguo del río Yabón. En cuanto a las segundas, se localizan exclusivamente en el extremo oriental de la Hoja, donde su escasa funcionalidad puede llegar a sugerir su carácter relictos.

Poseen composición lutítica, con cierto contenido arenoso, siendo su rasgo más característico, en el caso de la marisma baja, su colonización por el manglar, lo que da lugar a un notable enriquecimiento en materia orgánica. Su espesor se sitúa dentro de valores métricos. Se trata de depósitos actuales, por lo que se incluyen en el Holoceno.

#### 2.2.2.7. Área pantanosa (18). Lutitas con materia orgánica. Holoceno Q<sub>4</sub>

Al igual que en el caso de las marismas, aparecen en diversos puntos de la franja litoral, pero su máxima representación se encuentra al oeste de Sabana de la Mar, en el paraje de Mata de la Yerba Buena, donde configuran una franja de más de 6 km de longitud. Se trata del depósito de áreas de tendencias endorreicas, integrado por lutitas oscuras con un cierto contenido vegetal, cuyo espesor no ha sido determinado, aunque probablemente se acerque a 2-3 m. Por su dinámica actual se enmarcan en el Holoceno.

#### 2.2.2.8. Flecha litoral (19). Arenas. Holoceno Q<sub>4</sub>

La flecha de Sabana de la Mar constituye la forma más característica, no sólo de la Hoja, sino de toda la bahía de Samaná, constituyendo uno de los elementos del litoral dominicano de más fácil identificación en cualquier cartografía. Consiste en una sucesión de dunas que con una dirección cercana a E-O, se extiende a lo largo de más de 8 km. Posee una anchura de orden hectométrico y una altura inferior a 10 m. En su sector oriental actúa como barrera que protege los manglares y las áreas pantanosas de la zona, de la acción directa del mar.

Una vez más, se trata de depósitos sin exposiciones de calidad, a lo que hay que añadir en este caso, su difícil accesibilidad por la presencia de los manglares y las zonas pantanosas aludidas. Está compuesta por arenas cuya orientación está condicionada por la dirección principal del viento y de las corrientes marinas. Se enmarcan en el Holoceno por su carácter actual.

#### 2.2.2.9. Fondo de valle (20). Gravas, arenas y lutitas. Holoceno Q<sub>4</sub>

Se trata de formas estrechas coincidentes con el canal de estiaje y que constituyen el principal testimonio de la actividad sedimentaria de la red fluvial actual. Los más destacados están constituidos por gravas polimícticas en matriz arenosa, con predominio de cantos de origen ígneo-metamórfico y sedimentario, debido a su procedencia de la Cordillera Oriental. En el caso de los menores, pueden aumentar la proporción lutítica; igualmente, en el sector occidental aumentan el contenido de cantos calcáreos al nutrirse de materiales de la Fm Cevicos.

En el caso del río Yabón, las gravas contienen cantos redondeados de 10-20 cm. Aunque no existen cortes que permitan determinar su espesor, éste varía notablemente en función del curso en cuestión, pudiendo alcanzar 5 m. Por su actividad actual se asignan al Holoceno.

#### 2.2.2.10. Cordón litoral (22). Arenas. Holoceno Q<sub>4</sub>

Aparece representado exclusivamente en Punta Capitán, con más de 2 km de longitud. Posee una anchura hectométrica y una altura inferior a 10 m, disponiéndose a modo de barrera protectora del área pantanosa de El Palán. Está constituido por una sucesión de dunas enmascaradas por la densidad de palmeras existente. Se asigna al Holoceno por su funcionalidad actual.

#### 2.2.2.11. Playa (23). Arenas. Holoceno Q<sub>4</sub>

Pese a su presencia en diversas zonas de costa baja y arenosa, sus dimensiones tan sólo han permitido su representación en Sabana de la Mar, con una anchura de varias decenas de metros. Están constituidas por arenas de grano medio. Por su dinámica actual se asignan al Holoceno.

#### 2.2.2.12. Relleno antrópico (24). Bloques, arenas y lutitas. Holoceno Q<sub>4</sub>

Aunque la actividad antrópica constituye una característica de algunos puntos de la zona, estando relacionada principalmente con la modificación del paisaje debida a construcción de redes de transporte y asentamientos urbanos, en el presente apartado se ha diferenciado exclusivamente aquélla que ha supuesto una modificación sustancial de la topografía, consistente en una ganancia de terreno a expensas del mar.

Se trata de los materiales utilizados como rellenos en la costa de Sabana de la Mar, consistentes en un conjunto heterogéneo de bloques, arena y material lutítico, sometido a explanación y que ha incrementado modestamente el territorio emergido. Su espesor es de orden métrico. Obviamente, se asignan al Holoceno.

### 3. PETROLOGÍA

#### 3.1. Descripción petrológica y petrográfica

##### 3.1.1. Formación Los Ranchos

La naturaleza de los afloramientos en la Hoja de Sabana de la Mar no ha permitido la diferenciación de los tres conjuntos establecidos en la Cordillera Oriental durante la realización del Proyecto L del Programa SYSMIN (2004), si bien parecen corresponder al miembro inferior, compuesto por brechas volcanoclásticas poligénicas e intercalaciones de flujos lávicos y andesíticos, así como de horizontes volcanoclásticos finos, bien estratificados. En cualquier caso, la baja representatividad de los afloramientos de la Hoja dentro del conjunto de la cordillera ha aconsejado la descripción de sus aspectos petrológicos y geoquímicos de acuerdo con los datos recopilados durante el citado proyecto, especialmente en la vecina Hoja de El Valle (Monthel, 2004).

En las coladas basálticas se reconocen facies de textura microlítica vacuolar, con acumulación de vacuolas en la parte superficial de la colada. En lámina delgada, la textura microlítica está bien marcada por cristales de plagioclasa, clinopiroxeno, anfíbol y productos ferro-titaníferos en una fase vítrea. Los ferromagnesianos presentan un principio de alteración, con una asociación de anfíbol/clorita secundaria. Las vesículas están rellenas de carbonatos, anfíbol/clorita, prehnita y cuarzo.

También se han observado lavas básicas hidrotermalizadas con estructuras almohadilladas (*pillow-lavas*), facies difíciles de identificar pues algunas alteraciones de la roca original dan como resultado formas semejantes. Se atribuyen a este tipo ciertos afloramientos con una estructura en “bolos”, más o menos concéntricos, de 10-30 cm de diámetro. En el centro, la lava está bien cristalizada, generalmente con cristales de mayor tamaño, mientras que en los bordes la facies es mucho más fina; esta estructuración está acentuada por superficies de enfriamiento que presentan una disposición concéntrica. En lámina delgada, la lava presenta las características de un basalto con textura microlítica vacuolar, con alteración hidrotermal importante, caracterizándose por la formación de carbonatos y de clorita/esmectita por reemplazo

total de los ferromagnesianos de la mesostasia, lo que recuerda a una alteración de tipo espilitico.

Las facies volcanoclásticas finas se caracterizan por una organización estratificada, con alternancias milimétricas a centimétricas de lechos con granulometría variada. Están compuestas por grauvacas líticas de granulometría fina, con restos monocristalinos dominantes (cuarzo y feldespatos sericitizados) y por elementos líticos. El conjunto está cementado por una matriz lutítica muy fina, difícilmente identificable.

Las rocas afectadas por metamorfismo de contacto están totalmente recristalizadas, mostrando textura microgranular integrada por pequeños cristales de plagioclasa, anfíbol y cuarzo intersticial. La plagioclasa está albitizada, en tanto que el anfíbol, de carácter secundario, aparece dispuesto en haces fibrosos de tipo actinolita, como resultado de la alteración hidrotermal de los ferromagnesianos primarios. También se observa clorita, epidota y biotita secundaria. Está preservada la textura microlítica vacuolar, con vesículas rellenas de cuarzo y de haces de epidota y actinolita.

### 3.1.2. Granodioritas y tonalitas

Tal como se ha señalado en el apartado correspondiente, no existe afloramiento alguno en la Hoja que permita una descripción detallada de los cuerpos ígneos intruidos en la Fm Los Ranchos, fuertemente arenizados, por lo que al igual que en la Fm Los Ranchos, todos los aspectos relativos a ellos se sustentan en los datos aportados por la Hoja de El Valle, donde poseen una mayor extensión y una mejor representación.

Aparecen como rocas granudas equigranulares de grano grueso y tono beige claro. Se observa el predominio de plagioclasa, parcialmente alterada a sericita y epidota, con abundante cuarzo; también aparece anfíbol y, más raramente, biotita transformada en clorita. Incluye frecuentes enclaves centimétricos.

### 3.2. Geoquímica

#### 3.2.1. Formación Los Ranchos

En el diagrama Nb/Y versus Zr/TiO<sub>2</sub> (Winchester y Floyd, 1977), las rocas de la Fm Los Ranchos y los cuerpos intruidos en ellas relacionados con las rocas volcánicas ácidas, varían en composición desde basaltos subalcalinos hasta andesitas y dacitas/riodacitas (Escuder Viruete, 2004; Escuder Viruete *et al.*, 2006), observándose una cierta ausencia de composiciones basáltico/andesíticas intermedias (Fig. 3.1). En los diagramas Yb versus Th y Zr versus Y (Barrett y McLean, 1999), las rocas máficas son subalcalinas y muestran una afinidad toleítica.

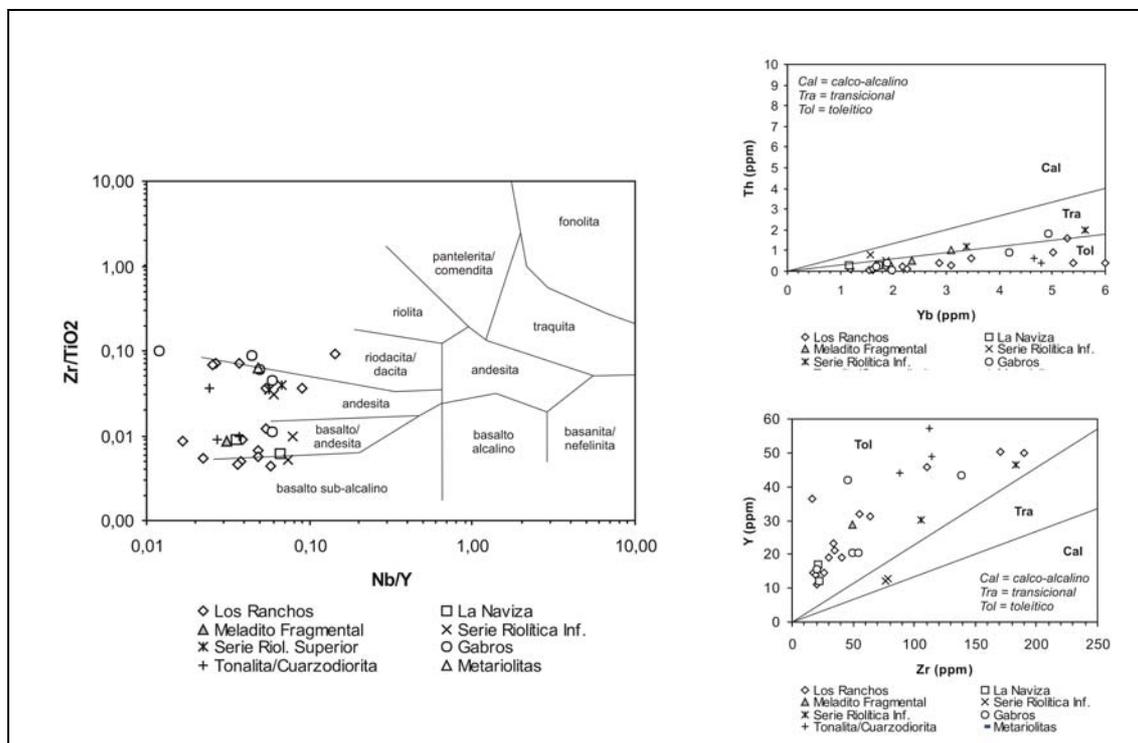


Fig. 3.1. Diagramas binarios de muestras de la Fm Los Ranchos

En los diagramas de variación de algunos óxidos y elementos traza con respecto al MgO, en las diferentes unidades litoestratigráficas de rocas volcánicas de la Fm Los Ranchos e intrusiones relacionadas con ella (Fig. 3.2), se observa igualmente la ausencia de composiciones intermedias, distinguiéndose dos grupos composicionales: el primero, integrado por rocas volcánicas basálticas, basáltico-andesíticas y andesíticas, intrusiones de gabros-microgabros y el Mb La Naviza (%MgO>3,3); y el

segundo, por rocas volcánicas riolíticas e intrusiones cuarzodioríticas y tonalíticas (%MgO<1,4).

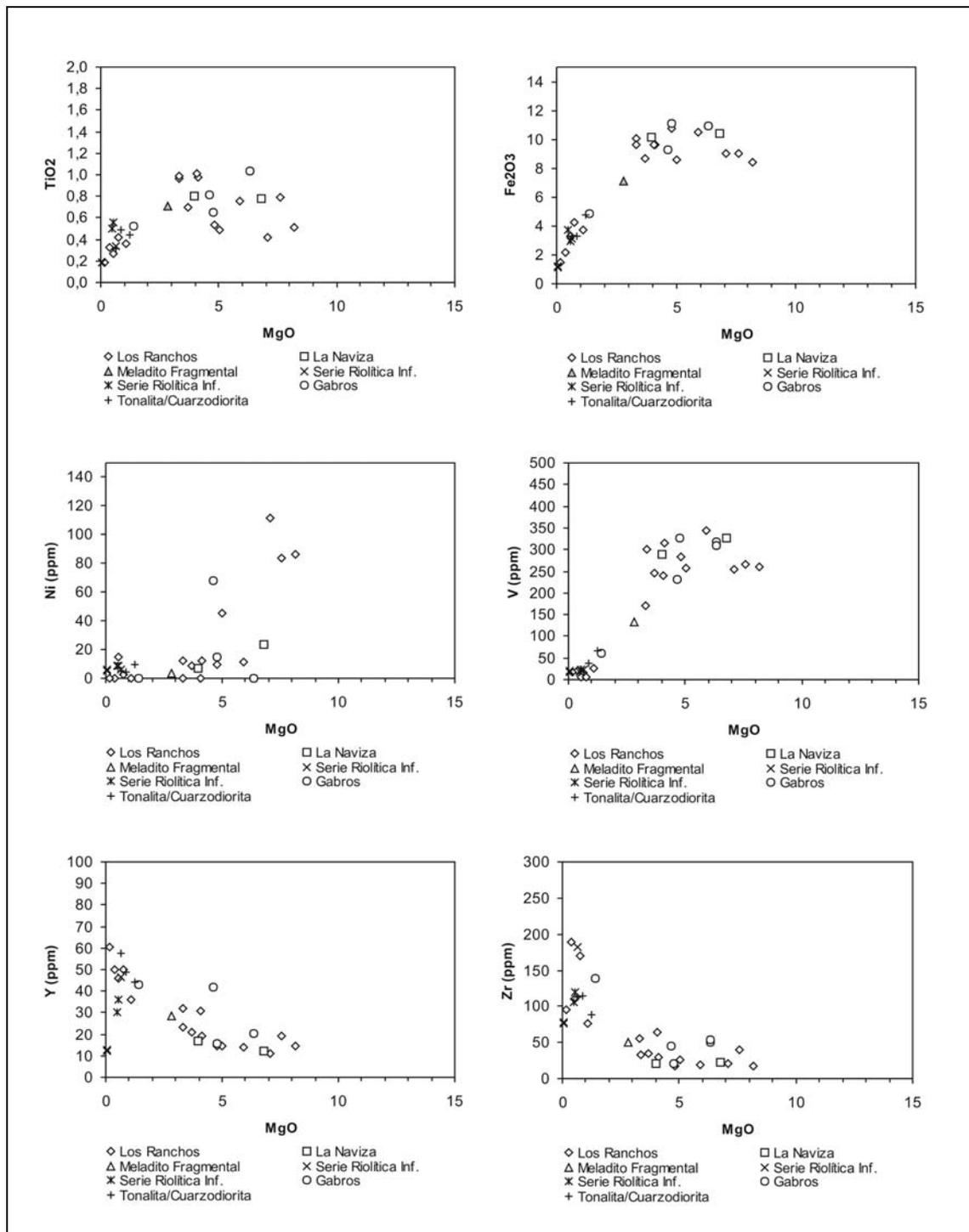


Fig. 3.2. Diagramas binarios con respecto al MgO de rocas de la Fm Los Ranchos

La comparación de muestras de la Fm Los Ranchos con un similar grado de fraccionación (o Mg#) revela la existencia de una gran variación, tanto en la abundancia de elementos traza como en el tipo de diagrama de REE extendido

resultante al normalizar los análisis con respecto al manto primordial (Fig. 3.3). En una primera aproximación, todas las rocas de la Fm Los Ranchos son de carácter toleítico y presentan una pronunciada anomalía negativa de Nb (y de Ta) indicativa de un origen relacionado con subducción. Como las tierras raras pesadas (HREE) y los HFSE (Ti, Zr, Hf, Ta y Nb) no resultan afectados por el componente relacionado con subducción en magmas de arco (Pearce y Peate, 1995), estos elementos pueden ser utilizados como una guía de la composición del manto del cual derivaron las rocas magmáticas estudiadas. En los diagramas, la pendiente negativa de los HFSE aumenta con el grado de empobrecimiento del manto y con la abundancia de las HREE (para grados equivalentes de fraccionación) lo que refleja cuantitativamente el grado de fusión parcial.

