



SERVICIO GEOLÓGICO NACIONAL

REPÚBLICA DOMINICANA

**MAPA GEOLÓGICO
DE LA REPÚBLICA DOMINICANA
ESCALA 1:50.000**

**La Jagua-Palmar Nuevo
(6273-II)**

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

La presente Hoja y Memoria forma parte del Programa de Cartografía Geotemática de la República Dominicana, Proyecto 1B, financiado, en consideración de donación, por la Unión Europea a través del programa SYSMIN II de soporte al sector geológico-minero (Programa CRIS 190-604, ex No 9 ACP DO 006/01). Ha sido realizada en el periodo 2007-2010 por el Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM), formando parte del Consorcio IGME-BRGM-INYPSA, con normas, dirección y supervisión del Servicio Geológico Nacional, habiendo participado los siguientes técnicos y especialistas:

CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA, COORDINACIÓN Y REDACCIÓN DE LA MEMORIA

- Dr Marc Joubert (BRGM)

MICROPALEONTOLOGÍA Y PETROGRAFÍA DE ROCAS SEDIMENTARIAS

- Dra. Chantal Bourdillon (ERADATA, Le Mans, Francia)

SEDIMENTOLOGÍA Y LEVANTAMIENTO DE COLUMNAS

- Dr Manuel Abad de Los Santos (Universidad de Huelva, España)
- Dr Fernando Pérez Varela (Universidad de Jaén, España)

PETROGRAFÍA DE ROCAS SEDIMENTARIAS

- Dra. Chantal Bourdillon (ERADATA, Le Mans, Francia)

GEOLOGÍA ESTRUCTURAL Y TECTÓNICA

- Dr Marc Joubert (BRGM)
- Dr. Javier Escuder Viruete (IGME)

GEOMORFOLOGÍA

- Dr Fernando Moreno (INYPSA)

MINERALES METÁLICOS Y NO METÁLICOS

- Ing. Eusebio Lopera (IGME)

TELEDETECCIÓN

- Ing. Juan Carlos Gumiel (IGME)

INTERPRETACIÓN DE LA GEOFÍSICA AEROTRANSPORTADA

- Dr. José Luis García Lobón (IGME)

DIGITALIZACIÓN, CREACIÓN DE LA ESTRUCTURA SIG Y EDICIÓN DE LOS MAPAS

- Ing. Fernando Pérez Cerdán (IGME)

ASESORES GENERALES DEL PROYECTO

- Dr. Grenville Draper (Universidad Internacional de Florida, USA)

DIRECTOR DEL PROYECTO

- Ing. Eusebio Lopera (IGME)

SUPERVISIÓN TÉCNICA POR PARTE DE LA UNIÓN EUROPEA

- Ing. Enrique Burkhalter. Director de la Unidad Técnica de Gestión (TYPSA) del Programa SYSMIN

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

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

SUPERVISIÓN TÉCNICA POR PARTE DEL Servicio Geológico Nacional

- Ing. Octavio López
- Ing. Santiago Muñoz
- Ing. María Calzadilla
- Ing. Jesús Rodríguez

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

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

- Muestras y sus correspondientes preparaciones
- Fichas petrográficas o micropaleontológicas de cada una de las muestras
- Mapa de muestras
- Lugares de Interés Geológico

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

- Mapas Geomorfológico y de Procesos Activos susceptibles de constituir Riesgo Geológico del Cuadrante a escala 1:100.000 de Barahona (5970) y Memoria adjunta

- Mapa de Recursos Minerales del Cuadrante a escala 1:100.000 de Barahona (5970) y Memoria adjunta
- Geoquímica de Sedimentos Activos y Mineralometría. Mapa a escala 1:150.000 y Memoria adjunta

Y los siguientes Informes Complementarios:

- Informe Estratigráfico y Sedimentológico sobre las unidades estratigráficas cartografiadas
- Informe de Interpretación de la Geofísica Aerotransportada
- Informe/Catálogo de macroforaminíferos seleccionados

RESUMEN

La Hoja a escala 1:50.000 de La Jagua-Palmar Nuevo (6273-II), ubicada en el centro-norte de la República Dominicana, entre la Cordillera Oriental al Sur y la Cordillera Septentrional al Norte, corresponde a una zona con muy poco relieve. El cuarto NO está cubierto por la llanura del río Yuna, que desemboca en la bahía de Samaná, la cual ocupa el 30% de la superficie del mapa. La mitad Sur corresponde a la plataforma carbonatada de los Haitises, (altitud máxima de 314m); esta zona kárstica espectacular está enteramente protegida por el Parque Nacional de Los Haitises.

En la Hoja, solo afloran materiales cenozoicos sedimentarios del Plioceno y del Cuaternario. Al Plioceno, se depositan las calizas arrecifales detríticas de la Ud Haitises. El techo de la formación no se conoce. En las hojas colindantes, se observa el paso progresivo, hacia abajo, a los materiales margosos-calcáreos pliocenos de la Fm Cevicos infrayacente, la cual se dispone discordantemente sobre la Fm volcanosedimentaria de Los Ranchos (Cretácico inferior) perteneciendo al dominio de la Cordillera Oriental.

Los materiales cuaternarios del cuarto NO de la Hoja, corresponden a las formaciones diversificadas fluviales del bajo Yuna y costeras de la bahía de Samaná. En los Haitises, las arcillas de descalcificación rellenan los numerosos fondos de dolinas y poljes.

Durante el Cuaternario, el proceso más relevante es la elevación de la Cordillera Oriental con el ligero basculamiento de la plataforma carbonatada hacia el Norte (5°). El sistema de fallas EO limita la plataforma a nivel de la bahía de Samaná (Falla de los Haitises); las direcciones conjugadas NO-SE y SO-NE, muy nítidas en el conjunto de los Haitises, están relacionada con la falla regional levógira del Yabón, situada en la esquina NE de la Hoja. Esta fracturación ha favorecido el desarrollo espectacular del karst de Los Haitises.

En la mitad norte de la Hoja, la evolución más reciente está condicionada principalmente por la actividad fluvial de río Yuna y por la dinámica litoral.

ABSTRACT

The 1:50,000-scale La Jagua-Palmar Nuevo map area (Sheet 6273-II), in the centre-north of the Dominican Republic between the Cordillera Oriental to the south and the Cordillera Septentrional to the north, has a relatively flat topography. The northwest quarter is covered by the flood plain of the Yuna River, which flows into Samaná Bay occupying in the northeast corner of the area. The southern half corresponds to the Haitises carbonate platform (maximum altitude of 314 m) —a spectacular karstic area fully protected by the Haitises National Park.

Only Cenozoic Pliocene and Quaternary deposits are exposed in the area.

The Pliocene is represented by detrital reef deposits of the Haitises Unit whose top is not seen. In the neighbouring map areas there is a downward gradation to marly limestone of the underlying Cevicos Formation, which unconformably overlies the volcanosedimentary Los Ranchos Formation (Early Cretaceous) of the Cordillera Oriental.

The Quaternary in the northwest quarter of the area is represented by fluvial deposits of the lower Yuna River and coastal deposits of Samaná Bay. In the Haitises, red decalcification clay covers the bottom of the very many dolines and poljes.

The most striking aspect of the Quaternary is the uplift of the Cordillera Oriental, which is reflected here by a slight northward tilt (5°) of the carbonate platform. The E-W fault system bounds the carbonate platform at Samaná Bay (Haitises Fault); the conjugate NW-SE and NE-SW directions, very clear over the whole of the Haitises, are associated with the sinistral play of the regional Yabon Fault in the very northeast of the area. All its fractures helped the development of the spectacular Haitises karst system.

The most recent evolution in the northern half of the map area is conditioned mainly by the fluvial activity of the Yuna River and the littoral dynamics of Samaná Bay.

1. INTRODUCCIÓN	17
1.1. Metodología	17
1.2. Situación geográfica	19
1.3. Marco Geológico	26
1.4. Antecedentes	34
2. ESTRATIGRAFIA	36
2.1. Cenozoico	36
2.1.1. Plioceno	36
2.1.1.1. Los Haitises. Generalidades	36
2.1.1.2. Ud Haitises (1). Calizas bioclásticas, calizas margosas y calizas arrecifales. Plioceno inferior-Pleistoceno inferior ($N_2^1-Q_1$)	39
2.1.2. Cuaternario	44
2.1.2.1. Relleno de dolinas y poljes. Arcillas de descalcificación rojas (2). Cuaternario (Q_{2-4}).....	44
2.1.2.2. Abanicos aluviales y conos de deyección (3). Gravas, arenas y lutitas. Cuaternario (Q_{2-4}).....	45
2.1.2.3. Llanura de inundación abandonada (4). Lutitas y arenas (Q_4)	46
2.1.2.4. Cordón arenoso. (5). Arenas. Cuaternario (Q_4).....	46
2.1.2.5. Fondos de valles (6). Arenas y limos. Cuaternario (Q_4)	46
2.1.2.6. Delta (7). Arenas y limos. Cuaternario (Q_4).....	47
2.1.2.7. Llanura de inundación (8). Lutitas y arenas. Cuaternario (Q_4)	47
2.1.2.8. Áreas pantanosas (9). Lutitas ricas en materia orgánica. Cuaternario (Q_4)...	48
2.1.2.9. Playas actuales (10). Arenas. Cuaternario (Q_4)	48
2.1.2.10. Marisma baja. Manglar (11). Lutitas con abundante vegetación. Cuaternario (Q_4).....	49

2.1.2.11. Delta sumergido (12). Arenas y limos. Cuaternario (Q ₄)	50
3. TECTONICA.....	51
3.1. Marco geodinámico.....	51
3.2. 4.2. Contexto Geodinámico y estructura general de la Cordillera Oriental	55
3.3. Estructura de la Hoja de La Jagua	65
3.3.1. Los Pliegues.....	65
3.3.2. Las Fallas	65
3.3.2.1. La Falla de Los Haitises o Falla meridional de Samaná	66
3.3.2.2. La Falla del Yabón.....	66
3.3.3. Edad de la deformación.....	66
3.4. 4.4. Tectónica activa.....	67
4. GEOMORFOLOGÍA	68
4.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA HOJA DE PALMAR NUEVO	68
4.2. FORMAS GEOMORFOLOGICAS.....	68
4.2.1. Estructurales.....	69
4.2.2. Fluviales y de escorrentía superficial.....	69
4.2.3. 4.2.3 Formas litorales y marinas	70
4.2.4. Formas lacustres y endorreicas	70
4.2.5. Formas por meteorización química	70
4.3. Formaciones superficiales del Cuaternario.....	71
4.3.1. Formaciones fluviales y de escorrentía superficial.....	71
4.3.1.1. Llanuras de inundación (8). Arenas y limos. Holoceno	71
4.3.1.2. Abanicos y conos de deyección (3). Bloques, gravas, y arenas. Holoceno... ..	72
4.3.2. Formaciones marinas-litorales	72

4.3.2.1. Marismas altas. Limos y arenas salobres. Holoceno	72
4.3.2.2. Marismas bajas. Limos y arenas. Holoceno.....	73
4.3.2.3. Cordones litorales. Arenas. Holoceno.....	73
4.3.2.4. Delta. Arenas y limos.....	73
4.3.3. Formaciones por meteorización química.....	74
4.3.3.1. Arcillas de decantación. Terra rossa, relleno de dolinas (2). Holoceno	74
5. HISTORIA GEOLOGICA	76
6. GEOLOGÍA ECONÓMICA	81
6.1. Hidrogeología	81
6.1.1. Climatología	82
6.1.2. Hidrología.....	85
6.1.3. Hidrogeología.....	88
6.1.3.1. Formaciones con permeabilidad baja-muy baja. Lutitas y arcillas de áreas pantanosas y fondos de dolinas (Cuaternario)	92
6.1.3.2. Formaciones con permeabilidad baja. Lutitas y arenas finas de llanuras de inundación (Cuaternario).....	92
6.1.3.3. Formaciones con permeabilidad media por porosidad intergranular: lutitas y arenas (Cuaternario)	92
6.1.3.4. Formaciones con permeabilidad alta por porosidad intergranular: lutitas y arenas (Cuaternario).....	92
6.1.3.5. Formación con permeabilidad muy alta por fracturación y karstificación. Calizas (Plioceno)	92
6.1.3.6. Funcionamiento hidrogeológico y balance hídrico	96
6.1.3.6.1. Formas de absorción	96
6.1.3.6.2. Formas de emisión.....	96
6.1.3.6.3. Evolución del karst de Los Haitises.....	96
6.1.3.6.4. Circulación kárstica y tipologías del karst de Los Haitises.....	97
6.1.3.6.5. Recarga	98

6.1.3.6.6. Descarga	99
6.1.3.6.7. Balance Hídrico.....	101
6.1.3.6.8. Extracción y Usos	101
6.2. Recursos minerales	102
6.3. Rocas industriales y ornamentales.....	102
6.3.1. Materiales de construcción.....	102
7. LUGARES DE INTERÉS GEOLÓGICO	104
7.1. Introducción.....	104
7.2. Relación de los Lugares de Interés Geológicos.....	105
7.3. Descripción de los Lugares.....	106
7.3.1. L.I.G. N° 1 Cristal. Cantera de calizas de Los Haitises (Plioceno)	107
7.3.2. L.I.G. N° 2: Laguna de Cristal y Cueva del Muñeco de Oro.....	108
7.3.3. L.I.G. N° 3: Calizas de los Haitises (Plioceno); Naranjo Arriba; Bahía de Samaná.....	111
7.3.4. L.I.G. N° 4: Calizas de los Haitises (Plioceno); Cueva del Infierno; Bahía de Samaná.....	113
8. Bibliografía	115

LISTA DE LAS FIGURAS:

Fig. 1: Ubicación de la Hoja de La Jagua (6273-II) en el marco del proyecto SYSMIN II	20
Fig. 2: Dominios fisiográficos de la RD y ubicación de la Hoja de La Jagua (6273-II)	21
Fig. 3: SRTM de los Haitises y la Bahía de Samaná con la ubicación de la Hoja 1:50.000 de La Jagua (Palmar Nuevo (6273-II)).....	22
Fig. 4: SRTM detalle de la Hoja 1:50.000 de La Jagua-Palmar Nuevo (6273-II) y principales accesos por tierra y mar	23
Fig. 5: Situación geográfica de los Haitises (Eptisa 2004), con la ubicación de la Hoja 1:50.000 de La Jagua-Palmar Nuevo (6273-II)	24
Fig. 6: Accesos principales por tierra y mar de la Hoja de La Jagua (6273-II).....	25
Fig. 7: 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.....	28
Fig. 8: Mapa del NE del margen 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), Bonao-La Guácara (ZFBG), San Juan-Restauración (ZFSJR) y Enriquillo-Plantain Garden (ZFEPG).	29
Fig. 9: (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 relevo contractivo sinestro origina la actividad neotectónica y creación de relieve	30
Fig. 10: Principales unidades Morfotectónicas de La Española (Según Lewis y Draper, 1991, modificado por Pérez-Estaún et al, 2007, SYSMIN).....	31
Fig. 11: Mapa de los terrenos tectonoestratigráficos de La Española (según Mann et al.1991, modificado por Estaún et al. 2007, SYSMIN): (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, LosPozos-San Juan.....	31
Fig. 12: Esquema geológico de La Española con la ubicación del Proyecto Sysmin II (2007-2010) y de la Hoja de La Jagua (cuadro naranja)	32
Fig. 13: Esquema geológico de la República dominicana con la ubicación de la Hoja de La Jagua (cuadro rojo).....	33
Fig. 14: Esquema geológico de la zona costera del Este de la República dominicana con la ubicación de la Hoja de La Jagua-Palmar nuevo (6273-II).....	39
Fig. 15 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)	43
Fig. 16: Contexto geodinámico de la placa del Caribe	51
Fig. 17: Contexto geodinámico de la placa del Caribe : situación de la Hoja La Jagua-Palmar nuevo (6273-II)	52
Fig. 18: 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)	52
Fig. 19: Principales elementos tectónicos del sistema de arco-isla circum-caribeño de edad Cretáceo Superior – Eoceno. (Lewis J.F. et al., 2002)	53

Fig. 20: Bloque diagrama esquemático propuesto en Dolan y Mann (1998) para explicar las relaciones de movimiento de desgarres senestrales y cabalgamientos dentro de un contexto de convergencia oblicua distribuida en el límite septentrional de la placa Caribeña.....	55
Fig. 21 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 N.T. (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. <i>et al.</i> (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.....	57
Fig. 22: Mapa tectónico de la Cordillera Oriental Dominicana con los principales elementos estructurales (García-Senz et al., 2007).....	58
Fig. 23: Mapa del gradiente vertical del vuelo aeromagnético (CGG, SYSMIN 1996) con la ubicación de la Hoja de La Jagua-Palmar nuevo (6373-II).....	59
Fig. 24: Cortes geológicos seriados (I-I' a IV-IV') de la Cordillera Oriental Dominicana (García-Senz et al., 2007).....	63
Fig. 25: Cortes geológicos seriados (V-V' a VIII-VIII') de la Cordillera Oriental Dominicana (García-Senz et al., 2007).....	64
Fig. 26: Superposición del aeromagnetismo (gradiente vertical) sobre el SRTM con las principales fallas regionales y la posición de la Hoja de La Jagua.....	67
Fig. 27 Diagrama cronoestratigráfico 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 cronoestratigráfico 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., 1991; Bellon et al., 1985).85); Kesler et al., 1991; Bellon et al., 1985).....	77
Fig. 28 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.....	79
Fig. 29: Situación de las estaciones climáticas de Los Haitises, con la situación de la Hoja de La Jagua (Datos Eptisa, Proyecto SYSMIN, 2004).....	81
Fig. 30: Precipitaciones mensuales medias en los Haitises, (Datos Eptisa, Proyecto SYSMIN, 2004).....	82
Fig. 31: Evolución interanual de la precipitación en Los Haitises, (Datos Eptisa, Proyecto SYSMIN, 2004).....	83
Fig. 32: Temperaturas medias mensuales en los Haitises con la estación de Barraquito et La Angelina (Datos Eptisa, Proyecto SYSMIN, 2004).....	84
Fig. 33: Evapotranspiración medias mensuales en los Haitises (Datos Eptisa, Proyecto SYSMIN, 2004).....	85
Fig. 34: Mapa de la red hidrográfica e infraestructuras hidráulicas de Los Haitises, con la situación de la Hoja de La Jagua (Datos Eptisa, Proyecto SYSMIN, 2004).....	86
Fig. 35: Mapa de la red hidrográfica e infraestructuras hidráulicas de Los Haitises, con la situación de la Hoja de La Jagua (Datos Eptisa, Proyecto SYSMIN, 2004).....	87
Fig. 36: Extracción de agua subterránea por subunidades hidrogeológicas de los Haitises, con la situación de la Hoja de La Jagua (cuadro rojo) (Datos Eptisa, Proyecto SYSMIN, 2004).....	88

Fig. 37: Relación de los acuíferos en Los Haitises, con la situación de la Hoja de La Jagua (cuadro rojo) (Datos Eptisa, Proyecto SYSMIN, 2004).....	89
Fig. 38: Síntesis hidrológica en Los Haitises, con la situación de la Hoja de La Jagua (cuadro rojo) (Datos Eptisa, Proyecto SYSMIN, 2004).....	93
Fig. 39: Potabilidad de las aguas en Los Haitises, con la situación de la Hoja de La Jagua (cuadro rojo) (Datos Eptisa, Proyecto SYSMIN, 2004).....	95
Fig. 40: Distribución de facies hidroquímicas de las aguas en Los Haitises, con la situación de la Hoja de La Jagua (cuadro rojo) (Datos Eptisa, Proyecto SYSMIN, 2004).....	95
Fig. 41: Pequeña cantera intermitente de áridos. Cristal; (Lat: 19,10018222 ; Long: - 69,74888851); Hoja de la Jagua (6273-II).....	103
Fig. 42 : Situación de los Lugares de Interés Geológico de la Hoja de La Jagua	106

LISTA DE LAS TABLAS:

Tabla 1: Resultados de las estaciones pluviométricas para un año medio (Datos Eptisa, Proyecto SYSMIN, 2004).....	82
Tabla 2: Estaciones termométricas de Los Haitises, con la temperatura media anual en °C (Datos Eptisa, Proyecto SYSMIN, 2004).....	83
Tabla 3: Evapotranspiración potencial media anual en Los Haitises (Datos Eptisa, Proyecto SYSMIN, 2004).....	84
Tabla 4: Lluvia útil anual (mm) para la unidad hidrogeológica de los Haitises (Datos Eptisa, Proyecto SYSMIN, 2004).....	85
Tabla 5: Datos en m ³ /s de la estaciones de afloros para los Haitises (Datos Eptisa, Proyecto SYSMIN, 2004).....	87
Tabla 6: Distribución de volúmenes de agua subterránea utilizados en el área de la unidad hidrológica de Los Haitises (Datos Eptisa, Proyecto SYSMIN, 2004).....	88
Tabla 7: Inventario de los puntos de aguas en los Haitises de la Hoja de La Jagua (Datos Eptisa, Proyecto SYSMIN, 2004)	90
Tabla 8: Características de los puntos de aguas en los Haitises de la Hoja de La Jagua (Datos Eptisa, Proyecto SYSMIN, 2004).....	91
Tabla 9: Aptitudes de la aguas subterráneas de los Haitises para abastecimiento humano (Datos Eptisa, Proyecto SYSMIN, 2004).....	94
Tabla 10: Distribución de las recargas totales para un año medio (Datos Eptisa, 2004)	99
Tabla 11: Distribución de las descargas totales para un año probablemente húmedo (Datos Eptisa, 2004)	100
Tabla 12: Entradas; balance de aguas subterráneas para años medios (Datos Eptisa, 2004)	101
Tabla 13: Salidas; balance de aguas subterráneas para años medios (Datos Eptisa, 2004)	101
Tabla 14: Salidas; balance de aguas subterráneas para años medios (Datos Eptisa, 2004)	102
Tabla 15: Distribución de las recargas totales para un año medio (Datos Eptisa, 2004)	103
Tabla 16: Situación y coordenadas de los Lugares de Interés Geológico de la Hoja de La Jagua.....	105

LISTA DE LAS FOTOS:

Foto 1: Calizas de Los Haitises. Ensenada del Naranjo, Bahía de Samaná; Haitises. 46MJ9009_2b (Lat: 19,09389261; Long: -69,54738932); Hoja La Jagua-Palmar Nuevo	43
Foto 2: Cueva infierno Bahía de Samaná; Haitises. 46MJ9013_1 (Lat: 19,00156213; Long: - 69,73183523); Hoja La Jagua-Palmar Nuevo	43

Foto 3: calizas de los Haitises; Ctra. de Cristal; Hoja de La Jagua; 46MJ9001_1; (Lat: 19,10018222; Long: -69,74888851)	44
Foto 4: calizas de los Haitises; Ctra. de Cristal; Hoja de La Jagua; 46MJ9001_1; (Lat: 19,10018222; Long: -69,74888851)	44
Foto 5: calizas de los Haitises con bloques de corales; Ctra. de Cristal; Hoja de La Jagua; 46MJ9001_8; (Lat: 19,10018222; Long: -69,74888851).....	44
Foto 6: calizas de los Haitises; Ctra. de Cristal; Hoja de La Jagua; 46MJ9001_9; (Lat: 19,10018222; Long: -69,74888851)	44
Foto 7: Fondo de dolina con arcillas rojizas y agua. Laguna de Cristal; Hoja de La Jagua; 46MJ9002_5; (Lat: 19,0973994; Long: -69,7325619)	45
Foto 8: Fondo de dolina con arcillas rojizas y agua. Laguna de Cristal; Hoja de La Jagua; 46MJ9002_4; (Lat: 19,0973994; Long: -69,7325619)	45
Foto 9: Dolina con agua; Cristal. 46MJ9002_10 (Lat: 19,09739943 ; Long: -69,7325619); Hoja La Jagua-Palmar Nuevo	45
Foto 10: Río Cristal. 46MJ9003_3 (Lat: 19,09848506; Long: -69,72404597); Hoja La Jagua-Palmar Nuevo	46
Foto 11: Río Cristal. 46MJ9003_5 (Lat: 19,09848506; Long: -69,72404597); Hoja La Jagua-Palmar Nuevo	46
Foto 12: Río Cristal. 46MJ9003_7 (Lat: 19,09848506; Long: -69,72404597); Hoja La Jagua-Palmar Nuevo	47
Foto 13: Río Cristal. 46MJ9003_11 (Lat: 19,09848506; Long: -69,72404597); Hoja La Jagua-Palmar Nuevo	47
Foto 14: Bahía de Samaná a la desembocadura del Río Cristal. 46MJ9003_33 (Lat: 19,09848506; Long: -69,72404597); Hoja La Jagua-Palmar Nuevo.....	47
Foto 15: Llanura de inundación del bajo Yuna; Ctra. de Cristal. 46MJ9001_11 (Lat: 19,10018222; Long: -69,74888851); Hoja La Jagua-Palmar Nuevo.....	48
Foto 16: Llanura de inundación de bajo Yuna y Los Haitises; Ctra. de Cristal. 46MJ9001_16 (Lat: 19,10018222; Long: -69,74888851); Hoja La Jagua-Palmar Nuevo.....	48
Foto 17: Pequeña playa de arenas gris en el borde SO de la Bahía de Samaná; Hoja de La Jagua; 46MJ9005_3; (Lat: 19,14006533; Long: -69,63692958)	49
Foto 18: Manglar de la Bahía de Samaná a la desembocadura del Río Cristal. 46MJ9003_34 (Lat: 19,09848506; Long: -69,72404597); Hoja La Jagua-Palmar Nuevo.....	50
Foto 19: Manglar de la Bahía de Samaná a la desembocadura del Río Cristal. 46MJ9003_35 (Lat: 19,09848506; Long: -69,72404597); Hoja La Jagua-Palmar Nuevo.....	50
Foto 20: Caño La Ceja; Bahía de Samaná; 46MJ9005_1 (Lat: 19,14006533; Long: -69,63692958); Hoja La Jagua-Palmar Nuevo	50
Foto 21: Bahía de Samaná a la desembocadura del Río Cristal. 46MJ9003_32 (Lat: 19,09848506; Long: -69,72404597); Hoja La Jagua-Palmar Nuevo.....	50
Foto 22: Río Cristal. 46MJ9003_28 (Lat: 19,09848506; Long: -69,72404597); Hoja La Jagua-Palmar Nuevo	72
Foto 23: Valle del Yuna; Cristal. 46MJ9001_7 (Lat: 19,10018222; Long: -69,74888851); Hoja La Jagua-Palmar Nuevo	72
Foto 24: Valle del Yuna y Haitises; Cristal. 46MJ9001_15 (Lat: 19,10018222; Long: -69,74888851); Hoja La Jagua-Palmar Nuevo	72
Foto 25: Caño La Ceja; Bahía de Samaná; 46MJ9005_6 (Lat: 19,14006533; Long: -69,63692958); Hoja La Jagua-Palmar Nuevo	73
Foto 26: Naranjo Arriba, Bahía de Samaná; Haitises. 46MJ9007_3 (Lat:19,08758129; Long: -69,5707853); Hoja La Jagua-Palmar Nuevo	73
Foto 27: Panorámica de la Bahía de Samaná; Haitises. Desde la Carretera de las Terrenas;	74
Foto 28: Dolina con agua; Laguna de Cristal. 46MJ9002_9 (Lat: 19,09739943 ; Long: -69,7325619); Hoja La Jagua-Palmar Nuevo	75

Foto 29: Pequeña cantera de áridos en las calizas de los Haitises; Ctra. de Cristal; Hoja de La Jagua; 46MJ9001_1; (Lat: 19,10018222; Long: -69,74888851)	104
Foto 30: calizas de los Haitises; Ctra. de Cristal; Hoja de La Jagua; 46MJ9001_1; (Lat: 19,10018222; Long: -69,74888851)	107
Foto 31: calizas de los Haitises; Ctra. de Cristal; Hoja de La Jagua; 46MJ9001_1; (Lat: 19,10018222; Long: -69,74888851)	107
Foto 32: calizas de los Haitises con bloques de corales; Ctra. de Cristal; Hoja de La Jagua; 46MJ9001_8; (Lat: 19,10018222; Long: -69,74888851).....	108
Foto 33: calizas de los Haitises; Ctra. de Cristal; Hoja de La Jagua; 46MJ9001_9; (Lat: 19,10018222; Long: -69,74888851)	108
Foto 34: Llanura de inundación de bajo Yuna y Los Haitises; Ctra. de Cristal. 46MJ9001_16 (Lat: 19,10018222; Long: -69,74888851); Hoja La Jagua-Palmar Nuevo.....	108
Foto 35: Laguna de Crista. Fondo de dolina con arcillas rojizas y agua. I; Hoja de La Jagua; 46MJ9002_5; (Lat: 19,0973994; Long: -69,7325619)	109
Foto 36: Laguna de Cristal. Fondo de dolina con arcillas rojizas y agua. ; Hoja de La Jagua; 46MJ9002_4; (Lat: 19,0973994; Long: -69,7325619)	109
Foto 37: Laguna de Cristal; Fondo de dolina con arcillas rojizas y agua.; Hoja de La Jagua; 46MJ9002_4; (Lat: 19,0973994; Long: -69,7325619)	109
Foto 38: Río Cristal; 46MJ9002_10 (Lat: 19,09739943 ; Long: -69,7325619); Hoja La Jagua-Palmar Nuevo	109
Foto 39: Río Cristal. 46MJ9003_7 (Lat: 19,09848506; Long: -69,72404597); Hoja La Jagua-Palmar Nuevo	110
Foto 40: Río Cristal. 46MJ9003_5 (Lat: 19,09848506; Long: -69,72404597); Hoja La Jagua-Palmar Nuevo	110
Foto 41: Cueva Muñeco de Oro; Cristal; Haitises. 46MJ9017_30 (Lat: 19,09468931; Long: -69,73150402); Hoja La Jagua-Palmar Nuevo	110
Foto 42: Entrada de la Cueva Muñeco de Oro; Cristal; Haitises. 46MJ9017_31 (Lat: 19,09468931; Long: -69,73150402); Hoja La Jagua-Palmar Nuevo.....	110
Foto 43: Vegetación del sendero de acceso a la Cueva del Muñeco de Oro; Cristal; Haitises. 46MJ9017_1(Lat: 19,09468931; Long: -69,73150402); Hoja La Jagua-Palmar Nuevo	111
Foto 44: Cueva Muñeco de Oro; Cristal; Haitises. 46MJ9017_21 (Lat: 19,09468931; Long: -69,73150402); Hoja La Jagua-Palmar Nuevo	111
Foto 45: Cueva Muñeco de Oro; Cristal; Haitises. 46MJ9017_29 (Lat: 19,09468931; Long: -69,73150402); Hoja La Jagua-Palmar Nuevo	111
Foto 46: Cayo de la Bahía de Samaná; Haitises. 46MJ9006_2 (Lat: 19,08371354; Long: -69,58938777); Hoja La Jagua-Palmar Nuevo	112
Foto 47: Cayo de la Bahía de Samaná; Haitises. 46MJ9006_5 (Lat: 19,08371354; Long: -69,58938777); Hoja La Jagua-Palmar Nuevo	112
Foto 48; Naranja Arriba, Bahía de Samaná; Haitises. 46MJ9007_4 (Lat: 19,08758129; Long: -69,5707853); Hoja La Jagua-Palmar Nuevo	112
Foto 49: Naranja Arriba, Bahía de Samaná; Haitises. 46MJ9007_5 (Lat: 19,08758129; Long: -69,5707853); Hoja La Jagua-Palmar Nuevo	112
Foto 50: Ensenada del Naranja, Bahía de Samaná; Haitises. 46MJ9010_1 (Lat: 19,09297613; Long: -69,54543457); Hoja La Jagua-Palmar Nuevo.....	113
Foto 51: Ensenada del Naranja, Bahía de Samaná; Haitises. 46MJ9011_2b (Lat: 19,0911405; Long: -69,54174779); Hoja La Jagua-Palmar Nuevo.....	113
Foto 52: Ensenada del Naranja, Bahía de Samaná; Haitises. 46MJ9009_6 (Lat: 19,09389261; Long: -69,54738932); Hoja La Jagua-Palmar Nuevo.....	113
Foto 53: Ensenada del Naranja, Bahía de Samaná; Haitises. 46MJ9009_3 (Lat: 19,09389261; Long: -69,54738932); Hoja La Jagua-Palmar Nuevo.....	113
Foto 54: Cueva del Infierno Bahía de Samaná; Haitises. 46MJ9012_1 (Lat: 19,08726093; Long:-69,50194532); Hoja La Jagua-Palmar Nuevo	114

Foto 55: Cueva del infierno Bahía de Samaná; Haitises. 46MJ9013_3 (Lat: 19,00156213;
Long: -69,73183523); Hoja La Jagua-Palmar Nuevo 114

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Metodología

Debido al carácter incompleto y no sistemático del mapeo de la República Dominicana, la Secretaría de Estado de Industria y Comercio, a través de la Dirección General de Minería (DGM), se decidió a abordar a partir de finales del siglo pasado, el levantamiento geológico y minero del país mediante el Proyecto de Cartografía Geotemática de la República Dominicana, incluido en el Programa SYSMIN y financiado por la Unión Europea, en concepto de donación. En este contexto, el consorcio integrado por el Instituto Geológico y Minero de España (IGME), el Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM) e Informes y Proyectos S.A. (INYPSA), ha sido el responsable de la ejecución del denominado Proyecto 1B, bajo el control de la Unidad Técnica de Gestión (UTG, cuya asistencia técnica corresponde a TYPISA) y la supervisión del Servicio Geológico Nacional (SGN).

Este Proyecto comprende varias zonas que junto con las ya abordadas con motivo de los proyectos previos (C, ejecutado en el periodo 1997-2000; K y L, ejecutados en el periodo 2002-2004), completan la mayor parte del territorio dominicano. El Proyecto 1B incluye, entre otros trabajos, la elaboración de 63 Hojas Geológicas a escala 1:50.000 que componen la totalidad o parte de los siguientes cuadrantes a escala 1:100.000 (Fig. 1).

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 Vásquez, 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)

Zona Sur:

- Sabana Buey (Sabana Buey, 6070-I)
- Baní (Nizao, 6071-I; y Baní, 6071-IV)

Zona Suroeste:

- Cabo Rojo (Cabo Rojo, 5869-I; y Punta Ceminche, 5869-II)
- Enriquillo (Enriquillo, 5969-I; Isla Beata, 5969-II, 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 que integran el cuadrante a escala 1:100.000 de Enriquillo (5969).

Durante la realización de la Hoja a escala 1:50.000 de La Jagua-Palmar Nuevo 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 Google Earth, 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 (Fig. 26).

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. Todos los puntos de observación y recorridos fueron grabados diariamente vía un GPS, descargados y documentados en una base de datos, ploteados en un sistema de información geográfica (SIG) y confrontados a las informaciones preestablecidas (topografía, imágenes de satélite, datos geofísicos, etc.) ya incorporadas en el SIG. Todas las coordenadas citadas en el texto están en Latitud-Longitud con el datum WGS84.

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 de La Jagua-Palmar Nuevo (6273-II) está ubicada en el Centro Norte de la República Dominicana. Incluye la extremidad SO de la Bahía de Samaná (Fig. 3; Fig. 4). que representa el 30 % de la superficie del mapa. La distancia en línea recta hasta la capital Santo Domingo es de 80 km (Fig. 1). Se trata de una zona con muy poco relieve: la mitad Norte corresponde a la Llanura del Río Yuna. La mitad Sur corresponde a la plataforma carbonatada de los Haitises.

El territorio de la Hoja de La Jagua, con una superficie emergida de 350 km² pertenece a 4 Provincias: Samaná al centro, Hato Mayor al SE, Monte Plata al SO y Duarte al NE. El nombre La Jagua (antiguamente Palmar Nuevo) corresponde a la pequeña población situada a la orilla del Río Yuna, al NO de la Hoja.

