



SERVICIO GEOLÓGICO NACIONAL  
REPÚBLICA DOMINICANA

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

**LA CIENAGA  
(5970-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 (TYPESA) del Programa SYSMIN

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

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

#### SUPERVISIÓN TÉCNICA POR PARTE DEL Servicio Geológico Nacional

- Ing. 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 de La Ciénaga está ubicada en el SW de la República dominicana, en una zona montañosa del borde Este de la Sierra de Bahoruco. El mar caribe ocupa un tercio de la superficie.

En este sector, afloran materiales mesozoicos (Cretácico), de origen volcánica, y cenozoicos que pueden agruparse en dos grandes conjuntos: Paleógeno-Mioceno de ambientes marinos de poco a medio profundo y Cuaternario de carácter fluvial o de afinidad litoral.

Durante el Cretácico, se depositan las rocas volcánicas y volcanoclásticas básicas, de la Fm Dumisseau, relacionadas con el arco-isla caribeño y la meseta oceánica.

Al Eoceno inferior-medio, se depositan las calizas masivas de la Ud de Polo, típicamente de algas rojas, en ocasiones formando rodolitos pluricentimétricos. Constituyen los primeros fuertes relieves del frente del Mar Caribe, por encima del volcanismo cretácico.

Al Eoceno superior-Oligoceno inferior, se deposita, en continuo sobre la Ud de Polo o discordantemente sobre la Fm Dumisseau, una potente y monótona sucesión de calizas masivas y tableadas con silex del miembro inferior (Eoceno superior-Oligoceno inferior) de la Fm Neiba, seguidas de las calizas tableadas margosas con silex y margas del miembro superior (Oligoceno inferior-Mioceno inferior).

Durante el Mioceno medio-superior, se deposita, al NE y SO de la Hoja, gradualmente por encima de la Fm Neiba, una sucesión de calizas beige, en ocasiones masivas con fauna somera, que intercalan bancos de margas, de la Ud de Barahona.

Los depósitos cuaternarios son esencialmente continentales: abanicos aluviales, coluviones, arcillas de descalcificación, terrazas, fondos de valle. Los depósitos litorales (playas y arrecifes), ocupan una estrecha banda en esta costa abrupta donde la Sierra de Bahoruco se hunde en el Mar Caribe a favor de la Falla regional de Beata

La estructura general de la Hoja de La Ciénaga es la de un domo incompleto de flancos con poco buzamiento, que se interrumpe en su parte Oeste, en el mar caribe. Procede de la evolución de un anticlinorio de dirección NO-SE que está presente en las Hojas más occidentales (La Salina, Polo) y colindantes (Barahona, Enriquillo).

Las calizas de la Fm Neiba ocupan las lomas de la parte central, surmontadas por las calizas masivas de la Ud de Barahona en los flancos SO y NE. Las volcanitas cretácicas de la Fm Dumisseau, ocupan el núcleo anticlinal principal a nivel del Mar Caribe y dos pequeños núcleos al interior de la Sierra.

La deformación y el levantamiento de la Sierra de Bahoruco, iniciados aquí durante el Plioceno superior (?)-Pleistoceno, han continuado durante todo el Holoceno hasta la actualidad, como pone de manifiesto la superposición y el encajamiento de varios sistemas de abanicos aluviales, la emersión de los arrecifes cuaternarios del ámbito de playa Andina y las fallas que afectan los conglomerados de los abanicos aluviales de la Playa Azul.

De un punto de vista minero, se debe subrayar la presencia de la mina de Larimar (pectolita azul) de Los Chesees, en los afloramientos volcanosedimentarios del centro de la Hoja. Se trata de la única mina de este tipo en el mundo.

## ABSTRACT

The 1:50,000-scale La Ciénaga map area (Sheet 5970-II), in the southwest of the Dominican Republic, covers a mountainous zone at the eastern edge of the Sierra de Bahoruco. The Caribbean Sea occupies a third of the area.

This region contains exposures of Mesozoic (Cretaceous) volcanic formations and Cenozoic formations that can be grouped into two large units: Paleogene-Miocene shallow- to medium-water marine deposits and Quaternary fluvial and littoral deposits.

The Cretaceous volcanic and volcanosedimentary deposits of the Dumisseau Formation are associated with the Caribbean island arc and ocean plateau

The Early-Middle Eocene massive limestone of the Polo Unit, with typical red algae and local multi-centimetre rodolite garnets, makes up the first high relief rising from the Caribbean Sea and overlying the Cretaceous volcanic rocks.

The Late Eocene – Early Oligocene lower member of the Neiba Formation was then follows conformably on the Polo Unit and unconformably on the Dumisseau Formation as a thick monotonous succession of massive and bedded flinty limestone. This is followed by the Early Oligocene– Early Miocene upper member comprising bedded flint-bearing marly limestone and marl.

Conformably overlying the Neiba Formation to the northeast and southwest of the fault is the Middle-Late Miocene Barahona Unit, a succession of beige, locally massive, limestone with a shallow-water fauna and marly intercalations.

The Quaternary deposits are mainly continental: alluvial fans, colluvium, decalcification clay, terraces, valley-bottom alluvium. Littoral deposits (beaches, reefs) form a narrow fringe to this steep coast where the Sierra de Bahoruco plunges into the Caribbean Sea along the Beata Fault.

The general structure of the Ciénaga area is an incomplete shallow-sided dome that is interrupted on its west side in the Caribbean Sea. It derives from the development of a NW-SE anticlinorium present in the neighbouring map areas (Barahona, Enriquillo) and those farther to the west (La Salina, Polo).

Neiba Formation limestone also forms the peaks in the central part of the area with the overlying Barahona Unit limestone on the southwest and northeast flanks. The Cretaceous volcanites of the Dumisseau Formation occupy the core of the main anticline at Caribbean Sea level and two small anticlinal cores within the Sierra.

The deformation and uplift of the Sierra de Bahoruco, in this area, began during the Late Pliocene (?) – Pleistocene, and continued through the Holocene to the present day, as indicated by the superposition and over-deepening of several alluvial fan systems, the

exposure of Quaternary reefs at Andina beach, and the faults affecting fanconglomerates of the Azul beach.

From a mining viewpoint, mention must be made of the Los Cheseles Larimar mine (blue pectolite) in the volcanosedimentary exposures in the centre of the area; it is the only mine of this type in the world.

<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>24</b>
<b>1.1. Metodología.....</b>	<b>24</b>
<b>1.2. Situación geográfica.....</b>	<b>26</b>
<b>1.3. Marco Geológico.....</b>	<b>33</b>
<b>1.4. Antecedentes .....</b>	<b>41</b>
<b>2. ESTRATIGRAFIA .....</b>	<b>44</b>
<b>2.1. Cretácico .....</b>	<b>44</b>
<b>2.1.1. La Formación Dumisseau (Volcanismo basáltico Cretácico superior) .....</b>	<b>44</b>
2.1.1.1. Generalidades.....	44
2.1.1.2. La Formación Dumisseau en la Hoja de La Ciénaga.....	46
2.1.1.2.1. Fm Dumisseau (1) Basaltos, piroclastitas y epiclastitas (Cretácico superior K <sub>2</sub> ).....	46
<b>2.2. Paleógeno-Neógeno .....</b>	<b>54</b>
<b>2.2.1. <u>Eoceno-Mioceno Inferior</u>.....</b>	<b>55</b>
2.2.1.1. Unidad de Polo (Eoceno) .....	55
2.2.1.1.1. Generalidades .....	55
2.2.1.1.2. Ud de Polo en la Hoja de La Ciénaga.....	55
2.2.1.1.2.1. Ud de Polo (2) Calizas masivas con rodolitos y foraminíferos-Eoceno inferior-medio (P <sub>2</sub> <sup>1</sup> -P <sub>2</sub> <sup>2</sup> ) .....	56
2.2.1.2. La Formación Neiba (Eoceno superior-Mioceno inferior).....	59
2.2.1.2.1. Generalidades .....	59
2.2.1.2.2. La Formación Neiba en la Hoja de La Ciénaga.....	60
2.2.1.2.2.1. Fm Neiba (Mb inferior) (3). Calizas masivas y calizas micríticas tableadas con silex. Eoceno superior-Oligoceno Inferior basal. (P <sub>2</sub> <sup>3</sup> -P <sub>3</sub> <sup>1</sup> ) .....	60
2.2.1.2.2.2. Fm Neiba (Mb superior) (4). Calizas margosas tableadas con silex y margo-calizas. Oligoceno Inferior-Mioceno inferior (P <sub>3</sub> <sup>1</sup> -N <sub>1</sub> <sup>1</sup> ).....	64
<b>2.2.2. Mioceno superior.....</b>	<b>67</b>
2.2.2.1. La Unidad de Barahona (Mioceno medio-superior) .....	67
2.2.2.1.1. Generalidades .....	67

2.2.2.1.2. La Unidad de Barahona en la Hoja de La Ciénaga .....	68
2.2.2.1.2.1. Unidad de Barahona (5). Calizas masivas beige y margosas blancas. Mioceno medio-superior ( $N_1^2$ - $N_1^3$ ) .....	68
<b>2.3. Cuaternario.....</b>	<b>70</b>
<b>2.3.1. Pleistoceno .....</b>	<b>71</b>
2.3.1.1. Abanicos aluviales y conos de deyección antiguos (6). Conglomerados, gravas y arenas. Pleistoceno (Q1-3) .....	71
<b>2.3.2. Holoceno .....</b>	<b>73</b>
2.3.2.1. Abanicos aluviales y conos de deyección actuales (7). Gravas y arenas (Q4).....	73
2.3.2.2. Coluviones (8): Gravas, arenas y limos; Cuaternario (Q4) .....	73
2.3.2.3. Fondos de valle (9): Arenas, gravas y cantos; Cuaternario (Q4) .....	76
2.3.2.4. Lagunas (10) Limos, arenas y gravas. Cuaternario (Q4).....	78
2.3.2.5. Arcillas de descalcificación (11a); fondos de dolinas (11b). Cuaternario (Q4).....	78
2.3.2.6. Terrazas (12): Gravas y arenas. Cuaternario (Q4) .....	79
2.3.2.7. Playas. (13) Cantos, gravas, arenas y localmente Beach-rocks Cuaternario (Q4).....	80
2.3.2.8. Arrecifes. (14) Calizas biogénicas. Cuaternario (Q4).....	81
<b>3. PETROLOGIA, GEOQUIMICA y DATACIONES de las rocas basálticas de la Fm Dumisseau (ver informe complementario; Javier Escuder Viruete, IGME, 2009) .....</b>	<b>83</b>
<b>3.1.1. Introducción.....</b>	<b>83</b>
<b>3.1.2. Contexto geológico .....</b>	<b>84</b>
3.1.2.1. La Provincia ígnea Caribeña .....	84
3.1.2.2. Afloramientos del CLIP en La Española .....	86
3.1.2.3. Correlaciones.....	87
3.1.2.4. La Fm Dumisseau en la Sierra de Bahoruco .....	89
<b>3.1.3. Petrología.....</b>	<b>90</b>