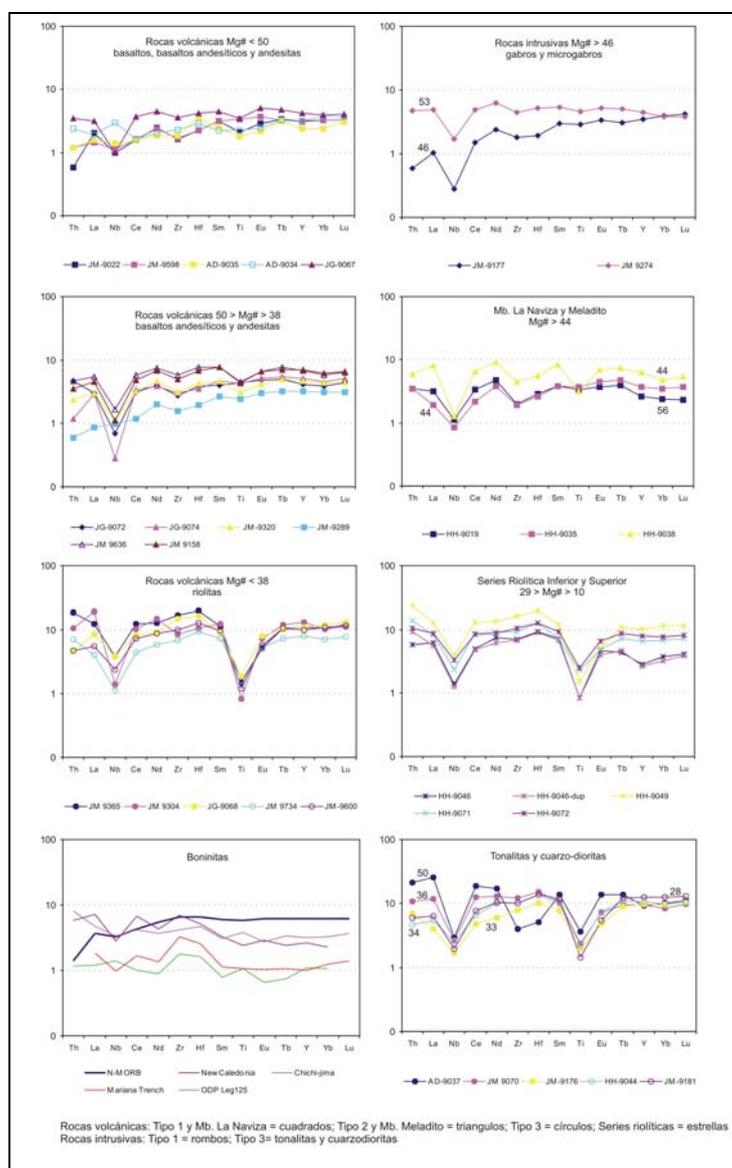


Fig. 3.3. Diagramas extendidos de REE de rocas de la Fm Los Ranchos

Estos aspectos importantes de los diagramas de REE extendidos quedan reflejados en relaciones de elementos trazas normalizados con respecto al manto primordial (Fig. 3.4): la relación  $(Zr/Sm)_N$  refleja la naturaleza de la anomalía del Zr (y Hf), y la relación  $(La/Yb)_N$ , el grado de enriquecimiento o empobrecimiento en las tierras raras ligeras (LREE). Valores bajos de ambas relaciones indican una fuente mantélica más empobrecida, previamente al metasomatismo, en el manto relacionado con los procesos de subducción. El Mg# y el contenido en  $TiO_2$  proporcionan información cuantitativa sobre el grado de fraccionación y de empobrecimiento de la fuente, respectivamente, excepto cuando las anomalías positiva o negativa del Ti en el diagrama de REE extendido indican que el contenido en Ti ha sido afectado por procesos de fraccionación cristalina. Como puede observarse en la Fig. 3.3, todos los patrones de distribución de REE de las rocas de la Fm Los Ranchos indican una fuente para los magmas similar a la de los N-MORB y más empobrecida.

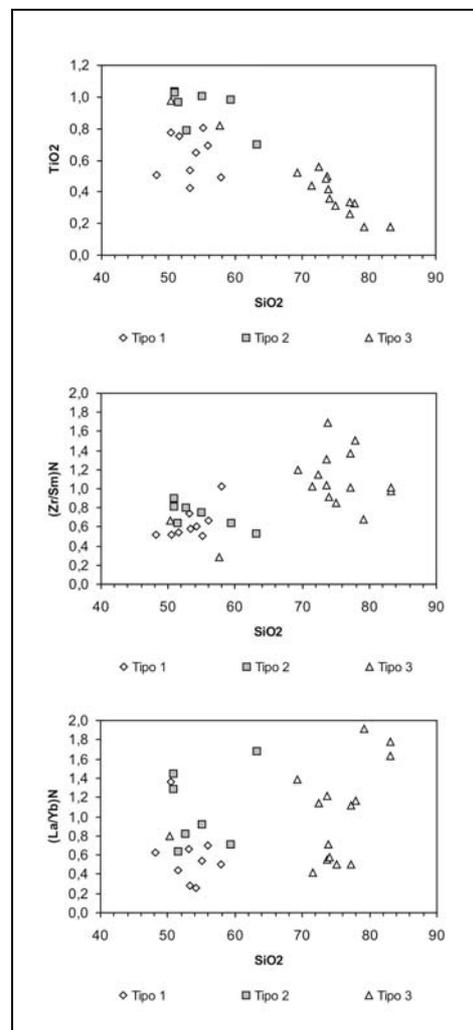


Fig. 3.4. Diagramas binarios frente a  $SiO_2$  de rocas de la Fm Los Ranchos

Se han distinguido dos series geoquímicas de rocas básicas en la Fm Los Ranchos, existiendo composiciones transicionales entre ellas. Estos dos grupos de rocas básicas son de tipo I (toleítas de arco isla, IAT), pobres en Ti y LREE, y de tipo II (toleítas de arco isla, IAT), normales y pobres en Ti. Un tercer grupo está constituido por las rocas félsicas, que incluyen las rocas volcánicas ácidas de la Fm Los Ranchos y los cuerpos intrusivos de composición tonalítica y cuarzodiorítica genéticamente relacionados.

Un análisis más completo de la Fm Los Ranchos, tanto en lo que respecta a sus características geoquímicas como a sus implicaciones geodinámicas, puede encontrarse en Escuder Viruete *et al.*, (2006, 2007a)

### 3.2.2. Granodioritas y tonalitas

Por sus relaciones genéticas con las rocas de la Fm Los Ranchos, el estudio de las muestras correspondientes al plutón de El Valle fue realizado conjuntamente con las rocas de dicha formación.

En el diagrama Nb/Y *versus* Zr/TiO<sub>2</sub> (Fig. 3.1), estos cuerpos intrusivos muestran una composición de basalto/andesita a andesita (Escuder Viruete, 2004), en tanto que en los diagramas Yb *versus* Th y Zr *versus* Y, evidencian afinidad toleítica. Por lo que respecta a los diagramas de variación de óxidos y elementos traza con respecto al MgO (Fig. 3.2), se observa su pertenencia al grupo composicional con %MgO inferior a 1,4.

En el diagrama multielemental normalizado frente a N-MORB (Fig. 3.3), las rocas del plutón presentan generalmente un enriquecimiento en los elementos LILE (Cs, Rb, Ba, Pb), K, U y Th, y un empobrecimiento en ciertos HFSE (Nb, Ta, Ti). Los contenidos en REE son muy similares a N-MORB (0,7-1,3 x N-MORB). Estas características geoquímicas, junto a la anomalía positiva en Th y anomalías negativas en Nb-Ta y Ti, sugieren que estas rocas están relacionadas con subducción y, por tanto, son los equivalentes intrusivos de las rocas volcánicas félsicas de la Fm Los Ranchos en las que intruyen.

En un diagrama extendido de REE (Fig. 3.5), las rocas de este grupo presentan un nulo o muy ligero enriquecimiento en LREE, así como contenidos en HREE de entre

4,6 y 12,0 x manto primitivo y anomalías negativas de Nb y Ti. Como las rocas volcánicas riolíticas y plutónicas ácidas de la Fm Los Ranchos, en los diagramas de discriminación tectónica de Pearce *et al.* (1984) estas rocas caen dentro del campo de los granitos de arco volcánico (VAG), lo cual es compatible con la anomalía negativa en Nb característica de rocas de arco.

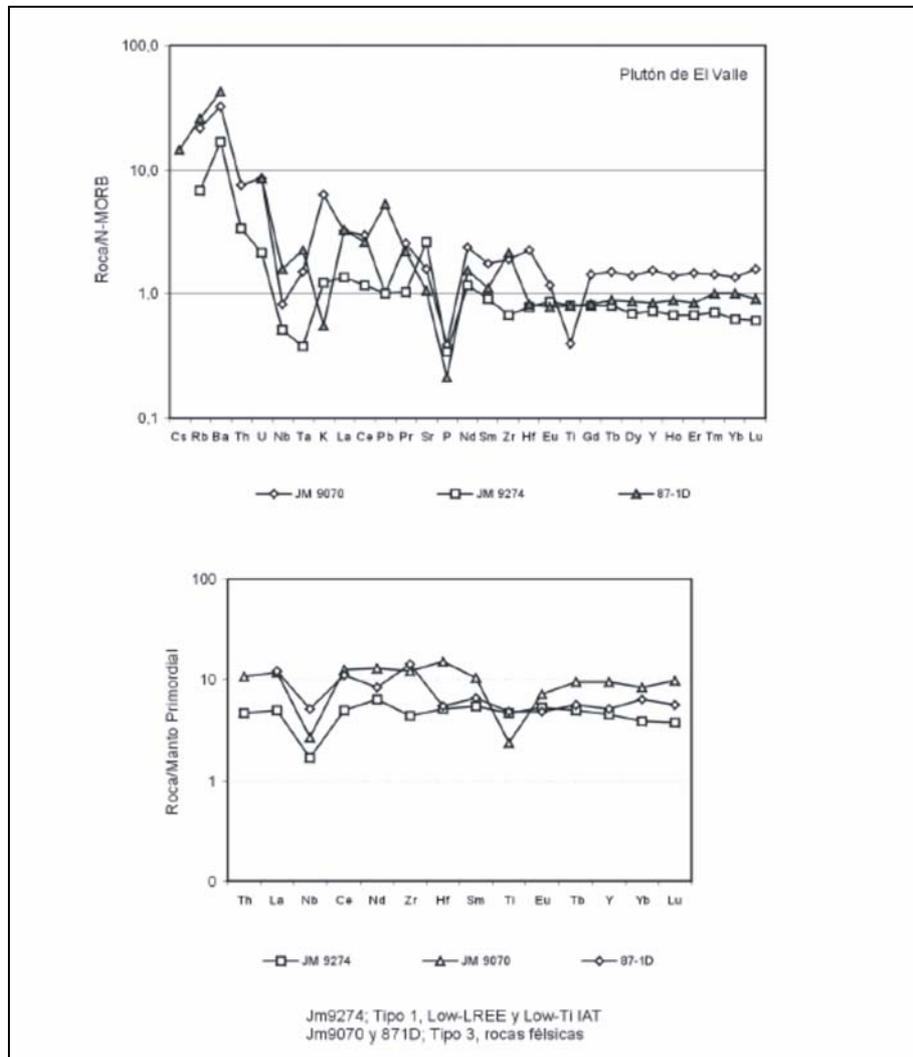


Fig. 3.5. Diagramas multielementales y de REE extendidos para tonalitas del plutón de El Valle (datos de Lebron y Perfit, 1994).

### 3.3. Geocronología

Las técnicas de datación utilizadas durante la realización del citado Proyecto L corresponden al método U/Pb sobre circones y al método  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  por calentamiento escalonado en minerales separados (hornblenda o feldespato potásico).

Una muestra de la Fm Los Ranchos correspondiente a una dacita porfídica tomada en la Hoja de Bayaguana (6272-II: Monthel y Capdeville, 2004), fue datada por el método U/Pb. Corresponde a una facies característica de las protrusiones ácidas del miembro intermedio y de los cinco fragmentos de circón analizados, tres señalaron una edad de  $116 \pm 0,8$  Ma (Aptiano), resultado coherente con la atribución al Neocomiano de los vegetales fósiles descritos por Smiley (1982) en los alrededores de Pueblo Viejo.

En el caso del plutón de El Valle, las edades *plateau* obtenidas por el método Ar/Ar sobre hornblenda están bien definidas, quedando comprendidas entre 106 y 121 Ma (Aptiano-Albiano), edad comparable a la obtenida para las tonalitas del plutón de Zambrana ( $115 \pm 0,3$  Ma) mediante el método U/Pb en la Hoja Hatillo (6172-I; Martín, 2000). Estos datos apoyan la filiación geoquímica entre los intrusivos tonalíticos y las facies volcánicas ácidas de la Fm Los Ranchos.

## 4. TECTÓNICA

### 4.1. Contexto geodinámico de La Española

La isla de La Española se sitúa sobre el margen norte de la placa del Caribe (Fig. 4.1), margen que ha evolucionado desde un límite controlado por subducción en el Cretácico y parte del Eoceno, a un límite dominado por desplazamientos en dirección de carácter sinistro que acomoda el desplazamiento de la placa del Caribe hacia el este en relación con Norteamérica (Mann *et al.*, 1991b). El cambio en el régimen geodinámico tuvo lugar como consecuencia de la colisión oblicua con la plataforma de Las Bahamas, fenómeno diacrónico acontecido en el Eoceno Medio-Superior en el caso de La Española. Este régimen transcurrente comenzó con la apertura del Surco del Caimán con carácter transtensivo (Mann *et al.*, 1991 b), manteniéndose hasta la actualidad en un contexto transpresivo.

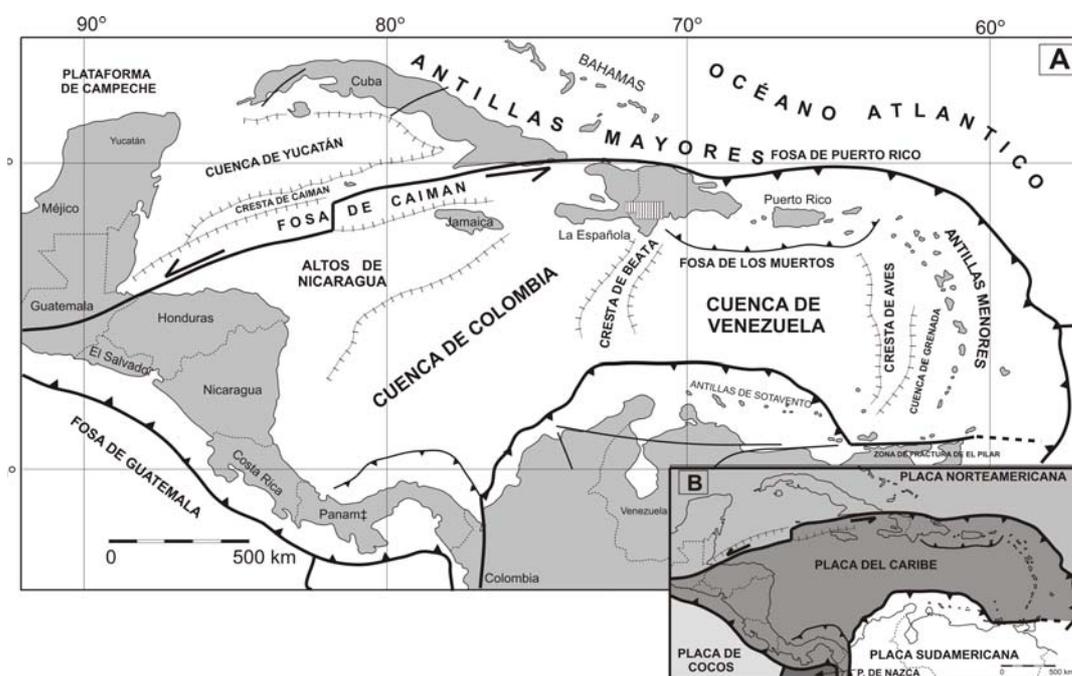


Fig. 4.1. Situación de La Española en el contexto geodinámico caribeño

La placa del Caribe se desplaza hacia el este con respecto a las placas Norte y Sudamericana a una velocidad de unos 18-20 mm/año (Dolan y Mann, 1998; Dixon *et al.*, 1998; DeMets *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 (y fallas asociadas, como la del Camú), en un tipo de articulación en el que se conjugan la convergencia oblicua, en la primera, y los movimientos sinistros, en la segunda (Dolan y Mann, 1998; Dolan *et al.*, 1998). En el interior de la isla, el citado movimiento relativo lo articula principalmente la Zona de Falla de Enriquillo-Plantain Garden (Mann *et al.*, 1991b).

