



SERVICIO GEOLÓGICO NACIONAL

REPÚBLICA DOMINICANA

**MAPA GEOLÓGICO  
DE LA REPÚBLICA DOMINICANA**

**ESCALA 1:50.000**

**CEVICOS**

**(6273-III)**

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

La presente Hoja y Memoria forman 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 Informes y Proyectos S.A. (INYPSA), formando parte del Consorcio IGME- BRGM-INYPSA, con normas, dirección y supervisión del Servicio Geológico Nacional.

Han participado los siguientes técnicos y especialistas:

#### CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA

- Dr. Manuel Abad de los Santos (INYPSA)

#### COORDINACIÓN Y REDACCIÓN DE LA MEMORIA

- Dr. Manuel Abad de los Santos (INYPSA)

#### SEDIMENTOLOGÍA Y LEVANTAMIENTO DE COLUMNAS

- Dr. Fernando Pérez Valera (INYPSA)
- Dr. Manuel Abad de Los Santos (INYPSA)
- Dr. Juan Carlos Braga - Fms Arrecifales del Neógeno y Cuaternario - (Universidad de Granada)

#### MICROPALEONTOLOGÍA

- Dr. Luís Granados (Geólogo Consultor)

#### PETROGRAFÍA DE ROCAS SEDIMENTARIAS

- Dra. Ana Alonso Zarza (Universidad Complutense de Madrid)
- M. J. Fernández (Universidad Complutense de Madrid)

#### PETROGRAFÍA Y GEOQUÍMICA DE ROCAS ÍGNEAS Y METAMÓRFICAS

- Dr. Javier Escuder Viruete (IGME)

#### GEOLOGÍA ESTRUCTURAL Y TECTÓNICA

- Dr. Manuel Abad de los Santos (INYPSA)

## GEOMORFOLOGÍA

- Ing. Joan Escuer Solé (INYPSA)

## MINERALES METÁLICOS Y NO METÁLICOS

- Ing. Eusebio Lopera Caballero (IGME)

## TELEDETECCIÓN

- Ing. Juan Carlos Gumiel (IGME)

## INTERPRETACIÓN DE LA GEOFÍSICA AEROTRANSPORTADA

- Dr. José Luís García Lobón (IGME)

## DATAACIONES ABSOLUTAS

- Dr. Janet Gabites (Earth & Ocean Sciences, Universidad de British Columbia)
- Dr. Richard Friedman (Earth & Ocean Sciences, Universidad de British Columbia)

## DIRECTOR DEL PROYECTO

- Ing. Eusebio Lopera Caballero (IGME)

## SUPERVISIÓN TÉCNICA POR PARTE DE LA UNIÓN EUROPEA

- Ing. Enrique Burkhalter. Director de la Unidad Técnica de Gestión (TYPESA) del proyecto 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 la mejora de calidad del mismo.

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

- Muestras y sus correspondientes preparaciones
- Fichas petrográficas y/o micropaleontológicas de cada una de las muestras
- Mapas de muestras
- Álbum de fotos
- Lugares de Interés Geológico

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

- Mapa Geomorfológico y de Procesos Activos susceptibles de constituir Riesgo Geológico del Cuadrante a escala 1:100.000 correspondiente, y Memoria adjunta
- Mapa de Recursos Minerales del Cuadrante a escala 1:100.000 correspondiente, y Memoria adjunta
- Geoquímica de Sedimentos Activos y Mineralometría del Proyecto L. Mapas a escala 1:150.000 y Memoria adjunta;

Y los siguientes Informes Complementarios

- Informe Estratigráfico y Sedimentológico del Proyecto
- Informe sobre las Formaciones Arrecifales del Neógeno y Cuaternario de la República Dominicana
- Informe de Petrología y Geoquímica de las Rocas Ígneas y Metamórficas del Proyecto: Cordillera Oriental
- Informe de Interpretación de la Geofísica Aerotransportada del Proyecto
- Informe de las dataciones absolutas realizadas por el método U/Pb
- Informe de las dataciones absolutas realizadas por el método Ar/Ar
- Informe/Catálogo de macroforaminíferos seleccionados

## RESUMEN

La Hoja a escala 1:50.000 de Cevicos (6273-III) se localiza en su mayor parte en el dominio geológico de la Cordillera Oriental. Sólo su sector septentrional se localiza dentro del valle del Cibao, ocupado en la actualidad por los materiales aluviales del Río Yuna.

Prácticamente dos de sus terceras partes están cubiertas por la plataforma carbonatada de Los Haitises, y unidades asociadas. Los Haitises se depositan sobre los materiales volcánicos y volcano-sedimentarios de arco isla primitivo de la Fm Los Ranchos (Cretácico Inferior), intruída por batolitos tonalíticos.

La plataforma plio-cuaternaria de Los Haitises es el resultado del depósito de una sucesión de materiales de origen costero y marino somero sobre el paleorrelieve que constituye la Cordillera Oriental. Las Fms Yanigua, Cevicos y Los Haitises representan el desarrollo de sistemas litorales restringidos, de baja energía (manglares, bahías y/o lagunas costeras), y plataformas carbonatadas con aportes terrígenos reducidos y barreras arrecifales en su zona más distal.

Durante el Pleistoceno la tectónica transpresiva eleva la plataforma de Los Haitises y se desarrolla un karst tropical maduro. A la vez, la actividad de la Zona de Falla Septentrional y de su sistema de fallas asociadas generó en esta zona el hundimiento de la Bahía de Samaná y el relleno de esta depresión. Los recubrimientos cuaternarios son importantes en la hoja y están bien representados en los valles del río Payabo, Cevicos y, sobre todo, del Yuna.

Los Haitises constituyen un conjunto tabular que se sitúa de forma discordante sobre el sustrato Cretácico dispuesto de forma monoclinial hacia el norte. Los sistemas de fracturas mejor representados son E-O y NO-SE. El sistema E-O representa un conjunto de fallas verticales de desgarre y sentido de movimiento senestral, con pequeña componente vertical. La familia NO-SE posee una componente principal de desgarre dextral, aunque también presenta otra componente vertical no despreciable que escalona la serie hacia el Norte.

## ABSTRACT

The 1:50.000 scale Cevicos Sheet (6273-III) covers mainly the geological domain of the Cordillera Oriental. Only the northern sector covers the Cibao valley, occupied at present by alluvial materials of the Yuna River.

Nearly two-thirds of the sheet are covered by the Los Haitises carbonate platform and associated units. Los Haitises are deposited overlying the volcanic and volcanosedimentary materials of the primitive island-arc of Los Ranchos Formation (lower Cretaceous), intruded by tonalitic batholiths.

The Plio-Quaternary Haitises platform is the result of the deposition of coastal and shallow marine sedimentary successions overlying the paleo-reliefs that constitute the Cordillera Oriental. The Yanigua, Cevicos and Los Haitises formations represent the development of restricted, low energy coastal systems, (swamps, bays and/or coastal lagoons) and carbonate platforms with a low supply of terrigenous sediment together with barrier reefs located in the distal areas.

Los Haitises platform emerges during the Pleistocene due to the transpressive tectonic activity and develops a mature tropical karst. At the same time, Septentrional Fault Zone activity and associated faults generate the subsidence of Samaná Bay and the infill of the basin. The Quaternary deposits are important in this sheet and are well represented in the Payabo and Cevicos valleys and specially in the Yuna valley.

Los Haitises constitute a tabular platform that unconformably overlies the Cretaceous basement that occurs as a northward oriented monocline. The best-developed fracture systems are E-W and NW-SE. The E-W system is represented by a set of sinistral (left lateral) strike-slip vertical faults with some vertical displacement. The NW-SE system is characterized by a predominant dextral (right lateral) strike-slip component, together with a certain degree of vertical movement.

## ÍNDICE

<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>1.1 Metodología</b> .....	<b>1</b>
<b>1.2. Situación geográfica</b> .....	<b>4</b>
<b>1.3. Marco Geológico</b> .....	<b>7</b>
<u>1.3.1. Geología de La Española</u> .....	<u>7</u>
<u>1.3.2. Macro unidades geológicas</u> .....	<u>8</u>
<u>1.3.3. La Cordillera Oriental</u> .....	<u>15</u>
<u>1.3.4. Macroestructura de La Española</u> .....	<u>16</u>
<u>1.3.5. Historia Geológica de La Española</u> .....	<u>17</u>
<b>1.4. Antecedentes</b> .....	<b>19</b>
<b>2. ESTRATIGRAFIA</b> .....	<b>23</b>
<b>2.1. Cretácico</b> .....	<b>23</b>
<u>2.1.1. Intrusivos en la Fm Los Ranchos</u> .....	<u>28</u>
2.1.1.1. Tonalitas (1). Cretácico inferior? $K_1$ .....	28
<b>2.2. Cretácico</b> .....	<b>29</b>
<u>2.2.1. La Unidad Los Haitises y sus equivalente laterales</u> .....	<u>32</u>
2.2.1.1. Formación Yanigua (2). Lutitas calcáreas con bivalvos y conglomerados. Mioceno superior-Plioceno inferior? $N_1^3-N_2^1$ .....	32
2.2.1.2. Formación Cevicos (3). Calizas margosas bioclásticas y margas. Mioceno superior-Plioceno inferior. $N_1^3-N_2^1$ .....	35
2.2.1.3. Unidad Los Haitises (4). Calizas bioclásticas, calizas arrecifales y calizas margosas. Plioceno inferior-Pleistoceno inferior. $N_2^1-Q_1$ .....	38
<b>2.3. Cuaternario</b> .....	<b>44</b>
<u>2.3.1. Depósitos continentales</u> .....	<u>44</u>

2.3.1.1. Rellenos de dolinas y poljes (5). Arcillas de descalcificación rojas. Pleistoceno-Holoceno. Q <sub>1-4</sub> . N <sub>1</sub> <sup>2-3</sup> .....	44
2.3.1.2. Abanicos aluviales y conos de deyección (6). Lutitas, arenas y gravas. Pleistoceno-Holoceno. Q <sub>1-4</sub> .....	45
2.3.1.3. Coluviones (7). Cantos, gravas, arenas y lutitas. Pleistoceno. Q <sub>1-3</sub> .....	46
2.3.1.4. Llanura de inundación abandonada (8). Lutitas y arenas muy finas. Pleistoceno. Q <sub>4</sub> .....	46
2.3.1.5. Áreas endorreicas (9). Limos ocre y negros. Holoceno. Q <sub>4</sub> .....	47
2.3.1.6. Fondos de valle (10). Arenas, limos y gravas. Holoceno. Q <sub>4</sub> .....	48
2.3.1.7. Llanuras de inundación (11). Lutitas y arenas finas, (a) meandros abandonados. Holoceno. Q <sub>4</sub> .....	48
2.3.1.8. Áreas pantanosas (12). Lutitas ricas en materia orgánica. Holoceno. Q <sub>4</sub> .....	49
<b>3. PETROLOGÍA Y GEOQUÍMICA DE UNIDADES ÍGNEAS .....</b>	<b>50</b>
<b>3.1 Introducción. ....</b>	<b>50</b>
<b>3.2. Petrología de la Formación Los Ranchos .....</b>	<b>50</b>
<u>3.2.1. Petrología de las tonalitas intrusivas en la Fm Los Ranchos .....</u>	<u>52</u>
<b>3.3. Geoquímica de la Fm Los Ranchos .....</b>	<b>53</b>
<u>3.3.1. Geoquímica de los intrusivos relacionados con la Formación Los Ranchos.....</u>	<u>54</u>
<b>4. TECTÓNICA.....</b>	<b>59</b>
<b>4.1 Introducción. ....</b>	<b>59</b>
<b>4.2. Contexto geodinámico y estructura general de la Cordillera Oriental .....</b>	<b>61</b>
<b>4.3. Estructura de la Hoja de Cevicos .....</b>	<b>65</b>
<b>4.4. Tectónica activa .....</b>	<b>67</b>
<b>5. GEOMORFOLOGÍA .....</b>	<b>69</b>
<b>5.1. Análisis geomorfológico .....</b>	<b>69</b>

---

5.1.1. Estudio morfoestructural.....	70
5.1.2. Estudio del modelado.....	71
5.1.2.1. Formas gravitacionales.....	71
5.1.2.2. Formas fluviales y de escorrentía superficial.....	72
5.1.2.3. Formas lacustres y endorrecias.....	72
5.1.2.4. Formas poligénicas.....	72
5.1.2.5. Formas originadas por meteorización química.....	73
<b>5.2. Evolución e historia geomorfológica.....</b>	<b>74</b>
<b>6. HISTORIA GEOLÓGICA.....</b>	<b>76</b>
<b>7. GEOLOGÍA ECONÓMICA.....</b>	<b>81</b>
<b>7.1. Hidrogeología.....</b>	<b>81</b>
7.1.1. Hidrología y climatología.....	81
7.1.2. Hidrogeología.....	85
<b>7.2. Recursos minerales.....</b>	<b>88</b>
7.2.1. Descripción de las sustancias.....	88
7.2.2. Potencial minero.....	88
<b>8. LUGARES DE INTERÉS GEOLÓGICO.....</b>	<b>90</b>
<b>8.1. Introducción.....</b>	<b>90</b>
<b>8.2. Relación de los L.I.G.....</b>	<b>90</b>
<b>8.3. Descripción de los Lugares.....</b>	<b>91</b>
8.3.1. L.I.G. N° 1. El relieve kárstico tropical y arquitectura de facies de Los Haitises..	91
8.3.2. L.I.G. N° 2. Los Manatales de Los Haitises.....	93
8.3.3. L.I.G. N° 3. La llanura de inundación del Yuna.....	93
<b>9. BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>94</b>

## 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. (INYPESA), 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 práctica totalidad 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 (Figura 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)

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)

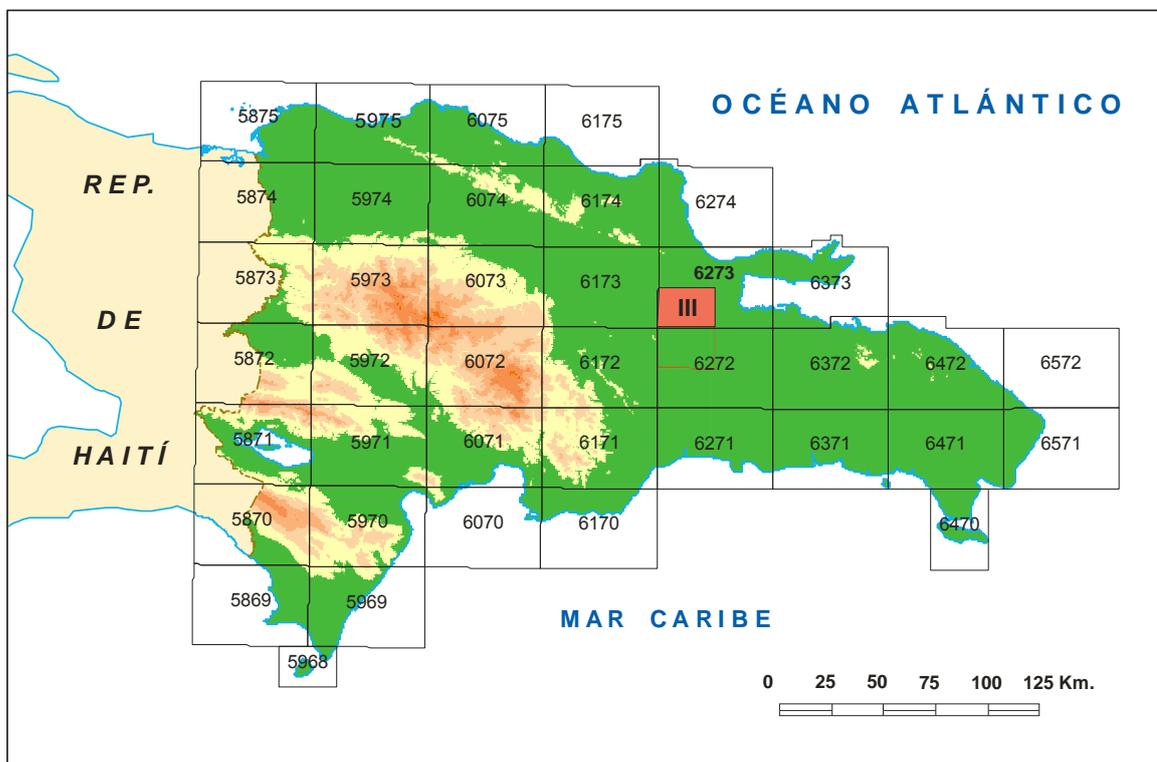


Figura 1.1. Distribución de Hojas a escala 1:50.000 de la República Dominicana y situación de la Hoja de Cevicos (6273-III)

Zona Sur:

- Sabana Buey (Sabana Buey, 6070-I)
- Baní (Nizao, 6071-I; y Baní, 6071-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 son frecuentes las referencias a otras Hojas, en especial a las contiguas.

Durante la realización de la Hoja a escala 1:50.000 de Cevicos 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 subaflorantes, ha sido de gran utilidad el mapa de gradiente vertical de la República Dominicana.

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 (Sánchez, 6273).

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).

## 1.2. Situación geográfica

La hoja a escala de 1:50.000 de Cevicos (6273-III) se localiza al noreste de la República Dominicana, muy cerca de la bahía de Samaná. Desde un punto de vista geográfico la Hoja está situada en las estribaciones noroccidentales de la Cordillera Oriental. Su principal rasgo fisiográfico es, con mucho, la intensa karstificación que afecta a las calizas de la región, conocida como Los Haitises, y que ha dado lugar a un espectacular karst tropical maduro reconocido como Reserva Forestal desde el año 1968 y Parque Nacional desde 1976.

La Hoja de Cevicos se encuentra a unos 70 Km en línea recta de la capital, Santo Domingo, y unos 105 Km por carretera por el itinerario más corto posible (Figura 1.1). La vía de acceso más cómoda y rápida en vehículo es la nueva autopista de peaje Santo Domingo-Samaná, en general en muy buen estado. La construcción de esta vía de comunicación ha permitido el acceso a nuevos cortes de buena calidad que han supuesto aportaciones muy importantes para el conocimiento geológico de la zona y, en especial, de la Unidad de Los Haitises. Otra forma diferente de alcanzar la hoja desde la capital, menos aconsejable, es mediante la carretera nacional N°23, que parte de la capital hacia el noreste y atraviesa diversos pueblos, alcanzando la ciudad de Monte Plata muy cerca ya del límite meridional de la Hoja. Una última travesía posible, mucho más larga, es mediante la Autopista Juan Pablo Duarte, tomando la desviación hacia el oeste en dirección Cotui hasta Cevicos, por la carretera nacional N°17, una vez que se ha alcanzado el pueblo de Piedra Blanca, a unos 60 km de la capital.

Desde un punto de vista administrativo, dentro de la hoja se encuentran los límites entre las provincias nacionales de Duarte, Sánchez Ramírez, Monte Plata y Samaná. La provincia que ocupa una mayor extensión en la Hoja es Duarte, que alberga gran parte del valle del Río Yuna, cerca de su desembocadura en el Océano Atlántico ya en la provincia de Samaná.

Al margen de los numerosos pequeños poblados rurales -o bateys- que se encuentran diseminados por el sur de la Hoja, la población más importante es Cevicos, en el oeste de la Hoja, incluida dentro de la provincia de Sánchez Ramírez. La ocupación del territorio es muchísimo más alta en la llanura del Yuna, en el norte, de geografía menos accidentada. Esto es consecuencia de la intensa explotación de los arrozales y otros cultivos en esta zona, concentrándose la población en aldeas y casas distribuidas a lo largo del cauce principal de este río. Destacan por su tamaño en la zona los pueblos de La Reforma, al este, y de La Reventación, hacia el oeste.

A excepción de la autovía que atraviesa la hoja longitudinalmente, la red de comunicaciones es bastante precaria, basándose en un pequeño número de carreteras y pistas en mal estado, distribuidas heterogéneamente por los sectores meridional y septentrional. La mayor parte de la Hoja, en concreto donde aflora la Und Los Haitises, aparece como una región impenetrable debido a lo irregular del terreno y la densa vegetación que cubre estas zonas. Estos materiales sólo son observables mediante el acceso por algunas sendas o remontando el lecho de pequeños arroyos y barrancos. No existe acceso alguno a los relieves más importantes situados en el centro de la Hoja.

La mayoría de las pistas y caminos existentes son accesibles en vehículos con tracción a las cuatro ruedas y llegan a las diferentes aldeas y pueblos del Suroeste de la hoja, algo más desarrollada. Una vez que se alcanza el pueblo de Cevicos, la calidad de la carretera mejora un poco, especialmente en torno a esta población. En la llanura del Yuna, al margen de la ya mencionada autovía que la atraviesa de norte a sur, los caminos que recorren paralelamente el cauce del Río son fácilmente transitables excepto en épocas de precipitaciones, en los que aparecen inundados y parcialmente destruidos. El sector noroccidental de la Hoja sólo puede alcanzarse desde las hojas vecinas de Villa Arriba y Cotui debido a la ausencia de puentes o a la destrucción de los que existían durante los últimos huracanes y tormentas que han afectado la región.

Desde un punto de vista fisográfico la hoja es muy heterogénea y posee una distribución de relieves muy contrastada (Figura 1.2). Se encuentra delimitada hacia el norte por el valle del Cibao, en el que los ríos Yuna y Camú trazan cursos meandriformes encajados en materiales de edad cuaternaria, definiendo zonas de topografía suave y desniveles inferiores a 10-15 m. En el sector central y sureste predomina el típico relieve kárstico, que caracteriza el territorio formado por las calizas de Los Haitises y que cubre la mayor parte de la superficie de la hoja. El sur y suroeste de la hoja está definido por un paisaje alomado e irregular, con escaso relieve pero igualmente karstificado, que se desarrolla sobre los materiales de litologías algo más blandas de las formaciones Yanigua y Cevicos.

La región de Los Haitises constituye un dominio muy peculiar, a modo de superficie estructural modificada por una intensísima acción de los procesos de karstificación tropical. Sus máximas cotas, que pueden llegar a 400 m, coinciden con los restos de la superficie, 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*). En el seno de la superficie, con una altitud media de unos 150 metros “emerge” un reducido número de elevaciones que se concentran en manchas con cotas que oscilan

entre 200 y 300 m. Las mayores elevaciones se localizan en el extremo sureste de la hoja, en el paraje conocido como La Tala de Sánchez, donde varios picos sobrepasan los 300 m.

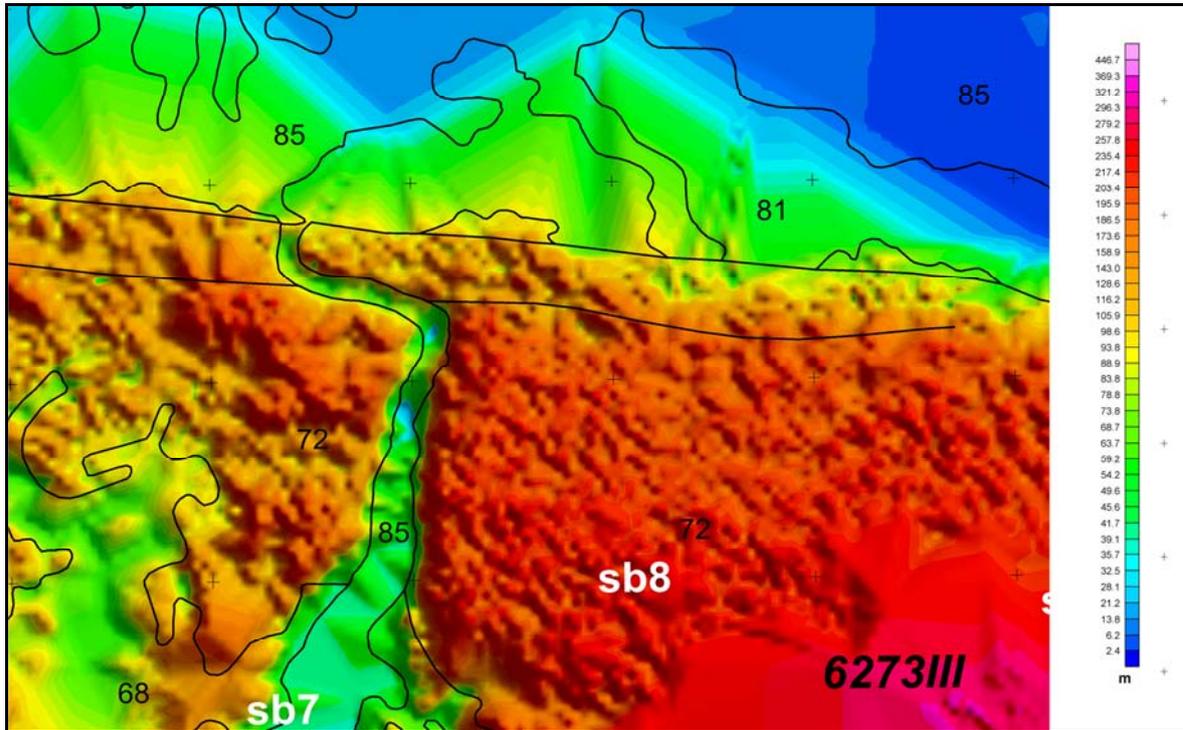


Figura 1.2. Modelo digital del terreno de la Hoja de Cevicos (6273-III). Los colores de tonalidades rojizas y rosáceas indican los relieves más altos, mientras que los verdes y azules muestran zonas de topografías más planas y suavizadas.

El Río Yuna constituye el drenaje principal de la región. Se trata de un río muy caudaloso que atraviesa una extensa llanura de inundación con una dirección aproximada este-oeste, alimentado por numerosos afluentes que provienen tanto de la Cordillera Septentrional, desde el norte, como por los numerosos manatales que nacen en la plataforma de Los Haitises, al Sur. En el resto de la hoja la red de drenaje está integrada por un reducido número de ríos y arroyos de carácter permanente, debido a la elevada pluviometría de la región. Todos ellos se concentran en su sector meridional, ya que el entramado kárstico de los Haitises impide un funcionamiento normal de la escorrentía superficial. Una única excepción la constituyen los ríos Payabo y Cevicos, que atraviesan longitudinalmente la hoja con un trazado muy rectilíneo, encajado en los materiales de la plataforma de Los Haitises, llegando incluso a infiltrarse en el terreno kárstico y desaparecer por completo antes de confluir con el río Yuna.

La economía de la comarca esta basada fundamentalmente en la agricultura. En las zonas con topografía suave de la Cuenca del Bajo Yuna está basada exclusivamente en el cultivo del arroz. Estas zonas pantanosas fueron drenadas progresivamente en los años 70 y

constituyen actualmente uno de las principales regiones productoras de arroz de toda la República Dominicana. La región de los Haitises, como consecuencia de las dificultades de acceso y su complicado relieve, constituye terrenos prácticamente deshabitados y de muy difícil labranza, donde sólo en casos excepcionales pueden encontrarse una modesta actividad de pastoreo o cultivos de tipo domestico y de muy pequeña extensión. Por último, en el suroeste de la hoja, en los alrededores de la localidad de Cevicos, de menor relieve, predomina la ganadería bovina y, en los últimos años, el cultivo de piña y cítricos sobre los materiales aluviales y los depósitos de alteración de las formaciones carbonatadas mio-pliocenas.

El clima tropical es cálido y muy húmedo, con un corto período seco de Febrero a Abril y abundantes precipitaciones en Mayo y Noviembre. La precipitación media anual es superior a 2000 mm, con temperaturas comprendidas entre 24 y 28° C. Este clima es responsable de una vegetación particularmente exuberante y de la importante alteración arcillosa del sustrato rocoso calizo.

### **1.3. Marco geológico**

#### **1.3.1. Geología de La Española**

La República Dominicana ocupa aproximadamente los dos tercios más orientales de la Isla La Española, cuya superficie total es de unos 80.000 km<sup>2</sup>, lo que la convierte en la segunda isla más extensa de las Antillas Mayores. Desde el punto de vista fisiográfico la isla está constituida por cuatro alineaciones montañosas principales que, de norte a sur y según la toponimia dominicana, son la Cordillera Septentrional, la Cordillera Central, la Sierra de Neiba y la Sierra de Bahoruco, separadas por tres grandes valles según el mismo orden, el Valle del Cibao, el Valle de San Juan y el Valle de Enriquillo. La orografía de la isla es muy accidentada, e incluye las mayores altitudes de las Antillas Mayores (picos Duarte y la Pelona, con 3087 m). Esta circunstancia revela una activa tectónica reciente puesta también de manifiesto por la elevación topográfica de numerosas áreas, fallas activas y una importante actividad sísmica, como los importantes terremotos registrados en los años 1751, 1770, 1842, 1887, 1911, 1946, 1948 y 1953.

Desde el punto de vista geodinámico, la Isla Española se encuentra situada en la parte septentrional de la Placa del Caribe y conjuntamente con Puerto Rico, constituyen una unidad que puede interpretarse como una microplaca incipiente (Figura 1.3), limitada al Norte por una zona de subducción/colisión oblicua (Fosa de Puerto Rico) y al Sur por una

zona de subducción embrionaria (Fosa de los Muertos). El margen Norte del Caribe ha evolucionado notablemente desde el Cretácico hasta hoy. Previamente al Eoceno Inferior, el límite Norte del Caribe fue fundamentalmente de subducción (convergente con la Placa de Norteamérica), como lo evidencia la presencia del arco magmático del Cretácico Superior-Eoceno Inferior. La colisión de este arco magmático con la Plataforma de las Bahamas (margen continental meridional de Norte América), da lugar a la transición de un régimen dominado por la subducción a uno con desplazamientos en dirección, que ha continuado a lo largo del Neógeno (Dolan y Mann, 1998). Desde entonces, este límite de placas tiene un carácter transpresivo senestro. Las reconstrucciones de placas propuestas para la región septentrional del Caribe, indican que la plataforma de las Bahamas se ha movido relativamente hacia el oeste respecto a la del Caribe en los últimos 20 Ma y que los efectos colisiones se han intensificado en la Española en los últimos 5 Ma (Mann *et al.*, 2002; Pindell y Kennan, 2006; Pindell y Kennan., 2009).

Situados en la Cordillera Septentrional de la Española y a lo largo del borde sur de la Fosa de Puerto Rico, los afloramientos de rocas metamórficas de alta P constituyen evidencias de la antigua zona de subducción exhumada, levantamiento que aún continúa en la actualidad. Como indican la distribución de mecanismos focales, medidas de los desplazamientos de la Placa del Caribe mediante GPS (Figura 1.4) y número de terrazas marinas emergidas, la isla de La Española constituye una zona de tectónica activa, importantes terremotos históricos y levantamiento tectónico, debido a que el borde septentrional de la placa Caribeña está actualmente sometida a un régimen de convergencia oblicua (Calais *et al.*, 1992, 1998, 2002; Mann *et al.*, 1998; DeMets *et al.*, 2000; Jansma *et al.*, 2000; Bilich *et al.*, 2001; y Prentice *et al.*, 2002).

### 1.3.2. Macro unidades geológicas

Localizada en el borde norte de la placa Caribeña, la geología de La Española resulta de la convergencia oblicua del margen continental de la placa de Norteamérica con el sistema de arco-isla Cretácico caribeño, la cual ocurrió fundamentalmente en el periodo en el Eoceno-Mioceno Inferior y continúa en la actualidad (Donnelly *et al.*, 1990; Mann *et al.*, 1991, 1995, 2008). La geotectónica activa ha dado lugar a una fisiografía caracterizada por una alternancia de sierras montañosas y valles, que pueden ser agrupadas en diez zonas fisiográficas o morfogenéticas (Figura 1.5). Cada una de estas zonas presenta características geológicas que la distinguen de sus zonas contiguas y en general, sus límites coinciden con alineaciones morfoestructurales bien definidas.

Por otra parte, basándose en su diferente historia geológica, la Española ha sido dividida en varias unidades tectonoestratigráficas (denominadas terrenos en sentido amplio), que han sido yuxtapuestas tectónicamente por zonas de desgarre de dirección ONO-ESE y edad post-Eoceno Superior/Oligoceno (Mann *et al.*, 1991). Estas zonas de falla son: Septentrional (ZFS), La Española (ZFLE), Bonao-La Guácara (ZFBG), San Juan-Restauración (ZFSJR) y Enriquillo-Plantain Garden (ZFEPG) (Figura 1.6). Las rocas de estos terrenos están regionalmente cubiertas por rocas sedimentarias siliciclásticas y carbonatadas de edad Eoceno Superior a Plioceno, que postdatan la actividad del arco-isla y registran las deformaciones relacionadas con la colisión oblicua arco-continente y, más recientemente, con la subducción activa el margen meridional de la isla (Bourgeois *et al.*, 1983; Mann *et al.*, 1991, 1995; Calais *et al.*, 1995; Dolan *et al.*, 1998; Mann, 1999; Hernáiz Huerta y Pérez Estaún, 2002).

Los estudios realizados en la República Dominicana, en buena parte enmarcados dentro del Programa SYSMIN, han permitido distinguir de Norte a Sur las siguientes unidades o dominios geológicos (Figuras. 1.4, 1.5 y 1.6):

(1) La Cordillera Septentrional, que representa un prisma de acreción (o complejo de zona de subducción) exhumado durante la colisión del arco de islas con el continente de Norte América, que incluye: a) los complejos de basamento formados por rocas de alta presión y que asocian, o a los que se asocian, olistostromas y mêtanges de matriz serpentínica que igualmente incorporan rocas de alta presión (complejos de Puerto Plata, Río San Juan y Samaná); b) pequeños complejos de basamento formados por fragmentos del arco de isla colisionado (El Cacheal, El Paradero y Pedro García); y c) la cuenca turbidítica de antearco/antepaís suprayacente, rellena con las unidades siliciclásticas del Eoceno Inferior-Oligoceno.

Además, hay que considerar las formaciones eminentemente carbonatadas del Mioceno Superior-Plioceno (Fm Los Haitises y equivalentes) y resto de formaciones cuaternarias que reposan discordante sobre todo el dispositivo anterior (Donnelly y Rogers 1980; Draper y Nagle 1991; Joyce 1991; Pindell y Draper, 1991; Draper *et al.*, 1997; De Zoeten y Mann, 1999; Mann, 1999; Gonçalves *et al.* 2000; Escuder-Viruete y Pérez-Estaún, 2006; Pérez Varela y Abad, 2008).

(2) La Cordillera Oriental, donde aflora el arco isla primitivo del Cretácico Inferior (al igual que en determinados puntos a lo largo del borde septentrional de la Cordillera Central), que



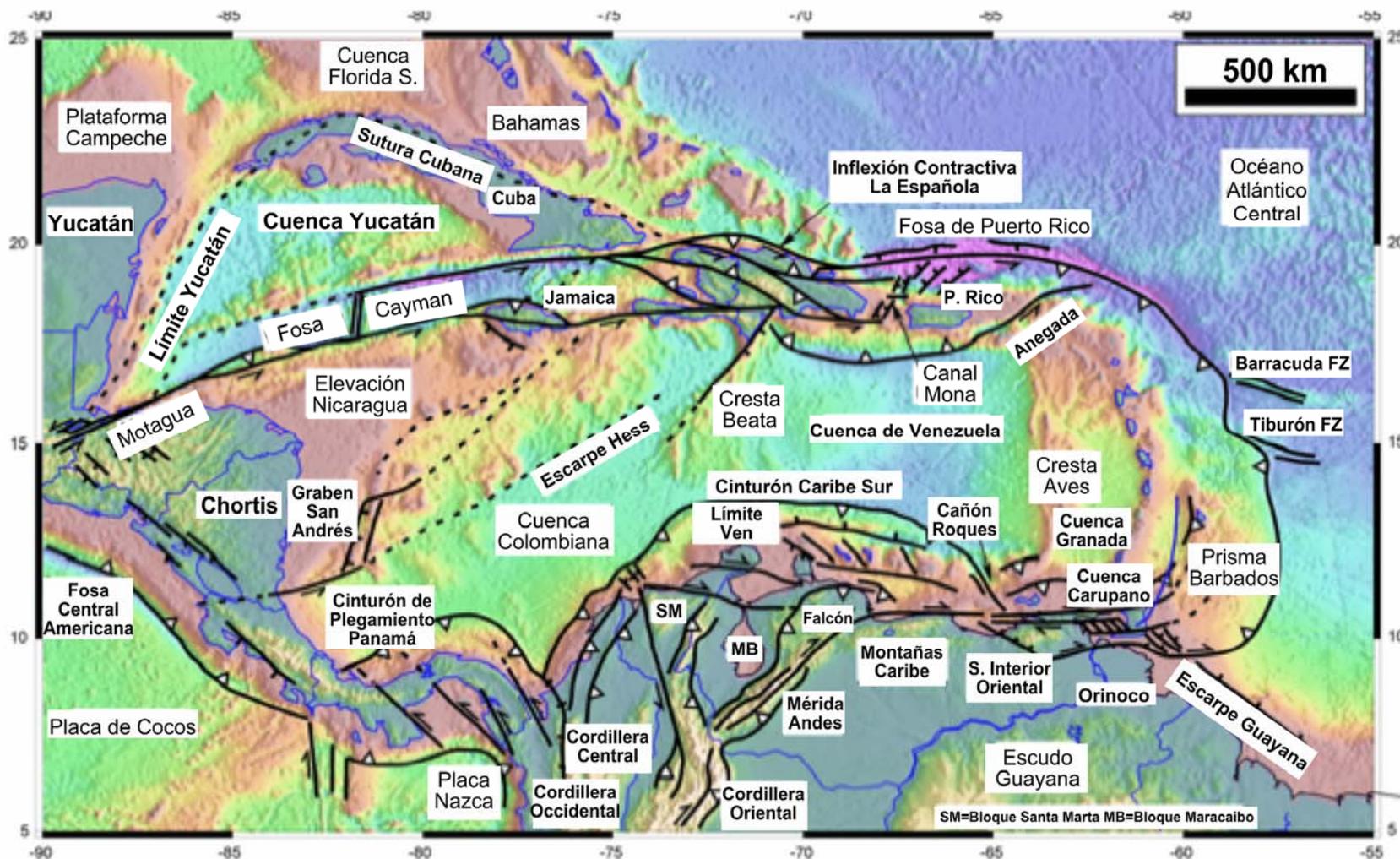


Figura 1.3. Mapa de la placa Caribeña mostrando la situación de la isla de La Española en su borde septentrional. En la figura se muestran también los límites estructurales de la placa Caribeña con otras placas y los principales elementos tectónicos.