3.1.3.1. Basaltos porfídicos con orto y clinopiroxeno (5970IIMJ9111: Lat: 18,01945492; Long: -71,21946417) vesiculares (5970IJE9624C) .....	90
3.1.3.2. Basaltos porfídicos con clinopiroxeno y plagioclasa (5970IJE9623, 5970IIMJ9142 (Lat: 18,03052984 ; Long: -71,13629146) .....	92
3.1.3.3. Basaltos y basaltos andesíticos afaníticos, fluidales y vesiculares (5970IJE9624D; (5970IIMJ9027: Lat: 18,08327716; Long: -71,09509047); y basaltos afaníticos (5970IJE9624B y 5970IJE9619).....	93
3.1.3.4. Doleritas con orto y clinopiroxeno (5970IJE9625); .....	94
3.1.3.5. Doleritas y microgabros con clinopiroxeno y plagioclasa (5970IIMJ9177: Lat: 18,12002954 ;Long: -71,13784254) (5970IJE9624).....	95
3.1.3.6. Ferrodoleritas (5970IIMJ9150: Lat: 18,05434417; Long: -71,11563829) .....	96
<b>3.1.4. Geoquímica.....</b>	<b>97</b>
3.1.4.1. Metodología y Técnicas Analíticas .....	97
3.1.4.2. Descripción de los materiales de la Fm Dumisseau .....	100
3.1.4.2.1. Toleitas pobres en Ti (tipo I) .....	103
3.1.4.2.2. Basaltos ricos en Ti (tipo II) .....	103
3.1.4.2.3. Basaltos alcalinos ricos en Ti y en LREE (tipo III).....	104
3.1.4.3. Interpretación y correlaciones .....	104
<b>3.1.5. Geocronología.....</b>	<b>111</b>
3.1.5.1. Muestra 116MJ911. Basaltos de la Fm Dumisseau.....	111
3.1.5.2. Muestra 116MJ9150: Dique dolerítico cortando la Fm Dumisseau.....	113
<b>4. TECTONICA .....</b>	<b>115</b>
<b>4.1. Contexto geodinámico de la isla La Española.....</b>	<b>115</b>
<b>4.2. Marco geológico-estructural de la Península de Batoruco.....</b>	<b>118</b>
<b>4.3. Estructura de la zona de estudio .....</b>	<b>121</b>
<b>4.3.1. La fracturación .....</b>	<b>122</b>
<b>4.3.2. Edad de la deformación .....</b>	<b>123</b>
<b>4.3.3. Correlación de la estructura con el mapa de aeromagnético.....</b>	<b>123</b>

4.3.3.1. Anomalías relacionadas con la litología .....	124
4.3.3.2. Anomalías relacionadas con estructuras.....	125
<b>4.4. Modelo de evolución tectónica de la zona de estudio y edad de la deformación .....</b>	<b>125</b>
4.5. Estructuras de la Hoja La Ciénaga.....	125
<b>4.5.1. Las deformaciones.....</b>	<b>126</b>
4.5.1.1. Estructura central.....	126
4.5.1.2. Estructura SO .....	127
4.5.1.3. Estructuras NE y Norte .....	127
<b>4.5.2. Las fallas.....</b>	<b>129</b>
4.5.2.1. Las fallas regionales .....	129
4.5.2.2. Las fallas secundarias .....	131
4.5.2.3. Las Fallas actuales .....	133
<b>4.5.3. Cronología de la deformación .....</b>	<b>136</b>
<b>5. GEOMORFOLOGÍA.....</b>	<b>136</b>
<b>5.1. Análisis geomorfológico .....</b>	<b>136</b>
<b>5.1.1. Estudio morfoestructural.....</b>	<b>136</b>
5.1.1.1. Formas estructurales .....	137
<b>4.1.1. Procesos morfogenéticos .....</b>	<b>138</b>
<b>4.1.1.1. Depósitos de origen gravitacional.....</b>	<b>138</b>
<b>4.1.1.2. Depósitos de origen fluvial y de escorrentía superficial.....</b>	<b>138</b>
<b>4.1.1.3. Depósitos de origen marina-litoral .....</b>	<b>139</b>
5.1.1.2. Depósitos originados por meteorización química .....	140
5.1.1.3. Depósitos de origen poligénica .....	140
<b>5.2. Evolución e historia geomorfológica .....</b>	<b>140</b>

<b>6. HISTORIA GEOLOGICA.....</b>	<b>143</b>
<b>6.1. El plateau oceánico del Cretácico Superior .....</b>	<b>144</b>
<b>6.2. La Cuenca del Paleógeno al Mioceno Superior .....</b>	<b>145</b>
<b>6.3. La Cuenca del Mioceno Superior al Plioceno .....</b>	<b>147</b>
<b>6.4. La Sierra de Bahoruco del Pleistoceno al Holoceno .....</b>	<b>148</b>
<b>7. GEOLOGÍA ECONÓMICA.....</b>	<b>149</b>
<b>7.1. Hidrogeología.....</b>	<b>149</b>
<b>7.1.1. Climatología.....</b>	<b>149</b>
<b>7.1.2. Hidrología .....</b>	<b>153</b>
<b>7.1.3. Hidrogeología .....</b>	<b>156</b>
7.1.3.1. Formaciones con permeabilidad alta por porosidad intergranular (Cuaternario) .....	157
7.1.3.2. Formaciones con permeabilidad media por fracturación y carstificación (Mioceno medio-superior).....	157
7.1.3.3. Formación con permeabilidad baja a muy baja por fracturación y karstificación (Oligoceno) .....	158
7.1.3.4. Formación con permeabilidad alta por fracturación y karstificación (Eoceno).....	158
7.1.3.5. Formación con permeabilidad baja por fracturación (Cretácico).....	158
7.1.3.6. Funcionamiento hidrogeológico y balance hídrico .....	160
7.1.3.6.1. Recarga.....	160
7.1.3.6.2. Descarga .....	160
7.1.3.6.3. Balance hídrico.....	160
<b>7.2. Recursos minerales.....</b>	<b>161</b>
<b>7.3. Oro y sustancias polimetálicas.....</b>	<b>162</b>
<b>7.4. Rocas industriales y ornamentales .....</b>	<b>163</b>

<b>7.4.1. Materiales de construcción .....</b>	<b>163</b>
<b>7.4.2. Mina de Larimar .....</b>	<b>164</b>
7.4.2.1. Geología del yacimiento.....	165
7.4.2.2. El Larimar .....	167
<b>8. LUGARES DE INTERÉS GEOLÓGICO.....</b>	<b>170</b>
<b>8.1. Introducción .....</b>	<b>170</b>
<b>8.2. Relación de los Lugares de Interés Geológicos. ....</b>	<b>171</b>
<b>8.3. Descripción de los Lugares .....</b>	<b>173</b>
8.3.1. L.I.G. N° 1 Mina de Larimar de Los Cheseses (La Ciénaga) .....	173
8.3.2. L.I.G. N° 2: Volcanitas basálticas de la Fm Dumisseau y panorámica de la zona de derrumbe (San Rafael).....	175
8.3.3. L.I.G. N°3: Calizas de la Ud de Polo y Fm Neiba Mb Inf (Eoceno) y terrazas colgadas ( Río Bahoruco).....	179
8.3.4. L.I.G. N°4: Falla actual en las gravas del abanico aluvial antiguo (Playa Azul) .....	181
<b>9. BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>186</b>