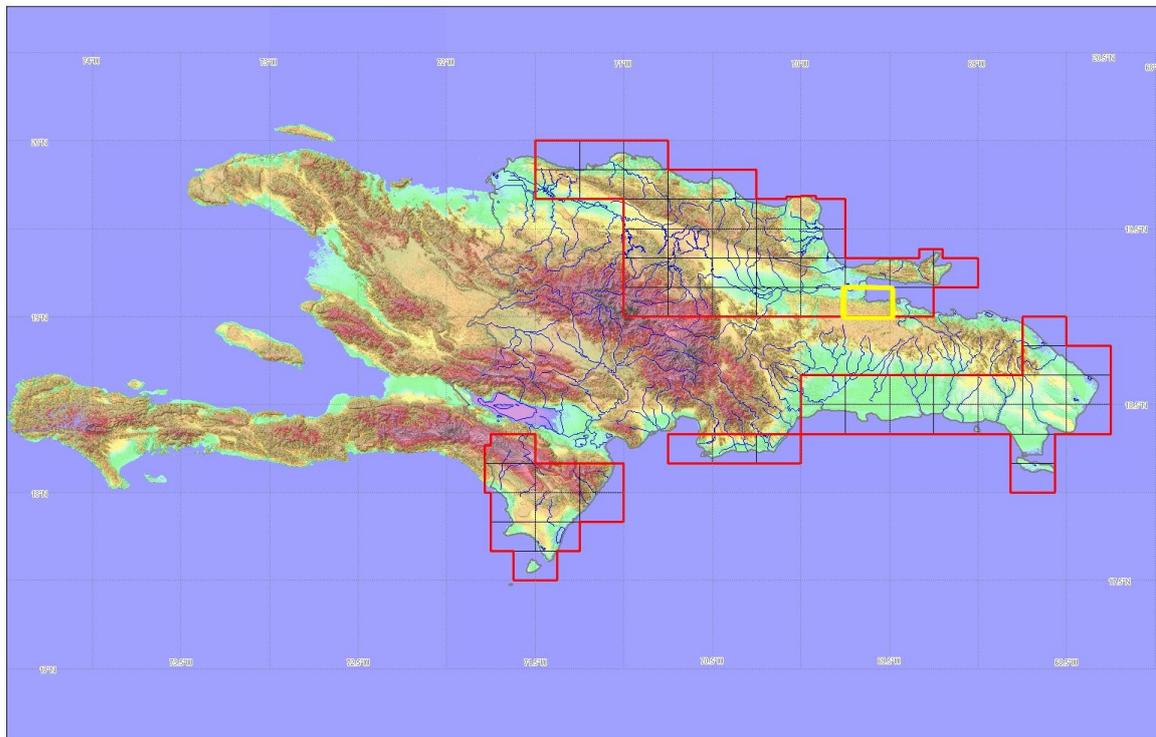


Fig. 1: Ubicación de la Hoja de La Jagua (6273-II) en el marco del proyecto SYSMIN II

DOMINIOS FISIAGRÁFICOS DE LA REPÚBLICA DOMINICANA (Modificado de De la Fuente 1976)

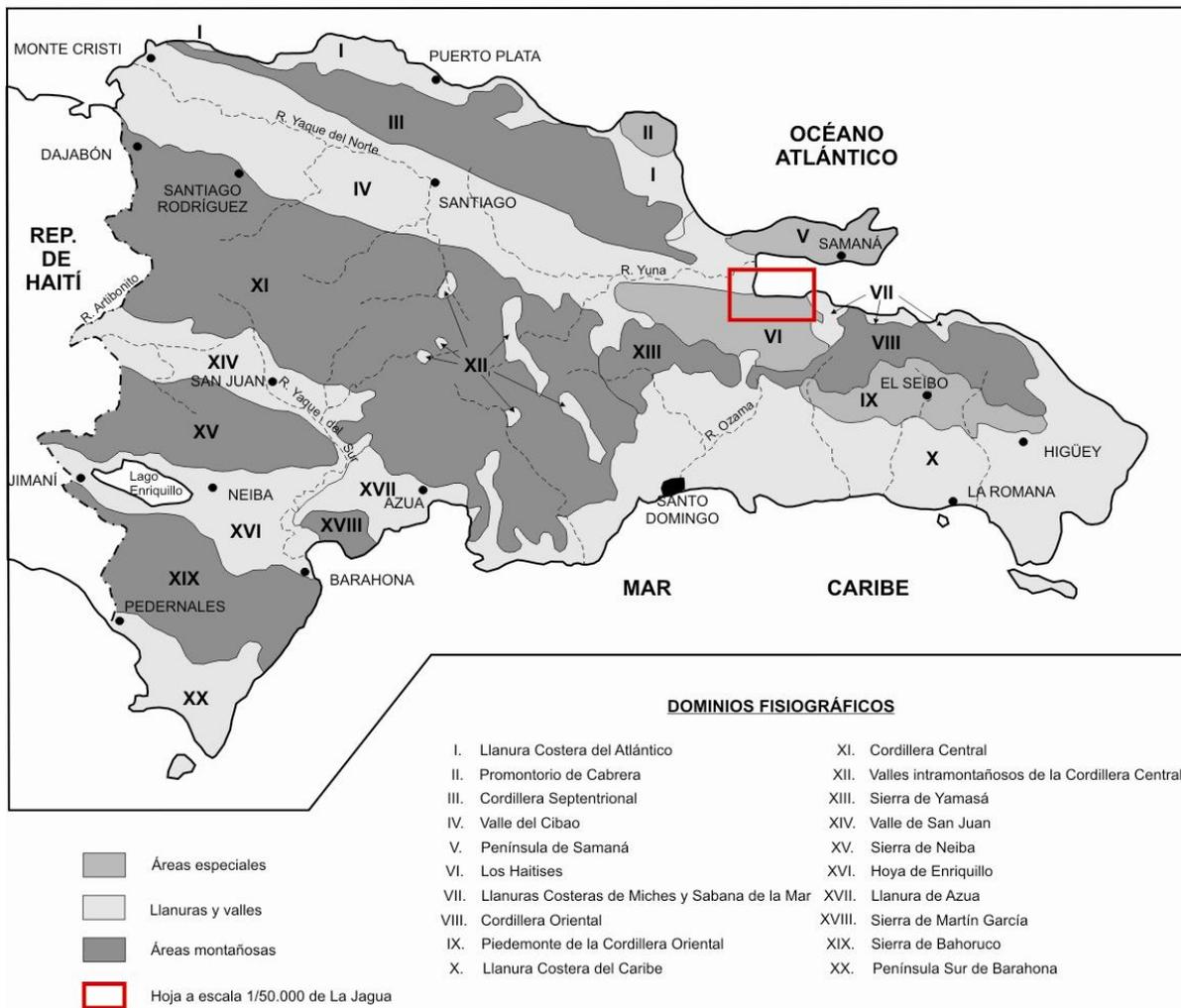


Fig. 2: Dominios fisiográficos de la RD y ubicación de la Hoja de La Jagua (6273-II)

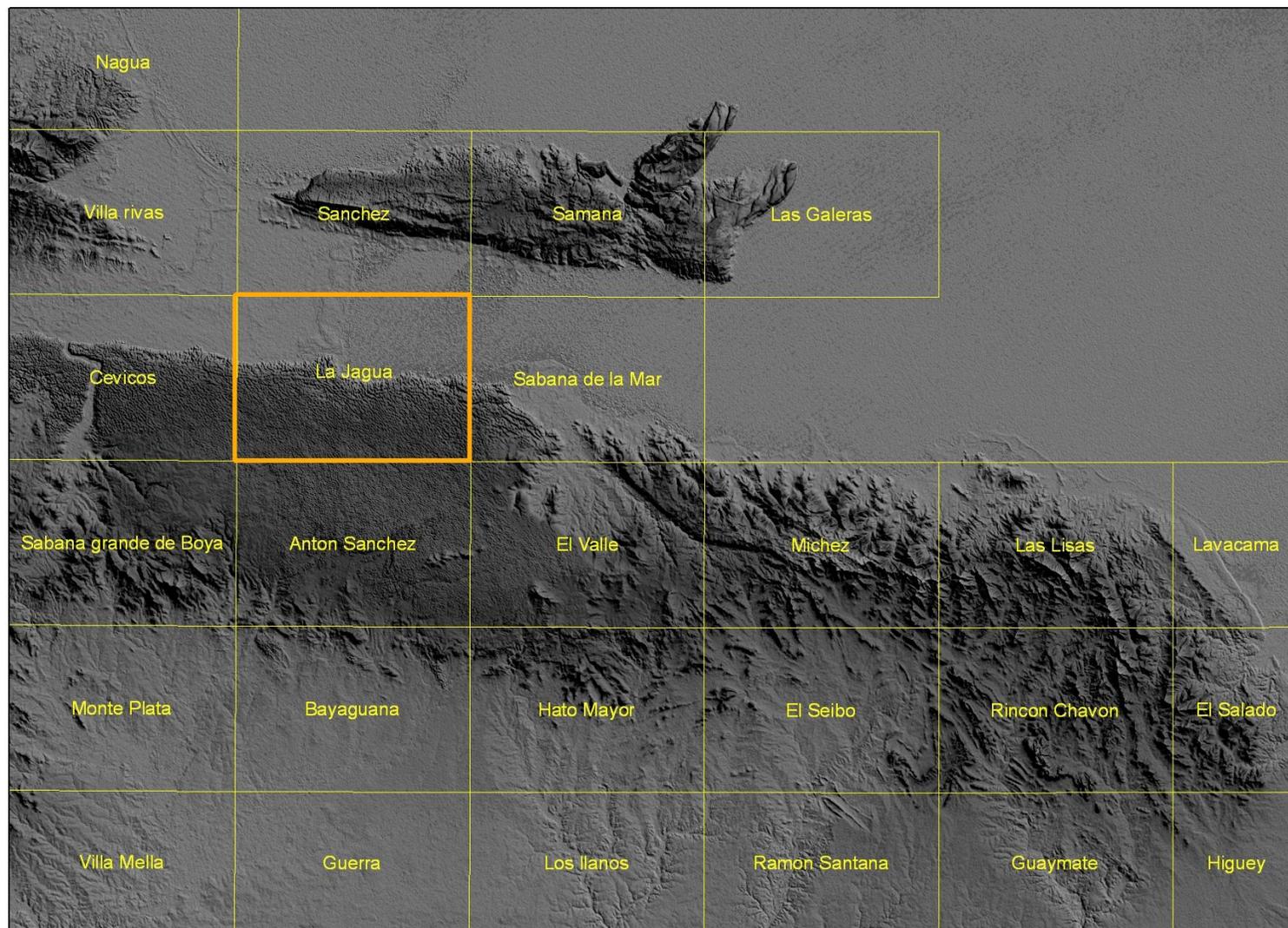


Fig. 3: SRTM de los Haitises y la Bahía de Samaná con la ubicación de la Hoja 1:50.000 de La Jagua (Palmar Nuevo (6273-II)

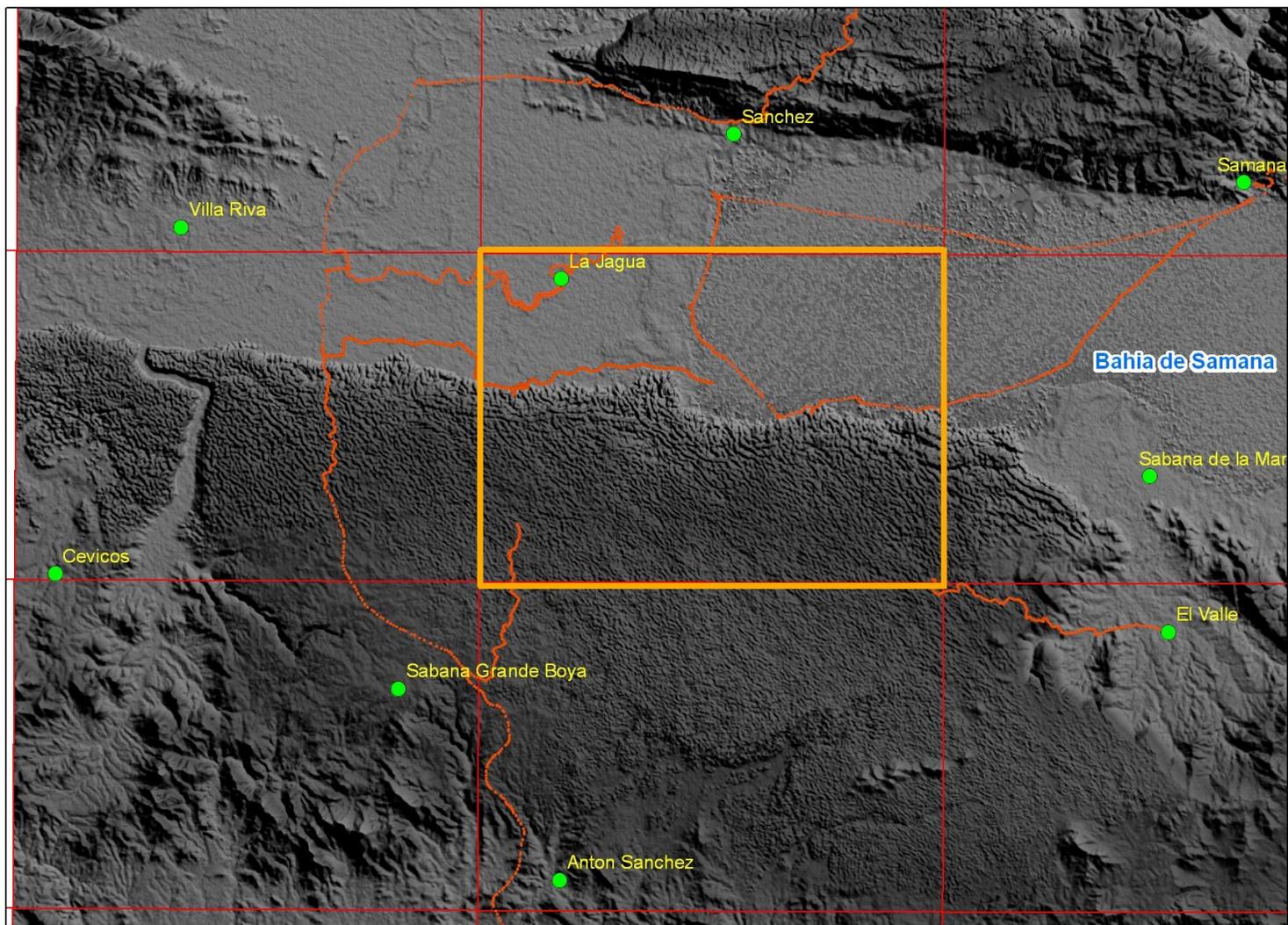


Fig. 4: SRTM detalle de la Hoja 1:50.000 de La Jagua-Palmar Nuevo (6273-II) y principales accesos por tierra y mar

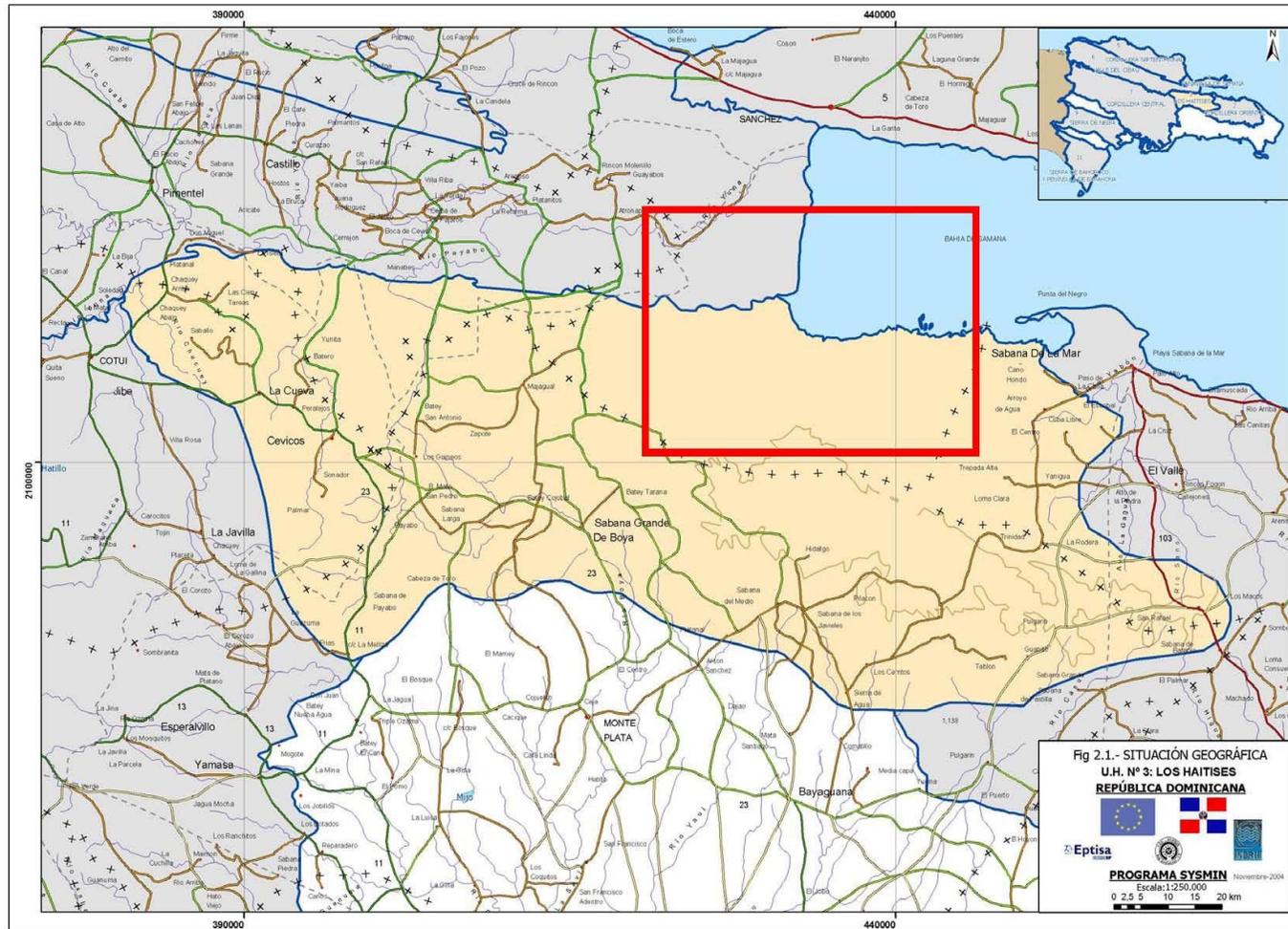


Fig. 5: Situación geográfica de los Haitises (Eptisa 2004), con la ubicación de la Hoja 1:50.000 de La Jagua-Palmar Nuevo (6273-II)

La mitad Sur de la Hoja, cubierta por el Parque Nacional de Los Haitises es muy poco poblada (probablemente menos de 300 habitantes permanentes). Las poblaciones se limitan a unos pequeños grupos de pescadores, como Naranja arriba y abajo en el borde Sur de la Bahía de Samaná, o pequeños pueblos de agricultores como Los Limones al SO de la Hoja o Trepada alta al SE.

Recientemente nuevos asentamientos de cultivadores furtivos, que intentaron instalarse en la zona del Parque fueran rechazados por las autoridades medio ambientales.

El cuarto NO de la Hoja, correspondiendo a la llanura del Río Yuna, es más poblada, principalmente a lo largo del Río Yuna, donde se encuentran los pueblos de agricultores de La Jagua, Palmar Nuevo, Los Cacaos, Borojol, Jorungo, Las Carreras, Bebedero, Caño Brava, La Boca del Caño y Rincón Grande. Al Sur, Cristal está pegado a los Haitises y a la laguna del mismo nombre.

La parte NO más poblada del territorio pertenece al Municipio de Sánchez que forma parte de la Provincia de Samaná y al Municipio de Villa Riva (Provincia de Duarte). El SO pertenece al Municipio de Bayaguana (Provincia de Monte Plata) y el SE al Municipio de Sabana de la Mar (Provincia de El Valle).

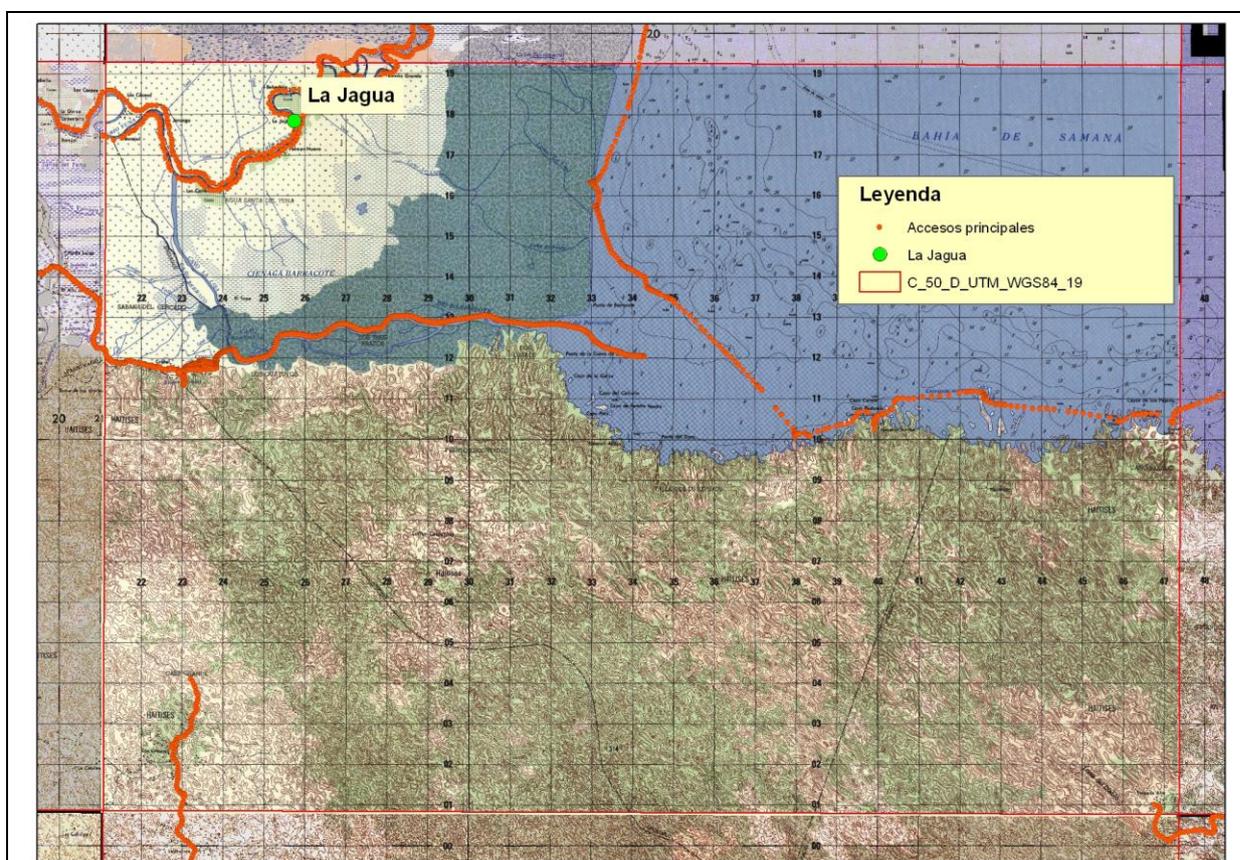


Fig. 6: Accesos principales por tierra y mar de la Hoja de La Jagua (6273-II)

Los accesos por tierra se hacen por la nueva autopista Santo Domingo-Nagua que atraviesa Los Haitises al borde Este de la hoja colindante de Cevicos: a nivel de Bayaguana para entrar en los Limones en la parte SO, por el valle del Yuna a la salida de los Haitises hasta Cristal o La Jagua. Se acceda a Trepada alta en la esquina SE de la Hoja por El Valle. Por Mar, desde Samaná, Sánchez o Sabana de la Mar se accede a los Haitises de la maravillosa costa SO de la Bahía de Samaná.

El relieve en la Llanura del Río Yuna varía de 0 m en la orilla de la Bahía de Samaná a 37 m en Cristal, al pie de los Haitises. En los Haitises las altitudes varían desde 100m al borde Norte de la plataforma carbonatada, hasta 414 m al Sur de la Hoja. La red hidrográfica corresponde al Río Yuna, muy caudaloso, que desemboca hoy en día en la Bahía de Samaná, la cual presenta una profundidad muy reducida (1 a 6 m en la franja Oeste y Sur, y se está asechando paulatinamente. En los últimos veinte años por ejemplo el delta del Río Barracote (Yuna Sur hoy en día) ha ganado 4 km² como lo registran las ediciones sucesivas del mapa topográfico a 1:50.000.

No existe una red hidrográfica organizada en Los Haitises, pero en las rías del borde Norte de la plataforma, el sistema de falla favorece la emergencia de manantiales que desembocan en la llanura del Yuna como el Río Cristal o directamente en la Laguna.

1.3. Marco Geológico

En términos generales la geología de la isla de La Española está controlada por tres factores principales:

- **En primer lugar** por el carácter oceánico de la isla, al menos durante el Mesozoico, asentada desde el Jurásico hasta el Paleoceno sobre una zona muy activa de la corteza oceánica, sometida a procesos de subducción, lo que provoca por un lado la presencia de un vulcanismo de arco de isla, con diversos episodios eruptivos y la consiguiente presencia de materiales vulcanosedimentarios, y por otro la abundancia de rocas ígneas intrusivas en las series volcánicas y vulcanosedimentarias. La propia naturaleza de las rocas extrusivas, unida a la escasa anchura de las plataformas da lugar a frecuentes y rápidos cambios de facies.
- **En segundo lugar** la posición de la isla en un área de clima tropical es responsable de la alta productividad biológica de las aguas circundantes, posibilitando en las plataformas someras la formación de calizas arrecifales y la acumulación en las aguas más profundas de potentes serie de calizas pelágicas o hemipelágicas. Este mismo factor climático es

igualmente responsable de las altas tasas de meteorización que van a favorecer la acumulación de grandes depósitos de materiales detríticos.

- **En tercer lugar** la intensa actividad tectónica, principalmente de desgarre transpresivo, que ha afectado la isla desde su formación, y de forma más evidente desde el Paleoceno, va a dar lugar por una parte a una elevada tasa de denudación y por otra a la formación de cuencas profundas y compartimentadas, donde podrán acumularse potentes series sedimentarias. Esta intensa actividad tectónica dará lugar asimismo a la presencia de frecuentes depósitos sintectónicos y a la yuxtaposición en el espacio de materiales originalmente depositados a distancias considerables.

La repartición espacial de este heterogéneo conjunto de materiales es igualmente heterogénea, pudiendo diferenciarse una serie de dominios tectonosedimentarios con características diferenciadas (Fig. 10, Fig. 11). La naturaleza de estos dominios es desigual, ya que mientras unos representan terrenos alóctonos emplazados a favor de grandes fallas de desgarre, otros corresponden a diferenciaciones menores dentro de un mismo terreno y otros corresponden a materiales de cobertura posteriores a las principales fases de deformación.

La Hoja de La Jagua, ubicada en la parte oriental de la República dominicana, abarca un tramo de las calizas de Los Haitises que constituyen, desde el punto de vista geológico, una gran plataforma kárstica, depositadas por encima del complejo volcanosedimentario Cretácico de la Cordillera Oriental. Al Oeste esta plataforma está limitada por las estribaciones más orientales de la Cordillera Central (sector del Alto Yuna) y al Norte por la falla regional de la Bahía de Samaná (Falla de Los Haitises).

La plataforma carbonatada plio-cuaternaria de Los Haitises es el resultado del desarrollo arrecifal en torno a una incipiente Cordillera Oriental configurada a modo de isleos a finales del Terciario; su progresiva emersión provocó el retroceso de los complejos arrecifales hasta su posición actual. Sus depósitos se disponen discordantemente sobre los materiales cretácico-paleógenos, y están constituidos por las margas con intercalaciones calcáreas de la Fm Yanigua a las que se superponen las calizas arrecifales de la Fm Los Haitises en la región del mismo nombre

Geomorfológicamente, esta unidad se caracteriza por la presencia de claros elementos de morfología kárstica, con elevaciones muy acusadas producidas como residuos de fenómenos de disolución, y la identificación de importantes formas de absorción, del tipo dolinas y simas, tanto activas, como fósiles

Los sedimentos cuaternarios corresponden a los depósitos kársticos de la región de Los Haitises y los de origen fluvial del valle del bajo Yuna y de la Bahía de Samaná.

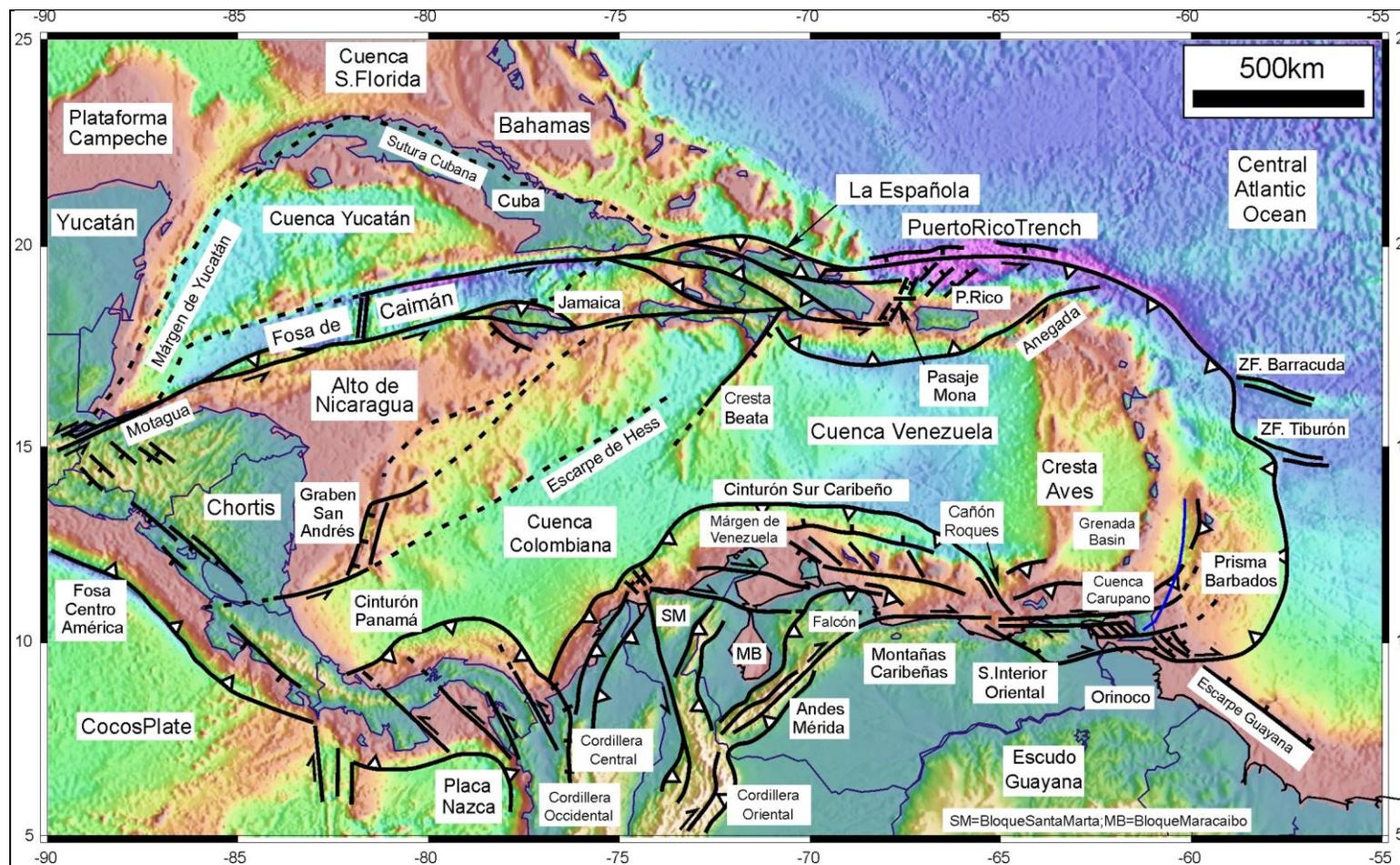


Fig. 7: Mapa de la placa Caribeña mostrando la situación de la isla de La Española en su borde septentrional. En la figura se muestran también los límites estructurales de la placa Caribeña con otras placas y los principales elementos tectónicos