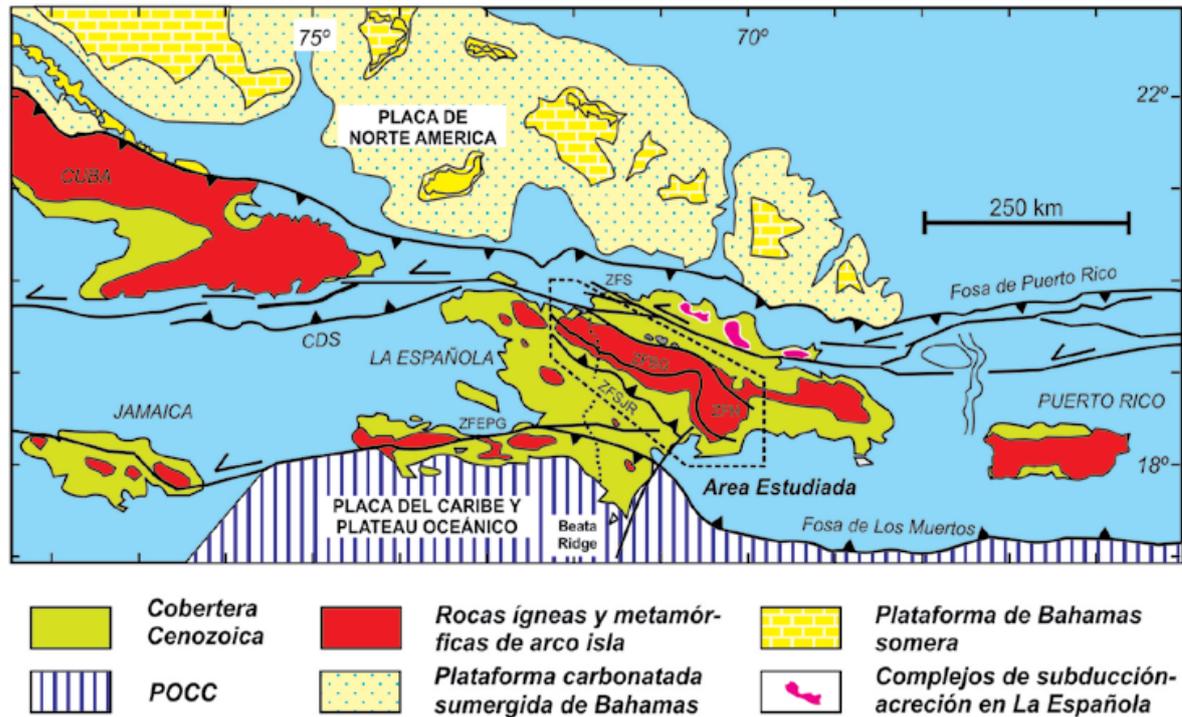


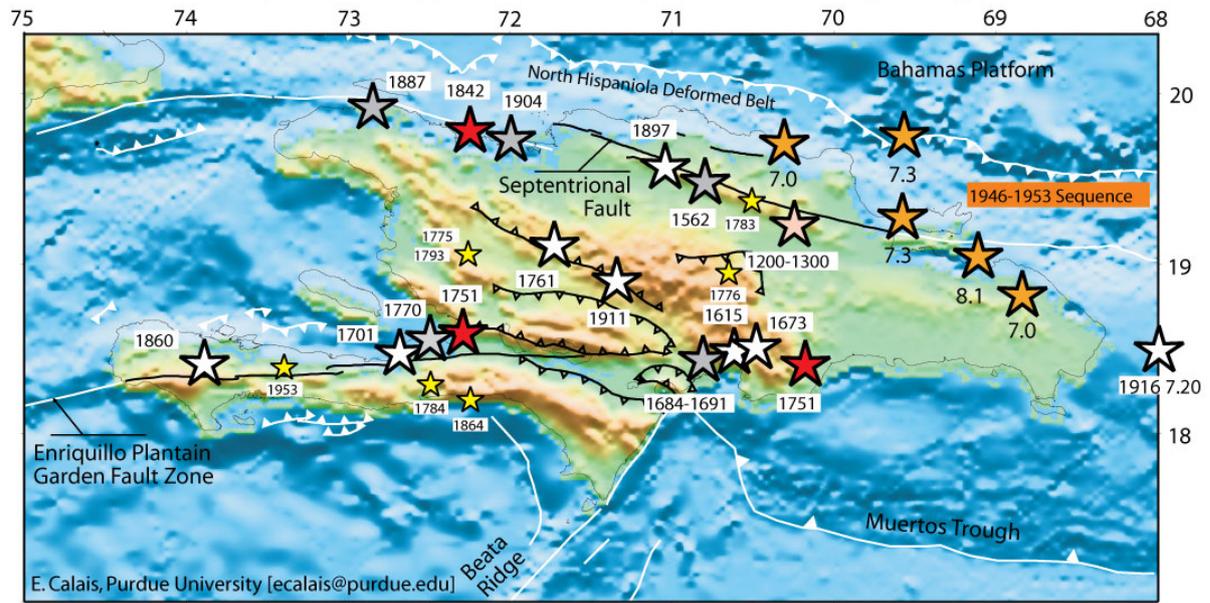
Figura 1.3 (cont). Mapa del margen septentrional de la placa Caribeña (mod. de Lewis y Draper, 1990; Mann *et al.*, 1991). La Española ha sido dividida en varios terrenos tectonoestratigráficos en base a su diferente historia geológica, yuxtapuestos tectónicamente por zonas de desgarre de dirección ONO-ESE y edad post-Eoceno/Oligoceno (Mann *et al.*, 1991). Estas zonas de falla son: Septentrional (ZFS), La Española (ZFLE), La Guácara-Bonao (ZFBG), San Juan-Restauración (ZFSJR) y Enriquillo-Plantain Garden (ZFEPG).

incluye las rocas volcánicas y volcanoclásticas de la Fm Los Ranchos y los Esquistos de Maimón y Amina, los cuales resultan ser petrológica y geoquímicamente equivalentes (Bowin, 1975; Draper y Lewis, 1991; Kesler *et al.*, 1990, 2005; Lebron y Perfit, 1994; Lewis *et al.*, 1995, 2000, 2002; Joubert *et al.*, 2004; Escuder-Viruete *et al.*, 2004, 2006). El Complejo Río Verde situado estructuralmente al SO representa el arco fallado o la cuenca de trasarco adyacente al frente volcánico (Escuder-Viruete *et al.*, 2009). En la Cordillera Oriental, la Fm Los Ranchos está estratigráficamente recubierta por la potente secuencia sedimentaria siliciclástica de la Fm Las Guayabas. Esta unidad está formada por areniscas con abundantes terrígenos derivados de la erosión de un arco isla, por lo que se interpreta constituyen el relleno de la cuenca delantera del Arco Isla Caribeño del Cretácico Superior (García Senz *et al.*, 2004).

(3) El cinturón de peridotitas serpentinizadas, denominado Peridotitas de Loma Caribe (Lewis *et al.*, 1999, 2006; Draper *et al.*, 1996), y las unidades volcano-plutónicas oceánicas relacionadas (Escuder-Viruete *et al.*, 2006, 2008). El cinturón de Peridotitas de Loma Caribe aflora asociado a la Zona de Falla de La Española (Figuras 1.5 y 1.6), que es una de las estructuras más importantes de toda la isla.

## Historical seismicity in Hispaniola (before 1960)

(locations approximate except 1946-1953 sequence)



- ★ Major earthquakes
- ★ Other EQ
- ★ Paleo-earthquakes
- ★ Large EQ, city destroyed
- ★ 1946 sequence
- ★ Moderate EQ (NOAA DB)

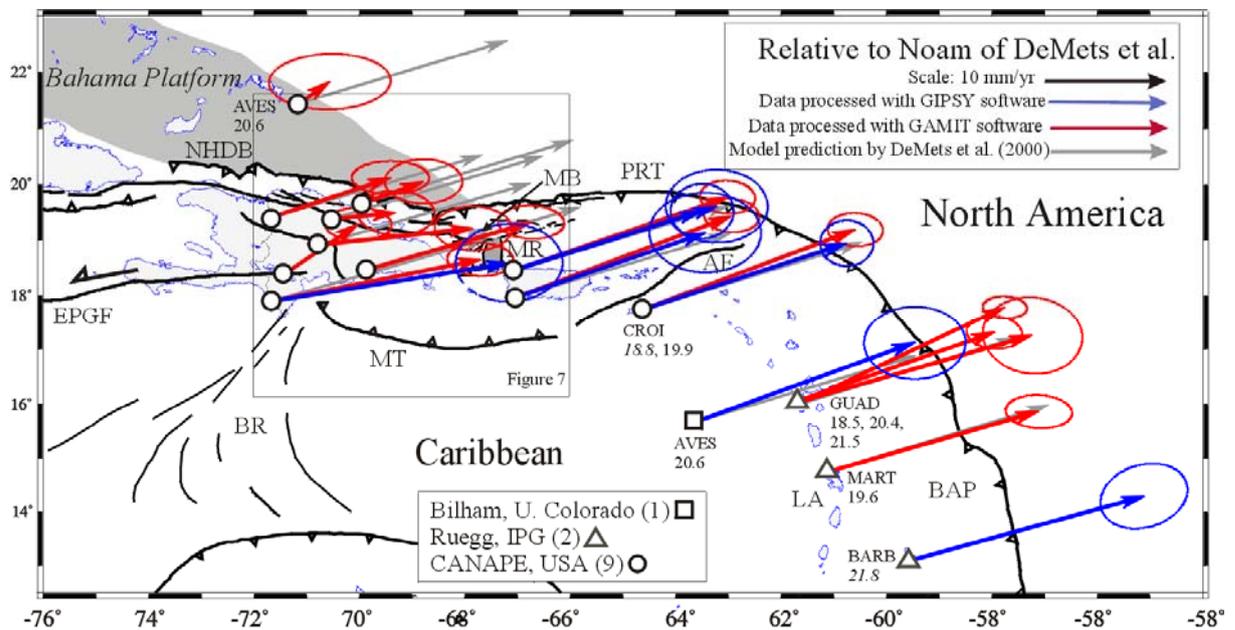


Figura 1.4. (Arriba) Mapa de situación de los principales terremotos históricos en el sector septentrional de la Placa del Caribe y su relación con las estructuras que marcan límites de placas (Dolan y Wald, 1998); (abajo) Movimiento relativo de la Placa Caribeña hacia el ENE deducidos en base a medidas GPS y modelos dinámicos globales (de Mets *et al.*, 2000; Mann *et al.*, 2002). La situación de La Española en un relieve contractivo senestro origina la actividad neotectónica y creación de relieve.

Se trata de una falla de desgarre que, hasta el cese de su funcionamiento aproximadamente a comienzos del Mioceno, resolvió un gran desplazamiento lateral, aproximando y yuxtaponiendo, al menos, los distintos fragmentos litosféricos actualmente representados en las Cordilleras Central y Oriental (Hernaiz Huerta, 2006; Hernaiz Huerta *et al.*, 2008).

(4) Ocupando principalmente la vertiente septentrional de la Cordillera Central, se reconoce un complejo metamórfico de edad Jurásico Superior-Cretácico Inferior, compuesto por la asociación volcano-plutónica de Loma La Monja (Escuder-Viruete *et al.*, 2008) y el Complejo Duarte (Palmer, 1979), que se interpreta como derivado de una meseta oceánica (Draper y Lewis, 1991; Lewis y Jiménez, 1991; Montgomery *et al.*, 1994) edificada sobre un sustrato oceánico de basaltos, sedimentos pelágicos y radiolaritas de procedencia Pacífica (Montgomery *et al.*, 1994). El Complejo Duarte incluye picritas olivínicas y basaltos ricos en Mg geoquímica e isotópicamente similares a los magmas generados por una pluma mantélica (Lapierre *et al.*, 1997, 1999, 2000; Escuder-Viruete *et al.*, 2005, 2007).

(5) La amplia franja axial de la Cordillera Central es la principal zona de aforamiento de la secuencia de arco magmático del Cretácico Superior, representada principalmente por el Grupo Tireo; está intruida por los batolitos gabro-tonalíticos de Loma de Cabrera, Loma del Tambor, El Bao, Jumunuco, El Río y Arroyo Caña, incluyendo complejos ultramáficos y plutones de leucotonalitas foliadas (Lewis *et al.*, 1991, 2002; Contreras *et al.*, 2004; Escuder-Viruete *et al.*, 2004; Joubert *et al.*, 2004; Stein *et al.*, 2004). Sobre estos materiales tuvo lugar la extrusión de la potente Fm Basaltos de Pelona-Pico Duarte, que corresponde a un magmatismo intraplaca relacionado con los eventos más tardíos de construcción del Plateau Oceánico Caribeño en el Campaniense-Maastrichtiense (Escuder-Viruete *et al.*, 2009).

(6) El cinturón de pliegues y cabalgamientos de Trois Rivières-Peralta ocupa fundamentalmente la vertiente sur de la Cordillera Central y en él afloran las formaciones sedimentarias del Eoceno Inferior/Medio-Oligoceno (¿y Mioceno Inferior?) que se depositaron por detrás del arco isla (cuenca trasera de arco) contemporáneamente a la colisión entre éste y el continente Norteamericano y deformaron como consecuencia de ésta (Heubeck *et al.*, 1988; Dolan *et al.*, 1991; Hernáiz Huerta y Pérez-Estaún, 2000; Pérez Varela y Abad, 2008). La cuenca de San Juan-Azua (y parcialmente, los territorios situados al sur de éstas, incluida la cuenca de Enriquillo), están rellenas por materiales del Neógeno-Cuaternario y tiene el carácter de cuenca de antepaís respecto al citado cinturón de Trois Rivières-Peralta (Mann *et al.*, 1991, 1999; Díaz de Neira y Solé Pont, 2002)



Figura 1.5. Principales unidades morfoestructónicas de La Española según Lewis y Draper (1991).



Figura 1.6. Mapa de los terrenos tectonoestratigráficos de La Española según Mann *et al.* (1991): (1) Samaná; (2) Puerto Plata-Pedro García-Río San Juan; (3) Altamira; (4) Seibo; (5) Oro; (6) Tortue-Maimón-Amina; (7) Loma Caribe-Tavera; (8) Duarte; (9) Tireo; (10) Trois Rivières-Peralta (11) Presq'île du Nord-Ouest-Neiba; y (12) Hotte-Selle-Bahoruco. Zonas de Falla: ZFRG, Río Grande; ZFS, Septentrional; ZFBG, Bonao-La Guácara; ZFH, Hatillo; ZFLE, La Española; ZFEPG, Enriquillo Plantain Garden; ZFSJR, San José- Restauración; ZFLPSJ, Los Pozos-San Juan.

(7) En la posición más meridional del país, las sierras de Neiba, Martín García y Bahoruco, están constituidas por materiales de naturaleza eminentemente calcárea de edad Eoceno-Mioceno. Su levantamiento muy reciente, a partir del Plioceno Inferior-Medio, está relacionado con el emplazamiento en superficie de un fragmento del plateau oceánico del Caribe aflorante en el núcleo de la sierra de Bahoruco (y sus equivalentes en territorio

haitiano, sierras de Hotte y Selle; Maurasse *et al.*, 1979; Sen *et al.*, 1988; Girard *et al.*, 1982) así como también, posiblemente, en el núcleo de la Sierra de Neiba (Hernaiz Huerta, 2004). Se denomina plateau oceánico del Caribe a un episodio de basaltos masivos oceánicos de edad Cretácico Superior que se ha identificado en sondeos y perfiles sísmicos en el sustrato de buena parte del mar Caribe y de la dorsal de Beata (Kerr *et al.*, 2002).

### 1.3.3. La Cordillera Oriental

El dominio de la Cordillera Oriental constituye el bloque más extenso de rocas cretácicas de la aglomeración de terrenos que componen La Española (Mann *et al.*, 1991). La mayor parte de la Cordillera Oriental la forman varios kilómetros de rocas generadas en el Cretácico por acumulación de magma y sedimentos sobre la zona de subducción, en un arco de islas volcánico (Bowin, 1975). Estas rocas incluyen lavas y rocas volcanoclásticas cubiertas por calizas de edad Cretácico inferior, epiclostitas y otras rocas sedimentarias de edad Cretácico superior y granitoides intrusivos (batolitos de Zambrana, El Valle y Sabana Grande de Boyá).

Su límite occidental es el cabalgamiento NO-SE de Hatillo que separa las rocas poco deformadas de la Cordillera Oriental de la banda de rocas de edad equivalente del Cinturón Intermedio (Bowin, 1966). El límite norte rectilíneo son las fallas E-O de la Bahía de Samaná, que delimitan el contacto con la cuenca del Cibao, donde se ha acumulado un espesor considerable de sedimentos neógenos. Hacia el Sur y hacia el este, la Cordillera Oriental termina enterrada bajo la plataforma de carbonatos plio-cuaternaria de la Llanura Costera del Caribe. Hacia el oeste es cubierta por las calizas y margas de Los Haitises y otras formaciones terciarias.

La plataforma carbonatada plio-cuaternaria de Los Haitises es el resultado del desarrollo de importantes sistemas arrecifales y plataformas carbonatadas en torno a una incipiente Cordillera Oriental configurada a modo de isleos a finales del Terciario. Sus depósitos se disponen discordantemente sobre los materiales Cretácico-paleógenos, y están constituidos por las margas con intercalaciones calcáreas de las Fms Yanigua y Cevicos, a las que se superponen las calizas de la Unidad Los Haitises en la región del mismo nombre.

Dentro de la presente hoja los materiales representados y que se describen a continuación corresponden casi exclusivamente a los dominios de la Cordillera Oriental y, especialmente, a la plataforma de Los Haitises. Los materiales ígneos intrusivos de la Fm Los Ranchos afloran sólo en el margen sur de la Hoja y con una extensión muy limitada, dando lugar a

relieves de formas alomadas, muy sensibles a la meteorización. La cobertura tabular de las margo-calizas de los Haitises (y equivalentes) ocupa el cinturón central y meridional de depósitos de la hoja.

En el entorno de la hoja los sedimentos cuaternarios aparecen muy extendidos, destacando entre ellos los depósitos kársticos de la región de Los Haitises, los de origen fluvial asociado a la Llanura del río Yuna y los abanicos aluviales procedentes de los relieves de la Cordillera Septentrional, al noroeste, y de la Sierra de Yamasá, al suroeste. La fracturación NO-SE tiene una gran influencia en el modelado de los relieves y en el trazado de la red hidrográfica.

#### 1.3.4. Macroestructura de La Española

Los resultados obtenidos en los Proyectos del Programa SYSMIN han supuesto un nuevo e importante avance en el conocimiento de la geología estructural de la República Dominicana. Desde un punto de vista tectónico, la estructura de la Isla de La Española resulta de la convergencia oblicua a la colisión final del sistema de arco-isla Caribeño Cretácico y la placa de Norte América, que tuvo lugar desde el Eoceno Medio-Superior (Bowin, 1975; Donnelly *et al.*, 1990; Mann *et al.*, 1991, 1995, 1999; Draper *et al.*, 1994; Escuder-Virue y Pérez-Estaún, 2006).

La macroestructura de La Española resultante consiste en un conjunto de unidades tectónicas de unos 250 kilómetros de anchura, constituido por rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias de edad Jurásico Superior-Cretácico Inferior a Eoceno, que se formaron y acrecieron en un arco-isla intraoceánico hasta la colisión arco-continente (Figura 1.6). Estas rocas están regionalmente cubiertas por una cobertera de rocas sedimentarias siliciclásticas y carbonatadas de edad Eoceno/Oligoceno-Actualidad, que postdatan la actividad del arco isla y registran principalmente el período de movimiento transcurrente senestro entre las placas de Norteamérica y Caribeña (Mann, 1999; Mann *et al.*, 1991, 2002; Calais *et al.*, 1995; Dolan *et al.*, 1998).

Las estructuras formadas a lo largo de la historia cenozoica de La Española son típicamente transpresionales, como zonas de falla transcurrentes de gran escala y subparalelas a la zona de colisión, que acomodan grandes desplazamientos laterales entre “terrenos”; abanicos de fallas de alto ángulo que forman estructuras “en flor” positivas (sierras elevadas) y negativas (cuencas); sistemas de pliegues dispuestos “en-échelon”, fallas con relevos locales compresionales y extensionales, etc.

### 1.3.5. Historia Geológica de La Española

La historia geológica simplificada que registran las muy variadas rocas que constituyen la isla de La Española puede sintetizarse en los siguientes eventos:

- Jurásico Medio-Superior. Edad de formación de las rocas oceánicas más antiguas del Caribe, siendo tanto de procedencia Pacífica como resultado de la formación del océano del proto-Caribe debido a la separación entre las placas de Norte y Sur América (Mann *et al.*, 1991; Montgomery *et al.*, 1994; Escuder-Viruete y Pérez-Estaún, 2006; Escuder-Viruete *et al.*, 2008).
- Cretácico Inferior. Génesis del Arco de Islas Primitivo, representado por las Fms Los Ranchos, Amina y Maimón, junto con el Complejo Río Verde (Donnelly *et al.*, 1990; Lebrón y Perfit, 1994; Draper *et al.*, 1994; Lewis *et al.*, 1995, 2000, 2002; Kesler *et al.*, 1977, 2003, 2005; Escuder-Viruete *et al.*, 2006, 2008, 2009), sobre una zona de subducción con polaridad hacia el Sur (en la posición actual; Krebs *et al.*, 2005; Krebs, 2008; Pindell *et al.*, 2006; Escuder-Viruete *et al.*, 2008). Existencia de episodios magmáticos relacionados con la actividad de una pluma mantélica, representados por los basaltos magnesianos y picritas del Complejo Duarte (Draper y Lewis, 1991; Lewis *et al.*, 2000; Lapierre *et al.*, 1997, 1999, 2000; Escuder-Viruete *et al.*, 2004, 2006, 2007).
- Cretácico Superior-Eoceno. Probable cambio en la cinemática del arco (Cenomanense Superior-Turonense) y continuación de la subducción dando lugar a la formación del Arco de Islas del Caribe, representado por el Grupo Tireo (Lewis *et al.*, 1991, 2000, 2002; Escuder-Viruete *et al.*, 2007, 2008). Evento magmático principal de formación del Plateau oceánico del Caribe en el Turonense-Coniacense (Fm Constanza) y en el Campaniense-Maastrichtiense (Fms de Siete Cabezas y Basaltos de Pelona-Pico Duarte). Iniciación de la colisión arco-continente, formación de la Falla de la Española e inicio de los desplazamientos laterales entre el arco primitivo y el arco Cretácico Superior, así como respecto a su parte frontal (prisma acrecional y cuencas de antearco; Donnelly, 1973, 1989, 1994).
- Eoceno Medio-Superior. Continúa la colisión del arco de islas con la plataforma de las Bahamas, exhumación de las rocas de alta P (De Zoeten y Mann, 1991, 1999; Joyce, 1991; Gonçalves *et al.*, 2000) y cese de la actividad magmática relacionada con la subducción. Desplazamiento a lo largo de la Falla de la Española provocando la aproximación de las parte traseras del arco a las partes frontales.

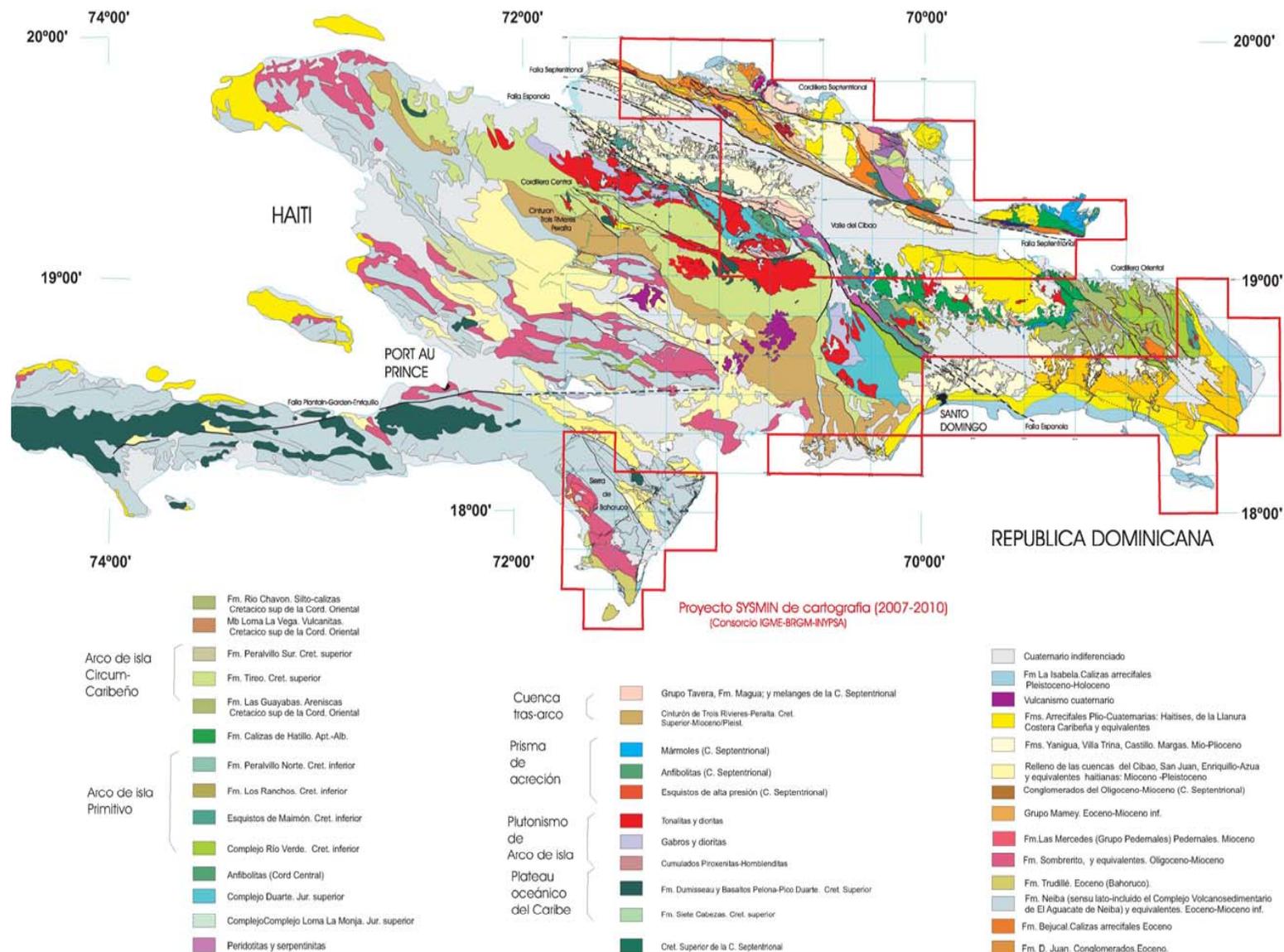


Figura 1.7. Mapa Geológico simplificado de La Española según Lewis y Draper (1990) y el Programa SYSMIN (1999, 2004, 2007). En la figura se especifica la situación de las zonas cartografiadas en el Proyecto SYSMIN II.

- Oligoceno-Mioceno Inferior. Movimientos en dirección en la zona de colisión y en el interior del arco. Fallas de desgarre y cuencas sedimentarias asociadas (Mann *et al.*, 2002; Hernáiz Huerta *et al.*, 2007).
- Mioceno Superior-Actualidad. En continuidad con la etapa anterior. Generalización de la tectónica de desgarre y estructuras relacionadas con la subducción, situada al Sur de la Isla (Mann *et al.*, 2002). Exhumación final del complejo de acreción-colisión.

#### 1.4. Antecedentes

Además de ser un área de especial interés para el estudio de la tectónica activa de la placa Caribeña y de los riesgos geológicos que ésta implica, la isla de La Española y, en concreto, el territorio correspondiente a la República Dominicana, también contiene un registro excepcional de la evolución del denominado Arco Isla Caribeño durante el Jurásico Superior y Cretácico, y de su deformación posterior por una tectónica transpresiva durante buena parte del Terciario. Sin embargo, a pesar de esta importancia geológica, y con la excepción de diversas investigaciones y prospecciones mineras y petrolíferas de carácter local, la mayor parte de la isla ha carecido de estudios geológicos de detalle hasta bien entrados los años 1980, a partir de los cuales varios estudios han incrementado su conocimiento geológico. Los principales trabajos desarrollados en la parte dominicana de la isla se han agrupado en el volumen especial (*Special Paper 262*) de la Sociedad Geológica de América (Mann *et al.*, 1991). Posteriormente, otro volumen especial de la misma sociedad (*Special Paper 326*) trata los aspectos neotectónicos del margen septentrional de La Española, derivados de investigaciones recientes. Otros resúmenes de la geología de la isla se pueden encontrar también en Bowin (1975), Draper y Lewis (1991), Joyce (1991), Lewis (1980), Lewis y Draper (1990), Maurrasse (1981), Nagle (1979) y Pindell y Draper (1991).

Entre los estudios y documentos previos de carácter geológico-minero, la República Dominicana dispone de un mapa geológico a escala de 1:250.000, denominado "Mapa Geológico de la República Dominicana", publicado en 1991. Las referencias sobre la geología de la Isla de La Hispaniola son numerosas y han sido publicadas en revistas internacionales principalmente. Una síntesis de la bibliografía geológico-minera básica puede encontrarse en el *Special Paper 262* (1991) de la Sociedad Geológica de América. Existen informes inéditos, de carácter minero, realizados por la compañía Rosario Dominicana en el ámbito del Proyecto. Como resultado de la cooperación Dominico-Alemana, entre los años 1984 y 1988, se elaboraron distintos mapas a escalas variables,

entre 1:100,000 y 1:25,000, de los sectores Norte y Sur de la Cordillera Central y del sector Oeste de la Cordillera Septentrional. Más recientemente, tienen un particular interés los volúmenes especiales de "Active strike-slip y collisional tectonics of the northern Caribbean Plate boundary zone", editado en 1998 por J. Dolan y P Mann (Spec. Pap. Geol. Soc. Am. vol 326) y que incluye abundante información sobre la geología de la República Dominicana; del Acta Geológica Hispánica (vol. 37), editado en 2002 por Pérez-Estaún *et al.*, que actualiza la información geológica obtenida en el marco del Programa SYSMIN I; y del Boletín Geológico y Minero de España (vol. 118), publicado en 2007, que recoge una síntesis de los trabajos e investigaciones más recientes.

Desde el punto de vista estrictamente cartográfico, en la República Dominicana sólo existía cartografía geológica a escala 1:100.000 de las hojas de San Juan (5972), Comendador (5872) y San Cristóbal (6171) a escala 1:50.000. De ellas, sólo la primera se publicó con una Memoria explicativa, y las otras dos están en periodo de revisión. En la elaboración de estas hojas no se utilizó ninguna normativa específica que sirviera de base para la realización de nuevas hojas geológicas. Los proyectos SYSMIN de Cartografía Geotemática han venido a subsanar este vacío al establecer una sistemática para la elaboración de mapas geológicos y derivados a escala 1:50.000 y 1:100.000. El primero de estos proyectos, correspondiente a los cuadrantes 1:100.000 de Bonao, Constanza y Azua, fue ejecutado durante los años 1997-2000 por un consorcio de empresas españolas del que formaron parte el IGME e INYPSA, con resultados muy satisfactorios. La primera Fase del Programa SYSMIN de la Unión Europea finalizó en 2004 con la realización del Proyecto de Cartografía Geotemática de la República Dominicana por el Consorcio IGME-BRGM-INYPSA, completando 47 Hojas geológicas a escala 1:50.000 y sus correspondientes Memorias, las cuales cubren aproximadamente un 60% del territorio. La ejecución de estos Proyectos ha venido a confirmar la validez de la normativa utilizada que, con algunas mejoras, ha sido la empleada en el Proyecto SYSMIN II.

Dentro de la Cordillera Oriental las primeras observaciones geológicas válidas actualmente datan de finales del siglo XIX, cuando Gabb (1881) realizó un corte transversal de la cadena en el que interpreta correctamente la existencia de un sustrato de rocas cretácicas y una cobertera delgada discordante de rocas terciarias. Casi 100 años después, aparecen varias publicaciones sobre la geología de La Española (Douglas, 1961; Blesch, 1966) que culminan en la tesis de Bowin (1966) y su publicación posterior en 1975. En estas se expone que la geología de la Cordillera Oriental se compone de un Cretácico indiferenciado, un Terciario reciente y afloramientos puntuales

de rocas ígneas. Las aportaciones estructurales se reducen a medidas dispersas de orientaciones y a la traza cartográfica de dos fallas principales.

La tesis de Bourdon (1985) añade un refuerzo considerable al conocimiento de la Cordillera Oriental, principalmente en los aspectos estratigráficos, paleontológicos y en la petrología de las rocas ígneas. El mapa geológico 1:100.000 que la acompaña representa las formaciones más significativas y ha sido reproducido con pocos cambios en las cartografías de síntesis de Lebrón y Mann (1991) y de la Dirección General de Minería y el BGR alemán (Toloczyki y Ramírez, 1991).

Otra notable cartografía de síntesis acompaña a la recopilación de artículos que integran el trabajo de Mann *et al.* (1991a) para la Sociedad Geológica de América y que supone una auténtica puesta al día de los conocimientos geológicos acerca de La Española y por tanto, un documento básico para trabajos posteriores. En esta última recopilación de artículos existen algunos que afectan de forma específica a diversos aspectos estratigráficos y estructurales de la región; entre ellos cabe destacar los de Mann *et al.*, en el que se abordan los principales aspectos geodinámicos de La Española y los de Kesler *et al.*, (1991a y b) en los que se resumen las edades de las rocas intrusivas del sector dominicano de la isla y se propone un esquema estratigráfico para la Fm Los Ranchos.

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 Lebrón y Perfit (1994) en el marco de una integración petrogenética y geoquímica del Cretácico caribeño. Las rocas volcánicas del Cretácico y los plutones de tonalita han sido estudiados desde un punto de vista petrológico, geoquímico y geocronológico por Kesler *et al.* (1991); Bourdon (1985); Bellon *et al.* (1985); Lebrón (1989); Lebrón y Perfit (1993); Kesler *et al.* (1991) y Escuder Viruete *et al.* (2007).

La región de Los Haitises ha despertado cierto interés por la presencia de ámbar en el seno de la Fm Yanigua. Entre las publicaciones más destacadas relativas al tema, se encuentran las de Brower y Brower (1982), Toloczy y Ramírez (1991), Iturralde (2001) en las que se aportan datos de tipo estratigráfico, paleontológico, paleogeográfico y mineralógico. Durante el Proyecto C de Cartografía Geotemática de la República

Dominicana, se realizó un estudio monográfico de la minería del ámbar donde se trataron los aspectos concretos de estas labores en la región (Espí, 2000).

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. Entre los trabajos más recientes es preciso señalar los desarrollados en sectores cercanos al oeste con motivo del Proyecto de Cartografía Geotemática en la República Dominicana (p. ej. Hernaiz Huerta y Draper, 2000), que suponen un considerable avance en el conocimiento geológico de la región, no sólo desde un punto de vista cartográfico, sino también por el tratamiento sistemático de su estratigrafía, tectónica, geomorfología, petrología y geología económica.

Por último, merece la pena destacar la recopilación de artículos elaborados a partir de la información acumulada en este proyecto en los últimos años, de entre los que cabe señalar el de Escuder-Viruet *et al.* (2002, 2007), García-Senz *et al.* (2007a y b) y Díaz de Neira *et al.* (2007), en el que se abordan aspectos estratigráficos, geomorfológicos, petrográficos y geoquímicos de los materiales Cretácicos terciarios de sectores cercanos a la zona de estudio.

No existe documentación específica previa en la Hoja de Cevicos a excepción de los estudios temáticos de índole estratigráfico en esta zona aplicados a la investigación del carbón y de la turba (Douglas-Robertson and Associates Inc, 1983). En este informe se definen y reevalúan las Fms Yanigua y Cevicos y se establece su relación lateral y vertical con la Und Los Haitises. A la vez, se realiza una reconstrucción paleogeográfica de la región para el mioceno y un breve estudio paleontológico y estructural de la fracturación de estas unidades.

Más recientemente, Cámara *et al.* (1994) y Díaz del Olmo y Cámara (2003) realizan un estudio de las morfologías cársticas tropicales de la región de Los Haitises y proponen una posible génesis, evolución y edad de estas formas. Díaz de Neira *et al.* (2007) analizan la evolución geomorfológica reciente de la Cordillera Oriental, haciendo especial énfasis en la elevación de la unidad de Los Haitises y el desarrollo simultáneo de formas kársticas, erosión marina e incisión fluvial a lo largo del Cuaternario.