#### **4.2. Estructura de la Cordillera Oriental**

La Cordillera Oriental se extiende con dirección E-O al sur de la cuenca del Cibao y de la bahía de Samaná, constituyendo la falla Meridional de Samaná su límite con ellas, formando parte del sistema de fallas que se extienden hacia el NO a lo largo de la cuenca del Cibao (Dixon y Daily, 1981; de Zoeten y Mann, 1991; Edgar, 1991). También su límite occidental coincide con un accidente tectónico, al encontrarse separada de la Cordillera Central por el cabalgamiento de Hatillo (Bowin, 1966). Por el contrario, hacia el sur y el este, los relieves de la Cordillera Oriental disminuyen su altura y las rocas plegadas que la forman son cubiertas en discordancia por los materiales carbonatados plio-cuaternarios de la Llanura Costera del Caribe.

Su evolución tectónica y sedimentaria es el resultado de la subducción y de la colisión oblicua entre el borde septentrional de la placa del Caribe y la plataforma de las Bahamas (Burke *et al.*, 1978). Un corte geológico a través del límite de las placas (Fig. 4.2.) sitúa la Cordillera Oriental como un extenso bloque volcano-plutónico de edad cretácica basculado hacia el sur, adyacente a las fallas de dirección E-O que limitan la cuenca de la bahía de Samaná, rellena por 2.900 m de sedimentos plio-cuaternarios (Edgar, 1991). El basamento de esta cuenca se cree formado por las mismas rocas cretácicas expuestas en la Cordillera Oriental, diferentes de las del complejo metamórfico que forma la Península de Samaná. La fosa entre esta península y el Silver Bank está situada en el límite entre las placas del Caribe y Norteamericana, como demuestra la actividad sísmica concentrada al sur de la fosa (Dolan *et al.*, 1998).

La estructura de la Cordillera Oriental incluye pliegues y fallas de plano casi vertical, con cizallas en dirección y componentes inversos y normales. Los pliegues dominan en las series estratificadas del Cretácico Superior y son menos abundantes en la pila de rocas volcánicas de la Fm Los Ranchos, que se halla fracturada principalmente, si bien la fracturación más evidente se refleja sobre la cobertera de calizas plio-pleistocenas de la Fm Los Haitises (Fig. 4.3).

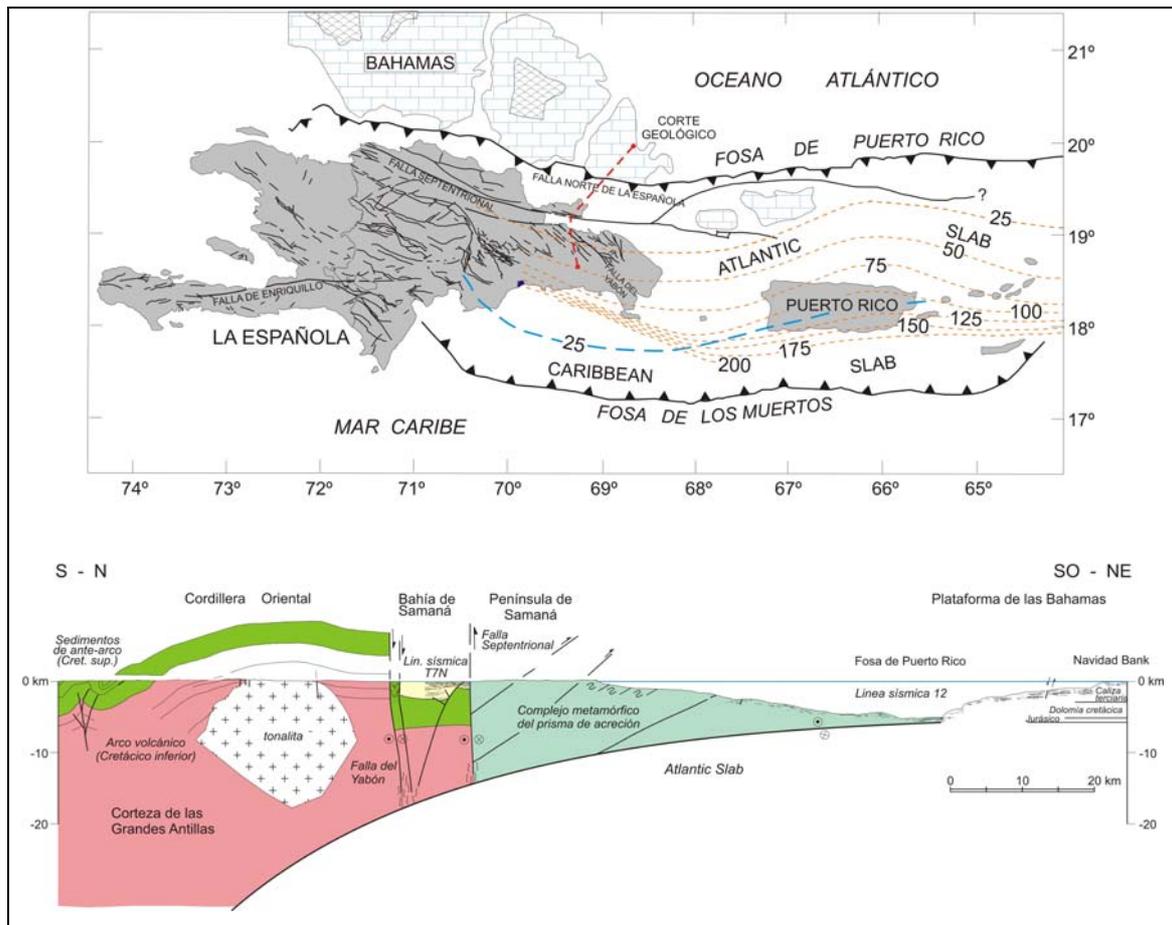


Fig. 4.2. Corte geológico de la Cordillera Oriental (García-Senz et al., 2007b)

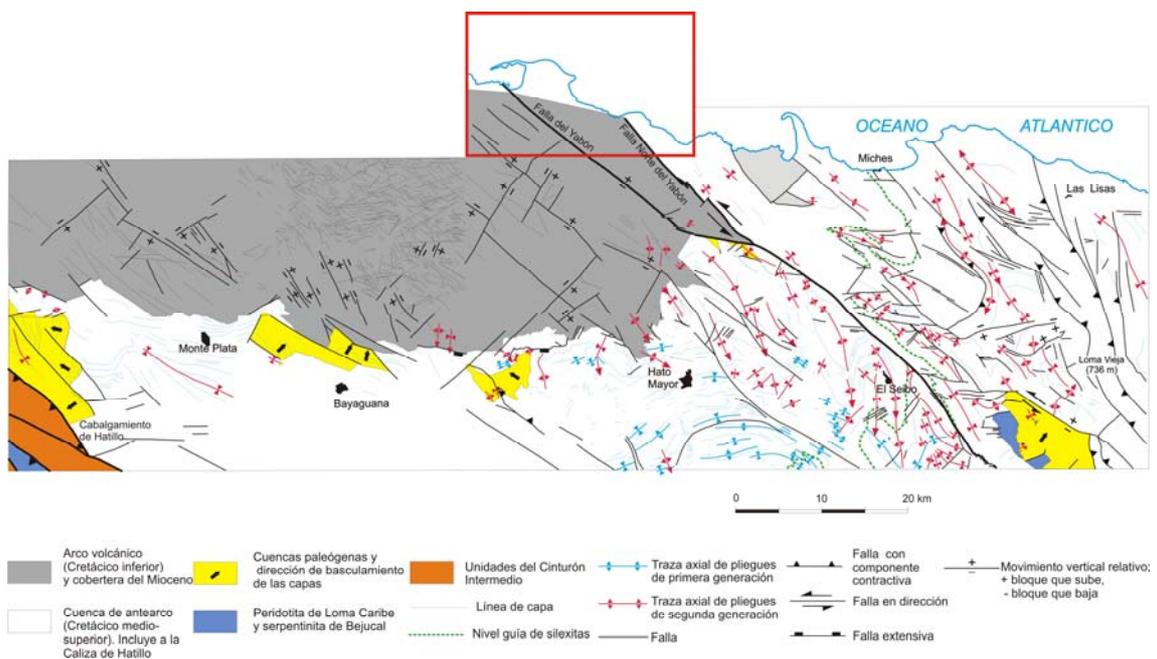


Fig. 4.3. Esquema estructural de la Cordillera Oriental (García-Senz et al., 2007b, modificado)

La Fm Los Ranchos y sus intrusiones asociadas afloran con un patrón ovalado en un área de culminación estructural situada al norte de las poblaciones de Monte Plata, Bayaguana y Hato Mayor, así como en un área más reducida situada al oeste de Miches. Ambos afloramientos están separados por la falla del Yabón, de dirección NO-SE, activa desde el Terciario como una falla en dirección levógira (Hernández, 1980; Bourdon, 1985). Esta falla produce una marcada señal en el mapa aeromagnético (Fig.4.4) y tiene asociadas protrusiones (intrusiones tectónicas) de rocas ultramáficas de origen mantélico, emplazadas en el Cretácico Superior. Se trata, por tanto, de una falla en dirección que ha evolucionado a partir de una falla crustal en la cuenca de antearco.

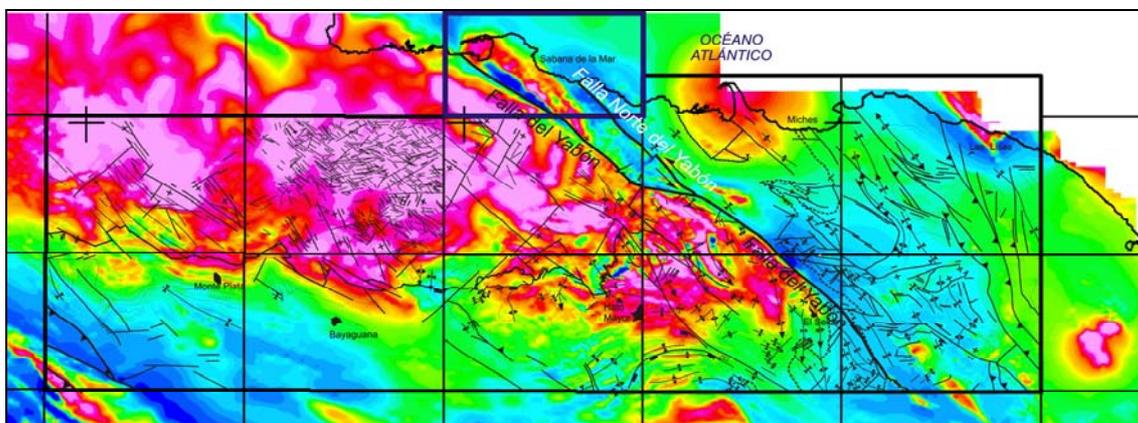


Fig. 4.4. Mapa aeromagnético interpretado de la Cordillera Oriental (García-Senz *et al.*, 2007b, modificado)

La existencia de fallas con una larga historia de actividad es postulada por Draper *et al.* (1996) en el área de intensa deformación limitada al noreste por el cabalgamiento de Hatillo. Estos autores consideran una fase de deformación por cabalgamientos de edad Cretácico medio, previa a la sedimentación de la Fm Hatillo, y una reactivación tardía de las estructuras en el Eoceno Medio-Superior. Independientemente de estos argumentos, en la Cordillera Oriental no existe una severa deformación de la Fm Los Ranchos bajo la Caliza de Hatillo; la discordancia entre ambas formaciones resulta compatible con una elevación vertical o una suave contracción longitudinal.

Un poco mejor caracterizada desde un punto de vista estructural es la discordancia de la base del Cretácico Superior entre las Fms. Hatillo y Las Guayabas. Entre las poblaciones de Hato Mayor y Bayaguana existen familias de fallas NO-SE, NE-SO y E-O que muestran erosión en sus bloques, con cambios bruscos de espesor de la Fm

Hatillo, que puede estar totalmente omitida; se interpretan como fallas que acomodan la extensión inicial en la cuenca de antearco. Fallas de gran escala, que cortan en rampa 1,2 km de serie del Cretácico Superior, se hallan plegadas al sureste de Hato Mayor (Fig.4.3). La homogeneidad litológica de la Fm Las Guayabas impide reconocer la separación estratigráfica en ambos bloques, pero la opción más plausible es que se trata de fallas gravitacionales de perfil lístrico que extienden hacia el sur los sedimentos en el talud.

Dos generaciones de pliegues se superponen. La primera, con un patrón concéntrico, es groseramente paralela al contacto cartográfico de las Fms. Los Ranchos y Las Guayabas. Entre las poblaciones de Hato Mayor y Las Lisas está doblada por pliegues NO-SE y N-S de segunda generación, que producen estructuras de interferencia del tipo-I (caja de huevos de Ramsay, 1967). El ejemplo más espectacular es la estructura sinformal de doble inmersión situada al sureste de El Seibo.

El paralelismo de los pliegues de primera generación al contacto cartográfico entre la Fm Los Ranchos y las formaciones del Cretácico Superior sugiere una relación genética entre el plegamiento contractivo y el basculamiento monoclinial hacia el sur y sureste de las series cretácicas. Su efecto en la Cordillera Oriental fue la contracción, elevación y basculamiento hacia el arco del borde de la placa del Caribe sobre la placa subducida (Fig. 4.2) y la protrusión hasta la superficie de rocas ultramáficas serpentizadas. La deformación ocurrió antes del Eoceno (Bourdon, 1985), edad de la Fm Don Juan, unidad conglomerática que erosiona terrenos más antiguos hacia el sector central de la cordillera, llegando a yacer sobre la Fm Los Ranchos al oeste de Hato Mayor.

La deformación finicretácica en la cordillera coincide con el cese de la principal actividad volcano-plutónica en La Española y es correlativa a la fase de deformación regional que afecta a las Antillas Mayores entre el Campaniano y el Eoceno, como resultado de la colisión con la placa Norteamericana (Bourdon, 1985; Mann *et al.*, 1991b).

Las rocas elevadas y erosionadas del arco volcánico del Cretácico Inferior y del antearco del Cretácico Superior, forman el basamento de los sedimentos eocenos depositados en cuencas estrechas limitadas por fallas de orientaciones NO-SE, E-O y NO-SE (Fig. 4.3). El perfil transverso de estas cuencas es de tipo semigraben, con

estratos rotados hacia las fallas: los primeros depósitos son conglomerados aluviales de la Fm Don Juan, provenientes de los relieves adyacentes a las fallas; encima yacen generalmente calizas, areniscas y conglomerados marinos, con diferencias estratigráficas entre cuencas que indican una evolución independiente. La generación de relieve en bloques elevados adyacentes a bloques deprimidos es típica de cuencas transpresivas.

Los pliegues de segunda generación y sistemas de cizallas asociadas que se han desarrollado a partir del Eoceno representan la deformación post-acrecional y post-colisional del arco de islas. Su frecuencia crece en la zona que rodea a la falla del Yabón, disminuye entre Hato Mayor y Monte Plata y vuelve a incrementarse en el área situada al oeste de Monte Plata, por la deformación asociada a las zonas de cizalla que forman el límite nororiental de la Cordillera Central (Bowin, 1966; Boisseau, 1987; Draper *et al.*, 1996).

En el bloque suroccidental de la falla del Yabón, los pliegues se disponen “en *echelon*” con un escalonamiento levógiro a ángulos de aproximadamente 20° con respecto a la superficie de la falla, indicando un movimiento horizontal convergente levógiro. En contraste, los pliegues adyacentes al bloque nororiental son de traza subparalela. La falla y tal vez las diferencias reológicas del basamento en ambos bloques, inducen la partición del esfuerzo de cizalla pura. Otras fallas de orientación NO-SE a NNO-SSE localizadas entre las poblaciones de Miches y Las Lisas, exhiben en superficie una componente inversa notable y forman bloques elevados de doble vergencia, como el de Loma Vieja, destacada altura de la cordillera. Adicionalmente, cizallas de Riedel de dirección ONO-ESE (con ligeros cambios de ángulo debidos a rotaciones) cortan a pliegues en el bloque nororiental de la falla del Yabón, que resultan deformados como domos, medio anticlinales, y sinclinales, con un patrón similar al reproducido por Harding y Lowell (1979) en modelos de arcilla.

El perfil de los pliegues, generalmente abierto, cambia a apretado de tipo acordeón en el área adyacente a fallas importantes, como la del Yabón, o en bloques empujados y elevados como el de Loma Vieja. La configuración del sinclinorio situado al sureste de El Seibo es cónica, con líneas de charnela que divergen hacia el sureste en la dirección de movimiento de la falla del Yabón. La mecánica del plegamiento por cizalla convergente que ha formado estos pliegues no requiere la existencia de una superficie

de despegue somera a techo de la Fm Los Ranchos como proponen Lebron y Mann (1991).