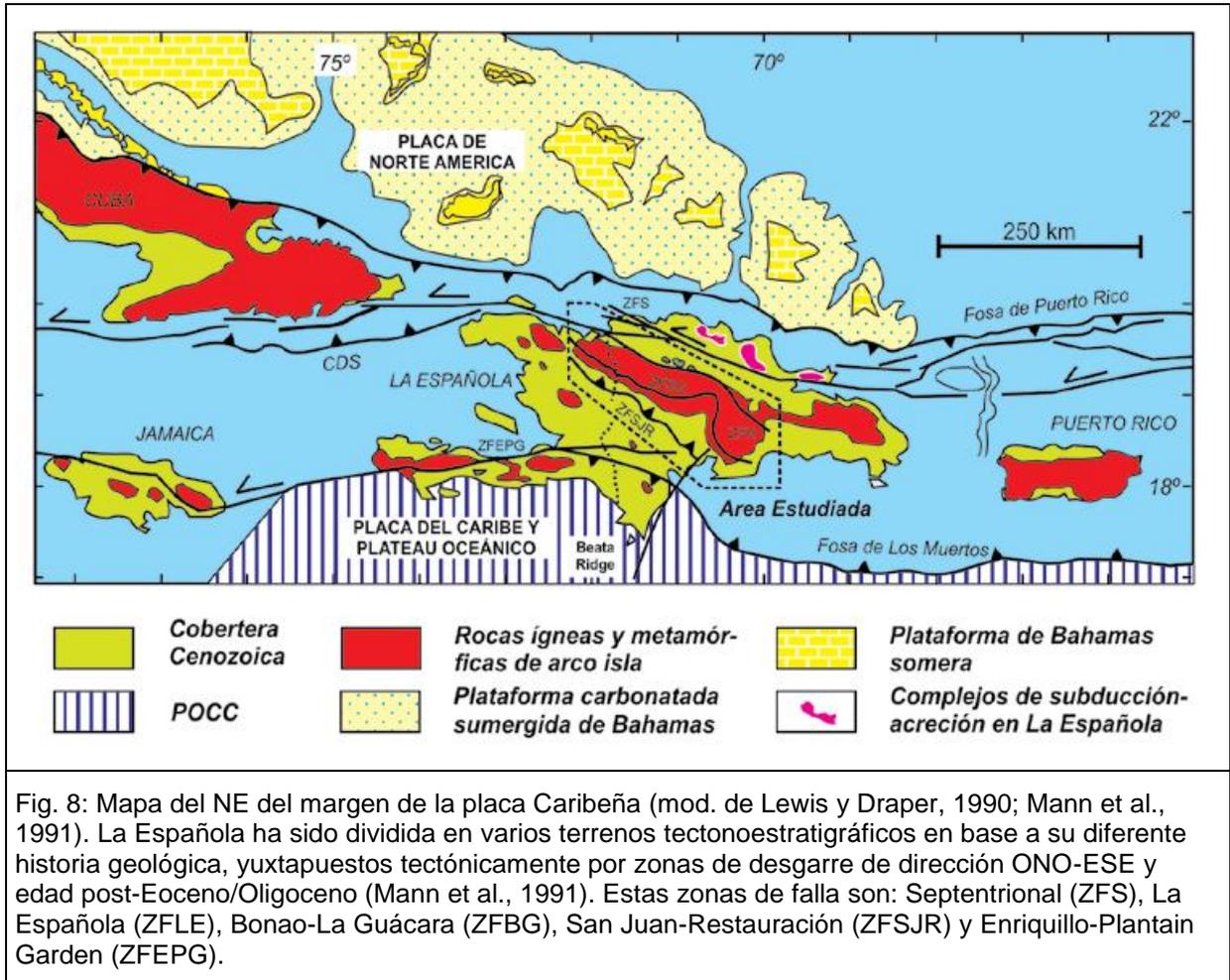
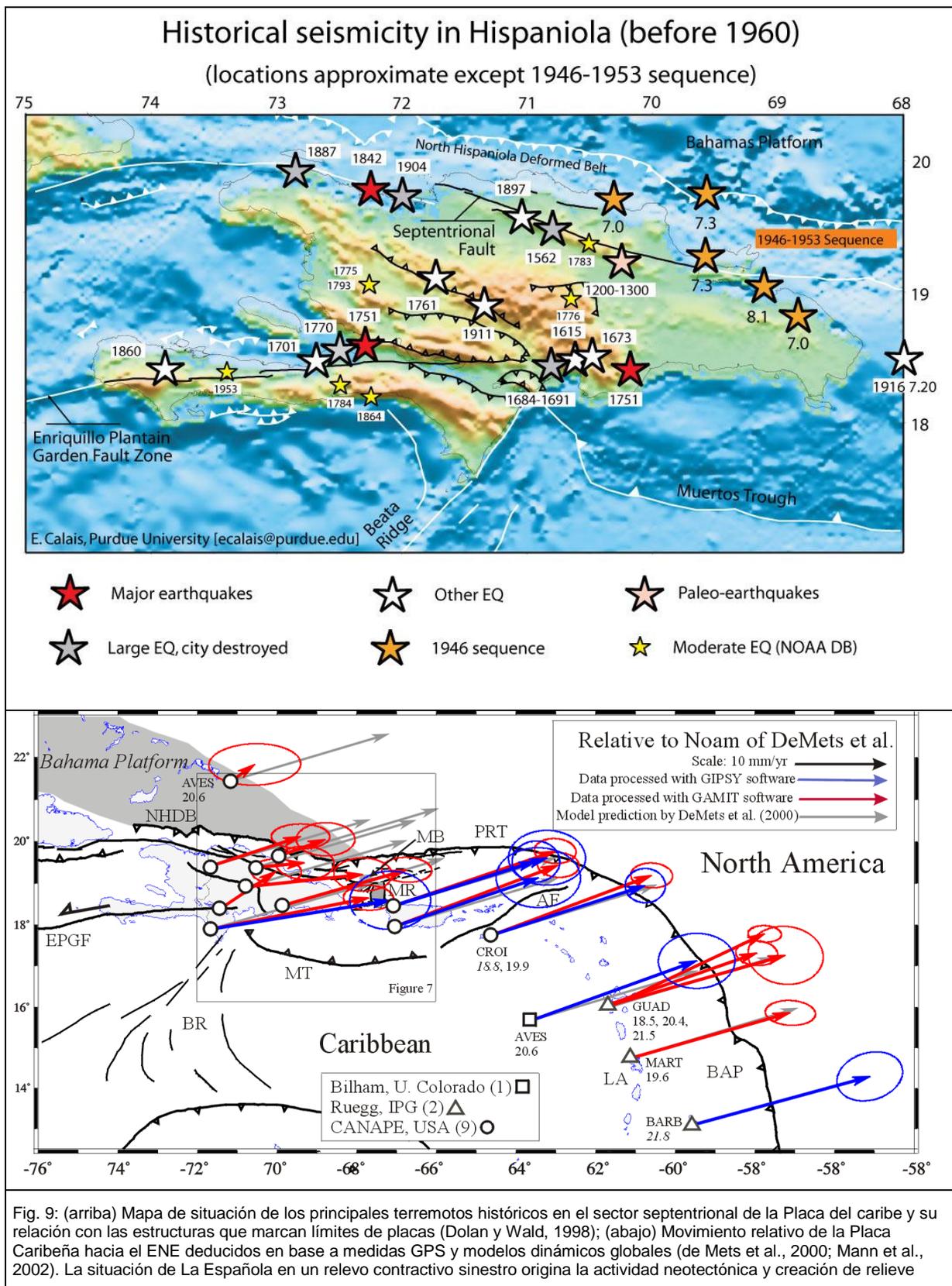
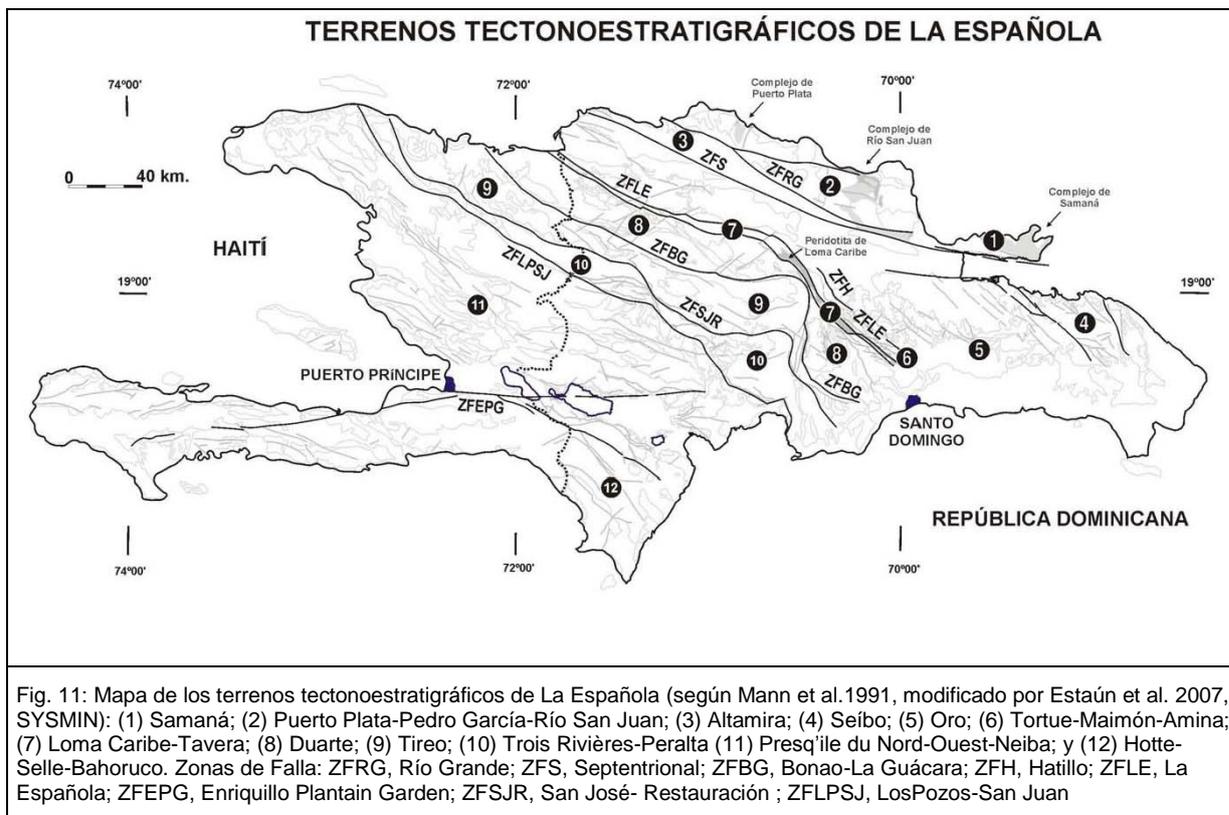
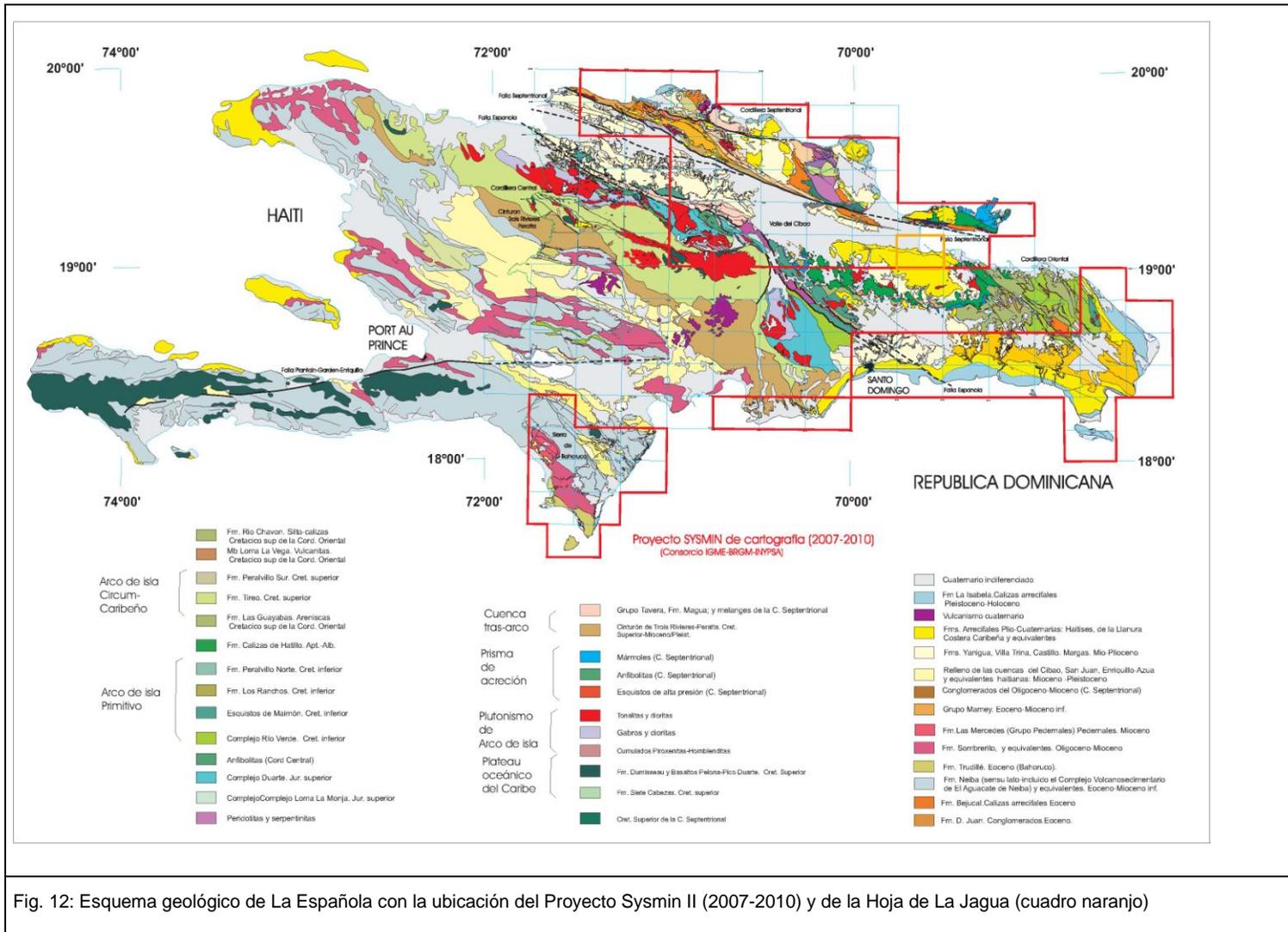


Fig. 8: Mapa del NE del margen de la placa Caribeña (mod. de Lewis y Draper, 1990; Mann et al., 1991). La Española ha sido dividida en varios terrenos tectonoestratigráficos en base a su diferente historia geológica, yuxtapuestos tectónicamente por zonas de desgarre de dirección ONO-ESE y edad post-Eoceno/Oligoceno (Mann et al., 1991). Estas zonas de falla son: Septentrional (ZFS), La Española (ZFLE), Bonao-La Guácara (ZFBJR), San Juan-Restauración (ZFSJR) y Enriquillo-Plantain Garden (ZFEPG).







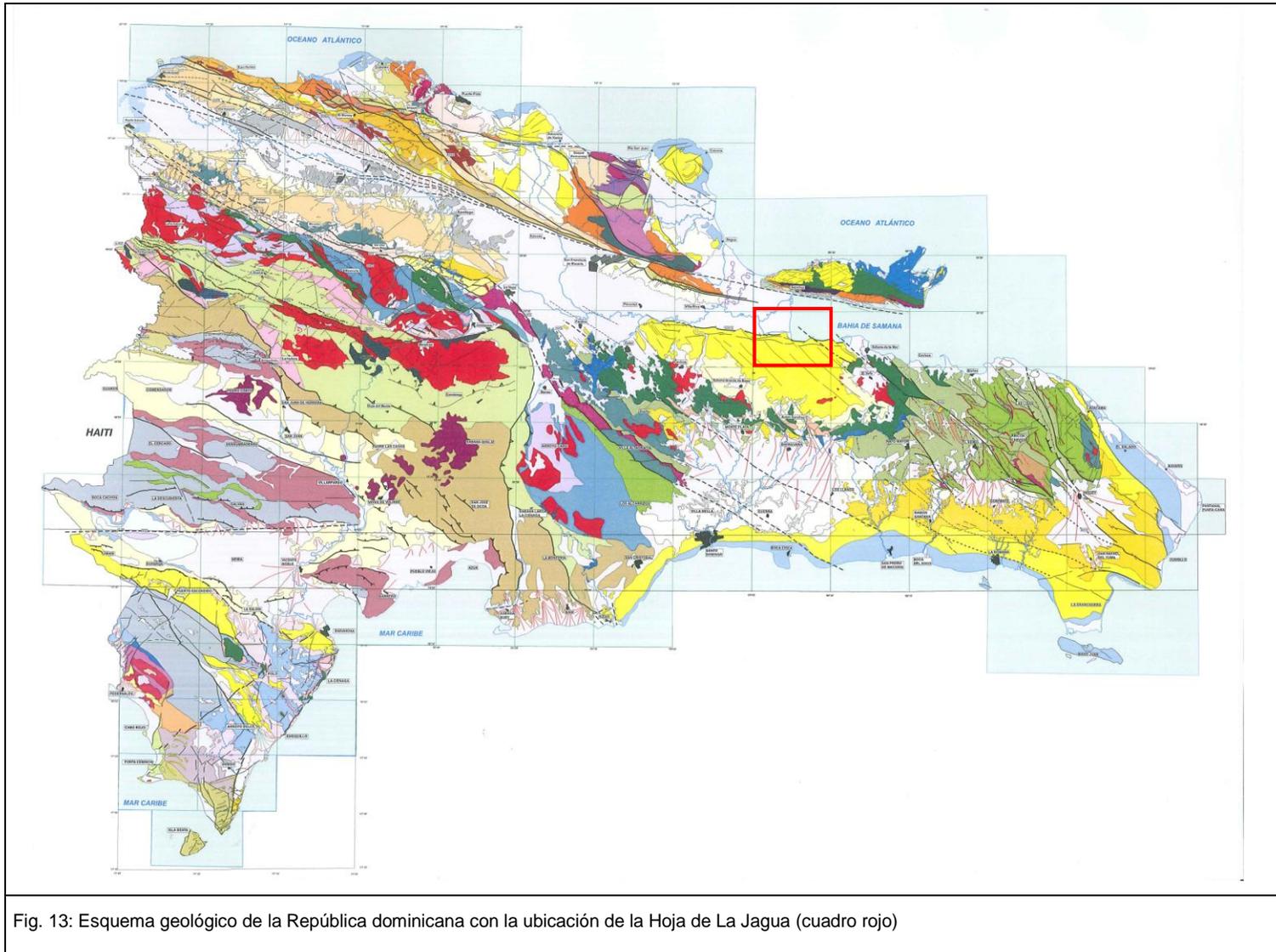


Fig. 13: Esquema geológico de la República dominicana con la ubicación de la Hoja de La Jagua (cuadro rojo)

1.4. Antecedentes

Las primeras observaciones geológicas válidas actualmente datan de finales del siglo XIX, cuando Gabb (1881) realizó un corte transversal de la Cordillera Oriental en el que interpretó correctamente la existencia de un sustrato de rocas cretácicas y una cobertera delgada discordante de rocas terciarias. Entre las décadas de los años sesenta y ochenta tuvo lugar un notable impulso de los conocimientos geológicos de la República Dominicana, merced a la elaboración de una serie de tesis doctorales de carácter regional, entre las que cabe señalar las de: Bowin (1960), sobre el sector central de la República Dominicana; Mann (1983), centrada en aspectos estructurales y estratigráficos de La Española y Jamaica; Boisseau (1987), que precisa la estructura del flanco nororiental de la Cordillera Central; Mercier de Lepinay (1987), que desarrolla un ambicioso estudio estratigráfico y estructural de la isla a fin de establecer su interpretación geodinámica; De Zoeten (1988), que trata sobre la estratigrafía y la estructura de la cordillera Septentrional; Dolan (1988), que aborda la sedimentación paleógena en las cuencas orientales de las Antillas Mayores; y Heubeck (1988), centrado en la terminación suroriental de la Cordillera Central

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

Entre éstas, a la realizada por la Organización de Estados Americanos a escala 1:250.000 (Blesch, 1966), hay que añadir la elaborada a la misma escala, pero con un detalle y calidad superiores, por la Dirección General de Minería y el Instituto Cartográfico Universitario en colaboración con la Misión Alemana (DGM-BGR 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., (a 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.

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.

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 Cretáceos terciarios de sectores cercanos a la zona de estudio.

No existe documentación específica previa en la Hoja de La Jagua-Palmar Nuevo 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 Ud 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, Artigas *et al.* (1995) y Del Olmo y Artigas (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

También dentro del Programa SYSMIN, aunque con un carácter más general con relación al ámbito dominicano, es preciso señalar los relativos a aspectos de prospección magnética y radiométrica aereoportada del territorio de la República Dominicana; CGG, 1995-96), sísmicos (Prointec, 1999) e hidrogeológicos (Acuater, 2000; EPTISA (2004).

2. ESTRATIGRAFIA

En la Hoja de La Jagua afloran exclusivamente materiales cenozoicos sedimentarios del Plioceno y del Cuaternario:

- Los Haitises (Plioceno). Calizas de plataforma interna, arrecifal detrítica
- El Cuaternario. Materiales costeros marinos (Bahía de Samaná), fluviales (Río Yuna) y kársticos (Haitises).

2.1. Cenozoico

2.1.1. Plioceno

2.1.1.1. Los Haitises. Generalidades

Los sedimentos del Plioceno 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 un extraordinario karst tropical maduro, son escasos los trabajos elaborados sobre ella y en la mayoría de los casos están relacionados con la minería del ámbar. 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 densa red de depresiones (dolinas y úvalas), 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 S.B. y Brouwer P.A. (1980), 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 Vinent M.A. (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 margas entre las que se intercalan niveles de conglomerados y de calizas, además de albergar masas discontinuas de ámbar y lignito; y la Fm Los Haitises, dispuesta sobre la anterior e integrada por las 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 J.A., 2000), elaborado dentro del Programa SYSMIN, aporta nuevos datos sobre la Fm Yanigua, si bien desde un punto de vista minero.

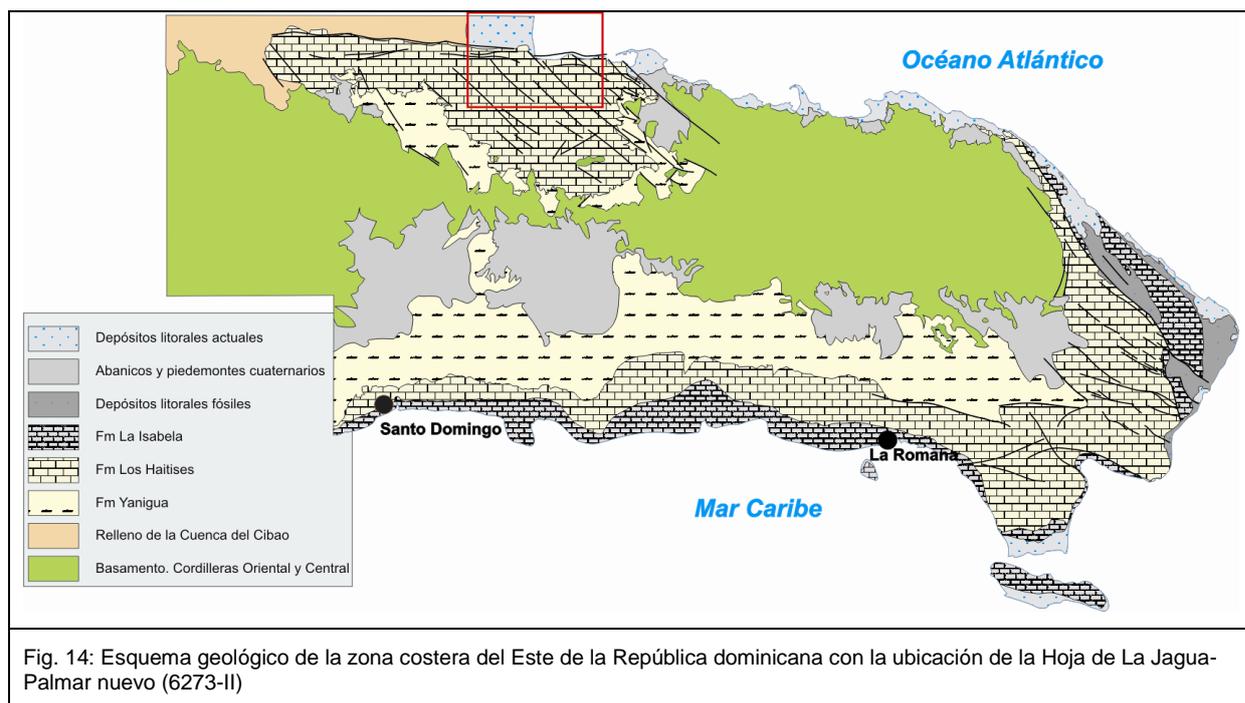
En el proyecto L de cartografía (2002-2004), se han adoptado los criterios generales propuestos por Iturralde Vinent M.A., con dos unidades principales : la Fm Yanigua, como un conjunto margoso que alberga pequeñas masas de lignito y ámbar, en el que se intercalan niveles carbonatados de orden métrico, así como conglomerados, más frecuentes hacia la base; y la Fm Los Haitises, constituida por calizas bioclásticas y arrecifales masivas, habiéndose diferenciado dos tramos dentro de ella, en función del mayor o menor contenido margoso de las calizas.

No existe unanimidad en cuanto a la edad del conjunto: Brouwer S.B. y Brouwer P.A. (1980) enmarcan la Fm Yanigua en el Mioceno; Bourdon L. (1985) asigna el conjunto calcáreo al Mioceno Superior-actualidad; Toloczyki M. y Ramírez I. (1991) atribuyen la Fm Yanigua al Mioceno Superior-Plioceno y la Fm Los Haitises, al Plioceno-Cuaternario; y por último, Iturralde Vinent M.A. (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 L 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 Fm Los Haitises al Plioceno-Pleistoceno (p.ej. Díaz de Neira y Hernaiz Huerta, 2004).

Los afloramientos de la Fm Yanigua se distribuyen por el borde de la región, soterrándose bajo los de la Fm Los Haitises, sin que pueda asegurarse si 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. La Fm Yanigua se interpreta en un contexto marino-lagunar de baja energía, en tanto que la Fm Los Haitises representa una plataforma carbonatada con construcciones arrecifales.

En conjunto 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, provocaría el retroceso de la línea de costa y del complejo arrecifal hacia la Bahía de Samaná, hasta alcanzar la disposición actual. De acuerdo con este esquema, aunque las calizas de la Fm Los Haitises constituyen un conjunto de extraordinaria uniformidad, poseerían carácter diacrónico, más antiguo en el sector meridional (Plioceno) y prácticamente actual en el ámbito de la bahía.

En cuanto a la plataforma carbonatada de la Llanura Costera del Caribe, no existen, hasta este proyecto, estudios geológicos específicos sobre ella, tratándose en todos los casos de referencias marginales. Aunque tradicionalmente ambas plataformas carbonatadas han sido tratadas independientemente, su estrecha relación parece un hecho como sugieren su aparente conexión física al NE de Bayaguana y la que se intuye debido a la continuidad de la plataforma meridional por el extremo oriental de la Cordillera hasta las proximidades de Nisibón. La plataforma meridional está integrada por un conjunto monótono de margas entre las que se intercalan calizas y calizas margosas que ocasionalmente pueden constituir la litología dominante. Muestra grandes semejanzas con la Fm Yanigua, por lo que se han atribuido a ella, hecho apoyado por la conexión espacial de ambas plataformas señalada anteriormente.



2.1.1.2. Ud Haitises (1). Calizas bioclásticas, calizas margosas y calizas arrecifales. Plioceno inferior-Pleistoceno inferior ($N_2^1-Q_1$)

Se trata del conjunto calcáreo que constituye las zonas más elevadas de la mitad Sur de la Hoja de La Jagua, totalmente protegida por el Parque natural. Las mejores observaciones se hacen en el borde Norte de la plataforma con el valle de Yuna (Cristal) y la Bahía de Samaná.

En cualquier caso, existe un corte espectacular al Oeste de la Hoja, concretamente en la nueva carretera Santo Domingo-Samaná, dentro de la Hoja colindante de Cevicos (6273-III). Los materiales calcáreos de Los Haitises fueron descritos por Brouwer y Brouwer (1982) como Fms. Cevicos y Los Haitises y agrupados por Iturralde (2001) como Fm Los Haitises, criterio seguido y precisado por Díaz de Neira y Hernaiz (2004) y García-Senz (2004).

Aparecen como un monótono conjunto de calizas grises a blanquecinas, en las que el elevado contenido fosilífero es observable a simple vista. Generalmente, se agrupan en bancos de espesor métrico a decamétrico, aunque con frecuencia su estratificación no es fácilmente observable, lo que acentúa su aspecto masivo y uniforme, incrementados por la importante karstificación que afecta a la unidad a diversas escalas.

La plataforma está ligeramente basculada hacia el Norte ($5-10^\circ N$) donde está en contacto por Falla con los aluviones del Bajo Yuna y la Bahía de Samaná. Hacia el Sur, el muro de la Unidad se observa en las Hojas colindantes de Cevicos, Sabana Grande de Boya, Sánchez

y El Valle y Sabana de La Mar, donde las calizas de Los Haitises pasan a la Fm Yanigua mediante cambio lateral, habiéndose establecido el contacto a partir de las primeras apariciones de margas, criterio que además coincide con el desarrollo de drenaje superficial, ausente en la presente unidad debido a la eficacia de los procesos kársticos.

En tanto que el techo original de Los Haitises debió aproximarse a su actual superficie topográfica, de lo que se deducen espesores del orden de 200 m.

La Ud 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 Ud Los Haitises representan una facies menos importante. Las calizas bioclásticas aparecen como bancos tabulares de facies muy heterogéneas. Petrográficamente se han descrito boundstone de algas rojas y packstone y wackestone bioclásticos con corales, briozoos, macroforaminíferos, equinodermos y bivalvos. Intercaladas entre estas calizas pueden aparecer niveles decimétricos de arenas y lutitas negras, con olor fétido, ricos 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 la Hoja colindante de Cevicos en Los Francisquitos o a favor de la nueva autopista. Las descripciones provienen de estos sitios (Braga 2009, Abad 2009). Están constituidas por el amontonamiento, en posición de vida, de corales masivos, encostrantes o laminares y la acumulación de ramas y fragmentos grandes de ramas de corales ramosos:

- Los amazones (framestones), son generalmente de escasa potencia (dm a m), producidos por la superposición de colonias masivas (*Porites* predominante y *Montastrea* y *Siderastrea*)
- Las colonias laminares (mayoritariamente de la familia Agaricidae) se encuentran en acumulaciones de pequeñas dimensiones, (dm a m), 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.
- Las colonias ramosas (genero *Porites*; *Acropora cervicornis* y a especies de *Stylophora*) pueden puntualmente preservarse intactas en posición de vida o volcadas, pero generalmente dan lugar a una acumulación de fragmentos

heterométricos de ramas: calcirudita con sedimento interno fino (calcarenita fina, micrita o marga) o presentar todas las transiciones hasta depósitos formados por ramas dispersas en un sedimento calcarenítico con matriz micrítica (floatstones en packstones a wackestones). En la matriz hay bioclastos de corales, algas rojas, equinodermos, moluscos, foraminíferos y briozoos. Las acumulaciones de corales ramosos forman capas tabulares o lentejones de poco espesor (dm a m).

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

Al microscopio, (ver las fichas ERADATA de la muestra 46MJ9001: Lat: 19.10018; Long: -69.74889, procedente de la pequeña cantera de Cristal en la esquina NO de la Hoja, o de la muestra 46MJ9017, Lat: 19.09468; Long: -69.73150, procedente de la cueva de Muñeco de Oro al Sur de Cristal, en la esquina NO de la Hoja, o de la muestra 46MJ9015 Lat: 19.00156; Long: -69.73184, procedente de la cueva del Infierno, en la Bahía de Samaná) se trata de pelbiomicrita, biomicrita-micrita algaria, con estructura porosa y textura bindstone / wackestone o packstone.

Los foraminíferos bénticos son bastante mal conservados: pequeños Discorbinae, *Amphistegina* sp., *Amphistegina tuberculata* BERMUDEZ, *Amphistegina canaensis* BERMUDEZ, *Cushmania* sp., *Quinqueloculina* sp., Textulariidae, *Miosorites americanus* (CUSHMAN), Soritidae, *Annulo-sorites* sp., *Annulosorites spiralis* HOTTINGER, Discorbidae (*Rosalina*), Planorbulinidae, *Miogypsina* sp, *Quinqueloculina* sp.

La edad bioestratigráfica es Mioceno superior probable (Intervalo de seguridad Mioceno medio alto ? a superior).

El Medio de depósito corresponde a una plataforma arrecifal interna de tipo lagoon, infralitoral proximal.

Las muestras de las calizas margosas de Los Haitises de la Hoja de La Jagua no han permitido inferir una edad precisa (Oligo-Mioceno con elementos en parte retrabajados)

En la Hoja colindante de Cevicos las muestras han 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 Ud Los Haitises.

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 Ud 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 Ud 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., 2008).
3. En el techo observable de las construcciones arrecifales de la Fm. 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., 2008).
4. Dentro de la misma formación, 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., 2008).
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.

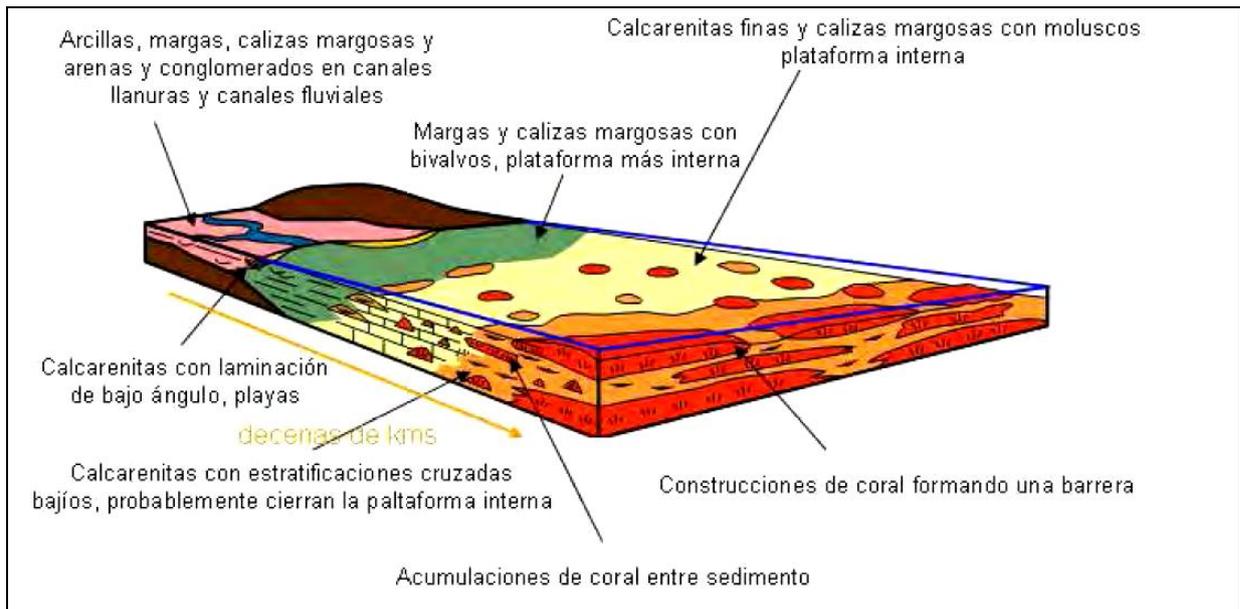


Fig. 15 Modelo sedimentario para las calizas de plataforma y sedimentos asociados del Plioceno-Pleistoceno inferior que rodean la Cordillera Oriental. Formaciones Yanigua, Cevicos y Unidad Los Haitises (Braga, 2010)



Foto 1: Calizas de Los Haitises. Ensenada del Naranjo, Bahía de Samaná; Haitises. 46MJ9009_2b (Lat: 19,09389261; Long: -69,54738932); Hoja La Jagua-Palmar Nuevo

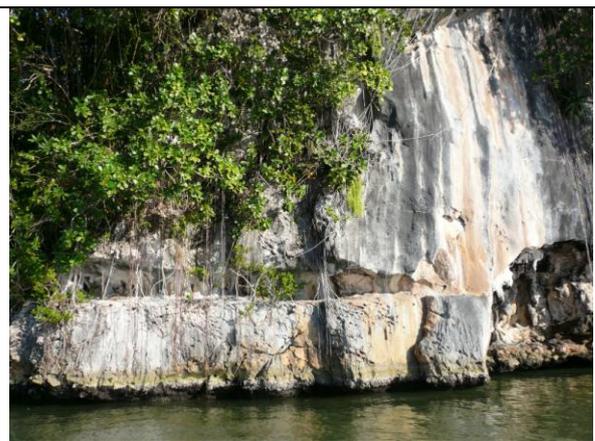


Foto 2: Cueva infierno Bahía de Samaná; Haitises. 46MJ9013_1 (Lat: 19,00156213; Long: -69,73183523); Hoja La Jagua-Palmar Nuevo



Foto 3: calizas de los Haitises; Ctra. de Cristal; Hoja de La Jagua; 46MJ9001_1; (Lat: 19,10018222; Long: -69,74888851)



Foto 4: calizas de los Haitises; Ctra. de Cristal; Hoja de La Jagua; 46MJ9001_1; (Lat: 19,10018222; Long: -69,74888851)



Foto 5: calizas de los Haitises con bloques de corales; Ctra. de Cristal; Hoja de La Jagua; 46MJ9001_8; (Lat: 19,10018222; Long: -69,74888851)



Foto 6: calizas de los Haitises; Ctra. de Cristal; Hoja de La Jagua; 46MJ9001_9; (Lat: 19,10018222; Long: -69,74888851)

2.1.2. Cuaternario

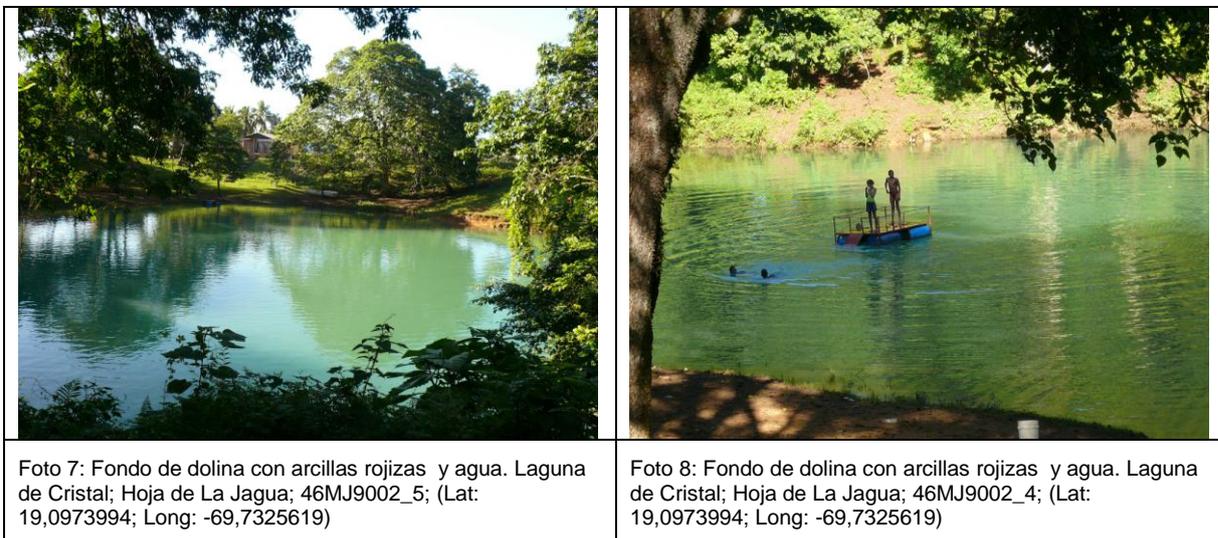
El cuarto NO de la Hoja está cubierto por las formaciones diversificadas fluviales del bajo Yuna y costeras de la Bahía de Samaná.

En Los Haitises de la mitad Sur de la Hoja, se han desarrollado los productos de descalcificación de las calizas, que rellenan los numerosos fondos de dolinas y poljes.

2.1.2.1. Relleno de dolinas y poljes. Arcillas de descalcificación rojas (2). Cuaternario (Q₂₋₄)

Las arcillas de descalcificación (2) suelen ocupar el fondo de dolinas y depresiones debidas a disolución, frecuentemente alineadas a lo largo de fracturas. Son arcillas rojas de aspecto masivo, con clastos dispersos del sustrato calizo, puesto que son el producto de la descalcificación de éste Su espesor debe variar en función de la envergadura de los

procesos de disolución, pudiendo superar los 5 m. Su edad inferior está acotada por la de la Fm Los Haitises, por lo que se enmarcan en el Pleistoceno-Holoceno.



2.1.2.2. Abanicos aluviales y conos de deyección (3). Gravass, arenas y lutitas. Cuaternario (Q₂₋₄)

Muy pequeños abanicos aluviales y conos de deyección constituyen el talud Norte de Los Haitises en contacto por falla con la cuenca del bajo Yuna. El resalto topográfico de varias decenas de metros está en parte tapado por los productos de la karstificación de las calizas (arcillas) mezclados con gravas, arenas y lutitas, transportados en periodo de fuertes lluvias por el río Cristal y las pequeñas cañadas intermitentes afluentes del río Barracote (hoy en día Yuna Sur)

2.1.2.3. Llanura de inundación abandonada (4). Lutitas y arenas (Q₄)

Al Norte y al Este del río Yuna (Norte) aparece una zona ligeramente sobrellevada, correspondiendo a la parte abandonada de la llanura de inundación de dicho río. Los materiales finos son arenas y lutitas.