## 2. ESTRATIGRAFÍA

La Hoja de Cevicos comprende varias unidades tanto litológicas como estructurales de origen y naturaleza diversa, que pueden agruparse en dos grandes conjuntos: los materiales Cretácicos, que configuran la morfoestructura de la cordillera Oriental, y los materiales Cenozoicos, que aparecen sobreimpuestos a los anteriores, a modo de tapiz y de espesor variable, constituyendo la mayor parte de los afloramientos de la Hoja (Figura 2.1).

En la zona sur afloran los materiales más antiguos de la Hoja, de edad Cretácico inferior, correspondientes a algunos cuerpos intrusivos de tonalitas emplazados en la Fm Los Ranchos. La mitad de la superficie de la Hoja la ocupa una extensa morfología tabular kárstica, característica de las calizas de Los Haitises, mientras que las calizas margosas y margas de las Fms Yanigua y Cevicos se localizan definiendo un cinturón continuo de depósitos que orlan esta unidad en su sector meridional. El norte de la hoja la ocupa la Cuenca del Cibao, en la que se acumulan las formaciones aluviales cuaternarias, principalmente relacionadas con la evolución del cauce del Río Yuna. Finalmente, el extremo suroeste está cubierto por los materiales arenosos y lutíficos asociados a la instalación de sistemas aluviales, con baja capacidad de transporte, procedentes de los relieves de la Sierra de Yamasá, al Sur.

### 2.1. Cretácico

Conforme a lo observado en el resto de la cordillera, en el registro estratigráfico del Cretácico de la Hoja de Cevicos se distingue un Cretácico inferior, representado por intrusiones de rocas plutónicas emplazadas en los materiales volcánicos y volcánico-sedimentarios de la Fm Los Ranchos. Esta último no aflora dentro de la hoja.

En el presente capítulo de Estratigrafía se describen exclusivamente las características de campo de estas intrusiones, mientras que sus descripciones petrográficas, más detalladas, se incluyen en el capítulo de Petrología y Geoquímica. La Fm Los Ranchos constituye una franja volcano-sedimentaria, definida inicialmente por Bowin (1966) en los alrededores del célebre yacimiento de oro de Pueblo Viejo del que constituye su roca encajante. Representa una serie volcánica de arco isla "primitivo" atribuido al Cretácico Inferior (Kesler *et al*, 1991; Mann *et al*, 1991). Está débilmente metamorfozada (facies pumpelita-prehnita), y localmente, es intruida por batolitos de composición tonalítica, emplazados al final del Cretácico inferior y durante el Cretácico superior (100-80 Ma).

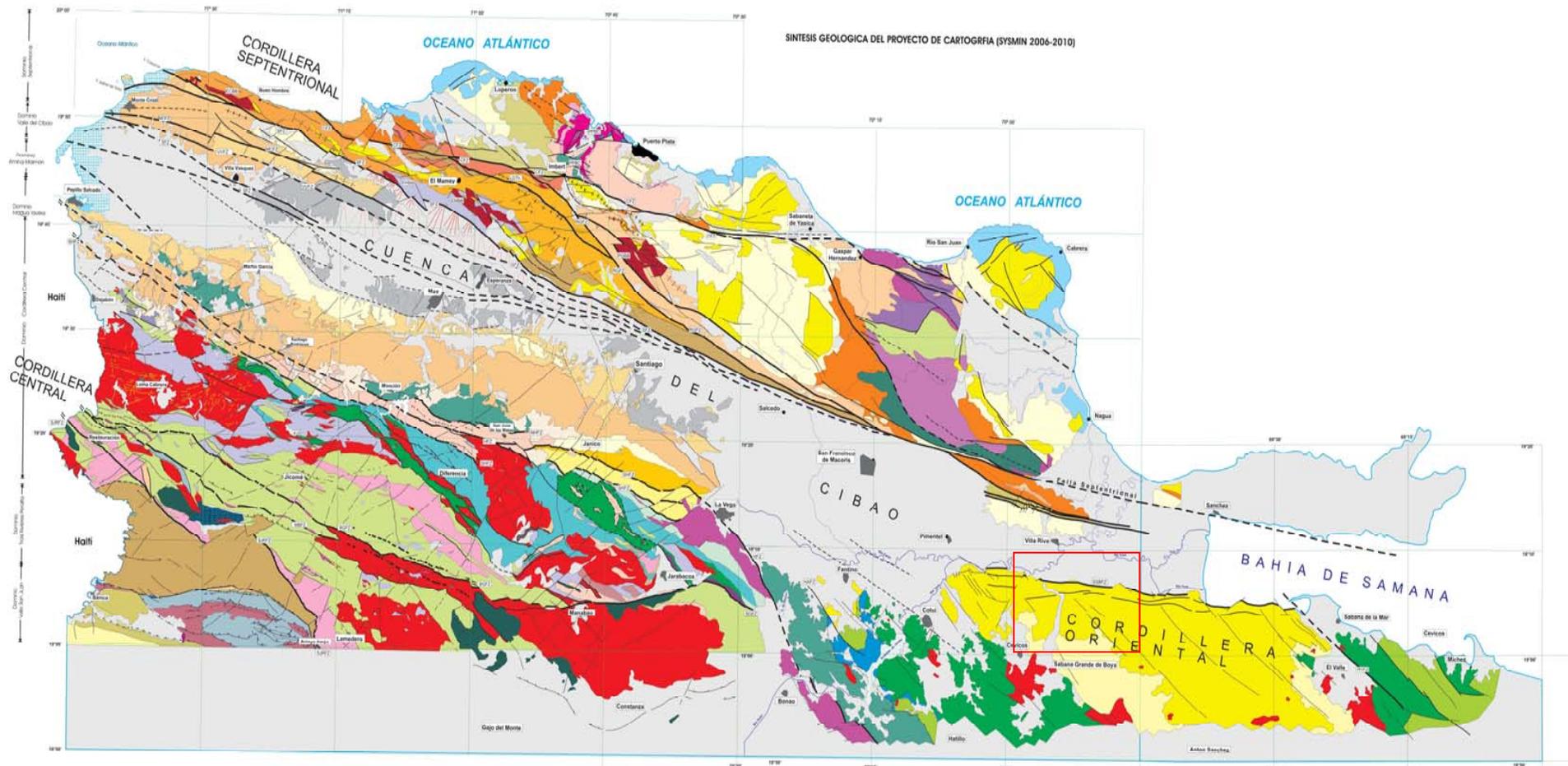


Figura 2.1. Esquema geológico regional del sector noroccidental de la República Dominicana: Cuenca del Cibao y Cordilleras Septentrional, Central y Oriental. El cuadro rojo indica la situación de la hoja de Cevicos.



Figura 2.1 (cont). Leyenda de unidades cartográficas del sector noroccidental de la República Dominicana.

A la escala de la Cordillera Oriental (Escuder Viruete *et al.*, 2007 y 2008), la zona de afloramientos de la Fm Los Ranchos dibuja toscamente la forma de una media luna curvada hacia el Norte. Sus dimensiones son de alrededor de 100 km de largo por 10-15 km de ancho (Figura 2.2). Hacia el oeste, en la región de Cevicos y Cotuí, desaparece bajo el cabalgamiento de Hatillo. Al Este, en la región de El Valle y Sabana de la Mar, se hunde hacia el Norte, antes de interrumpirse en la falla de desgarre del Río-Yabon. Hacia el Norte queda en parte oculta por la cobertura sedimentaria plio-pleistoceno de Los Haitises. Hacia el Sur se encuentra recubierta por la Fm Caliza de Hatillo (Albiense), directamente por las turbiditas de la Fm Las Guayabas (Cretácico superior), o incluso hasta por los recubrimientos cuaternarios de la Planicie Costera del Mar Caribe.

En el marco de la Cordillera Oriental, de forma general se pueden diferenciar tres subconjuntos principales dentro de la Formación Los Ranchos.

- Un Miembro Inferior, reconocido principalmente en las Hojas de Sabana Grande y de El Valle, compuesto principalmente de brechas piroclásticas poligénicas en las cuales se intercalan frecuentes niveles de lavas básicas (basaltos y menos frecuentemente andesitas), así como horizontes volcanoclásticos finos. La potencia de este conjunto es superior a 1500 m.

- Un Miembro Intermedio, bien individualizado en las Hojas de Sabana Grande, Bayaguana, Antón Sánchez, y en menor medida en las de Hato Mayor y El Valle. Está compuesto por lavas ácidas, dacíticas y riodacíticas, a las que se asocian productos piroclásticos tobáceos y epiclastitas, predominantemente ácidos. Esta unidad, es de espesor variable según los sectores.

- Un Miembro Superior, compuesto por productos piroclásticos andesíticos, principalmente brechas y aglomerados monogénicos, pero también con intervalos masivos más o menos importantes de andesitas y de basaltos porfídicos. Estos últimos están bien definidos en la Hoja de Bayaguana (El Pan de Azúcar), así como en la Hoja de Hato Mayor y en el ángulo SE de la Hoja de El Valle, justo bajo la cobertura discordante de la Formación Caliza de Hatillo.

Los trabajos de laboratorio (estudios petrográficos, litogeoquímicas, dataciones, etc) tras los trabajos de campo, han sido objeto recientemente de un artículo de síntesis sobre la génesis de la Fm Los Ranchos (Escuder Viruete *et al.*, 2007). Los estudios han mostrado que las rocas máficas de la formación incluyen boninitas y basaltos toleíticos de arco isla empobrecidos en LREE en el miembro inferior; y toleitas de arco isla normales en el miembro superior. La fuente para estas rocas fue un manto variablemente empobrecido, con una componente subductiva superpuesta.

Las edades Aptiense U-Pb en zircones de riodacitas de la unidad intermedia (116,0 ± 0,8 Ma) y de tonalitas del batolito de Zambrana (115,5 ± 0,3 Ma) contemporáneas, de características geoquímicas equivalentes, permite establecer una relación genética entre las rocas volcánicas ácidas de la Fm Los Ranchos y el voluminoso plutonismo tonalítico que intruye los niveles estratigráficos más bajos. Las riolitas pobres en K y los batolitos tonalíticos son interpretados como producto de la fisión secundaria de la base del arco. Las edades de plateau  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  de horblenda en cuatro batolitos tonalíticos son Albiense (109-106 Ma) e interpretadas como correspondientes a su enfriamiento final post-emplazamiento, previo a la sedimentación Albiense de las calizas de la Fm Hatillo. En este contexto, las boninitas y toleitas de arco isla empobrecidas de la unidad inferior fueron generadas durante la iniciación de la zona de subducción; las toleitas normales de la unidad superior representan la posterior estabilización del frente volcánico.

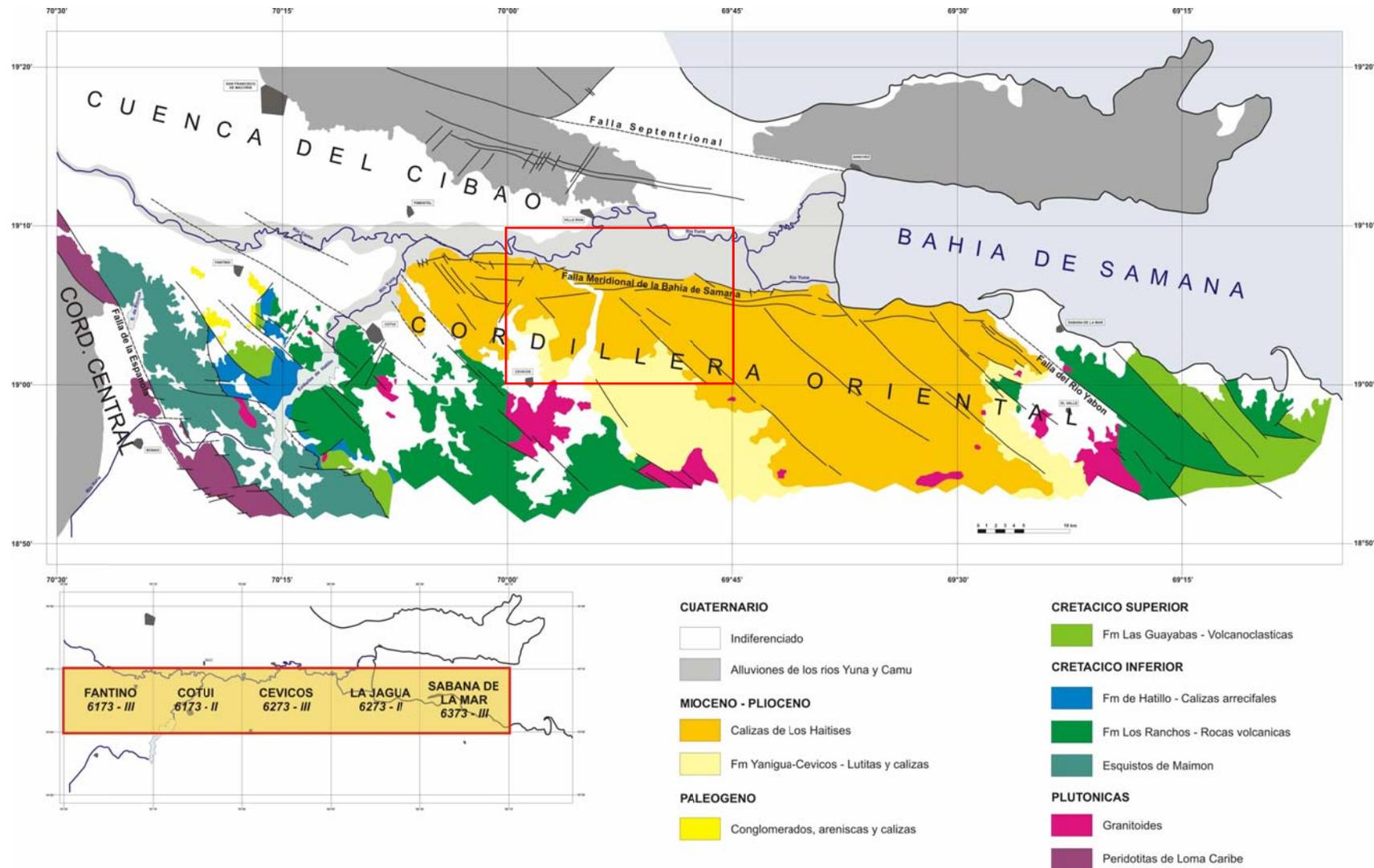


Figura 2.2. Esquema geológico regional de las estribaciones septentrionales de la Cordillera Oriental en el Noreste de la República Dominicana.

### 2.1.1. Intrusivos en la Fm Los Ranchos

#### 2.1.1.1. Tonalitas (1). Cretácico inferior? $K_1$

Se trata de un único afloramiento de granitoides de pequeña extensión que se encuentra completamente rodeado por las calizas de los Haitises, por lo cual se desconoce su verdadera extensión. No obstante, no hay dudas de que forman parte del cortejo de cuerpos tonalíticos que intruyen en el núcleo de la Fm Los Ranchos y que, con dirección E-O, se extiende por las Hojas contiguas de Sabana Grande de Boyá, Cotuí y el Valle donde forman *stocks* de dimensiones considerables (tonalitas de El Valle, de Sabana Grande y de Cevicos-Zambrana). Estas intrusiones producen importantes anomalías en el mapa aeromagnético (Figura 2.3) que se prolongan hacia el norte bajo la cobertera de la caliza de Los Haitises, sugiriendo su posible conexión en profundidad.

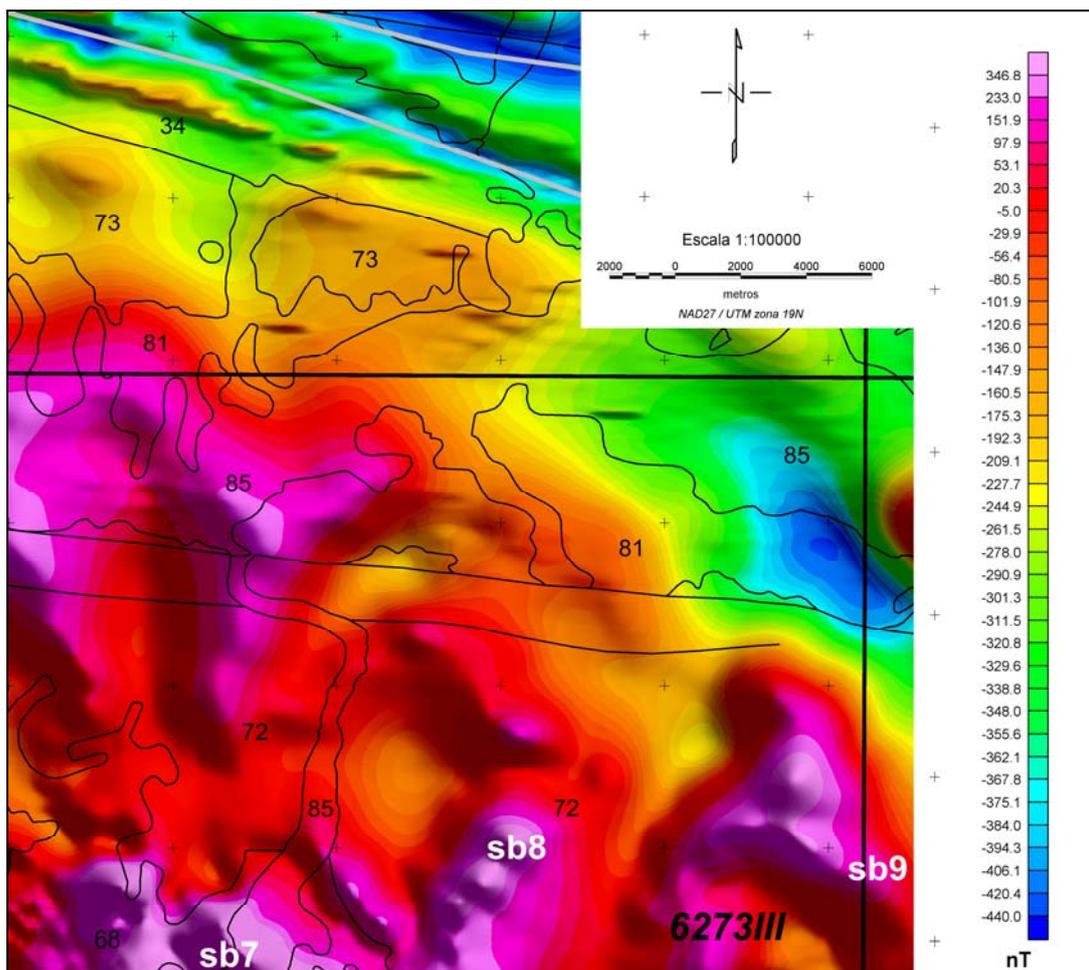


Figura 2.3. Mapa del campo magnético reducido al polo de la Hoja de Cevicos y Villa Riva.

En afloramiento, las tonalitas aparece casi completamente alteradas a un suelo laterítico, poco consolidado, de un intenso color rojizo o rosáceo, muy propicio para el cultivo de cítricos. A menudo se observa la roca “fresca” en forma de bolas que “flotan” en las arenas y lutitas producidas por alteración meteórica. La descripción de las facies de campo que sigue a continuación procede, en su mayor parte, de las observaciones realizadas (y de las muestras recogidas) en esos bolos o en el único afloramiento en que ha sido posible analizar la roca fresca, localizado en las proximidades del pueblo de Cevicos, muy cerca del cruce de La Jagua.

Sobre el terreno las tonalitas se presentan con facies bastante homogéneas. Se trata de una roca ígnea granuda, plutónica cuarzo-plagioclásica, de grano medio a grueso, sin fábricas aparentes y con hornblenda y biotita como minerales ferromagnesianos. Se encuentra afectada por brechificación y por una intensa alteración de origen hidrotermal. Petrográficamente se clasifica como una tonalita hornblendica de textura isótropa.

La edad de estas intrusiones es objeto de discusión. Es más que seguro que se trate de una fase intrusiva posterior a la Fm Los Ranchos, pero anterior al depósito de los sedimentos de la Fm Don Juan en el Eoceno. Por una parte, los estudios geoquímicos realizados en el transcurso del proyecto sugieren, como ya apuntara Boudon (1985), su relación genética con el vulcanismo de la Fm Los Ranchos. Las dataciones absolutas realizadas por el método  $^{40}\text{K}/^{40}\text{Ar}$  (en roca total) en trabajos previos, arrojan un abanico de edades entre 83 y 100 Ma, propias del Cretácico superior (Bourdon, 1985; Bellon *et al.*, 1985, Kesler *et al.*, 1991b). Sin embargo, las determinaciones radiométricas realizadas por el método Ar/Ar (en hornblendas) en muestras recogidas en la Hoja de Antón Sánchez han dado un abanico de edades de 109+5 a 121+5 Ma, que confirman su emplazamiento durante el Cretácico inferior y la citada relación genética con el vulcanismo de la Fm Los Ranchos.

## 2.2. Neógeno

Los sedimentos neógenos pertenecen a las amplias plataformas carbonatadas que se extienden en los dos flancos de la Cordillera Oriental. Al Norte, en la región de Los Haitises, la plataforma, que llega a confundirse con los relieves de la Cordillera, se encuentra afectada por un espectacular karst tropical maduro. Aparece inclinada hacia el Norte de manera que desciende, desde cotas superiores a los 300 m, hasta el nivel del mar en la Bahía de Samaná. Al Sur, en la Llanura Costera del Caribe, se conserva mucho mejor el carácter de plataforma, contrastando sensiblemente con los relieves de la

Cordillera. Su descenso hacia el Sur se produce escalonadamente desde cotas cercanas a 100 m hasta alcanzar el litoral del Caribe.

Pese al indudable atractivo que ofrece la región de Los Haitises como dominio geológico peculiar, especialmente por el desarrollo de su karst tropical, son escasos los trabajos elaborados sobre ella. La razón principal es su inaccesibilidad, derivada de la presencia de una exuberante vegetación tropical desarrollada sobre un típico relieve en “caja de huevos” integrado por infinidad de montículos (*hums* o *haitises*) entre los que se distribuye una red de depresiones (dolinas y uvalas), en ocasiones con desniveles superiores a 200 m. 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 Brouwer y Brouwer (1982), relativo al ámbar, en el que se describen cuatro unidades superpuestas, de muro a techo: conglomerado basal, Fm Yanigua (que alberga el ámbar), caliza de Cevicos y caliza de Los Haitises. Iturralde (2001), en un nuevo estudio sobre la geología del ámbar en el ámbito caribeño, considera que el conglomerado basal constituye en realidad intercalaciones dentro de la Fm Yanigua, sugiriendo otro tanto para las calizas de la Fm Cevicos, por lo que simplifica el esquema estratigráfico que queda reducido a dos unidades : la Fm Yanigua, constituida por calizas y margas, entre las que se intercalan niveles de conglomerados, además de albergar masas discontinuas de ámbar y lignito; y la Fm Los Haitises, dispuesta sobre la anterior e integrada por las típicas calizas arrecifales que constituyen los característicos afloramientos de la mayor parte de la región. Más recientemente, el estudio de la minería artesanal de la República Dominicana (Espy, 2000), elaborado dentro del Programa SYSMIN, aporta nuevos datos sobre la Fm Yanigua aunque desde un punto de vista minero.

En la cartografía de de esta Hoja se han adoptado los criterios generales propuestos por Iturralde, a excepción de lo concerniente a la Fm Cevicos, de la que se ha juzgado representa una unidad cartográfica independiente por su extensión y características sedimentarias. De esta forma, dentro del Mioceno y Plioceno se han considerado tres unidades. La Fm Yanigua, como un conjunto margoso que alberga pequeñas masas de lignito y ámbar, en el que se intercalan niveles carbonatados de orden métrico, así como

conglomerados, más frecuentes hacia la base. La Fm Cevicos, constituida por una alternancia de calizas margosas bioclásticas y margas con moluscos. La Unidad Los Haitises, constituido por calizas bioclásticas y calizas arrecifales masivas con un mayor o menor contenido margoso.

No existe unanimidad en cuanto a la edad del conjunto. Brouwer y Brouwer (1982) enmarcan la Fm Yanigua en el Mioceno. Bourdon (1985) asigna el conjunto calcáreo al Mioceno Superior-actualidad. Toloczyki y Ramírez (1991) atribuyen la Fm Yanigua al Mioceno Superior-Plioceno y la Fm Los Haitises, al Plioceno-Cuaternario. Por último, Iturralde (2001), propone el Mioceno inferior-medio para la Fm Yanigua y el Mioceno medio-superior para la Fm Los Haitises. En cualquier caso, el hallazgo durante la realización del proyecto de asociaciones faunísticas características del Plioceno dentro de la Fm Yanigua ha sido el criterio seguido para establecer la cronoestratigrafía de la zona, completada con la asignación de la Und Los Haitises al Plio-Pleistoceno (p. ej. Díaz de Neira y Hernaiz-Huerta, 2004).

Los afloramientos de la Fms Yanigua y Cevicos se distribuyen por el borde de la región, soterrándose bajo los de la Fm Los Haitises, indicando que hacia el Norte existe entre ellos una relación de cambio de facies mediante la cual la primera se adelgaza, o incluso desaparece, en favor de la segunda; y en que la segunda se acuña en favor de la tercera en esa misma dirección. Esta última circunstancia se puede comprobar a lo largo de los cortes de la nueva carretera a Samaná a su paso por las Hojas de Cevicos, Sabana Grande y Antón Sánchez.

Las Fms Yanigua y Cevicos se interpretan como depositadas en un ambiente de transición, de naturaleza marino-lagunar y baja energía, en tanto que la Fm Los Haitises representa una plataforma carbonatada con desarrollo de frecuentes construcciones arrecifales hacia mar. La superposición de estos ambientes indica un evidente contexto transgresivo y un incremento continuado en el espacio de acomodación.

En conjunto todas las unidades se apoyan sobre un paleorrelieve muy irregular integrado fundamentalmente por materiales cretácicos y tonalíticos asociados a ellos, algunos de los cuales “emergen” en el seno de la plataforma calcárea, lo que indica un contexto en el que la Cordillera Oriental estaría reducida a una serie de isleos. Posteriormente, el progresivo ascenso de la región, dentro del contexto de la elevación de La Española, provocó la exposición de las calizas marinas terciarias y el retroceso de la línea de costa hacia la Bahía de Samaná hasta alcanzar la disposición actual en el Cuaternario.

### 2.2.1. La Unidad Los Haitises y sus equivalente laterales

#### 2.2.1.1. Formación Yanigua (2). Lutitas calcáreas con bivalvos y conglomerados. Mioceno superior-Plioceno inferior? $N_1^3-N_2^1$

Los afloramientos de la Fm Yanigua se distribuyen exclusivamente a lo largo del cauce del Arroyo Anegadizo y del Río Adra, localizados en el límite con la Hoja de Sabana Grande. La serie buza muy suavemente con vergencia general hacia el norte, por lo que esta unidad se introduce bajo las calizas de Los Haitises, e incluso parece pasar lateralmente a la Fm Cevicos. No hay evidencias de su existencia en el sector central y septentrional de la hoja, aunque probablemente se encuentren infrayacentes a la masa calcárea principal a cotas progresivamente inferiores hacia el norte, constituyendo el “nivel de base” local que limita el avance de la disolución kárstica.

Esta formación fue descrita originalmente por Douglas-Robertson (1983) en su informe sobre las posibilidades de explotación de carbón que alberga en la región de El Valle, en la Cordillera Oriental. Según estos autores la Fm Yanigua consiste en una serie formada por arenas y arcillas que intercala capas de carbón y niveles conglomeráticos. Le atribuyen una edad Mioceno y proponen una relación lateral con la Fm Cevicos, de mayor influencia marina, siendo ambas infrayacentes a las calizas de Los Haitises. Posteriormente, Brouwer y Brouwer (1982), en su trabajo para evaluar el potencial de los depósitos de la Fm Yanigua como unidad productora de ambar, redefinen la formación y describen una secuencia neógena para el distrito minero oriental constituida por un conglomerado basal, la Fm Yanigua, la Fm Cevicos y las calizas de Los Haitises. Iturralde-Vinent (2001) en su revisión de los depósitos productores de ambar de la Antillas Mayores vuelve a redefinir esta serie e integra la Fm Cevicos y el conglomerado basal dentro de la Fm Yanigua, infrayacente a la caliza de los Haitises.

Este último ha sido una de los criterios utilizados para cartografiar las unidades neógenas durante proyectos anteriores en las hojas colindantes a la Hoja de Cevicos, donde se resta importancia a la Fm Cevicos (p.ej. Díaz de Neira y Hernaiz, 2004), considerándola una parte de la Fm Los Haitises<sup>1</sup> que incluye niveles de calizas margosas. En otras ocasiones, sin embargo, se ha optado por una división en unidades cartográficas más complejas, donde se diferencia varios tipos diferentes de facies dentro de la Fm Yanigua y la Fm Cevicos se integra dentro de la Fm Los Haitises (p.ej. Monthel *et al.*, 2004). A la luz de todo lo anterior expuesto y del análisis de nuevos cortes gracias a la construcción de la carretera a Samaná, la secuencia de unidades Yanigua-Cevicos-Haitises propuesta

por Douglas-Robertson (1983) y Brouwer y Brouwer (1982) parece la más acertada y es la que se ha utilizado en la cartografía de esta hoja. Por desgracia, las malas condiciones de afloramiento y la probable ausencia de algunas de estas unidades en otros sectores de la Cordillera Oriental y de la Llanura del Caribe, debido a cambios laterales de facies, hacen muy complicado diferenciarlas siempre. Bajo estas circunstancias se ha optado acertadamente en cartografías previas de estas unidades en hojas próximas por utilizar una versión simplificada y práctica de la estratigrafía de la zona.

La potencia de la Fm Yanigua es difícil de estimar y parece estar condicionada por la irregularidad del paleorrelieve Cretácico que constituye su sustrato. De esta forma, su potencia varía entre los 20 y 50 m, aunque este hecho sólo es constatable en otras hojas situadas más al sur, donde la formación aparece mejor desarrollada.

Aunque en la superficie de la hoja no ha sido posible observarlo directamente, se disponen discordantemente sobre cualquier unidad cretácica de la Cordillera. En cuanto a su techo, está constituido por las calizas y margas de la Fm Cevicos a las que pasa de forma gradual tanto vertical como lateralmente. Esta transición consiste en una disminución del porcentaje de margas y un incremento rápido de los paquetes de calizas, acompañado por la desaparición de los niveles detríticos de granulometría más gruesa.

Aparece en afloramientos de calidad deficiente debido a la elevada proporción de lutitas de la serie. Algunos cortes cerca del Batey San Antonio permiten observar los rasgos principales de los depósitos, integrados por margas entre las que se intercalan diversos niveles tabulares de calizas margosas bioturbadas, de espesor métrico, y canales conglomeráticos. En general se trata de una serie monótona de lutitas oscuras, ocres por alteración, y con tonalidades oscuras o verdosas debido a la presencia de materia orgánica cuando aparecen frescas. Ocasionalmente se desarrollan suelos (calcretas) que indican la exposición subáerea de los depósitos durante prolongados periodos de tiempo.

Contienen niveles de acumulación monoespecífica de bivalvos en posición de vida (*Venus latirilata*) y numerosas trazas orgánicas que, en ocasiones, borran por completo la organización sedimentaria del depósito. Al margen de su evidente contenido macrofaunístico, las margas poseen abundantes fragmentos de radiolas de equínidos, ostrácodos y diversas especies de foraminíferos bentónicos como *Spiroloculina* sp., *Nonion* sp., *Quinqueloculina* sp. y *Ammonia* sp.

Intercalados en las margas se observan niveles con cierto contenido arenoso, de aspecto laminado y color rojizo, con abundante contenido fosilífero y fabrica biodeformativa. Esporádicamente presentan niveles de lignito de espesor decimétrico y ocasionales cristales de yeso. Uno de los rasgos más característicos de la unidad es la presencia de ámbar, cuyos hallazgos se concentran en los parajes Camarones y Sierra de Aguas, así como en Yanigua y la Colonia San Rafael, dentro de la Hoja de El Valle (6372-IV). Desgraciadamente, no se ha realizado ningún hallazgo de este tipo dentro de la Hoja de Cevicos.

Son frecuentes, por el contrario, los paquetes decimétricos de calizas margosas, bioclásticas, e igualmente comunes los lentejones de conglomerados masivos, clastosoportados y de matriz arenosa rojiza. Formados por cantos redondeados de rocas cretácicas (gruavacas, areniscas y rocas volcánicas, poseen escasa potencia y una amplia extensión lateral.

Es muy probable que, tras un indeterminado periodo de erosión que abarcaría una buena parte del Mioceno, la sedimentación de la unidad se iniciara en la zona mediante un breve episodio fluvial, representado por un conjunto conglomerático que parece en la base de la unidad descrito en la vecina Hoja de Sabana Grande de Boyá. Este episodio, que registra el comienzo de creación de espacio de acomodación en la cuenca, precede a un impulso transgresivo que finalizaría con la implantación de estos sistemas costeros de la Fm Yanigua sobre la cordillera.

En cualquier caso, dada la recurrencia vertical de facies y las secuencias a pequeña escala descritas en afloramiento, la transgresión no se produciría de forma continua sino, más bien, mediante pulsos en los que alternarían periodos de emersión con otros de ascenso rápido del nivel del mar tras los que se producía la sedimentación en ambientes litorales en condiciones de nivel de base estable. La litología, la geometría, la coloración y la presencia de paleosuelos indican que los depósitos de la Fm Yanigua representan principalmente ambientes costeros protegidos, de baja energía, de tipo marisma, laguna y bahía somera, en zonas incluso que podían permanecer expuestas subaéreamente. Estas zonas debieron estar sometidas a una fuerte influencia continental y localizarse muy próximas a sistemas fluviales o llanuras aluviales, surcadas por cauces erráticos de poca entidad, que introducían material detrítico grueso en la costa (Figura 2.4).

La datación de esta formación, deducida de las asociaciones de microfósiles descritas en las facies margosas, es imprecisa y sólo ha permitido inferior una edad Mioceno superior-

Plioceno inferior. Por otro lado, la identificación de algunos ejemplares de *Globorotalia margaritae* en una muestra de la hoja de Antón Sánchez hace que no se puede descartar que el muro de la unidad sea Mioceno superior (Messiniense), al menos para los materiales que cubren la Cordillera Oriental en el norte (Braga, 2010).

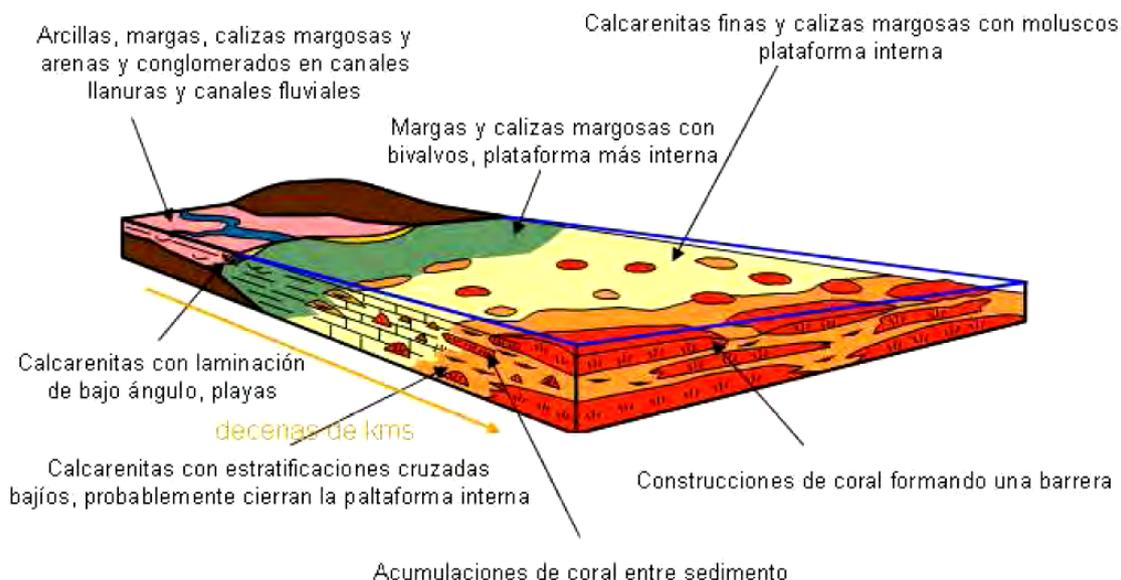


Figura 2.4. Modelo sedimentario para las calizas de plataforma y sedimentos asociados del Plioceno-Pleistoceno inferior que rodean la Cordillera Oriental. Formaciones Yanigua, Cevicos y Unidad Los Haitises (Braga, 2010).

### 2.2.1.2. Formación Cevicos (3). Calizas margosas bioclásticas y margas. Mioceno superior-Plioceno inferior. $N_1^3-N_2^1$

La Fm Cevicos define un cinturón continuo de facies margosas y calizas en torno el límite sur de la plataforma de Los Haitises. En la Hoja existen numerosos y muy buenos afloramientos a lo largo de la autovía a Samaná, principalmente entre el Batey Pirado y la aldea del Majagual. Por otro lado, hay numerosos puntos de observación aislados en el sureste de la hoja, en la pequeña aldea de Batero, principalmente en el talud de la carretera y en pequeñas explotaciones de esta formación donde se extrae la caliza como árido para carretera.