La región de máximo acortamiento con desarrollo de clivaje se sitúa próxima a la costa septentrional, entre las poblaciones de Miches y Las Lisas. El clivaje prácticamente desaparece siguiendo el eje de los pliegues hacia el sureste (Fig. 4.3). Existe por tanto una variación de acortamiento subperpendicular a las superficies axiales, que Bourdon (1985) interpretó erróneamente como la evidencia de dos unidades, El Seibo y El Oro, con una historia tectónica y estratigráfica diferente y que Mann *et al.* (1991b) llevaron a la categoría de “terrenos”.

Para Burke *et al.* (1980) y Mann *et al.*, (1984), la transpresión es resultado de la orientación E-O de las fallas de Samaná, que se separa de la dirección OSO-ENE del movimiento de las placas, lo que produce una restricción a la traslación lateral de la placa del Caribe. En este contexto, las fallas de orientación E-O de Samaná constituyen la zona de principal cizalla simple, acomodando una parte importante de la traslación, mientras que los pliegues y las fallas de directriz NO-SE de la cordillera acomodan la mayor parte de la laminación mecánica y del acortamiento intraplaca.

Una interpretación reciente de la evolución estructural de la Cordillera Oriental (García-Senz y Pérez-Estaún, 2008), relaciona la morfología de la paleo-superficie previa al depósito de la plataforma pliocena, con el modelo analógico de McClay y Bonora (2001), relativo a las cuencas asociadas a las estructuras de cizalla (Fig. 4.5).

La Cordillera Oriental presenta una estructura de deformación por transpresión. La geometría, compatibilidad del movimiento y relaciones temporales entre las estructuras sugieren un modelo de deformación en dos etapas: 1) Cretácico Superior, edad de crecimiento del antiforame reconocible en la cartografía geológica, en cuyo núcleo aflora la Fm Los Ranchos; y 2) Cenozoico, periodo de generación de las estructuras superpuestas.

A gran escala, su geometría corresponde a una estructura en flor positiva, marcada por fallas de desgarre sinistros de orientación NO-SE, siendo la falla del Yabón la más destacada. Se observan pliegues y fallas de desgarre oblicuos entre sí, formados por inversión de las cuencas eocenas desarrolladas discordantemente sobre la Fm Las Guayabas. Los pliegues de la segunda etapa presentan trazas axiales sigmoidales y

se disponen en escalón con relación a las fallas de desgarre. Se observan pliegues generados en progresión secuencial en relación con la falla del Yabón, dispuestos en abanico, evidenciando una deformación rotacional levógira. También existen pliegues cortados por fallas de tipo Riedel, dando lugar a figuras cartográficas a modo de semianticlinales y semisinclinales. La forma en planta de las fallas principales que divergen de las fallas de Samaná y su movimiento en dirección con componente inversa, indican que el material de la cordillera es extruido lateralmente hacia el sureste, como en una estructura positiva en flor.

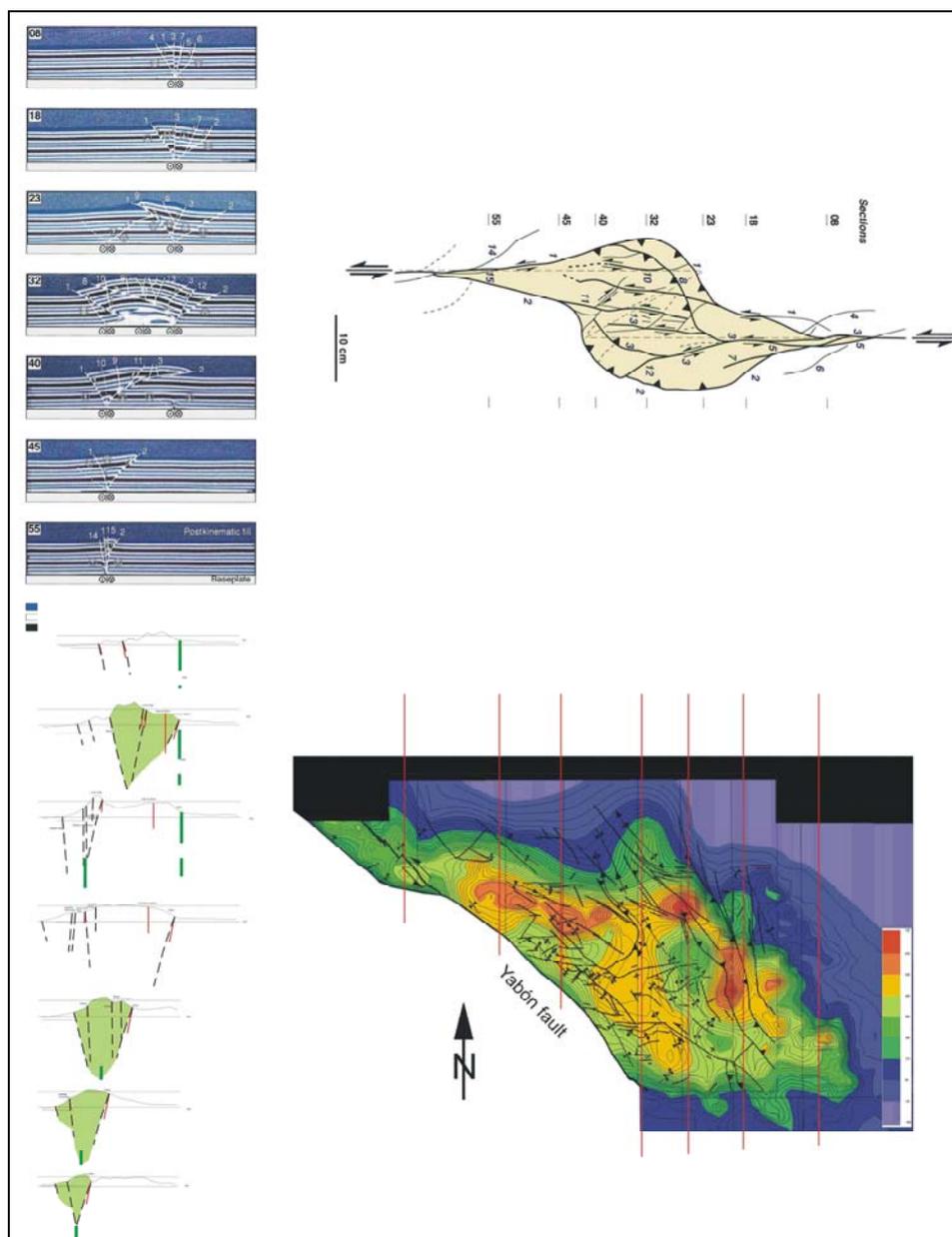


Fig. 4.5. Modelo analógico de un *restraining stepover* y su similitud con la zona al este de la falla del Yabón (McClay y Bonora, 2001; García-Senz y Pérez-Estaún, 2008).

En la actualidad, el borde septentrional de La Española es una zona activa de cizalla simple, con deformación y sismicidad. Edgar (1991) reconoce deformación reciente en las líneas sísmicas superficiales bajo el agua de la bahía de Samaná y Winslow *et al.* (1991), en la continuidad de estas estructuras hacia tierra por el bloque de San Francisco (Fig. 4.2). La tectónica activa en la Cordillera Oriental es evidente en la elevación del arrecife plio-cuaternario, que se presenta como un relieve estructural elevado a más de 300 m. El plegamiento del arrecife es pasivo, adaptado a la componente vertical de movimiento de fallas de desgarre de directriz ONO-ESE y NE-SO. Entre los rasgos geomorfológicos destacan la superficie de erosión argilizada de La Herradura, al sur de Miches, numerosos relieves de lomas paralelos a escarpes de fallas y el control de la red hidrográfica. Este último se evidencia a pequeña escala en el trazado rectilíneo de los arroyos y a gran escala en el drenaje dominante hacia el sur. La causa última es la disimetría impuesta por las fallas bajo la bahía de Samaná, que deprimen abruptamente el bloque septentrional adyacente al máximo relieve de la cordillera.

### **4.3. Estructura de la Hoja de Sabana de la Mar**

La Hoja de Sabana de la Mar muestra una elevada densidad de fallas de orientación NO-SE, en tanto que las estructuras de plegamiento perceptibles se restringen al sector oriental, mostrando la misma orientación que las fracturas. Como elemento más relevante cabe destacar la falla del Yabón, desgarre de orientación NO-SE que divide la Hoja en dos bloques con personalidad propia: al este afloran los materiales cretácicos de las Fms. Los Ranchos y Las Guayabas, en tanto que al oeste la serie cretácica queda oculta por la cobertera plio-cuaternaria de las Fms. Cevicos y Los Haitises.

La falla del Yabón es un accidente estructural de primer orden, como pone de manifiesto la fuerte anomalía que refleja en el mapa aeromagnético (Fig. 4.4). Corresponde a un desgarre levógiro de dirección N130°E con una importante componente normal de evidente reflejo morfológico. Su representación en la Hoja corresponde a su extremo noroccidental, que penetra en la bahía de Samaná.

El elemento más destacado del sector oriental es la falla Norte del Yabón (Fig. 4.6), que aquí discurre en paralelo a la falla principal, separando los materiales volcánicos de la Fm Los Ranchos, al oeste, y los turbidíticos de la Fm Las Guayabas, al este. Se

trata de un accidente subvertical, que da una lugar a una fuerte incisión en la topografía. En su bloque nororiental da lugar a una banda de varios kilómetros de anchura caracterizada por materiales intensamente deformados y metamorfizados, hecho mucho más evidente en la vecina Hoja de El Valle (6372-IV), donde la roca se asemeja a esquistos con clorita-sericita. La esquistosidad muestra una orientación predominante NNO-SSE, con buzamientos variables, pero dominantes hacia el OSO; se trata de una esquistosidad de plano axial que afecta a la Fm Las Guayabas y que permite deducir vergencias hacia el ENE.

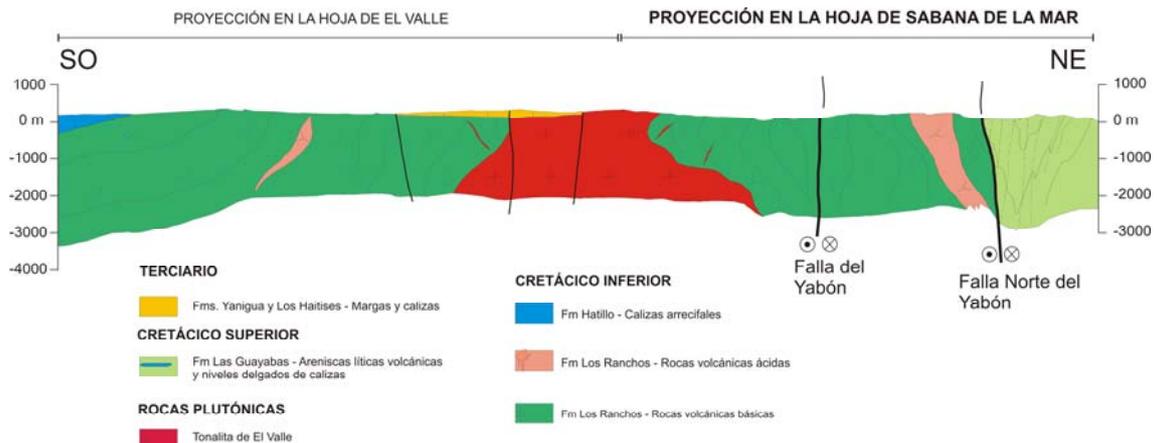


Fig. 4.6. Corte transversal del sector septentrional de la Cordillera Oriental en el ámbito de la Hoja de Sabana de la Mar (Monthel, 2004, modificado)

El bloque nororiental de la falla Norte del Yabón se estructura como un sinclinorio de orientación subparalela a la falla y cuya geometría puede ser esbozada gracias a los afloramientos discontinuos de las radiolaritas de la Fm Arroyo La Yabana. Probablemente, la desaparición de este bloque en el litoral nororiental coincide con una falla de idéntica orientación a las anteriores.

Poco puede decirse de la estructura de la Fm Los Ranchos debido a la escasez de afloramientos con valor estructural observados. No obstante, en la Hoja de El Valle (Monthel, 2004) se sugiere su estructuración a modo de gran anticlinorio con su núcleo ocupado por el plutón de El Valle. De acuerdo con ello, los afloramientos localizados en la Hoja al este de la falla del Yabón corresponderían al flanco nororiental del anticlinorio, en tanto que los situados al oeste pertenecerían al flanco suroccidental. Este gran anticlinorio se encuentra seccionado por la falla del Yabón.

La región de Los Haitises está afectada por una densa red de fracturación de orientación principal NO-SE, cuyo principal efecto es la desnivelación de bloques y la

alineación de las numerosas dolinas existentes según dicha dirección. Además de esta fracturación, las rocas de la Fm Los Haitises muestran un ligero basculamiento hacia el NE, con evidentes connotaciones de su carácter tectónico reciente, al implicar la elevación de más de 200 m de rocas depositadas bajo el nivel del mar durante el Plioceno-Pleistoceno Inferior.

Por lo que respecta al límite entre los afloramientos cretácicos y plio-pleistocenos de la cordillera y los sedimentos cuaternarios de la Llanura Costera de Sabana de la Mar, tiene carácter brusco, articulándose en base a numerosos accidentes de envergadura kilométrica, de orientación principal NO-SE y, en menor medida, E-O.

En cuanto a la cronología de la deformación, las diversas estructuras de la Hoja se han formado secuencialmente entre el Eoceno y la actualidad, siendo difícil establecer qué estructuras quedan inactivas durante la secuencia de deformación progresiva.

La actividad reciente de las principales fallas es evidente, como demuestran los numerosos rasgos del relieve actual relacionados con ellas: límites de la cordillera, encajamiento de elementos de la red fluvial, orientación de las depresiones kársticas... A estos rasgos hay que añadir el basculamiento que afecta a los materiales plio-pleistocenos y la evidente actividad sísmica actual de la región.

## 5. GEOMORFOLOGÍA

### 5.1. Análisis geomorfológico

En el presente capítulo 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, atendiendo a su geometría, tamaño y génesis; el depósito que acompaña a algunas de estas formas (formaciones superficiales), se describe en el apartado correspondiente del capítulo de estratigrafía (2.2.2).

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 estructural; y morfogenético, considerando las formas resultantes de la actuación de los procesos externos.

#### 5.1.1. Estudio morfoestructural

El relieve de la zona está condicionado en gran medida por la naturaleza y la disposición de los materiales que la conforman. Así, los materiales ígneo-metamórficos de la Cordillera Oriental se alzan a favor de alineaciones de origen tectónico. Por el contrario, el relieve de los materiales plio-pleistocenos de Los Haitises, de origen marino, está condicionado por la morfología de la plataforma carbonatada que ocupaba la región durante dicho periodo. Sobre la morfoestructura construida sobre los materiales anteriores, han actuado con mayor o menor eficacia las morfogénesis fluvial, lacustre-endorreica, marina-litoral, por meteorización química, poligénica y kárstica.

##### 5.1.1.1. Formas estructurales

Se encuentran diseminadas por el ámbito de la cordillera y sus límites con la Llanura Costera de Sabana de la Mar. Las más abundantes son las *fallas con expresión morfológica*, que poseen una orientación principal NO-SE; junto a ellas se observa un

número menor de orientación cercana a E-O. Además de condicionar el reparto de bloques elevados o hundidos, condicionan el encajamiento de la red fluvial y la orientación preferente de la karstificación. Corresponden a fallas normales y desgarres de longitud kilométrica. Mención aparte merece la falla del Yabón, falla de *salto en dirección* sinistro que en el sector central de la Hoja separa un bloque constituido por afloramientos cretácicos, al este, de otro cubierto en buena medida por las rocas plio-cuaternarias de Los Haitises. Entre ambos bloques, el río Yabón se abre paso a la Llanura Costera de Sabana de la Mar, pero en cualquier caso, la expresión de la falla es sensiblemente inferior a la de zonas surorientales.

En ocasiones, las fallas se encuentran bajo depósitos cuaternarios sin afectarlos, habiéndose representado como *fallas supuestas*. A ellas corresponden algunos límites entre la cordillera y la llanura costera.

Las morfologías condicionadas por la distinta resistencia ofrecida por los materiales aflorantes a la erosión, o formas litoestructurales, están representadas por la *superficie estructural degradada* constituida por el techo de la Fm Los Haitises, si bien es probable que haya podido ser retocada como plataforma de abrasión. Aunque poco perceptible sobre el terreno, existe un evidente *basculamiento* de dicha superficie hacia el NE.

#### 5.1.2. Estudio del modelado

La acción de los agentes externos sobre dominios tan contrastados como la Cordillera Oriental y la Llanura Costera de Sabana de la Mar tiene como resultado una expresión sensiblemente diferente. Así, el modelado de la cordillera es el producto de una larga evolución presidida por los procesos ígneos, sedimentarios y tectónicos acaecidos a lo largo del periodo Cretácico-Terciario, generadores de relieves positivos, sobre los que han actuado, con mayor o menor efectividad, diversos agentes morfogenéticos encaminados a la destrucción o al modelado de dichos relieves, destacando los de carácter fluvial y poligénico, así como la meteorización química.