## LISTA DE LAS FIGURAS:

- Fig. 1: Ubicación de la Hoja de La Ciénaga (5970-I) en el marco del proyecto SYSMIN II ...27
- Fig. 2: SRTM de la Península de Bahoruco con la ubicación de la Hoja 1:50.000 de La Ciénaga.....28
- Fig. 3: SRTM detalle de la Hoja 1:50.000 de La Ciénaga .....29
- Fig. 4: 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 .....36
- Fig. 5: 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). .....37
- Fig. 6: (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 senestro origina la actividad neotectónica y creación de relieve.....38
- Fig. 7: Principales unidades Morfotectónicas de La Española (Según Lewis y Draper ,1991, modificado por los trabajos SYSMIN, en Boletín IGME) .....39
- Fig. 8: Mapa de los terrenos tectonoestratigráficos de La Española según Mann et al. (1991): (1) Samaná; (2) Puerto Plata-Pedro García-Río San Juan; (3) Altamira; (4) Seibo; (5) Oro; (6) Tortue-Maimón-Amina; (7) Loma Caribe-Tavera; (8) Duarte; (9) Tireo; (10) Trois Rivières-Peralta (11) Presq'île du Nord-Ouest-Neiba; y (12) Hotte-Selle-Bahoruco. Zonas de Falla: ZFRG, Río Grande; ZFS, Septentrional; ZFBG, Bonao-La Guácara; ZFH, Hatillo; ZFLE, La Española; ZFEPG, Enriquillo Plantain Garden; ZFSJR, San José-Restauración ; ZFLPSJ, Los Pozos-San Juan (Según Lewis y Draper ,1991, modificado por los trabajos SYSMIN, en Boletín IGME) .....39
- Fig. 9: Esquema geológico de La Española con la ubicación de mapa de La Ciénaga en la Península de Bahoruco .....40
- Fig. 10: Mapa geológico de la Sierra de Bahoruco, con la ubicación de la hoja de La Ciénaga .....41
- Fig. 11: Mapa aeromagnético (campo total reducido al polo) de la Hoja de La Ciénaga.....47
- Fig. 12 Corte de la mina de Larimar y secuencia volcánica al interior y al exterior de la mina según J.A. Espí (2007). Los Cheseses, Hoja de La Ciénaga (Entrada galería: Lat: 18,11967524; Long: -71,1396366) .....53
- Fig. 13: Columnas estratigráficas esquemática de las diferentes unidades que componen la provincia ígnea Caribeña (CLIP) en el borde septentrional de la placa del Caribe, en la que se incluye la Sierra de Bahoruco. Las columnas incluyen los datos de edades paleontológicas y geocronológicas. Fuentes; a, Kerr et al. (2002); b, Sen et al. (1988) ; c, Révillon et al. (2000); d, Jolly et al. (2007); e, Escuder-Virujete et al. (2009); y f, Sinton et al. (1998). MMqCh, Middle Mariquita Chert; UMqCh, Upper Mariquita Chert; UCj, Fm Upper Cajul; Bqn, Fm Boquerón; SbG, Fm Sabana Grande; DC, Complejo Duarte ; CFm, Fm Constanza; RFm, Fm Restauración; PB, Fm Peña Blanca; PPDB, Fm basaltos de Pelona-Pico Duarte; SC, Fm Siete Cabezas. Las edades  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  muestran las barras de error (en  $2\sigma$ ). La escala de tiempo es de Gradstein et al. (2004). La banda amarilla muestra el rango de edades obtenido para la PVD .....88
- Fig. 14.: Características geoquímicas de la Fm Dumisseau en la Sierra de Bahoruco, mostrando como comparación los campos composicionales de las ígneas de la Dorsal

de Beata (Révillon et al., 2000), los basaltos de la Fm Pelona-Pico Duarte y del CLIP (Sinton et al., 2000). (a y b) Diagramas de Wood (1980) y Meschede (1986); (c) Diagrama de Nb/Y frente a Zr/TiO <sub>2</sub> ; y (d) Diagrama Ti-V de Shervais (1983).....	106
Fig. 15. (a y b) Diagramas de TiO <sub>2</sub> , Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Nb (ppm), Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Nb/Th (ppm) y Zr/Nb (ppm) frente al Mg# e Y (e), para los basaltos de la Fm Dumisseau en la Sierra de Bahoruco, mostrando como comparación los campos composicionales de las ígneas de la Dorsal de Beata (Révillon et al., 2000), los basaltos de la Fm Pelona-Pico Duarte y del CLIP (Sinton et al., 1998).....	107
Fig. 16: (a, b, c y d) Diagramas multielementales traza normalizados respecto a N-MORB (Sun y McDonough, 1989) de los basaltos de la Fm Dumisseau en la Sierra de Bahoruco, mostrando como comparación los campos composicionales de las ígneas de la Dorsal de Beata (Révillon et al., 2000), los basaltos de la Fm Pelona-Pico Duarte, los basaltos de la Fm Siete Cabezas, y de la Fm Dumisseau (Sen et al., 1988; Sinton et al., 1998).....	108
Fig. 17: (a, b, c y d) Diagramas multielementales traza normalizados respecto a N-MORB (Sun y McDonough, 1989) de los diversos tipos geoquímicos de basaltos de la Fm Dumisseau en la Sierra de Bahoruco, y su comparación con los campos composicionales de las ígneas de la Dorsal de Beata (Révillon et al., 2000), y de la Fm Dumisseau (Sen et al., 1988; Sinton et al., 1998).....	109
Fig. 18: Diagramas de elementos traza extendidos normalizados respecto al manto primordial (Sun y McDonough, 1989) de los diversos tipos geoquímicos de basaltos de la Fm Dumisseau en la Sierra de Bahoruco, y su comparación con los campos composicionales de los basaltos, doleritas y gabros de la Dorsal de Beata (Révillon et al., 2000), de basaltos representativos del CLIP de Colombia, Curaçao, la Fm Dumisseau (Sen et al., 1988; Sinton et al., 1998), y del DSDP Leg 15 en el Mar Caribe (Sinton et al., 2000); y de la Fm Cajul Superior en Puerto Rico (Jolly et al., 2008) .....	110
Fig. 19 : Situación de las muestras de basaltos (en verde) para las dataciones absolutas. Hoja de La Ciénaga.....	111
Fig. 20 : Resultados de la datación Ar-Ar, roca total, de un basalto de la Fm Dumisseau; Rio Sitio (Hoja de La Ciénaga). (Muestra 116MJ9111 (WR) Lat: 18,019464; Long: -71,219464).....	112
Fig. 21 : Resultados de la datación Ar-Ar, roca total de un dique dolerítico, cortando los basaltos alterados de la Fm Dumisseau; Carretera de la costa, al Sur de Bahoruco. (Muestra 116MJ9150 (WR): Lat: 18,054344; Long: -71115638).....	114
Fig. 22: Contexto geodinámico de la placa del Caribe.....	115
Fig. 23: Contexto geodinámico de la placa del Caribe : situación de la Península de Bahoruco.....	116
Fig. 24: 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. ....	118
Fig. 25: Síntesis estructural de la Península de Bahoruco y situación de la Hoja de La Ciénaga.....	119
Fig. 26: Cortes geológicos sintéticos de la Península de Bahoruco.....	120
Fig. 27: Aspectos más destacados de la historia geológica de la Península de Bahoruco..	121
Fig. 28: Superposición del aeromagnetismo reducido al polo sobre el SRTM de la Península de Bahoruco.....	124
Fig. 29: Precipitaciones mensuales medias en la Sierra de Bahoruco, con la estación de Villa Nizao en la Hoja de la Ciénaga (Datos Eptisa, Proyecto SYSMIN, 2004).....	150
Fig. 30: Evolución interanual de la precipitación en la Sierra de Bahoruco, con la estación de Villa Nizao en la Hoja de La Ciénaga (Datos Eptisa, Proyecto SYSMIN, 2004).....	150
Fig. 31: Mapa de las isoyetas para un año medio de precipitación en la Sierra de Bahoruco, con la situación de la Hoja de La Ciénaga (Datos Eptisa, Proyecto SYSMIN, 2004) ..	151

Fig. 32: Temperaturas medias mensuales en la Sierra de Bahoruco (Datos Eptisa, Proyecto SYSMIN, 2004) .....	152
Fig. 33: Mapa de la red hidrográfica e infraestructuras hidráulicas en la Sierra de Bahoruco, con la situación de la Hoja de La Ciénaga (Datos Eptisa, Proyecto SYSMIN, 2004) ..	155
Fig. 34: Plan de distribución de zonas de funcionamiento hidrogeológico de la Sierra de Bahoruco, con la situación de la Hoja de La Ciénaga (cuadro rojo) (Datos Eptisa, Proyecto SYSMIN, 2004) .....	159
Fig. 35: Ubicación de los indicios, canteras y vertedero de la Hoja de La Ciénaga.....	162
Fig. 36 : Situación de los Lugares de Interés Geológico de la Hoja de La Ciénaga .....	173

#### LISTA DE LAS TABLAS:

Tabla 1: Análisis geoquímicos de roca total.....	101
Tabla 2 : Precipitación anual (en mm) para los años tipo de la Sierra de Bahoruco con la estación de Villa Nizao en la Hoja de La Ciénaga (Datos Eptisa, Proyecto SYSMIN, 2004).....	151
Tabla 3: Estaciones termométricas de la Sierra de Bahoruco, con la temperatura media anual en °C (Datos Eptisa, Proyecto SYSMIN, 2004).....	152
Tabla 4: Lluvia útil anual (mm) para las subunidades hidrogeológicas de la Sierra de Bahoruco con el sinclinal de Nizaito incluido en la Hoja de La Ciénaga (Datos Eptisa, Proyecto SYSMIN, 2004) .....	153
Tabla 5 : Canales principales de riegos.....	154
Tabla 6 : Estaciones de aforo y periodo de control de las series (Año de inicio-Año de finalización), así como los caudales (expresados en m <sup>3</sup> /s) máximos y mínimos históricos y la media mensual obtenida a partir del total de medidas (Datos Eptisa, Proyecto SYSMIN, 2004) .....	156
Tabla 7: Caudales medios mensuales (en m <sup>3</sup> /s) obtenidos para cada punto de control, utilizando el total de las medidas de la serie (Datos Eptisa, Proyecto SYSMIN, 2004) ..	156
Tabla 8: Balance de aguas subterráneas para años medios (entradas) *Todos los datos son en hm <sup>3</sup> /año. (Datos Eptisa, 2004.....	161
Tabla 9: Balance de aguas subterráneas para años medios (salidas). ** Valores estimados por diferencias en la ecuación del balance hídrico (Datos Eptisa, 2004 .....	161
Tabla 10: Indicios metálicos de la Hoja de La Ciénaga .....	163
Tabla 11: substancias industriales y ornamentales de la Hoja de La Ciénaga.....	163
Tabla 12: Situación y coordenadas de los Lugares de Interés Geológico de la Hoja de La Ciénaga.....	172

#### LISTA DE LAS FOTOS:

Foto 1 : Cerros de Charco Prieto; Vista desde Majagual hacia el Oeste SO de la Hoja de La Ciénaga. (116MJ9132_6; Lat: 18,00954902; Long: -71,15376069) .....	30
Foto 2 : Calimete; Vista desde Majagual hacia el Este; SO de la Hoja de La Ciénaga. (116MJ9132_8; Lat: 18,00954902; Long: -71,15376069) .....	30
Foto 3 : Punta Arena; Vista desde La Laguneta hacia el Este SE de la Hoja de La Ciénaga. (116MJ9136_1; Lat: 18,02651608; Long: -71,15821484) .....	30
Foto 4 : Paraíso; Vista desde Majagual hacia el Sur de la Hoja de La Ciénaga. (116MJ9132_3; Lat: 18,00954902; Long: -71,15376069) .....	30
Foto 5 : Loma La Filipina (calizas de la Ud de Barahona). Vista hacia el Norte de Barahona, la Bahía de Neiba y Sierra de Neiba al fondo (116MJ9312_2; Lat: 18,13439109; Long: -71,11916841) .....	31
Foto 6 : Loma Cornelito (calizas de la Ud de Barahona). Vista desde la Loma La Filipina hacia el NO (116MJ9312_4; Lat: 18,13439109; Long: -71,11916841).....	31