Esta formación fue descrita por Cooke (1921) y Vaughan *et al.* (1921) en la región de El Valle y de San Rafael. Según estos autores la sucesión se encuentra formada por calizas arcillosas, margas y limolitas, aunque no lo sitúan dentro de una hipotética serie y especulan con la posibilidad de que pase lateralmente, hacia el este, a la caliza de Los Haitises, mientras que hacia el sur y hacia los grandes relieves pasaría a la Fm Yanigua.

Douglas-Robertson (1983) establecen una secuencia en los que proponen la Fm Cevicos como equivalente distal de la Fm Yanigua, ambas infrayacentes a las calizas de Los Haitises. Finalmente, Iturralde-Vinent (2001) y Braga (2010) restan importancia a esta unidad y la integra dentro de la Fm Yanigua.

La Formación Cevicos constituye el equivalente lateral distal de la Fm Yanigua, sobre la que también se disponen concordantemente mediante un progresivo enriquecimiento calcáreo y un empobrecimiento en margas de la serie. Menos frecuentemente, se apoya directamente sobre el conjunto Cretácico de la Cordillera Oriental, con un evidente carácter discordante. Este hecho llega a ser especialmente evidente en las proximidades de Cevicos, donde el macizo tonalítico es rodeado por los niveles horizontales de la Fm Cevicos. Suprayacente a la Fm Cevicos, y probablemente de forma lateral, hacia el norte aparecen las calizas de la Unidad Los Haitises. Debido a la irregularidad del paleorrelieve su espesor puede variar considerablemente, pero en algunas zonas llega a sobrepasar los 50 m.

La Fm Cevicos está compuesta por potentes bancos tabulares de calizas margosas con intercalaciones de hasta 2 metros de margas y margas calcáreas que tienden a acuñarse y desaparecer hacia el norte. En estos depósitos las proporciones relativas de arcilla y carbonato micrítico y bioclastos son variables y se alternan en capas horizontales de espesores muy diversos, de decimétricos a métricos.

Las margas son algo limosas y aparentemente similares a las descritas en la Fm Yanigua, salvo por su mayor contenido y diversidad en fauna marina y la ausencia de coloraciones rojizas. Presentan color ocre-beige cuando aparecen alteradas y gris oscuro cuando se encuentran frescas. Suelen aparecer bioturbadas por *Thalassinoides*, que llegan a definir verdaderos horizontes de colonización, y contienen altas proporciones de bivalvos en posición de vida. Son muy ricas en foraminíferos bentónicos, entre los que se encuentran especialmente bien representados los taxones *Nonion* sp., *Criboelphidium* sp., *Anomalina* sp., *Cibicides* sp., *Anomalinoides* sp., *Ammonia* sp., *Discorbis* sp., *Reussella* sp., *Elphidium* sp., *Robulus* sp., *Criboelphidium* sp., *Cibicides* sp., *Annulosorites* sp., *Miosorites* sp., *Archaias* sp., *Amphistegina* sp., *Operculina* sp., *Brizalina* sp. y *Quinqueloculina* sp. Esporádicamente pueden intercalar algún paquete de calizas con gasterópodos (*Strombus*), bivalvos (ostreas y pectínidos) y pequeñas colonias de corales (generalmente *Porites* y *Montrastrea*), con cabezos de corales ramosos dispersos y sedimento margoso entre las ramas.

Las facies más comunes dentro de esta formación aparecen como un conjunto de calizas margosas, de blanquecinas a amarillentas, 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. Estos niveles más calcáreos suelen presentar también una icnofábrica muy intensa y, en ocasiones, un aspecto noduloso. Tienen un amplio espectro de texturas, desde micritas con bioclastos (*mudstones* y *wackestones*) a calcarenitas finas (*packstones*) con foraminíferos (miliólidos y sorítidos), ostrácodos, fragmentos de moluscos, algas coralíneas, equinodermos y peloides. Como fósiles son comunes los moldes de bivalvos y gasterópodos, conchas de bivalvos calcílicos (pectínidos y ostreidos) y colonias de coral (*Montastrea* principalmente y *Porites*). Aparecen además equinodermos, briozoos y foraminíferos (textuláridos, rotálidos, miliólidos, sorítidos - *Androsinopsis*- y *Amphistegina*) y *Halimeda*. Además, se ha descrito un yacimiento de fósiles de *Clypeaster concavus* en un potente banco de caliza margosa localizado en los afloramientos de la autovía a Samaná, cerca del cruce al pueblo del Majagual.

Los componentes aragoníticos suelen estar disueltos y en el caso de los moldes conservados hay una película de calcita espática rodeando las paredes del hueco y rellenándolo en diversa medida. Tienen un cierto contenido margoso y existen todas las transiciones a la facies anterior.

Puntualmente, la Fm Cevicos incluye cerca de su muro un tipo de facies particular, compuestas por calcarenitas finas y medias, con contenido micrítico, y bioclastos (fragmentos de corales, moluscos, equinodermos, escasos briozoos, abundantes foraminíferos y algas rojas coralíneas, *Halimeda* y peloides). En algunas localidades esta facies presentan estratificaciones lenticulares amalgamadas y laminaciones cruzadas en artesa, de poca entidad, con longitudes de onda y alturas decimétricas. De forma más frecuente 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.

En conjunto, los depósitos de la Fm Cevicos se formaron en medios marinos someros de plataforma interna (Figura 2.4), con muy baja turbulencia, en los que proliferaron los organismos y a los que llega arcilla en suspensión procedente de sistemas fluviales y costeros adyacentes que orlaban los relieves emergidos de la Cordillera Oriental. Las diferentes asociaciones de foraminíferos bentónicos descritos en las margas reflejan

condiciones variables de salinidad, probablemente debidas a variaciones en la restricción de las aguas de la plataforma interna con respecto al mar abierto. El menor contenido en arcillas de las calizas margosas puede deberse a una mayor lejanía de las zonas emergidas, como indica la localización cartográfica de las facies más carbonatadas en una orla más alejada de los relieves del sustrato que los afloramientos de margas. No obstante, las alternancias de bancos centimétricos y decimétricos de facies más carbonatadas y más arcillosas se deben probablemente a variaciones temporales en el influjo relativo de arcilla y la producción más o menos autóctona de carbonato. Estas variaciones reflejan a su vez cambios a lo largo del tiempo en las condiciones climáticas de la región.

Las acumulaciones de corales provienen de “praderas” de corales que crecieron sobre el sustrato móvil y fosilizan como montones de ramas, más o menos rotas. Las calcarenitas con estratificación lenticular y laminación cruzada registran momentos de mayor energía y agitación en este medio (tormentas?) por corrientes que lavaron las partículas bioclásticas y produjeron el apilamiento vertical y lateral de montículos y de pequeñas dunas subcuáticas.

La edad de la Fm Cevicos es igualmente difícil de precisar que la de la Fm Yanigua. Las asociaciones faunísticas descritas en las margas y calizas margosas nos permiten asignarle una edad Mioceno superior-Plioceno. Por otro lado, considerando que se encuentran por encima de la Fm Yanigua, y que ya esta ocupa parte del Mioceno superior, deducimos que esta unidad se depositó principalmente durante el Plioceno inferior. De la misma forma, no podemos descartar que algún equivalente distal de la Fm Yanigua, con facies similares a las descritas en la Fm Cevicos, pudiera haberse depositado durante el Mioceno superior.

Esta edad es consistente con la edad inferida para la unidad suprayacente, Los Haitises, en la Llanura costera del Caribe, que se ha definido como Plio-Pleistoceno (ver punto 2.2.3)

2.2.1.3. Unidad Los Haitises (4). Calizas bioclásticas, calizas arrecifales y calizas margosas. Plioceno inferior-Pleistoceno inferior.  $N_2^1-Q_1$

Aflora con una superficie que ocupa una extensión superior a la de la mitad de la hoja, distribuyéndose principalmente a lo largo de todo su sector central. Los mejores afloramientos, de extraordinaria calidad, se localizan a lo largo de la nueva autovía a

Samaná, aunque el escarpado diseño de los taludes impide en gran medida realizar buenas observaciones. Otros puntos donde han podido ser analizada esta unidad son el cauce encajado del Río Payabo, en el sector central de la Hoja, y al norte de la aldea de Batero, en su extremo suroccidental.

La Unidad Los Haitises se trata de un conjunto calcáreo que constituye los peculiares afloramientos de morfología kárstica de la región de Los Haitises, configurada a modo de denso enrejado en el que alternan profundas dolinas y uvalas con pronunciados montículos (*hums* o *haitises*). La impenetrabilidad de la región dificulta extraordinariamente su estudio fuera de los puntos citados, que queda prácticamente restringido a observaciones puntuales de mala calidad en caminos y carreteras.

En la literatura regional se aprecia una cierta confusión entre los términos calizas de Cevicos y calizas de Los Haitises. Por ejemplo, de acuerdo con Iturralde (2001), al margen de las intercalaciones carbonatadas de la Fm Yanigua, existe un solo conjunto calcáreo para el que parece apropiada la denominación Los Haitises, restringiendo el término calizas de Cevicos (Vaughan *et al.*, 1921) a las intercalaciones carbonatadas superiores.

La unidad presenta una gran uniformidad litológica, que sin duda resulta un importante condicionante de la monotonía observada en el paisaje, rota tan sólo por la presencia de algunos resaltes correspondientes a niveles masivos de espesor decamétrico, como los observables en La Tala de Sánchez, en el sureste de la hoja. Se encuentra afectada por una densa red de fracturación, de orientación preferente NO-SE, condicionante en buena medida del enjambre de dolinas de la región. Debido a la irregularidad de este paleorrelieve, su espesor puede variar considerablemente, pero en algunas zonas próximas a la llanura del Yuna parece sobrepasar los 300 m de potencia.

El contacto con la Fm Cevicos, sobre la que se deposita, es gradual, consistente en la desaparición progresiva de las capas margosas de la unidad infrayacente y la aparición de calizas cristalinas, bioclásticas y arrecifales en bancos progresivamente más potentes. De la misma manera, hacia el Norte es posible comprobar como las facies más finas de la Fm Cevicos se acuña hasta desaparecer en el seno de las calizas que conforman la unidad de los Haitises, aunque este cambio lateral es mucho más sutil que el que tiene lugar entre la Fm Cevicos y Yanigua.

La Unidad Los Haitises aparece como un conjunto heterogéneo de paquetes métricos de calizas grises cristalinas, bioclásticas y arrecifales, y calizas blanquecinas margosas. Las calizas margosas son similares a las descritas en la Fm Cevicos, donde constituyen los depósitos más representativos, si bien dentro de la Und Los Haitises representan una facies menos importantes. Las calizas bioclásticas aparecen como bancos tabulares, masivos, de facies muy heterogéneas, ocasionalmente con estratificaciones cruzadas en surco de media y pequeña escala. Los moluscos son los bioclastos más frecuentes, pero los corales (*Porites*, *Montrastea* y colonias tramosas de *Acropora* y *Stylophora*), briozoos, macroforaminíferos, equinodermos aparecen también muy bien representados. Petrográficamente se han descrito facies de *boundstone* de algas rojas y *packstone-wackestone* bioclásticos. Intercaladas en estas calizas aparecen niveles decimétricos de arenas lutitas, calcáreas, de color negro y olor fétido, ricas en restos vegetales, corales ramosos y foraminíferos bentónicos (*Annulosorites* sp. *Quinqueloculina* sp., *Lagena* sp., *Nonion* sp., *Eponides* sp., *Robulus* sp., *Asterigerina* sp.).

Las calizas arrecifales afloran principalmente a cotas elevadas dentro de la serie. Sólo han podido ser observadas sobre el terreno y muestreadas en el poblado de Los Francisquitos y en algún afloramiento aislado, de mejor acceso, localizado en la autovía, a unos centenares de metros al norte del poblado del Majagual. Están 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 pueden distinguir tres subtipos básicos de construcciones de corales en función de la morfología de las colonias de coral dominante: corales masivos, laminares y ramosos. Los tres subtipos de construcción son fácilmente reconocibles en el campo y, probablemente, representen condiciones ambientales distintas.

Se pueden observar 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. En los armazones, 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 calciruditas, siempre con matriz micrítica. Tienen geometrías lenticulares más o menos acentuadas según la relación espesor/anchura. Los espesores varían de decímetros a

metros y la anchura de metros a decenas de metros. *Porites* es el género de coral predominante en esta subfacies. Son también frecuentes las colonias de *Montastrea* y *Siderastrea*.

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 puntualmente preservarse intactas en posición de vida o volcadas, pero generalmente dan lugar a una acumulación de fragmentos heterométricos de ramas, es decir a una calcirudita 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/packstones/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). Los corales ramosos que forman esta subfacies varían según localidad y niveles, pero tienden a ser monoespecíficos en cada acumulación. Las concentraciones de corales ramosos gruesos, suelen pertenecer al género *Porites*, 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*.

Como en el caso de la Fm Cevicos, las calizas bioclásticas de la Unidad Los Haitises se formaron en ambientes marinos someros de baja turbulencia, de plataforma protegida. Evidentemente, el menor contenido en arcillas refleja una mayor distalidad dentro sus facies dentro del sistema. Las diferencias en el tipo de matriz, con más o menos proporción de barro micrítico entre los bioclastos, corresponden a pequeñas diferencias en la energía con la que se depositó el sedimento. Las frecuentes colonias de coral o pequeñas acumulaciones de fragmentos de corales ramosos registran el crecimiento disperso de colonias pequeños grupos de colonias o pequeños parches arrecifales sobre el fondo plano de la plataforma. Las facies con estratificación cruzada se formaron en partes de la plataforma con mayor agitación por corrientes y representan pequeñas dunas. Por el contrario, la aparición de arenas negras con materia orgánica, moluscos y corales intercaladas en estas calizas, parecen registrar pequeños episodios regresivos y

de colmatación, que vendrían acompañado por la instalación temporal de facies lagunares o restringidas en estas zonas más distales dentro de la plataforma interna.

Las construcciones de coral conformaban arrecifes en la plataforma carbonatada, separando del mar abierto una plataforma interna somera, pero protegida y con baja turbulencia, cuyos depósitos podrían corresponder con las calizas bioclásticas (Figura 2.4). 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.

Considerando en conjunto la Fm Yanigua, la Fm Cevicos y la Unidad Los Haitises, y a partir de la interpretación propuesta para las distintas facies y sus relaciones laterales y verticales, se puede establecer en siguiente modelo sedimentario general (Figura 2.5).

La existencia de pequeños cursos fluviales queda evidenciada por los depósitos de llanura fluvial de escaso volumen. No obstante, la arcilla en suspensión alcanza el cinturón más costero de la plataforma interna. Aquí, con niveles bajos de turbulencia se depositan barros calcáreos, con proporciones diversas de arcilla y bioclastos, en los que habitaban moluscos de diversa naturaleza y colonias dispersas de coral. Estas facies margosas daban paso, aguas afuera, a barros calcáreos sin influencia terrígena, también ocupados por moluscos y colonias de coral, junto a praderas de pequeñas dimensiones de corales ramosos.

Ya en la Unidad Los Haitises, los barros calcáreos pasaban gradualmente, siempre hacia el mar, a calcarenitas bioclásticas, con matriz micrítica, en las que las estratificaciones cruzadas en artesa, de pequeñas dimensiones, ponen de manifiesto que formaron campos de dunas submarinas (bajíos) de poca entidad y, por tanto, bajo la influencia de corrientes débiles. Aunque es difícil de establecer, las construcciones arrecifales observadas en algunas secciones pudieron formar una barrera, necesaria para explicar la baja turbulencia de los medios sedimentarios más internos. Las praderas de corales ramosos se extendían sobre las calcarenitas de los bajíos. No se han reconocido facies

más externas que los arrecifes aunque sí calizas bioclásticas micríticas, probablemente formadas al abrigo de estos sistemas.

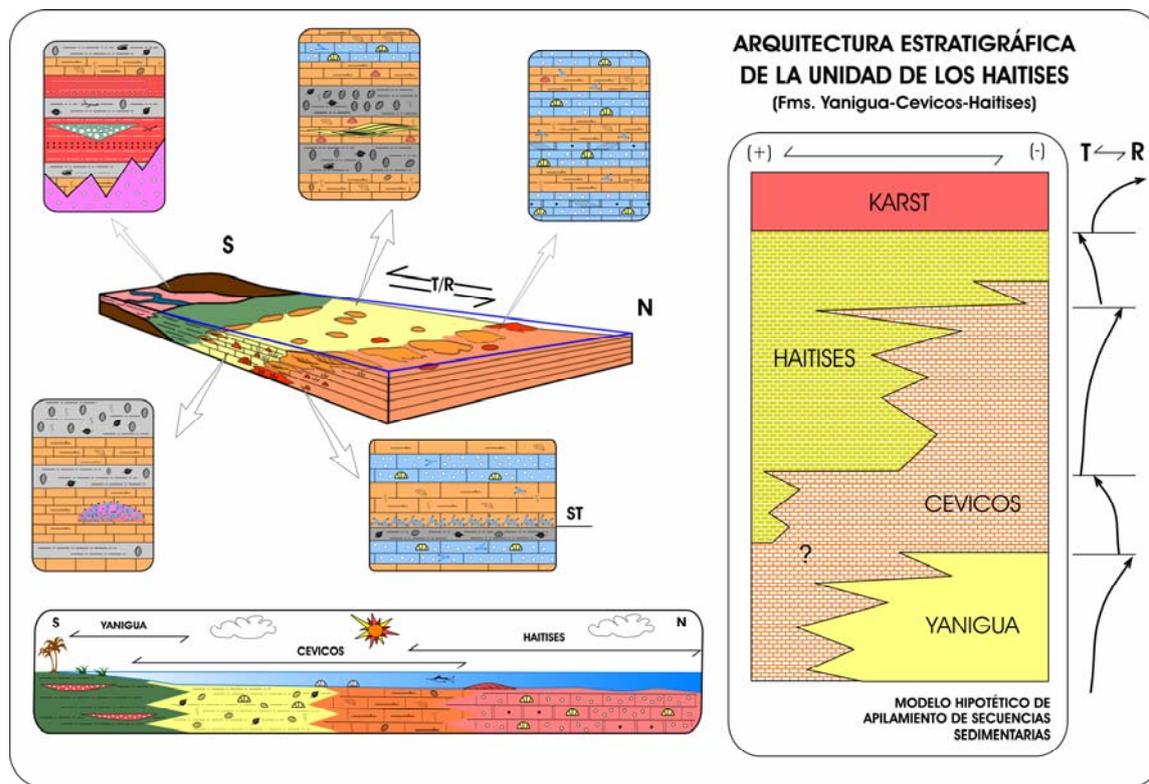


Figura 2.5. Modelo sedimentario propuesto y grupo de apilamiento de secuencias sedimentarias para las unidades de Yanigua, Cevicos y Haitises (modificado de Braga, 2010). ST, Superficie Transgresiva.

Al igual que la Fm Cevicos, la margas y calizas margosa muestreadas en la Unidad Los Haitises dentro de la Hoja de Cevicos ha permitido inferir una edad Mioceno superior-Plioceno. En conjunto, y considerando los diferentes afloramientos y dominios diferentes donde se ha estudiado esta unidad, es bastante problemático acotar con seguridad el intervalo de edad en que se depositaron los materiales de la Und Los Haitises, aunque su edad más probable parece Plioceno.

Para hacer la argumentación lo más clara posible, se exponen a continuación los datos disponibles con valor cronológico (Braga, 2010):

- 1) En base a estudios micropaleontológicos llevados a cabo en las hojas de Sabana Grande, Antón Sánchez y Cevicos conocemos que la Fm Yanigua, infrayacente a la Unidad Los Haitises, posee una edad mínima Mioceno superior-Plioceno inferior

2) En los arrecifes del norte de la Cordillera Oriental y de la Llanura Costera del Caribe, dentro de la Unidad Los Haitises, se ha identificado el taxón *Acropora cervicornis* que aparece por primera vez en el intervalo 5.9–4.6 Ma, es decir Mioceno Terminal-Plioceno Inferior (Klaus *et al.*, 2005).

3) En el techo observable de las construcciones arrecifales de la Unidad Los Haitises en la Llanura Costera del Caribe hay *Acropora palmata* que aparece por primera vez en el intervalo 3.2–2.9 Ma, es decir en el Plioceno superior (Klaus *et al.*, 2005).

4) Dentro de la misma unidad, en los arrecifes del norte de la Cordillera Oriental y de la Llanura Costera del Caribe, hay especies de *Stylophora*, que en el Caribe se extinguen en el Pleistoceno Inferior (Klaus *et al.*, 2005).

5) En una muestra de margas tomada al norte de Ramón Santana, en la hoja de Ramón Santana, en la Llanura Costera del Caribe, la presencia de *Globorotalia margaritae* y *Globorotalia puncticulata*, indica una edad Plioceno Inferior.

Considerando estas dataciones y estableciendo una correlación entre los grandes afloramientos de sedimentos de plataforma considerados en este punto, a este conjunto de materiales se le puede asignar una edad Plioceno inferior-Pleistoceno inferior.

### **2.3. Cuaternario**

Se encuentran bien representados, predominando los depósitos de origen kárstico en la región de Los Haitises y los de origen fluvial-aluvial en el resto de las zonas.

#### **2.3.1. Depósitos continentales**

2.3.1.1. Rellenos de dolinas y poljes (5). Arcillas de descalcificación rojas. Pleistoceno-Holoceno. Q<sub>1-4</sub>

Constituyen los depósitos más característicos de la zona concentrándose en toda la región de Los Haitises, aunque también se han descrito dentro de la Fm Cevicos. En general la disolución vertical se ha detenido al alcanzar el sustrato impermeable integrado por los materiales volcánicos-sedimentarios Cretácicos, los cuerpos intrusivos tonalíticos o los niveles margosos de la Fms Yanigua y Cevicos, produciendo un retroceso lateral del

macizo calcáreo y desarrollándose uvalas por confluencia de varias dolinas y poljes de dimensiones notables.

Son arcillas rojas de aspecto masivo, producto de la descalcificación de los materiales calcáreos por acción de procesos kársticos, que pueden englobar calizas residuales. Los depósitos detríticos se presentan generalmente en grandes caos de bloques y éstos a veces unidos por coladas estalagmíticas. Dentro de este caos destacan los grandes bloques de calizas. Entre los depósitos detríticos aparecen estratos laminados, comunes en la mayoría de las cavidades.

Su espesor debe variar considerablemente según las zonas, en función de la envergadura de los procesos de disolución, pudiendo superar los 3 m.

Su edad está acotada por la del techo de la Fm Los Haitises, por lo que se enmarcan en el Pleistoceno-Holoceno.

2.3.1.2. Abanicos aluviales y conos de deyección (6). Lutitas, arenas y gravas. Pleistoceno-Holoceno. Q<sub>1-4</sub>

Se han diferenciado dos tipos diferentes de abanicos aluviales que se localizan en dos sectores dentro de la Hoja, ambos formados por acumulación de materiales arrastrados procedentes de un curso torrencial.

El primer tipo se encuentran en el extremo suroccidental de la hoja, cerca de la localidad de Cevicos, procedentes de los relieves de la Sierra de Yamasá, ubicada al sur y sureste de la Hoja. Estos depósitos están particularmente bien representados en los valles de los ríos Cevicos, Ara y Payabo. Constituyen un recubrimiento de baja pendiente, de varios metros de espesor, cortado por la actividad erosiva actual de los ríos. La acumulación detrítica esta formada por limos arcillo-arenosos de color entre amarillo-ferruginoso a gris-rosa, con algunos nivelitos de gravas centimétricos, de cantos subredondeados.

En ciertos lugares, se trata de formaciones de color rojo-vivo que contienen pisolitos de hidróxidos de hierro y manganeso, cuyo aspecto es similar a una laterita. No obstante siempre existe una vaga estratificación que indica que no se trata de un paleosuelo *in situ*. Los depósitos se organizan en secuencias granoclasificadas, de espesor centimétrico a decimétrico, en general bien visibles por la erosión y, en particular, en el talud de los caminos que cortan estas formaciones. En los lugares donde están presentes

estos recubrimientos constituyen suelos no consolidados, propicios para el cultivo de piña y cítricos.

El otro conjunto de abanicos y conos de deyección se forman en el límite norte de Los Haitises, orlando el escarpe que delimita el contacto de esta unidad con los materiales de la llanura de inundación del Yuna. Son cuerpos coalescentes, de pequeña extensión y elevada pendiente que se concentran en la confluencia entre barrancos. Esto son activos sólo en momentos de grandes precipitaciones, en los que la carga es transportada cortas distancias desde los relieves que conforman las calizas de Los haitises, perdiendo rápidamente confinamiento y expandiéndose sobre la planicie del Yuna. Están constituidos por sedimentos con proporciones variables de lutitas rojas, arenas y gravas, cuya composición es exclusivamente caliza.

En conjunto, no hay duda de que los más recientes pertenecen al Holoceno, pero no debe descartarse que los más antiguos puedan pertenecer al Pleistoceno.

#### 2.3.1.3. Coluviones (7). Cantos, gravas, arenas y lutitas. Pleistoceno. Q<sub>1-3</sub>

Se encuentran representados sólo en el sector meridional de la hoja. Se forman como respuesta al desequilibrio provocado en las laderas, principalmente por la erosión fluvial en los cauces de los ríos Adra y Payabo o el Arroyo Pirado.

Básicamente, son depósitos caóticos de cantos heterométricos, subangulosos, englobados en una matriz areno-arcillosa de tonos rojizos o pardos, procedente del desmantelamiento de las vertientes, formadas por calizas margosas fácilmente erosionables y, en general, inestables en vertientes de inclinación pronunciada. Su potencia y características internas también son variables, no pudiendo precisarse por ausencia de cortes detallados, aunque se deducen potencias de orden métrico.

En cuanto a su edad, al aparecer en retazos, cementados y erosionados por la red fluvial actual, se le asigna una edad Pleistoceno, pero no se descarta que existan algunas de estas formas con edad Holoceno.

#### 2.3.1.4. Llanura de inundación abandonada (9). Lutitas y arenas muy finas. Holoceno. Q<sub>4</sub>

Se restringe a una porción de terreno que se localiza el extremo nororiental de la hoja, al norte del cauce del Río Yuna, cerca de las aldeas de La Cebolla y Los Cacaos. Las

observaciones sobre el terreno son muy limitadas por la ausencia de buenos cortes, la cobertura vegetal y el escaso desnivel de la zona.

Está formada por lutitas y arenas muy finas, de color pardo oscuro, en ocasiones rojizas, con cantidades variables de restos vegetales y elementos detríticos dispersos en la matriz fina (gravas y cantos redondeados). Pueden aparecer bioturbados por raíces. En ocasiones intercala niveles de turba y capas centimétricas de arenas medias.

Estos depósitos representan la llanura de inundación correspondiente al antiguo cauce del Río Yuna, que ha experimentado sucesivas migraciones y rotaciones a lo largo del cuaternario como consecuencia del levantamiento del *ridge* de San Francisco, estructura de naturaleza transpresiva descrita en las hojas de Villa Arriba y Pimentel. En la actualidad esta zona ha quedado aislada de la dinámica normal del río y sólo llega a inundarse en momentos de precipitaciones extraordinarias.

Tentativamente a estos depósitos se le ha asignado una edad Pleistoceno, aunque podrían ser más reciente. Resulta difícil establecer su edad con precisión ya que se desconoce el momento en que el curso del río migró en su última etapa hacia el este y abandonó su antiguo cauce, de dirección NE-SO.

#### 2.3.1.5. Áreas endorreicas (9). Limos ocres y negros. Holoceno. Q<sub>4</sub>

Están representadas por una pequeña laguna permanentemente inundada que se localiza sobre los materiales impermeables de la parte baja de la Fm Cevicos, en el paraje denominado Sabana Abajo, en el extremo occidental de la hoja. El nivel de sus aguas varía periódicamente en función de las precipitaciones estacionales. Los sedimentos finos que van llegando al lago se van acumulando hasta colmatarlo, formándose barrizales. Su origen se relaciona con la inundación de dolinas o poljes desarrollados en la Fm Cevicos.

Están formadas por limos ocres y negros, con cantidades variables de materia orgánica de origen vegetal. Ha sido imposible realizar observaciones precisas de sus depósitos, por lo que es imposible precisar su espesor y organización interna.

Se le asigna una edad Holoceno.

#### 2.3.1.6. Fondos de valle (10). Arenas, limos y gravas. Holoceno. Q<sub>4</sub>

Son el principal testimonio de la actividad sedimentaria de la red fluvial actual. En general se trata de formas muy estrechas, coincidentes con el canal de estiaje, excepto en algunos tramos de los ríos Cevicos, Adra y Payabo, donde llegan a alcanzar una extensión lateral considerable. Se localizan sobre todo en dos sectores: en la llanura del Yuna, donde numerosos afluentes procedentes del sur alimentan este río; y en el sector suroccidental de la hoja, constituidos por la extensa red de drenaje que definen los ríos antes mencionados y sus arroyos.

Están constituidos por limos y arenas pardas y rojizas, de composición calcárea, ígnea y volcanosedimentaria principalmente, al nutrirse de materiales Cretácicos de la sierra y plio-cuaternarios de Los Hatises. Llegan a presentar un predominio lutítico por transitar por zonas fuertemente alteradas. Los intervalos más arenosos a veces incluyen gravas, en menor ocasiones cantos, todos ellos de subredondeados a redondeados y tamaños muy variables. Aunque no existen cortes que permitan determinar su espesor, sin duda éste puede variar notablemente en función del curso en cuestión, que en los de mayor envergadura podría alcanzar 5 m.

Se le asigna una edad Holoceno.

#### 2.3.1.7. Llanuras de inundación (11). Lutitas y arenas finas, (a) meandros abandonados. Holoceno. Q<sub>4</sub>

Los materiales pertenecientes a la llanura de inundación del río Yuna ocupan la mayor parte de la superficie del norte de la hoja. Están constituidos fundamentalmente por fangos y en menor proporción por niveles arenosos finos que presentan algunos horizontes aislados de granulometrías más gruesas. Su superficie está ocupada en su mayoría por cultivos de arroz y en gran medida aparece intensamente antropizada. Como consecuencia de los relieves correspondientes a la Cordillera Septentrional (*ridge* de san Francisco) localizados al norte de la hoja, la llanura se encuentra ligeramente basculada hacia el sur, lo que provoca que los principales desbordamientos de su cauce tengan lugar en esta dirección

La potencia máxima observable dentro de la hoja es de unos 8 m, pero probablemente es mucho mayor. Dentro de la hoja se pueden apreciar numerosos meandros y cauces abandonados producto de procesos de avulsión del cauce del río. El hecho de que

algunos de estos cauces abandonados sigan lineamientos tectónicos plantea la posibilidad de que el abandono de los cauces haya tenido, al menos en algún caso un cierto control estructural, probablemente a favor de pequeños escarpes de falla presentes en la llanura aluvial que podrían encauzar las avulsiones. Algunas de estas fracturas, varias de una gran longitud lateral, han podido ser deducidas del mapa aeromagnético.

Se le asigna una edad Holoceno.

#### 2.3.1.8. Áreas pantanosas (12). Lutitas ricas en materia orgánica. Holoceno. Q<sub>4</sub>

Varios sectores situados al norte de la plataforma de los Haitises han sido agrupados bajo esta denominación. Se concentran sobre todo en el extremo noroccidental y nororiental de la hoja, en los parajes conocidos como Ciénaga El Junco, Caño Pontón, Arroyo Guaraguao, Sabana del Limón, El Barraquito, Sabana del Medio y Sabana del Cecado. Todas ellas están localizadas entre la rivera sur del Río Yuna y los afloramientos calizos de Los Haitises.

Se forman en zonas deprimidas, de sustrato impermeable, donde se produce un gran aporte de agua desde los manantiales que emergen de los Haitises y donde no existe un sistema de drenaje lo suficientemente efectivo como para vaciarlas. Este proceso de encharcamiento se encuentra acentuado por el ligero basculamiento de la llanura del Yuna hacia el sur, que dificulta aún más el vaciado de las depresiones.

Los depósitos están representados, esencialmente, por limos y arcillas negras, empapadas de agua y muy ricos en materia orgánica.

Se le asigna una edad Holoceno y son muy activas en la actualidad.

### **3. PETROLOGÍA Y GEOQUÍMICA DE LAS UNIDADES ÍGNEAS**

Se incluyen en este capítulo las descripciones petrográficas y geoquímicas de los principales litotipos de las unidades ígneas intrusivas representadas en la Hoja de Cevicos dentro de la Fm Los Ranchos, cuyas principales características ya se presentaron en el capítulo dedicado a la estratigrafía. A continuación se exponen los resultados de los estudios geoquímicos realizados en ellas a partir de análisis propios (Escuder-Virueite, 2010a y 2010b) o complementados con otros ya existentes.

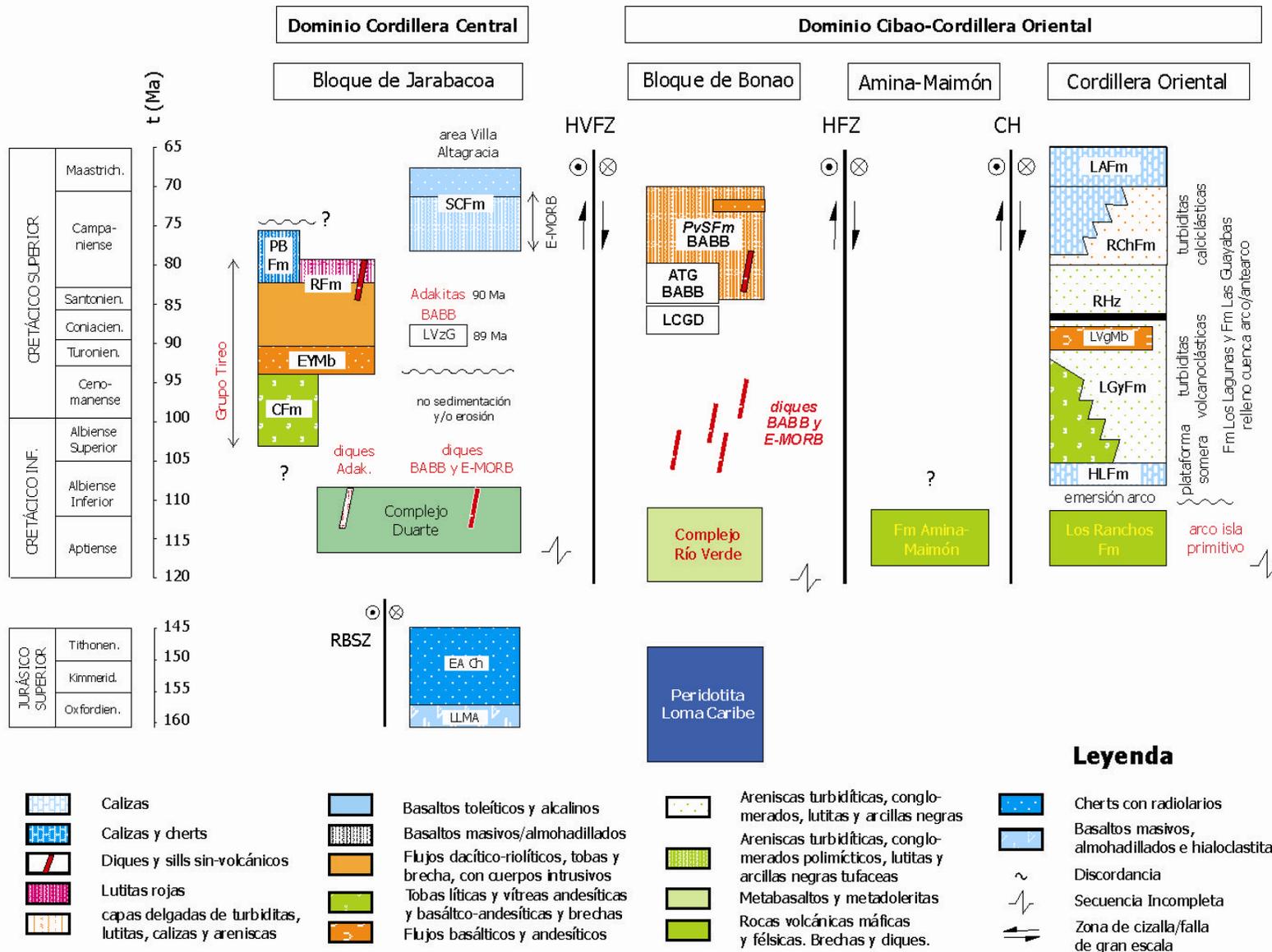
#### **3.1. Introducción**

Localizada en el borde norte de la placa Caribeña, la geología de La Española resulta de la convergencia oblicua OSO a SO del margen continental de la placa de Norteamérica con el sistema de arco isla Cretácico caribeño, la cual se inició en el Eoceno-Mioceno Inferior y continúa en la actualidad (Donnelly *et al.*, 1990; Mann *et al.*, 1991; Draper *et al.*, 1994). Las rocas del arco están regionalmente cubiertas por rocas sedimentarias siliciclásticas y carbonatadas de edad Eoceno Superior a Plioceno, que postdatan la actividad magmática del arco isla y registran la colisión oblicua arco-continente en el norte, así como la subducción activa en el margen meridional de la isla (Dolan *et al.*, 1998; Mann, 1999).

El dominio del Cibao-Cordillera Oriental está principalmente compuesto por las unidades del arco isla primitivo del Cretácico Inferior y sus equivalentes metamórficos deformados, así como por las secuencias de relleno de las cuencas sedimentarias de intra y antearco en el Cretácico superior (Figura 3.1; Draper and Lewis, 1991; Kesler *et al.*, 1990, 2005; Lebrón y Perfit, 1994; Lewis *et al.*, 2000, 2002; Escuder-Virueite *et al.*; 2006, 2007b). El dominio está limitado estructuralmente al suroeste por la zona de falla de La Española (ZFH) y la zona de falla de Hato Viejo (ZFHV). Las unidades volcánicas y metavolcánicas de arco son las Formaciones de Los Ranchos, Maimón y Amina, junto al Complejo Río Verde; las unidades sedimentarias de intra- y antearco son las Formaciones de El Hatillo, Las Guayabas y Las Lagunas.