2.1.2.4. Cordón arenoso. (5). Arenas. Cuaternario (Q₄)

Un cordón arenoso, marca la costa Oeste de la Bahía de Samaná. Está cortado por el río Barracote (hoy en día el brazo Sur de río Yuna), que sigue la falla regional EO de Los Haitises en el borde Sur de la Cuenca del bajo Yuna, donde desemboca en la Bahía. Está constituido por arenas cuarzosas y bioclásticas, de tono gris a negro y de potencia inferior a 10m.

2.1.2.5. Fondos de valles (6). Arenas y limos. Cuaternario (Q₄)

Se trata de formas estrechas coincidentes con el canal de estiaje y que constituyen el principal testimonio de la actividad sedimentaria de la red fluvial actual. Los principales están constituidos por gravas polimícticas en matriz arenosa, con cantos ígneo-metamórficos debido a su procedencia de las Cordilleras Central y Oriental y calcáreos (Haitises). En el caso de los menores, aumenta la proporción lutítica.

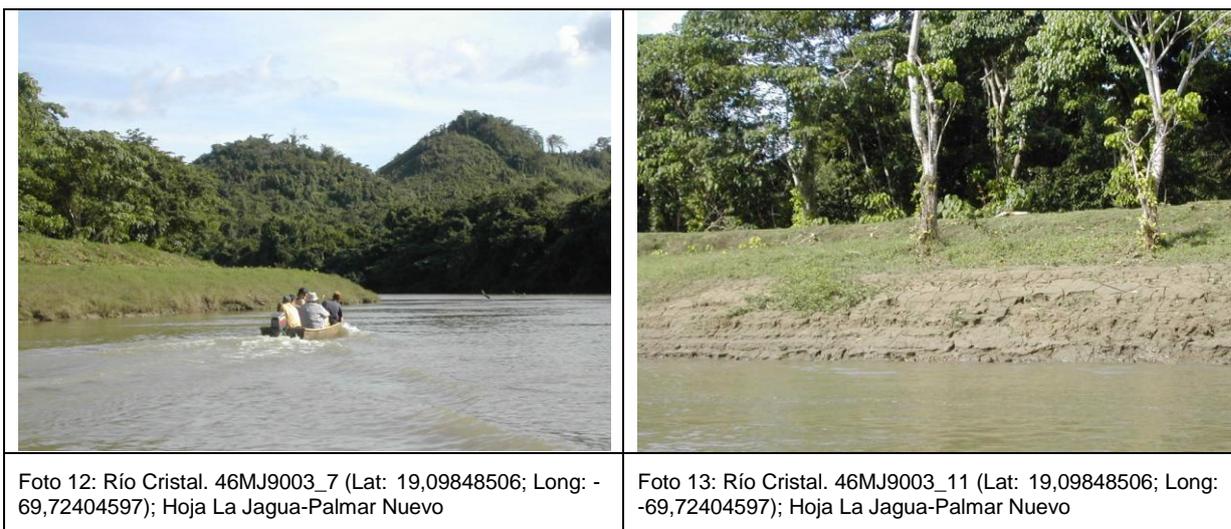
En el caso del río Yuna Norte y Sur, las gravas contienen algunos cantos redondeados de 10-20 cm. Aunque no existen cortes que permitan determinar su espesor, sin duda varía notablemente en función del curso en cuestión, pudiendo alcanzar 5 m. Por su actividad actual se asignan al Holoceno.



Foto 10: Río Cristal. 46MJ9003_3 (Lat: 19,09848506; Long: -69,72404597); Hoja La Jagua-Palmar Nuevo

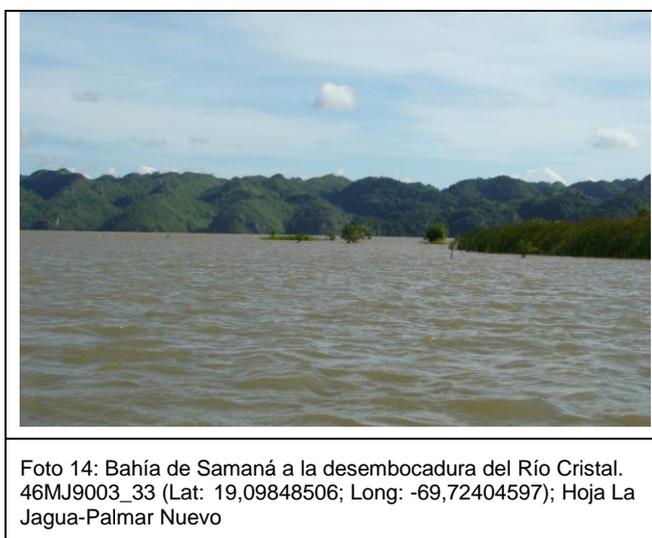


Foto 11: Río Cristal. 46MJ9003_5 (Lat: 19,09848506; Long: -69,72404597); Hoja La Jagua-Palmar Nuevo



2.1.2.6. Delta (7). Arenas y limos. Cuaternario (Q₄)

El río Barracote, hoy en día brazo Sur del Yuna, está desarrollando un pequeño delta, que colmata rápidamente la esquina SO de la Bahía de Samaná; en 25 años ha crecido de más de dos km² como lo testifica la comparación del mapa topográfico de 1984 con las imágenes de Google Earth de 2009.



2.1.2.7. Llanura de inundación (8). Lutitas y arenas. Cuaternario (Q₄)

El río Yuna presenta una llanura de inundación de 1-2 km de anchura, que engloba el cauce meándrico del bajo Yuna, constituida por arenas y lutitas. Su espesor es difícil de determinar

al no observarse el sustrato, pero debe sobrepasar 5 m; en el caso de la llanura de algunos cursos menores, se observa un claro predominio lutítico.

2.1.2.8. Áreas pantanosas (9). Lutitas ricas en materia orgánica. Cuaternario (Q₄)

Zonas pantanosas se han desarrollado en medio de las llanuras de inundación abandonadas, detrás del cordón litoral que bloquea la salida de las aguas fluviales en la Bahía de Samaná. Están constituidas de Lutitas ricas en materia orgánica, aprovechadas por el cultivo del arroz.



Foto 15: Llanura de inundación del bajo Yuna; Ctra. de Cristal. 46MJ9001_11 (Lat: 19,10018222; Long: -69,74888851); Hoja La Jagua-Palmar Nuevo



Foto 16: Llanura de inundación de bajo Yuna y Los Haitises; Ctra. de Cristal. 46MJ9001_16 (Lat: 19,10018222; Long: -69,74888851); Hoja La Jagua-Palmar Nuevo

2.1.2.9. Playas actuales (10). Arenas. Cuaternario (Q₄)

Pequeñas playas de arenas bioclásticas grises o negras, se prolongan por la mayor parte de la costa de la Bahía de Samaná, aunque con una anchura reducida. Su espesor puede estimarse en menos de 2 metros.



Foto 17: Pequeña playa de arenas gris en el borde SO de la Bahía de Samaná; Hoja de La Jagua; 46MJ9005_3; (Lat: 19,14006533; Long: -69,63692958)

2.1.2.10. Marisma baja. Manglar (11). Lutitas con abundante vegetación. Cuaternario (Q₄)

Los manglares se localizan en los cauces fluviales que llegan hasta la costa arenosa occidental de la Bahía de Samaná así que en las rías del acantilado de Los Haitises de la costa Sur, a favor de la franja arenosas poco profunda (1-4m). Esta marisma baja se prolonga al pie de la ladera, es decir, en el lado interno de esta plataforma de acreción litoral.

Son materiales eminentemente lutíticos, con contenido variable de materia orgánica, como consecuencia de su colonización por el manglar. No se ha observado corte alguno que permita una detallada descripción de estas unidades, tampoco el establecimiento de su espesor, que posiblemente sea de unos pocos metros.

	
<p>Foto 18: Manglar de la Bahía de Samaná a la desembocadura del Río Cristal. 46MJ9003_34 (Lat: 19,09848506; Long: -69,72404597); Hoja La Jagua-Palmar Nuevo</p>	<p>Foto 19: Manglar de la Bahía de Samaná a la desembocadura del Río Cristal. 46MJ9003_35 (Lat: 19,09848506; Long: -69,72404597); Hoja La Jagua-Palmar Nuevo</p>

2.1.2.11. Delta sumergido (12). Arenas y limos. Cuaternario (Q₄)

Al frente del delta emergido del río Barracote (brazo Sur del Yuna), descrito anteriormente, se observa un delta inmerso bajo 1-2m de aguas, bien visible en las imágenes de Google Earth.

	
<p>Foto 20: Caño La Ceja; Bahía de Samaná; 46MJ9005_1 (Lat: 19,14006533; Long: -69,63692958); Hoja La Jagua-Palmar Nuevo</p>	<p>Foto 21: Bahía de Samaná a la desembocadura del Río Cristal. 46MJ9003_32 (Lat: 19,09848506; Long: -69,72404597); Hoja La Jagua-Palmar Nuevo</p>

3. TECTONICA

En este capítulo se abordan las características estructurales de la Hoja de La Jagua y su evolución tectónica. Como preámbulo, se hace una exposición del contexto geodinámico de la isla de La Española, en cuya parte meridional se encuentra ubicada esta Hoja, y del marco geológico estructural de la zona de estudio. A continuación se describe la estructura de la Hoja de La Jagua y se presenta una propuesta de evolución tectónica para el conjunto de la región.

3.1. Marco geodinámico

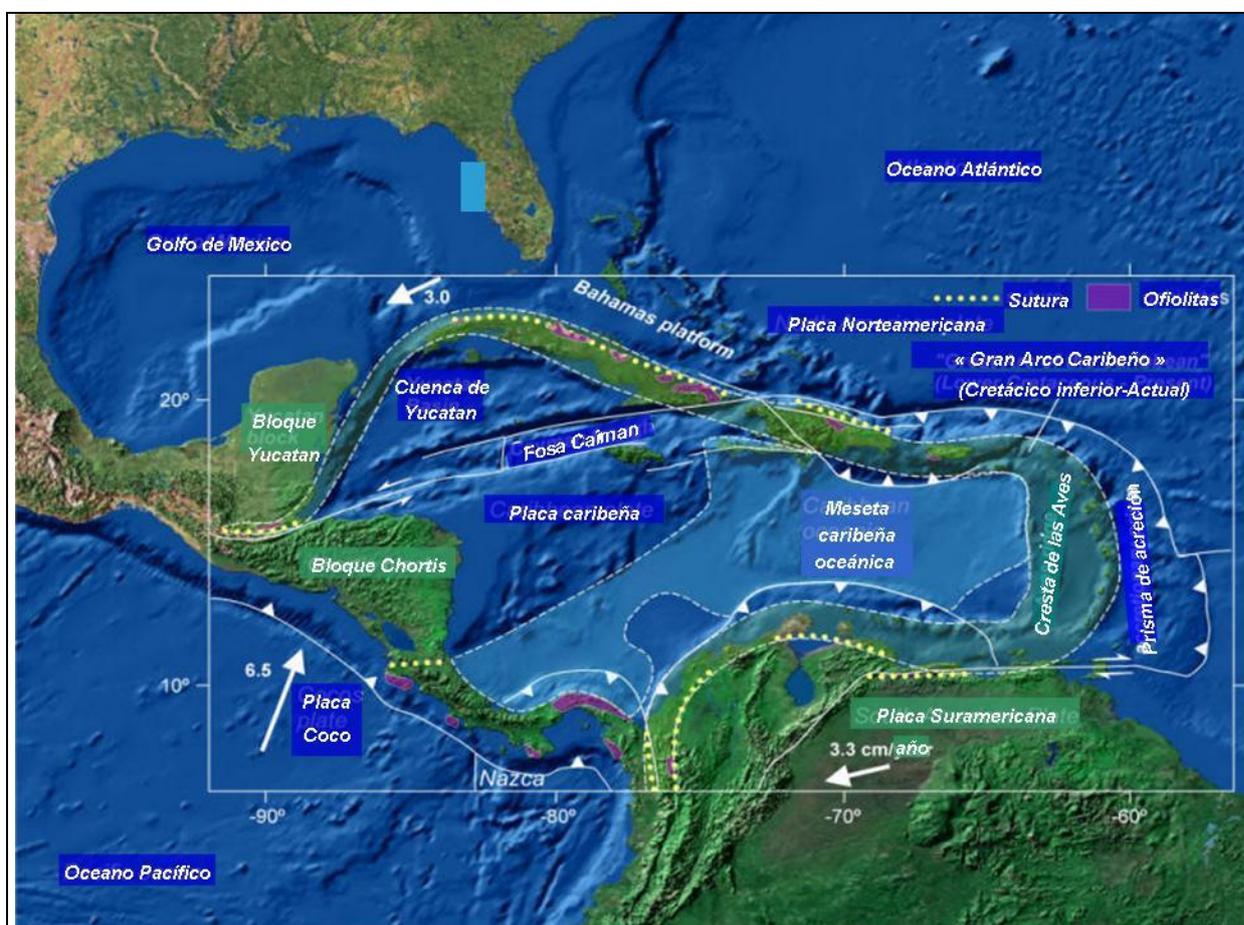


Fig. 16: Contexto geodinámico de la placa del Caribe

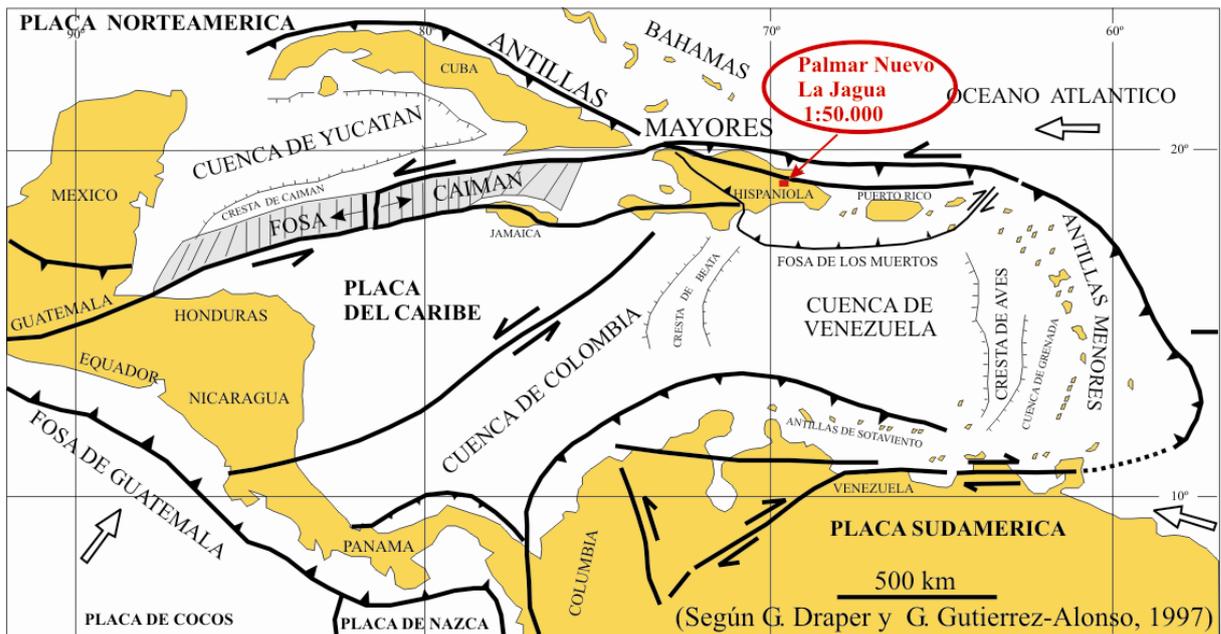


Fig. 17: Contexto geodinámico de la placa del Caribe : situación de la Hoja La Jagua-Palmar nuevo (6273-II)

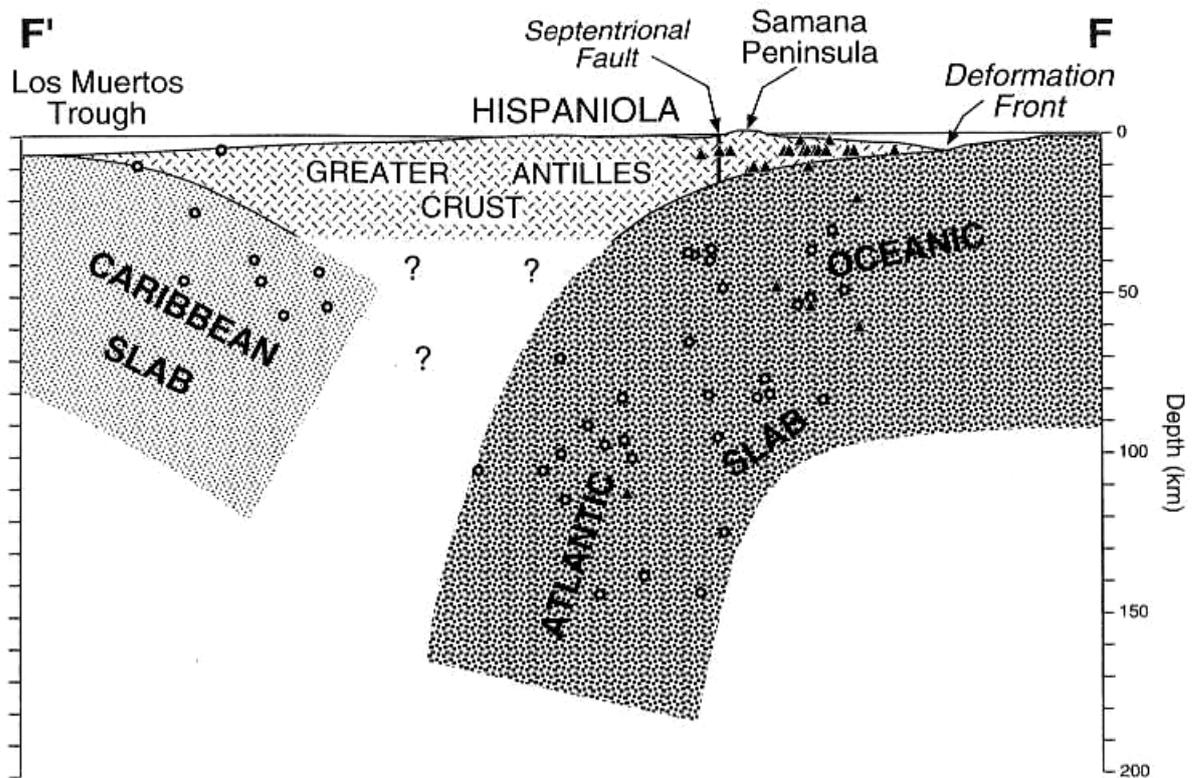


Fig. 18: Corte interpretativo que permite visualizar las relaciones entre La Isla de La Española y las placas Norteamericana y Caribeña (Dolan J.F. et al., 1998)

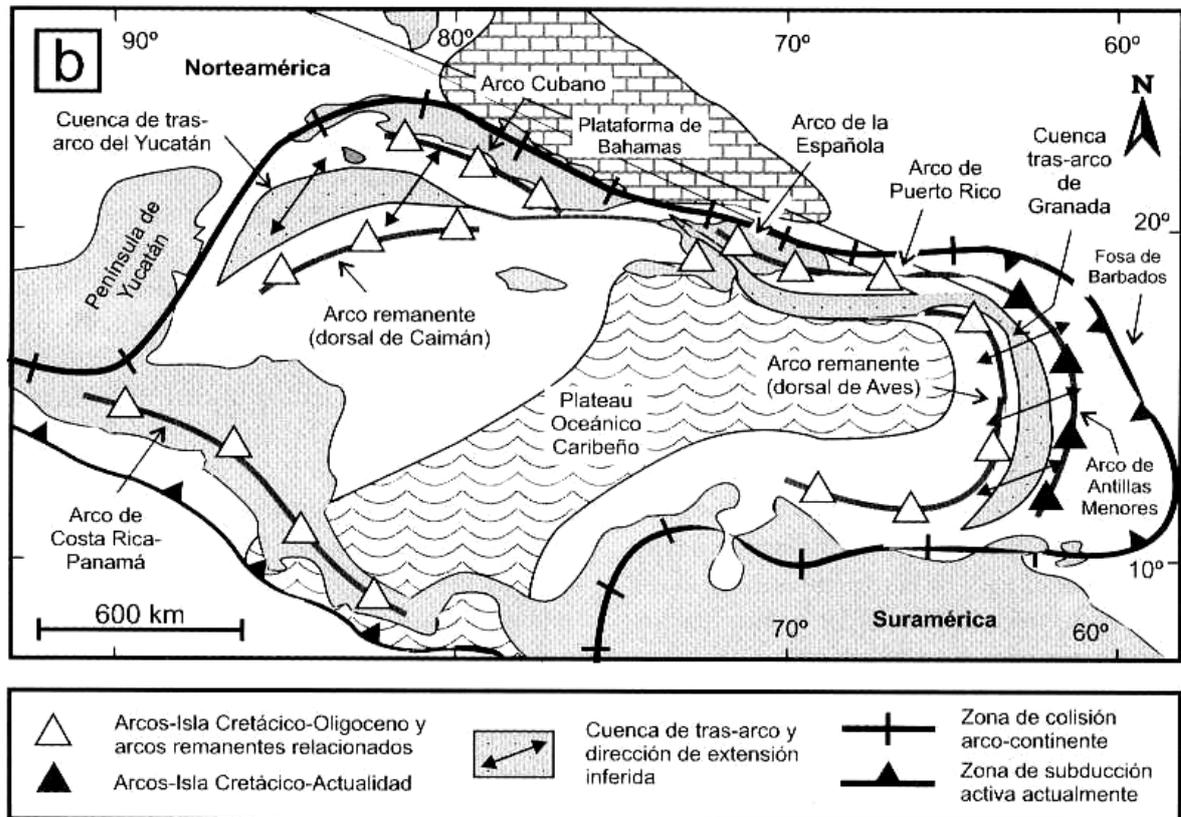


Fig. 19: Principales elementos tectónicos del sistema de arco-isla circum-caribeño de edad Cretáceo Superior – Eoceno. (Lewis J.F. et al., 2002)

La Española 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). Existe un común acuerdo en que todos los segmentos de este Gran Arco de Islas son litológicamente similares y que todos ellos se empezaron a formar en el área del Pacífico, a partir del (Jurásico superior ?) Cretáceo inferior (Mann *et al.* 1991 b), como un arco volcánico más o menos continuo, el cual migró hacia el Este durante el Cretáceo Superior y parte del Terciario, hasta alcanzar su posición actual en la región del Caribe (Pindel y Barret 1990, Pindel 1994).

La Isla de La Española, conjuntamente con Puerto Rico, constituye una unidad que puede interpretarse como una microplaca, limitada al Norte por una zona de subducción con desplazamiento oblicuo a 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 Cretáceo y parte del Eoceno (Fig. 18), 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).

La subducción intraoceánica durante el Cretáceo 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 Cretáceo 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). Entre estas dos islas, en el segmento correspondiente a La Española, la colisión ocurrió en el intervalo Eoceno medio-superior. La tectónica de desgarre comenzó, en este margen Norte de la placa, a partir del Eoceno con la apertura del Surco del Caimán (Mann *et al.*, 1991 b) y se mantiene hasta la actualidad, en un contexto fundamentalmente transpresivo para todo el conjunto de la isla.

A partir del Eoceno Medio cesa la actividad magmática en el sector del arco correspondiente a las Antillas Mayores, pero continúa la deformación producida por importantes fallas con desgarres senestros, principalmente, con apertura de cuencas locales e intensa fracturación hasta la actualidad. En cambio, en las Antillas Menores la actividad magmática continúa hasta la actualidad, debido a la subducción del fondo oceánico atlántico en la Fosa de Barbados (Pindell y Barret, 1990; Pindell, 1994) (Fig. 19).

La placa del Caribe se desplaza hoy día hacia el este con respecto a las placas Norte y Sudamericana (Dolan y Mann, 1998; Dixon, 1998; De Mets *et al.*, 2000; Mann *et al.*, 2002). Este movimiento relativo se acomoda, en el margen septentrional de la isla, por la zona de subducción de la fosa de Puerto Rico y por la falla Septentrional, en un tipo de articulación

en el que se conjugan la convergencia oblicua, en la primera, y los movimientos senestrales, en la segunda (Dolan y Mann, 1998; Dolan et al., 1998; Fig. 20.

En el interior de la isla, el citado movimiento relativo lo articula principalmente la zona de falla Septentrional, que marca el borde Norte de la Bahía de Samaná y la Falla de Los Haitises que marca el borde Sur.

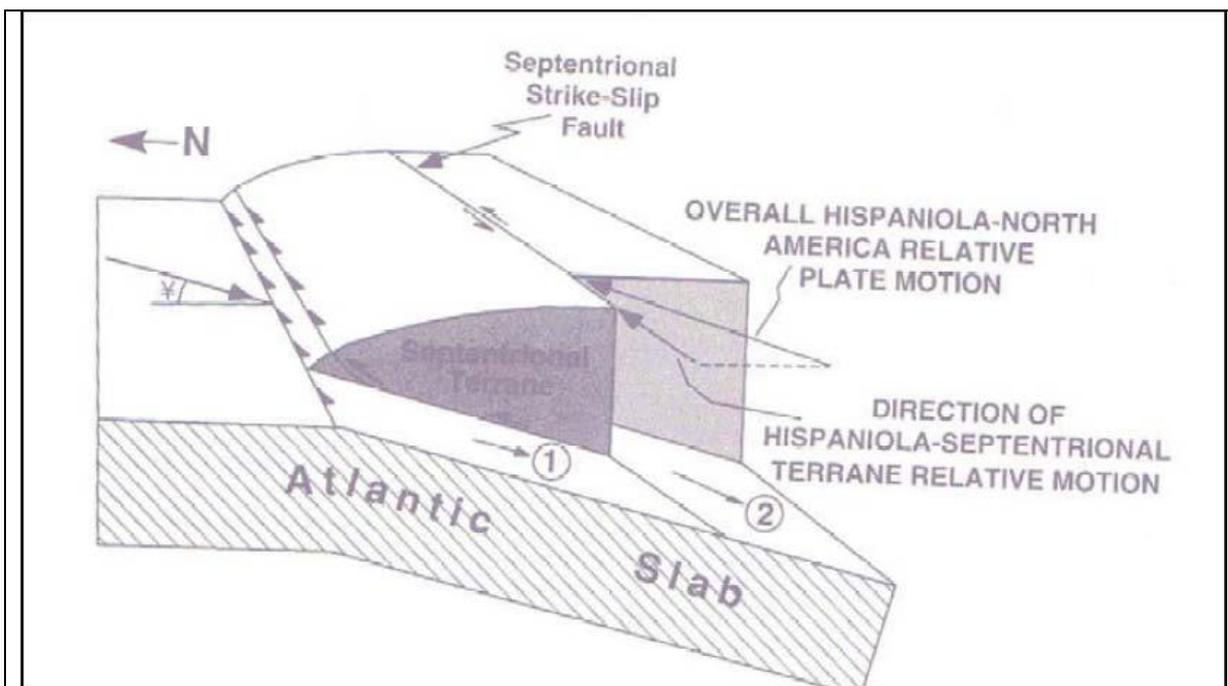


Fig. 20: Bloque diagrama esquemático propuesto en Dolan y Mann (1998) para explicar las relaciones de movimiento de desgarres senestrales y cabalgamientos dentro de un contexto de convergencia oblicua distribuida en el límite septentrional de la placa Caribeña.

3.2. 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 (Fig. 14). 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 C., 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.

Las rocas más antiguas que afloran son más de 3000 metros de rocas volcánicas (Fm Los Ranchos), cubiertas por una delgada plataforma (<300 m) de carbonatos de edad cretácico medio (Fm Hatillo), seguida de unos 5500 metros de areniscas y calizas de origen esencialmente turbidítico (formaciones del Cretácico Superior). Presentan un metamorfismo de bajo grado en facies de prehnita-pumpellita (Bourdon, 1985) y se hallan intruidas por granitoides de edad cretácico. El conjunto forma el basamento de cuencas terciarias y cuaternarias.

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 (Fig. 21) sitúa la Cordillera Oriental como un gran bloque volcano-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 antiforame ONO-ESE, que cierra hacia el este, definiendo una amplia zona de charnela (Fig. 21; Fig. 22). En el núcleo del antiforame 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 antiforame 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 antiforame, 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.

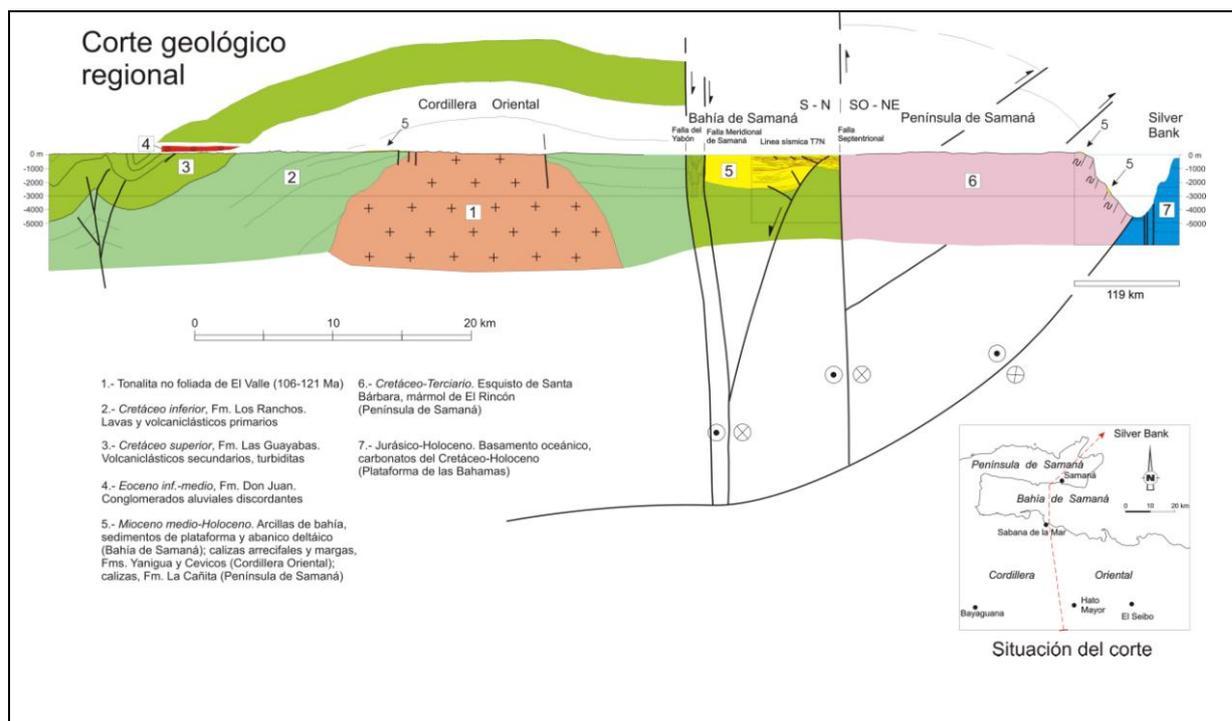


Fig. 21 Corte geológico regional entre la Cordillera Oriental Dominicana y la plataforma de las Bahamas (García-Senz et al., 2007). La interpretación de la línea sísmica T7N es de Edgar N.T. (1991), y se ha migrado usando los datos de velocidad del citado autor. El límite de placas marcado por focos 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.

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 (Fig. 23) y tiene asociadas protrusiones (intrusiones tectónicas) de rocas ultramáficas de origen mantélico emplazadas en el Cretáceo 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

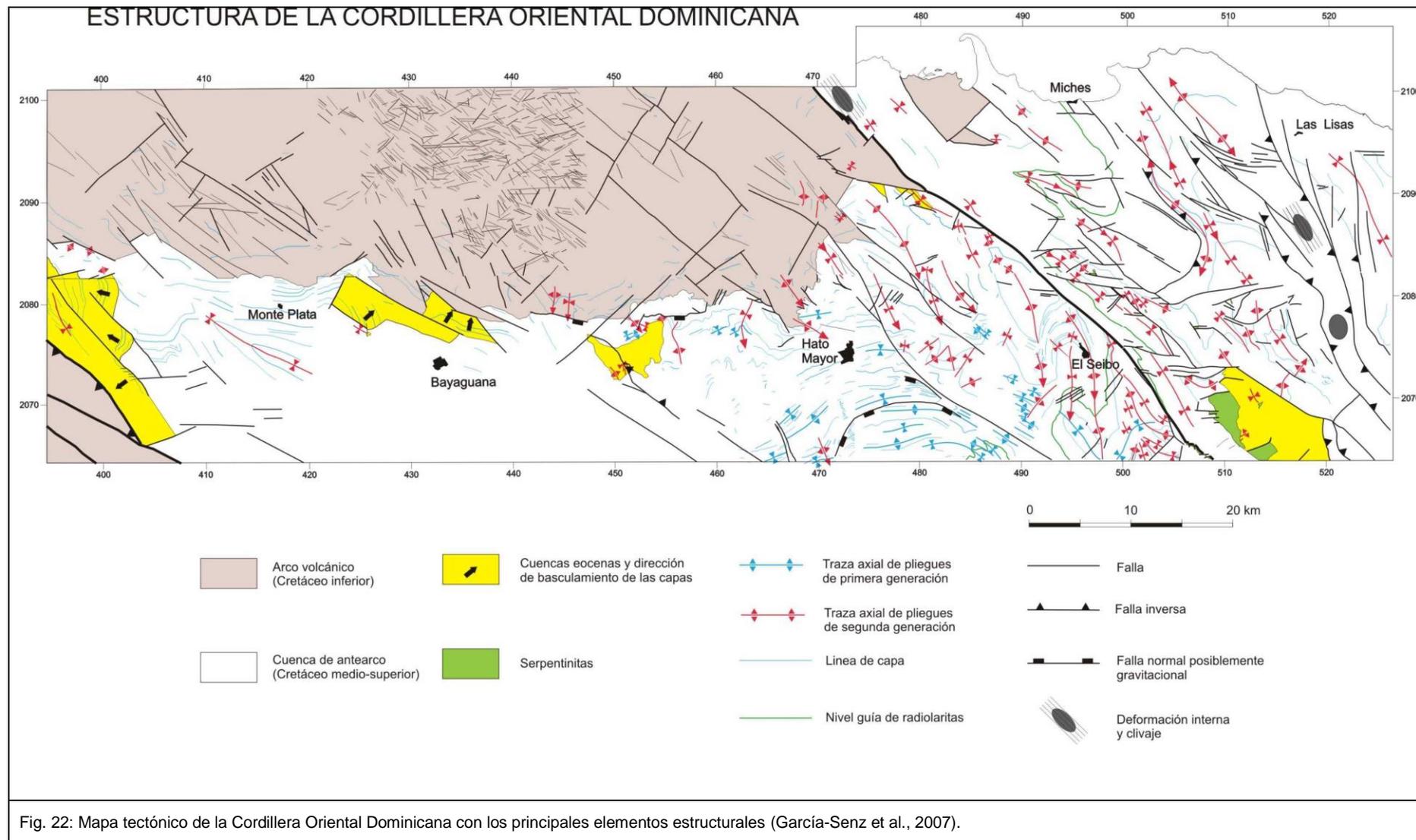


Fig. 22: Mapa tectónico de la Cordillera Oriental Dominicana con los principales elementos estructurales (García-Senz et al., 2007).

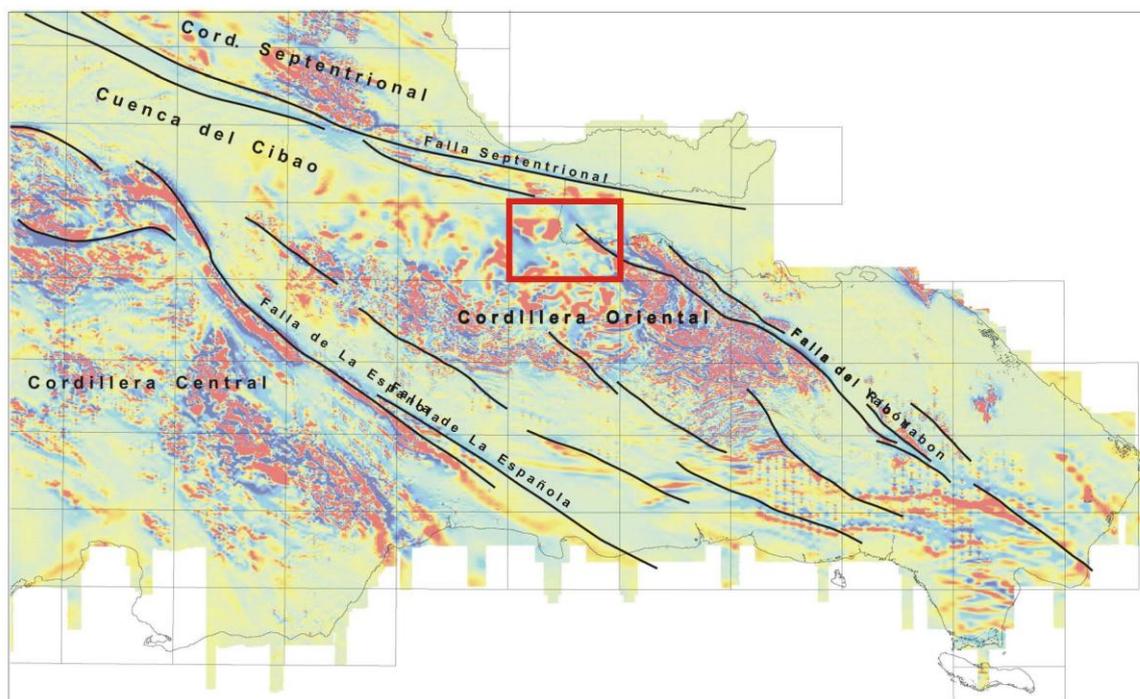


Fig. 23: Mapa del gradiente vertical del vuelo aeromagnético (CGG, SYSMIN 1996) con la ubicación de la Hoja de La Jagua-Palmar nuevo (6373-II)

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.