En el caso de la llanura costera, son los procesos marino-litorales los condicionantes fundamentales de su aspecto actual, aunque también han influido los procesos de origen fluvial y lacustre-endorreico.

Además de los anteriores, también han participado en mayor o menor medida en la construcción del relieve actual los procesos gravitacionales y antrópicos.

#### 5.1.2.1. Formas gravitacionales

Pese a los importantes desniveles existentes en el ámbito de la cordillera, no se trata de formas excesivamente extendidas, en buena parte como consecuencia de la propia dinámica de retroceso de las vertientes, que provoca su permanente evolución. Las más frecuentes son coluviones, canchales y cambios bruscos de pendiente, cuyas dimensiones han imposibilitado, en cualquier caso, su representación cartográfica.

#### 5.1.2.2. Formas fluviales y de esorrentía superficial

Son las más ampliamente representadas, mostrando una cierta variedad, tanto de formas erosivas como sedimentarias, constituyendo una buena parte de la superficie de la Llanura Costera de Sabana de la Mar y de la depresión de El Valle, así como de algunos valles intramontañosos. Destaca la extensión de los abanicos aluviales de baja pendiente, que orlan la cordillera, así como el conjunto de depósitos del río Yabón, en el que junto al fondo de valle se ha reconocido la llanura de inundación y un nivel de terraza.

Los *fondos de valle* son el principal testimonio de la actividad sedimentaria de la red fluvial actual. En general se trata de formas estrechas, coincidentes con el canal de estiaje. Los más destacados pertenecen a los ríos Yabón, Capitán, Honduras y Catalina, además del arroyo Piedra. Los ríos citados poseen *llanura de inundación* acorde con su envergadura, destacando la del río Yabón, cuya anchura llega a sobrepasar 1 km junto a su desembocadura, donde además existen *cauces* y *meandros abandonados*, que denotan la deriva del cauce. Menor desarrollo alcanzan las *terrazas*, restringidas a los ríos Yabón y Capitán; poseen cotas inferiores a +10 m sobre el cauce actual, considerándose, de modo informal, terrazas bajas.

Mayor representación tienen los *abanicos aluviales de baja pendiente*, que constituyen una orla de la cordillera de anchura superior a 10 km, merced a su dispositivo coalescente. En el paisaje aparecen como grandes planicies, de pendiente prácticamente imperceptible, destacando por sus dimensiones el del río Yabón, con una longitud de 5 km. Su depósito se produce en la salida de los ríos y arroyos de la

cordillera hacia la llanura, en la cual la carga transportada por aquéllos pierde su confinamiento, expandiéndose. Además de los aludidos, localizados en la Llanura Costera de Sabana de la Mar, se constata la existencia de *abanicos aluviales* en la depresión de El Valle, que además de diferente composición, poseen una pendiente más elevada.

Entre las formas erosivas se ha reconocido: *incisión lineal*, ampliamente extendida por los afloramientos de rocas cretácicas de la cordillera; *aristas*, que poseen una notable representación; y *escarpes de terraza*.

La red de drenaje muestra una geometría y un carácter fuertemente condicionados por la litología y la pendiente regional; no obstante, se observan condicionantes estructurales, como algunos segmentos rectilíneos y cambios de orientación al alcanzar fallas, elementos que además han favorecido los fuertes encajamientos existentes en el ámbito de la cordillera. El carácter de los ríos principales es de tipo consecuente, al discurrir en el sentido de máxima pendiente regional, hacia la bahía de Samaná, con un cierto número de afluentes de tipo subsecuente, adaptados a las diversas orientaciones de la fracturación, configurando en conjunto una geometría de tipo dendrítico. En la región de Los Haitises se produce una pérdida de drenaje prácticamente total.

Como principales factores en la futura evolución de la red deben tenerse en cuenta: la influencia de las fallas relacionadas con la elevación general de la cordillera, al menos desde el Plioceno; las posibles modificaciones eustáticas del nivel de base; el retroceso de las vertientes; la erosión remontante y las posibles capturas derivadas de ella; y la tendencia a la colmatación-deseccación de las áreas pantanosas y manglares de la llanura costera.

#### 5.1.2.3. Formas lacustres y endorreicas

Se trata de *áreas pantanosas* diseminadas por la Llanura Costera de Sabana de la Mar. Son zonas de drenaje muy deficiente y con una clara tendencia al encharcamiento debido a sus bajas pendientes, con abundante vegetación. Destaca por sus dimensiones la existente al oeste de Sabana de la Mar, de más de 7 km de longitud. En algunos casos parecen constituir la evolución de antiguas lagunas costeras, dentro de la tendencia ascendente generalizada de la región.

#### 5.1.2.4. Formas marinas-litorales

Se distribuyen por la Llanura Costera de Sabana de la Mar, donde se reconoce un variado cortejo integrado por playas, marismas, cordones y flechas litorales y acantilados. Además, la superficie estructural degradada del techo de la Fm Los Haitises probablemente constituya los restos de una plataforma de abrasión, igualmente degradada.

Las formas más extendidas del litoral son las marismas, áreas sometidas a la acción de las mareas. Dentro de ellas se han distinguido las *marismas bajas* o zonas afectadas por las mareas diarias, coincidentes con el *manglar*, y las *marismas altas* o zonas afectadas por las mareas excepcionales. Las primeras alcanzan una notable extensión al oeste de Sabana de la Mar, presentando buenas condiciones de observación en Caño Hondo. En cuanto a las segundas, se localizan en el extremo oriental y su funcionalidad ocasional hace que puedan parecer marismas abandonadas por la acción marina.

Las *playas* se encuentran diseminadas por la costa baja, tratándose en general de formas estrechas, con una anchura de orden decamétrico e incluso inferior, siendo la más relevante la desarrollada en el frente del *cordón litoral* de Punta Capitán. Éste posee más de 2 km de longitud y una altura inferior a 6 m, estando colonizado por un palmeral; hacia el interior protege un área pantanosa. En cualquier caso, la forma más destacada de toda la zona es la *flecha litoral* de Sabana de la Mar, que con una geometría a modo de gancho abierto hacia el oeste, alcanza una longitud de más de 8 km; está constituida por una sucesión de dunas orientadas según la orientación de la *deriva litoral* y del viento dominante. En el sector oriental protege una zona de áreas pantanosas y manglares, en tanto que hacia el oeste permite individualizar la bahía de San Lorenzo como un subdominio de la bahía de Samaná.

Cabe señalar el pequeño delta existente en la antigua desembocadura del río Yabón, de área inferior a 1 km<sup>2</sup>, actualmente carente de funcionalidad al haberse desplazado el curso del río hacia el norte, a favor de su actual cauce.

Aunque predomina el carácter de costa baja, existen diversos *acantilados*, destacando los de Las Cañitas, con más de 20 m de desnivel en algún caso, y los de la región de Los Haitises. Estos poseen una fisonomía peculiar, encontrándose interrumpidos por

numerosos entrantes marinos correspondientes a antiguas dolinas, actualmente colonizadas por el manglar. Además de los acantilados actuales, cabe señalar la existencia de acantilados fósiles, siendo el más evidente el constituido por el escarpe frontal de la región de Los Haitises entre Caño Hondo y Palmarito; teniendo en cuenta la tendencia generalizada a la elevación de La Española y en particular de la Cordillera Oriental, así como la estimación de edades para los depósitos fluviales y endorreicos de la Llanura Costera de Sabana de la Mar, resulta evidente que durante el Pleistoceno Medio-Superior dicho frente se encontraría sometido a la acción marina.

#### 5.1.2.5. Formas originadas por meteorización química

Junto con las formas de origen fluvial son las más extendidas, tanto por el desarrollo de los procesos kársticos como por el de los mantos de alteración que afectan a los materiales cretácicos.

La región de Los Haitises se configura como un *área con intensa karstificación*, a modo de campo de grandes *dolinas* de forma elipsoidal, orientadas en dirección NO-SE. La simple observación de un mapa topográfico da idea de su impresionante densidad, con ejes mayores que pueden superar 500 m y profundidades de hasta 100 m. En cualquier caso, cuando sus dimensiones lo han permitido, las *dolinas* han sido representadas de forma individualizada.

En el borde meridional de la región, la disolución vertical se ha detenido al alcanzar el sustrato impermeable integrado por los materiales volcánicos de la Fm Los Ranchos, los cuerpos intrusivos granodiorítico-tonalíticos o los niveles margosos de la Fm Cevicos, con lo que la disolución ha dado lugar a un retroceso lateral del macizo calcáreo, desarrollándose típicos montículos o *hums* (haitises) a modo de relictos del macizo; en un estado evolutivo menos maduro existen *áreas con dolinas y hums* en proporciones similares. Cuando los montículos o mogotes sobresalen aislados en la superficie marina configuran islotes denominados cayos, como el de Willy.

El espectacular modelado kárstico no se restringe a la superficie, sino que existe un notable desarrollo endokárstico, pudiendo señalarse por su accesibilidad las *cuevas* localizadas en el litoral al oeste de Caño Hondo, con un variado conjunto de formas asociadas, como estalactitas, estalagmitas, ventanas...

En cuanto a las formas debidas a procesos de meteorización química en rocas no carbonatadas, también se encuentran ampliamente extendidas. De hecho, la depresión de El Valle puede considerarse como un *alveolo de alteración*, cuya arenización se ha visto favorecida por la existencia de diversas fracturas de notable relevancia; este proceso también se ha desarrollado en los dos pequeños afloramientos granodiorítico-tonalíticos diferenciados en la Hoja.

Sin duda, una de las formas más extendidas por toda la región son las argilizaciones, típico resultado de los procesos de meteorización en ambientes tropicales; en la zona afectan a las Fms. Los Ranchos y Las Guayabas, habiéndose reconocido en todo su ámbito de afloramiento, aunque no se han diferenciado cartográficamente por sus reducidas dimensiones.

#### 5.1.2.6. 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. Aunque la evolución morfológica de la Cordillera Oriental tiene una indudable componente poligénica, estas formas no son excesivamente abundantes, ya que la velocidad de los procesos erosivos da lugar a su rápido desmantelamiento.

Dentro de este grupo se han identificado dos *piedemontes* a modo de formas de enlace entre los relieves elaborados sobre la Fm Los Ranchos y las zonas más bajas, constituida por la Fm Cevicos y por la Llanura Costera de Sabana de la Mar; poseen suaves pendientes y dimensiones de orden kilométrico. Pese a no tratarse de la mayor elevación de la Hoja, la loma La Cucaracha tiene carácter de *pico principal*, elemento de referencia del paisaje generado a favor de la Fm Los Ranchos.

#### 5.1.2.7. Formas antrópicas

Tan sólo se ha diferenciado dentro en este grupo el *relleno artificial* efectuado en el litoral de Sabana de la Mar, consistente en la acumulación de materiales con objeto de ganar terreno al mar; posee dimensiones de orden hectométrico.

## 5.2. Evolución e historia geomorfológica

Si bien la morfología de la zona está influenciada por los procesos acaecidos a lo largo de toda la historia de la Cordillera Oriental, su fisonomía actual empieza a perfilarse a comienzos del Cuaternario, cuando la cordillera poseía una envergadura inferior a la actual, estando constituida por una serie de islas e islotes (Díaz de Neira *et al.*, 2007), flanqueados al norte y al sur por las plataformas carbonatadas arrecifales que se convertirían posteriormente en la región de Los Haitises y en la Llanura Costera del Caribe, respectivamente.

Bajo esta configuración, la región asistió al desarrollo de superficies de diversa índole. Por una parte, el depósito carbonatado de la plataforma dio lugar a una marcada superficie estructural, en tanto que en el sector oriental de la cordillera se elaboraría una superficie de erosión correlacionable con aquélla, la superficie de Miches (o de La Herradura) difícil de identificar debido a la dinámica posterior y que, en cualquier caso, no posee representación en la Hoja de Sabana de la Mar, pero sí en la vecina Hoja de Miches (6372-I).

En la región de Los Haitises, la plataforma arrecifal migraría paulatinamente hacia el norte a medida que se producía el progresivo ascenso de la cordillera, cuya emersión se habría producido ya en el Pleistoceno Medio. En el ámbito de la cordillera, la red de drenaje habría esbozado su geometría general, basada en cursos de pequeña longitud y carácter consecuente que incrementarían su poder incisivo al ascender con respecto al nivel de base; posiblemente, con anterioridad a la jerarquización de la red, ya habría dado comienzo un activo funcionamiento de lateritizaciones y arenizaciones.

La naturaleza carbonatada de la plataforma de Los Haitises ha favorecido un notable desarrollo kárstico, condicionado y favorecido por la intensa fracturación desarrollada sobre ella. En un momento impreciso del Pleistoceno Medio-Superior, la tendencia ascendente de la región produjo un importante incremento de la superficie insular debido a la emersión de buena parte del territorio correspondiente a la Llanura Costera de Sabana de la Mar, con formación de abanicos aluviales de baja pendiente, de entre los que destaca el del río Yabón, que pudo haber funcionado inicialmente como un delta.

A partir de este momento, la evolución general del relieve ha estado presidida por el comportamiento de la red de drenaje, con fuertes encajamientos en la zona montañosa, pero moderados en la llanura por su pequeño desnivel con respecto al mar; de forma mucho más localizada, no debe olvidarse la influencia que ha tenido la actividad de la falla del Yabón, tanto como elemento delimitador de relieves positivos, como instrumento creador de una franja especialmente favorable a los procesos erosivos. En la cordillera, el encajamiento ha sido simultáneo con la meteorización de los materiales cretácicos, con el retroceso de las vertientes por acción de los procesos gravitacionales y con los cambios de orientación de la red por adaptación a fracturas y contrastes litológicos.

En el ámbito de la llanura litoral, la evolución más reciente, al margen de la actividad fluvial, ha estado caracterizada por el desarrollo de la flecha litoral de Sabana de la Mar, que habría protegido lagunas costeras, transformadas posteriormente en áreas pantanosas como consecuencia de la tendencia de colmatación-desección observada.

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 la cordillera; las posibles modificaciones del nivel de base; el retroceso de las vertientes; la tendencia a la colmatación de las marismas y áreas pantanosas costeras; la erosión remontante y las posibles capturas derivadas de ella; la dinámica kárstica en la región de Los Haitises; y la actividad gravitacional de las vertientes.

### **5.3. Procesos Activos susceptibles de constituir Riesgo Geológico**

Se denomina procesos activos a aquellos fenómenos de origen endógeno o exógeno, potencialmente funcionales sobre la superficie terrestre y cuyo principal interés es que bajo determinadas circunstancias son susceptibles de constituir riesgo geológico. Su cartografía supone, por tanto, un inventario de procesos geológicos funcionales, siendo preciso recordar el carácter generalmente imprevisible de buena parte de los fenómenos naturales, tanto en zonas muy activas como de baja actividad geodinámica.

Los datos reflejados en la cartografía son el resultado de un reconocimiento general realizado mediante la interpretación de fotografías aéreas y la realización de recorridos

de campo, por lo cual se trata de una estimación preliminar y orientativa de los principales procesos geodinámicos activos del territorio. Consiguientemente, la información aportada tanto en el mapa como en la presente memoria no exime de la necesidad legal de realizar los estudios pertinentes en cada futuro proyecto, ni debe ser utilizada directamente para la valoración económica de terrenos o propiedades de cualquier clase.

Igualmente, ha de tenerse presente que a la escala de trabajo carecen de representación algunos fenómenos claramente perceptibles sobre el terreno. Sirva de ejemplo la nutrida red de arroyos y cañadas de la cordillera, afectados por procesos erosivos y, al menos temporalmente, de inundación; los primeros son representables mediante el correspondiente símbolo de incisión lineal, pero la escala no permite una representación areal de los segundos.

Dentro de la Hoja de Sabana de la Mar existe una cierta variedad en cuanto a la naturaleza de los procesos activos, habiéndose reconocido diversos tipos de actividad: sísmica, tectónica, asociada a movimientos de laderas, por procesos de erosión, de inundación y de sedimentación, asociada a litologías especiales y antrópica.

### 5.3.1. Actividad sísmica

La sismicidad es uno de los procesos activos más relevantes de La Española, como consecuencia de su situación en un contexto geodinámico de límite entre dos placas: Norteamericana y del Caribe. Actualmente existe consenso en el reconocimiento de las principales estructuras tectónicas de la isla y su relación con el desplazamiento relativo entre las placas litosféricas citadas. No obstante, aunque los rasgos generales son conocidos, el estudio de detalle de la actividad sísmica en la República Dominicana tropieza con una cierta escasez de datos. Los registros históricos e instrumentales son pocos y no pueden considerarse definitivos.