#### **3.2. Petrología de la Formación Los Ranchos**

La Formación Los Ranchos forma parte del denominado primitivo arco isla Caribeño de edad Cretácico inferior (Donnelly *et al.*, 1990; Kesler *et al.*, 1990a, 1990b; Jolly *et al.*, 1998; Lewis *et al.*, 2000, 2002; Schellekens., 1998; Escuder Virueite *et al.*, 2006).



Donnelly *et al.* (1990) utilizó el término primitivo para describir la Formación Los Ranchos y series volcánicas Caribeñas similares que: (1) fueron formadas en los estadios tempranos de la evolución del arco isla; (2) no resultan de la diferenciación de ningún otro grupo de magma; y (3) no fueron enriquecidas en LILE durante su petrogénesis. Actualmente los términos de la Formación Los Ranchos son referidos como andesitas y dacitas, en base a la naturaleza de los fenocristales y la geoquímica de roca total. Estos autores describen una distribución en sílice bimodal en las rocas volcánicas, con máximos en los campos correspondientes a andesitas basálticas y dacitas.

### 3.2.1. Petrología de las tonalitas intrusivas en la Fm Los Ranchos

Regionalmente, la Formación Los Ranchos comprende una potente secuencia de rocas volcánicas y volcanoclásticas de características geoquímicas variadas, intruida por batolitos tonalíticos, plutones gabróico-dioríticos y diques máficos. En el área de Cevicos-Michés de la Cordillera Oriental, han sido definidas tres unidades cartográficas (Monthel *et al.*, 2004), cuya definición más formal resulta por el momento problemática: la unidad basáltica inferior, la unidad riodacítica intermedia y La unidad basáltica superior. Sin embargo, también parecen estar al menos representadas en el sector de Cotuí-Hatillo.

La Formación Los Ranchos está intruida por los batolitos tonalíticos de Cotuí, Sabana Grande, Antón Sánchez y El Valle, pequeños plutones gabróico-dioríticos individuales, que composicionalmente también forman facies de borde en los batolitos, y varios tipos de cuerpos ácidos y de diques máficos. Los batolitos tonalíticos carecen de foliación magmática. Los principales tipos petrográficos reconocidos en ellos son tonalitas con hornblenda±biotita, de grano grueso a medio, isótropas; dioritas con clinopiroxeno-hornblenda de grano fino, y cuarzo-dioritas con hornblenda de grano fino. Localmente, las tonalitas contienen enclaves de dioritas con hornblenda alineados.

---

Figura 3.1. Columna tectonoestratigráfica/litogeoquímica esquemática de los dominios de la Cordillera Central y del Cibao-Cordillera Oriental, así como de los bloques tectónicos que los componen, en los que se incluye la zona estudiada (Escuder *et al.*, 2007, 2008 y en prensa). TG, Grupo Tireo; CFm, Formación Constanza; RFm, Formación Restauración; PBFm, Formación Peña Blanca; EYmb, Miembro El Yujo; LVzG, Gabros de Los Velázquez; SCFm, Formación Siete Cabezas; LCGD, gabros/doleritas intrusivos en Loma Caribe; PvSFm, Formación Peralvillo Sur; ATG, Gabros de Arroyo Toro. SCFm, Formación Siete Cabezas; HLFm, Formación Calizas Hatillo; LGyFm, Formación Las Guayabas; LVgMb, Miembro Loma La Vega; RHZ, Horizonte Radiolarítico; RChFm, Formación Río Chavón; LAFm, Formación Loma de Anglada. Rangos de edades en los bloques de Jicomé y para LVzG y LCG son de Escuder Viruete *et al.*, (2006a, 2007b, 2008) y Joubert *et al.* (2004). Adak, adakititas; LMSZ, zona de cizalla de La Meseta; HMA, andesitas ricas en Mg; NEBA, basaltos y andesitas ricas en Nb; BABB, doleritas y gabros de tipo *back-arc basin*. Las abreviaciones del recuadro son: HFZ, zona de falla de La Española; BGFZ, zona de falla de Bonao-La Guácara; SJRFZ, zona de falla de San José-Restauración; zona de cizalla de La Meseta (LMSZ), zona de falla de Río Guanajuma (RBSZ), zona de falla de Hato Viejo (HVFZ), y Cabalgamiento de El Hatillo (CH).

En la hoja de Cevicos, el principal y único tipo petrográfico estudiado en la Formación Los Ranchos son los batolitos de tonalitas que intruyen los materiales volcánicos. Se trata de rocas plutónicas de composición tonalítica, mineralógicamente compuestas por plagioclasa, cuarzo, hornblenda y en ocasiones biotita como accesorio. Las texturas son isótropas, heterogranulares seriadas desde el grano medio hasta el grano grueso. En estas tonalitas no se observan fábricas magmáticas ni deformativas. Sin embargo, a menudo están afectadas por una alteración pervasiva hidrotermal, que reemplaza y recrystaliza completamente la asociación mineral ígnea.

Al microscopio, las tonalitas están compuestas por un agregado de grandes granos de cuarzo y plagioclasa, microdominios ricos en pequeñas hornblendas, plagioclasa y opacos, y agregados de cuarzo de carácter intersticial. Carecen de feldespato-K. El anfíbol es una hornblenda verde, poco pleocrómica, que forma pequeños prismas entre subidio y alotriomorfos, y agregados de pequeños granos. Ocasionalmente posee inclusiones relictas de clinopiroxeno augítico. El anfíbol aparece variablemente reemplazado por clorita, epidota, actinolita y opacos. La plagioclasa forma prismas tabulares heterogranulares y agregados intercrecidos, de composición oligoclasa a albita, con zonado normal y oscilatorio, con inclusiones de pequeñas hornblendas y opacos, y recrystalizada en parches y bordes a albita. Esta reemplazada a agregados de epidota, prehnita, sericita, esfena y opacos, que también aparecen como rellenos de grietas. El cuarzo forma grandes granos globosos de varios milímetros de diámetro, con extinción ondulante y bandas de subgranos, y agregados intersticiales limpios y libres de deformación. En estas rocas la biotita aparece a menudo completamente cloritizada.

### 3.3. Geoquímica de la Fm Los Ranchos

Definidas por Donnelly *et al.* (1990), las rocas volcánicas del Primitivo arco-isla Caribeño (PIA) consisten predominantemente de basaltos toleíticos espilitizados y lavas dacítico-riolíticas. Los basaltos del PIA contienen típicamente abundancias bajas en LILE (*large-ion lithophile elements*), REE (*rare earth elements*) y HFSE (*high field strength elements*), contenidos bajos en Pb radiogénico, y un patrón de REE subhorizontal al normalizarse con respecto al manto primitivo (Jolly *et al.*, 2001, 2006b, 2007; Kerr *et al.*, 1999; Lewis *et al.*, 2000, 2002; Marchesi *et al.*, 2006; Escuder-Viruete *et al.*, 2006, 2008, 2009).

Rocas volcánicas relacionables con el PIA son los clastos de rocas del PIA en las rocas sedimentarias pre-Camujiro en las proximidades de la provincia de Camagüey y las Formaciones de Los Ranchos, Maimón y Amina en las Cordilleras Central y Oriental de

La Española (Draper and Lewis, 1991; Kesler *et al.*, 1990, 2005; Lebrón and Perfit, 1994; Escuder-Virujete *et al.*, 2006). Las investigaciones geoquímicas más recientes revelan que las rocas máficas del PIA y las Formación Los Ranchos (Escuder-Virujete *et al.*, 2006), Maimón (Lewis *et al.*, 2000, 2002) y Amina (Escuder-Virujete *et al.*, 2007b) son regionalmente comparables y de composición toleítica de arco-isla (IAT), variablemente empobrecidas en Ti y LREE, y boninitas. Las características temporales de la serie de rocas máficas del PIA indican un contexto de suprasubducción durante los primeros estadios de desarrollo del arco isla Caribeño en el Aptiense a Albiense Inferior (Escuder-Virujete *et al.*, 2006). En La Española, la Formación Hatillo, constituida por calizas arrecifales de la parte alta del Albiense Inferior (Myczynski y Iturralde-Vinent, 2005), se dispone discordante sobre la Formación Los Ranchos.

En un diagrama normalizado a N-MORB, todas las rocas volcánicas máficas de la Formación Los Ranchos se caracterizan aumento de los LILE y LREE relativo a los HFSE y HREE (Figuras 3.2 y 3.3), típico de magmas relacionados con subducción. Todas ellas presentan una pronunciada anomalía negativa de Nb y Ta (respecto al Th y La), y el patrón de HREE es plano. En detalle, rocas con similar Mg# revelan una considerable variación tanto de abundancia de trazas como su distribución en el diagrama multielemental (Figura 3.2). En base al contenido en Ti y los valores de las relaciones entre elementos incompatibles, las rocas volcánicas máficas de la Formación Los Ranchos pueden ser divididas en tres grupos geoquímicos (Escuder Virujete *et al.*, 2006, 2007): toleitas de arco isla IAT, o grupo I; toleitas de arco isla empobrecidas en Ti y LREE, o grupo II; y boninitas, o grupo III. Un grupo IV es asignado a las rocas volcánicas ácidas, que incluye las muestras de los batolitos tonalíticos de la Hoja de Cevicos.

### 3.3.1. Geoquímica de los intrusivos relacionados con la Formación Los Ranchos

Colectivamente, las rocas volcánicas ácidas de la Formación Los Ranchos y las tonalitas que forman los batolitos son clasificadas como dacitas y riolitas en el diagrama catiónico Fe+Ti-Al-Mg (Figura 3.4), siguiendo una tendencia toleítica. Presentan valores de las relaciones Th-Yb y Y-Zr indicativos de una afinidad toleítica y transicional (Barrett y MacLean, 1999). El carácter cumulativo de la plagioclasa cálcica observado en láminas delgadas de las tonalitas, da lugar a una alta relación CaO/CaO+Na<sub>2</sub>O (y mayor Mg#, 36-28) en estos intrusivos que en las rocas volcánicas ácidas (Mg#=29-10). Todas estas rocas ácidas son pobres en K (K<sub>2</sub>O<0,94% en las tonalitas), TiO<sub>2</sub> (0,56-0,18%), P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (<0,1%) y Zr, respecto a las típicas rocas ácidas calco-alcalinas.

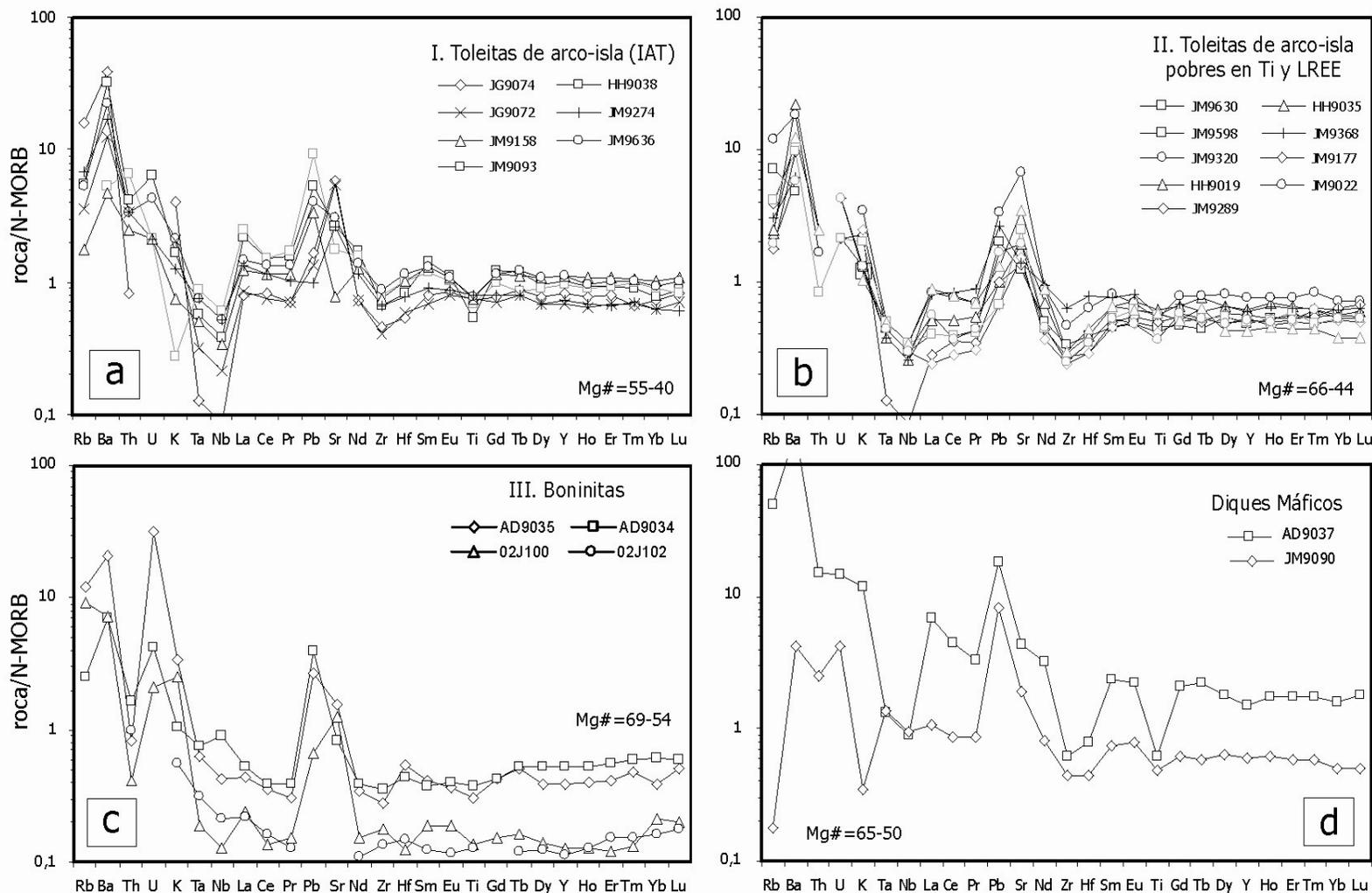


Figura 3.2 (a, b, c y d). Diagramas de elementos traza normalizados respecto a N-MORB (Sun y McDonough, 1989) para las rocas máficas de la Formación Los Ranchos y diques máficos relacionados.

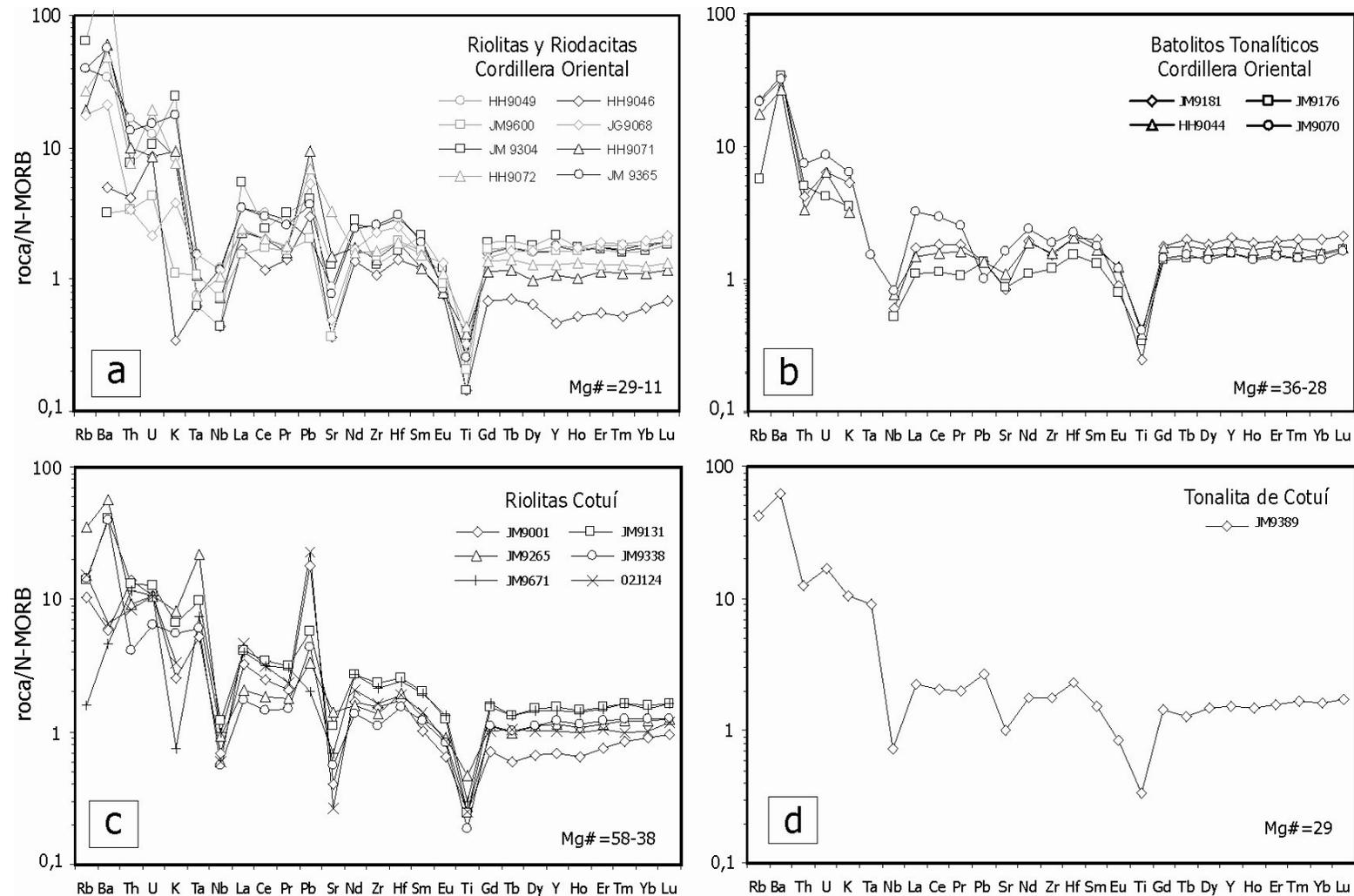


Figura 3.3 (a, b, c y d). Diagramas de elementos traza normalizados respecto a N-MORB (Sun y McDonough, 1989) para las rocas félsicas de la Formación Los Ranchos y batolitos tonalíticos relacionados.

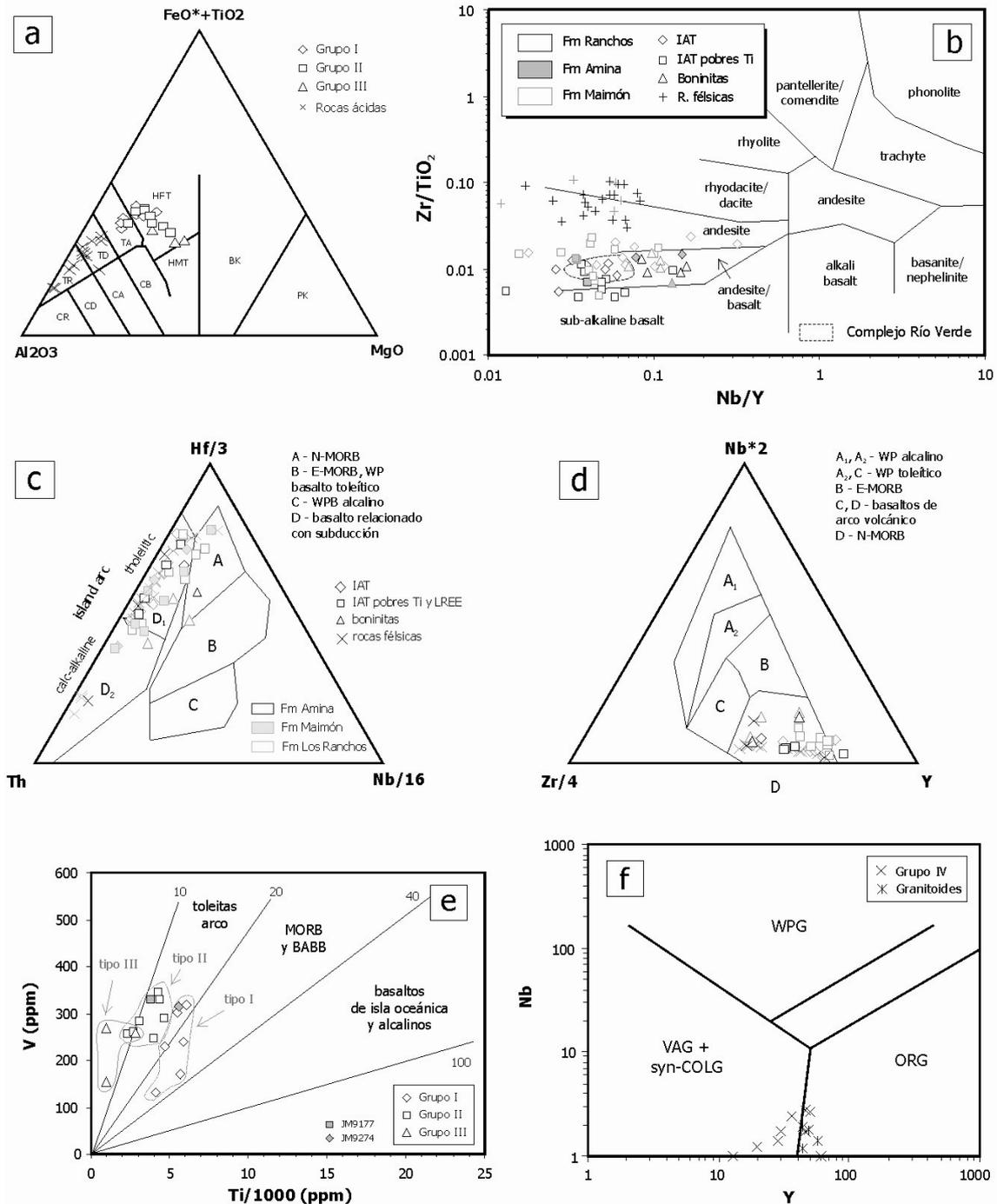


Figura 3.4. Formación Los Ranchos. (a) Diagrama triangular de Jensen (1976); (b) Diagrama Nb/Y frente a  $Zr/TiO_2$  mostrando los campos composicionales del Complejo Río Verde; (c, d) Diagramas de Wood (1980); (e) Diagrama Ti-V de Shervais (1982); y (f) Diagrama Y-Nb de Pearce (1983).

Las rocas volcánicas y las tonalitas presentan una distribución de REE plana o ligeramente empobrecida en LREE muy similar (respecto al manto primordial), lo que también sugiere una relación genética entre ellas; es decir, las rocas volcánicas ácidas son los equivalentes extrusivos de los batolitos tonalíticos. Las riodacitas y riolitas tienen valores de la relación  $[La/Yb]_N=0,7-1,9$  y las tonalitas y cuarzo-dioritas  $[La/Yb]_N=0,4-1,4$ .

Por lo tanto, carecen del típico moderado a fuerte enriquecimiento en LREE de las rocas ácidas calco-alcalinas y son interpretadas como de afinidad toleítica.

Aunque la composición de elementos mayores de estas rocas es similar a la de los plagiogranitos formados en centros de apertura oceánica, en los diagramas de discriminación tectónica las muestras caen entre los campos de granitos de arco volcánico y de dorsal oceánica (VAG y ORG en la Figura 3.4, Pearce *et al.*, 1984). La afinidad VAG es compatible con la anomalía negativa en Nb en los diagramas de multielementales, característica de rocas de arco. Los valores de  $(\epsilon_{Nd})_i$  varían entre +9,0 y +9,6, siendo indicativos de una fuente mantélica empobrecida con un largo período de empobrecimiento de LREE.

El volcanismo en arcos intraoceánicos con un alto contenido en SiO<sub>2</sub> (>70%) y bajo en K, es generalmente interpretado como producto de la fusión parcial profunda de rocas máficas (Drummond y Defant, 1990; Smith *et al.*, 2003; Tamura y Tatsumi, 2002). La ausencia de composiciones ricas en Sr y empobrecidas en HREE típicas de magmas adakíticos (Defant y Drummond, 1993; Martin, 1999), descarta un origen para los magmas ácidos a partir de la fusión de la lámina que subduce. Los procesos de fusión por deshidratación del material que forma la corteza inferior del arco, como los propuestos para el arco de Kermadec (Smith *et al.*, 2003), pueden generar por anatexia cortical el magmatismo ácido durante el desarrollo de un arco intraoceánico. Esto es compatible con la ausencia de rocas volcánicas de composiciones intermedias en la Formación Los Ranchos.

## 4. TECTÓNICA

### 4.1. Introducción

La isla de La Española forma parte del archipiélago de las Antillas Mayores, que forman el segmento septentrional de una cadena de arcos de isla que circunda la Placa del Caribe desde Cuba hasta Venezuela. Desde el punto de vista geodinámico, esta región está ubicada en el límite norte de una pequeña placa, la Placa Caribeña que desempeña el papel de una zona de convergencia entre la Placa de América del Norte, la Placa de América del Sur y las pequeñas placas del Pacífico este: las Placa Cocos y Placa Nazca (Figura 4.1).

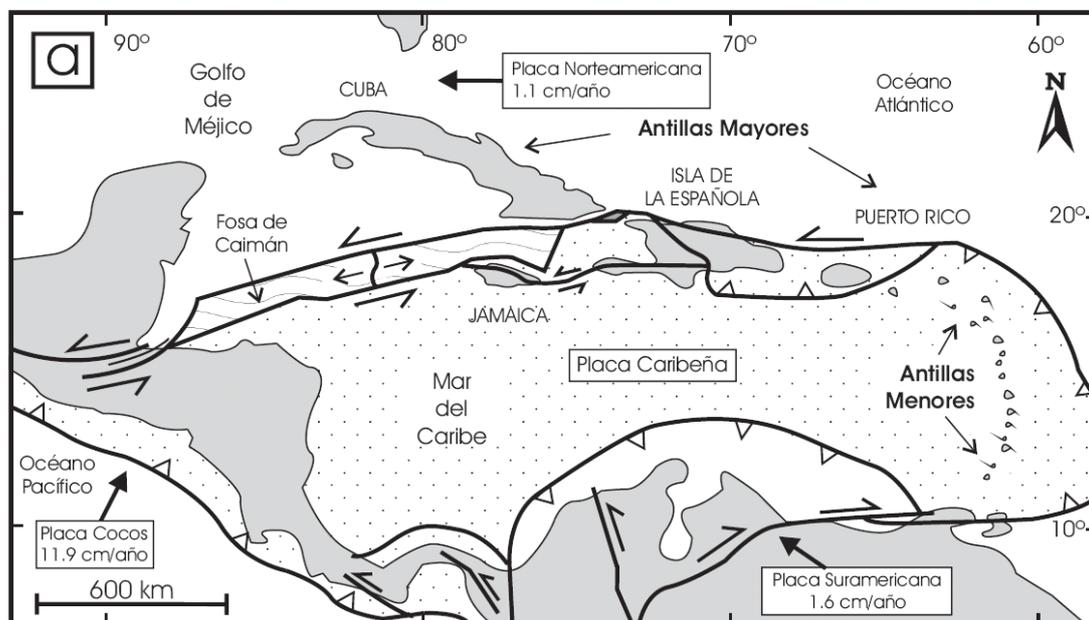


Figura 4.1. Posición de la Placa Caribe. La Isla de La Española está situada sobre la zona activa de desgarre senestral que separa las placas norteamericana y caribeña (Lewis *et al.*, 2002).

Es la segunda isla en extensión de las Antillas Mayores. Entre las denominaciones más habituales para referirse a esta cadena están las de Gran Arco del Caribe (Mann *et al.*, 1991b) o Arco de Isla Circum-Caribeño (Burke 1988). Conjuntamente con Puerto Rico, constituye una unidad que puede interpretarse como una microplaca, limitada al Norte por una zona de subducción con desplazamiento oblicuo a su traza, y al Sur, por otra zona de subducción incipiente a la que se asocia la Fosa de los Muertos (Byrne *et al.*, 1985; Masson y Scanlon, 1991). El margen Norte de la Placa del Caribe ha evolucionado desde constituir un límite controlado por subducción en el Cretácico y parte del Eoceno (Figura 4.2), a ser hoy, tras la colisión de esta placa con la plataforma de las Bahamas (Colisión

Arco-Continente), un límite dominado en gran parte por desplazamientos en dirección de carácter senestro, que acomodan el desplazamiento hacia el Este de la Placa del Caribe en relación con Norteamérica (Mann *et al.*, 1991b).

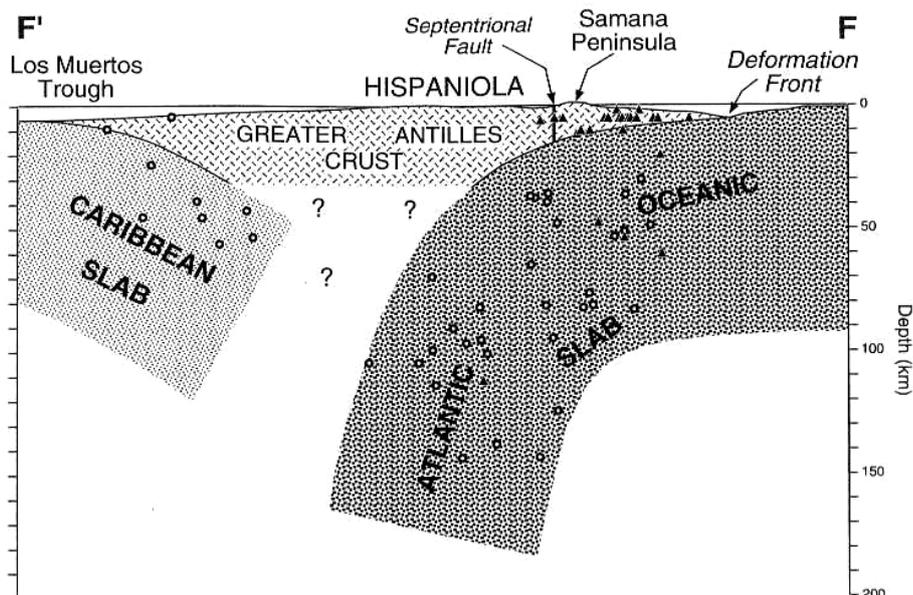


Figura 4.2. Corte interpretativo que permite visualizar las relaciones entre La Isla de La Española y las placas Norteamericana y Caribeña (Dolan J.F. *et al.*, 1998).

La subducción intraoceánica durante el Cretácico inferior, en los terrenos actualmente situados al Norte de la Falla de La Española, una gran falla de desgarre que separa los dominios de Amina-Maimón y de la Cordillera Central, daría lugar a la formación de un arco isla primitivo, durante el Aptiense-Albiense (Draper *et al.*, 1996), así como un cambio composicional desde series N-MORB hacia series toleíticas (Lewis *et al.*, 1995). En el Cretácico Superior, en los terrenos situados al Sur de la Falla de la Española, la subducción hacia el Sur produce un importante magmatismo que da lugar por una parte a un nuevo arco volcánico (Arco II, representado por la Formación Tireo) y numerosas intrusiones gabro-diorítico-tonalíticas, así como un engrosamiento de la corteza oceánica y formación de una meseta oceánica con una edad equivalente a la de la Meseta Caribeña (Lewis *et al.*, 2002). Las rocas ígneas del segundo arco volcánico (“Arco II”) pertenecen a series toleíticas de arco primitivo pasando en el tiempo a series calco-alcalinas, típicas de un estadio más maduro, con gran espesor de la corteza.

La colisión con la plataforma de Las Bahamas, con componente oblicua, comenzó en el Eoceno medio en Cuba (Pardo, 1975) y terminó en el Oligoceno inferior en Puerto Rico (Dolan *et al.*, 1991).

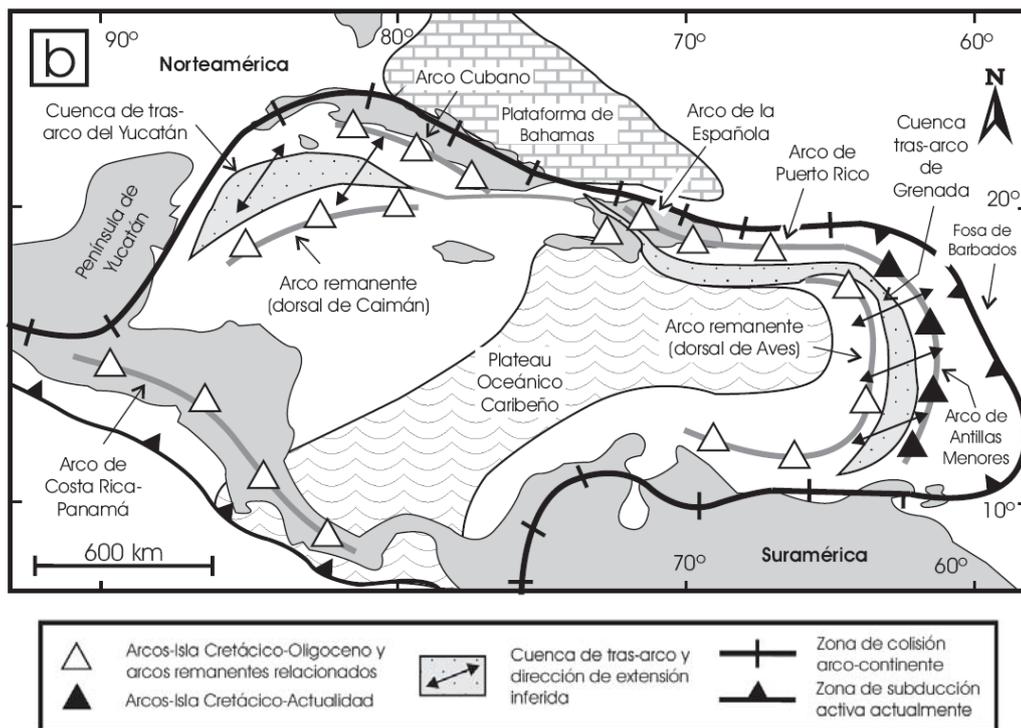


Figura 4.3. Principales elementos tectónicos del sistema de arco-isla circum-caribeño de edad Cretácico Superior – Eoceno. (Lewis J.F. *et al.*, 2002).

#### 4.2. Contexto geodinámico y estructura general de la Cordillera Oriental

La Cordillera Oriental se extiende Este-Oeste, con una longitud de unos 135 kilómetros y una anchura de unos 35 kilómetros, en el área adyacente a la costa sur de la Bahía de Samaná (Figura 2.1). El límite norte de la Cordillera es la Falla Meridional de la Bahía de Samaná que forma 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). Al Oeste se halla separada de las rocas cretácicas que forman el Cinturón Intermedio por el cabalgamiento de Hatillo (Bowin, 1966). Hacia el Sur los relieves de la Cordillera Oriental disminuyen su altura y las rocas plegadas que la forman son cubiertas en discordancia por calizas arrecifales de edad plio-cuaternaria.

La evolución tectónica y sedimentaria de esta cordillera se contempla en un contexto de subducción y colisión oblicua entre el borde norte de la placa del Caribe y la plataforma de las Bahamas (Burke *et al.*, 1978). Un corte geológico sintético a través del límite de placas (Figura 4.4) sitúa la Cordillera Oriental como un gran bloque volcánico-plutónico de edad cretácica adyacente a las fallas E-O que limitan la cuenca de la bahía de Samaná, rellena por 2900 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 y diferente de las rocas del complejo metamórfico que forma la península de Samaná. La fosa entre la península de Samaná y el banco de Navidad está situada en el límite entre la placa del Caribe y la placa Norteamericana, como demuestra la actividad sísmica concentrada al sur de la fosa (Dolan *et al.*, 1998).

A escala regional, la Cordillera Oriental es un gran antiformalismo ONO-ESE, que cierra hacia el este, definiendo una amplia zona de charnela (Figuras 4.4 y 4.5). En el núcleo del antiformalismo están expuestas las rocas del Cretácico Inferior y los granitoides intrusivos, mientras que las rocas del Cretácico superior forman las capas externas. El flanco norte del antiformalismo está cortado por la falla meridional de la bahía de Samaná. Esta estructura, relativamente sencilla, está complicada por pliegues y fallas de superficie axial casi vertical con cizallas de salto en dirección y componentes inversos y normales. Los pliegues dominan en las series estratificadas del Cretácico superior y se acusan menos en la pila de rocas volcánicas de la formación Los Ranchos y en los granitoides intrusivos del núcleo del antiformalismo, que se hallan principalmente fracturados. La fracturación es más evidente en la cobertera de calizas plio-pleistocenas (calizas de los Haitises) que cubre a la Fm Los Ranchos como, por ejemplo, pasa en la Hoja de Cevicos (Figura 4.5).

Fuera del área de culminación antiformal, la Fm Los Ranchos aflora en un área reducida al oeste del pueblo de Miches. Ambos afloramientos están separados por la falla NO-SE del Yabón, activa desde el terciario como una falla en dirección levógira (Hernández, 1980; Bourdon, 1985). Esta falla produce una marcada señal en el mapa geomagnético (Figura 4.6) y tiene asociadas protrusiones (intrusiones tectónicas) de rocas ultramáficas de origen mantélico emplazadas en el Cretácico superior. Se trata por tanto de una falla de desgarre que ha evolucionado a partir de una falla cortical en la cuenca de ante-arco. La existencia de fallas con larga historia de actividad es también descrita por Draper G. *et al.* (1996) en el área de deformación intensa limitada al NE por el cabalgamiento de Hatillo.