Un poco mejor caracterizada desde el punto de vista estructural es la discordancia de la base del Cretácico superior entre la Caliza de Hatillo y la Formación Las Guayabas. Entre las poblaciones de Hato Mayor y Bayaguana hay familias de fallas NO-SE, NE-SO y E-O que muestran erosión en sus bloques, con cambios bruscos de espesor de la caliza de Hatillo, que puede estar totalmente omitida. Otras fallas de una escala mayor cortan en rampa 1,2 km de la parte alta del Cretácico superior al Sureste de Hato Mayor (Fig. 22).

Dos generaciones de pliegues contractivos se superponen (Fig. 22). La primera, con un patrón concéntrico, es groseramente paralela al contacto cartográfico de las formaciones los

Ranchos y Las Guayabas. Entre las poblaciones de Hato Mayor y Las Lisas está doblada por pliegues NO-SE y N-S de segunda generación, que producen estructuras de interferencia del tipo-I, caja de huevos de Ramsay (1967). El ejemplo más espectacular es la estructura sinformal de doble inmersión situada al Sureste de El Seibo.

El paralelismo de los pliegues de primera generación al contacto cartográfico entre Los Ranchos y las formaciones del Cretácico superior sugiere una relación genética entre el plegamiento contractivo y el basculamiento monoclinial hacia el Sur y Sureste de las series cretácicas. Su efecto en la Cordillera Oriental fue la contracción, elevación y basculamiento hacia el arco del borde de la placa del Caribe sobre la placa subducida (Fig. 22) y la protrusión hasta la superficie de rocas ultramáficas serpentinizadas. La deformación ocurrió antes del Eoceno (Bourdon, 1985), edad del conglomerado de Don Juan, que erosiona terrenos más antiguos hacia el Norte, llegando a yacer sobre la Formación Los Ranchos al Oeste de Hato Mayor.

La deformación finicretácica en la Cordillera Oriental coincide con el cese de la principal actividad volcánico-plutónica en La Española y es correlativa a la fase de deformación regional que afecta a las Antillas Mayores entre el Campaniense y el Eoceno, para la que se ha invocado diversos contextos geotectónicos (Bourdon, 1985; Pindell y Barret, 1990; Mann *et al.*, 1991; Draper y Lewis, 1991).

Las rocas elevadas y erosionadas del arco volcánico del Cretácico inferior y del ante-arco del Cretácico superior, forman el basamento de los sedimentos eocenos, depositados en cuencas estrechas limitadas por fallas NO-SE, E-O y NO-SE (Fig. 22). El perfil transverso de estas cuencas es de tipo semigraben, con estratos rotados hacia las fallas (Fig. 24, Fig. 25). Los primeros depósitos son conglomerados aluviales de la Formación Don Juan, provenientes de los relieves adyacentes a las fallas. Encima yacen generalmente calizas, areniscas y conglomerados marinos con diferencias estratigráficas entre cuencas que indican una evolución independiente. La generación de relieve en bloques elevados adyacentes a bloques deprimidos es típica de cuencas transpresivas.

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

En el lado suroeste de la falla del Yabón los pliegues se disponen “en échelon” con un escalonamiento levógiro a ángulos de aproximadamente 20° respecto a la superficie de la

falla, indicando un movimiento horizontal convergente levógiro. En contraste, los pliegues adyacentes al lado noreste son de traza subparalela. La falla y tal vez las diferencias reológicas del basamento en ambos bloques inducen la partición del esfuerzo de cizalla pura, resultando estructuras contractivas con desplazamiento oblicuo en el lado occidental de la falla y contractivas en el lado occidental. Otras fallas NO-SE a NNO-SSE entre las poblaciones de Miches y Las Lisas, exhiben en superficie una componente inversa notable y forman bloques elevados de doble vergencia como el de Loma Vieja, la máxima altura de la Cordillera. Adicionalmente, cizallas de Riedel ONO-ESE (con ligeros cambios de ángulo debidos a rotaciones) cortan a pliegues en el bloque nororiental de la falla del Yabón, que resultan deformados como domos, semi-anticlinales y semi-sinclinales, con un patrón similar al reproducido por Harding y Lowell (1979) en modelos de arcilla.

El perfil de los pliegues, generalmente abierto, cambia a apretado de tipo acordeón en el área adyacente a fallas importantes como la del Yabón, o en bloques empujados y elevados como el de Loma Vieja. La configuración del sinclinorio situado al Sureste de El Seibo es cónica, con líneas de charnela que divergen hacia el SE en la dirección de movimiento de la falla del Yabón. La mecánica del plegamiento por cizalla convergente que se invoca usualmente para explicar la formación de estos pliegues (ej. Silvester, 1988) no requiere la existencia de una superficie de despegue somera a techo de la Formación Los Ranchos como proponen Mann *et al.* (1991).

La región de máximo acortamiento con desarrollo de clivaje se sitúa próxima a la costa norte, entre las poblaciones de Miches y Las Lisas. El clivaje prácticamente desaparece siguiendo el eje de los pliegues hacia el sureste (Fig. 22). Existe por tanto una variación de acortamiento subperpendicular a las superficies axiales, que Bourdon L. (1985) interpretó erróneamente como la evidencia de dos unidades, El Seibo y El Oro con una historia tectónica y estratigráfica diferente y que Mann P. *et al.* (1991) llevan a la categoría de "terrenos"

Para Burke *et al.* (1980), Mann *et al.* (1984) y Dolan *et al.* (1998), la transpresión es resultado de la orientación E-O de las fallas de Samaná, que se separa de la dirección OSO-ENE del movimiento de las placas, lo que produce una restricción a la traslación lateral de la placa del Caribe. En este contexto, las fallas E-O de Samaná constituyen la zona principal de cizalla, acomodando una parte importante de la traslación, mientras que los pliegues y fallas NO-SE de la Cordillera acomodan la mayor parte de la laminación mecánica y el acortamiento intraplaca.

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.

En el lado suroeste de la falla del Yabón los pliegues se disponen “en échelon” con un escalonamiento levógiro a ángulos de aproximadamente 20° respecto a la superficie de la falla, indicando un movimiento horizontal convergente levógiro. En contraste, los pliegues adyacentes al lado noreste son de traza subparalela. La falla y tal vez las diferencias reológicas del basamento en ambos bloques inducen la partición del esfuerzo de cizalla pura, resultando estructuras contractivas con desplazamiento oblicuo en el lado occidental de la falla y contractivas en el lado occidental.

El perfil de los pliegues, generalmente abierto, cambia a apretado de tipo acordeón en el área adyacente a fallas importantes como la del Yabón, o en bloques empujados y elevados como el de Loma Vieja (Fig. 24; Fig. 25).

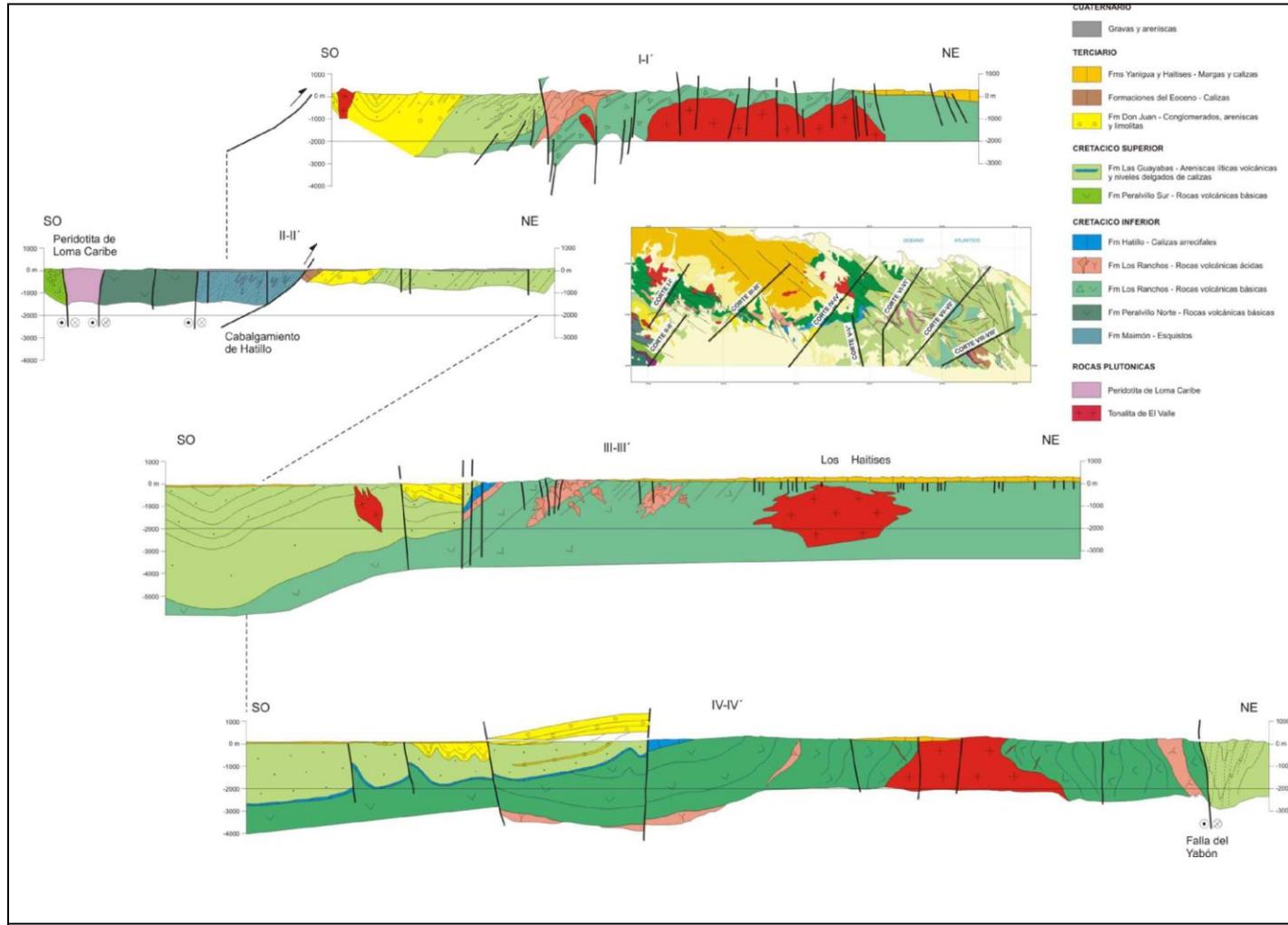


Fig. 24: Cortes geológicos seriados (I-I' a IV-IV') de la Cordillera Oriental Dominicana (García-Senz et al., 2007)

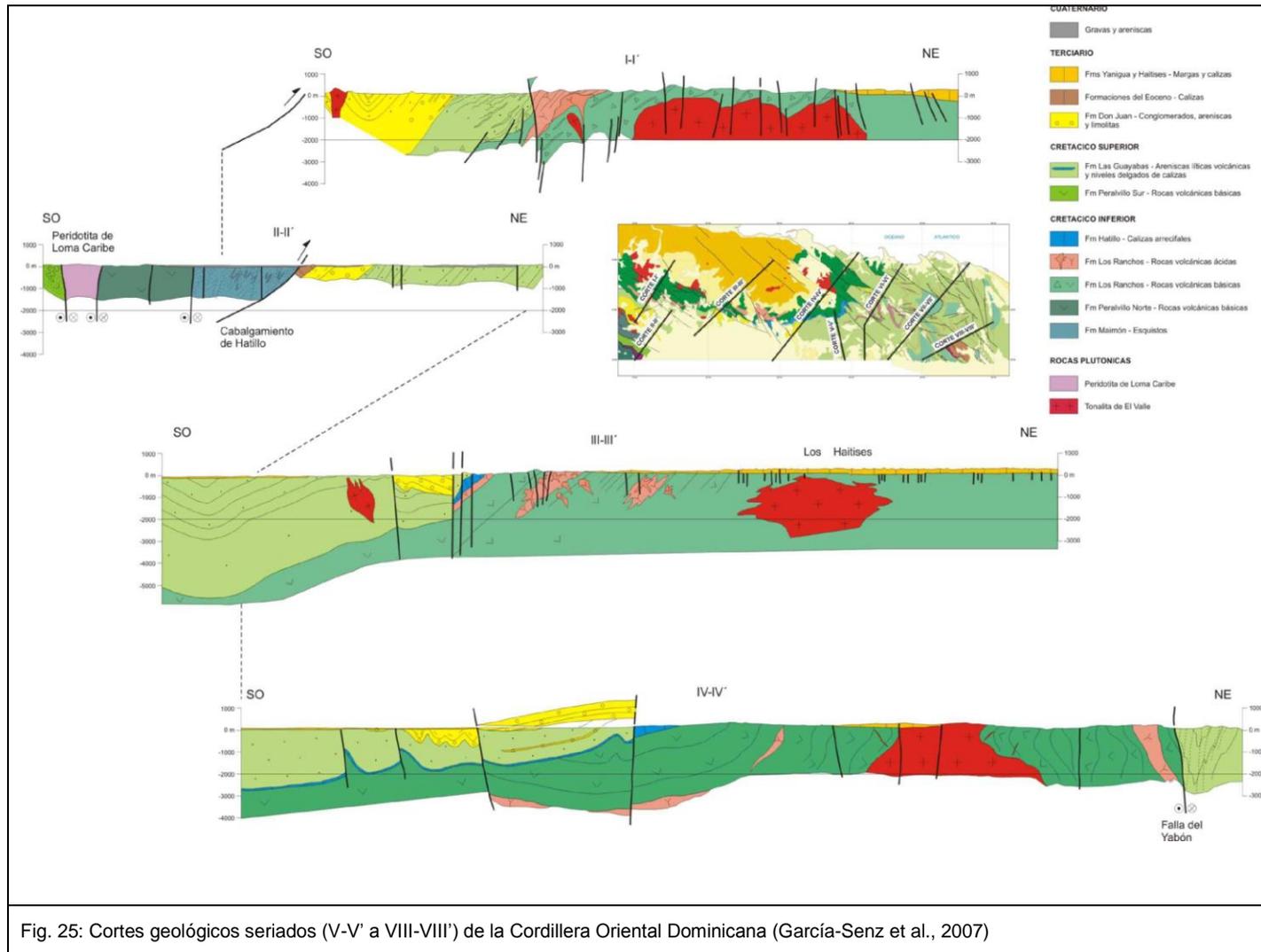


Fig. 25: Cortes geológicos seriados (V-V' a VIII-VIII') de la Cordillera Oriental Dominicana (García-Senz et al., 2007)

Para Burke *et al.* (1980), Mann *et al.*, (1984) y Dolan *et al.* (1998), la transpresión es resultado de la orientación E-O de las fallas de Samaná, que se separa de la dirección OSO-ENE del movimiento de las placas, lo que produce una restricción a la traslación lateral de la placa del Caribe. En este contexto, las fallas E-O de Samaná constituyen la zona principal de cizalla, acomodando una parte importante de la traslación, mientras que los pliegues y fallas NO-SE de la Cordillera acomodan la mayor parte de la laminación mecánica y el acortamiento intraplaca

3.3. Estructura de la Hoja de La Jagua

La Hoja de La Jagua abarca dos dominios estructurales:

- al Sur, la Cordillera Oriental, con la plataforma arrecifal subhorizontal de Los Haitises, de edad pliocena, depositada discordantemente sobre los materiales plegados del Cretácico que no afloran aquí.
- al Norte, la Bahía de Samaná y el valle del bajo Yuna, corresponden a la Falla meridional de Samaná o Falla de Los Haitises que limita el borde Norte de Los Haitises y forman parte del sistema de fallas que se prolongan hacia el NO a lo largo de la cuenca del Cibao (Dixon y Daily, 1981; de Zoeten y Mann, 1991; Edgar, 1991).

3.3.1. Los Pliegues

La discordancia del conjunto tabular de Los Haitises, ligeramente basculado hacia el Norte (5°), no permite apreciar los pliegues del basamento, que no aflora en la Hoja de La Jagua.

3.3.2. Las Fallas

La fracturación, es más nítida en la cobertera que en el sustrato como se ha podido comprobar en las hojas vecinas donde aflora.

En el campo, la intensa karstificación, la vegetación y la casi ausencia de acceso al interior del Parque impiden las observaciones estructurales. En las imágenes del aeromagnetismo, del SRTM y las fotos aéreas los sistemas de fallas EO, y el conjugado NO-SE y SO-NE se notan claramente. La fracturación condiciona la intensidad de la alteración y las alineaciones de dolinas traducen la existencia de fallas o fracturas.

3.3.2.1. La Falla de Los Haitises o Falla meridional de Samaná

La Falla EO de Los Haitises o Falla meridional de Samaná, limita el borde Norte de Los Haitises y ha originado la depresión del bajo Yuna y de la Bahía de Samaná. El resalto de Falla es superior a 50 m.

Para Burke *et al.* (1980), Mann *et al.* (1984), Dolan *et al.* (1998), la orientación E-O de las fallas de Samaná, que se separa de la dirección OSO-ENE del movimiento de las placas origina la transpresión, lo que produce una restricción a la traslación lateral de la placa del Caribe. En este contexto, las fallas E-O de Samaná constituyen la zona principal de cizalla, acomodando una parte importante de la traslación, mientras que los pliegues y fallas NO-SE de la Cordillera Oriental acomodan la mayor parte del acortamiento intraplaca.

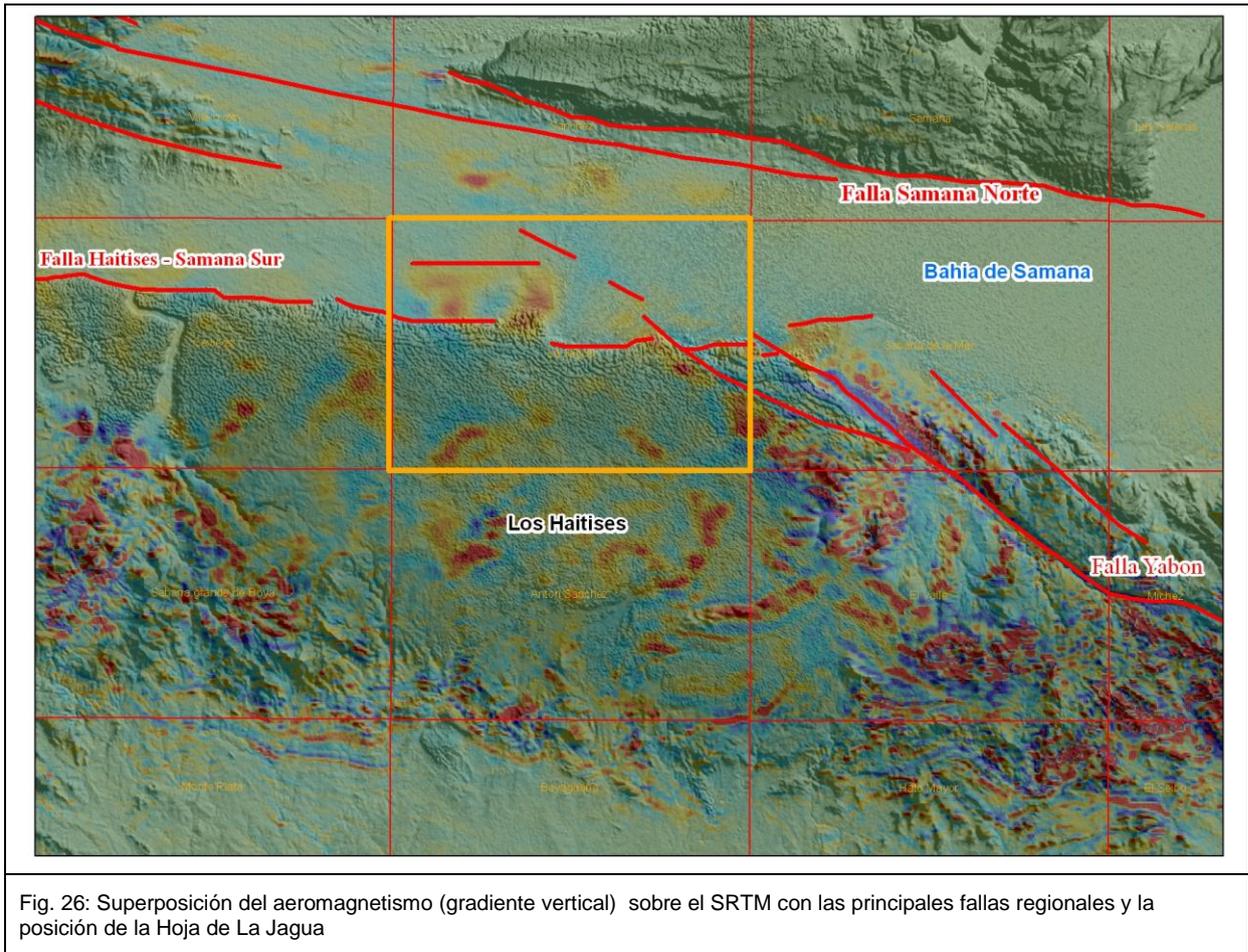
3.3.2.2. La Falla del Yabón

La dirección NO-SE afecta la totalidad de la Hoja de La Jagua. Corresponde a la Falla regional del Yabón, cuya traza roza la esquina NE de la Hoja. Activa desde el terciario, el movimiento sería levógira (Hernández, 1980; Bourdon, 1985), aunque el desplazamiento aparente del borde Norte de los Haitises sugiere un movimiento dextrógiro por lo menos tardío. Esta falla produce una marcada señal en el mapa geomagnético (Fig. 23) y tiene asociadas protrusiones (intrusiones tectónicas) de rocas ultramáficas de origen mantélico emplazadas en el Cretácico Superior de las Hojas ubicadas al SE. Se trata por tanto de una falla de desgarre que ha evolucionado a partir de una falla cortical en la cuenca de ante-arco.

3.3.3. **Edad de la deformación**

La deformación ante plioceno no es visible en la Hoja de la Jagua donde el substrato plegado no aflora. La deformación del Plioceno al actual se traduce por el basculamiento de la plataforma carbonatada de los Haitises en relación con el levantamiento general de la Española y su fracturación intensa ligada a los movimientos de las fallas regionales de Los Haitises y del Yabón, iniciados desde el Terciario.

La neotectónica, está comprobada por la deformación reciente en las líneas sísmicas superficiales bajo el agua de la Bahía de Samaná (Edgar, 1991) (Ver a continuación)



3.4. 4.4. Tectónica activa

En la actualidad, el borde norte de La Española es una zona de subducción oblicua, 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 las calizas arrecifales de los Haitises respecto a las de la Llanura Costera del Caribe, que originalmente se extendían de costa a costa en el este de la isla y actualmente presenta un desfase en el relieve 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; como consecuencia, el arrecife acusa internamente una intensa fracturación de pautas similares a las descritas anteriormente.

Entre los rasgos geomorfológicos destacan la superficie de erosión argilitizada, numerosos relieves de lomas paralelos a escarpes de fallas y el control de la red hidrográfica. 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 oriental

4. GEOMORFOLOGÍA

4.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA HOJA DE PALMAR NUEVO

La Hoja de La Jagua-Palmar Nuevo se localiza en la parte nororiental de la República Dominicana, abarca, de N a S dos zonas geológicamente bien diferenciadas: la cuenca del Valle Oriental del Cibao en su última parte antes de llegar a la costa del Atlántico, y 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. 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.

De esta manera, los niveles topográficos de la hoja vienen condicionados por estas zonas estructurales principales, pero no alcanzan valores importantes. Varían desde casi 300 msnm en los Haitises hasta los 0 msnm en la línea de costa.

El río Yuna avanza de W a E describiendo meandros bien diferenciados debido al bajo desnivel. El límite de su llanura de inundación con los Haitises está bien diferenciado, de forma neta, por una zona de escarpe. En el NW, el Yuna, antes de su desembocadura en Boca de la Mata, que no aparece en esta Hoja, cede sus aguas al Río Barracote a través del Caño La Isla, que a su vez, desembocará al mar en Boca del Barracote.

La llanura aluvial del Valle del Cibao Oriental en este tramo consta de dos llanuras de inundación diferenciadas, en las que se encuentran cuerpos de agua rodeados por éstas, las ciénagas.

Dado que la hoja engloba la línea de costa y el bajo desnivel existente, toman importancia las formas marinas y litorales, sobre todo las marismas bajas.

4.2. FORMAS GEOMORFOLOGICAS

El modelado de la Cordillera Central es el producto de una larga evolución presidida por los procesos geodinámicos internos (ígneos y tectónicos) acaecidos a lo largo del periodo Cretácico-Terciario, generadores de relieves positivos, sobre los que han actuado, con mayor o menor efectividad, diversos agentes morfogenéticos encaminados a la destrucción o modelado de dichos relieves, destacando los de carácter fluvial y poligénico.

4.2.1. Estructurales

La influencia tectónica en el origen y configuración del relieve queda reflejada en las denominadas formas estructurales. 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 sólo descubren y modelan sobre un patrón preestablecido.

Las formas estructurales tienen una importancia morfogenética notable en la Hoja. 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 (SODOGEO, 2005). En los Haitises se distribuyen dos familias de fracturas de forma oblicua, siendo mayoritarias las que siguen dirección NW-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.

4.2.2. Fluviales y de escorrentía superficial

Quedan representadas en la Hoja por la llanura de inundación del Yuna y del Barracote, sus cauces y pequeños conos aluviales en la vertiente norte de los Haitises, en el W de la Hoja.

4.2.3. 4.2.3 Formas litorales y marinas

Se concentran en la orla litoral de la Bahía de Samaná, donde toman gran extensión, debido al escaso desnivel desde la costa hacia el interior.

El río Yuna presenta una gran llanura aluvial y deltaica desde el N de la Hoja hasta el límite con los Haitises, al sur. En el delta predominan los terrenos pantanosos, como las ciénagas y las zonas endorreicas.

Los materiales aportados por el Yuna son redistribuidos por las corrientes marinas a lo largo de la costa. Como prueba de ello, un cordón litoral se extiende a lo largo de la costa. Asimismo, en la zona de desembocadura del río Barracote se ha formado un delta con los sedimentos aportados por el mismo río.

La influencia de las mareas ha permitido el desarrollo de una marisma baja, localizada bajo la influencia de las mareas diarias, y colonizada por un manglar, y de una marisma alta, situada en la zona de influencia de las mareas excepcionales; debido a la baja pendiente del terreno, se extienden varios kilómetros hacia el interior. El detalle geomorfológico de la zona incluye canales, brazos fluviales abandonados y lagunas mareales.

4.2.4. Formas lacustres y endorreicas

Se encuentran en el NW de la Hoja. Se hallan representadas por las áreas pantanosas de la llanura de inundación del Yuna.

4.2.5. Formas por meteorización química

Se encuentran relacionadas principalmente con la intensa karstificación que afecta a los materiales carbonatados aflorantes de los Haitises, constituyendo extensas plataformas kársticas. Los Haitises son el resultado de la fuerte meteorización química de las calizas duras del Oligoceno y Mioceno, debido a las abundantes lluvias de la zona y las aguas del mar (De la Fuente, 1976). A grandes rasgos 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.

Los Haitises presentan un exokarst de morfologías de tipo cockpit muy llamativas como los mogotes. Los mogotes constituyen pequeñas colinas entre 50 y 150 metros de altura relativa, de morfología groseramente cónica hasta llegar a formar auténticas cúpulas, como las que recoge la Cueva de San Gabriel en el litoral (Cámara et al. 1995). Estas

están separadas entre sí por pequeños valles o depresiones. Con frecuencia, en la parte superior del mogote queda individualizada por una escotadura una pequeña colina, que recibe el nombre técnico de mamelón. Cuando el mogote queda aislado por el mar se conoce como cayo.

Los escasos cursos de agua que existen en el interior de los Haitises circulan por los fondos de los valles hasta que desaparecen bruscamente de la superficie, bien a través de las paredes de los mogotes, recibiendo el nombre de consumideros, o a través de simas que se denominan furnias. En el litoral son interesantes de destacar los acantilados y las escotaduras o encoches que se encuentran paralelos al nivel del mar a dos o tres metros de altura del nivel actual.

El endokarst presenta una serie de formaciones y espelotemas que permiten deducir la formación de las salas, espacios de grandes dimensiones y dentro de éstas sus procesos constructivos (columnas, estalactitas, gours, etc.).

En casi todas las cavidades aparecen idénticos elementos y morfologías que se repiten en mayor o menor medida.

4.3. Formaciones superficiales del Cuaternario

Las formaciones superficiales son conjuntos litoestratigráficos formados por materiales frecuentemente no coherentes o secundariamente consolidados, relacionados con la evolución reciente del relieve, y con un espesor máximo de orden decamétrico y edad cuaternaria o pliocuaternaria. Estas formaciones pueden ser cartografiadas y ser definidas atendiendo a atributos como geometría, textura, potencia, tamaño, génesis y cronología.

A continuación se relacionan las unidades cartografiadas y sus principales características.

4.3.1. Formaciones fluviales y de escorrentía superficial

4.3.1.1. Llanuras de inundación (8). Arenas y limos. Holoceno

El aspecto más frecuente de las llanuras de inundación es el de una banda de anchura hecto a kilométrica constituida por limos entre los que se intercalan niveles de arenas. En el caso de la del río Yuna se ha representado de forma diferente la llanura actual de la que se encuentra abandonada y ocupan una gran extensión en el NW de la hoja. Se incluyen en el Holoceno.



Foto 22: Río Cristal. 46MJ9003_28 (Lat: 19,09848506; Long: -69,72404597); Hoja La Jagua-Palmar Nuevo



Foto 23: Valle del Yuna; Cristal. 46MJ9001_7 (Lat: 19,10018222; Long: -69,74888851); Hoja La Jagua-Palmar Nuevo



Foto 24: Valle del Yuna y Haitises; Cristal. 46MJ9001_15 (Lat: 19,10018222; Long: -69,74888851); Hoja La Jagua-Palmar Nuevo

4.3.1.2. Abanicos y conos de deyección (3). Bloques, gravas, y arenas. Holoceno

Están formados por bloques, gravas y arenas de composición polimíctica, fundamentalmente calcárea en el caso de las plataformas carbonáticas. Su origen se debe a la acumulación de materiales arrastrados procedentes de un curso torrencial, en la parte baja del canal de desguace, donde hay un cambio de pendiente cóncavo y las aguas pierden competencia.

4.3.2. Formaciones marinas-litorales

4.3.2.1. Marismas altas. Limos y arenas salobres. Holoceno

Son depósitos, de carácter eminentemente detrítico fino. En el caso de las marismas altas y de las llanuras de mareas abandonadas, son visibles grandes superficies de eflorescencias salinas. No se ha observado corte alguno que permita una detallada

descripción de las unidades, ni tampoco el establecimiento de su espesor, posiblemente de orden métrico a decamétrico. En cuanto a su edad, corresponden al Holoceno.

4.3.2.2. Marismas bajas. Limos y arenas. Holoceno

Similares a las anteriores, aunque en el caso de la marisma baja se aprecia un notable contenido de materia orgánica, como consecuencia de su colonización por el manglar. No se ha observado corte alguno que permita una detallada descripción de las unidades, ni tampoco el establecimiento de su espesor, posiblemente de orden métrico a decamétrico. En cuanto a su edad, corresponden al Holoceno

4.3.2.3. Cordones litorales. Arenas. Holoceno

Playas de composición eminentemente arenosa. Se trata de arenas finas a medias que se encuentran bordeando la costa, producto del retrabajo de los materiales por las aguas del mar.



Foto 25: Caño La Ceja; Bahía de Samaná; 46MJ9005_6 (Lat: 19,14006533; Long: -69,63692958); Hoja La Jagua-Palmar Nuevo



Foto 26: Naranjo Arriba, Bahía de Samaná; Haitises. 46MJ9007_3 (Lat:19,08758129; Long: -69,5707853); Hoja La Jagua-Palmar Nuevo

4.3.2.4. Delta. Arenas y limos.

En la desembocadura del río Barracote se forman estructuras convexas por la gran cantidad de material aportado por los mismos, que supera a la redistribución de los mismos por la acción de las aguas del mar. Se trata de materiales polimícticos de tamaño de grano pequeño. Suponen la última etapa de deposición en los ríos.



Foto 27: Panorámica de la Bahía de Samaná; Haitises.
Desde la Carretera de las Terrenas;

4.3.3. Formaciones por meteorización química

4.3.3.1. Arcillas de decantación. Terra rossa, relleno de dolinas (2). Holoceno

La disolución kárstica (o carbonatación) es propia de las rocas carbonatadas, como las calizas. Su efecto produce residuos de disolución, las arcillas de descalcificación, que pueden llegar a tener potencias notables.

En la Hoja, aparecen en toda la formación de los Haitises y en la Península de Samaná, en las zonas de intensa karstificación.

Los rellenos son importantes, tanto por su diversidad como por su representatividad, distinguiéndose sedimentos carbonatados y detríticos. Los depósitos carbonatados llegan a tener grandes dimensiones incluso una vez erosionados. 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, como por ejemplo, en Cueva Boca del Infierno o en San Gabriel, superando muchas veces la decena de metros de longitud. Entre los depósitos detríticos aparecen estratos laminados comunes en la mayoría de las cavidades.

Cabe citar asimismo la presencia de depósitos organógenos como la murcielaguina, esta se encuentra presente en todas las cavidades estudiadas (Camara et al. 1995), a veces en tales cantidades que el depósito ha sido explotado como mina de abono. Lagunas hipógeas que contienen gran cantidad de este elemento tienen un pH entre 6 y 6,5.

Por último cabe citar los concheros, acumulaciones naturales de conchas, siempre concrecionados, y a veces cubiertos parcialmente por formaciones carbonatadas.