El registro histórico se inicia con la llegada de los españoles en el siglo XV, lo que limita su ámbito a los últimos 500 años, a diferencia de otras zonas del planeta donde el registro histórico abarca un milenio (Europa, Oriente Medio) o excepcionalmente varios milenios (China). Por lo que respecta al registro instrumental, también tiene graves inconvenientes, pues la Red Sísmica de la República Dominicana fue

establecida durante los trabajos del Programa SYSMIN (Prointec, 1999) y su registro es, por tanto, manifiestamente incompleto.

Por ello, los catálogos existentes más antiguos provienen, en su mayor parte, de agencias situadas fuera del territorio dominicano, por lo que sólo se han detectado los eventos con magnitudes lo suficientemente grandes como para ser registradas por redes alejadas. La red sísmica de Puerto Rico ofrece una buena cobertura del territorio dominicano en cuanto a superficie, pero no así en cuanto a tiempo, ya que su registro se restringe al periodo posterior a 1985.

Para la elaboración del presente trabajo se ha accedido a las bases de datos de la Red Sísmica Nacional Dominicana (RSND), el Instituto Panamericano de Geografía e Historia (IPGH), la Red Sísmica de Puerto Rico (PRSN) y el Middle American Seismograph Consortium (MIDAS), además de las incluidas en el citado Programa SYSMIN. El periodo cubierto ha sido 1505-2010.

La Hoja de Sabana de la Mar pone de manifiesto la necesidad de abordar los estudios sísmicos en relación con áreas de un orden de magnitud superior, ya que la distribución de epicentros aparece como una nube de puntos que no sigue patrón alguno, si bien parece insinuar su relación con las fallas Meridional de Samaná y del Yabón. En cualquier caso, una representación de escala regional evidencia cómo dichos epicentros forman parte de dos alineaciones principales: E-O, relacionada con las fallas Septentrional y Meridional de Samaná; y NO-SE, ligada a la falla del Yabón (Fig. 5.1).

En cualquier caso, entre los seísmos registrados en la Hoja predominan los de profundidad intermedia (25-53 km), sobre los de carácter profundo (64-162 km) y somero (10 km), siendo 4,7 la magnitud del mayor evento catalogado (1962). Cabe destacar que la zona se vio directamente afectada por la sucesión de seísmos desencadenados entre 1946 y 1953 en el sector nororiental de La Española (Fig. 5.2), relacionándose con el proceso de subducción de la placa Norteamericana bajo la Caribeña (Dolan y Wald, 1998). En esta sucesión sísmica tuvo una participación notable la falla del Yabón, a la cual se asocian diversos eventos que alcanzaron magnitudes máximas de 7,0 y 8,1, confirmando así la actividad de esta importante estructura.

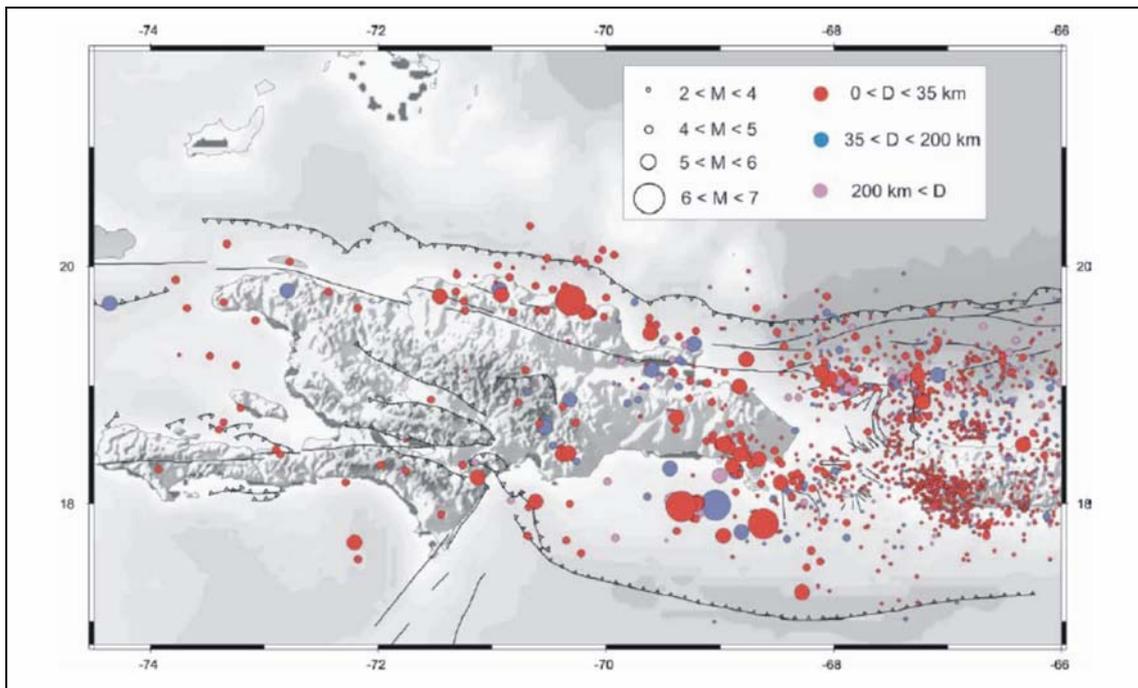


Fig. 5.1. Sismicidad instrumental de La Española (1972-2002). Catálogo NEIC-USGS (Calais, 2008)

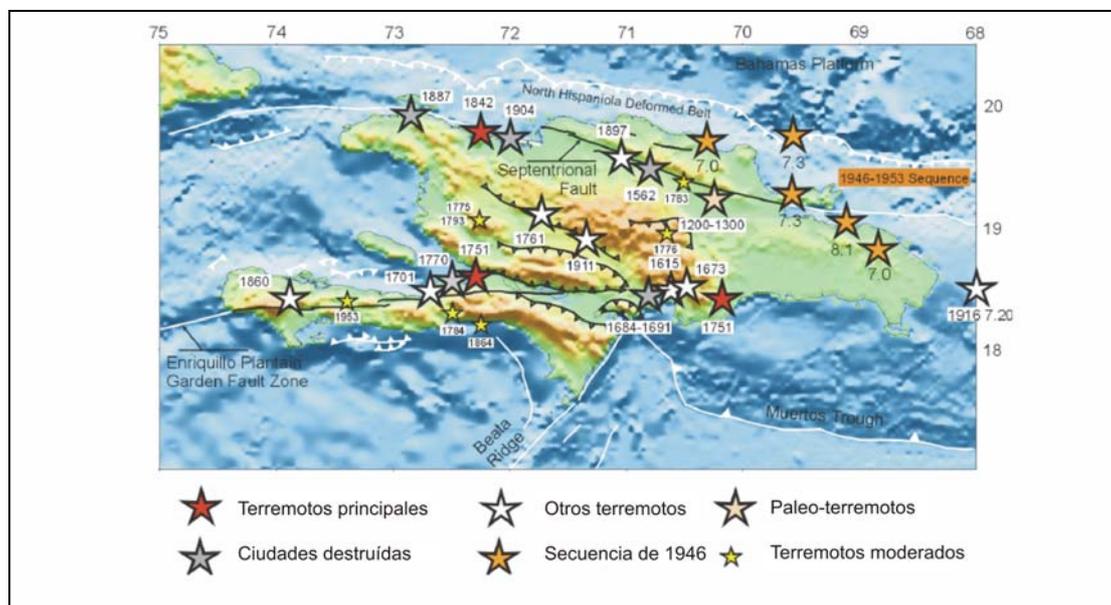


Fig. 5.2. Sismicidad histórica en La Española anterior a 1960 (Calais, 2008)

### 5.3.2. Tsunamis

Los *tsunamis* son olas de grandes dimensiones u olas sísmicas marinas, causadas por un movimiento súbito a gran escala del fondo marino, debido mayoritariamente a terremotos y, en escasas ocasiones, a deslizamientos, erupciones volcánicas o explosiones de origen antrópico.

Los tsunamis difieren de otros peligros sísmicos en el hecho de que pueden causar daños serios a miles de kilómetros de las fallas detonantes. Una vez generados son prácticamente imperceptibles en el mar abierto, donde la altura de su superficie es inferior a un metro. Viajan a velocidades muy grandes, de hasta 900 km/h, y la distancia entre dos crestas de ola consecutivas puede alcanzar 500 km. A medida que las olas se acercan a aguas poco profundas, la velocidad del tsunami disminuye y su energía se transforma en un aumento de la altura de la ola, que a veces supera 25 m; el intervalo de tiempo entre olas sucesivas permanece sin cambios, siendo generalmente de 20 a 40 minutos. Cuando los tsunamis se aproximan a la línea de costa, el mar suele retraerse a niveles inferiores a los de la marea baja, creciendo luego como una ola gigante.

Los efectos de los tsunamis pueden ser condicionados por la configuración de la línea de costa local y del fondo marino. Ya que no existe una metodología precisa para definir estos efectos, es importante el examen del registro histórico para determinar si una sección particular del litoral ha sido afectada por tsunamis y qué elevación alcanzaron. Debe remarcarse que, debido a la fuerza de la ola, la inundación puede llegar a una elevación mayor que la de la cresta de la ola en la línea de costa.

Las costas haitianas y dominicanas han sido afectadas por tsunamis en diversas ocasiones, por lo que el ámbito del litoral de la Llanura Costera de Sabana de la Mar debe considerarse susceptible de sufrir este tipo de fenómenos, si bien su ubicación en la bahía de Samaná disminuye notablemente su probabilidad. En cualquier caso, su vulnerabilidad se extiende varios kilómetros hacia el interior en las llanuras aluviales de los ríos principales, así como en las marismas y áreas pantanosas.

### 5.3.3. Tectónica activa

En una región donde la actividad tectónica reciente es evidente, con una acusada tendencia ascendente demostrada por la elevación de la plataforma plio-cuaternaria de la Fm Los Haitises a cotas superiores a +200 m, tan sólo se reconoce una pequeña cantidad de rasgos indicativos de este tipo de actividad. Cabe señalar las *fallas*, en algunos casos *supuestas* al estar ocultas por depósitos cuaternarios. Las más destacadas poseen la orientación NO-SE típica de la Cordillera Oriental.

Dicha tendencia ascendente puede cuantificarse de forma orientativa en base a los escasos datos cronológicos disponibles. Ya que el levantamiento se ha venido produciendo al menos desde el final del depósito de la Fm Los Haitises, acontecido de forma imprecisa durante el intervalo Plioceno-Pleistoceno Inferior, se establece una tasa de elevación de 0,07-0,32 mm/año para dicha formación. Este intervalo corresponde al mismo orden de magnitud que las tasas estimadas en otros puntos de La Española, asemejándose a los propuestos en el Promontorio de Cabrera (Hoja a escala 1:50.000 de Río San Juan, 6174-I), pero superando claramente a los establecidos en la Llanura Costera del Caribe (Hoja a escala 1:50.000 de Santo Domingo, 6271-III) y mostrándose claramente inferiores a los calculados en la Cordillera Septentrional (Hoja a escala 1.50.000 de Salcedo, 6174-III)(Braga, 2010).

### 5.3.4. Actividad asociada a movimientos de laderas

Se trata de una actividad restringida a coluvionamientos y caídas de bloques cuyas dimensiones no han permitido su representación cartográfica.

### 5.3.5. Actividad asociada a procesos de erosión

Es patente en relación con los afloramientos de rocas cretácicas, especialmente por el desarrollo de una red de drenaje dendrítica, con una acusada *incisión lineal*. En el caso del río Yabón destaca la *erosión lateral del cauce*, fenómeno que favorece las frecuentes migraciones del canal principal. Por el contrario, la actividad erosiva es muy inferior en el sector occidental debido a la preponderancia de los procesos kársticos.

En relación con la dinámica litoral de carácter erosivo, se restringe a los *acantilados*, esculpidos principalmente en las calizas de la Fm Los Haitises, y a la acción de la *deriva litoral*, puesta de manifiesto por el desarrollo de la flecha litoral de Sabana de la Mar.

#### 5.3.6. Actividad asociada a procesos de inundación y sedimentación

Es la actividad que se produce por una mayor variedad de procesos, además de ser la que tiene una mayor incidencia sobre la población. Su origen está relacionado con la actividad fluvial, el desarrollo endorreico, la dinámica litoral y, en general, con cualquier tipo de proceso generador de flujos acuosos o aportes sedimentarios susceptibles de acumularse en áreas deprimidas.

Los procesos de inundación y sedimentación actúan de forma prácticamente continua sobre los *fondos de valle* de los ríos y arroyos de la zona, a diferencia de las *llanuras de inundación* y los *cauces y meandros abandonados* en ellas, en los que las inundaciones se producen de forma estacional. El régimen pluviométrico de la región, unido a la topografía, hace que también las *áreas pantanosas* sean inundadas de forma frecuente.

Asociadas con la dinámica litoral actual se encuentran las *marismas*, diariamente la *baja* y ocasionalmente la *alta*, además de las *playas* y la *flecha litoral* de Sabana de la Mar. Además, en relación con procesos de inundación en la franja costera, no deben olvidarse los potenciales efectos que podría ocasionar la ocurrencia de un tsunami, ni los más frecuentes debidos a la llegada de tormentas tropicales y huracanes.

También son susceptibles de aparecer como áreas inundadas tras lluvias intensas las innumerables depresiones de origen kárstico de los afloramientos calcáreos de la Fm Los Haitises, especialmente en las depresiones revestidas por un importante depósito de arcillas de descalcificación.

#### 5.3.7. Actividad asociada a litologías especiales

Su expresión más evidente se produce en relación con los afloramientos de la Fm Los Haitises, en los que se observa una sucesión continua de *depresiones por disolución*

correspondientes a dolinas. En función de la intensidad de los procesos de disolución, es preciso tener en cuenta los potenciales procesos de colapso que podrían generarse como consecuencia del desarrollo del endokarst, originando en su caso dolinas superficiales.

#### 5.3.8. Actividad antrópica

Pese a la evidente actividad antrópica de la zona, se consideran en este apartado únicamente los procesos relacionados con modificaciones sustanciales del relieve, puestos de manifiesto especialmente por la existencia de *zonas ganadas al mar*, consistentes en la acumulación de material de relleno en el litoral de Sabana de la Mar.

### 6. HISTORIA GEOLÓGICA

Las rocas aflorantes en la Hoja de Sabana de la Mar presentan notables discontinuidades en el registro estratigráfico, especialmente a nivel del Terciario, por lo que para la reconstrucción de su historia geológica es preciso referirse a la de la Cordillera Oriental y sus áreas adyacentes. Las rocas de la cordillera registran 130 Ma de evolución de las Grandes Antillas, desde su inicio como un arco de islas intraoceánico hasta su colisión oblicua con la placa de Norteamérica y su traslación a lo largo de fallas transformantes paralelas al límite de placas (Fig. 6.1).