Estos autores consideran una fase de deformación por cabalgamientos de edad Cretácico medio, previa a la sedimentación de la Formación de 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 Formación Los Ranchos bajo la Caliza de Hatillo. La discordancia angular entre ambas formaciones resulta más bien compatible con una elevación vertical o una suave contracción longitudinal.

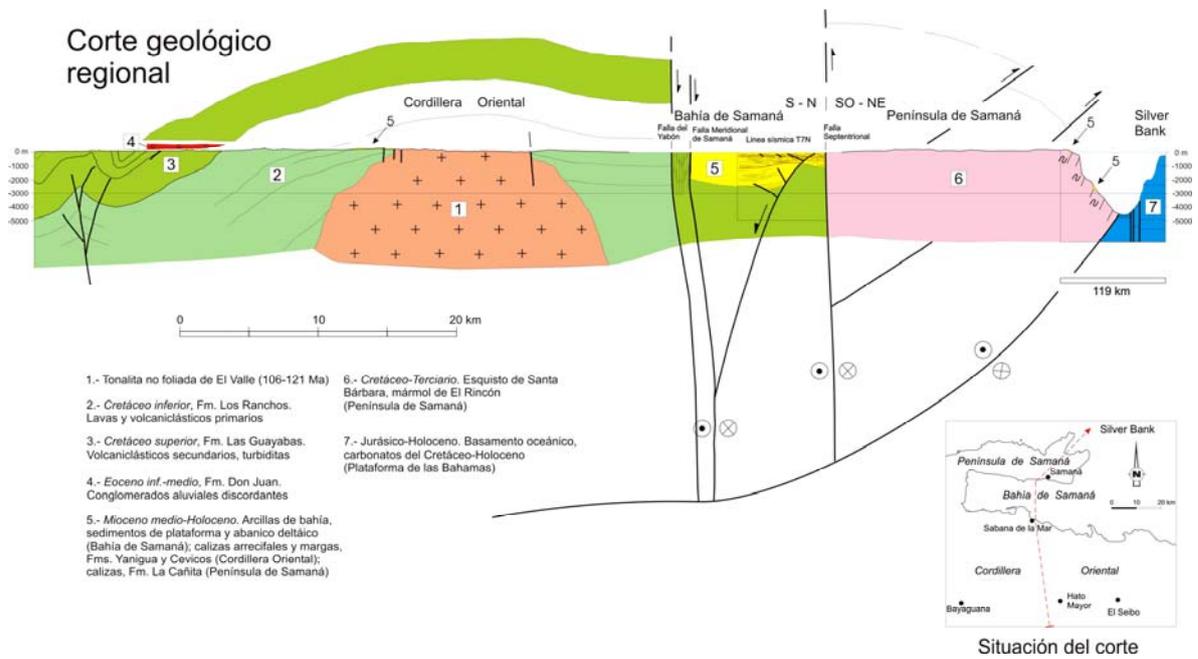


Figura 4.4. Corte geológico regional entre la Cordillera Oriental Dominicana y la plataforma de las Bahamas (García-Senz *et al.*, 2007). La interpretación de la línea sísmica T7N es de Edgar (1991), y se ha migrado usando los datos de velocidad del citado autor. El límite de placas marcado por focos de terremotos y la línea sísmica 12 se han extraído de Dolan J.F. *et al.* (1998). El perfil muestra la Fm Los Ranchos y la tonalita en el núcleo de la Cordillera, elevados sobre la placa subducida y erosionados por la Fm Don Juan (discordancia pre-Eoceno) y las fallas transformantes terciarias que limitan la Bahía de Samaná.

En la actualidad, el borde norte de La Española es una zona activa de cizalla, 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. La actividad neotectónica en la Cordillera Oriental es evidente en la elevación del arrecife plio-cuaternario, que originalmente se extendía de costa a costa en el Este de la isla y actualmente presenta un relieve estructural superior a 400 metros.

El plegamiento del arrecife es pasivo, adaptado a la componente vertical de movimiento de fallas de desgarre ONO-ESE y NE-SO. Entre los rasgos geomorfológicos destacan la superficie de erosión argilitizada 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 norte adyacente al máximo relieve de la Cordillera.

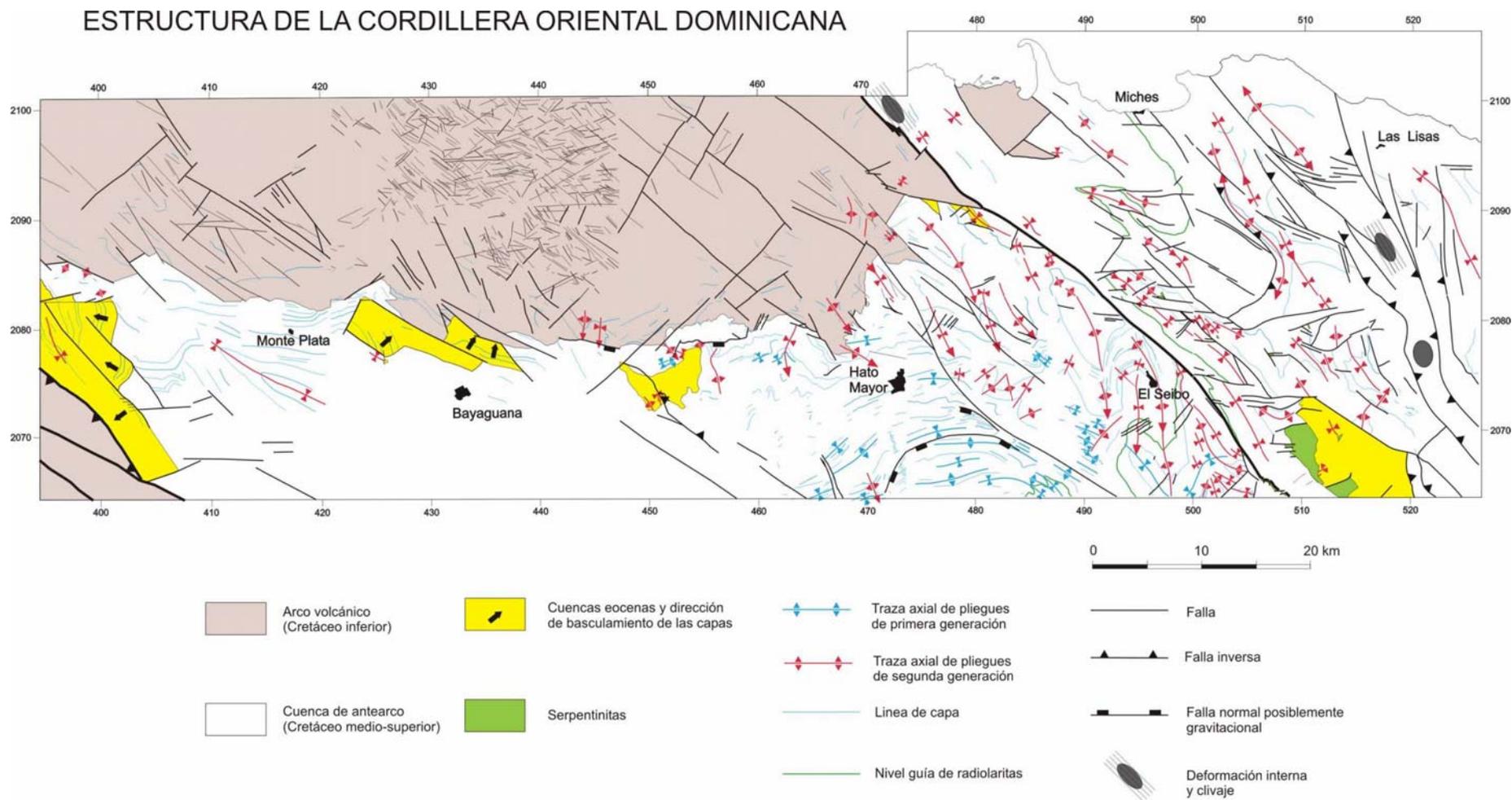


Figura 4.5. Mapa tectónico de la Cordillera Oriental Dominicana con los principales elementos estructurales (García Senz *et al.*, 2007).

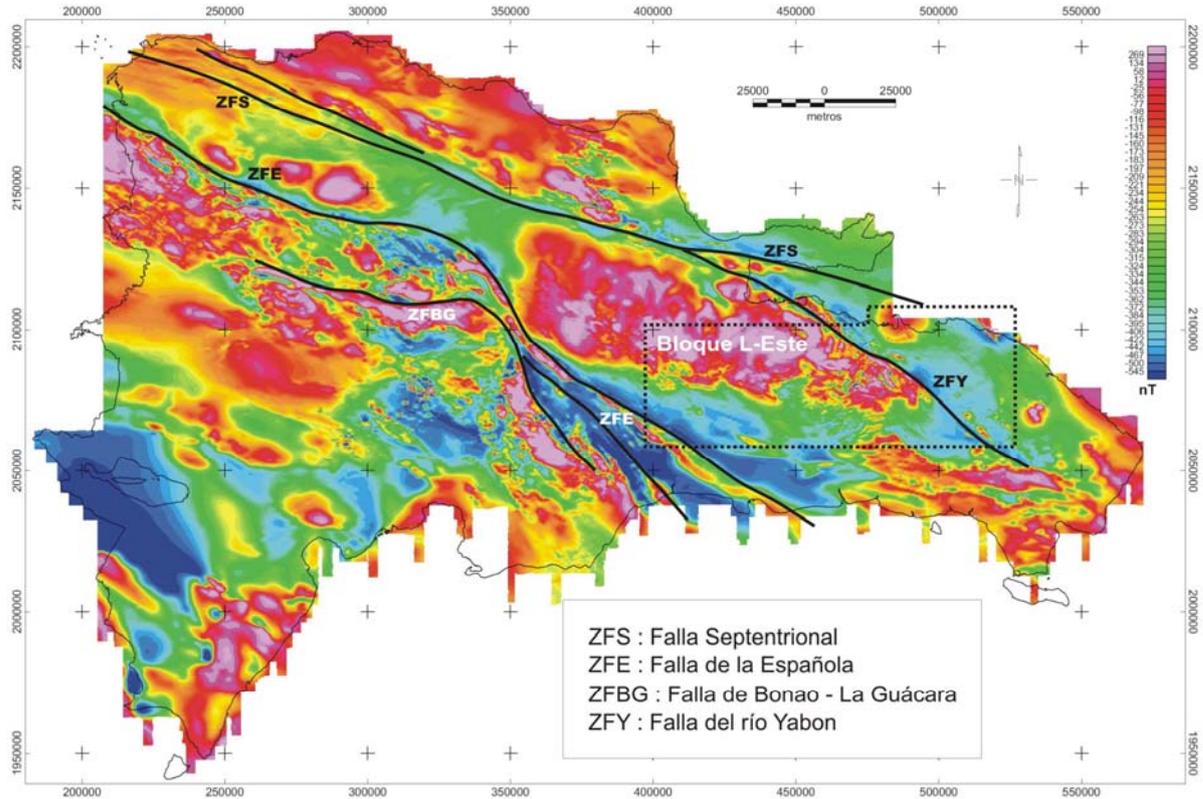


Figura 4.6. Campo magnético total reducido al polo y localización de las principales zonas de falla de la República Dominicana. ZFS, Zona de Falla Septentrional; ZFE, Zona de Falla de La Española; ZFY, Zona de Falla del Yabón (García-Senz *et al.*, 2007). En la figura se especifican la extensión de terreno cartografiado en el transcurso del Proyecto SYSMIN-L.

### 4.3. Estructura de la Hoja de Cevicos

La Hoja de Cevicos está localizada en el límite NO de la Cordillera Oriental. Se distinguen al menos 3 unidades morfológicas y estructurales: una pequeñísima parte de la sección meridional de la Hoja está constituida por la tonalitas que intruyen en la Fm Los Ranchos; los terrenos localizados en el sector central y suroriental de la Hoja se corresponden con la plataforma de los Haitises y sus equivalentes laterales, las Fms Cevicos y Yanigua; por último, el valle aluvial del río Yuna, al norte, se relaciona con el rellano cuaternario de la depresión de Cuenca del Cibao. La descripción y análisis de las estructuras descritas en este valle se realiza en el punto siguiente, dedicado a la tectónica reciente

De estas tres unidades, sólo las dos últimas poseen importancia, por extensión, dentro de la Hoja, aflorando las tonalitas en una mínima superficie de terreno que impiden realizar un análisis estructural preciso.

Los Haitises constituyen un conjunto tabular que se sitúa de forma discordante sobre el sustrato Cretácico, dispuesto de forma monoclinas. El buzamiento de la serie es inferior a  $8^\circ$ , presentando una clara vergencia general hacia el norte, aunque en ocasiones la serie buza en sentido contrario con flancos inclinados muy sutilmente hacia el sur, definiendo pliegues suaves y de radio muy amplio. La plataforma tiene un estilo morfológico muy particular debido a la alteración kárstica que ha desarrollado un complejo sistema de montículos y dolinas.

La fracturación condiciona tanto la intensidad y el progreso de la alteración como la red fluvial, en general, muy inmadura. Las alineaciones en los arroyos y de dolinas se traducen inevitablemente en la existencia de fallas o fracturas. Al margen del sistema E-O de fracturas, muy evidente en el seno de esta plataforma, se desarrolla también sistemas de fracturas conjugadas NE-SO y NO-SE bien representados en toda la unidad. El sistema E-O representa un conjunto de fallas verticales de desgarre, con un abanico de direcciones comprendidas entre  $N80^\circ E$  y  $N110^\circ E$  y sentido de movimiento esencialmente senestral, con una pequeña componente vertical.

De norte a sur las principales estructuras con esta dirección en la hoja, de gran longitud, son la falla Meridional de la Bahía de Samaná, la falla del Río Payabo y la falla del Cedrito. Todas ellas atraviesan dos terceras partes de la hoja. La Falla meridional de la Bahía de Samaná constituye el límite de extensión de la Cuenca del Cibao y delimita el contacto de esta cuenca con la Cordillera Oriental. Su traza es neta, con una dirección aproximada  $N90^\circ E$ . Se caracteriza por poseer una fuerte expresión morfológica definida por escarpe rocoso de 75-100 m en el borde norte de la plataforma de Haitises. En detalle, esta falla de hundimiento está truncada y desplazada por un sistema de fracturas menores de diversas direcciones.

Los sistemas NE-SO y NO-SE aparece especialmente bien representados dentro de las calizas de los Haitises y su reconocimiento, tanto sobre el terreno como a través de fotografía aérea e imagen radar, es muy obvio. Ambos sistemas poseen un amplio rango de direcciones, en muchas ocasiones muy nordestadas, que varían entre  $N15^\circ E$  y  $N50^\circ E$  para el sistema NE-SO, y  $N140^\circ E$  y  $N165^\circ E$  para el sistema NO-SE. Son fallas de gran longitud lateral, con buzamientos muy acentuados ( $70^\circ$  a  $90^\circ$ ) generalmente hacia el N, que poseen una componente principal de desgarre dextral de desplazamiento no evaluable. En algunos cortes de la carretera a Samaná se ha podido constatar que ambos sistemas presentan también una componente normal no despreciable, con saltos

en buzamiento de hasta 15-20 metros. Esta circunstancia produce el escalonamiento estructural de la serie sedimentaria hacia el Norte, donde se cortan de forma progresiva estratos localizados cada vez más cerca del techo de la unidad. La falla más importante con esta dirección dentro de la Hoja es la falla de la Marimba, que parte de la Hoja de Sabana Grande de Boyá y atraviesa los materiales de la Fm Cevicos y de la Unidad Los Haitises hacia el noreste.

#### **4.4. Tectónica activa**

En la actualidad, el borde norte de La Española es una zona activa de cizalla, 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. La actividad neotectónica en la Cordillera Oriental es evidente en la elevación de sistema marino y costero-arrecifal plio-cuaternario que representa la Unidad Los Haitises, que originalmente se extendía de costa a costa en el Este de la isla y actualmente presenta un relieve estructural superior a 400 metros.

El plegamiento es pasivo, adaptado a la componente vertical de movimiento de fallas de desgarre NO-SE y NE-SO. A escala regional, entre los rasgos geomorfológicos más evidentes, destacan la superficie de erosión argilitizada al Sur de Miches, a unos 80 km al este de esta hoja, los numerosos relieves de lomas paralelos a escarpes de fallas y el control estructural que presenta la red hidrográfica. Este último se evidencia a pequeña escala en el trazado rectilíneo de los arroyos y en la captura y estrangulamiento de su cauce por el movimiento de fallas en la mayor parte de los casos. Especialmente llamativo en este sentido es el brusco cambio de curso que experimenta el Río Payabo en las proximidades de su confluencia con la llanura del Yuna, si bien parece evidente que esto no se corresponde con una captura fluvial y sí al fuerte control estructural que produce la Falla del Guayabo sobre el río desde su formación.

Dentro de la llanura aluvial del Yuna, en la vecina Hoja de Villa Riva, Tuttle *et al.*, (2003) describe numerosas estructuras de licuefacción que registran la existencia de numerosos terremotos de magnitud 7-8 durante los últimos 1100 años generados por el movimiento y propagación de grandes fallas en el sector central y occidental de la Cuenca del Cibao. En este sentido, gracias a las imágenes radar de gran resolución y modelos digitales del terreno ha sido posible detectar numerosas fallas de dirección N65°E y gran longitud, que atraviesan los materiales muy blandos del valle del Yuna. En algunos casos es posible

continuar el trazado de estas fracturas desde la cuenca hasta el interior de la plataforma de las calizas de los Haitises, donde se propagan varios kilómetros hacia el suroeste. Su expresión sobre el terreno es prácticamente nula, a excepción de pequeños escarpes inferiores al metro de altura y la aparición de numerosos cauces y lagunas abandonadas que siguen estas lineaciones y quedan aislados en mitad de la llanura, como es el caso del Caño azul, Laguna Correvivo, Caño Pontó, Laguna Arrenguín o Laguna Ojo de Agua. En algunos casos, como en el paraje de Juana Rodríguez Arriba estas fallas parecen haber afectado al cauce principal de río, propiciado el abandono de meandros o incluso un cambio brusco de la dirección del canal.

## 5. GEOMORFOLOGÍA

### 5.1. Análisis geomorfológico

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

La Hoja de Cevicos se localiza en la parte nordoriental de la República Dominicana, abarca, de N a S dos zonas geológicamente bien diferenciadas: la cuenca del Valle Oriental del Cibao, que se encuentran bañada por las aguas del río Yuna y los Haitises, que ocupan gran parte de la zona y se encuentran separados de la anterior por un escarpe (Figura 5.1).

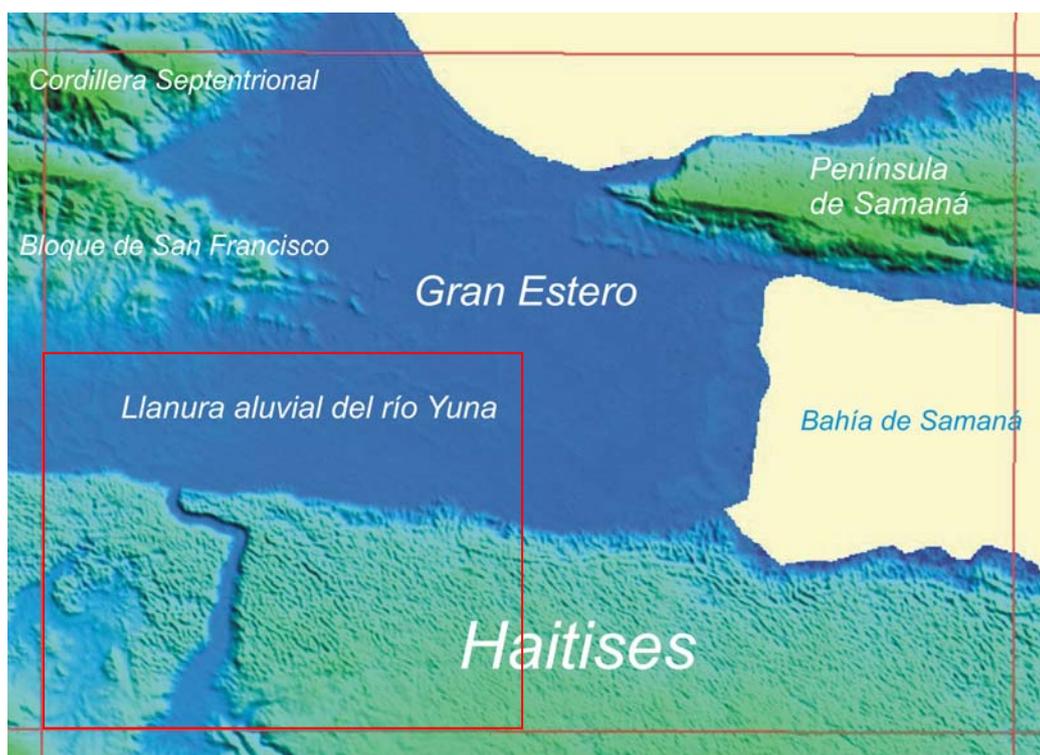


Figura 5.1. Modelo Digital del Terreno mostrando las principales unidades morfoestructurales de la Hoja a escala 1:100.000 de Sánchez (Fuente MDT: SRTM).

Queda, por tanto, definida principalmente por la presencia de la gran plataforma estructural que constituyen los Haitises, que abarcan una franja extensa de E a W con su típica morfología de zona kárstica tropical, con estructuras en *cockpit*, o karst cónico, formadas por la intensa meteorización química a la que se hallan sometidos. Hacia el

oeste sólo el río Payabo se ha hecho espacio cruzando de norte a sur, formando un cañón en cuyo fondo ha ido depositando sus terrazas. En el SW, los materiales kársticos han sido también retrabajados por la cuenca hidrográfica del Cevicos, confiriendo una morfología más planar. Sucede lo mismo un poco más al este con los afluentes del Cevicos.

#### 5.1.1. Estudio morfoestructural

La influencia tectónica en el origen y configuración del relieve queda reflejada en las denominadas formas estructurales. Además, la alternancia de capas de roca con diferente respuesta al ataque de los agentes externos propicia la erosión diferencial reflejando en la morfología caracteres geológicos estructurales. Es, por tanto, la estructura geológica la que controla el relieve. Los agentes externos solo descubren y modelan sobre un patrón preestablecido.

Las formas estructurales tienen una importancia morfogenética notable en la Hoja de Cevicos. Diversas fallas con expresión morfológica clara aparecen en las formaciones estructurales montañosas, con pequeños movimientos a lo largo de fallas verticales. Esta zona ha sido sometida a intensos movimientos tectónicos que le han proporcionado una compleja estructura geológica con un alto grado de fracturación. En los Haitises se distribuyen dos familias de fracturas de forma oblicua, siendo mayoritarias las que siguen dirección NO-SE. En ocasiones, la presencia de rasgos morfológicos parece estar condicionada por una falla, sin que se tenga la total certeza de su existencia; en otras, las fallas parecen encontrarse bajo depósitos cuaternarios sin afectarlos, habiéndose representado en ambos casos como fallas supuestas.

Las superficies estructurales aparecen ampliamente desarrolladas en relación con las estructuras, preferentemente en su zona alta, y están definidas por la existencia de superficies regulares controladas por la existencia de una capa dura, competente, formada preferentemente por calizas. Estas superficies se encuentran con un alto nivel de degradación, bien por la incisión de la red fluvial, bien por la disolución química de carbonatos, que da lugar a una intensa karstificación.

Los límites de las superficies estructurales pueden ser muy abruptos mostrando escarpes estructurales más o menos importantes. Estos se desarrollan gracias a la existencia de una capa dura y no están vinculados necesariamente a la aparición de una plataforma

pudiendo aparecer de forma individualizada. En la cartografía se han diferenciado atendiendo a su tamaño.

Otras formas estructurales cartografiadas son las crestas, producto de la erosión de los materiales calizos y de la tectónica.

#### 5.1.2. Estudio del modelado

La acción de los agentes externos sobre dominios tan contrastados como las plataformas carbonáticas de los Haitises y la llanura aluvial del río Yuna, tiene como resultado una expresión geomorfológica sensiblemente diferente. Así, el modelado de las sierras es el producto de una larga evolución presidida por los procesos geodinámicos internos acaecidos a lo largo del Cenozoico, generadores de relieves positivos, sobre los que han actuado, con mayor o menor efectividad, diversos agentes morfogenéticos encaminados a la destrucción o modelado de dichos relieves, destacando los de carácter fluvial, gravitacional y kárstico.

En el caso de la llanura aluvial del río Yuna, puede considerarse que la creación de su fisonomía básica arranca con los procesos de sedimentación y acumulación de los materiales procedentes de las Cordilleras Central y Septentrional, iniciados entrado el Cenozoico, en el Valle del Cibao.

El retrabajamiento en la costa por parte del océano es el responsable en última instancia del modelado del litoral de la Bahía de Samaná. El agua del mar se adentra, en forma de agua salobre, al mezclarse con la dulce de los ríos, dando lugar a la formación de marismas, que no llegan a alcanzar los límites de la hoja por escasas decenas de metros. En zonas donde el agua de los ríos queda estancada sin salida al mar, se han formado ciénagas y áreas endorreicas.

##### 5.1.2.1. Formas gravitacionales

No se trata de formas excesivamente extendidas ni de dimensiones suficientes para su cartografía, en buena parte como consecuencia de la propia dinámica de retroceso de las vertientes, que provoca su permanente evolución. Las formas sí representadas son los coluviones, formados como respuesta al desequilibrio provocado en las laderas por la erosión fluvial en los Haitises, en el SW de la Hoja, en las vertientes que discurren hacia el río Payabo.

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

Su cartografía permite una detallada caracterización de la red de drenaje. Constituyen la práctica totalidad de la superficie de la de la llanura aluvial del río Yuna, donde destaca la extensión de los cinturones de meandros y la del Payabo. En la llanura aluvial del Yuna encontramos: el cauce principal del propio río, meandros abandonados, llanura de inundación, sedimentos de fondo de valle, siguiendo el cauce del Payabo y una orla de abanicos aluviales que discurren desde la sierra de los Haitises.

Los fondos de valle suelen quedar delimitados por rupturas de pendiente, más o menos pronunciadas, cóncavas, en ambas orillas a lo largo de su curso. Pueden presentar drenaje en su parte media o no. Cuando el drenaje incide el fondo de valle, se ha cartografiado como incisión lineal. Esta forma implica por si misma un cierto depósito. A pesar de su aparente falta de funcionalidad forman parte de la red de drenaje concentrando, en caso de fuertes precipitaciones, la arroyada. Son el principal testimonio de la actividad sedimentaria de los principales elementos de la red fluvial actual.

También tienen representación conos de deyección o abanicos aluviales dispuestos al pie de los relieves de las vertientes de Los Haitises. Su depósito se produce en la confluencia de los elementos de la red fluvial con áreas menos encajadas, en las cuales la carga transportada por aquellos pierde su confinamiento, expandiéndose. Las dimensiones de estos conos pueden ser importantes.

#### 5.1.2.3. Formas lacustres y endorreicas

Se hallan representadas por las áreas pantanosas de la llanura de inundación del Yuna, donde se encuentran cuerpos de aguas. En estas áreas se han desarrollado lagunas estacionales. En la llanura de inundación actual del Yuna también encontramos lagunas permanentes, como la Laguna Colorado.

#### 5.1.2.4. Formas poligénicas

Se incluyen en este grupo las formas cuya morfogénesis puede atribuirse a la acción simultánea o sucesiva de más de un proceso morfogenético. En este grupo se incluyen los piedemontes, como los glacia, que constituyen la transición entre zonas elevadas, donde la erosión es el proceso predominante, y las áreas de bajo relieve en las que

imperan el transporte y sedimentación. Los encontramos en el borde SO de la Hoja, en las vertientes por las que circulan los arroyos afluentes del río Cevicos.

#### 5.1.2.5. Formas originadas por meteorización química

Se encuentran relacionadas principalmente con la intensa karstificación que afecta a los materiales carbonatados aflorantes de los Haitises y la Sierra de Samaná, constituyendo extensas plataformas kársticas (Figura 5.2). Los Haitises son el resultado de la fuerte erosión de las calizas duras Neógenas, debido a las abundantes lluvias de la zona y las aguas del mar (De la Fuente, 1976). Puede considerarse que esta zona ha sido sujeta a aplanamiento kárstico y constituye una superficie de corrosión. Dichas áreas se manifiestan como un campo de dolinas, con abundantes formas de disolución de pequeña escala, de formas redondeadas o elipsoidales.

Las aguas subterráneas aprovechan las zonas de debilidad del substrato debidas a la mineralogía, textura, densidad de fracturación generándose tendencias particulares en el desarrollo del relieve de un macizo rocoso.

La región de Los Haitises, se configura como un área con intensa karstificación, a modo de campo de grandes dolinas y mogotes (*hums*) característicos del karst tropical en *caja de huevos* (relieve cockpit) de forma elipsoidal, orientadas en dirección NO-SE. La simple observación del mapa topográfico o el MDT 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.

El espectacular modelado kárstico de Los Haitises no se restringe a la superficie, sino que existe un notable desarrollo endokárstico, pudiendo señalarse por su accesibilidad las cuevas localizadas en el litoral, con todo un cortejo de formas asociadas, como estalactitas, estalagmitas, ventanas, etc.

Por otro lado en la península de Samaná los procesos de karstificación tanto exokársticos como endokársticos se extienden en la zona nororiental sobre todos los afloramientos de la Unidad de los Mármoles del Rincón, y sobre las formaciones carbonatadas del Pleistoceno-Holoceno, presentando también en muchas zonas paisajes tropical con relieves cónicos como residuos de dolinas. Así se observan diferentes tipos de dolinas,

uvalas, cuevas, bufón-bufadero (blowholes), campos de pequeñas dolinas, cañones, gargantas y/o desfiladeros de origen kárstico, montículos o *hums* y lapiaz.

El lapiaz es una forma abundante y se puede observar en muchos puntos de la Península de Samaná tanto sobre los mármoles mesozoicos como sobre rocas carbonatadas más recientes. Las dolinas y uvalas también son formas extendidas, así como los campos de pequeñas dolinas que prevalecen en las zonas donde los mármoles presentan superficies expuestas a la disolución química más o menos horizontales. Las cuevas existen en muchos puntos, como parte del endokarst desarrollado con un complejo de grutas y cavernas sobre los Haitises como sucede en la Cueva Infierno, pero sobretodo se observan en la zona de los acantilados, donde presentan morfologías asociadas, como son los espeleotemas (estalactitas, estalagmitas, ventanas, columnas, etc).

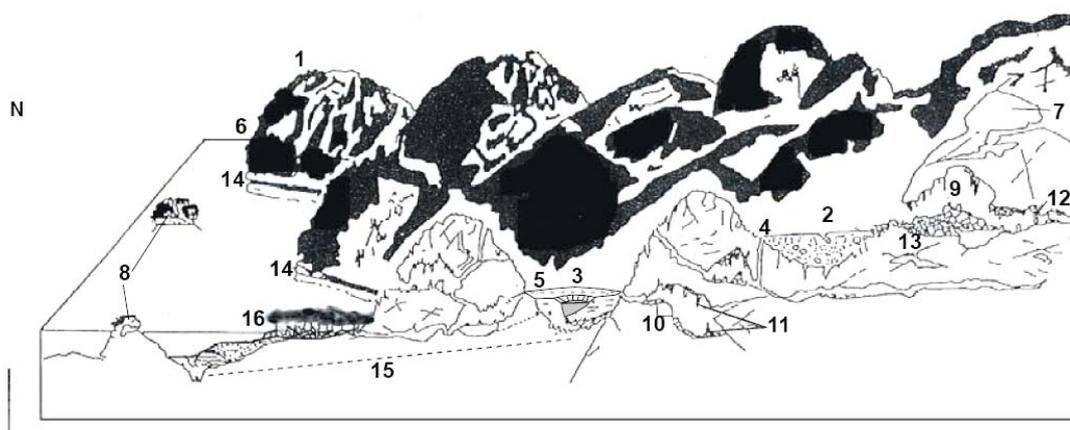


Figura 5.2. Esquema geomorfológico y elementos del karst tropical de colinas de Los Haitises: 1. Haitises o mogotes (colinas kársticas); 2. Depresiones: dolinas, uvalas, macrouvalas y poljes; 3. Jagüey (depresión kárstica inundada); 4. Furnia (sima, pozo); 5. Consumidero (pérdidas); 6. Farallón; 7. Mamelón; 8. Cayo; 9. Guácara (cavidad, cueva); 10. Gours; 11. Estalactitas y estalagmitas; 12. Columnas; 13. Caos de bloques; 14. Encoche (erosión marina +1 m.); 15. Manantial; 16. Manglar.

## 5.2 Evolución e historia geomorfológica

Aunque, evidentemente, la morfología de la región está influenciada en última instancia por los procesos sedimentarios acaecidos a lo largo del Neógeno, su fisonomía actual se ha perfilado fundamentalmente en dos etapas de su historia: la primera, durante el Mioceno, en el que la colisión entre el dominio suroccidental de La Española y el resto de la isla estableció la distribución de cordilleras y depresiones visibles hoy día; y la segunda, ya en el Cuaternario, cuando el relleno plio-cuaternario de las cuencas fue configurado de acuerdo con la geometría actual.

La superposición de ambas etapas estableció el diseño regional básico sobre el que ha actuado el modelado holoceno, diseño basado en la presencia del Valle del Cibao entre la Cordillera Septentrional y el piedemonte de la Cordillera Central. La evolución holocena ha estado condicionada principalmente por la actividad neotectónica, que ha producido una tendencia regional ascendente, y por los procesos fluviales, que no sólo han llevado a cabo una importante labor de incisión en las áreas montañosas, sino que con sus aportes sedimentarios han provocado la colmatación del Valle del Cibao, especialmente representado por la llanura aluvial del río Yuna y su delta.

Los márgenes orientales de la Cordillera Septentrional muestran erosión por el encajamiento de la red fluvial, que se va haciendo sitio entre los materiales que la forman. Al mismo tiempo, las plataformas carbonáticas de los Haitises y la Sierra de Samaná, presentan superficies de intensa erosión química, provocada por la acción de las aguas, ya que se trata de un área con precipitaciones intensas.

Durante el lapso de tiempo entre el inicio de la incisión y la actualidad pueden reconocerse diversas etapas generalizadas de acreción y erosión, un mínimo de dos principales, tal como demuestran los niveles de terrazas, glacis y abanicos que pueden reconocerse. Estas características se pierden en el Valle del Yuna estricto, donde la llanura aluvial denota un proceso de acumulación de materiales que podría remontarse a inicios del pleistoceno y desarrollarse ampliamente durante el holoceno.

La evolución del relieve, actualmente, halla presidida por el comportamiento de la red de drenaje, con fuertes encajamientos en la zona montañosa, pero muy moderados en la llanura por su pequeño desnivel con respecto al mar. Además de una intensa sedimentación por los aportes del Yuna, que se van acumulando formando un delta, que en su mayoría se encuentra formando zonas pantanosas y marismas por su baja cota respecto al mar. Muchos de los sedimentos finos que llegan pueden llegar a colmatar los lagos formados en estas zonas endorreicas.

## 6. HISTORIA GEOLÓGICA

Con la excepción de la aparición de los cuerpos intrusivos tonalíticos cretácicos dentro de la Fm Los Ranchos, la historia geológica de la Hoja de Cevicos se integra dentro de la evolución más reciente de la Cordillera Oriental a lo largo del Neógeno y Cuaternario.