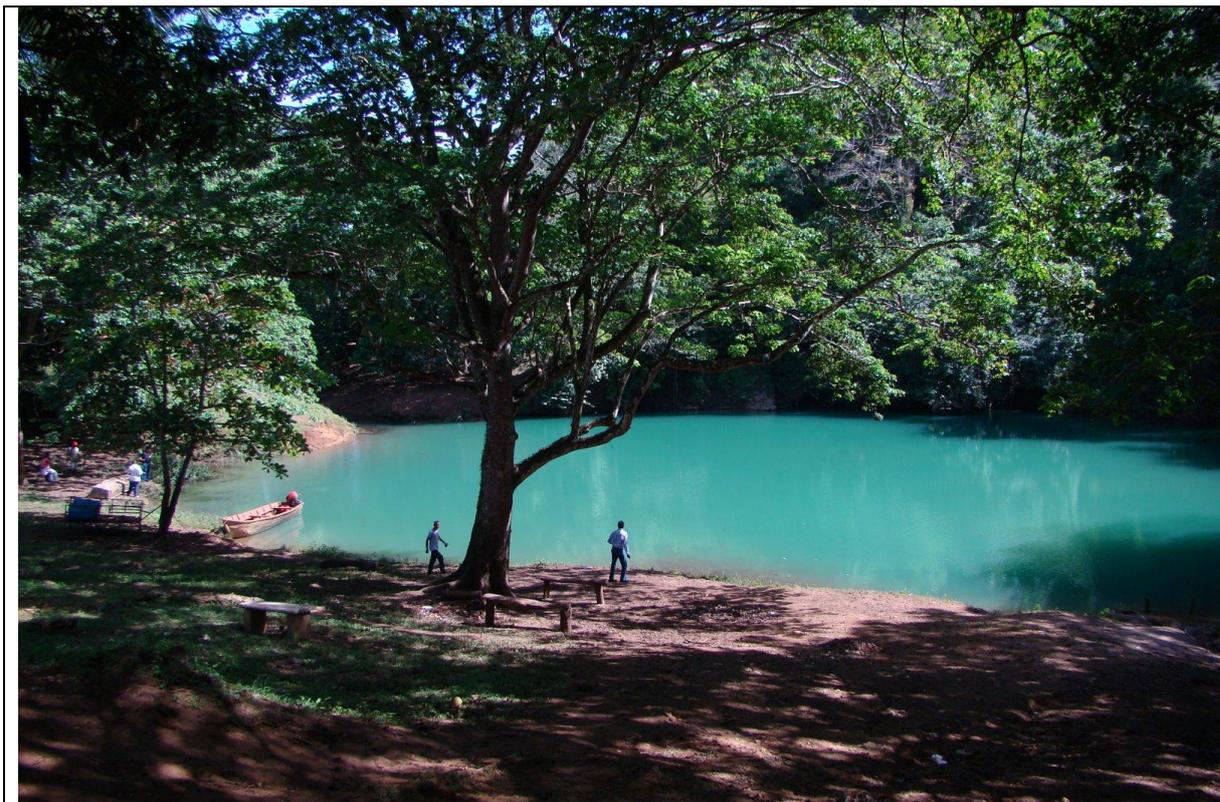


Foto 28: Dolina con agua; Laguna de Cristal. 46MJ9002_9 (Lat: 19,09739943 ; Long: -69,7325619); Hoja La Jagua-Palmar Nuevo

5. HISTORIA GEOLOGICA

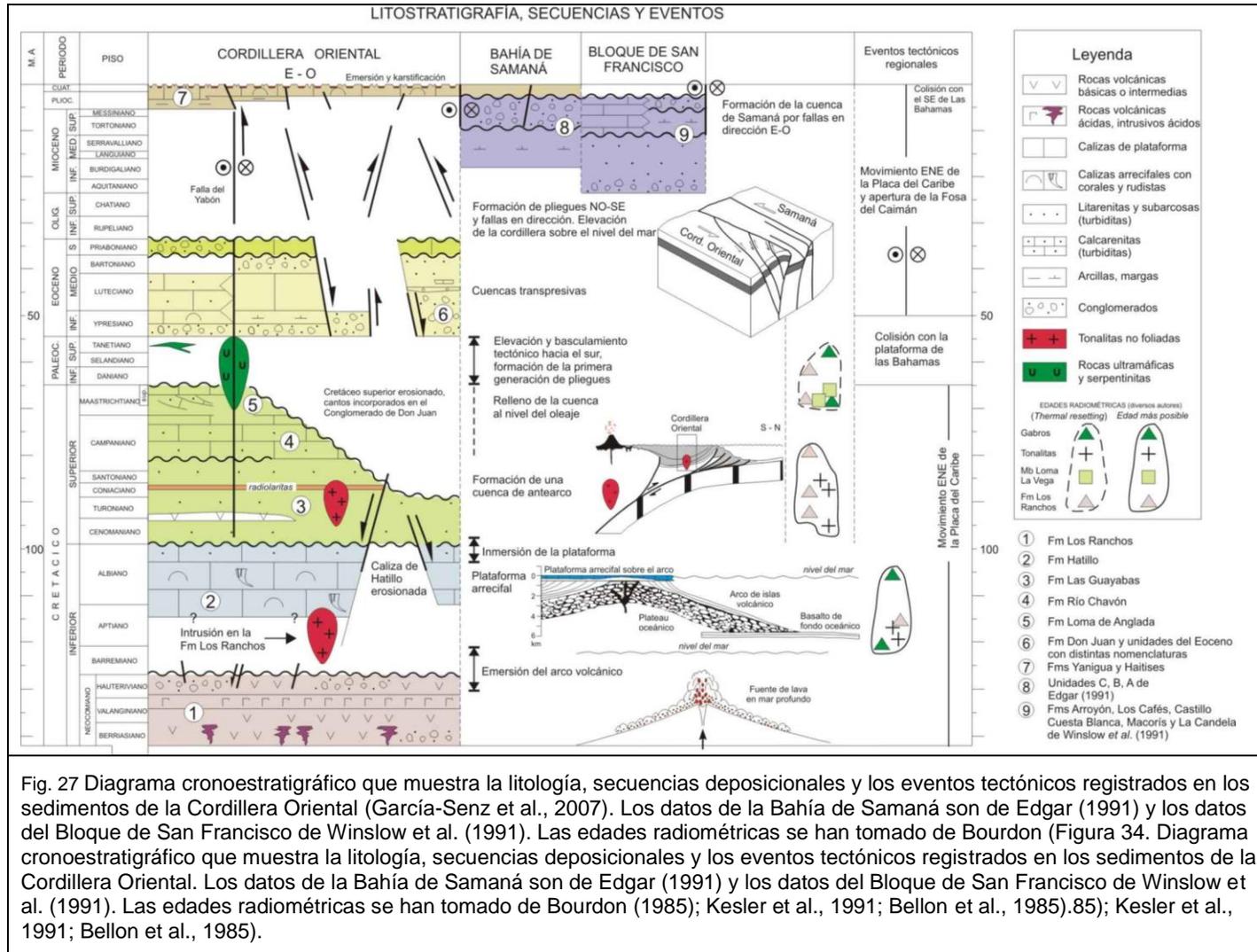
La historia geológica de la Hoja de La Jagua-Palmar Nuevo se integra dentro de la evolución más reciente de la Cordillera Oriental a lo largo del Neógeno y Cuaternario.

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 (Fig. 10): 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. 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.



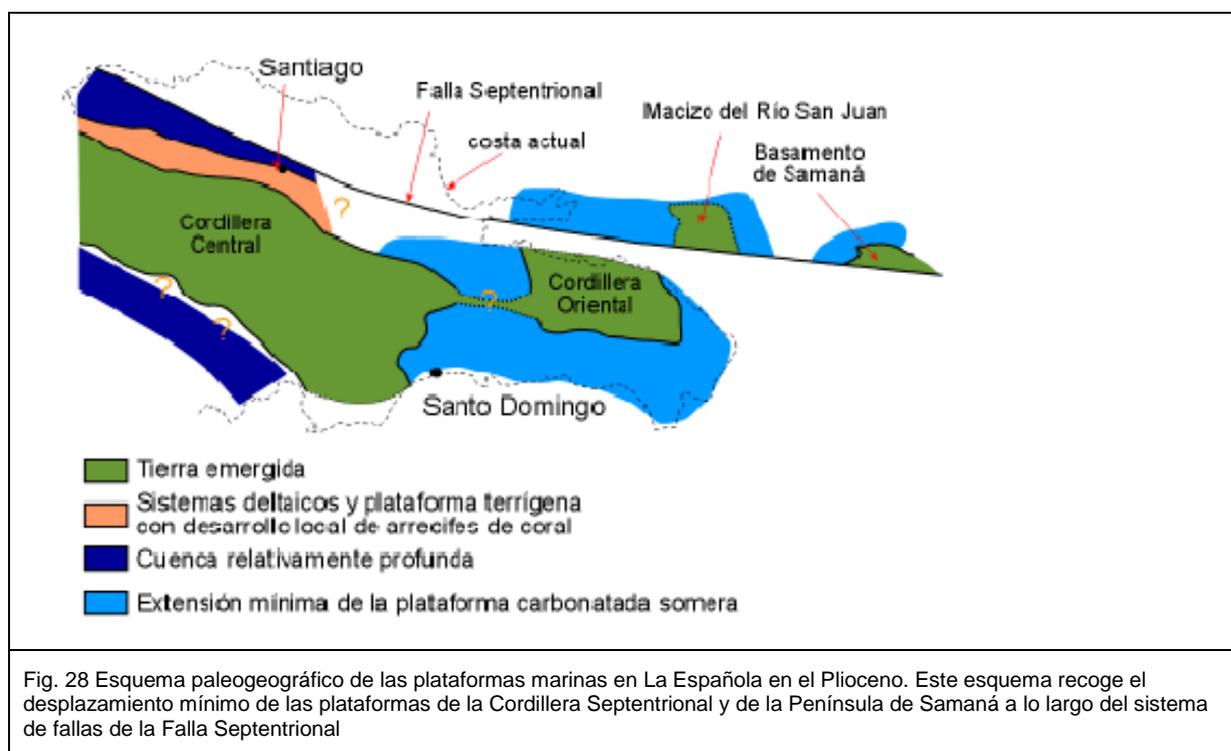
Este evento se relaciona con el desarrollo de un segundo arco volcánico de naturaleza calcoalcalina, relacionado con la subducción de la placa Norteamericana hacia el Sur, que aporta detritos a una cuenca de ante-arco superpuesta al arco inicial. El segmento de cuenca de ante-arco contenido en la Cordillera 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). Tras la colisión y hasta la actualidad, la traslación de las placas cambió de oblicua a subparalela, a lo largo de la superficie inclinada al Sur que limita las placas y a lo largo de fallas transformantes como prueban los sismos actuales. Como consecuencia, sobre el basamento cretácico arrasado de la Cordillera Oriental se formaron cuencas transpresivas separadas por fallas en dirección NO-SE. Los primeros depósitos son conglomerados aluviales (Fm Don Juan) provenientes de los relieves adyacentes a las depresiones. La tasa de subsidencia que mantenía en aguas profundas la zona interna sur de la cuenca de ante-arco fue compensada y sobrepasada por la agradación de sedimento en el Maastrichtiense, formándose un área marina somera con barras arenosas y zonas protegidas con parches de rudistas (Fm Loma de Anglada).

La reconstrucción paleogeográfica de las cuencas eocenas está oscurecida por la erosión posterior durante el Oligoceno-Mioceno. Posiblemente la continuidad del proceso de acortamiento por transpresión, o tal vez un cambio del estado de esfuerzos, 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 (Fig. 28).

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, muy bien desarrollada hacia el sur y sureste de la Hoja de Cevicos. Este sistema tapiza el paleorrelieve cretácico, de configuración muy irregular, y está formado 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 el transcurso de la trasgresión, 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 Ud 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

podieron formar una barrera, necesaria para explicar la baja turbulencia de los medios sedimentarios más internos.

El conjunto de depósitos (Yanigua, Cevicos, 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.

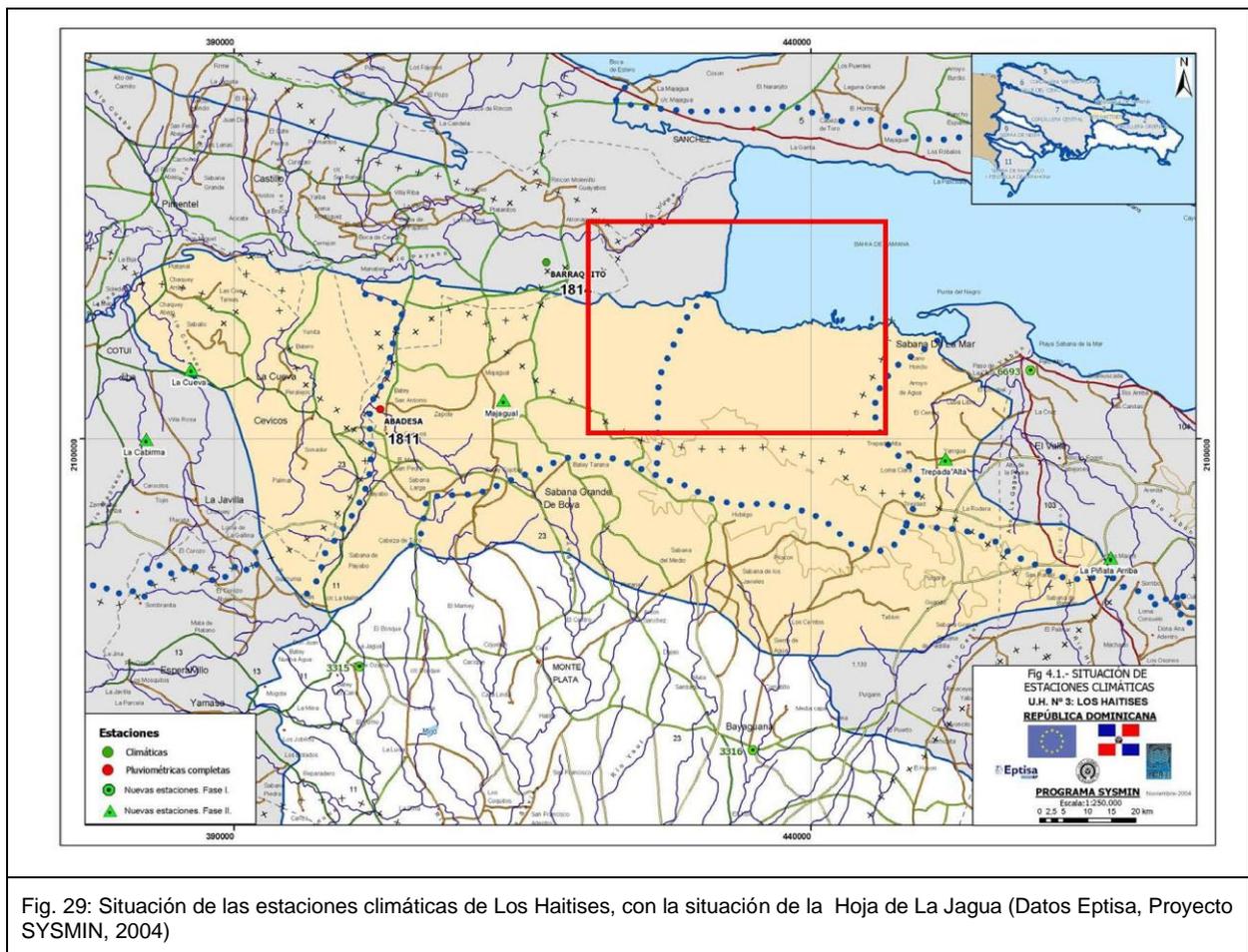
Ya durante el Pleistoceno la tectónica transpresiva en última instancia fuerza la regresión que eleva la plataforma de Los Haitises como un karst subtropical a alturas superiores a 300 metros. Donde la disolución y erosión mecánica han desmantelado el arrecife, aparecieron extensas superficies de erosión 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 depósitos de los materiales fluviales de la llanura aluvial del Yuna en el Holoceno.

6. GEOLOGÍA ECONÓMICA

6.1. Hidrogeología

La información de mayor interés disponible, hasta la fecha, sobre parámetros hidráulicos de Los Haitises y del Bajo Yuna procede, fundamentalmente, del Instituto Nacional de los Recursos Hidráulicos (INDRHI) y recientemente de Eptisa (2004) en el marco de un proyecto Sysmin. Unas conclusiones de este estudio se reflejan en este capítulo.

La Hoja de La Jagua no dispone de estación meteorológica o hidrológica, pero las estaciones hidráulicas de Barracote-1 y Barraquito-1 están ubicadas borde NE de la Hoja colindante de Cevicos (Fig. 34), como las estaciones climatológicas de Abadesa, Barracote y La Angelina (Fig. 29).



6.1.1. Climatología

En la Tabla 1 y las Fig. 30 y Fig. 31 se reflejan las precipitaciones mensuales medias y la evolución interanual en las tres estaciones de los Haitises.

La pluviometría de Los Haitises es elevada, con más de 2000mm para un año medio.

Los meses más secos son los de invierno (diciembre a marzo) y los más lluviosos los de Mayo a Octubre

CÓDIGO	NOMBRE DE LA ESTACIÓN	TIPO(*)	LATITUD	LONGITUD	ALTITUD	MÓDULO DE PLUVIOMETRÍA ANUAL (mm)
1811	ABADESA	LD	19° 00' 50"	69° 55' 30"	33	1676.2
1814	BARRAQUITO	CL	19° 07' 50"	69° 47' 20"	8	2007.1
1815	LA ANGELINA	CL	19° 07' 35"	70° 13' 20"	48	1439.3
	Media					1707.5

Tabla 1: Resultados de las estaciones pluviométricas para un año medio (Datos Eptisa, Proyecto SYSMIN, 2004)

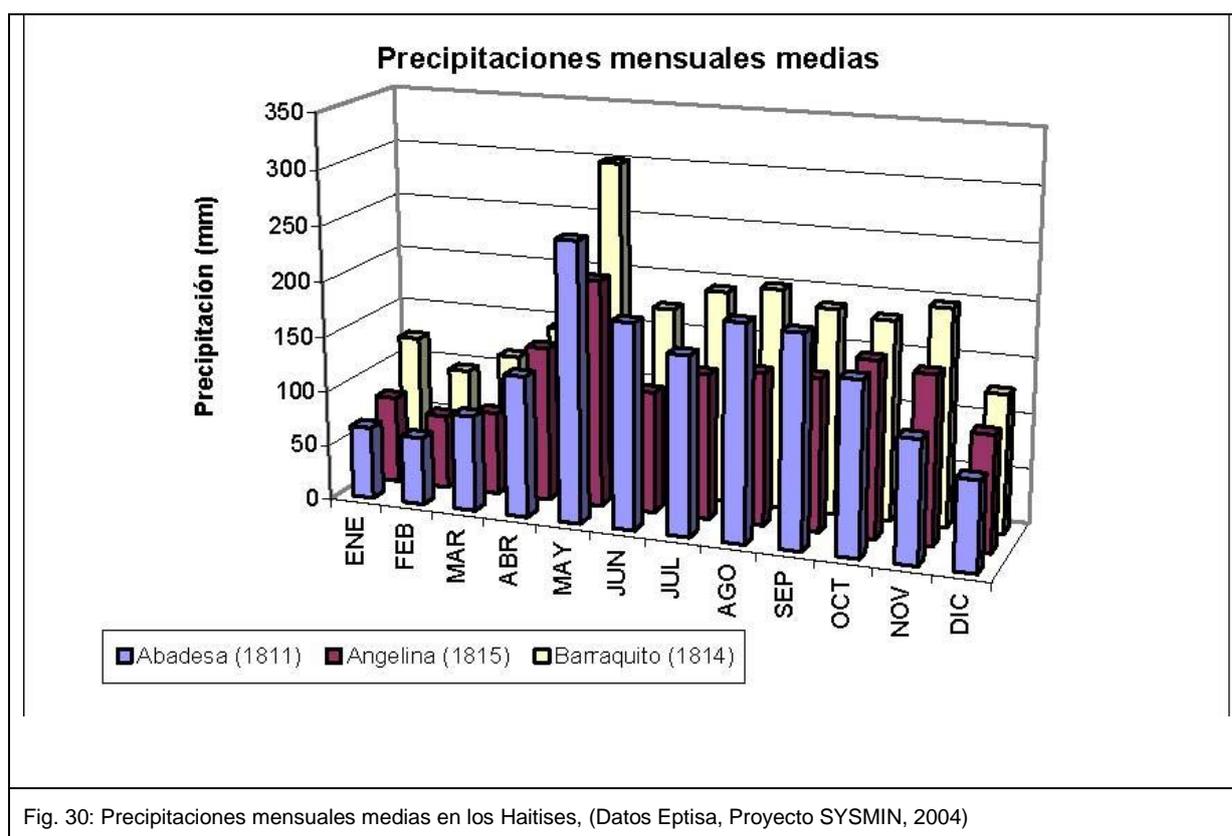


Fig. 30: Precipitaciones mensuales medias en los Haitises, (Datos Eptisa, Proyecto SYSMIN, 2004)

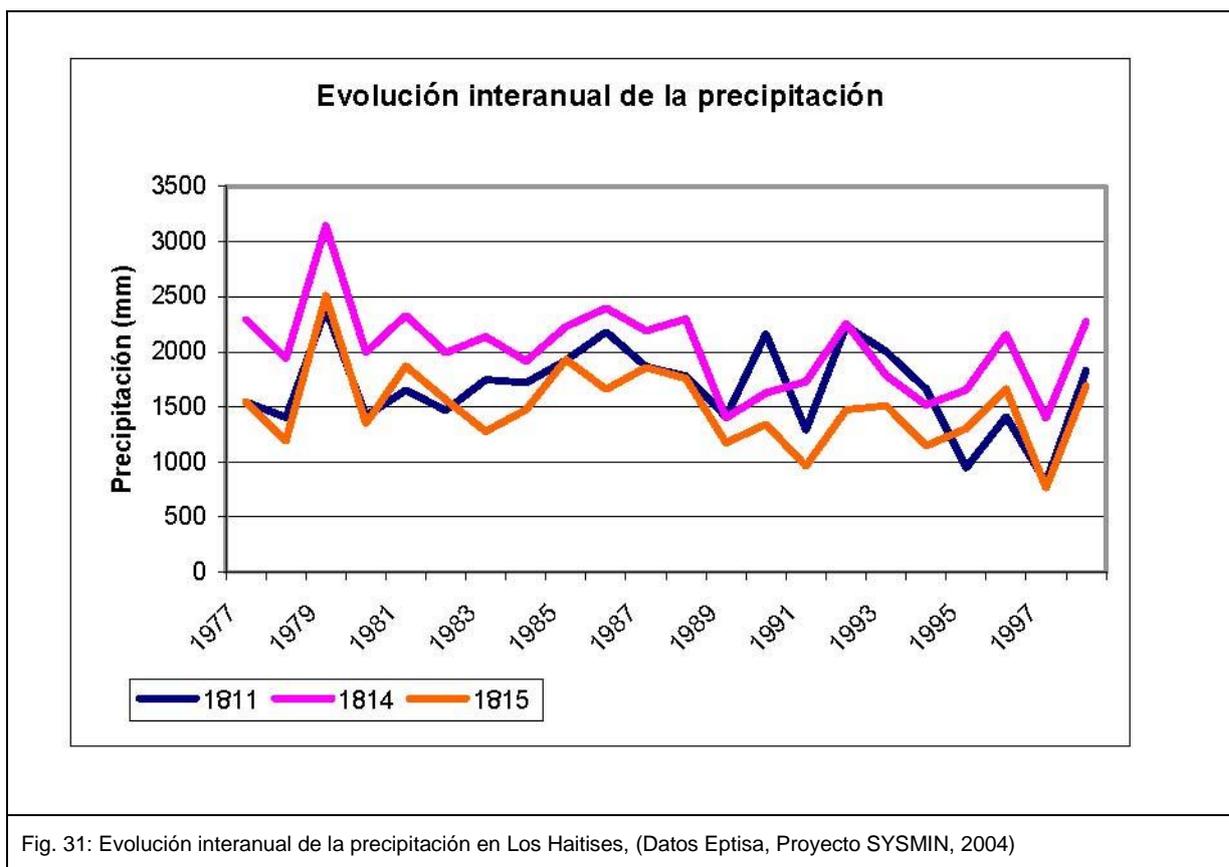


Fig. 31: Evolución interanual de la precipitación en Los Haitises, (Datos Eptisa, Proyecto SYSMIN, 2004)

Para el estudio de las variaciones de temperaturas se dispone de las 2 estaciones termométricas de Barraquito y La Angelina en la Hoja colindante de Cevicos (Fig. 29 y Tabla 2).

CÓDIGO	NOMBRE DE LA ESTACIÓN	TIPO(*)	LATITUD	LONGITUD	ALTITUD	TEMPERATURA MEDIA ANUAL (°C)
1814	BARRAQUITO	CL	19° 07' 50"	69° 47' 20"	8	25.7
1815	LA ANGELINA	CL	19° 07' 35"	70° 13' 20"	48	25.8
	MEDIA					25.75

Tabla 2: Estaciones termométricas de Los Haitises, con la temperatura media anual en °C (Datos Eptisa, Proyecto SYSMIN, 2004)

La distribución mensual de las temperaturas medias es similar en las dos estaciones, con variaciones de 24 a 27°C a lo largo del año, siendo los meses de junio a octubre los más cálidos (Fig. 32).

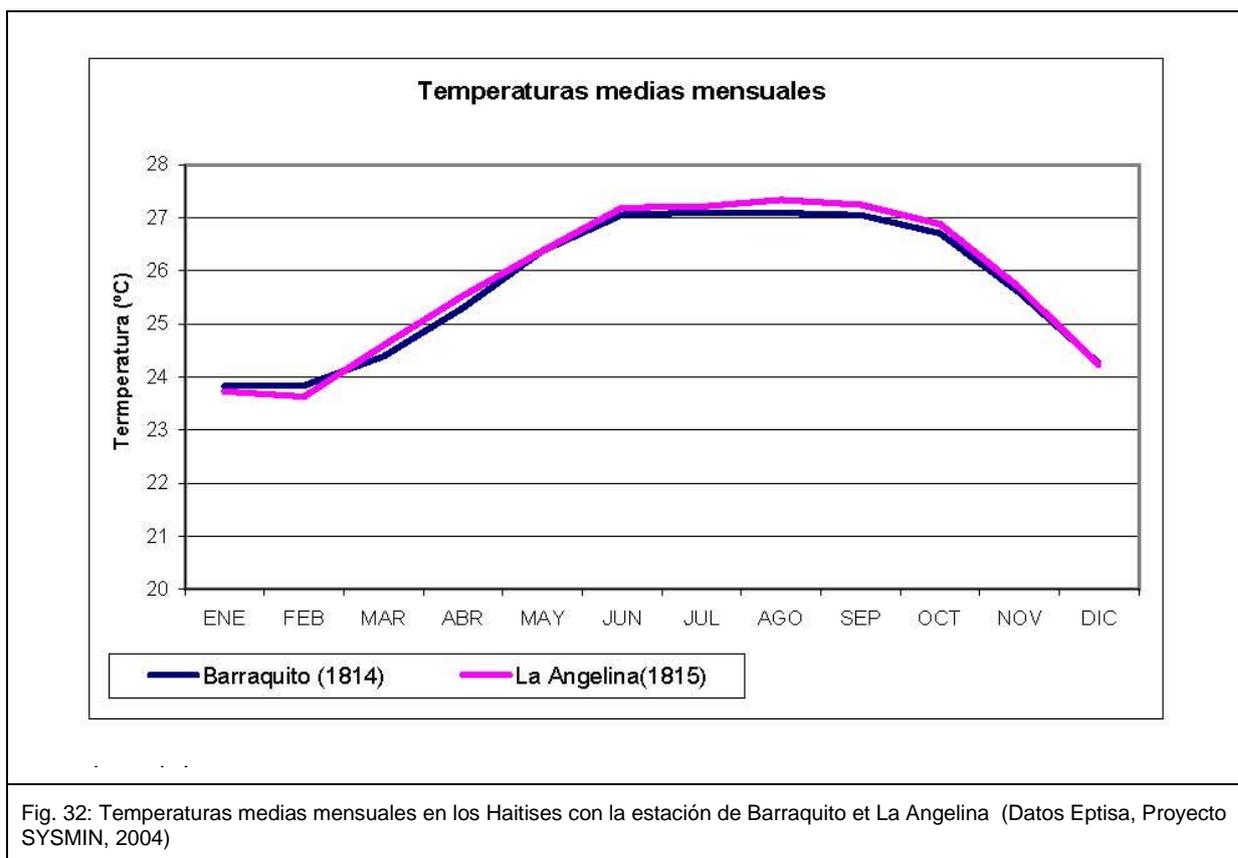


Fig. 32: Temperaturas medias mensuales en los Haitises con la estación de Barraquito et La Angelina (Datos Eptisa, Proyecto SYSMIN, 2004)

En la Tabla 3 y la Fig. 33 se resumen los valores de la evapotranspiración media anual obtenidos en los Haitises.

CÓDIGO	NOMBRE DE LA ESTACIÓN	ETP MEDIA ANUAL (mm)
1814	BARRAQUITO	1641.8
1815	LA ANGELINA	1655.1
	MEDIA	1648.4

Tabla 3: Evapotranspiración potencial media anual en Los Haitises (Datos Eptisa, Proyecto SYSMIN, 2004)

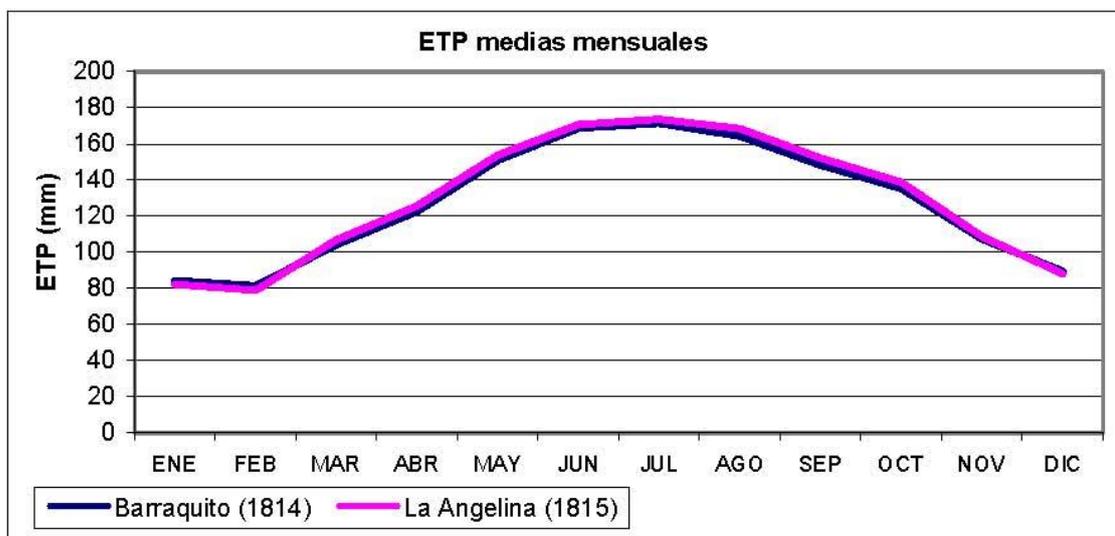


Fig. 33: Evapotranspiración medias mensuales en los Haitises (Datos Eptisa, Proyecto SYSMIN, 2004)

Los valores de lluvia útil (Tabla 4) representan la escorrentía total en la zona. A partir de la descomposición de hidrogramas efectuada en aquellos puntos donde existen datos de aforo, se determinará qué parte de esta lluvia útil es escorrentía superficial y cual es subterránea.

Año medio	Año húmedo	Año seco
272	597	130

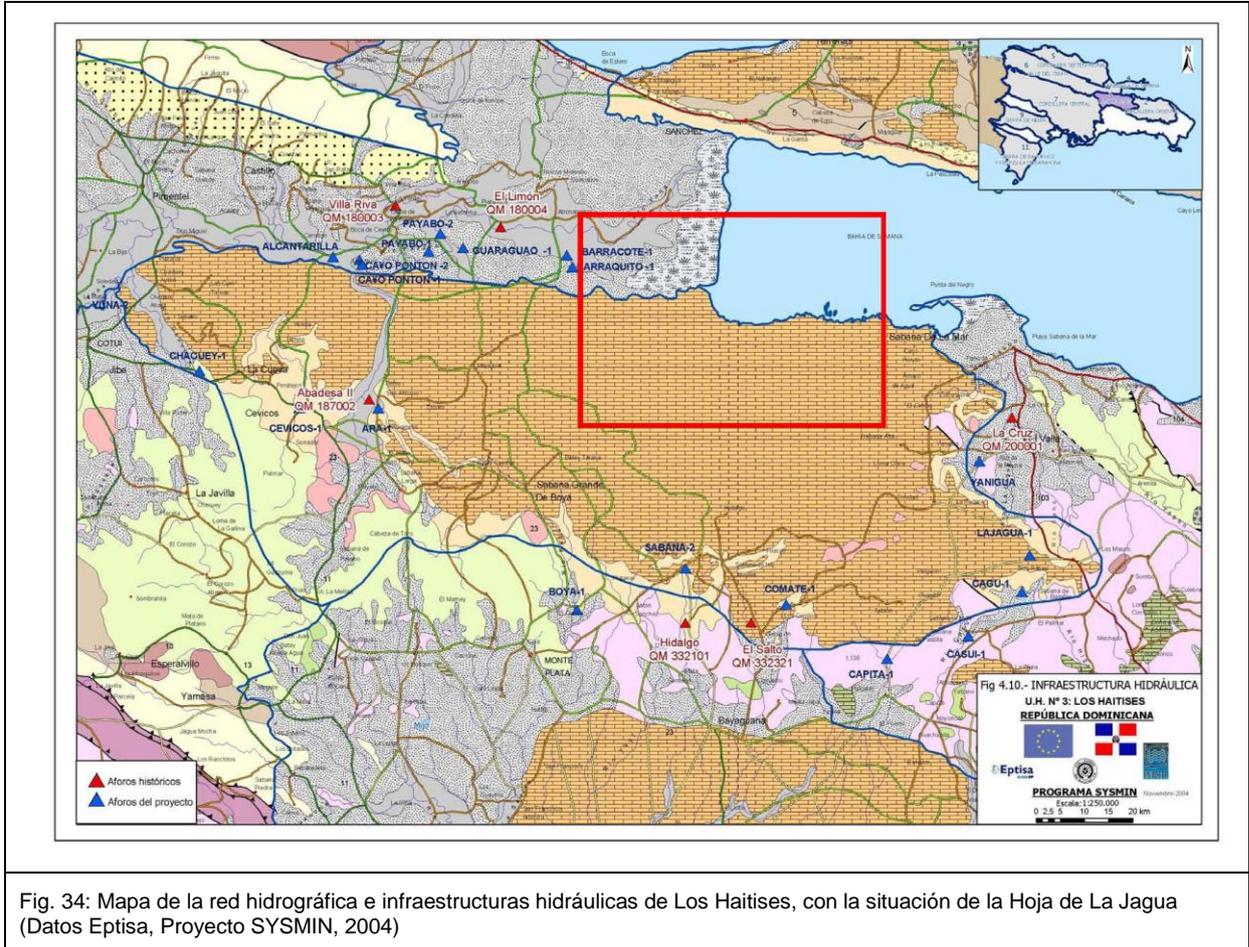
Tabla 4: Lluvia útil anual (mm) para la unidad hidrogeológica de los Haitises (Datos Eptisa, Proyecto SYSMIN, 2004)

6.1.2. Hidrología

La Hoja de La Jagua presenta dos dominios bien distintos:

- al NO el valle del Río Yuna que desemboca en la Bahía de Samaná
- al Sur, los Haitises, con dos ejes de descargas principales: una distribución predominante N-S, localizado en el sector meridional de la unidad (zonas de Antón Sánchez-Los Limones), en el cual la red hidrográfica nace en el borde meridional de la unidad y descarga hacia la margen izquierda de la cuenca del río Ozama (ríos Boyá, Sabana y Comate) y una distribución S-N, localizado en el sector oriental de la unidad (zonas de El Valle y Sabana de la Mar), en el cual la red hidrográfica nace en

el borde la unidad y descarga en dirección suroeste-noreste y sur-norte, hacia la margen izquierda de la cuenca del río Yabón (río Yanigua y arroyo La Jagua)



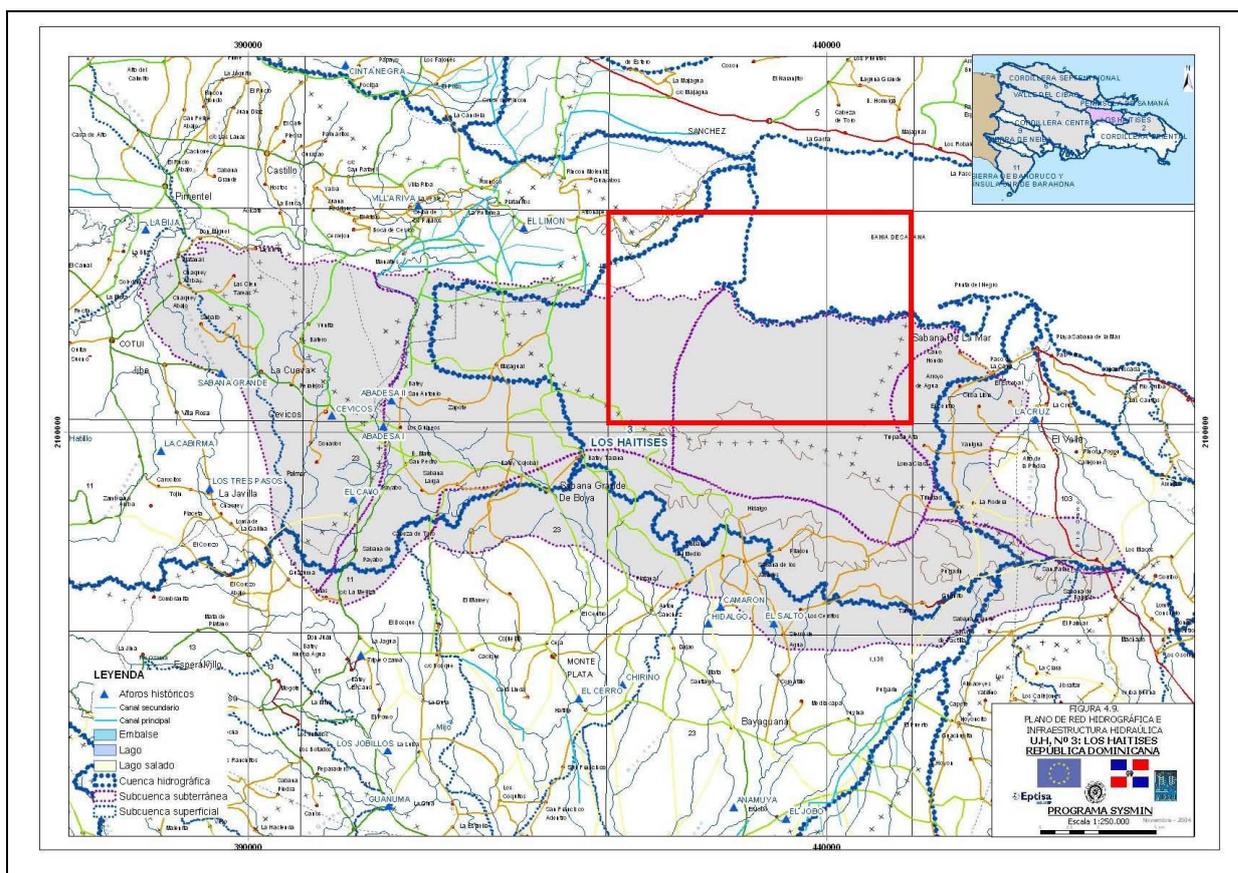


Fig. 35: Mapa de la red hidrográfica e infraestructuras hidráulicas de Los Haitises, con la situación de la Hoja de La Jagua (Datos Eptisa, Proyecto SYSMIN, 2004)