Foto 7 : Río Nizaito-El Platón. Fondo de valle con gravas de calizas blancas (116MJ9272_1; Lat: 18,06715876; Long: -71,21828936).....	32
Foto 8 : Playa Azul con Calizas de la Fm Neiba Mb inferior cubiertas por abanico aluvial antiguo; NE Hoja de La Ciénaga (116MJ9103_32; Lat: 18,15420952; Long: -71,05915214).....	32
Foto 9 : Afloramiento de la Fm Dumisseau (Cretácico superior) en San Rafael, Ctra. de la Costa (116MJ9143_14; Lat: 18,03280083; Long: -71,13228014).....	48
Foto 10 : Colada de Basaltos de la Fm Dumisseau (Cretácico superior) Playa de San Rafael (116MJ9145_1; Lat: 18,03398226; Long: -71,12959013).....	48
Foto 11 : Basaltos masivos de la Fm Dumisseau (Cretácico superior) Playa de San Rafael (116MJ9145_12; Lat: 18,03398226; Long: -71,12959013).....	49
Foto 12 : Gran proporción de vesículas rellenas de calcita blanca en los Basaltos de la Fm Dumisseau; (Cretácico superior) Playa Sur de La Ciénaga (116MJ9340_1; Lat: 18,06076764; Long: -71,10998721).....	49
Foto 13 : Basaltos hidrotermalizados de la Fm Dumisseau; (Cretácico superior) Playa Sur de La Ciénaga (116MJ9340_5; Lat: 18,06076764; Long: -71,10998721).....	49
Foto 14 : Fm Dumisseau: Lavas y autobrechas basálticas (Cretácico superior) Brazo Seco, Norte Bahoruco. (116MJ9029_1; Lat: 18,09037252; Long: -71,09913239).....	49
Foto 15 : Basaltos con pillow-lava (?) de la Fm Dumisseau (Cretácico superior) San Rafael (116MJ9143_9; Lat: 18,03280083; Long: -71,13228014).....	49
Foto 16 : Dique basáltico cortando las brechas basálticas de la Fm Dumisseau; (Cretácico) Punta Arena Costa SE de la Hoja de La Ciénaga SO (116MJ9280_3; Lat: 18,06628319; Long: -71,1092802).....	49
Foto 17 : Brechas basálticas de la Fm Dumisseau (Cretácico) San Rafael (116MJ9143_4; Lat: 18,03280083; Long: -71,13228014).....	50
Foto 18 : Brechas basálticas de la Fm Dumisseau (Cretácico superior) San Rafael (116MJ9143_2; Lat: 18,03280083; Long: -71,13228014).....	50
Foto 19 : Bloque de Brechas basálticas con elementos angulosos (Fm Dumisseau; Cretácico superior). Río Sito, borde SO Hoja de La Ciénaga (116MJ9106_3; Lat: 18,00047787; Long: -71,18401869).....	50
Foto 20 : Bloque de Piroclastitas con elementos clasificados (Fm Dumisseau, Cretácico superior). Río Sito, borde SO Hoja de La Ciénaga (116MJ9108_3; Lat: 18,010193; Long: -71,20751174).....	50
Foto 21 : Brechas basálticas con elementos redondeados retrabajados ( Fm Dumisseau; Cretácico). Río Sito, La Baliza SO Hoja de La Ciénaga (116MJ9110_4; Lat: 18,01508107; Long: -71,21297406).....	51
Foto 22 : Bloque de Brechas basálticas con elementos redondeados, retrabajados (Fm Dumisseau; Cretácico superior). Río Sito, borde SO Hoja de La Ciénaga (116MJ9106_4; Lat: 18,00047787; Long: -71,18401869).....	51
Foto 23 : Epiclastitas finas de color verde y pardo (Fm Dumisseau, Cretácico superior); Majagualito Ctra. de la costa SE (116MJ9150_1; Lat: 18,05434417; Long: -71,11563829).....	51
Foto 24 : Epiclastitas estratificadas de la Fm Dumisseau; cortadas por vetillas de calcitas (Cretácico superior) La Ciénaga SO (116MJ9152_6; Lat: 18,06628319; Long: -71,1092802).....	52
Foto 25 : Epiclastitas estratificadas de la Fm Dumisseau; cortadas por pequeñas fallas y vetillas de calcitas (Cretácico superior) La Ciénaga SO (116MJ9152_7; Lat: 18,06628319; Long: -71,1092802).....	52
Foto 26 : Troncos fósiles parcialmente substituidos por la pectolita (Larimar) encontrado en los paleosuelos de la Fm Dumisseau (Cretácico superior) de la mina de Larimar de Los Cheseses (116MJ9181_6; Lat: 18,11967524; Long: -71,1396366).....	52

Foto 27 : Tronco fósil parcialmente substituido por la pectolita (Larimar) encontrado en los paleosuelos de la Fm Dumisseau (Cretácico superior) de la mina de Larimar de Los Cheseses (116MJ9181_6; Lat: 18,11967524; Long: -71,1396366) .....	52
Foto 28: Estructura de los tejidos vegetales substituidos por la pectolita X2,5 (Foto J.A. Espí Rodríguez, 2007).....	54
Foto 29: Progresión de la pectolita a través de las fracturas radiales y concéntricas en tallo orgánico y figuras poligonales de crecimiento de la pectolita fibroso-radiada X2,5 (Foto J.A. Espí Rodríguez, 2007) .....	54
Foto 30 : Barra de calizas de la Ud de Polo, con coluviones tapando los basaltos de la Fm Dumisseau y playa de San Rafael Sur . Vista desde la Ctra. San Rafael Paraíso (116MJ9378_6; Lat: 18,02360035; Long: -71,14088885) .....	56
Foto 31 : Barra de calizas masivas de la Ud de Polo vista desde Brazo Seco hacia el Este. (116MJ9185_2; Lat: 18,08498313; Long: -71,15821484) .....	56
Foto 32 : Ud de Polo : barra de calizas blancas masivas; Loma de Los Franceses (116MJ9262_2; Lat: 18,11791286; Long: -71,08979277) .....	57
Foto 33 : Cueva en la barra de calizas masivas de la Ud de Polo; Loma de Los Franceses (116MJ9264_6; Lat: 18,11903989; Long: -71,09397853) .....	57
Foto 34 : Ud de Polo: calizas masivas Eoceno medio) NO Las Auyamas (116MJ9037_1; Lat: 18,09742791; Long:-71,12754294) .....	57
Foto 35 : Ud de Polo: calizas masivas Eoceno medio) NO Las Auyamas (116MJ9037_3; Lat: 18,09742791; Long:-71,12754294).....	57
Foto 36 : Ud de Polo : calizas blancas masivas con rodolitos en bancos métricos; Loma de Los Franceses (116MJ9261_2; Lat: 18,11559317; Long: -71,08854856) .....	58
Foto 37 : Base de la barra de calizas masivas de la Ud de Polo surmontando los basaltos cretácicos de la Fm Dumisseau; Entre los Arroyos Cotorra y Brazo Seco (116MJ9352_1; Lat: 18,09680404; Long: -71,10832063) .....	58
Foto 38 : Ud de Polo : calizas margosas color café en bancos dcm; Brazo Seco-Casa Bonita (116MJ9185_2; Lat: 18,08498313; Long: -71,09368483) .....	58
Foto 39 : Ud de Polo : calizas margosas color café en bancos dcm; Brazo Seco-Casa Bonita (116MJ9184_3; Lat: 18,08429942; Long: -71,09213476) .....	58
Foto 40 : Ud de Polo: calizas masivas color café, en bancos dcm ( Eoceno medio) al techo de los basaltos de la mina de Larimar de Los Cheseses Los Chupaderos-Filipinos (116MJ9180_2; Lat: 18,12057068; Long: -71,14223742) .....	58
Foto 41 : Ud de Polo: calizas masivas color café en bancos dcm ( Eoceno medio) al techo de los basaltos de la mina de Larimar (Eoceno medio) Los chupaderos-Filipinos (116MJ9180_1; Lat: 18,12057068; Long: -71,14223742) .....	58
Foto 42 : Fm Neiba Mb inferior: calizas masivas bancos métricos (Eoceno superior-Oligoceno basal) NO La Ciénaga (116MJ9048_2; Lat: 18,07279056; Long: -71,11540259) .....	62
Foto 43 : Fm Neiba Mb inferior: calizas blancas en bancos dcm (Eoceno superior-Oligoceno basal) Pata de Perico, Borde SO de la Hoja La Ciénaga (116MJ9121_1; Lat: 17,99935838; Long: -71,15203) .....	62
Foto 44 : Fm Neiba Mb inferior: calizas blancas con lentejones y nódulos de sílex ovoide dcm (Eoceno superior-Oligoceno basal) Río Batoruco (116MJ9195_2; Lat: 18,08223554; Long: -71,12571619) .....	62
Foto 45 : Fm Neiba Mb inferior: calizas blancas con sílex ovoide dcm (Eoceno superior-Oligoceno basal) Río Batoruco (116MJ9195_4; Lat: 18,08223554; Long: -71,12571619) .....	62
Foto 46 : Fm Neiba Mb inferior: calizas tableadas (Eoceno superior-Oligoceno basal) Agüita blanca, SO La Ciénaga (116MJ9048_2; Lat: 18,05714792; Long: -71,13473394).....	63
Foto 47 : Pedazos de chert en las calizas de la Fm Neiba Mb inferior Arroyo Feo; NE de la Hoja de La Ciénaga (116MJ9324_1; Lat: 18,15194456; Long: -71,06660047) .....	63