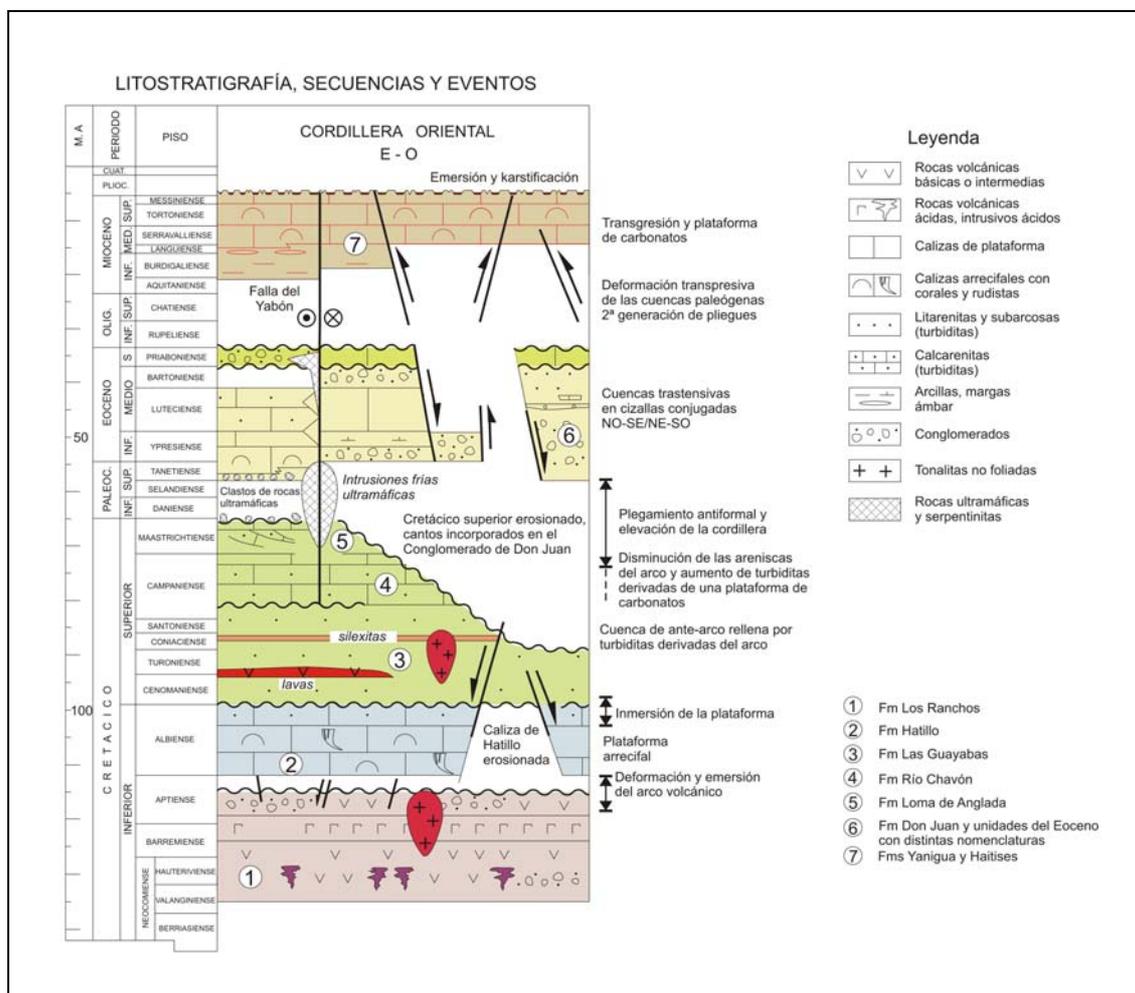


Fig. 6.1. Cuadro-resumen de la historia geológica de la Cordillera Oriental (De García-Senz, 2007b)

Sobre la corteza de la placa del Caribe, posiblemente engrosada en algunas zonas como una meseta o un monte oceánico (Escuder Viruete *et al.*, 2002; 2007b), se desarrolló en el Cretácico Inferior un arco de islas volcánico con un contenido bimodal

de sílice, cuyos productos emitidos corresponden a la Fm Los Ranchos. En el estadio inicial se acumularon lavas en aguas profundas, y posteriormente lavas y materiales volcanoclásticos en aguas someras afectadas por un metamorfismo de bajo grado debido a la convección hidrotermal del agua marina (Kesler *et al.*, 1991a). En el Neocomiano, el edificio volcánico había alcanzado el nivel del mar y su destrucción en los taludes costeros aportó una alta proporción de sedimentos no eruptivos con restos de plantas, impregnados de depósitos epitermales de oro y plata, en el área de Pueblo Viejo. La vegetación transportada sugiere un clima cálido, estacionalmente seco (Smiley, 1982). Con el cese progresivo del volcanismo, los relieves emergidos terminaron arrasados en una plataforma, sobre la que se depositaron en ligera discordancia las calizas arrecifales de la Fm Hatillo (Bourdon, 1985).

Hacia el final del Albiano, la plataforma de carbonatos, que se había mantenido con una subsidencia estable, quedó enterrada bajo las rocas volcanoclásticas de la Fm Las Guayabas. Este evento se relaciona con el desarrollo de un segundo arco volcánico en una posición retrogradada hacia el sur, que aportó detritos a una cuenca de antearco superpuesta al arco inicial. Esta formación se depositó por corrientes de turbidez en un mar profundo (Fig. 2.4). Una gruesa intercalación de rocas volcánicas básicas a intermedias en su tramo inferior en el sector suroriental de la cordillera, indica la proximidad del magmatismo del arco, que con el tiempo se iría desplazando hacia el sur.

El aporte de detríticos quedó interrumpido en algún momento del Santoniano, sedimentándose el extenso nivel de radiolaritas de la Fm Arroyo La Yabana. Este nivel marca un punto de inflexión en el tipo de aportes, con disminución de los detríticos de área fuente volcánica y aumento de los detríticos de área fuente calcárea (Fm Río Chavón), que serían dominantes en el Campaniano-Maastrichtiano. En este intervalo de tiempo, las rocas volcánicas de la Fm Los Ranchos fueron intruidas por tonalitas de 95-87 Ma (Kesler *et al.*, 1991b).

La tasa de subsidencia que mantenía en aguas profundas la cuenca de antearco fue compensada y sobrepasada por la agradación de sedimento en el Maastrichtiano, formándose un área marina somera con barras arenosas y zonas protegidas con parches de rudistas (Fm Loma de Anglada). De una forma extrínseca a la dinámica de la cuenca, la extinción del límite K/T causó el relevo de numerosas microfaunas y

terminó con los rudistas, dejando a los corales y algas melobesias como los principales bioconstructores de las plataformas de carbonatos.

El segmento de cuenca de antearco contenido en la Cordillera Oriental fue elevado, plegado y basculado hacia el sur en el Paleoceno, como parte del proceso diacrónico de colisión de las Antillas Mayores con el margen meridional de la placa Norteamericana. Paralelamente al bloqueo progresivo de la subducción, cesó la actividad ígnea.

Los primeros sedimentos posteriores al inicio de la colisión en la Cordillera Oriental corresponden a los conglomerados de la Fm Don Juan, depositados a favor de cuencas transpresivas separadas por fallas en dirección de orientación NO-SE. El tipo de sedimento y la batimetría varían de una cuenca a otra, pero en general la evolución es transgresiva a medida que las cuencas se ampliaban y áreas más extensas subsidían. En el Eoceno Superior se crearían taludes con resedimentación de depósitos en masa y turbiditas de área fuente volcánica y metamórfica.

La reconstrucción paleogeográfica de las cuencas eocenas está oscurecida por la erosión posterior, del Oligoceno-Mioceno. Posiblemente, la continuidad del proceso de acortamiento por transpresión elevó la zona sobre el nivel del mar, al tiempo que la bahía de Samaná iniciaba la subsidencia controlada por fallas transcurrentes orientadas en dirección E-O. En el Mioceno, la evolución de la zona de cizalla había alcanzado ya el estadio avanzado que hoy observamos, con pliegues de dirección NO-SE subparalelos a las fallas en dirección y fallas de Riedel que deforman los pliegues.

En estas condiciones, se produjo la transgresión de la plataforma arrecifal de Los Haitises a comienzos del Plioceno, conectando el mar las actuales costas septentrional y meridional de la región oriental de La Española; sólo los relieves más elevados de la incipiente cordillera sobresalían como islas (Díaz de Neira *et al.*, 2007). El crecimiento de los corales fue influenciado por las variaciones eustáticas y la tectónica transpresiva, que en última instancia forzó la regresión que elevó la plataforma a alturas superiores a 300 metros, para dar lugar a un karst subtropical.

En el resto de la ascendente cordillera, la incisión fluvial y la argilización han sido los principales agentes modeladores del relieve reciente. La tendencia ascendente de la región ha culminado con la ganancia de terreno al mar de la actual Llanura Costera de

Sabana de la Mar, cuyo incremento areal se ha visto favorecido por la aportación de sedimentos fluviales y de carácter litoral fundamentalmente.

## 7. GEOLOGÍA ECONÓMICA

### 7.1. Hidrogeología

#### 7.1.1. Climatología e hidrología

El territorio ocupado por la Hoja de Sabana de la Mar (6373-III) está afectado por un típico clima tropical, con temperaturas anuales medias que varían entre 25 y 26° C, medias máximas de 29-30°C y medias mínimas de 20-21°C, observándose en cualquier caso un efecto suavizador del océano ante los cambios de temperatura. En cuanto a las precipitaciones, sus valores anuales medios aumentan de este a oeste desde 1.900 hasta 2.100 mm/año, con valores máximos anuales de 2.700 mm y mínimos de 1.200 mm, si bien estas pluviometrías sufren variaciones notables en función de la frecuencia de llegada de tormentas tropicales y huracanes.

En la región de Los Haitises, el agua de lluvia aportada por las elevadas precipitaciones se infiltra directamente, incorporándose al acuífero correspondiente, a diferencia del resto de la zona, donde las precipitaciones se resuelven principalmente mediante escorrentía superficial, a favor de la densa red de drenaje. En la llanura costera son abundantes las zonas con una clara tendencia al encharcamiento y la inundación, fenómenos que pueden ser rápidos.

#### 7.1.2. Hidrogeología

En el cuadro adjunto (Fig. 7.1.) se resumen las unidades o agrupaciones hidrogeológicas consideradas en la Hoja. En él se señalan, para cada unidad o agrupación hidrogeológica, su litología predominante, el grado de permeabilidad y, en su caso, las características de los acuíferos que albergan, además de algunas observaciones puntuales.

Las unidades y agrupaciones consideradas se ajustan a las siguientes tipologías:

- *Formaciones porosas*, que constituyen *acuíferos de permeabilidad muy alta y productividad alta*. Son los conjuntos calcáreos plio-cuaternarios (Fms. Los

Haitises e intercalaciones calcáreas de la Fm Cevicos), afectados por una intensa karstificación y fisuración.

EDAD	UNIDAD O AGRUPACIÓN HIDROGEOLÓGICA	UNIDADES CARTOGRÁFICAS	LITOLOGÍAS	GRADO/TIPO DE PERMEABILIDAD	TIPOS DE ACUÍFEROS Y OBSERVACIONES
CUATERNARIO	Depósitos fluviales, playas, cordones y flechas litorales	13, 15, 16, 19, 20, 22, 23	Arenas y gravas	Alta por porosidad intergranular	Acuíferos libres de productividad variable
	Abanicos aluviales y piedemontes	10, 11, 14	Lutitas, gravas y arenas	Media por porosidad intergranular	Acuíferos libres extensos, con productividad limitada
	Depósitos kársticos, áreas pantanosas, marismas y argilizaciones	12, 17, 18, 21	Lutitas	Baja	Sin acuíferos significativos
PLIOCENO	Fm Los Haitises	9	Calizas arrecifales	Muy alta por karstificación y fisuración	Acuífero libre extenso de elevada productividad que pueden alimentar a algunos acuíferos cuaternarios
	Fm Cevicos	8	Margas con intercalaciones de calizas	Baja. Muy alta por porosidad intergranular y karstificación en las intercalaciones de calizas	Acuíferos libres y confinados de productividad variable constituidos por las intercalaciones de calizas
CRETÁCICO	Fms. Los Ranchos (e intrusiones asociadas), Las Guayabas y Arroyo La Yabana	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7	Rocas ígneas, volcano-sedimentarias, areniscas, conglomerados y radiolaritas	Baja. Localmente media por fisuración	Sin acuíferos significativos

Fig. 7.1. Cuadro-resumen de las unidades o agrupaciones hidrogeológicas de la Hoja de Sabana de la Mar

- *Formaciones porosas, que constituyen acuíferos de permeabilidad alta, pero de productividad limitada* debido a sus dimensiones. Se incluyen entre ellas los depósitos fluviales de fondo de valle, llanura de inundación, cauce o meandro abandonado y terraza, así como los litorales de playa, cordón y flecha litoral.
- *Formaciones de porosidad media, que pese a su notable extensión constituyen acuíferos de productividad limitada* debido a las frecuentes intercalaciones lutíticas. Se incluyen entre ellas los depósitos de abanico aluvial y piedemonte.
- *Formaciones margoso-lutíticas de baja permeabilidad y sin acuíferos significativos.* Se trata de los depósitos margosos pliocenos de la Fm Cevicos y los sedimentos cuaternarios de áreas pantanosas, marismas y fondos kársticos.
- *Formaciones ígneo-metamórficas de baja permeabilidad y sin acuíferos significativos,* correspondientes a los materiales cretácicos: Fms. Los Ranchos e

intrusiones asociadas, Las Guayabas y Arroyo La Yabana. Su intensa fracturación puede dar lugar a acuíferos de baja productividad.

El sector occidental de la Hoja se enmarca en la Unidad Hidrogeológica nº 3-“Los Haitises” (Eptisa, 2004) que muestra un límite septentrional abierto, con aportación a la bahía de Samaná y a los acuíferos de la Llanura Costera de Sabana de la Mar. La Fm Los Haitises es el acuífero principal de la región, por lo que buena parte de las elevadas precipitaciones caídas sobre su superficie de afloramiento, se traducen en escorrentía subterránea. La Fm Cevicos alberga niveles de caliza de envergadura muy variable, pero que pueden constituir excelentes acuíferos, al presentar propiedades hidrogeológicas similares a las de la Fm Los Haitises. Su diferencia principal estriba en el carácter libre y las mayores dimensiones de ésta, frente al carácter confinado y la menor extensión de los niveles calizos de aquélla.

El resto de la Hoja pertenece a la Unidad Hidrogeológica nº 2 “Cordillera Oriental” (Eptisa, 2004), de mucho menor interés desde un punto de vista hidrogeológico, ya que debido a la baja permeabilidad de los materiales que la integran, las precipitaciones se resuelven mediante escorrentía superficial. Tan sólo algunos depósitos de la Llanura Costera de Sabana de la Mar poseen cierto potencial acuífero, destacando entre ellos los fluviales, especialmente los relacionados con el río Yabón, Su recarga se produce por infiltración del agua de lluvia, pudiendo sufrir en el sector occidental trasvases subterráneos de los niveles calizos de la Fm Los Haitises, siendo también posibles los flujos de doble dirección con los elementos de la red de drenaje.

No existen datos piezométricos de la zona, pero en cualquier caso la disposición del sustrato margoso de la Fm Los Haitises provoca un decrecimiento isopiezométrico general hacia el NNE, indicando un claro flujo de agua subterránea hacia la bahía de Samaná.

Las aguas subterráneas de Los Haitises presentan una vulnerabilidad baja. En general, los análisis realizados (Eptisa, 2004) se encuentran dentro de los límites establecidos en la normativa de aguas de abastecimiento humano. No obstante, una de las muestras, tomada en las proximidades del límite de la Hoja ha dado valores muy altos de cloruros, indicando fenómenos de intrusión marina.

## 7.2. Recursos minerales

Los indicios identificados en la Hoja de Sabana de la Mar corresponden exclusivamente al grupo de las rocas Industriales (Fig. 7.2).

NÚMERO	COORDENADAS		FORMACIÓN	SUSTANCIA	ACTIVIDAD	TAMAÑO	UTILIZACIÓN
	X	Y					
1	04 52.677	21 06.829	Los Haitises	Caliza	Intermitente	Pequeña	Arm
2	04 52.865	21 06.650	Los Haitises	Caliza	Abandonada	Pequeña	Arm
3	04 55.163	21 05.100	Los Haitises	Caliza	Intermitente	Pequeña	Arm
4	04 55.965	21 04.092	Los Haitises	Caliza	Intermitente	Pequeña	Arm
5	04 56.023	21 03.573	Los Haitises	Caliza	Intermitente	Pequeña	Arm
6	04 59.199	21 04,677	Los Ranchos	Basalto	Abandonada	Pequeña	Arm
7	04 61.326	21 05,315	Los Ranchos	Basalto	Abandonada	Pequeña	Arm
8	04 61.233	21 05,227	Los Ranchos	Basalto	Abandonada	Mediana	Arm
9	04 62.831	21 04,288	Los Ranchos	Basalto	Intermitente	Grande	Arm
10	04 66.780	21 04.015	Las Guayabas	Arenisca	Abandonada	Pequeña	Arm
11	04 70.644	21 03.581	Las Guayabas	Arenisca	Abandonada	Mediana	Arm
12	04 70.771	21 03.420	Las Guayabas	Arenisca	Abandonada	Mediana	Arm
13	04 72.879	21 01.639	Las Guayabas	Arenisca	Abandonada	Pequeña	Arm

Arm: áridos de machaqueo

Fig. 7.2. Cuadro-resumen de indicios de la Hoja de Sabana de la Mar (6373-III)

### 7.2.1. Rocas Industriales

La actividad extractiva se ha centrado en canteras de materiales relacionados con obras de distinto tipo, principalmente de infraestructura viaria, tanto en lo que se refiere a construcción, como reparación y mantenimiento.

De las 13 canteras inventariadas, tan sólo en seis se observa una actividad intermitente. Se emplazan en calizas de la Fm Los Haitises, basaltos de la Fm Los Ranchos y areniscas de la Fm Las Guayabas, productos utilizados en todos los casos como áridos de machaqueo. Predominan las de pequeñas dimensiones, si bien la que muestra un mayor grado de actividad, localizada en la loma de los Chivos, es grande.

Se encuentran ubicadas junto a las carreteras o las pistas de mayores dimensiones, por lo que su evacuación es sencilla.

#### 7.2.1.1. Descripción de las Sustancias

Las explotaciones de calizas (5) aprovechan niveles arrecifales de la Fm Los Haitises, que poseen aspecto brechoide y se agrupan en grandes bancos. Aunque su espesor es variable, en todos los casos sus frentes sobrepasan 5 m.

Las canteras de basaltos (4) también poseen una estratificación poco marcada, lo que les confiere aspecto masivo; en ocasiones, las fracturas pueden aparentar una falsa estratificación. Sus frentes son de altura variable, llegando hasta 10 m.

En cuanto a las canteras de areniscas (4), presentan estratificación en niveles decimétricos a métricos, con inclusión de niveles volcánicos. Poseen una marcada esquistosidad y una densa fracturación, que pueden enmascarar la estratificación. Sus frentes son de dimensiones modestas, sin llegar a 5 m de altura

#### 7.2.2. Potencial minero

##### 7.2.2.1. Rocas Industriales

La actividad en este sector está ligada al campo de las obras, fundamentalmente a la construcción, reparación y mantenimiento de construcciones diversas, de infraestructura vial, principalmente.