En la Tabla 5 se indica, para cada punto de aforo (Fig. 34) el periodo de control de las series (Año de inicio-Año de finalización), así como los caudales (expresados en m³/s) máximos y mínimos históricos y la media mensual obtenida a partir del total de medidas

Denominación	Año Inicio	Año Final	Máx. Histórico m ³ /s	Mín. Histórico m ³ /s	Media Mensual m ³ /s
El Limón	1968	2002	374.68	7.2	101.35
Villa Riva	1955	1992	417.14	6.08	89.38
La Cruz	1969	1974	22.42	0.33	7.10
El Salto	1986	1987	5.45	0.12	1.74
Hidalgo	1975	1989	4.24	0.07	0.79
Abadesa II	1971	1996	22.68	0.47	5.79

Tabla 5: Datos en m³/s de la estaciones de afloros para los Haitises (Datos Eptisa, Proyecto SYSMIN, 2004)

Subunidad	Volumen de recursos subterráneos utilizados por usos				
	Urbano (hm ³ /año)	Industrial (hm ³ /año)	Ganadero (hm ³ /año)	Agrícola (hm ³ /año)	TOTAL (hm ³ /año)
Oeste	1.46	0	0	0	1.46
Septentrional Central	0.77	0	0	0	0.77
Septentrional Costera	0.03	0	0	0	0.03
Noreste	0.13	0	0	0	0.13
Meridional	1.34	0	0	0	1.34
Total U.H. Los Haitises	3.73	0	0	0	3.73

Tabla 6: Distribución de volúmenes de agua subterránea utilizados en el área de la unidad hidrológica de Los Haitises (Datos Eptisa, Proyecto SYSMIN, 2004)

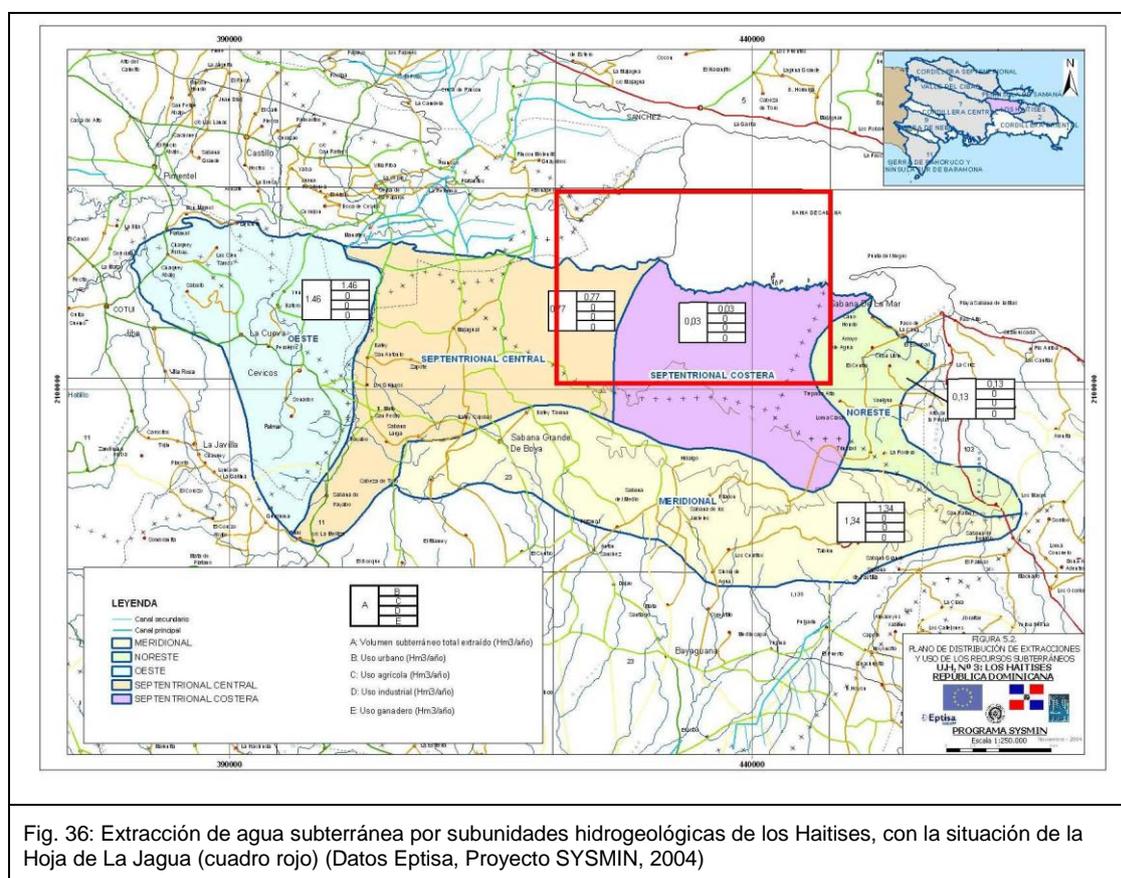


Fig. 36: Extracción de agua subterránea por subunidades hidrogeológicas de los Haitises, con la situación de la Hoja de La Jagua (cuadro rojo) (Datos Eptisa, Proyecto SYSMIN, 2004)

6.1.3. Hidrogeología

Se distingue la mitad Sur de la Hoja (Los Haitises) y el cuadrante NO (Valle de Yuna).

Desde un punto de vista hidrogeológico la mitad Sur Hoja de La Jagua pertenece a la Unidad hidrogeológica de Los Haitises, caracterizada por una geomorfología kárstica que le confiere unas características muy peculiares, y que condicionan su funcionamiento

hidrogeológico. La morfología externa se marca con mogotes, dolinas, corredores y valles, la interna, con cavidades, algunas de ellas de grandes dimensiones.

La plataforma carbonatada (calizas arrecifales detríticas del Plioceno de Los Haitises) de más de 150m de potencia, ligeramente basculada hacia el NNO, está depositada sobre una capa de margas (Fm Yanigua <50m de potencia) o directamente sobre el substrato volcanosedimentario cretácico (estas dos facies no afloran en la Hoja de La Jagua).

Las calizas arrecifales detríticas muy karstificadas y fisuradas representan un extenso acuífero aflorante (260 km² en la Hoja de La Jagua), libre, con alta permeabilidad y productividad.

La Hoja de La Jagua abarca tres subunidades hidrogeológicas, definidas por Eptisa (Fig. 37):

- Al Oeste de la Hoja, la subunidad Septentrional Central: límites abiertos y en contacto con los depósitos cuaternarios fluviales del río Yuna
- Al centro de la Hoja, la subunidad Costera: límites abiertos y en contacto con el mar (Bahía de Samaná)
- Al Este, de la Hoja, la subunidad Noreste: límites abiertos y en contacto con los depósitos cuaternarios fluviales del río Yabón.

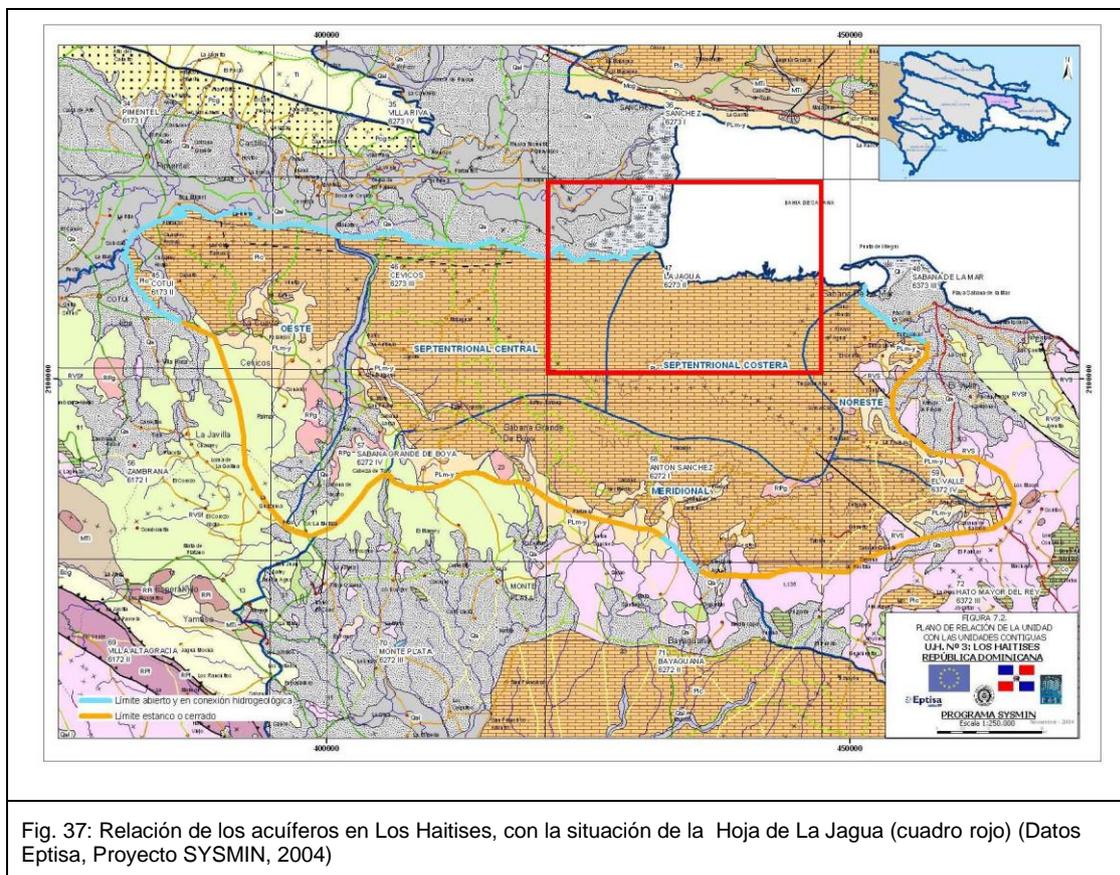


Fig. 37: Relación de los acuíferos en Los Haitises, con la situación de la Hoja de La Jagua (cuadro rojo) (Datos Eptisa, Proyecto SYSMIN, 2004)

En Los Haitises de la Hoja de La Jagua se inventarió 12 puntos de aguas (Tabla 7), cuya características están descritas en la Tabla 8.

Nº Hoja	Nombre Hoja	Manantial	Pozo	Cauce Superficial	Laguna	Otros	Total
6273 II	La Jagua	9	1		1	1	12

Tabla 7: Inventario de los puntos de aguas en los Haitises de la Hoja de La Jagua (Datos Eptisa, Proyecto SYSMIN, 2004)

Los manantiales del borde Norte de Los Haitises están relacionados con el sistema de Falla EO de los Haitises, que limita la plataforma carbonatada a nivel de la Bahía de Samaná y del valle de Yuna.

Cod.Punto	Hoja 1:50000	Hoja topográfica	Coord. X	Coord. Y	Cota	Naturaleza	Uso
62732	6273 II	La Jagua	444789	2108716		MANANTIAL	ECOLÓGICOS
6273210002	6273 II	La Jagua	423020	2111571	25	LAGO	
6273220001	6273 II	La Jagua	431252	2111435	41	MANANTIAL	ECOLÓGICOS
6273220002	6273 II	La Jagua	430838	2112280	264	MANANTIAL	ECOLÓGICOS
6273230001	6273 II	La Jagua	439910	2110050	4	MANANTIAL	ECOLÓGICOS
6273230002	6273 II	La Jagua	441646	2110090	39	MANANTIAL	ECOLÓGICOS
6273250001	6273 II	La Jagua	433846	2109686		MANANTIAL	ECOLÓGICOS
6273250002	6273 II	La Jagua	433959	2109898	6	MANANTIAL	ECOLÓGICOS
6273250003	6273 II	La Jagua	434306	2109571	22		
6273250004	6273 II	La Jagua	434371	2109530		MANANTIAL	ECOLÓGICOS
6273260002	6273 II	La Jagua	444181	2109140		MANANTIAL	

Tabla 8: Características de los puntos de aguas en los Haitises de la Hoja de La Jagua (Datos Eptisa, Proyecto SYSMIN, 2004)

6.1.3.1. Formaciones con permeabilidad baja-muy baja. Lutitas y arcillas de áreas pantanosas y fondos de dolinas (Cuaternario)

En el valle del Bajo Yuna estas formaciones ocupan una cierta extensión. En los Haitises los fondos de dolinas son muy numerosos pero de extensión reducida, aunque en dirección NO-SE presentan una extensión hectométrica a kilométrica según el sistema de falla que ha favorecido la karstificación.

6.1.3.2. Formaciones con permeabilidad baja. Lutitas y arenas finas de llanuras de inundación (Cuaternario)

Están bien representadas en el valle del Bajo Yuna Norte y Sur donde están aprovechadas por el cultivo del arroz principalmente. Las arcillas mezcladas a las arenas disminuyen la permeabilidad del conjunto.

6.1.3.3. Formaciones con permeabilidad media por porosidad intergranular: lutitas y arenas (Cuaternario)

El borde Norte de Los Haitises presenta un talud con la llanura del Yuna constituido por lutitas y arenas y localmente gravas con una permeabilidad media por porosidad intergranular. La extensión reducida esta formación y la presencia de arcilla de descalcificación limitan el potencial de esta formación.

6.1.3.4. Formaciones con permeabilidad alta por porosidad intergranular: lutitas y arenas (Cuaternario)

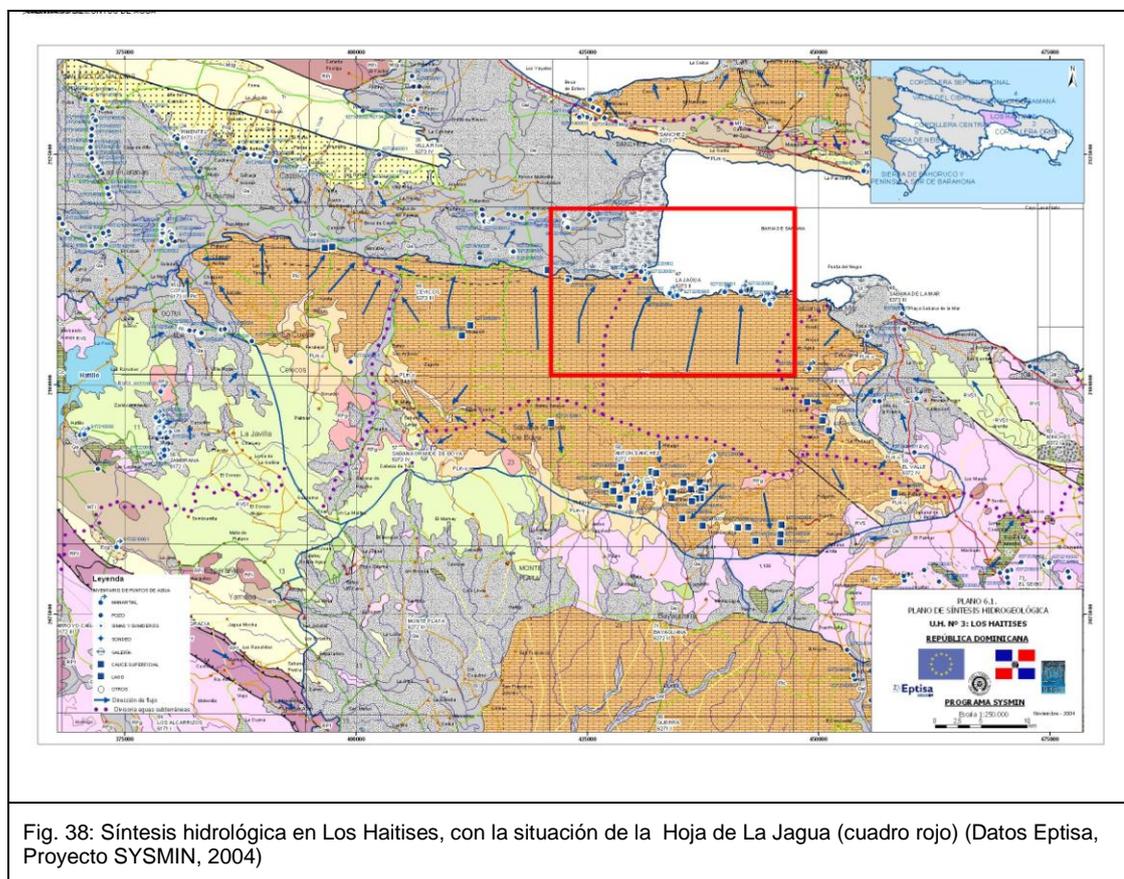
Las formaciones costeras del borde Oeste de la Bahía de Samaná constituyen un pequeño cordón arenoso con lutitas mezcladas, no consolidado, que presenta una permeabilidad alta por porosidad intergranular. La presencia de los limos baja un poco la permeabilidad.

6.1.3.5. Formación con permeabilidad muy alta por fracturación y karstificación. Calizas (Plioceno)

La permeabilidad por fracturación y karstificación de las calizas arrecifales detríticas de Los Haitises (Plioceno) es muy alta.

La productividad y potencialidad de explotación será alta (la más importante de toda la Hoja), debido al alto grado de karstificación de sus materiales (lo que le confiere una alta permeabilidad secundaria) y al importante volumen de recarga por infiltración de la lluvia caída sobre su extensa superficie aflorante. La estructura, constituye una plataforma

ligeramente basculada hacia el NNO, con 100 à 150 m de potencia aflorante que descansa sobre un nivel de margas impermeables o directamente sobre el substrato cretácico de permeabilidad baja (ninguno de estos substratos aflora en la Hoja de la Jagua).



Los resultados analíticos de los puntos de agua muestreados por EPTISA (2004) en Los Haitises indican que las aguas subterráneas analizadas superan los límites establecidos en distintos parámetros (Tabla 9 Cuadro 8.5.1). Así, se superan los límites en la muestra número 49 con respecto a sodio, cloruros y total de sólidos disueltos en la primera campaña y con respecto a sodio en la muestra número 49 en la segunda campaña (Tabla 9 Cuadro 8.5.2). En el resto de las muestras los valores obtenidos se encuentran dentro de los límites establecidos en la normativa de aguas de abastecimiento humano.

Cuadro 8.5.1. Aptitud de las aguas subterráneas analizadas en la primera campaña en la UH. 03. Los Haitises para abastecimiento humano

Límites NORDOM-80 u OMS-95				9,2	200	150	200 (OMS)				600	400	45	3,00	1,5 (OMS)	500	1500	
No. Lab.	Lugar y Fuente	Fecha de Muestreo	CE (µS/cm)	pH	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	Na (mg/l)	K (mg/l)	CO3 (mg/l)	HCO3 (mg/l)	Cl (mg/l)	SO4 (mg/l)	NO3 (mg/l)	NO2 (mg/l)	Amonio (mg/l)	DT (mg/l)	STD (mg/l)	
20	6272140003	24/11/2003	264	6,5	38	3	9	4,0	0	159	10	<LD	2	0,01	0,89	107	209	
21	6272150003	24/11/2003	398	6,8	63	5	9	1,3	0	226	12	7	6	0,00	<LD	177	252	
22	6272150008	24/11/2003	116	6,5	13	3	4	4,0	0	55	13	2	3	0,06	0,25	43	110	
23	6272150002	24/11/2003	394	7,4	62	5	9	1,6	0	238	15	6	4	0,01	<LD	175	239	
24	6272120001	24/11/2003	369	7,0	59	4	9	1,0	0	201	15	<LD	5	0,02	<LD	162	250	
44	6372210001	04/12/2003	418	6,2	68	4	12	1,2	0	220	16	3	7	0,01	<LD	186	244	
45	6273230001	04/12/2003	419	6,6	66	5	13	1,6	0	226	18	3	9	0,01	<LD	185	240	
46	6273250002	04/12/2003	371	6,6	59	4	8	1,4	0	183	15	3	8	0,03	<LD	162	217	
47	6273250004	04/12/2003	372	6,8	59	4	10	1,4	0	177	15	3	7	0,01	<LD	166	196	
48	6273230002	05/12/2003	365	6,8	57	2	20	1,4	0	207	18	4	1	<LD	<LD	152	205	
49	62732	05/12/2003	3030	7,0	68	50	479	10,7	0	207	849	91	7	0,00	0,01	380	1774	
50	6273260002	05/12/2003	349	7,0	55	3	10	1,3	0	171	16	3	5	0,00	<LD	150	178	
85	6173260001	11/12/2003	710	7,4	45	22	71	1,3	0	366	31	6	8	0,00	<LD	203	495	
86	6273340001	11/12/2003	168	6,2	15	3	14	0,5	0	67	15	7	10	0,01	<LD	51	149	
			Min	116	6,2	13	2	4	0,5	0	55	10	2	1	0,00	0,01	43	110
			Max	3030	7,4	68	50	479	10,7	0	366	849	91	10	0,06	0,89	380	1774

Límites establecidos en la normativa de aguas de abastecimiento humano
Valores que superan los límites establecidos en la normativa (NORDOM-80 u OMS-
Rangos de variación de cada parámetro

Cuadro 8.5.2. Aptitud de las aguas subterráneas analizadas en la segunda campaña en la UH. 03. Los Haitises para abastecimiento humano

Límites NORDOM-80 u OMS-95				9,2	200	150	200 (OMS)	600	400	45	3,00	1,5 (OMS)	500	1500		
Nº orden asignado	Nº lab 2ª	Código	Fecha de Muestreo	CE (µS/cm)	pH	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	Na (mg/l)	Cl (mg/l)	SO4 (mg/l)	NO3 (mg/l)	NO2 (mg/l)	Amonio (mg/l)	DT (mg/l)	STD (mg/l)	
20	262	6272140003	10/06/2004	129	6,7	11	6	3	7	0	8	0,00	<LD	52	118	
21	261	6272150003	10/06/2004	345	6,7	51	9	4	10	2	4	<LD	<LD	165	220	
22	260	6272150008	10/06/2004	111	6,5	6	5	8	10	2	4	<LD	<LD	33	100	
23	257	6272150002	10/06/2004	314	7,0	47	10	14	14	1	10	<LD	<LD	160	234	
24	259	6272120001	10/06/2004	340	7,2	56	5	4	10	4	5	0,14	<LD	160	186	
44	30	6372210001	04/05/2004	390	6,6	69	3	3	12	4	13	0,01	<LD	186	256	
45	31	6273230001	04/05/2004	392	6,8	67	5	5	17	3	11	0,01	0,19	188	277	
46	33	6273250002	04/05/2004	350	7,0	60	5	3	12	4	11	0,03	<LD	171	261	
47	32	6273250004	04/05/2004	352	6,9	60	5	3	12	5	9	0,02	<LD	168	264	
48	36	6273230002	04/05/2004	333	7,6	57	3	3	13	5	6	0,00	<LD	154	230	
49	34	62732	04/05/2004	931	7,0	58	17	116	207	28	6	0,02	0,04	216	684	
50	29	6273260002	04/05/2004	360	6,8	56	6	7	24	4	7	0,03	0,27	163	232	
85	63	6173260001	07/05/2004	647	7,2	52	30	45	26	6	6	0,01	<LD	255	442	
86	64	6273340001	07/05/2004	78	6,0	2	2	7	13	3	13	0,00	0,09	19	70	
				Min	78	6,0	2	2	3	7	0	4	0,00	0,04	19	70
				Max	931	8	69	30	116	207	28	13	0,14	0,27	255	684

Límites establecidos en la normativa de aguas de abastecimiento humano
Valores que superan los límites establecidos en la normativa (NORDOM-80 u OMS-95)
Rangos de variación de cada parámetro

Tabla 9: Aptitudes de las aguas subterráneas de los Haitises para abastecimiento humano (Datos Eptisa, Proyecto SYSMIN, 2004)

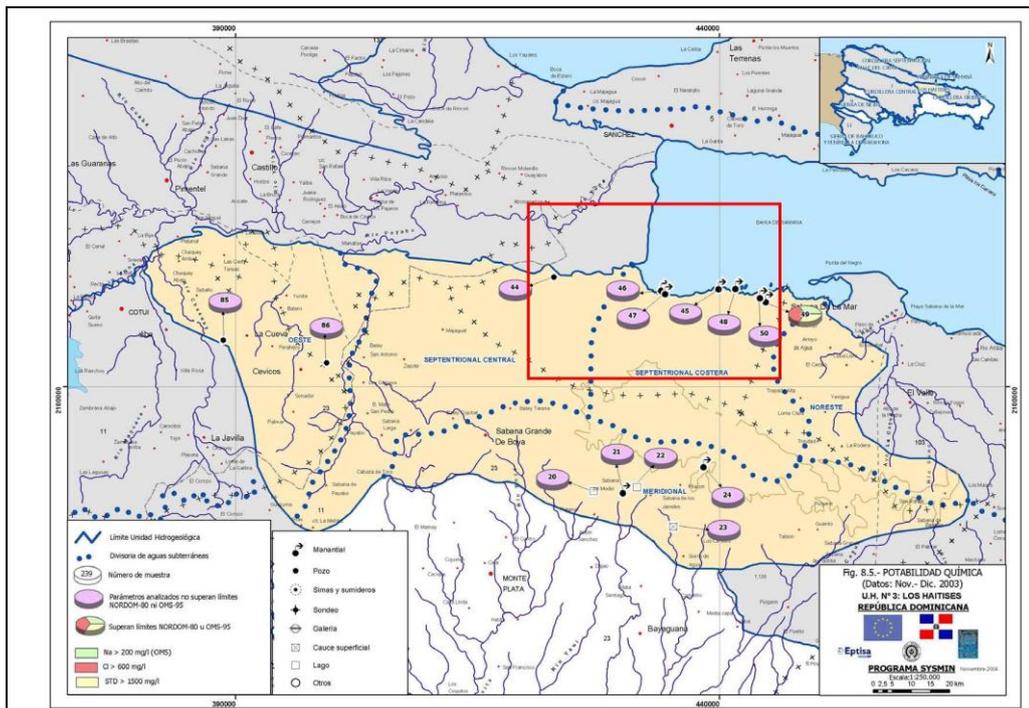


Fig. 39: Potabilidad de las aguas en Los Haitises, con la situación de la Hoja de La Jagua (cuadro rojo) (Datos Eptisa, Proyecto SYSMIN, 2004)

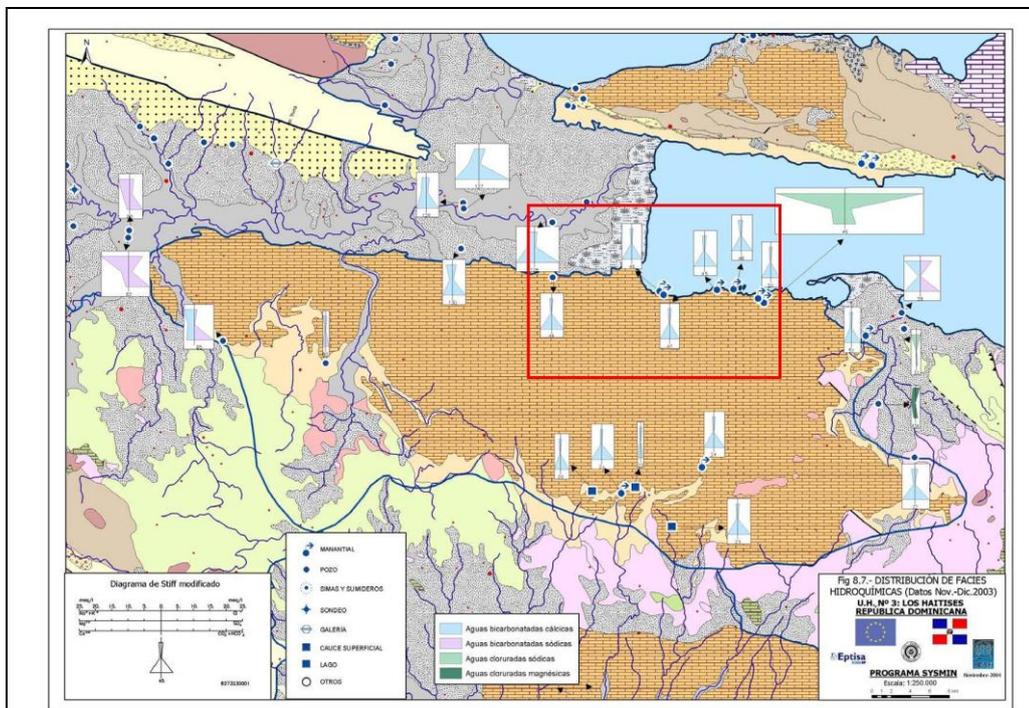


Fig. 40: Distribución de facies hidroquímicas de las aguas en Los Haitises, con la situación de la Hoja de La Jagua (cuadro rojo) (Datos Eptisa, Proyecto SYSMIN, 2004)

6.1.3.6. Funcionamiento hidrogeológico y balance hídrico

La indudable repercusión que supone el desarrollo del aparato cárstico de la Unidad Hidrogeológica de Los Haitises en su funcionamiento hidrogeológico, unida a la escasez de otro tipo de información (sondeos, columnas litológicas, niveles piezométricos, ensayos y parámetros hidráulicos, etc.) ha recomendado el incluir en esta memoria una serie de consideraciones generales previas, antes de plantear los apartados concretos de la recarga y descarga de la citada unidad.

6.1.3.6.1. Formas de absorción

En la zona superficial o de absorción del aparato cárstico de Los Haitises se han desarrollado dos tipos básicos de absorción: cerradas y abiertas.

Entre las **formas cerradas**, por lo general asociadas a diaclasas, la absorción del agua se ha producido de forma lenta y ha conformado un importante número de **dolinas** a lo largo de toda la superficie de la unidad.

Localmente se identifican claros procesos de evolución superficial de las dolinas, con creación de campos de dolinas, propios de regiones calizas de alta solubilidad.

El mejor ejemplo de forma de **absorción abierta**, del tipo **sumidero**, con evidente aumento de la capacidad absorbente es el caso del sumidero permanente que absorbe la totalidad del río Cevicos (Hoja Cevicos) en la zona de contacto entre las margas basales pliocenas y el muro de las calizas arrecifales de Los Haitises, y termina descargando unos kilómetros más al norte, en el contacto fallado de las citadas calizas con los depósitos cuaternarios fluviales del río Yuna, en el sector de la Boca de Cevicos.

6.1.3.6.2. Formas de emisión

Los manantiales cársticos son **subaéreos** y **submarinos**.

Se observan 3 tipos de **subaéreos**:

- Surgentes por encima del nivel de los cauces epigeos
- Surgentes a nivel de los cauces epigeos
- Surgentes bajo los talwegs de los cauces epigeos

6.1.3.6.3. Evolución del karst de Los Haitises

La Unidad Hidrogeológica de Los Haitises parece haber pasado por una serie de fases sucesivas y típicas de la karstificación:

- Período Juvenil:
 - lenarización y lapiaciación con predominio de circulación epigea (superficial)
 - dolinización, (desarrollo de campos de dolinas) con progreso de la lenarización y percolación
- Período de madurez
 - Uvalización: conjugación de dolinas y generación de sumideros y poljes. Reemplazamiento de la circulación epigea (superficial) por una circulación totalmente hipogea (subterránea) con formas de emisión (descarga) únicamente por manantiales y emergencias difusas
- Período de senilidad
 - Desgradación incipiente del karst con generación de cañones y vuelta a la circulación epigea por estos cañones, en mismo tiempo que sigan existiendo numerosas dolinas no totalmente conjugadas con una importante circulación hipogea.

6.1.3.6.4. Circulación kárstica y tipologías del karst de Los Haitises

En la Hoja de La Jagua Los Haitises responden a un “karst completo” u “holokarst”, en el que la potencia total de calizas supera los 150 m y puede evolucionar el karst ampliamente, el nivel de base kárstico se sitúa a gran profundidad (más de 100 m) en relación con la superficie topográfica, y todavía existe un relieve juvenil, o a lo más maduro, con desniveles de cierta importancia entre las zonas altas y los niveles de base locales.

Se identificarían tres zonas, en la vertical, de funcionamiento:

- Zona superior seca, en la cual predomina la circulación vertical descendente
- Zona intermedia o semihúmeda, con dominio de la circulación vertical ascendente o descendente, alternativamente, y tendencia a la horizontal
- Zona húmeda, con dominio de la circulación ascendente y cuya parte superior está limitada y definida por la superficie piezométrica.

Por su condición de karst situado en la costa y en parte sumergido, es muy probable que tenga una cierta influencia del mar, por lo que a su morfología kárstica se superpondría la

morfología costera, además de la imposición de su nivel de base (la cota 0 m.s.n.m.), factores ambos de notable influencia en la circulación kárstica.

Al presentar las calizas arrecifales de Los Haitises un buzamiento general dirigido hacia el norte (y hacia el mar), el tipo de karst resultante será un **“karst conforme”**, cuya zona húmeda profunda será en parte submarina y la superficie piezométrica se establecerá a partir de la superficie marina. Tal como ocurre en los acuíferos freáticos litorales, muy posiblemente existirán dos frentes acuíferos: un frente marino, que, a partir de la superficie marina descenderá suavemente hacia el interior de la masa caliza hasta detenerse frente al muro impermeable, y un frente kárstico, que interferiría con el anterior, creándose una zona de mezcla de aguas kársticas y marinas. Las emergencias que se produzcan en dicha zona estarán condicionadas por la presión que proporcione la superficie piezométrica

En lo referente al tipo de karst sobre estructuras tectónicas, el karst de Los Haitises podría clasificarse como un **“karst de mesa”**, típico de regiones tabulares formadas por calizas sostenidas por un muro impermeable suspendido por encima de los talwegs epigeos. Se trataría, por tanto, de un “karst suspendido” o “merokarst”.

Por último, en lo referente a la influencia climática, el karst de Los Haitises se encuadraría claramente en un **“karst tropical”**, en el que las fuertes lluvias tropicales y las altas evaporaciones han producido un ataque a las calizas que han dejado como resultado formas muy fuertes, con presencia de restos calizos de pendientes escarpadas y mogotes que emergen de una llanura degradada y cubierta por residuos de descalcificación

6.1.3.6.5. Recarga

En la Hoja de la Jagua, la recarga de la U.H. de Los Haitises se produce, fundamentalmente, por infiltración directa del agua de la lluvia precipitada sobre los afloramientos permeables.