Foto 48 : Fm Neiba Mb inferior: calizas blancas con silex ovoide dcm (Eoceno superior-Oligoceno basal) Calimete Borde SO de la Hoja La Ciénaga (116MJ9125_1; Lat: 18,00873396; Long: -71,14501778) .....	63
Foto 49 : Fm Neiba Mb inferior: calizas blancas con silex ovoide dcm (Eoceno superior-Oligoceno basal) Río Bahoruco (116MJ9195_6; Lat: 18,08223554; Long: -71,12571619).....	63
Foto 50 : Calizas tableadas de la Fm Neiba Mb inferior. Charco El Toro, (116MJ9376_1; Lat: 18,03984281; Long: -71,16566425) .....	64
Foto 51 : Fm Neiba Mb inferior: calizas tableadas (Eoceno superior-Oligoceno basal) La Salvación, Norte de la Hoja La Ciénaga (116MJ9020_1; Lat: 18,13377871; Long: -71,13839096).....	64
Foto 52 : Fm Neiba Mb inferior: calizas blancas en bancos dcm (Eoceno superior-Oligoceno basal) La Cueva; esquina NO de la Hoja de La Ciénaga (116MJ9219_1; Lat: 18,15701184; Long: -71,24243134) .....	64
Foto 53 : Relleno kárstico con elementos volcánicos de la Fm Dumisseau en contacto por falla, en las calizas de la Fm Neiba Mb inferior. Paraíso al límite Sur de la Hoja de La Ciénaga (116MJ9359_1; Lat: 18,00198569; Long: -71,1666555).....	64
Foto 54 : Fm Neiba superior: calizas margosas tableadas con silex y margo-calizas (Oligoceno-Mioceno inferior) La Piedra Norte Hoja La Ciénaga (116MJ9009_1; Lat: 18,14927358; Long: -71,11785547) .....	66
Foto 55 : Calizas margosas de la Fm Neiba superior. Río Sito, borde SO Hoja de La Ciénaga (116MJ9106_1; Lat: 18,00047787; Long: -71,18401869) .....	66
Foto 56 : Calizas margosas de la Fm Neiba superior. Río Sito, borde SO Hoja de La Ciénaga (116MJ9106_1; Lat: 18,00047787; Long: -71,18401869) .....	66
Foto 57 : Calizas margosas con silex, tableadas, de la Fm Neiba superior La Unión Ctra. de la Mina de Larimar (116MJ9160_1; Lat: 18,11112377; Long: -71,11211789).....	67
Foto 58 : Calizas margosas tableadas de la Fm Neiba superior. Río Sito, borde SO Hoja de La Ciénaga (116MJ9108_2; Lat: 18,010193; Long: -71,20751174)Lat: 18,00047787; Long: -71,18401869) .....	67
Foto 59 : Calizas margosas con silex de la Fm Neiba superior La Unión Ctra. de la Mina de Larimar (116MJ9161_2; Lat: 18,11248541; Long: -71,11350778) .....	67
Foto 60 : Estructura cilíndrica en las calizas margosas de la Fm Neiba superior Palo Veinte; límite Norte de la Hoja de La Ciénaga (116MJ9227_2; Lat: 18,16598559; Long: -71,17140636).....	67
Foto 61 : Loma Cornelito (calizas de la Ud de Barahona). Vista desde la Loma La Filipina hacia el NO (116MJ9312_4; Lat: 18,13439109; Long: -71,11916841).....	70
Foto 62 : Ud de Barahona: calizas masivas beige (Mioceno medio-superior) Charco Prieto SO Hoja La Ciénaga (116MJ9094_2; Lat:18,05124203; Long: -71,2466994).....	70
Foto 63 : Ud de Barahona: calizas masivas beige (Mioceno medio-superior) Charco Prieto SO Hoja La Ciénaga (116MJ9095_2; Lat: 18,05338629; Long: -71,24434643).....	70
Foto 64 : Abanico aluvial antiguo afectado por falla actual; Playa Azul, NE de la Hoja de La Ciénaga (116MJ9103_12; Lat: 18,15420952; Long: -71,05915214) .....	72
Foto 65 : Abanico aluvial antiguo afectado por falla actual; Playa Azul, NE de la Hoja de La Ciénaga (116MJ9103_6; Lat: 18,15420952; Long: -71,05915214).....	72
Foto 66 : Corales antiguos cubiertos por abanico aluvial antiguo encostrado en parte superficial; Playa Azul, NE de la Hoja de La Ciénaga (116MJ9103_27; Lat: 18,15420952; Long: -71,05915214) .....	72
Foto 67 : Abanico aluvial antiguo; Playa Azul, NE de la Hoja de La Ciénaga (116MJ9103_3; Lat: 18,15420952; Long: -71,05915214).....	72
Foto 68 : Abanico antiguo de la Punta de Carlitos (NE de la Hoja de La Ciénaga) (116MJ9342_1; Lat: 18,12529053; Long: -71,06766044) .....	72
Foto 69 : Abanico antiguo del Balneario de San Rafael (116MJ9142_7; Lat: 18,03052984; Long: -71,13629146).....	72

Foto 70 : Coluviones erosionados por la red hidrográfica; Norte San Antonio SO Hoja de La Ciénaga (116MJ9073_1; Lat:18,06265064; Long: -71,20584106).....	74
Foto 71 : Coluviones La Cueva SO Hoja de La Ciénaga (116MJ9100_1; Lat: 18,05184938; Long: -71,23313203).....	74
Foto 72 : Los Derrumbados, Playa Sur La Ciénaga): Deslizamiento de la barra de calizas de la Ud de Polo al contacto con los basaltos de la Fm Dumisseau infrayacente (116MJ9341_3; Lat: 18,04524779; Long: -71,11710462 .....	75
Foto 73 : Playa de San Rafael Sur, con coluviones tapando los basaltos de la Fm Dumisseau hasta la zona de derrumbe al pie de la barra de calizas de la Ud de Polo. Vista desde la Ctra. San Rafael Paraíso (116MJ9378_4; Lat: 18,02360035; Long: -71,14088885).....	75
Foto 74 : Coluviones con paquete de calizas estratificadas; 1 km al Sur de San Rafael; Ctra. Barahona-Pedernales (116MJ9378_3; Lat: 18,02360035; Long: -71,14088885).....	75
Foto 75 : Coluviones consolidados de calizas de la Ud de Polo y Fm Neiba (Mb inferior) por encima de los basaltos de la Fm Dumisseau: (Cretácico) Ctra. Bahoruco-San Rafael, al Norte de la playa de San Rafael (116MJ9284_16; Lat: 18,03500234; Long: -71,12787352).....	75
Foto 76 : Deslizamiento actual (17/092009) en los coluviones por encima de los basaltos de la Fm Dumisseau: (Cretácico) Ctra. Bahoruco-San Rafael al Norte de la playa de San Rafael (116MJ9284_16; Lat: 18,03500234; Long: -71,12787352).....	76
Foto 77 : gravas de calizas de una pequeña cañada afluyente del Río Bahoruco cortando las calizas masivas de la Ud de Polo: (Eoceno medio) NO Las Auyamas (116MJ9037_5; Lat: 18,09742791; Long: -71,12754294).....	77
Foto 78 : gravas de calizas de la Fm Neiba Mb inferior en el cauce seco del Arroyo Palomito (régimen torrencial) Rula en Medio; Norte de la Hoja de La Ciénaga (116MJ9241_1; Lat: 18,14482807; Long: -71,17142287) .....	77
Foto 79 : Fondo del valle Nizaito: gravas de calizas blancas. Río Nizaito al SO de la Hoja de La Ciénaga (116MJ9366_1; Lat: 18,0218772; Long: -71,18565165) .....	77
Foto 80 : Fondo de valle Río Nizaito Rancho Antonio SO Hoja de La Ciénaga (116MJ9074_4; Lat: 18,04087336; Long: -71,20120897) .....	78
Foto 81 : Coloración en blanco del agua del Mar Caribe por las arcillas blancas en suspensión, transportadas por el Río Nizaito ; Bahía de Pata de Perico-Paraíso borde SE Hoja de La Ciénaga (116MJ9121_1; Lat: 17,99935838; Long: -71,15203) .....	78
Foto 82 : Arcillas rojas de descalcificación de las Calizas masivas de la Ud-Polo. Filipinos (116MJ9182_1; Lat: 18,12104098; Long: -71,13444879) .....	79
Foto 83 : Terraza del Río Nizaito Rancho Antonio SO Hoja de La Ciénaga (116MJ9074_10; Lat: 18,04087336; Long: -71,20120897).....	79
Foto 84 : Terraza colgada del Río Bahoruco, encima de los basaltos de la Fm Dumisseau (116MJ9189_1; Lat: 18,07947856; Long: -71,09963958) .....	80
Foto 85 : Terraza colgada del Río Bahoruco, encima de los basaltos de la Fm Dumisseau de color pardo (116MJ9189_1; Lat: 18,07947856; Long: -71,09963958) .....	80
Foto 86 : Playa Azul y abanico aluvial antiguo afectado por falla actual; NE de la Hoja de La Ciénaga (116MJ9103_4; Lat: 18,15420952; Long: -71,05915214).....	80
Foto 87 : Barahona Playa vista desde Brazo Seco hacia el Este. (116MJ9185_1; Lat: 18,08498313; Long: -71,15821484) .....	80
Foto 88 : Los Derrumbados, Playa Sur La Ciénaga): Deslizamiento antiguo de la barra de calizas de la Ud de Polo al contacto con los basaltos de la Fm Dumisseau infrayacente (116MJ9341_6; Lat: 18,04524779; Long: -71,11710462 .....	81
Foto 89 : Playa Sur de La Ciénaga: basaltos de la Fm Dumisseau (Cretácico), gravas de calizas blancas y beach rock (116MJ9340_2; Lat: 18,06076764; Long: -71,10998721) .....	81
Foto 90 : Arrecifes; Punta Prieta, NE de la Hoja de La Ciénaga (116MJ9103_19; Lat: 18,15420952; Long: -71,05915214) .....	82