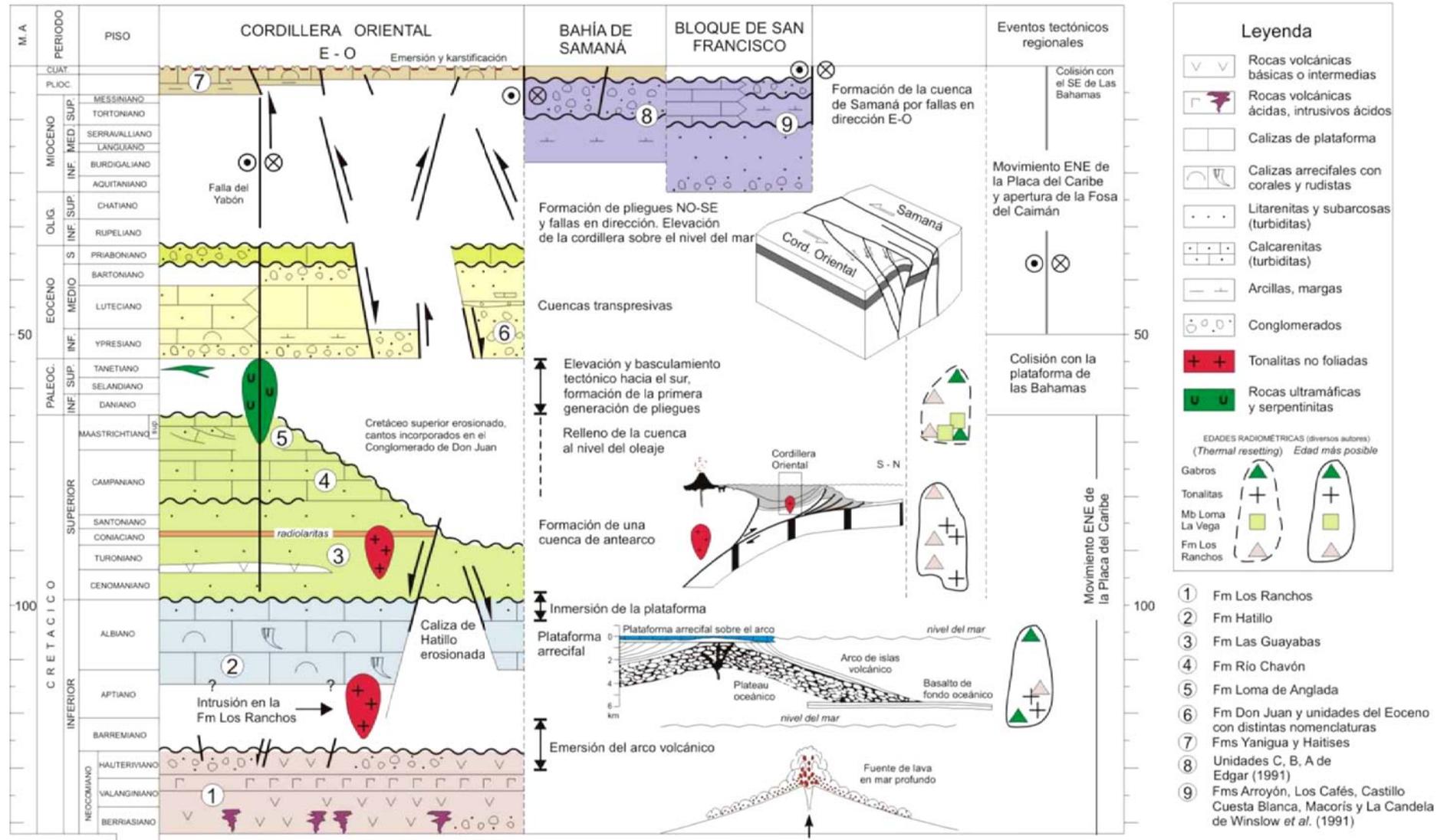
Se pueden diferenciar las siguientes etapas principales en la evolución paleogeográfica de la región, en parte ya identificadas en el resto de los dominios geológicos presentes en la isla (Figura 6.1): la formación del arco isla primitivo cretácico; el desarrollo de la plataforma de los Haitises, y sus equivalentes laterales durante el Neógeno superior y Pleistoceno; y el relleno del Valle del Cibao y desarrollo de un modelado kárstico tropical maduro en las calizas de Los Haitises en el resto del Cuaternario.

Las rocas de la Cordillera Oriental Dominicana registran 130 Ma de evolución de las Grandes Antillas, desde su inicio como un arco de islas intraoceánico hasta la colisión oblicua con la placa de Norteamérica y traslación a lo largo de fallas transformantes paralelas al límite de placas.

Sobre la corteza de la placa del Caribe, posiblemente engrosada en algunas áreas como una meseta o un monte oceánico (Escuder Viruete *et al.*, 2002) se desarrolló en el Cretácico inferior un arco de islas primitivo de composición bimodal y afinidad toleítica representado en la zona de estudio por la Fm Los Ranchos y sus equivalentes deformados, los Esquistos de Maimón y la Fm Peralvillo Norte. La reconstrucción basada en la Fm Los Ranchos indica que en un estadio inicial se acumularon lavas en aguas profundas, y posteriormente lavas y volcanoclásticos en aguas someras. Con el cese progresivo del volcanismo se intruyen numerosos *stocks* de tonalitas, descritos dentro de la Hoja de Cevicos y en buena parte de la Cordillera Oriental. Desde este momento y hasta el Mioceno superior en la hoja no existen materiales que registren la historia geológica de la región. A continuación se hace un breve resumen de los principales eventos que tiene lugar en la Cordillera Oriental durante el resto del Cretácico, Paleógeno y Neógeno.

Los relieves emergidos del arco primitivo quedaron arrasados en una plataforma, sobre la que se depositaron en ligera discordancia angular calizas arrecifales de la Formación de Hatillo (Bourdon, 1985). Hacia el final del Albiense, la plataforma de carbonatos de Hatillo quedó enterrada hacia el bajo rocas volcanoclásticas de la Formación Las Guayabas, de afinidad turbidítica.

LITOSTRATIGRAFÍA, SECUENCIAS Y EVENTOS



Este evento se relaciona con el desarrollo de un segundo arco volcánico de naturaleza calcoalcalina, relacionado con la subducción de la placa Norteamericana hacia el Sur, que aporta detritos a una cuenca de ante-arco superpuesta al arco inicial. El segmento de cuenca de ante-arco 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 sur de la placa de Norteamérica en el Paleoceno-Eoceno (Dolan *et al.*, 1991).

La reconstrucción paleogeográfica de las cuencas eocenas está oscurecida por la erosión posterior durante el Oligoceno-Mioceno. Posiblemente la continuidad del proceso de acortamiento elevaron el área sobre el nivel del mar, al tiempo que la Bahía de Samaná iniciaba la subsidencia controlada por fallas transcurrentes E-O. Sólo los relieves tectónicos más elevados de la Cordillera sobresalían como islas. Toda esta situación, junto a los condicionantes climáticos propios de una latitud intertropical, fue favorable para la producción de carbonatos alrededor de este relieve precursor de la Cordillera Oriental en el Mioceno superior y, sobre todo, en el intervalo Plioceno-Pleistoceno inferior (Figura 6.2).

Es bajo estas condiciones cuando se produce la transgresión que da lugar al depósito de la sucesión de materiales de origen costero y marino somero, de edad Mioceno superior-Pleistoceno, que aparecen muy bien representados en la Hoja de Cevicos sobre el paleorrelieve que constituye la Cordillera Oriental. El inicio de la transgresión, y la creación lenta de espacio de acomodación, se registra con la instalación de un extenso sistema costero, representando en la Fm Yanigua. Este sistema tapiza el paleorrelieve cretácico, de configuración muy irregular, y está conformado por sistemas litorales restringidos, de muy baja energía (manglares, bahías y/o lagunas costeras) a los que llegaban ríos y abanicos aluviales que aportaban arenas y arcillas procedentes de la Cordillera Oriental. Aunque los sistemas de drenajes de dicho relieve descargaron una cierta cantidad de terrígenos, éstos nunca fueron suficientes para inhibir la producción de carbonato en la cuenca.

---

Figura 6.1. Diagrama cronostratigráfico que muestra la litología, secuencias deposicionales y los eventos tectónicos registrados en los sedimentos de la Cordillera Oriental (García Senz *et al.*, 2007). Los datos de la Bahía de Samaná son de Edgar (1991) y los datos del Bloque de San Francisco de Winslow *et al.* (1991). Las edades radiométricas se han tomado de Bourdon (Figura 34. Diagrama cronostratigráfico que muestra la litología, secuencias deposicionales y los eventos tectónicos registrados en los sedimentos de la Cordillera Oriental. Los datos de la Bahía de Samaná son de Edgar (1991) y los datos del Bloque de San Francisco de Winslow *et al.* (1991). Las edades radiométricas se han tomado de Bourdon (1985); Kesler *et al.*, 1990a; Bellon *et al.*, 1985).



Figura 6.2. Esquema paleogeográfico de las plataformas marinas en La Española en el Plioceno. Este esquema recoge el desplazamiento mínimo de las plataformas de la Cordillera Septentrional y de la Península de Samaná a lo largo del sistema de fallas de la Falla Septentrional (Braga, 2010).

En el transcurso de la transgresión, que tuvo lugar mediante pulsos de ascenso del nivel marino registrados a través de pequeños ciclos sedimentarios, tiene lugar una progresiva retrogradación de la línea de costa hacia los relieves ubicados en posiciones meridionales. A la vez, se produce en toda la vertiente norte de la cordillera el depósito de las margas y calizas de la Fm Cevicos y de la Unidad Los Haitises, que igualmente registran una suave tendencia intermitente hacia la profundización de los ambientes sedimentarios.

Ambas unidades se formaron en una plataforma carbonatada con aportes terrígenos reducidos. En las zonas más internas de esta plataforma, de baja turbulencia y escasa profundidad, predominaban las facies más finas, donde proliferaban los moluscos y las pequeñas colonias de corales. Hacia el mar, los barros calcáreos pasaban gradualmente, y siempre hacia el norte, a calcarenitas y calizas bioclásticas que formaron campos de dunas submarinas o bajíos de poca entidad. Aunque es difícil de establecer, las construcciones arrecifales observadas en algunas secciones más distales y en la parte alta de la serie pudieron formar una barrera, necesaria para explicar la baja turbulencia de los medios sedimentarios más internos.

El conjunto de depósitos (Fms Yanigua y Cevicos, Unidad Los Haitises) se formó, aunque con oscilaciones, con un nivel de mar relativo en ascenso (subsistencia más eustatismo), ya que existe una evidente agradación o apilamiento vertical de secuencias, particularmente visible en la Llanura Costera del Caribe. Esto supone, probablemente, que hasta el Pleistoceno inferior predomina la subsistencia en toda la región que circunda la Cordillera Oriental.

Ya durante el Pleistoceno la tectónica transpresiva, en última instancia, fuerza la regresión que eleva la plataforma de Los Haitises como un karst subtropical a alturas superiores a 300 metros, donde la disolución y erosión mecánica han desmantelado el arrecife, aparecieron extensas superficies de erosión sometidas a procesos de argilitización, como la existente al Sur de Miches, que en la actualidad está siendo incidida por la red fluvial. A la vez, la actividad de la Zona de Falla Septentrional, y de su sistema de fallas asociadas, generó en esta zona el hundimiento de la Bahía de Samaná, que probablemente ya se iniciará en el Mioceno superior o Plioceno, y el relleno de esta depresión, que finaliza con el depósito de los materiales fluviales de la llanura aluvial del Yuna en el Holoceno.

## 7. GEOLOGÍA ECONÓMICA

### 7.1. Hidrogeología

#### 7.1.1. Hidrología y climatología

Existe un buen control sobre los parámetros climáticos e hidrológicos dentro de la hoja de Cevicos gracias a la existencia de varias estaciones localizadas en la llanura del Yuna, en la plataforma de Los Haitises y en el sector suroccidental de la hoja (Abadesa-Cevicos-Barraquito). La distribución mensual de las precipitaciones presenta un régimen bimodal, con un pico máximo en Mayo y otra época de lluvias importantes de Agosto a Noviembre. Los meses más secos son Enero y Febrero. Considerando una serie temporal que incluye los últimos 22 años, la estación de Barraquito (1814 mm/año) presenta los valores más elevados de pluviometría, mientras que las precipitaciones de La Abadesa (1811 mm/año) presenta datos de precipitaciones algo más bajos (Figura 7.1).

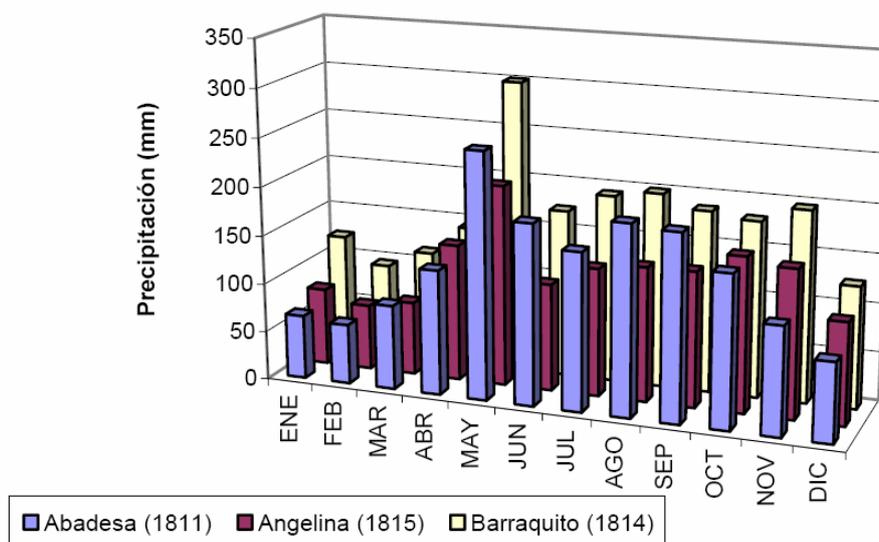


Figura 7.1. Precipitaciones mensuales medias en las estaciones climáticas de la Hoja de Cevicos

La temperatura media es de 25,7°C y la variación interanual de la temperatura media oscila entre 3 y 4 °C. En general, el período de mayores temperaturas corresponde a los meses de julio a agosto y los de mínima a los meses de enero y febrero. Por otro lado, la evapotranspiración media anual es de 1641,8 mm, ambas medidas en la estación de Barraquito. Por otro lado, los valores de lluvia útil, que representan la escorrentía total de

la zona, obtenidos para toda la unidad hidrogeológica son de 272 mm en un año medio, y de 597 mm y 130 mm para años húmedos y secos, respectivamente (Figura 7.2).

Una de las características climáticas de esta parte del Caribe es la posibilidad de la llegada de huracanes y tormentas tropicales que se manifiestan una vez cada dos años (de promedio), afectando en más del 65% de los casos a la parte sur del país. En principio la temporada de huracanes se extiende de Agosto a Noviembre. En caso de huracán, los vientos pueden sobrepasar los 60 m/s y las lluvias llegar o superan los 500 mm en 24 h (huracán Georges en 1998). Durante el presente proyecto se han producido dos tormentas tropicales, prácticamente consecutivas: Noel (Octubre 2007) y Olga (Diciembre de 2007).

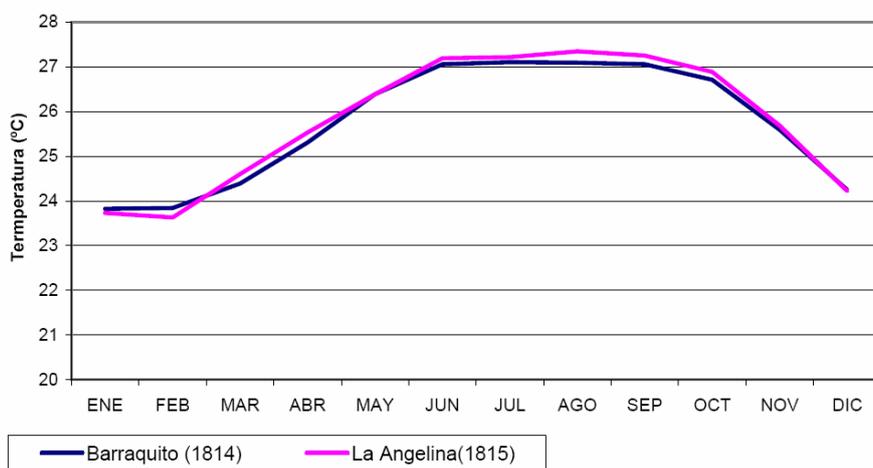


Figura 7.2. Evolución de las temperaturas medias mensuales en la Hoja de Cevicos.

El entramado kárstico de Los Haities anula el carácter de divisoria de la sierra e impide el funcionamiento normal de la escorrentía superficial, de tal forma que la red de drenaje se limita a un reducido número de ríos y arroyos de carácter permanente. Debido al sobresaliente desarrollo kárstico de Los Haitises, existe una notable incertidumbre en cuanto al funcionamiento de detalle de sus procesos hidrológicos. En su borde meridional se produce el nacimiento de un gran número de elementos de la red hidrológica, observándose también frecuentes pérdidas de drenaje a través de sumideros e infiltraciones cuyo destino resulta incierto; otro tanto puede decirse de las infiltraciones del sector septentrional, siendo probable que la mayor parte de su descarga se produzca directamente a la Bahía de Samaná.

Desde un punto de vista hidrológico, en el sector oriental de la Cuenca del Cibao el río más importante es el Yuna, que atraviesa la hoja de Cevicos, de este a oeste, con cambios frecuentes en la dirección de su cauce. En esta hoja el caudal del río se encuentra bastante regulado debido a su represamiento en la vecina Hoja de Cotui, en la Presa de Hatillo, localizada justo en su confluencia con el Río Camú. El Yuna es el segundo río más importante de la República Dominicana, con un recorrido total de 210 km desde su lugar de origen, en las montañas de la Cordillera Central, hasta su desembocadura en la Bahía de Samaná. Es también el segundo más caudaloso y su cuenca hidrográfica se extiende por la zona oriental del Valle del Cibao ocupando una superficie de 5500 km<sup>2</sup>. Los registros entre los años 1956 y 2002 indican que el caudal medio del Río Yuna es de 38,2 m<sup>3</sup>/s pero existen variaciones mensuales muy importantes descritas desde tiempos históricos.

Otros ríos, más modestos, dentro de la Hoja son el Cevicos, el Ara y El Payabo, todo ellos afluentes del Río Yuna. Nacen en los terrenos volcanosedimentarios del Cretácico de la Hoja de Hatillo y Sabana Grande de Boyá, al sur, y discurren de sur a norte, cerca del contacto de las margas de las Fms Yanigua y Cevicos con las calizas de los Haitises. En general la red de ríos y arroyos relacionada con la unidad de Los Haitises está definida por varios ejes y sectores de descarga principal.

En la Hoja de Cevicos el principal eje de distribución de los cauces son el N-S y el SSO-NNE / SSE-NNO, localizados en su mayor parte en el sector occidental y central de la unidad. En esta zona los ríos que nacen fuera de la unidad, se encajan en ella y la atraviesan en algunos sectores (ríos Payabo-Ara y Chacuey). En otros casos la intensa karstificación de las calizas de Los Haitises propicia la existencia de cursos fluviales que, naciendo al sur de las mismas, desaparecen al llegar a ellas, circulando el agua de forma endokárstica y resurgiendo nuevamente en su flanco norte (sector de El Atoro, Los Peinados y Guaraguao). El ejemplo más notable es el río Cevicos, en la parte occidental del macizo.

Dentro de la Hoja de Cevicos existen dos puntos de aforos históricos. El primero, localizado en la confluencia de los ríos Payabo y Adra, denominado Abadesa II. El otro se sitúa en plena llanura del Río Yuna, muy próximo al pueblo de El Limón. Del análisis de sus series temporales se deduce la existencia de dos periodos de aguas más altas, el primero de ellos en los meses de Mayo y Junio, y el segundo desde Septiembre-Octubre a Diciembre. El punto de aforo Abadesa II controla el caudal del río Ara (que más al norte

pasa a llamarse Payabo) antes de drenar el paquete de calizas de la Unidad Hidrogeológica de Los Haitises. La falta de un punto de aforo a la salida de la unidad impide conocer con exactitud las ganancias de caudal que se producen como consecuencia del drenaje de estas calizas. Sin embargo, este dato se puede obtener de forma indirecta por comparación entre los caudales de los puntos de aforo del río Yuna (Villa Riva y El Limón) entre los cuales confluye el río Payabo a la salida de la unidad. Este hecho explica el incremento notable de caudal entre ambos puntos de aforo en un tramo tan corto de río. De esta manera se puede afirmar que el río Payabo se comporta como ganador a su paso por la Unidad Hidrogeológica de Los Haitises, aumentando su caudal una media de 6 m<sup>3</sup>/s.

Por otro lado, en el transcurso del proyecto “Estudio Hidrogeológico Nacional de la República Dominicana Fase II” (EPTISA, 2004) se realizaron medidas de caudal en varias estaciones de aforo nuevas. Todas ellas se han situado en la llanura del río Yuna, muy próximas al límite septentrional de las calizas de los Haitises, con el objetivo de calcular la salida de agua desde esta unidad hidrogeológica a partir de los numerosos ríos, arroyos y manantiales que la atraviesan, así como sus variaciones estacionales. Las conclusiones de este estudio quedan lejos de los objetivos de esta memoria, pero se constata la importante aportación de de agua al Río Yuna que se produce en la hoja de Cevicos desde el sur. Las principales fuentes de aporte son el Río Cevicos, Caño Pontón, Río Payabo, Arroyo Guaraguao, Arroyo el Ercado, Caño Limón y Caño Barraquito que, en conjunto, se estima que aportan unos 16 m<sup>3</sup>/seg de agua al valle del Río Yuna.

Finalmente, dentro de la Hoja de Cevicos se han detectado numerosos puntos agua, siendo en su mayoría puntos claramente asociados a paisajes de tipo kárstico (lagunas y manantiales) y cauces, existiendo muy pocos puntos artificiales (pozos, sondeos...).

Hoja 1:50000	Hoja topográfica	Coord. X	Coord. Y	Cota (m)	Naturaleza	Uso
6273 III	Cevicos	396643	2114860	30	LAGO	
6273 III	Cevicos	401646	2114966		CAUCE SUPERF.	
6273 III	Cevicos	401891	2114560		CAUCE SUPERF.	
6273 III	Cevicos	399360	2115225		CAUCE SUPERF.	
6273 III	Cevicos	407637	2115713		CAUCE SUPERF.	
6273 III	Cevicos	408636	2117233		CAUCE SUPERF.	
6273 III	Cevicos	410601	2116003		CAUCE SUPERF.	
6273 III	Cevicos	419576	2115380		CAUCE SUPERF.	
6273 III	Cevicos	420028	2114332		CAUCE SUPERF.	
6273 III	Cevicos	399413	2102479	115	POZO	ABASTECIMIENTO (DOMESTICO)
6273 III	Cevicos	403289	2102037		CAUCE SUPERF.	
6273 III	Cevicos	396441	2102056		CAUCE SUPERF.	
6273 III	Cevicos	412354	2106408		LAGO	
6273 III	Cevicos	411442	2105346	185	LAGO	

Tabla 7.1. Principales características de los puntos de agua inventariados en la unidad hidrogeológica de Los Haitises en la Hoja de Cevicos (EPTISA, 2004).

### 7.1.2. Hidrogeología

Dentro de la Hoja se distinguen dos unidades hidrogeológicas bien diferenciadas: Los Haitises y el Valle del Cibao.

La Unidad o Zona Hidrogeológica de Los Haitises se sitúa en el sector centro oriental del país y corresponde con las estribaciones más septentrionales y de naturaleza carbonatada de la Sierra de Seibo, en los que se ha desarrollado un proceso de karstificación tropical muy avanzado sobre calizas de edad Plio-Pleistocena. Constituye una zona de tránsito entre las Unidades o Zonas Hidrogeológicas del Valle del Cibao y la Cordillera Oriental, aunque con unas características morfológicas y geomorfológicas especialmente particulares. Su geomorfología también le confiere unas características muy peculiares, que condicionan en gran medida su funcionamiento hidrogeológico. Esta unidad alcanza una superficie total de 1823 km<sup>2</sup>, de los cuales el 80% (unos 1462 km<sup>2</sup>) corresponden a materiales permeables y el resto (361 km<sup>2</sup>) a materiales de baja permeabilidad.

Las calizas de Los Haitises constituyen el mejor acuífero de la región, debido a: a) su naturaleza, b) su extensión y c) su relativa protección dada su lejanía y su difícil acceso. En ellas se localiza, sin duda alguna, uno de los más importantes recursos de agua de la región. Los acuíferos desarrollados en las calizas margosas y arrecifales de Los Haitises se caracterizan por una elevada permeabilidad en forma de cavidades y microcavidades sindeposicionales a las que se asocia una importante permeabilidad subordinada por fracturación. La potencialidad acuífera aumenta sensiblemente también por efecto de la karstificación. En sistemas kársticos de este tipo, la elevada transmisividad, asociada a la escasa capacidad de autopurificación, hace que los acuíferos sean particularmente vulnerables a las contaminaciones procedentes de la superficie.

A destacar el gran número de manantiales que surgen de la caliza de Los Haitises en las proximidades de su contacto con los materiales impermeables de la Llanura del Yuna. Estos manantiales, de un caudal muy importante, alimentan los materiales cuaternarios más permeables de esta zona y generan pequeños arroyos (El Ercado, El Valllecito), o caños (El Limón, Pontón, Azul), que drenan hacia el norte, atravesando los depósitos de la llanura aluvial, hasta converger con el cauce del río Yuna.

Dentro de esta unidad se han diferenciado, además, otras dos formaciones de menor permeabilidad y potencial acuífero. La Fm Yanigua posee una permeabilidad baja,

constituida en su mayoría por lutitas calcáreas. A la Fm Cevicos se le atribuye una permeabilidad media por fracturación y karstificación, ya que presentan importantes intercalaciones de lutitas muy similares a los de la formación anterior.

El sustrato descrito en estas formaciones dentro de la hoja, las tonalitas intrusivas de la Fm Los Ranchos, son prácticamente impermeables y no desarrollan acuíferos debido a su baja permeabilidad primaria y al importante manto de alteración lutítico que la recubren en todos los puntos donde ha sido observada. De igual manera, los fondos de dolinas y poljes, constituidos por acumulaciones de arcillas de descalcificación, son muy poco permeables y no poseen ningún potencial como acuífero a pesar de que, en ocasiones, posean gran espesor y cierta extensión lateral.

La otra gran unidad hidrogeológica de la Hoja, el Valle del Cibao, se encuentra emplazada al noroeste del país y está conformada por materiales de muy diversa naturaleza y edades. Esta unidad hidrogeológica tiene una superficie aproximada de 6642 Km<sup>2</sup>, con una longitud aproximada de 190 Km y una anchura variable de entre 38 y 10 Km. Se caracteriza por ser una zona deprimida de dirección ONO-ESE limitada, tanto al sur como al norte, por las Cordilleras Central y Septentrional respectivamente, y al este y oeste con el océano atlántico. Este valle se encuentra drenado longitudinalmente por dos ríos (Yaque del Norte y Camú-Yuna) que discurren en sentidos opuestos y cuya divisoria se encuentra en la parte central de la unidad a una cota inferior a 200 metros.

Debido al grosor del relleno de la Cuenca del Cibao, compuesto principalmente por los materiales de la llanura de inundación, hay cierta posibilidad de la existencia de un conjunto acuífero confinado formado varias capas e inducido por la presencia de alternancias de niveles arenosos y arcillosos. Este acuífero estaría alimentado principalmente por la circulación de agua endokárstica procedente, desde el sur, de Los Haitises. La infiltración desde superficie es mucho más limitada. La parte superficial de este acuífero es muy vulnerable a los contaminantes químicos, especialmente por pesticidas y abonos utilizados en los cultivos de arroz.

Dentro de esta unidad hidrogeológica también, el resto de recubrimientos cuaternarios de tipo abanico de baja pendiente, conos de deyección, coluviones y fondos de valle se reducen a lechos de poco espesor, diseccionados por la red hidrográfica, generalmente compuestos tanto por material detrítico grueso (cantos, gravas y arenas) como fino (arcillas y limos). Constituyen, por tanto, acuíferos de permeabilidad media-alta debido a su porosidad intergranular por presencia de altos porcentajes de matriz lutítica intersticial.

EDAD	UNIDAD O AGRUPACIÓN HIDROGEOLOGICA	UNIDADES CARTOGRÁFICAS AGRUPADAS	LITOLOGÍAS	GRADO/TIPO DE PERMEABILIDAD	TIPOS DE ACUÍFEROS Y OBSERVACIONES
PLEISTOCENO-HOLOCENO	Áreas pantanosas, áreas endorreicas y fondos de dolinas y poljes	5, 8 y 12	Lutitas	Baja	Sin acuíferos significativos
	Llanuras de inundación	9 y 11	Lutitas y arenas finas	Media-baja por porosidad intergranular	Acuíferos semiconfinados de productividad media
	Abanico aluvial, fondo de valle y coluviones	6, 7 y 10	Lutitas, arenas y gravas	Media-alta por porosidad intergranular	Acuíferos libres de productividad media
NEÓGENO	Unidad Los Haitises	4	Calizas y calizas margosas	Media por porosidad intergranular y fracturación	Acuitado y acuíferos confinados de productividad baja
	Fm Cevicos	3	Calizas margosas y margas	Media por fracturación y karstificación	Acuíferos libres y confinados de productividad media
	Fm Yanigua	2	Lutitas calcáreas	Baja	Sin acuíferos significativos
CRETÁCICO	Intrusivos en la Fm Los Ranchos	1	Tonalitas	Baja	Sin acuíferos significativos

Tabla 7.2. Cuadro resumen de las unidades o agrupaciones hidrogeológicas de la Hoja de Cevicos.

Finalmente, las formaciones superficiales esencialmente arcillosas, constituidas por los depósitos de áreas pantanosas y endorreicas, no ofrecen grandes posibilidades como acuífero.

## 7.2. Recursos minerales

### 7.2.1. Descripción de las sustancias

Los recursos económicos de los materiales aflorantes en la Hoja de Cevicos se reducen a las explotaciones de áridos (calizas y calizas margosas) para carreteras que se concentran en los materiales de la Unidad de Los Haitises y, en menor proporción, en la Fm Cevicos que experimenta una extracción en canteras de dimensiones más pequeñas.

Se han descritos algunas capas de lignito de pequeño espesor dentro de la Fm Yanigua, cerca del Río Ara, si bien su potencia y extensión es demasiado limitada como para suponer un recurso explotable. De la misma forma, en otros sectores más orientales de la Cordillera Oriental estas mismas facies han producido hallazgos significativos de ambar. Por desgracia, en el transcurso de la cartografía no se han encontrado indicios de la existencia de este mineral semi-precioso dentro de la hoja.

NÚMERO	COORDENADAS (WG84)		FM / UND	SUSTANCIA	ACTIVIDAD	TAMAÑO	UTILIZACIÓN
	X	Y					
1	406292	2102879	Cevicos	Calizas margosas	Inactiva	Pequeña	Ari
2	395698	2104695	Cevicos	Calizas margosas	Intermitente	Mediana	Ari
3	397842	2106921	Cevicos	Calizas margosas	Inactiva	Pequeña	Ari
4	412488	2112828	Haitises	Calizas	Intermitente	Grande	Ari
5	421060	2112272	Haitises	Calizas	Intermitente	Grande	Ari

Tabla 7.3. Explotaciones de rocas industriales en la Hoja de Nizao.

### 7.2.2. Potencial minero

El potencial ligado al litotecto de las calizas es muy alto. Tanto la Unidad de los Haitises, como la Fm Cevicos tienen grandes reservas para desarrollar minería extractiva para árido de carretera y machaqueo. Las limitaciones vienen impuestas por la necesidad real del recurso y por la existencia de áreas protegidas dentro del Parque Nacional de Los Haitises.

## **8. LUGARES DE INTERÉS GEOLÓGICO**

### **8.1. Introducción**

La protección de diversas zonas del territorio tiene como finalidad asegurar la continuidad natural de los ecosistemas, preservándolos de actividades antrópicas destructivas y evitar el uso abusivo de sus recursos. Dentro de los recursos no renovables de un país, la geodiversidad ocupa un lugar relevante, pues proporciona un conocimiento fundamental para conocer la historia de la Tierra y la vida que en ella se desarrolla. Al mismo tiempo, su estudio e interpretación pone 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, la geodiversidad, 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 y paleobiológicos 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.

### **8.2. Relación de los L.I.G.**

La hoja de Cevicos Hombre no se caracteriza especialmente por la calidad de sus afloramientos, a excepción de los localizados en la autovía con destino a Samaná que corta de sur a norte los materiales plio-pleistocenos de la hoja. Esto dificulta en gran medida la selección de puntos L.I.G. donde realizar observaciones geológicas de calidad dentro de la hoja. Una excepción a esta regla es el paraje de Los Haitises, que por sí sola es una zona de enorme interés para la observación de la morfología cárstica y fenómenos asociados.

Los L.I.G descritos se localizan próximos a caminos y carreteras por lo que su acceso es fácil, en tanto estos se encuentren transitables ya que sus condiciones no son siempre

tan buenas como cabría desear, especialmente en el caso del L.I.G. localizados en las proximidades de los pueblos de Guaraguaó o Barraquito.

### **8.3. Descripción de los Lugares**

Se describen tres L.I.G, todos ellos ubicados del sector central de la hoja al Norte y relacionados en cierta medida con la geodinámica externa actual de la zona ya que tratan temáticas relativas al modelado del paisaje, funcionamiento hidrogeológico y/o estratigrafía y paleontología.

Su interés principal es casi exclusivamente geomorfológico e hidrogeológico, pero también puede poseer cierto valor sedimentológico. Por su posible utilización se pueden catalogar como divulgativos y científicos. El modelado kárstico tropical de Los Haitises posee, además, un evidente interés turístico dado la espectacularidad y belleza de estas formas.

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

#### **8.3.1. L.I.G. N° 1. El relieve kárstico tropical y arquitectura de facies de Los Haitises**

Se trata de una extensa región que desborda los límites de la Hoja. Un acceso fácil dentro de ésta es factible únicamente por el sector central, siguiendo la autovía que se dirige a la región de Samaná. Se propone un itinerario a través de esta, donde se pueden observar las peculiaridades de esta singular región y analizar como el modelado kárstico ha adquirido un notable y peculiar desarrollo. Su interés principal es de tipo geomorfológico, con un interés de tipo estratigráfico-sedimentológico y paleontológico subordinado. Por su utilización se puede considerar como científico, didáctico y turístico, y por su influencia, internacional.

El itinerario puede comenzarse en la localidad de Batey Nuevo donde se observan las facies típicas de la Fm Cevicos, constituidas por calizas margosas, bien tableadas, muy ricas en corales ramosos y moluscos. Intercalan paquetes métricos de margas con bivalvos en posición de vida. Estos depósitos se interpretan como facies de plataforma interna, protegida, con influencia moderada de los sistemas continentales. Su expresión

geomorfológica es muy pobre, generando un relieve alomado y no típicamente kárstico debido a la presencia de niveles más finos que impiden el avance de los procesos de disolución. Por otro lado, los paquetes más calcáreos si desarrollan formas kársticas típicas, aunque nunca alcanzan una extensión y profundidad importantes.

Unos 2,5 km siguiendo la carretera hacia el norte hasta el cruce con el pueblo de Majagual, se sigue aproximadamente este nivel, todavía dentro de la Fm Cevicos, que adquiere potencia en esta dirección. A su vez, las margas se acuñan progresivamente. En este punto las calizas margosas contienen multitud de ejemplares del equinodermo *Clypeaster concavus*, lo que dota a este punto del itinerario de un evidente interés paleontológico. El predominio de calizas sobre las margas favorece los procesos de karstificación, mucho mejor desarrollados que en el punto anterior pero sin llegar aún a la formación de un karst tropical maduro como el de Los Haitises, que pueden divisarse hacia el norte.

Un kilómetro y medio hacia el norte, cerca del paraje conocido como Balsa Mala, comienzan a aparecer las primeras calizas masivas bioclásticas en la parte alta de serie, en ocasiones con parches arrecifales. Las margas, con restos carbonosos y bivalvos en posición de vida, continúan perdiendo espesor en relación a las calizas margosas. Comienzan a apreciarse las típicas morfologías en torres (*hums* o haitises), consistentes en relictos del macizo calcáreo allí donde los procesos de disolución kárstica han actuado con mayor intensidad. Aparecen rodeados por terrenos deprimidos rojizos, constituidos por arcillas de descalcificación que en ocasiones penetran en la vertical varios metros desde el techo de la caliza.

A lo largo del itinerario, hacia el norte, son numerosas las perspectivas que muestran la superficie estructural configurada por los niveles de calizas arrecifales de la Fm Los Haitises y la enorme diversidad de formas de origen kárstico que adquiere la unidad. A medida que la carretera se interna en el corazón de la región, se aprecia que el macizo conserva algo más su integridad, predominando las dolinas en embudo aisladas, aunque se siguen observando uvalas y poljes generados por unión de varias dolinas a ambos lados de la carretera. De forma paralela, es posible realizar buenas observaciones sedimentológicas y estratigráficas dentro de las facies de la unidad, cada vez de mayor influencia marina. Las intercalaciones de margas se hacen muy escasas y poseen muy poco espesor, representando breves incursiones continentales que en ocasiones llegan a dar lugar a paleosuelos desarrollados sobre las calizas y calizas margosas de plataforma.

### 8.3.2. L.I.G. N° 2. Los Manatales de Los Haitises

Este L.I.G. es otro itinerario básico, en este caso por el sector central de la hoja, siguiendo el límite norte de la Unidad de Los Haitises, definido por la falla meridional de la Bahía de Samaná que pone en contacto los materiales del valle del Cibao con las calizas de esta unidad.

Su acceso es algo más complicado que el anterior y debe realizarse en automóvil por las pistas que, en general, se encuentran en bastante mal estado y que transitan al sur de las localidades de Guaraguao y Barraquito. Su interés principal es hidrogeológico. Por su posible utilización se podría también catalogar como científico y didáctico, pero principalmente es económico. Por su influencia puede considerarse regional.

A lo largo de todo el escarpe que define la falla meridional de Samaná nacen numerosos manatales que concentran el enorme volumen agua infiltrada en los Haitises y que circulan desde el norte por el interior de sus calizas, muy permeables, hacia la llanura del aluvial del Yuna. El caudal de estas surgencias es muy importante y dan lugar a arroyos y caños que desaguan al cauce principal del Río Yuna. Especialmente espectacular es el caso del Arroyo Guaraguao, en el pueblo de mismo nombre, donde los accesos hacen posible apreciar y cuantificar las características y caudal de esta surgencia muy de cerca.

### 8.3.3. L.I.G. N° 3. La llanura de inundación del Yuna

Este L.I.G. no consiste en un itinerario o punto concreto de examen sobre el terreno. Su análisis consiste, en lo básico, en la observación de imágenes satélite, radar y fotografías aéreas, si bien pueden ser respaldadas con un recorrido de campo por la llanura aluvial del Río Yuna en el sector nororiental de la Hoja.