SUBZONA	LLUVIA ÚTIL MEDIA ANUAL (en mm)	SUPERFICIE DE MATERIALES PERMEABLES (en km ²)	VOLUMEN DE RECARGA ANUAL POR INFILTRACIÓN DE LA LLUVIA (en hm ³)	VOLUMEN DE RECARGA ANUAL POR INFILTRACIÓN DESDE CAUCES SUPERFICIALES (en hm ³)	VOLUMEN DE RECARGA ANUAL TOTAL (en hm ³)
SUBZONA OESTE	272	231.17	63	33	96
SUBZONA SEPTENTRIONAL CENTRAL	272	399.62	109	-	109
SUBZONA SEPTENTRIONAL COSTERA	272	341.19	93	-	93
SUBZONA NORESTE	272	109.43	30	-	30
SUBZONA MERIDIONAL	272	381.06	104	-	104
TOTALES	272	1462.47	399	33	432

Tabla 10: Distribución de las recargas totales para un año medio (Datos Eptisa, 2004)

6.1.3.6.6. Descarga

Las descargas de la unidad se producen, básicamente, por tres vías preferenciales:

- Drenajes por cauces superficiales
- Salidas por manantiales y emergencias de distintos tipos, tanto subaéreas, como submarinas
- Extracciones para abastecimientos urbanos

SUBZONA	SECTORES DE DESCARGA	DRENAJES POR CAUCES SUPERFICIALES (en hm ³ /año)	DESCARGAS POR MANANTIALES (en hm ³ /año)	EXTRACCIONES POR BOMBEO PARA USOS HUMANOS	DESCARGAS TOTALES (en hm ³ /año)	OBSERVACIONES
OESTE	Norte, Oeste y Este	81	13	1.5	96	Corresponden, en su mayoría, a descargas por el río Chacuey (Oeste), por el sumidero del Cevicos (Norte) y por el río Ara-Payabo (Este).
SEPTENTRIONAL CENTRAL	Este, Noroeste y Norte	40	68	0.8	109	Las descargas por cauces corresponden al río Ara-Payabo y las de los caños de Barracote, Barraquito y Guaraguao
SEPTENTRIONAL COSTERA	Norte	-	93	-	93	Todas las salidas se producen al mar, mediante manantiales y surgencias de distinto tipo (Al menos ocho).
NORESTE	Noreste y Este	-	30	0.1	30	Corresponden a manantiales de muro que dan origen a los ríos Yanigua, La Jagua y Chiquito.
MERIDIONAL	Sabana del Medio, Sabana de los Javieles y Los Cerritos	-	102	1.5	104	Corresponden a manantiales de muro que dan origen a diversas lagunas y a los nacimientos de los ríos Boyá, Comate, Sabana y Cagu.
TOTALES	-	121	306	3.9	432	-

Tabla 11: Distribución de las descargas totales para un año probablemente húmedo (Datos Eptisa, 2004)

6.1.3.6.7. Balance Hídrico

SUBUNIDADES	INFILTRACIÓN LLUVIA (IP)	INFILTRACIÓN CAUCES (IRC)	RETORNOS RIEGO (IRR)	ENTRADAS LATERALES (QAC)	ENTRADAS TOTALES
OESTE	63	33	-	-	96
SEPTENTRIONAL CENTRAL	109	-	-	-	109
SEPTENTRIONAL COSTERA	93	-	-	-	93
NORESTE	30	-	-	-	30
MERIDIONAL	104	-	-	-	104
TOTALES	399	33	0	0	432

Tabla 12: Entradas; balance de aguas subterráneas para años medios (Datos Eptisa, 2004)

SUBUNIDADES	DESCARGA A RÍOS (DR)	MANANTIALES Y CONEXIONES LATERALES (QM+QS)	EXTRACCIONES POR BOMBEOS (B)	SALIDAS TOTALES
OESTE	81	13	2	96
SEPTENTRIONAL CENTRAL	40	68	1	109
SEPTENTRIONAL COSTERA	-	93**	-	93**
NORESTE	-	30	-	30
MERIDIONAL	-	102	2	104
TOTALES	121	306	5	432

Tabla 13: Salidas; balance de aguas subterráneas para años medios (Datos Eptisa, 2004)

*Todos los datos son en hm³/año

**Corresponden a descargas directas al mar

6.1.3.6.8. Extracción y Usos

El volumen total de recursos hídricos de origen subterráneo utilizados durante el año 2004 estudiado por EPTISA dentro del área de la Unidad Hidrogeológica de Los Haitises es muy escaso, en relación con sus recursos renovables, y se han estimado en unos 3.73 hm³/año, que suponen algo menos del 1% del volumen total de recarga anual para un año climatológicamente medio (Tabla 13). Este hecho confirma el que esta unidad pueda ser considerada como reserva estratégica de cara a solucionar posibles demandas de agua en

unidades limítrofes, mediante la utilización de una parte de sus importantes excedentes hídricos, sobre todo de los procedentes de las subunidades Septentrional Costera y Septentrional Central.

Por tipos de usos, la totalidad de las extracciones subterráneas (los mencionados 3.73 hm³/año; Tabla 14) se utilizan actualmente para abastecimiento o uso urbano, al ser la agricultura y la industria dentro del ámbito de esta unidad del tipo residual y considerarse su consumo despreciable a efectos de balance hídrico.

Subunidad	Volumen de recursos subterráneos utilizados por tipos de usos				
	Urbano (hm ³ /año)	Industrial (hm ³ /año)	Ganadero (hm ³ /año)	Agrícola (hm ³ /año)	TOTAL (hm ³ /año)
Oeste	1.46	0	0	0	1.46
Septentrional Central	0.77	0	0	0	0.77
Septentrional Costera	0.03	0	0	0	0.03
Noreste	0.13	0	0	0	0.13
Meridional	1.34	0	0	0	1.34
Total U.H. Los Haitises	3.73	0	0	0	3.73

Tabla 14: Salidas; balance de aguas subterráneas para años medios (Datos Eptisa, 2004)

6.2. Recursos minerales

Las calizas de Los Haitises representan un potencial para la fabricación de cementos pero en la Hoja de La Jagua están protegidas por el Parque Nacional. Ningún indicio metálico ha sido observado.

6.3. Rocas industriales y ornamentales

6.3.1. Materiales de construcción

Las calizas de Los Haitises representan un potencial de material industrial (cementos en particular). Pero la zona está protegida por el Parque Natural de Los Haitises que representa un interés ecológico mayor.

Durante la cartografía solo se observó una pequeña cantera de áridos para usos locales, al Oeste de Cristal, en el borde norte de Los Haitises.

NÚMERO	COORDENADAS		FORMACIÓN	SUSTANCIA	ACTIVIDAD	TAMAÑO	UTILIZACIÓN
	X_Nad_27	Y_Nad_27					
46MJ9001	421223, 910059 68	2111954,503 73485	Haitises	Arido_Caliche	Intermitente	Pequeño	Obras públicas y construcción

Tabla 15: Distribución de las recargas totales para un año medio (Datos Eptisa, 2004)

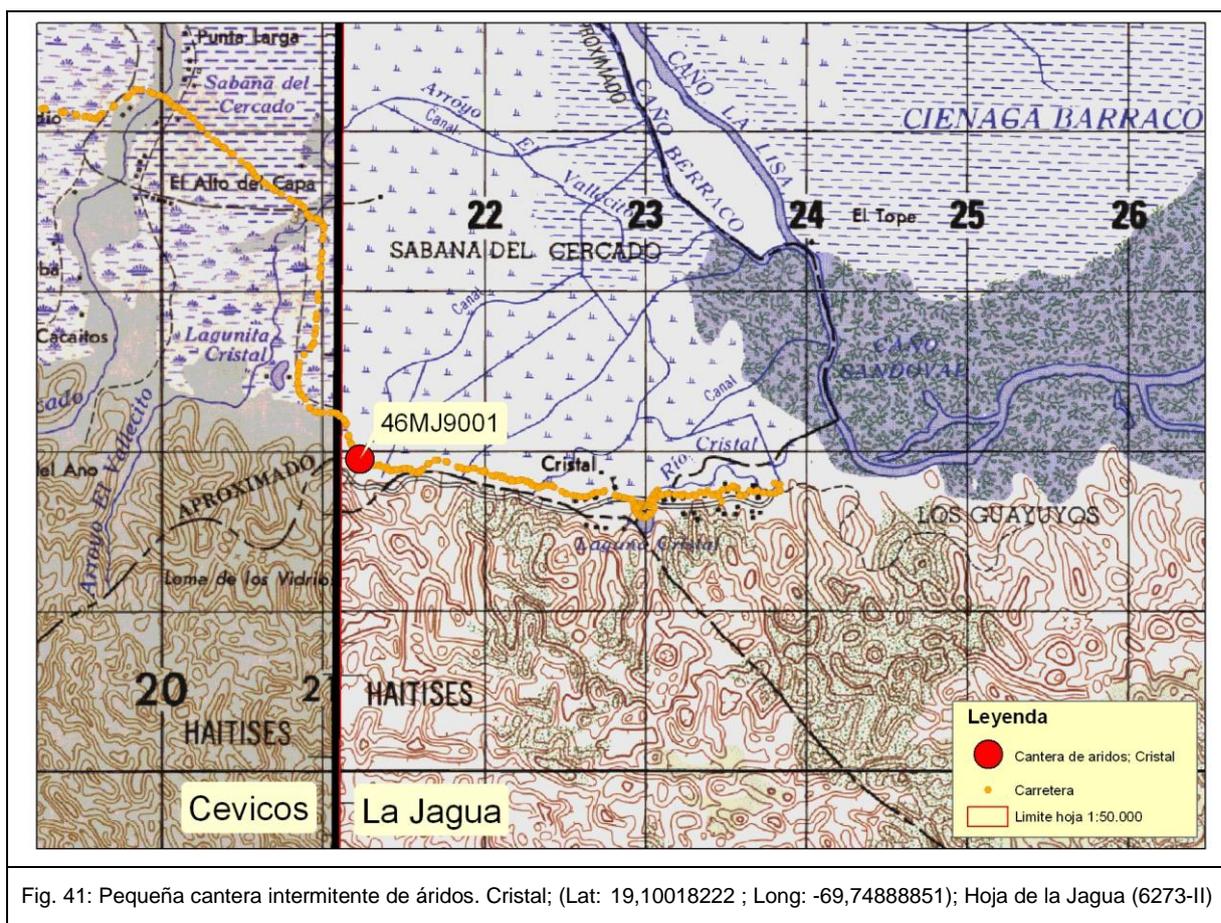


Fig. 41: Pequeña cantera intermitente de áridos. Cristal; (Lat: 19,10018222 ; Long: -69,74888851); Hoja de la Jagua (6273-II)



Foto 29: Pequeña cantera de áridos en las calizas de los Haitises; Ctra. de Cristal; Hoja de La Jagua; 46MJ9001_1; (Lat: 19,10018222; Long: -69,74888851)

7. LUGARES DE INTERÉS GEOLÓGICO

7.1. 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.

7.2. Relación de los Lugares de Interés Geológicos.

La Hoja de La Jagua cubre un tramo Norte de Los Haitises y Sur de la Bahía de Samaná y del Bajo Yuna. Está en gran parte protegida por el Parque Nacional de Los Haitises. Los accesos se hacen por barco desde Sánchez, Samaná y Sabana de la Mar, o por la nueva autopista Santo Domingo-Sánchez y las carreteras de Cristal o La Jagua. Se han seleccionado 4 puntos como Lugares de Interés Geológico, situados en las zonas más accesibles por tierra o mar (Tabla 16 y Fig. 42).

N° de LIG	Lat. (°dec) WGS84	Long (°dec) WGS84	Provincia	Municipio	Paraje
LIG1	19,10018222	-69,74888851	Duarte	Villa Riva	Cristal Cantera calizas Los Haitises
LIG2a	19,09739943	-69,7325619	Samaná	La Jagua	Cristal Laguna
LIG2b	19,0946893	-69,73150402	Samaná	La Jagua	Cristal Cueva Muñeco de Oro
LIG3a	19,08371354	-69,58938777	Samaná	La Jagua	Naranja Arriba Playa
LIG3b	19,0875812	-69,5707853	Samaná	La Jagua	Naranja Arriba Cueva,
LIG3c	19,09389261	-69,54738932	Samaná	La Jagua	Naranja Arriba Cayo,
LIG4	19,08785664	-69,50133872	Hato Mayor	Sabana de la Mar	Cueva Infierno,

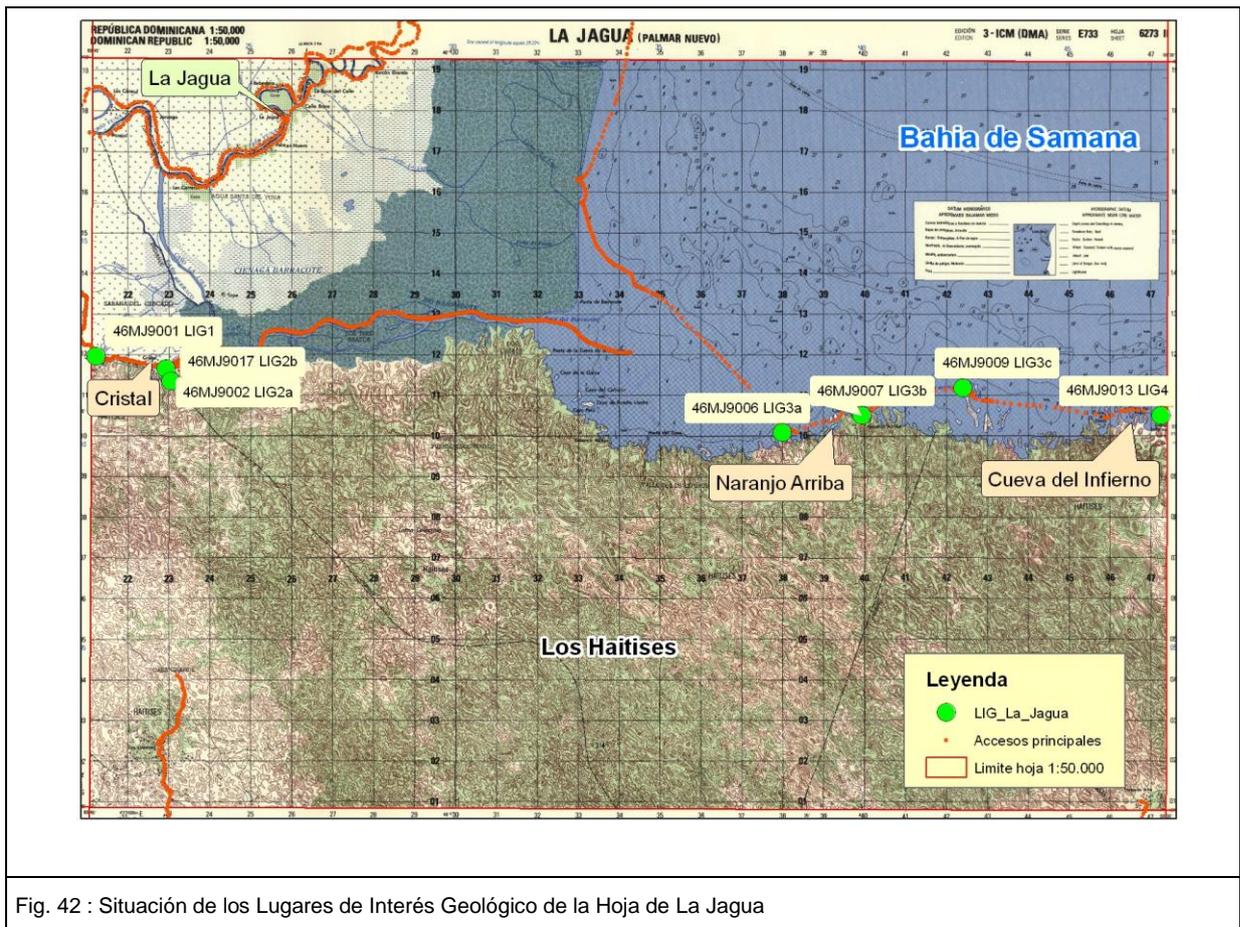
Tabla 16: Situación y coordenadas de los Lugares de Interés Geológico de la Hoja de La Jagua

El primer LIG corresponde a las calizas de los Haitises (Plioceno) del borde Oeste de la Hoja.

El segundo LIG corresponde a la dolina de la Laguna de Cristal y a la cueva del Muñeco de Oro en las calizas de los Haitises.

El tercer LIG corresponde a las calizas de Haitises de Naranjo Arriba en la costa Sur de la Bahía de Samaná.

El cuarto LIG corresponde a la cueva del Infierno en las calizas de Los Haitises del Sur de la Bahía de Samaná en el borde Este de la Hoja.



7.3. Descripción de los Lugares

Se describen 4 L.I.G. situados en condiciones de acceso fácil por carretera o por barco (Fig. 42). El interés principal es geomorfológico, estratigráfico y sedimentológico. Por una posible utilización se pueden catalogar como didácticos y científicos, en tanto que el ámbito de influencia es local a regional.

7.3.1. L.I.G. Nº 1 Cristal. Cantera de calizas de Los Haitises (Plioceno)

El acceso al LIG Nº1 es fácil desde la autopista Santo Domingo-Samaná por la carretera de Cristal. Corresponde a la pequeña cantera de calizas de los Haitises (Plioceno), del borde Oeste de la Hoja de La Jagua, cerca del pueblo de Cristal (Foto 30; Foto 31):.

Las facies responden a calizas arrecifales con construcciones de corales, especialmente ramosos, fragmentadas o dispersas en un sedimento bioclástico con matriz micrítica (Foto 32Foto 33).

Además de los Corales, que constituyen el integrante principal, la unidad alberga un abundante contenido fosilífero que incluye Algas rojas, Miliólidos, Nummulítidos, Bivalvos, Gasterópodos, Briozoos, Ostrácodos y espículas de Equinodermos.

Desde la cantera se puede observar el resalto de la plataforma carbonatada (Falla de Los Haitises-Samaná Sur) con la llanura del bajo Yuna (Foto 34).

El interés de este LIG es fundamentalmente científico, con contenido esencialmente morfológico, estratigráfico, sedimentológico y tectónico, así que turístico. Su importancia puede considerarse como de nivel regional.



Foto 30: calizas de los Haitises; Ctra. de Cristal; Hoja de La Jagua; 46MJ9001_1; (Lat: 19,10018222; Long: -69,74888851)



Foto 31: calizas de los Haitises; Ctra. de Cristal; Hoja de La Jagua; 46MJ9001_1; (Lat: 19,10018222; Long: -69,74888851)



7.3.2. L.I.G. N° 2: Laguna de Cristal y Cueva del Muñeco de Oro

El acceso al LIG N° 2 es fácil desde la autopista Santo Domingo-Samaná, por la carretera de Cristal.

El LIG2a corresponde a la maravillosa pequeña Laguna de Cristal, ubicada al borde Norte de la plataforma carbonatada de los Haitises (Foto 35; Foto 36; Foto 37). La dolina, de 50 m de diámetro y más de 20m de profundidad, está alimentada en agua por un manantial, cabecera del pequeño río Cristal. La Falla de los Haitises-Sur de Samaná, que limita la plataforma carbonatada, favorece una línea de manantiales procedentes del borde del karst. Por barco se puede bajar el río Cristal (Foto 38; Foto 39; Foto 40) hasta el río Barracote-Yuna Sur y la Bahía de Samaná en 1 hora.

El LIG2b corresponde a la cueva del Muñeco de Oro, ubicada al Sur de Cristal, en el karst de los Haitises. Se accede en 20 mn a pie, acompañado por un guía del Parque Nacional, desde Cristal, siguiendo un sendero que sube al talud de la plataforma carbonatada en una zona cubierta por un bosque húmedo.

Se puede entra en la cueva con una linterna y apreciar las típicas estalactitas y estalagmitas que tapizan la cueva ocupada por murciélagos.

El interés de este LIG es esencialmente morfológico y turístico. Su importancia puede considerarse como de nivel local.



Foto 35: Laguna de Crista. Fondo de dolina con arcillas rojizas y agua. I; Hoja de La Jagua; 46MJ9002_5; (Lat: 19,0973994; Long: -69,7325619)

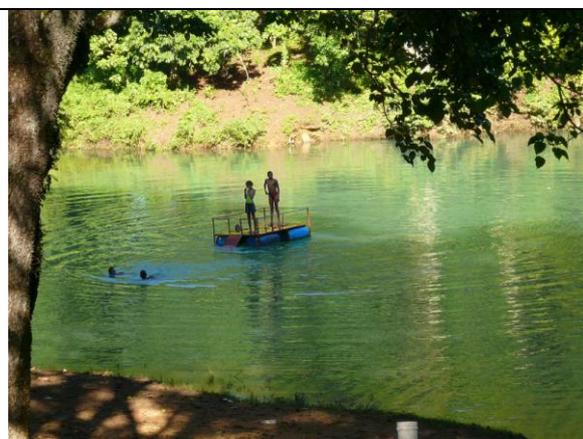


Foto 36: Laguna de Cristal. Fondo de dolina con arcillas rojizas y agua. ; Hoja de La Jagua; 46MJ9002_4; (Lat: 19,0973994; Long: -69,7325619)



Foto 37: Laguna de Cristal; Fondo de dolina con arcillas rojizas y agua.; Hoja de La Jagua; 46MJ9002_4; (Lat: 19,0973994; Long: -69,7325619)



Foto 38: Río Cristal; 46MJ9002_10 (Lat: 19,09739943 ; Long: -69,7325619); Hoja La Jagua-Palmar Nuevo



Foto 39: Río Cristal. 46MJ9003_7 (Lat: 19,09848506; Long: -69,72404597); Hoja La Jagua-Palmar Nuevo



Foto 40: Río Cristal. 46MJ9003_5 (Lat: 19,09848506; Long: -69,72404597); Hoja La Jagua-Palmar Nuevo



Foto 41: Cueva Muñeco de Oro; Cristal; Haitises. 46MJ9017_30 (Lat: 19,09468931; Long: -69,73150402); Hoja La Jagua-Palmar Nuevo



Foto 42: Entrada de la Cueva Muñeco de Oro; Cristal; Haitises. 46MJ9017_31 (Lat: 19,09468931; Long: -69,73150402); Hoja La Jagua-Palmar Nuevo



Foto 43: Vegetación del sendero de acceso a la Cueva del Muñeco de Oro; Cristal; Haitises. 46MJ9017_1(Lat: 19,09468931; Long: -69,73150402); Hoja La Jagua-Palmar Nuevo

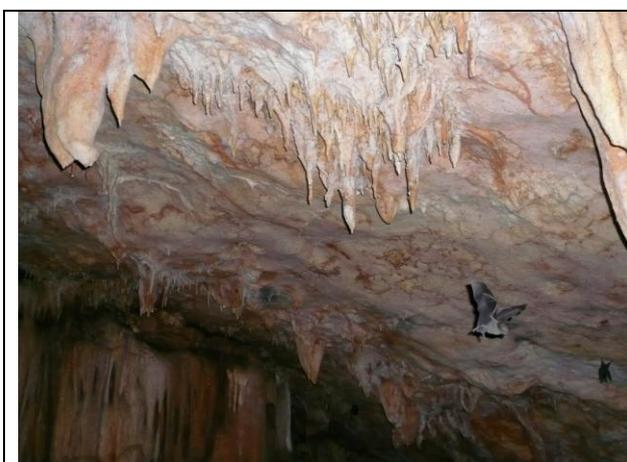


Foto 44: Cueva Muñeco de Oro; Cristal; Haitises. 46MJ9017_21 (Lat: 19,09468931; Long: -69,73150402); Hoja La Jagua-Palmar Nuevo

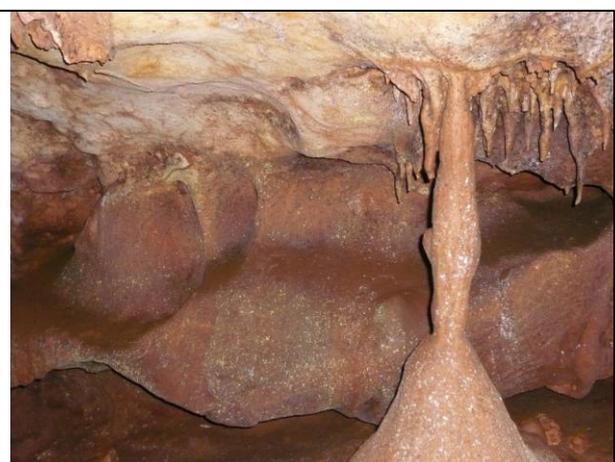


Foto 45: Cueva Muñeco de Oro; Cristal; Haitises. 46MJ9017_29 (Lat: 19,09468931; Long: -69,73150402); Hoja La Jagua-Palmar Nuevo

7.3.3. L.I.G. N° 3: Calizas de los Haitises (Plioceno); Naranjo Arriba; Bahía de Samaná

El acceso al LIG N°3 es fácil por mar desde Sánchez, Samaná o Sabana de la Mar. Corresponde a las calizas de los Haitises (Plioceno), del borde Sur de la Bahía de Samaná

En el LIG3a, se observan las calizas de los Haitises (Plioceno) cuyas facies responden a construcciones arrecifales de corales fragmentadas o dispersas en un sedimento bioclástico con matriz micrítica. El encoche del mar a 1m snm es muy nítido. (Foto 46; Foto 47).

El LIG3b, ubicado 1km más al Este, corresponde a la pequeña playa de Naranjo Arriba donde salen las aguas dulces del karst de Los Haitises (Foto 48; Foto 49).

El LIG3b ubicado 1,2 km al Este del punto anterior, corresponde a los cayos de calizas de La Ensenada del Naranjo aislados en las aguas de la Bahía de Samaná (Foto 50; Foto 51; Foto 52; Foto 53).

El interés de este LIG es fundamentalmente científico, con contenido esencialmente morfológico, estratigráfico, así que turístico. Su importancia puede considerarse como de nivel regional.



Foto 46: Cayo de la Bahía de Samaná; Haitises.
46MJ9006_2 (Lat: 19,08371354; Long: -69,58938777); Hoja La Jagua-Palmar Nuevo

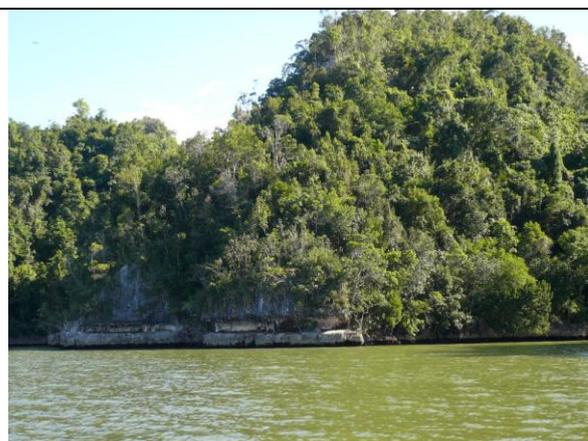


Foto 47: Cayo de la Bahía de Samaná; Haitises.
46MJ9006_5 (Lat: 19,08371354; Long: -69,58938777); Hoja La Jagua-Palmar Nuevo



Foto 48: Naranjo Arriba, Bahía de Samaná; Haitises.
46MJ9007_4 (Lat: 19,08758129; Long: -69,5707853); Hoja La Jagua-Palmar Nuevo

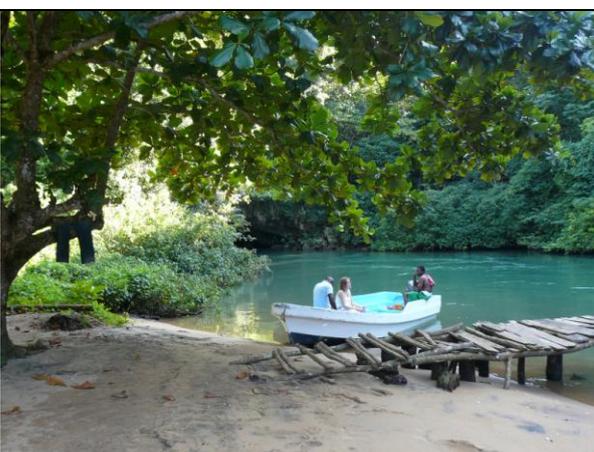


Foto 49: Naranjo Arriba, Bahía de Samaná; Haitises.
46MJ9007_5 (Lat: 19,08758129; Long: -69,5707853); Hoja La Jagua-Palmar Nuevo



Foto 50: Ensenada del Naranjo, Bahía de Samaná; Haitises. 46MJ9010_1 (Lat: 19,09297613; Long: -69,54543457); Hoja La Jagua-Palmar Nuevo



Foto 51: Ensenada del Naranjo, Bahía de Samaná; Haitises. 46MJ9011_2b (Lat: 19,0911405; Long: -69,54174779); Hoja La Jagua-Palmar Nuevo



Foto 52: Ensenada del Naranjo, Bahía de Samaná; Haitises. 46MJ9009_6 (Lat: 19,09389261; Long: -69,54738932); Hoja La Jagua-Palmar Nuevo



Foto 53: Ensenada del Naranjo, Bahía de Samaná; Haitises. 46MJ9009_3 (Lat: 19,09389261; Long: -69,54738932); Hoja La Jagua-Palmar Nuevo

7.3.4. L.I.G. N° 4: Calizas de los Haitises (Plioceno); Cueva del Infierno; Bahía de Samaná

El acceso al LIG N°43 es fácil por mar, desde Sánchez, Samaná o Sabana de la Mar. Corresponde a las Cueva del Infierno (Foto 54), del Angel y de Yonni, situadas en las calizas de los Haitises (Plioceno), del borde Sur de la Bahía de Samaná.

Las facies responden a construcciones arrecifales de corales fragmentadas o dispersas en un sedimento bioclástico con matriz micrítica. El encoche del mar, a 1m snm, es muy nítido (Foto 55).

El interés de este LIG es fundamentalmente científico, con contenido esencialmente morfológico, estratigráfico, así que turístico. Su importancia puede considerarse como de nivel regional.

	
<p>Foto 54: Cueva del Infierno Bahía de Samaná; Haitises. 46MJ9012_1 (Lat: 19,08726093; Long-69,50194532); Hoja La Jagua-Palmar Nuevo</p>	<p>Foto 55: Cueva del infierno Bahía de Samaná; Haitises. 46MJ9013_3 (Lat: 19,00156213; Long: -69,73183523); Hoja La Jagua-Palmar Nuevo</p>

8. Bibliografía

- ACUATER (2000).** Mapa Hidrogeológico Nacional. Planicie Costera Oriental, mapa N° 9/1/3 Escala 1:50 000. Programa SYSMIN, Proyecto J. Servicio Geológico Nacional, Santo Domingo.
- BARRET, W. (1962).** Emerged and submerged shorelines of the Dominican Republic. Rev. Geog., Inst. Panam. Geog. e Hist., 30, 51-77.
- BELLON, H., VILLA J.M., MERCIER de LEPINAY B. (1985).** Chronologie ^{40}K - ^{39}Ar et affinités géochimiques 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.
- BOISSEAU, M. (1987).** Le flanc nord-est de la Cordillère Centrale Dominicaine (Española, Grandes Antilles). Un édifice de nappes Crétacé polyphasé. Tesis Doctoral, Universidad Pierre y Marie Curie, París, 200 pp.
- BOURDON, L. (1985).** La Cordillère Orientale Dominicaine (Hispaniola, Grandes Antilles). un arc insulaire crétaqué 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 central Dominican Republic. Tesis Doctoral. Universidad de Princeton, Nueva Jersey, 211 pp.

- 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 Geológica del Caribe, Santo Domingo, República Dominicana. Memorias, 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 Caribbean? 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 processes 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. AECl-Dnp. 84 pp.

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

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

DE ZOETEN R., 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 DEL OLMO, F., CÁMARA ARTIGAS, R. (1993) Niveaux marins, chronologie isotopique et karstification en République Dominicaine. Karstología, 22, 2, 52-54

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,

DÍAZ DE NEIRA, J.A., HERNAIZ HUERTA, P.P. (2004). Mapa Geológico de la Hoja a E. 1:50.000 nº 6272-I (Antón Sánchez) y Memoria correspondiente. Proyecto de Cartografía Geotemática de la República Dominicana. Programa SYSMIN, Proyecto L. Servicio Geológico Nacional, Santo Domingo.

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

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.

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

DIXON T.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.F. (1988). Paleogene sedimentary basin development in the eastern Greater Antilles; Three studies in active-margin sedimentology. Tesis Doctoral, Universidad de California, Santa Cruz, 235 pp.

DOLAN, J.F., MANN, P. (EDS.) (1998). Active Strike-Slip and Collisional Tectonics of the Northern Caribbean Plate Boundary Zone. Geological Society of America Special Paper 326, 174 pp.

DOLAN J., 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., 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.
- EPTISA (2004).** Estudio hidrogeológico Nacional de la República Dominicana. Fase Programa SYSMIN, Proyecto N. Servicio Geológico Nacional. Santo Domingo.
- GABB, W. M. (1881).** On the topography and geology of Santo Domingo. *Am. Philos. Soc. Trans.*, n.s., XV, 49-259.
- GARCÍA SENZ, J. (2004).** Mapa Geológico de la Hoja a E. 1:50.000 nº 6372-III (Hato Mayor) y Memoria correspondiente. Proyecto de Cartografía Geotemática de la República Dominicana. Programa SYSMIN, Proyecto L. Servicio Geológico Nacional, Santo Domingo.
- GARCIA-SENZ J., MONTHEL J., DIAZ de NEIRA A., HERNAIZ HUERTA P.P., CALVO J.P., ESCUDER VIRUETE J. (2007).** Estratigrafía del Cretácico Superior de la Cordillera Oriental de la Republica 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.
- GEISTER, J. (1982).** Pleistocene reef terraces and coral environments at Santo Domingo and near Boca Chica, southern coast of the Dominican Republic. 9ª Conferencia Geológica del Caribe (Santo Domingo, 1980), 2, 689-703.

- HERNAIZ, P.P. (2004).** Mapa Geológico de la Hoja a E. 1:50.000 nº 6272-III (Monte Plata) y Memoria correspondiente. Proyecto de Cartografía Geotemática de la República Dominicana. Programa SYSMIN, Proyecto L. Servicio Geológico Nacional, Santo Domingo.
- 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.
- ITURRALDE. (2001):** Geology of the amber-bearing deposits of the Greater Antilles. *Caribbean Journal of Science*, 37, 3-4: 141-167.
- 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.
- 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., SCHELLECKENS, 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.
- 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

- LEA, D.W., MARTIN, P.A., PAK, D.K., SPERO, H.J. (2002).** Reconstruction a 350 ky history of sea-level using planktonic Mg/Ca and oxygen isotope records from a Cocos Ridge core. *Quaternary Science Reviews*, 283, 283–293.
- LEBRÓN, M.C., MANN, P. (1991).** Geologic Map of the Eastern Dominican Republic. En MANN, P., DRAPER, G., LEWIS, J.F. (eds.). *Geologic and tectonic development of the North America-Caribbean plate boundary in Hispaniola*. Geological Society of America Special Paper, 262, 401 pp.
- MANN, P. (1983).** Cenozoic tectonics of the Caribbean structural and stratigraphic studies in Jamaica and Hispaniola. Tesis Doctoral. Universidad de Nueva York, Albany, 688 pp. (Inédito).
- MANN, P., DRAPER, G., LEWIS, J.F., Eds. (1991).** 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 Word* (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.

MARCANO, E., TAVARES, I. (1982). Formación La Isabela, Pleistoceno temprano.

Publicaciones especiales Museo Nacional de Historia Natural, 3, Santo Domingo, 30 pp.

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.

MERCIER DE LEPINAY, B. (1987). L'évolution géologique de la bordure Nord-Caraïbe:

L'exemple de la transversale de l'île d'Hispaniola (Grandes Antilles). Tesis Doctoral, Universidad Pierre y Marie Curie, 378 pp. (Inédito).

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 de la Hoja a E. 1:50.000 n° 6372-III (El Valle) y Memoria

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

MONTHEL, J., CAPDEVILLE, J. (2004). Mapa Geológico de la Hoja a E. 1:50.000 n° 6272-II

(Bayaguana) y Memoria correspondiente. Proyecto de Cartografía Geotemática de la República Dominicana. Programa SYSMIN, Proyecto L. Servicio Geológico Nacional, Santo Domingo.

- MONTHEL, J., NICOL, N., FONDEUR, L., GENNA, A. (2004).** Mapa Geológico de la Hoja a E. 1:50.000 nº 6272-IV (Sabana Grande de Boyá) y Memoria correspondiente. Proyecto de Cartografía Geotemática de la República Dominicana. Programa SYSMIN, Proyecto L. Servicio Geológico Nacional, Santo Domingo
- NAGLE, F. (1966).** Geology of the Puerto Plata area, Dominican Republic. Tesis Doctoral. Universidad de Princeton, Nueva Jersey, 171 pp. (Inédito).
- 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.
- PÉREZ-ESTAÚN, A., HERNAIZ, P.P., LOPERA, E., JOUBERT, M., Eds. (2007).** Geología de la República Dominicana. Boletín Geológico y Minero, IGME, 118-2, 155-413.
- PÉREZ-ESTAÚN, A., TAVARES, I., GARCÍA CORTES, A., HERNAIZ, P.P., Eds. (2002).** Evolución geológica del margen norte de la Placa del Caribe, República Dominicana. Acta Geologica Hispanica, 37, 77-80.
- PINDELL, J.L., 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.
- PROINTEC (1999).** Prevención de Riesgos geológicos (Riesgo sísmico). Programa SYSMIN, Proyecto D. Servicio Geológico Nacional, Santo Domingo.
- RODRÍGUEZ, H., FEBRILLET, J.F. (1982).** Potencial hidrogeológico de la República Dominicana. Boletín Geológico y Minero, IGME, 117-1, 187-200.

- SCHUBERT, C., COWART, J.B. (1982).** Terrazas marinas del pleistoceno a lo largo de la costa suroriental de la Rep. Dominicana: cronología preliminar. 9ª Conferencia Geológica del Caribe (Santo Domingo, 1980), 2, 681-688.
- TAYLOR, F.W., MANN, P., VALASTRO, S., BURKE, K. (1985).** Stratigraphy and radiocarbon chronology of a subaerially exposed Holocene coral reef, Dominican Republic. *Journal of Geology*, 93, 311-332
- 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.
- VALLADARES, S., LÓPEZ, J.G., SÁNCHEZ, J., DOMÍNGUEZ, R., PROL, J., MARRERO, M., TENREYRO, R. (2006):** Evaluación preliminar del potencial de hidrocarburos de la República Dominicana. Centro de Investigaciones del Petróleo. 129 pp. (Inédito).
- 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. En Editora de Santo Domingo. Colección de Cultura Dominicana de la Sociedad Dominicana de Bibliófilos, Santo Domingo, 18 (1983), 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.