Foto 91 : Pequeña raza en la parte superior de los arrecifes; Punta Prieta, NE de la Hoja de La Ciénaga (116MJ9103_19; Lat: 18,15420952; Long: -71,05915214) .....	82
Foto 92 : Corales; Punta Prieta, NE Hoja de La Ciénaga (116MJ9103_37; Lat: 18,15420952; Long: -71,05915214) .....	82
Foto 93 : Corales; Punta Prieta, NE Hoja de La Ciénaga (116MJ9103_34; Lat: 18,15420952; Long: -71,05915214) .....	82
Foto 94 : pedazos de Silex presos en los Corales de la Punta Prieta, NE de la Hoja de La Ciénaga (116MJ9103_21; Lat: 18,15420952; Long: -71,05915214) .....	82
Foto 95 : Bloque de Corales antiguos Playa de San Rafael (116MJ9142_1; Lat: 18,03052984; Long: -71,13629146) .....	83
Foto 96 : Bloque de Corales antiguos Playa de Punta Arena SE de la Hoja de La Ciénaga (116MJ9281_2; Lat: 18,01317276; Long: -71,13730886) .....	83
Foto 97: (c) (5970IIMJ9111: Lat: 18,01945492; Long: -71,21946417) Basaltos porfídicos con orto y clinopiroxeno. Notar: macla reloj arena en el fenocristal de clinopiroxeno, LN; (d) Id., LP; (g) (5970IIE9624C) Basaltos con orto y clinopiroxeno vesiculares, LN; y (h) Id., LP .....	92
Foto 98: (a) (5970IIMJ9177: Lat: 18,12002954; Long: -71,13784254) Doleritas con orto y clinopiroxeno, LN; (b) Id., LP; .....	96
Foto 99: (g) (5970IIMJ9150: Lat:18,05434417; Long: -71,11563829) Ferrodoleritas, LN; y (h) Id., LP.....	96
Foto 100: (c) (5970IIMJE9624) Microgabro alterado, LN; (d) Id., LP;.....	97
Foto 101 : Dique dolerítico (dirección N125°E-55°NE; P=80 cm) , cortando los basaltos alterados de la Fm Dumisseau, Cretácico superior) Majagualito; Ctra. de la costa al Sur de Batoruco (116MJ9150_1; Lat: 18,05434417; Long: -71,11563829) .....	113
Foto 102 : Pliegue métrico (eje: N45°E-30°SO) en las brechas y lavas basálticas de la Fm Dumisseau; (Cretácico) Punta Arena Costa SE de la Hoja de La Ciénaga SO (116MJ9280_3; Lat: 18,06628319; Long: -71,1092802) .....	128
Foto 103 : Capas verticalizadas de las calizas de la Fm Neiba Mb inferior (Eoceno superior-Oligoceno basal) Río Batoruco (116MJ9195_5; Lat: 18,08223554; Long: -71,12571619) .....	128
Foto 104 : Anticlinal de Molino en las Calizas de la Fm Neiba Mb inferior. Vista desde El Río Chupadero hacia el Norte (116MJ9301_1; Lat: 18,13439109; Long: -71,11916841) ...	128
Foto 105 : Detalle del Anticlinal de Molino, eje subhorizontal fracturado perpendicularmente y karstificado en las calizas de la Fm Neiba Mb inferior. Vista desde El Río Chupadero hacia el Norte (116MJ9301_2; Lat: 18,13439109; Long: -71,11916841) .....	128
Foto 106 : charnela de pliegue cilíndrico (?) con eje subhorizontal (Eje: N110°E-10°ONO; plan axial: sub-vertical) en las calizas tableadas de la Fm Neiba Mb inferior (Eoceno superior-Oligoceno basal) Charco blanco, Centro Hoja La Ciénaga (116MJ9068_1; Lat: 18,0580364; Long: -71,18623671) .....	129
Foto 107 : Calizas en bancos dcm ondulados Fm Neiba Mb inferior (Eoceno medio-Oligoceno); Rula en Medio Norte de la Hoja de La Ciénaga (116MJ9240_1; Lat: 18,1461939; Long: -71,16059731) .....	129
Foto 108 : Fm Neiba Mb inferior: pliegue "en cofre" (Eje: N70°E-25°E) en las calizas tableadas (Eoceno superior-Oligoceno basal) Loma Paiminga, Norte de la Hoja La Ciénaga (116MJ9019_1; Lat: 18,13471866; Long: -71,13963132) .....	129
Foto 109 : pliegue en cofre en las calizas Fm Neiba Mb inferior cubiertas por las gravas del Abanico aluvial antiguo. Punta Arroyo Feo (NE de la Hoja de La Ciénaga) (116MJ9343_3; Lat: 18,15033968; Long: -71,06074453) .....	129
Foto 110 : Basaltos fracturados (Falla Beata) de la Fm Dumisseau (Cretácico) San Rafael (116MJ9142_6; Lat: 18,03052984; Long: -71,13629146) .....	131
Foto 111 : Esquistosidad de fractura perpendicular a la estratificación de las calizas blancas de la Fm Neiba Mb inferior. Villa Nizao, Margen izquierda del Río Nizaito (116MJ9366_5; Lat: 18,0218772; Long: -71,18565165) .....	132

Foto 112 : Nódulos dcm de silex subrayando la estratificación de las calizas de la Fm Neiba Mb inferior; esquistosidad de fractura perpendicular a la estratificación. Villa Nizao, Margen izquierda del Río Nizaito (116MJ9366_4; Lat: 18,0218772; Long: -71,18565165) .....	132
Foto 113 : Calizas margosas con silex de la Fm Neiba superior; Diaclasage plan axial, perpendicular a la estratificación Río Nizaito, Villa Nizao (116MJ9075_2; Lat: 18,02313684; Long: -71,19005844) .....	132
Foto 114 : Calizas margosas con silex de la Fm Neiba superior; Diaclasage plan axial, perpendicular a la estratificación Río Nizaito, Villa Nizao (116MJ9075_3; Lat: 18,02313684; Long: -71,19005844) .....	132
Foto 115 : Estilolitos en las calizas micríticas la Fm Neiba superior. Río Sito, La Baliza SO Hoja de La Ciénaga (116MJ9110_1; Lat: 18,01508107; Long: -71,21297406).....	133
Foto 116 : Playa Azul y abanico aluvial antiguo afectado por falla actual EO; NE de la Hoja de La Ciénaga (116MJ9103_10; Lat: 18,15420952; Long: -71,05915214) .....	134
Foto 117 : Abanico aluvial antiguo afectado por falla actual EO; Playa Azul, NE de la Hoja de La Ciénaga (116MJ9103_1; Lat: 18,15420952; Long: -71,05915214) .....	135
Foto 118 : detalle de juego actual de la Falla en el abanico aluvial antiguo; Playa Azul, NE de la Hoja de La Ciénaga (116MJ9103_1; Lat: 18,15420952; Long: -71,05915214) .....	135
Foto 119: Cantera de árido en zona de falla de calizas cerca de la mina de Larimar , Hoja de La Ciénaga (116MJ9171_1; Lat:18.1217967; Long: -71.13053134) .....	164
Foto 120: Mina de los Cheseses, Hoja de La Ciénaga (116MJ9181_1; Lat: 18,11905607; Long: -71,14348481) .....	166
Foto 121: Pozo artesanal en la Mina de los Cheseses, Hoja de La Ciénaga (116MJ9181_1; Lat: 18,11905607; Long: -71,14348481).....	166
Foto 122: pequeñas galerías de explotación del larimar al contacto basaltos hidrotermalizados y debris flows rojizos; Mina de los Cheseses, Hoja de La Ciénaga (116MJ9181_1; Lat: 18,11905607; Long: -71,14348481) .....	167
Foto 123: fuerte pendiente del flanco de la mina de larimar con bloques métricos de debris flows rojizos muy peligrosos; Mina de los Cheseses, Hoja de La Ciénaga (116MJ9181_1; Lat: 18,11905607; Long: -71,14348481) .....	167
Foto 124: Evolución de la substitución por la pectolita de los tallos vegetales carbonizados .....	168
Foto 125: Estructura de los tejidos vegetales substituidos por la pectolita X2,5 (Foto J.A. Espí Rodríguez, 2007) .....	169
Foto 126: Progresión de la pectolita a través de las fracturas radiales y concéntricas en tallo orgánico y figuras poligonales de crecimiento de la pectolita fibroso-radiada X2,5 (Foto J.A. Espí Rodríguez, 2007) .....	169
Foto 127: Taller en Santo Domingo: montaje de las piezas con plata u oro.....	170
Foto 128: Lijado y pulido del larimar .....	170
Foto 129: cabujones de larimar .....	170
Foto 130: Piezas de larimar para la venta .....	170
Foto 131: Mina de los Cheseses, Hoja de La Ciénaga (116MJ9181_1; Lat: 18,11905607; Long: -71,14348481) .....	174
Foto 132: pequeñas galerías de explotación del larimar al contacto basaltos hidrotermalizados y debris flows rojizos; Mina de los Cheseses, Hoja de La Ciénaga (116MJ9181_1; Lat: 18,11905607; Long: -71,14348481) .....	175
Foto 133: fuerte pendiente del flanco de la mina de larimar con bloques métricos de debris flows rojizos muy peligrosos; Mina de los Cheseses, Hoja de La Ciénaga (116MJ9181_1; Lat: 18,11905607; Long: -71,14348481) .....	175
Foto 134 : Basaltos fracturados de la Fm Dumisseau (Cretácico) San Rafael (116MJ9142_4; Lat: 18,03052984; Long: -71,13629146).....	176
Foto 135 : Abanico antiguo del Balneario de San Rafael (116MJ9142_7; Lat: 18,03052984; Long: -71,13629146) .....	177