El acceso a la zona es sencillo siguiendo la carretera con destino a Samaná hasta el pueblo de La Reforma. Una vez en este punto se puede tomar los diferentes caminos que circulan paralelo al cauce del Río Yuna o atraviesan la llanura de este río. Otro posible camino de entrada es desde la Sabana del Limón, a la que se llega por caminos que nacen el pueblo de Guaraguao. Todos estos accesos secundarios suelen estar anegados, especialmente en las épocas de lluvias. El principal interés es de este L.I.G es geomorfológico, hidrogeológico o incluso tectónico. Por su posible utilización se cataloga como científico y didáctico, mientras que por su influencia su ámbito es local.

Aunque la evolución y migración del cauce del Río Yuna se observa mucho mejor en las Hojas de Villa Riva y Nagua, su configuración más reciente puede observarse en la Hoja de Cevicos. A lo largo del Cuaternario, el Río Yuna ha experimentado sucesivas migraciones de su canal principal, que ha girado en sentido dextrógiro desde una posición inicial, donde presentaba una dirección aproximada N-S y desembocaba en la costa norte de la isla, hasta su posición actual, en la que desemboca en la Bahía de Samaná con una dirección E-O.

Esta migración pone de manifiesto la intensa tectónica activa existente en la zona, principalmente derivada de la Zona de Falla Septentrional. Su origen tiene lugar como consecuencia del levantamiento del *rigde* de San Francisco, un promontorio o levantamiento alargado localizado entre San Francisco de Macorís y Villa Riva, coincidiendo con una terminación oriental de la inflexión contractiva o *restraining bend* de escala regional generada en la parte más interna de la cuenca del Cibao adyacente a la falla Septentrional.

## 9. BIBLIOGRAFÍA

- BELLON, H., VILLA J.M., MERCIER de LEPINAY B. (1985).** Chronologie  $^{40}\text{K}$ - $^{39}\text{Ar}$  et affinités géoquimiques des manifestations magnétiques au Crétacé et au Paléogène dans l'île d'Hispaniola. Geodynamique des Caribes, Symposium Paris, 5-8 Février 1985, Editions Technip, 329-340.
- BILICH, A., FROHLICH, C., MANN, P. (2001).** Global seismicity characteristics of subduction-to-strike-slip transitions. Journal of Geophysical Research 106, 443-452.
- BLESCH, R.R. (1966).** Mapa geológico preliminar. In: Mapas. Volumen 2, Reconocimiento y Evaluación de los Recursos Naturales de la República Dominicana. Unión Panamericana, Escala 1.250 000.
- BOURDON, L. (1985).** La Cordillère Orientale Dominicaine (Hispaniola, Grandes Antilles). un arc insulaire crétacé polystructuré. Thèse 3ème cycle de l'Université P. et M. Curie, Paris, 203 pp.
- BOURGOIS, J., BLONDEAU, A., FEINBERG, H., GLANÇON, G., VILA, J.M. (1983).** The northern Caribbean plate boundary in Hispaniola. tectonics and stratigraphy of the Dominican Cordillera Septentrional (Greater Antilles). Bull. Soc. Géol. France 7, XXV, 83-89.
- BOWIN, C. (1966).** Geology of the central Dominican Republic. A case history of part of an island arc. In Hess H.H. ed., Caribbean geological investigations. Geological Society of America Memoir 98, p. 11-98.
- BOWIN, C. (1975).** The geology of Hispaniola, En. The ocean basins and margins; Volume 3, The Gulf of Mexico and the Caribbean, (NAIM, A., STEHLI, F. Eds.), New York, Plenum Press, 501-552.
- BRAGA, J.C. (2010).** Informe sobre las Formaciones Arrecifales del Neógeno y Cuaternario de la República Dominicana. Programa SYSMIN II n° 9 ACP DO 006 de Cartografía Geotemática de la República Dominicana. Proyecto 1B. Consorcio IGME-BRGM-INYPSA. Servicio Geológico Nacional, Santo Domingo.
- BROUWER S.B., BROUWER P.A. (1982).** Geología de la región ambarífera oriental de la República Dominicana. 9a Conferencia Geologica Del Caribe. Santo Domingo, República Dominicana. Memoriasvol 1, 303-322.
- BURKE, K. (1988).** Tectonic evolution of the Caribbean. Annual Review of Earth and Planetary Sciences, 16, p. 201-230.

- BURKE K., FOX P.J.Y, SENGOR A.M.C. (1978).** Buoyant ocean floor and the evolution of the Caribbean. *Journal of Geophysical Research* 83, 3949-3945.
- BYRN D.B., SUAREZ G., McCANN W.R. (1985).** Muertos Trough subduction ; Microplate tectonics in the northern Carribean? *Nature* 317, 420-421.
- CALAIS, E., BETHOUX, N., MERCIER DE LEPINAY, B. (1992).** From transcurrent faulting to frontal subduction: a seismotectonic study of the northern Caribbean plate boundary from Cuba to Puerto Rico, *Tectonics*, 11, 114–123.
- CALAIS, E., MERCIER DE LEPINAY, B. (1995).** Strike-slip tectonic proceses in the northern Caribbean between Cuba and Hispaniola (Windward Pasaje). *Marine Geophysics Research* 17, 63-95.
- CALAIS E., PERROT J., MERCIER DE LEPINAY B. (1998).** Strike-slip tectonics and seismicity along the northern Caribbean plate boundary from Cuba to Hispaniola. In: *Active strike-slip and collisional tectonics of the Northern Caribbean plate boundary zone* (Dolan J.F. Mann P., Eds.). Geological Society of America Special Paper 326, 125-142.
- CALAIS, E., MAZABRAUD, Y., MERCIER DE LEPINAY, B., MANN, P., MATTIOLI, G., JANSMA, P. (2002).** Strain partitioning and fault slip rates in the northeastern Caribbean from GPS measurements, *Geophys. Res. Lett.*, 29.
- CÁMARA, R., MOLINA-RODRÍGUEZ, J., ÁLVAREZ-GARCÍA, G. (1994).** Cavidades del Litoral. Parque nacional de los Haitises. República Dominicana. Santo. AECI-Dnp. 84 pp.
- CONTRERAS, F., ARDÉVOL, LL., GRANADOS, L., CALVO, J.P., ESCUDER VIRUETE, J., ESCUER, J., FLORIDO, P., ANTÓN PACHECO, C., GARCÍA LOBÓN, J.L., MORTENSEN, J.K., ULLRICH, T., FRIEDMAN R. (2004).** Mapa Geológico de la República Dominicana E. 1:50.000, Jicomé (5973-IV). Servicio Geológico Nacional, Santo Domingo, 158 pp.
- DE LA FUENTE S. (1976).** Geografía Dominicana. Amigo del Hogar, Santo Domingo, 272 p.
- DE ZOETEN R., MANN P. (1991).** Structural geology and Cenozoic tectonic history of the central Cordillera Septentrional, Dominican Republic. En. *Geologic and tectonic development of the North America-Caribbean plate boundary in Hispaniola* (Mann P., Draper G. y Lewis J.F., eds.), Geological Society of America Special Paper, 262, p. 265-279.

- DE ZOETEN R., MANN P. (1999).** Cenozoic El Mamey Group of Northern Hispaniola. a sedimentary record of subduction, collisional and strike-slip events within the North America–Caribbean Plate boundary zone. In: Caribbean basins. Sedimentary basins of the world (Mann, P. Ed.; Hsü, K.J. Series Ed.), 247-286.
- DEMETS, C., JANSMA, P.E., MATTIOLI, G.S., DIXON, T.H., 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., MARTIN-SERRANO A. y ESCUER J. (2007).** Evolucion geomorfologica de la Cordillera Oriental Dominicana. *Boletín Geologico y Minero*, Vol. 118, n° 2, p. 385-400.
- DÍAZ de NEIRA J.A., MARTIN-SERRANO A., PEREZ CERDAN F. y ESCUER J. (2007).** Aplicacion de la cartografía de procesos activos a la Hoya de Enriquillo (Suroeste de la Republica Dominicana). *Boletín Geologico y Minero*, Vol. 118, n° 2, p. 401-413.
- DÍAZ DE NEIRA J.A., HERNAIZ HUERTA P.P. (2004).** Mapa geológico a 1.50 000 de Antón Sánchez (6272-I). Hoja y Memoria. Programa SYSMIN 7 ACP DO 024 de Cartografía Geotemática de la República Dominicana. Proyecto L-Este. Consorcio IGME-BRGM-INYPSA. Servicio Geológico Nacional, Santo Domingo. 126 pp.
- DÍAZ DE NEIRA, J. A. & SOLÉ PONT, F. J. (2002).** Precisiones estratigráficas sobre el Neógeno de la cuenca de Azua (República Dominicana) - Stratigraphic precisions about the Neogene of the Azua basin (Dominican Republic). *Acta Geologica Hispanica*, 37, 163-181.
- DÍAZ DEL OLMO, F., CÁMARA, R. (2003).** Karst tropical de Dolinas. Tipología y evolución en el Plio-Cuaternario de República Dominicana. Libro resumen XI Reunión Nacional Cuaternario Ibéricos, 123-128,
- DIXON T.H., DAILY M.I. (1981).** Analysis of a SEASTAT-SAR image of the northeastern Dominican Republic, Paris, France, Photo-Interpretation, v.5, p. 4.3-4.7.
- DOLAN J., MANN P., de ZOETEN R., HEUBECK C., SHIROMA J., MONECHI S. (1991).** Sedimentologic, stratigraphic and tectonic synthesis of Eocene-Miocene sedimentary basins, Hispaniola and Puerto Rico. In: Geologic and tectonic development of the North America-Caribbean plate boundary in Hispaniola (Mann P., Draper G. and Lewis J.F., Eds.). Boulder, Colorado, Geological Society of America Special Paper 262, p. 217-263.

- 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. In Dolan J.F. and Mann P., eds., Active strike-slip and collisional tectonics of the Northern Caribbean plate boundary zone, Geological Society of America Special Paper 326, p. 1-62.
- DONNELLY T.W., BEETS D., CARR M., JACKSON T., KLAVER G., LEWIS J., MAURY R., SCHELLEKENS H., SMITH A., WADGE G., WESTERN CAMP D. (1990).** History and tectonic setting of the Caribbean magmatism. In: The Caribbean Region, The Geology of North America (Dengo, G., Case, J. Eds.). Geol. Soc. America. Boulder, Colorado Vol. H, 339-374.
- DOUGLAS-ROBERTSON AND ASSOCIATES, INC. (1983).** Report on East Cibao / El Valle Coal Project for Rosario Dominicana, S.A., Dominican Republic. Unpublished report, April 8, 1983, 51 pp.
- DOUGLAS R.C. (1961).** Orbitolines from Caribbean Islands. *Journal of Paleontology*, 35(3), 475-479.
- DRAPER G., LEWIS J.F. (1991).** Metamorphic belts in central Hispaniola. In: Geologic and tectonic development of the North America-Caribbean plate boundary in Hispaniola (Mann, P., Draper, G. y Lewis, J.F., Eds.), Geological Society of America Special Paper 262, p. 29-45.
- DRAPER, G., MANN, P., LEWIS, J. F., (1994).** Hispaniola. In: Caribbean Geology. An introduction (Donovan, S.K., Jackson, T.A., Eds.), Kingston, Jamaica, University of the West Indies Publishers Association, 129-150.
- DRAPER G., GUTIERREZ G., LEWIS J.F. (1996).** Thrust emplacement of the Hispaniola peridotite belt. Orogenic expression of the Mid Cretaceous Caribbean arc polarity reversal. *Geology* 24(12), 1143-1146.
- DRAPER, G., GUTIERREZ-ALONSO, G. (1997).** La estructura del Cinturón de Maimón en la isla de Hispaniola y sus implicaciones geodinámicas. *Revista de la Sociedad Geológica de España* 10, 281-299.
- DRAPER G., NAGLE F. (1991).** Geology, structure, and tectonic development of the Rio San Juan Complex, northern Dominican Republic. In: Geologic and tectonic development of the North America-Caribbean plate boundary in Hispaniola (Mann, P., Draper, G. y Lewis, J.F., Eds.), Geological Society of America Special Paper 262, 77-95.

- DRUMMOND M.S., DEFANT M.J. (1990).** A model for trondhjemite-tonalita-dacite genesis and crustal growth via slab melting. Archean to Modern comparisons. *Journal of Geophysical Research* 95, 21503-21521.
- EDGAR N.T. (1991).** Structure and geologic development of the Cibao Valley, northern Hispaniola. In: *Geologic and tectonic development of the North America-Caribbean plate boundary in Hispaniola* (Mann P., Draper G. y Lewis J.F., Eds.), Geological Society of America Special Paper, 262, 281-299.
- ESCUDER VIRUETE J. (2004).** Informe de petrología y geoquímica de las rocas ígneas y metamórficas del Proyecto L (Zonas Este y Suroeste). Programa SYSMIN 7 ACP DO 024 de Cartografía Geotemática de la República Dominicana. Consorcio IGME-BRGM-INYPSA. Servicio Geológico Nacional, Santo Domingo.
- ESCUDER VIRUETE J., HERNALZ HUERTA P.P., DRAPER G., GUTIERREZ G., LEWIS J.F., PÉREZ-ESTAÚN A. (2002).** Metamorfismo y estructura de la Formación Maimón y los Complejos Duarte y Río Verde, Cordillera Central Dominicana. implicaciones en la estructura y la evolución del primitivo Arco Isla Caribeño. Evolución geológica del margen norte de la Placa del Caribe, República Dominicana. *Acta Geologica Hispanica* 37(2-3), 123-162.
- ESCUDER VIRUETE J., DIAZ DE NEIRA A., HERNALZ HUERTA P.P., MONTHEL J., GARCIA-SENZ J., JOUBERT M., LOPERA E., ULLRICH T., FRIEDMAN R., MORTENSEN J., PEREZ-ESTAUN 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., CONTRERAS F., JOUBERT M., URIEN P., STEIN G., WEIS D., PEREZ-ESTAUN, A. (2007a).** Tectónica y geoquímica de la formación Amina. registro del arco isla Caribeño primitivo en la Cordillera Central, República Dominicana. *Boletín Geológico y Minero* 118(2), 221-242.
- ESCUDER VIRUETE J., DIAZ de NEIRA A., HERNALZ HUERTA P.P., GARCIA-SENZ J., MONTHEL J., JOUBERT M., LOPERA E., ULLRICH T., FRIEDMAN R., WEIS D. y PEREZ-ESTAUN A. (2007b).** Implicaciones tectonomagmáticas y edad de las toleitas de arco-isla, boninitas y rocas ácidas relacionadas de la formación Los Ranchos, Cordillera Oriental, República Dominicana. *Boletín Geológico y Minero* 118(2), 195-174.

- ESCUDE R VIRUETE, J., PÉREZ-ESTAÚN, A., WEIS, D. (2008).** Geochemical constraints on the origin of the late Jurassic proto-Caribbean oceanic crust in Hispaniola. *International Journal of Earth Sciences* 98(2), 407-425.
- ESCUDE R VIRUETE, J., FRIEDMAN, R. PÉREZ-ESTAÚN, A., JOUBERT, M., WEIS, D. (2009).** U-Pb constraints on the timing of igneous and metamorphic events in the Rio San Juan complex, northern Hispaniola. VII Congreso Cubano de Geología. Workshop IGCP-544.
- ESCUDE R-VIRUETE, J. (2010a).** Informe de petrología de rocas ígneas y metamórficas de la Cordillera Oriental. Proyecto SYSMIN II. 21pp.
- ESCUDE R-VIRUETE, J. (2010b).** Informe de geoquímica de rocas ígneas y metamórficas de la Cordillera Oriental. Proyecto SYSMIN II. 15pp.
- ESPÍ, J.A. (2000).** Análisis y ordenación de la minería artesanal. Proyecto C. Programa SYSMIN. Dirección General de Minería, Santo Domingo.
- GABB, W.M. (1881).** On the topography and geology of Santo Domingo, Am. Philos. Soc. Trans., n.s., XV, 49-259.
- GARCIA-SENZ J., MONTHEL J., DIAZ de NEIRA A., HERNAIZ HUERTA P.P., CALVO J.P., ESCUDE R VIRUETE J. (2007).** Estratigrafía del Cretácico Superior de la Cordillera Oriental de la República Dominicana. *Boletín Geológico y Minero* 118(2), 269-292.
- GEISTER J. (1977).** The influence of wave exposure on the ecological zonation of Caribbean coral reefs. In: Taylor DL (ed.), Proc. 3rd Int. Coral Reef Symp. Rosenstiel School of Marine and Atmospheric Science, University of Miami, Florida, pp. 23–29.
- GONÇALVES, P.H., GUILLOT S, LARDEAUX, J.M., NICOLLET, C., MERCIER DE LEPINAY, B. (2000).** Thrusting and sinistral wrenching in a pre-Eocene HP-LT Caribbean accretionary wedge (Samana´ Peninsula, Dominican Republic). *Geodinamica Acta* 13, 119-132.
- HERNAIZ HUERTA, P.P. (2007).** La estructura del Sector Meridional de la República Dominicana. Una aproximación a su evolución geodinámica durante el Cenozoico. Tesis Doctoral (Inédita). Universidad Complutense de Madrid. 287 pp.
- HERNAIZ HUERTA, P.P., DRAPER, G. (2000).** Mapa Geológico de la Hoja a E. 1:50.000 N° 6172-II (Villa Altigracia) y Memoria correspondiente. Proyecto “C” de

Cartografía Geotemática de la República Dominicana. Programa SYSMIN. Servicio Geológico Nacional, Santo Domingo

- HERNAIZ HUERTA, P.P., PÉREZ-ESTAÚN, A. (2002).** Estructura del cinturón de pliegues y cabalgamientos de Peralta, República Dominicana. En: Pérez-Estaún, A., Tavares, I., García Cortes, A. y Hernaiz Huerta, P.P. (eds.), Evolución geológica del margen norte de la Placa del Caribe, República Dominicana. Acta Geológica Hispánica 37, 183-205.
- HERNANDEZ J.B. (1980).** Geología preliminar del area «El Valle», Provincia El Seybo, República Dominicana. 9a Conferencia Geologica Del Caribe. Santo Domingo, República Dominicana. Memorias, vol 2, p. 675-680.
- HEUBECK C. (1988).** Geology of the southeastern termination of the Cordillera Central, Dominican Republic. M.A. Thesis. University of Texas, Austin, 333 p.
- ITURRALDE VINENT M.A. (2001).** Geology of the amber-bearing deposits of the Greater Antilles. Caribbean Journal of Science, Vol. 37, n° 3-4, p. 141-167.
- DOLAN, J.F., MANN, P. (EDS.) (1998).** Active Strike-Slip and Collisional Tectonics of the Northern Caribbean Plate Boundary Zone. Geological Society of America Special Paper 326, 174 pp.
- JANSMA, P.E., MATTIOLI, G.S., LOPEZ, A., DEMETS, C., DIXON, T.H., MANN, P. & CALAIS, E. (2000).** Neotectonics of Puerto Rico and the Virgin Islands, northeastern Caribbean from GPS geodesy. Tectonics 19, 1021-1037.
- JENSEN, L.S. (1976).** A new cation plot for classifying subalkalic volcanic rocks. Ontario Department of Mines, Miscellaneous Paper 66.
- JOLLY, W.T., LIDIAK, E.G., SCHELLECKENS, H.S., SANTOS, S. (1998).** Volcanism, tectonics, and stratigraphic correlations in Puerto Rico. In: Lidiak, E.G., Larue, D.K. (Eds.), Tectonics and geochemistry of the northeastern Caribbean. Geological Society of America Special Paper 322, 1-34.
- JOLLY, W.T., LIDIAK, E.G., DICKIN, A.K., WU, T.W. (2001).** Secular geochemistry of Central Puerto Rican island arc lavas: constraints on mesozoic tectonism in the eastern Greater Antilles. Journal of Petrology 42, 2197-2214.
- JOLLY, W.T., LIDIAK, E.G., DICKIN, A.P. (2006).** Cretaceous to Mid-Eocene pelagic sediment budget in Puerto Rico and the Virgin Islands (northeast Antilles island arc). Geologica Acta 4, 35-62.

**JOLLY, W.T., SCHELLEKENS, J.H., DICKIN, A.P. (2007).** High-Mg andesites and related lavas from southwestern Puerto Rico (Greater Antilles Island Arc): petrogenetic links with emplacement of the Caribbean mantle plume. *Lithos* 98, 1–26.

**JOUBERT, M., URIEN, P., ARDEVOL, LL., BOURDILLON, CH., BONNEMAISON, M., ESCUDER VIRUETE, J., LE GOFF, E., LEROUGE, C., ESCUER, J., LOPERA, E., ANTÓN PACHECO, C., GARCÍA LOBÓN, J.L., MORTENSEN, J.K., ULLRICH, T., FRIEDMAN R. (2004).** Mapa Geológico de la República Dominicana a E. 1.50.000, Lamedero (5973-I). Servicio Geológico Nacional, Santo Domingo, 192 pp.

**JOYCE, J. (1991).** Blueschist metamorphism and deformation on the Samana Peninsula; a record of subduction and collision in the Greater Antilles. En. *Geologic and tectonic development of the North America-Caribbean plate boundary in Hispaniola* (Mann, P., Draper, G. y Lewis, J.F., Eds.), Geological Society of America Special Paper 262, 47-76.

**KERR, A.C., ITURRALDE-VINENT, M.A., SAUNDERS, A.D., BABBS, T.L., AND TARNEY, J. (1999).** A new plate tectonic model of the Caribbean: Implications from a geochemical reconnaissance of Cuban Mesozoic volcanic rocks. *Geological Society of America Bulletin* 111, 1581–1599.

**KERR, A.C., TARNEY, J., KEMPTON, P.D., SPADEA, P., NIVIA, A., MARRINER, G.F., DUNCAN, R.A. (2002).** Pervasive mantle plume head heterogeneity. evidence from the late Cretaceous Caribbean–Colombian oceanic plateau. *Journal of Geophysical Research* 107, 1029-2001.

**KESLER, S.E., RUSSELL, N., POLANCO, J., MCCURDY, K., AND CUMMING, G.L. (1990a).** Geology and geochemistry of the early Cretaceous Los Ranchos Formation, central Dominican Republic, in Mann, P., *et al.*, 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., RUSSELL, N., REYES, C., SANTOS, L., RODRIGUEZ, A., AND FONDEUR, L. (1990b).** Geology of the Maimon Formation, Dominican Republic, in Mann, P., *et al.*, eds., *Geologic and tectonic development of the North America-Caribbean plate boundary in Hispaniola*. Geological Society of America Special Paper 262, 173-185.

- KESLER S.E., SUTTER J.F., JONES L.M., WALKER R.L. (1977).** Early Cretaceous basement rocks in Hispaniola. *Geology* 5, 245-247.
- KESLER, S.E., RUSSELL, N., MCCURDY, K. (2003).** Trace-element content of the Pueblo Viejo precious-metal deposits and their relation to other high-sulfidation epithermal systems. *Mineralium Deposita* 38, 668-682.
- KESLER, S.E., CAMPBELL, I.H., SMITH, C.N., HALL, C.M., AND ALLEN, C.M. (2005a).** Age of the Pueblo Viejo deposit and its significance to models for high-sulfidation deposits. *Economic Geology and the Bulletin of the Society of Economic Geologists*.
- KLAUS, J.S., FRIAS-LOPEZ J, BONHEYO GT, HEIKOOP JM, FOUKE BW (2005).** Bacterial communities inhabiting the healthy tissues of two Caribbean reef corals: interspecific and spatial variation. *Coral Reefs* 23:129–137
- LAPIERRE, H., BOSCH, D., DUPUIS, V., POLVÉ, M., MAURY, R., HERNANDEZ, J., MONIÉ, P., YEGHICHEYAN, D., JAILLARD, E., TARDY, M., DE LEPINAY, B., MAMBERTI, M., DESMET, A., KELLER F., SENEBIER, F. (2000).** Multiple plume events in the genesis of the peri-Caribbean Cretaceous oceanic plateau province. *Journal of Geophysical Research* 105, 8403-8421.
- LAPIERRE, H., DUPUIS, V., DE LEPINAY, B.M., BOSCH, D., MONIE, P., TARDY, M., MAURY, R.C., HERNANDEZ, J., POLVE, M., YEGHICHEYAN, D., COTTEN, J. (1999).** Late Jurassic oceanic crust and upper cretaceous Caribbean plateau picritic basalts exposed in the Duarte igneous complex, Hispaniola. *Journal of Geology* 107, 193-207.
- LAPIERRE, H., DUPUIS, V., LEPINAY, B.M., TARDY, M., RUIZ, J., MAURY, R.C., HERNÁNDEZ, J., LOUBET, M. (1997).** Is the Lower Duarte Complex (Española) a remnant of the Caribbean plume generated oceanic plateau?. *Journal of Geology* 105, 111-120.
- LEBRÓN M.C. (1989).** Petrochemistry and tectonic significance of late Cretaceous calcalkaline volcanic rocks, Cordillera Oriental, Dominican Republic. M. Sc. Thesis, Univ. Florida. Gainesville. Fla. 154 p.
- LEBRÓN M.C., MANN P. (1991).** Geologic map of the eastern Dominican Republic. En. *Geologic and Tectonic Development of the North America-Caribbean Plate in Hispaniola* (Mann, P., Draper, G., Lewis J., Eds.). *Geol. Soc. Am. Spec. Pap.*, 262, scale 1:150 000.

- LEBRÓN M.C., PERFIT M.R. (1993).** Stratigraphic and Petrochemical Data Support Subduction Polarity Reversal of the Cretaceous Caribbean Island Arc.. *Journal of Geology* 101, 389-396.
- LEBRÓN M.C., PERFIT M.R. (1994).** Petrochemistry and tectonic significance of Cretaceous island-arc rocks, Cordillera Oriental, Dominican Republic. *Tectonophysics* 229, 69-100.
- LEWIS, J.F. (1980).** Résumé of geology in Hispaniola. En Field guide to the 9th Caribbean Geological Conference, Santo Domingo, Dominican Republic. Amigo del Hogar Publishers, 5-31.
- LEWIS J.F., AMARANTE A., BLOISE G., JIMENEZ G., J.G., DOMINGUEZ H.D. (1991).** Lithology and stratigraphy of upper Cretaceous volcanic, and volcanoclastic rocks of Tiroo Group, Dominican Republic, and correlations with the Massif du Nord in Haiti. In: *Geologic and tectonic development of the North America-Caribbean plate boundary in Hispaniola* (Mann, P., Draper, G., Lewis J.F., Eds.). Geological Society of America Special Paper 262, 143-163.
- LEWIS J.F., ASTACIO V.A., ESPAILLAT J., JIMENEZ J. (2000).** The occurrence of volcanogenic massive sulfide deposits in the Maimon Formation, Dominican Republic. The Cerro de Maimón, Loma Pesada and Loma Barbuito deposits. In: *VMS deposits of Latin America* (Sherlock, R., Barsch, R., Logan, A., Eds.). Geological Society of Canada Special Publication 223-249.
- LEWIS J.F., ESCUDER VIRUETE J., HERNALZ HUERTA P.P., GUTIERREZ G., DRAPER G., PÉREZ-ESTAÚN A. (2002).** Subdivisión geoquímica del Arco Isla Circum-Caribeño, Cordillera Central Dominicana. implicaciones para la formación, acreción y crecimiento cortical en un ambiente intraoceánico. Evolución geológica del margen norte de la Placa del Caribe, República Dominicana. *Acta Geologica Hispanica* 37(2-3), 81-122.
- LEWIS, J.F., PERFIT M., HORAN S., DIAZ DE VILLAVILLA A. (1995).** Geochemistry and petrotectonic significance of early arc bimodal volcanism in the Greater Antillas Arc. Abstracts with Programs, Annual Meeting, Geological Society of America, New Orleans, A-227.
- LEWIS, J.F., DRAPER, G., PROENZA, J., ESPAILLAT, J., JIMÉNEZ, J. (2006).** Ophiolite-Related Ultramafic Rocks (Serpentinites) in the Caribbean Region. A Review of their Occurrence, Composition, Origin, Emplacement and Ni-Laterite Soil Formation. *Geologica Acta* 4, 237-263.

- LEWIS J.F., DRAPER G. (1990).** Geological and tectonic evolution of the northern Caribbean margin. *Decade of North American Geology*, v. H. The Caribbean, Geol. Soc America, 77-140.
- LEWIS, J.F., JIMÉNEZ, J.G. (1991).** Duarte Complex in the La Vega-Jarabacoa-Jánico Area, Central Española. Geological and Geochemical Features of the Sea Floor During the Early Stages of Arc Evolution. En. Mann, P., Draper, G. y Lewis J.F. (ed.), *Geologic and Tectonic Development of the North America-Caribbean Plate Boundary in Hispaniola*. Geological Society America Special Paper 262, 115-142.
- MANN P., DRAPER G., LEWIS J.F. (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. *Geologic and tectonic development of the North America-Caribbean plate boundary in Hispaniola* (Mann P., Draper G. y Lewis J.F., Eds.), Geological Society of America Special Paper 262, 1-28.
- MANN, P. (1999).** Caribbean Sedimentary Basins. Classification and Tectonic Setting from Jurassic to Present. In: *Caribbean Basins. Sedimentary Basins of the World* (Mann, P., Ed.), 3-31.
- MANN P., TAYLOR F.W., EDWARDS R.L., KU T.L. (1995).** Actively evolving microplate formation by oblique collision and sideways motion along strike-slip faults. An example from the northeastern Caribbean plate margin. *Tectonophysics* 246, 1-69.
- MANN, P.; PRENTICE, C.; KING, W.; DEMETS, C.; WIGGINS-GRANDISON, M.; BENFORD, B. (2008).** Late Quaternary Activity and Seismogenic Potential of the Gonave Microplate. Plantain Garden Strike-Slip Fault Zone of Eastern Jamaica. American Geophysical Union, Fall Meeting 2008, abstract #T11B-1869.
- MANN P., PRENTICE C.S., BURR G., PENA L.R., TAYLOR F.W. (1998).** Tectonic geomorphology and paleoseismology of the Septentrional fault system, Dominican Republic. In: *Active strike-slip and collisional tectonics of the Northern Caribbean plate boundary zone* (Dolan J.F. and Mann P., Eds.) Geological Society of America Special Paper 326, 63-124.
- MANN, P., CALAIS, E., RUEGG, J-C., DEMETS, C., JANSMA, P., MATTIOLI, G. (2002).** Oblique collision in the northeastern Caribbean from GPS measurements and geological observations. *Tectonics* 21, 6, 1-26.

- MARCHESI, C., GARRIDO, C.J., GODARD, M., PROENZA, J.A., GERVILLA, F. BLANCO-MORENO, J. (2006).** Petrogenesis of highly depleted peridotites and gabbroic rocks from Mayarí-Baracoa Ophiolitic Belt (eastern Cuba). *Contrib. Mineral. Petrol.* 151, 717-736.
- MASSON D.G., SCANLON K.M. (1991).** The neotectonic setting of Puerto Rico. *Geological Society of America Bulletin* 103(1), 144-154.
- MAURRASSE, F.J.M. (1981).** New data on the stratigraphy of the southern peninsula of Haiti. En . *Transactions du 1er colloque sur la géologie d'Haiti* (F.J.M. Maurrasse, Ed.), 184-198. Ministère des Mines et des Ressources Énergétiques Port-au-Prince, Port-au-Prince, Haiti.
- MONTGOMERY H., PESSAGNO E.A., PINDELL J.L. (1994).** A 195 Ma terrane in a 165 Ma sea. Pacific origin of the Caribbean Plate. *GSA Today*, 1(1), p. 1-6.
- MONTHEL J. (2004).** Mapa geológico a 1:50 000 de El Valle (6372-IV). Hoja y Memoria. Programa SYSMIN 7 ACP DO 024 de Cartografía Geotemática de la República Dominicana. Proyecto L-Este. Consorcio IGME-BRGM-INYPSA. Servicio Geológico Nacional, Santo Domingo.
- MYCZYNSKI, R., ITURRALDE-VINENT, M. (2005).** The Late Lower Albian invertebrate fauna of the Río Hatillo Formation of Pueblo Viejo, Dominican Republic. *Caribbean Journal of Science*, Vol. 41, p.782-796.
- NAGLE F. (1979).** Geology of the Puerto Plata area, Dominican Republic. Hispaniola. tectonic focal point of the Northern Caribbean. Three geologic studies in the Dominican Republic, Miami Geological Society, compiled and edited by B. Lidz and F. Nagle, p. 1-28.
- PARDO G. (1975).** Geology of Cuba. In: *The Ocean Basins and Margins*, (Nairn y Stelhi, Eds.) A.E.M. Vol. 3.
- PEARCE, J.A. (1983).** The role of sub-continental lithosphere in magma genesis at destructive plate margins. In: *Continental Basalts and Mantle Xenoliths* (Hawkesworth, C.J., Norry M.J., Eds.). Nantwich, Shiva, 230-249.
- 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.
- PINDELL J.L., DRAPER G. (1991).** Stratigraphy and geological history of the Puerto Plata area, northern Dominican Republic. In: *Geologic and tectonic development*

of the North America-Caribbean plate boundary in Hispaniola (Mann P., Draper G. and Lewis J.F., Eds.). Boulder, Colorado, Geological Society of America Special Paper 262, 97-114.

**PINDELL, J. L., AND L. KENNAN, (2006).** Mexico and Gulf of Mexico, Exploration Framework Atlas Volume 4. Tectonic Analysis Ltd., non-exclusive report and GIS database.

**PINDELL, J.L., KENNAN, L. (2009).** Tectonic evolution of the Gulf of Mexico, Caribbean and northern and northern South America in the mantle reference frame. an update. In: The geology and evolution of the region between North and South America (James, K., Lorente, M.A., Pindell, J., Eds.). Geological Society of London, Special Publication, 1-60.

**PRENTICE, C.S., MANN, P., PEA, L.R., BURR, G. (2002).** Slip rate and earthquake recurrence along the central Septentrional fault, North American-Caribbean plate boundary, Dominican Republic, J. Geophys. Res. 108, 234-278.

**SHELLEKENS, J.H. (1998).** Geochemical evolution and tectonic history of Puerto Rico. Geological Society of America Special Paper 322, 35-66.

**SEN, G., HICKEY-VARGAS, D.G., WAGGONER, F., MAURASSE, F. (1988).** Geochemistry of basalts from the Dumisseau Formation. Southern Haiti. Implications for the origin of the Caribbean Sea crust. Earth Planetary Science Letters 87, 423-437.

**SHERVAIS, J.W. (1982).** Ti-V plots and the petrogenesis of modern and ophiolitic lavas. Earth and Planetary Science Letters 59, 101-118.

**SMITH I.E.M., WORTHINGTON T.J., STEWART R.B., PRICE R.C., GAMBLE J.A. (2003).** Felsic volcanism in the Kermadec arc, SW Pacific. crustal recycling in an oceanic setting. In: Intra-Oceanic Subduction Systems. Tectonic and Magmatic Processes (Larter, R.D., Leat, P.T., Eds.). Geological Society of London, Special Publications 219, 99-118.

**STEIN, G., ARDÉVOL, LL., BOURDILLON, CH., BONNEMAISON, M., ESCUDER VIRUETE, J., LE GOFF, E., ESCUER, J., LOPERA, E., ANTÓN PACHECO, C., GARCÍA LOBÓN, J.L., MORTENSEN, J.K., ULLRICH, T. Y FRIEDMAN R., (2004).** Mapa Geológico de la República Dominicana a E. 1.50.000, Restauración (5873-I). Servicio Geológico Nacional, Santo Domingo, 168 pp.

- SUN S.S., MCDONOUGH W.F. (1989).** Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts. Implications for mantle compositions and processes. In: *Magmatism in the Ocean Basins* (Saunders A.D., Norry M.J., Eds.). M. Geological Society Special Publication 42, 313-345.
- TAMURA, Y., TATSUMI, Y. (2002).** Remelting of an andesitic crust as a possible origin for rhyolitic magma in oceanic arcs: an example from the Izu-Bonin arc. *Journal of Petrology* 43, 1029-1047.
- TOLOCZYKI M., RAMIREZ I. (1991).** Mapa geológico de la República Dominicana 1:250 000. Secretaria de Estado de Industria y Comercio, Dirección General de Minería, Instituto Geográfico Universitario, Santo Domingo, D.N. en cooperación con Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover, República Federal de Alemania.
- TUTTLE M.P., PRENTICE C.S., DYER-WILLIAMS K., PENA L.R. and BURR G. (2003).** Late Holocene liquefaction features in the Dominican Republic. a powerful tool for earthquake hazard assessment in the Northeastern Caribbean. *Bulletin of the Seismological Society of America* 93(1), 27-46.
- VAUGHAN, T.W., COOKE, W., CONDIT, D.D., ROSS, C.P., WOODRING, W.P., CALKINS, F.C. (1921).** A Geological Reconnaissance of the Dominican Republic. In: *Colección de Cultura Dominicana de la Sociedad Dominicana de Bibliófilos*. Editora de Santo Domingo., Santo Domingo 18, 268 pp
- 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. In: *Geologic and tectonic development of the North America-Caribbean plate boundary in Hispaniola* (Mann P., Draper G. y Lewis J.F., Eds.), Geological Society of America Special Paper 262, 301-313.
- WOOD D.A. (1980).** The application of a Th-Hf-Ta diagram to problems of tectonomagmatic classification and to establishing the nature of crustal contamination of basaltic lavas of the British Tertiary volcanic province, *Earth and Planetary Science Letters* 50, 11-30.