Los litotectos existentes en la Hoja poseen grandes reservas y son susceptibles de aprovechamiento futuro, siempre en función del desarrollo socio-económico de la región. A este respecto, cabe señalar el indudable potencial turístico de la zona, cuyo desarrollo se ve enormemente dificultado por la precariedad y mal estado de las vías de acceso.

## **8. 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.

### **8.1. Relación de los L.I.G.**

En la Hoja de Sabana de la Mar (6373-III) se ha inventariado un Lugar de Interés Geológico, denominado Modelado Kárstico de Los Haitises.

### **8.2. Descripción de los Lugares**

Se describe el L.I.G. considerado señalando el tipo de interés en función de su contenido (tectónico, estratigráfico, paleontológico...), de su posible utilización

(científico, didáctico, económico o turístico), así como de su ámbito de influencia (local, regional, nacional o internacional).



Fig. 8.1. Localización del Lugar de Interés Geológico (LIG) de la Hoja de Sabana de la Mar

- LIG n°1. Modelado Kárstico de Los Haitises

Permite la observación de la peculiar fisonomía de una de los dominios fisiográficos más típicos de la República Dominicana: la región de Los Haitises. Dada la gran cantidad de aspectos geológicos reseñables en el sector occidental de la Hoja, se propone el presente LIG como un área, más o menos coincidente con el territorio accesible en las excursiones que parten en barca desde el paraje de Caño Hondo, donde se localiza una de las entradas al Parque Nacional de Los Haitises. Su contenido principal es de tipo geomorfológico; por su utilización, posee interés científico y didáctico, y por su ámbito de utilización es internacional.

A lo largo de la pista de acceso desde Sabana de la Mar es perceptible el neto contraste entre la Llanura Costera de Sabana de la Mar y el macizo calcáreo constituyente de la región de Los Haitises, en la que ya se insinúa una irregular

topografía como consecuencia de la actividad kárstica. Un par de canteras junto a la pista permiten la observación de las principales características petrológicas y sedimentarias de la Fm Los Haitises (Plioceno-Pleistoceno Inferior).

La travesía en barca permite transitar por un manglar antes de la salida a la bahía de San Lorenzo, individualizada por la flecha litoral de Sabana de la Mar, uno de los elementos más característicos del litoral dominicano. Una mejor perspectiva de la flecha es posible desde los miradores de Caño Hondo, con la Península de Samaná al fondo.

En el litoral es más patente la peculiar morfología de la zona, a modo de inmensa caja de huevos (*cockpits*), constituida por una continua sucesión de dolinas. Cuando la disolución ha actuado con mayor energía o de forma más prolongada, ha dejado reducidas las crestas situadas entre las dolinas a una serie de mogotes o *hums*, cuya denominación local de haitises ha sido empleada también para la región. Las variaciones del nivel del mar hacen que algunos montículos queden rodeados por el mar, a modo de islotes llamados cayos. Las variaciones del nivel del mar quedan evidenciadas por una marcada señal o *notch* a 1 m sobre el nivel actual, en el ámbito de las cuevas visitadas en la excursión.

El litoral posee carácter acantilado con desniveles de más de 20 m y un trazado muy irregular como consecuencia de la intersección del nivel del mar con el campo de dolinas, algunas de las cuales han sido colonizadas por el manglar. En cuanto a las cuevas, ponen de manifiesto el rico modelado endokárstico, con abundantes estalactitas y estalagmitas, ventanas, etc., formas de origen natural complementadas por las pinturas y petroglifos de origen antrópico.

## 9. BIBLIOGRAFÍA

**ACUATER (2000).** Mapa Hidrogeológico Nacional. Planicie Costera Oriental, mapa nº 9/1/3 Escala 1:50 000. Programa SYSMIN, Proyecto J. Servicio Geológico Nacional, Santo Domingo.

**AYALA, C., GARCÍA-LOBÓN, J.L., ESCUDER-VIRUETE, J., REY-MORAL, C., PÉREZ-ESTAÚN, A., PADÍN-DEBÉN, A. (in press).** High resolution magnetic, regional gravity and petrophysical characterization of the Central Cordillera (Dominican Republic). *Geologica Acta* (2010).

**BARRETT, T.J., McLEAN, W.H. (1999).** Volcanic sequences, lithogeochemistry, and hydrothermal alteration in some bimodal volcanic-associated massive sulfide systems. En: BARRIE, C.T., HANNINGTON, M.D. (eds.). *Volcanic-associated massive sulfide deposits: processes and examples in modern and ancient settings. Reviews in Economic Geology*, 8, 101-131.

**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.

**BOURDON, L. (1985).** La Cordillère Orientale Dominicaine (Hispaniola, Grandes Antillas); Un arc insulaire Cretacé polystructure. Tesis Doctoral. Universidad Pierre y Marie Curie, París, 203 pp.

**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.

**BRAGA, J.C. (2010).** Informe sobre las Formaciones Arrecifales del Neógeno y Cuaternario de la República Dominicana. Proyecto de Cartografía Geotemática de la República Dominicana. Programa SYSMIN, Proyecto 1B. Servicio Geológico Nacional, Santo Domingo, 73 pp.

**BROUWER, S.B., BROUWER, P.A. (1982).** Geología de la región ambarífera oriental de la Republica Dominicana. 9ª Conferencia Geológica del Caribe, Santo Domingo, Republica Dominicana. *Memorias*, 1, 303-322.

**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.

**CALAIS, E. (2008).** Risque Sismique en Haïti: Fondements Scientifiques et Nature du Risque. Conferencia de Puerto Príncipe.

**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.

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

**DE ZOETEN, R., MANN, P. (1991).** Structural geology and Cenozoic tectonic history of the central Cordillera Septentrional, Dominican Republic. 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, 265-279.

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

**DÍAZ DE NEIRA, J.A., HERNALZ HUERTA, P.P. (2004).** Mapa Geológico de la Hoja a E. 1:50.000 n° 6272-I (Antón Sánchez) y Memoria correspondiente. Proyecto de Cartografía Geotemática de la República Dominicana. Programa SYSMIN, Proyecto L. Servicio Geológico Nacional, Santo Domingo.

**DÍAZ DE NEIRA, A., MARTÍN-SERRANO, A., ESCUER, J. (2007).** Evolución geomorfológica de la Cordillera Oriental Dominicana. *Boletín Geológico y Minero, IGME*, 118-2, 385-399.

**DÍAZ DEL OLMO, F., CÁMARA, R. (2003).** Karst tropical de colinas, tipología y evolución en el plio-cuaternario en República Dominicana. XI Reunión nacional de Cuaternario. Oviedo, 123-128.

**DIRECCIÓN GENERAL DE MINERÍA (DGM), BUNDESANSTALT FÜR GEOWISSENSCHAFTEN UND ROHSTOFFE (BGR); COOPERACIÓN MINERA DOMINICO-ALEMANA (1991).** Mapa geológico de la República Dominicana Escala 1:250.000.

**DIXON, T.H., DAILY, M.I. (1981).** Analysis of a SEASTAT-SAR image of the northeastern Dominican Republic, París, Francia, Photo-Interpretation, 5, 4.3-4.7.

**DIXON, T., FARINA, F., DEMETS, C., JANSMA, P., CALAIS, E. (1998).** Relative motion between the Caribbean and North American plates and related boundary zone deformation based on a decade of GPS measurements. *J. Geophys. Res.*, 103, 15, 157-182.

**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., MANN, P. (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., MULLINS, H.T., WALD, D.J. (1998).** Active tectonics of the north-central Caribbean: Oblique collision, 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., GUTIÉRREZ-ALONSO, G., LEWIS, J.F. (1996).** Thrust emplacement of the Española peridotite belt: Orogenic expression of the Mid Cretaceous Caribbean arc polarity reversal. *Geology*, 24 (12), 1143-1146.

**EDGAR, N.T. (1991).** Structure and geologic development of the Cibao Valley, northern 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, 281-299.

**EPTISA (2004).** Estudio hidrogeológico Nacional de la República Dominicana. Fase II Programa SYSMIN, Proyecto N. Servicio Geológico Nacional. Santo Domingo.

**ESCODER VIRUETE J. (2004).** Petrología y geoquímica de la rocas ígneas y metamórficas del Proyecto L (Zonas Este y Suroeste) de Cartografía

Geotemática de la República Dominicana. Programa SYSMIN. Servicio Geológico Nacional, Santo Domingo. Informe. (Inédito).

**ESCUDER VIRUETE, J. (2010).** Arcos isla, mesetas oceánicas y prismas de acreción: una introducción a la evolución magmática y metamórfica de la República Dominicana. Curso Últimas tecnologías para la exploración de petróleo, gas y aprovechamiento de recursos energéticos. IGME, 60 pp. (Inédito).

**ESCUDER VIRUETE, J., DÍAZ DE NEIRA, A., HERNAIZ HUERTA, P.P., GARCÍA-SENZ, J., MONTHEL, J., JOUBERT, M., LOPERA, E., ULLRICH, T., FRIEDMAN, R., WEIS, D., PÉREZ-ESTAÚN, A. (2007a).** Implicaciones tectonomagmáticas y edad de las toleítas de arco-isla, boninitas y rocas ácidas relacionadas de la Formación Los Ranchos, Cordillera Oriental, República Dominicana. Boletín Geológico y Minero, 118-2, 195-219.

**ESCUDER VIRUETE, J., DÍAZ DE NEIRA, A., HERNAIZ HUERTA, P.P., MONTHEL, J., GARCÍA-SENZ, J., JOUBERT, M., LOPERA, E., ULLRICH, T., FRIEDMAN, R., MORTENSEN, J. PÉREZ-ESTAÚN, A. (2006).** Magmatic relationships and ages of Caribbean island-arc tholeiites, boninites and related felsic rocks, Dominican Republic. Lithos, 90, 161-186.

**ESCUDER VIRUETE, J., PÉREZ-ESTAÚN, A., CONTRERAS, F., JOUBERT, M., WEIS, D., ULLRICH, T.D., SPADEA P. (2007b).** Plume mantle source heterogeneity through time: insights from the Duarte Complex, Central Hispaniola. Journal of Geophysical Research, 112.

**FALCONBRIDGE DOMINICANA (1988).** Informes internos. Preliminary Discussion of Results. Cordillera Oriental Project, 2 de Mayo de 1988, 6 pp.; Cordillera Oriental Project, J. J. Watkins, y C. Chávez Castro, 15 de Julio de 1988, 25 pp. Centro de Documentación, Dpto. de Exploraciones Falconbridge.

**GABB, W. M. (1881).** On the topography and geology of Santo Domingo. Am. Philos. Soc. Trans., n.s., XV, 49-259.

**GARCÍA-SENZ, J., MONTHEL, J., DÍAZ DE NEIRA, J. A., HERNAIZ HUERTA, P. P., CALVO, J. P., ESCUDER VIRUETE, J. (2007a).** Estratigrafía del Cretácico Superior de la Cordillera Oriental de la República Dominicana. Boletín Geológico y Minero, IGME, 118-2, 269-291.

**GARCÍA-SENZ, J., MONTHEL, J., DÍAZ DE NEIRA, J. A., HERNÁIZ HUERTA, P. P., ESCUDER VIRUETE, J., PÉREZ-ESTAÚN, A. (2007b).** La estructura de la Cordillera Oriental de la República Dominicana. Boletín Geológico y Minero, IGME, 118-2, 293-311.

**GARCÍA-SENZ J., PÉREZ-ESTAÚN A. (2008).** Miocene to recent tectonic elevation in Eastern Dominican Republic. 18ª Conferencia Geológica del Caribe. Póster. Santo Domingo.

**GEISTER, J. (1982).** Pleistocene reef terraces and coral environments at Santo Domingo and near Boca Chica, southern coast of the Dominican Republic. 9ª Conferencia Geológica del Caribe (Santo Domingo, 1980), 2, 689-703.

**HARDING T.P., LOWELL J.D. (1979).** Structural styles, their plate-tectonic habitats, and hydrocarbon traps in petroleum provinces: American Association of Petroleum Geologists Bulletin, 63, 1016-1058.

**HERNÁNDEZ, J.B. (1980).** Geología preliminar del área «El Valle», Provincia El Seybo, República Dominicana. 9ª Conferencia Geológica del Caribe. Santo Domingo, República Dominicana. Memorias, 2, 675-680.

**ITURRALDE, M. (2001).** Geology of the amber-bearing deposits of the Greater Antilles. Caribbean Journal of Science, 37, 3-4, 141-167.

**KESLER, S.E., RUSSELL, N., POLANCO, J., McCURDY, K., CUMMING, L. (1991a).** Geology and Geochemistry of the Early Cretaceous Los Ranchos Formation, 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, 187-201.

**KESLER, S.E., SUTTER, J.F., BARTON, J.M., SPECK, R.C. (1991b).** Age of Intrusive Rocks in Northern Española. 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, 173-186.

**LEBRON, M.C., MANN, P. (1991).** Geologic Map of the Eastern 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, 401 pp.

**LEBRON, M.C., PERFIT, M.R. (1994).** Petrochemistry and tectonic significance of Cretaceous island-arc-rocks, Cordillera Oriental, Dominican Republic. Tectonophysics, 229, 69-100.

**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., BURKE, K., MATSUMOTO, T. (1984).** Neotectonics of Hispaniola; Plate motion, sedimentation and seismicity at a restraining bend. Earth and Planetary Science Letters, 70, 311-324.

**MANN, P., CALAIS, E., RUEGG, J.C., DEMETS, C., DIXON, T., JANSMA, P., MATTIOLI, G. (2002).** Oblique collision in the northeastern Caribbean from GPS measurements and geological observations. Tectonics, 21, 6, 1057.

**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.

**MARTÍN, M. (2000).** Mapa Geológico de la Hoja a E. 1:50.000 n° 6172-I (Hatillo) y Memoria correspondiente. Proyecto de Cartografía Geotemática de la República Dominicana. Programa SYSMIN, Proyecto C. Servicio Geológico Nacional, Santo Domingo.

**McCLAY, K., BONORA M. (2001).** Analog models of restraining stepovers in strike-slip fault systems. AAPG Bulletin, 85, 2, 233-260.

**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).

**MONTHEL, J. (2004).** Mapa Geológico de la Hoja a E. 1:50.000 n° 6372-III (El Valle) y Memoria correspondiente. Proyecto de Cartografía Geotemática de la República Dominicana. Programa SYSMIN, Proyecto L. Servicio Geológico Nacional, Santo Domingo.

**MONTHEL, J., CAPDEVILLE, J. (2004).** Mapa Geológico de la Hoja a E. 1:50.000 n° 6272-II (Bayaguana) y Memoria correspondiente. Proyecto de Cartografía Geotemática de la República Dominicana. Programa SYSMIN, Proyecto L. Servicio Geológico Nacional, Santo Domingo.

**MONTHEL, J., NICOL, N., FONDEUR, L., GENNA, A. (2004).** Mapa Geológico de la Hoja a E. 1:50.000 n° 6272-IV (Sabana Grande de Boyá) y Memoria correspondiente. Proyecto de Cartografía Geotemática de la República Dominicana. Programa SYSMIN, Proyecto L. Servicio Geológico Nacional, Santo Domingo

**NAGLE, F. (1966).** Geology of the Puerto Plata area, Dominican Republic. Tesis Doctoral. Universidad de Princeton, Nueva Jersey, 171 pp. (Inédito).

**NELSON, C.E. (2000).** Volcanic domes and gold mineralization in the Pueblo Viejo district, Dominican Republic. *Mineralium Deposita*, 35, 511-525.

**PEARCE, J.A., HARRIS, N.B.W., TINDLE, A.G. (1984).** Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. *Journal of Petrology*, 25, 956-983.

**PEARCE J.A., PEATE D.W. (1995).** Tectonic implications of the composition of volcanic arc magmas. *Earth and Planetary Science Annual Review*, 23, 251-285.

**PÉREZ-ESTAÚN, A., HERNAIZ, P.P., LOPERA, E., JOUBERT, M., Eds. (2007).** Geología de la República Dominicana. *Boletín Geológico y Minero, IGME*, 118-2, 155-413.

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

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

**RAMSAY, J.G. (1967).** Folding and Fracturing of Rocks, McGraw-Hill, Nueva York y Londres, 568 pp.

**SMILEY, J. (1982).** Cretaceous plants from the Dominican Republic. Compañía Rosario Dominicana S.A., República Dominicana. Informe interno (Inédito).

**WINCHESTER J.A., FLOYD, P.A. (1977).** Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements. Chemical Geology, 20, 325-343.

**WINSLOW, M.A., GUGLIELMO, G. Jr., NADAI, A.C., VEGA, L.A. McCAAN, W.R. (1991).** Tectonic evolution of the San Francisco Ridge of the eastern Cibao Basin, northeastern 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, 301-313.

**VAN ANDEL, T.H. (1975).** Mesozoic/Cenozoic calcite compensation depth and the global distribution of calcareous sediments. Earth and Planetary Science Letters, 26, 187-194.