Foto 136 : Basaltos vesiculares de la Fm Dumisseau (Cretácico superior) Playa de San Rafael (116MJ9145_4; Lat: 18,03398226; Long: -71,12959013).....	177
Foto 137 : Basaltos hidrotermalizados de la Fm Dumisseau (Cretácico) San Rafael (116MJ9143_8; Lat: 18,03280083; Long: -71,13228014) .....	178
Foto 138 : Basaltos hidrotermalizados de la Fm Dumisseau (Cretácico) San Rafael (116MJ9143_1; Lat: 18,03280083; Long: -71,13228014) .....	178
Foto 139 : Dique basáltico cortando las brechas basálticas de la Fm Dumisseau; (Cretácico) Punta Arena Costa SE de la Hoja de La Ciénaga SO (116MJ9280_7; Lat: 18,06628319; Long: -71,1092802) .....	178
Foto 140 : Pliegue métrico (eje: N45°E-30°SO) en las brechas y lavas basálticas de la Fm Dumisseau; (Cretácico) Punta Arena Costa SE de la Hoja de La Ciénaga SO (116MJ9280_3; Lat: 18,06628319; Long: -71,1092802) .....	178
Foto 141 : Fm Neiba Mb inferior: calizas blancas con lentejones y nódulos de sílex ovoide dcm (Eoceno superior-Oligoceno basal) Río Bahoruco (116MJ9195_2; Lat: 18,08223554; Long: -71,12571619) .....	179
Foto 142 : Fm Neiba Mb inferior: calizas blancas con sílex ovoide dcm (Eoceno superior-Oligoceno basal) Río Bahoruco (116MJ9195_4; Lat: 18,08223554; Long: -71,12571619) .....	179
Foto 143 :Nódulo de sílex en las calizas blancas de la Fm Neiba Mb inferior: (Eoceno superior-Oligoceno basal) Río Bahoruco (116MJ9195_6; Lat: 18,08223554; Long: -71,12571619) .....	180
Foto 144 : Capas verticalizadas de las calizas de la Fm Neiba Mb inferior (Eoceno superior-Oligoceno basal) Río Bahoruco (116MJ9195_5; Lat: 18,08223554; Long: -71,12571619) .....	180
Foto 145 : Terraza colgada sobre los basaltos de la Fm Dumisseau a 40m por encima del Río Bahoruco actual, (116MJ9189_1; Lat: 18,07947856; Long: -71,09963958).....	180
Foto 146 : Gravas de calizas blancas de la Terraza colgada sobre los basaltos de la Fm Dumisseau de color marrón (116MJ9189_1; Lat: 18,07947856; Long: -71,09963958)	180
Foto 147 : Vista general del Hotel de la Playa Azul: abanico aluvial antiguo rojizo al primer plano relieve correspondiendo a las calizas de la Fm Neiba (Eoceno superior-Mioceno inferior) y Ud de Barahona (Mioceno medio-superior); Playa Azul, NE de la Hoja de La Ciénaga (116MJ9103_26; Lat: 18,15420952; Long: -71,05915214) .....	181
Foto 148 : abanico aluvial antiguo afectado por falla actual EO; Playa Azul NE de la Hoja de La Ciénaga (116MJ9103_10; Lat: 18,15420952; Long: -71,05915214) .....	182
Foto 149 : Falla actual afectando las gravas y limos rojizos del Abanico aluvial antiguo; Playa Azul, NE de la Hoja de La Ciénaga (116MJ9103_6; Lat: 18,15420952; Long: -71,05915214) .....	183
Foto 150 : detalle de juego actual de la Falla en el abanico aluvial antiguo; Playa Azul, NE de la Hoja de La Ciénaga (116MJ9103_1; Lat: 18,15420952; Long: -71,05915214) .....	183
Foto 151 : Abanico aluvial antiguo afectado por falla actual EO; Playa Azul, NE de la Hoja de La Ciénaga (116MJ9103_1; Lat: 18,15420952; Long: -71,05915214) .....	184
Foto 152 : Calizas masivas con sílex de la Fm Neiba Mb inferior cubiertas por las gravas y arcillas rojizas del Abanico aluvial antiguo; norte de la Playa Azul , NE de la Hoja de La Ciénaga (116MJ9104_1; Lat: 18,15479851; Long: -71,0585421) .....	184
Foto 153 : Pequeña raza en la parte superior de los arrecifes; Punta Prieta, NE de la Hoja de La Ciénaga (116MJ9103_19; Lat: 18,15420952; Long: -71,05915214) .....	184
Foto 154 : pliegue en cofre en las calizas Fm Neiba Mb inferior cubiertas por las gravas del Abanico aluvial antiguo. Punta Arroyo Feo (NE de la Hoja de La Ciénaga) (116MJ9343_3; Lat: 18,15033968; Long: -71,06074453) .....	185
Foto 155 : Calizas con sílex de la Fm Neiba Mb inferior por debajo del abanico aluvial antiguo ocre. Punta Arroyo Feo (NE de la Hoja de La Ciénaga) (116MJ9343_5; Lat: 18,15033968; Long: -71,06074453) .....	185

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Metodología

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

Este Proyecto comprende varias zonas que junto con las ya abordadas con motivo de los proyectos previos (C, ejecutado en el periodo 1997-2000; K y L, ejecutados en el periodo 2002-2004), completan la 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 Barahona (5970).

Durante la realización de la Hoja a escala 1:50.000 de La Ciénaga 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 subaflorescentes, ha sido de gran utilidad el Mapa de Gradiente vertical de la República Dominicana.

Los recorridos de campo se complementaron mediante fichas de control en las que se registraron los puntos de toma de muestras (petrológicas, paleontológicas y sedimentológicas), datos de tipo estructural y fotografías. 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 (Barahona 5970).

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 Ciénaga (5970-II) está ubicada en el sector Suroeste de la República Dominicana, en una zona montañosa de la parte Este de la Sierra de Bahoruco, a unos 130 km en línea recta al OSO de la capital Santo Domingo. La sierra de Bahoruco es la más meridional de las cuatro cordilleras principales de la República Dominicana, constituyendo la continuación oriental de la cordillera Meridional de Haití; aparece como una destacada elevación montañosa que con una dirección E-O a ESE-ONO se alza bruscamente al sur de la hoya de Enriquillo, alcanzando 2.367 m en la loma del Toro en la Hoja de Puerto Escondido, a la frontera con Haití.

El territorio de la Hoja de la Ciénaga, con una superficie de 290 km<sup>2</sup> de tierra y 190 km<sup>2</sup> de Mar Caribe en su parte Este, pertenece a la Provincia de Barahona, cuya ciudad está situada a la esquina NE de la Hoja. Su nombre (La Ciénaga) corresponde a la pequeña población situada en la parte central de la Costa, a 1 km al Sur de la desembocadura del Río Bahoruco. y del pueblo adyacente de Bahoruco.

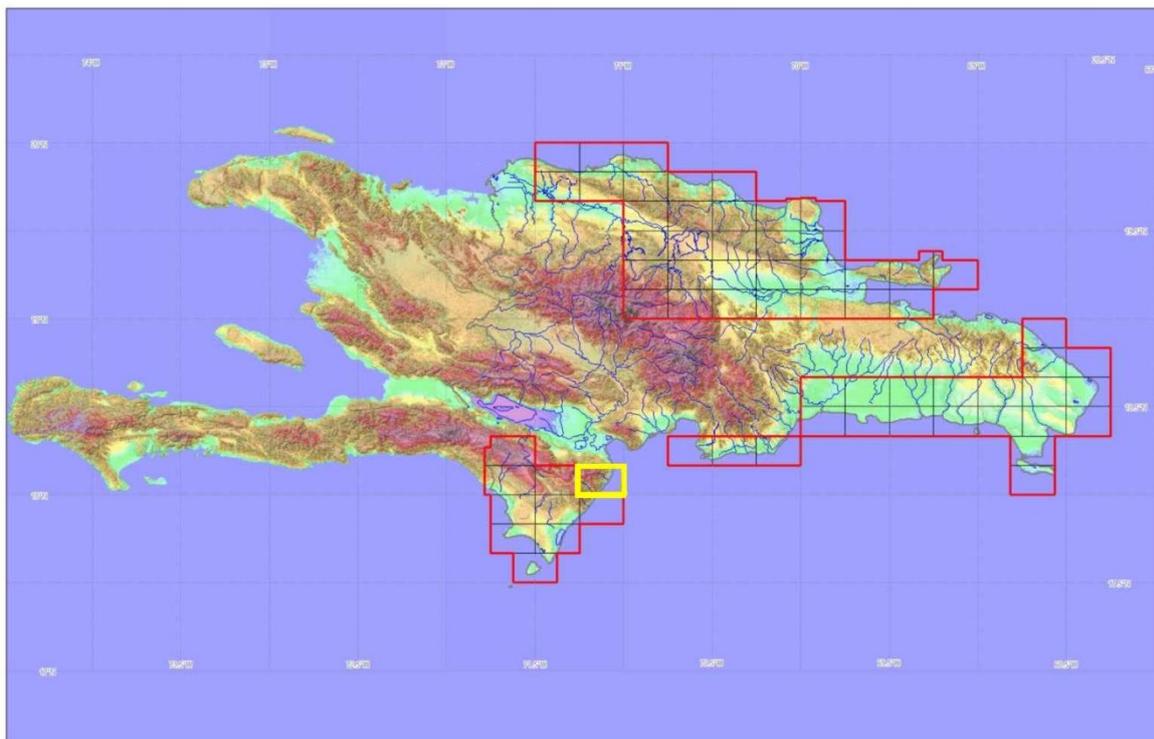


Fig. 1: Ubicación de la Hoja de La Ciénaga (5970-I) en el marco del proyecto SYSMIN II

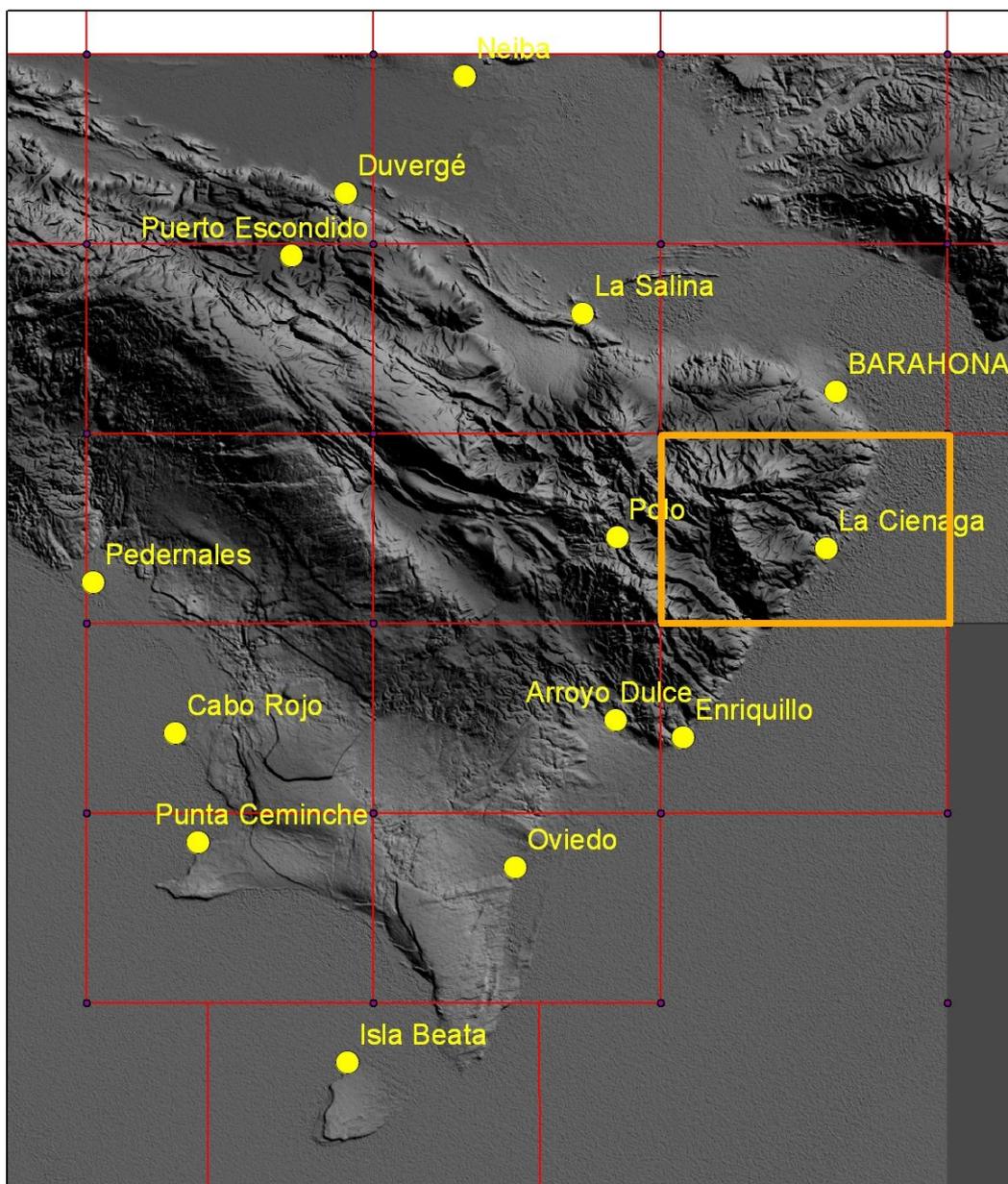


Fig. 2: SRTM de la Península de Bahoruco con la ubicación de la Hoja 1:50.000 de La Ciénaga

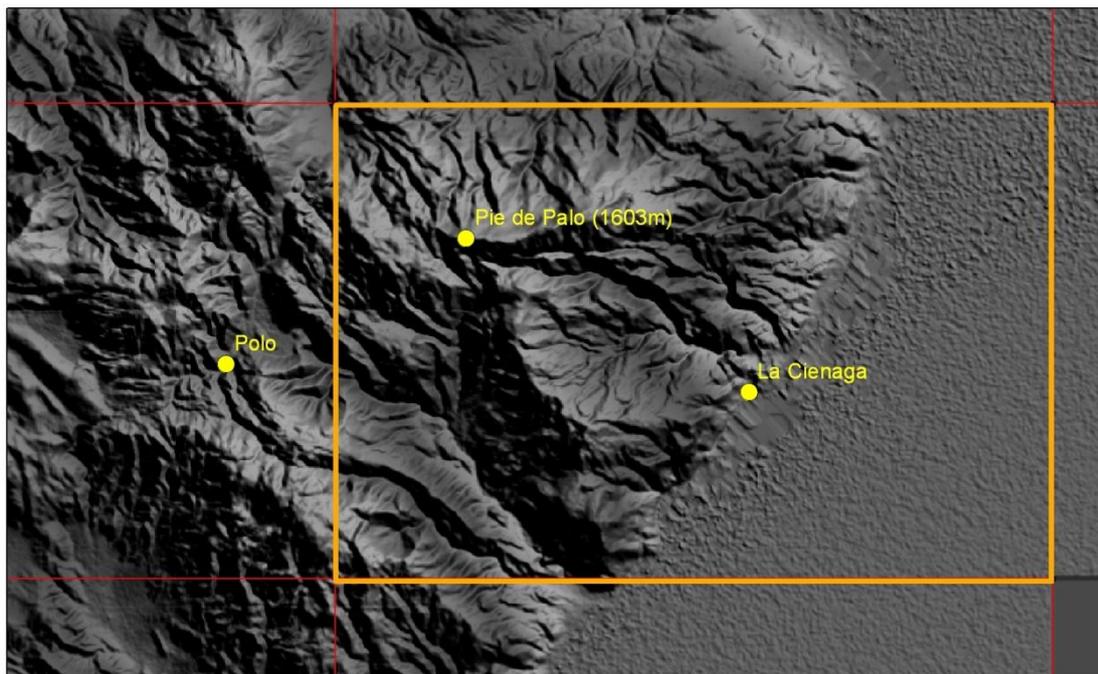


Fig. 3: SRTM detalle de la Hoja 1:50.000 de La Ciénaga

El municipio de La Ciénaga fue fundado en el mes de junio del año 2004, con una población de 7,715 habitantes de los que 2,820 se encuentran en la zona urbana y 4,895 en la zona rural.

Las principales poblaciones de la Hoja (censo 2001) son: La Ciénaga (5269 hab), Bahoruco (1192 hab) El Arroyo (647 hab), Juan Estaban (277 hab), Las Balizas, Pontevedra, San Rafael, en la costa; La Piedra al NE; La Cueva al NO; Las Auyamas (1723 hab) Villa Nizao-El Platón (1837 hab) al SO.

Esta zona, poco poblada (densidad media de 26,6/km<sup>2</sup>), con habitaciones dispersas en las lomas, está sufriendo un éxodo rural, no compensado por las viviendas secundarias que se desarrollan principalmente en la costa.

La vía principal de acceso corresponde a la Ctra. Barahona-Pedernales que sigue la costa en dirección NS.

Las demás carreteras no están asfaltadas. Tres carreteras permiten el acceso fácil al borde Norte de la Hoja: la Ctra. Barahona-La Piedra para la esquina NE, Barahona-Palo Bonito para el centro Norte y Barahona-Polo para la Cueva en la esquina NO.

Tres carreteras SE-NO permiten un acceso (difícil en periodo de lluvias) al interior desde la costa: Ctra. Pontevedra-la Mina de Larimar, Ctra. Bahoruco-Los Auyamas, Ctra. La Ciénaga-El Cachote.

El acceso al borde Oeste se hace por el Paraíso: Paraíso-Villa Nizao-El Cachote; Paraíso-Charco Prieto

El relieve de esta Hoja ubicada en la vertiente SE de la Sierra de Bahoruco es muy accidentado: varía desde el nivel del mar en el borde Este, hasta 1603 m en la Loma Pie de Palo-La Última Razón al NO de la Hoja.

Se destacan también las lomas José Joaquín (1464), La trocha de Pey (1476 m), El Cachote (1281 m), El Aguacate (1046 m) en la esquina NO, La Loma Paimingo (1040 m) en el Norte, el cerro de Charco Prieto-La Baliza (1310 m) en la esquina SO (Foto 1).



Foto 1 : Cerros de Charco Prieto; Vista desde Majagual hacia el Oeste SO de la Hoja de La Ciénaga. (116MJ9132\_6; Lat: 18,00954902; Long: -71,15376069)



Foto 2 : Calimete; Vista desde Majagual hacia el Este; SO de la Hoja de La Ciénaga. (116MJ9132\_8; Lat: 18,00954902; Long: -71,15376069)



Foto 3 : Punta Arena; Vista desde La Laguneta hacia el Este SE de la Hoja de La Ciénaga. (116MJ9136\_1; Lat: 18,02651608; Long: -71,15821484)



Foto 4 : Paraíso; Vista desde Majagual hacia el Sur de la Hoja de La Ciénaga. (116MJ9132\_3; Lat: 18,00954902; Long: -71,15376069)

 A wide-angle landscape photograph showing a green, hilly foreground leading down to a blue bay (Bahía de Neiba) and distant mountains (Sierra de Neiba) under a clear blue sky.	 A photograph of a rocky, light-colored hillside (Loma Cornelito) with sparse green vegetation, viewed from a distance under a clear blue sky.
<p>Foto 5 : Loma La Filipina (calizas de la Ud de Barahona). Vista hacia el Norte de Barahona, la Bahía de Neiba y Sierra de Neiba al fondo (116MJ9312_2; Lat: 18,13439109; Long: -71,11916841)</p>	<p>Foto 6 : Loma Cornelito (calizas de la Ud de Barahona). Vista desde la Loma La Filipina hacia el NO (116MJ9312_4; Lat: 18,13439109; Long: -71,11916841)</p>

La red hidrográfica corresponde a las cuencas de los ríos Nizaito, Bahoruco, Sito, Arroyo Seco y Arroyo Feo, que desembocan en la Costa Este de la Hoja, del Arroyo Palominos al Norte, que desemboca en Barahona y pequeñas cañadas que drenan la esquina NO de la Hoja, afluentes de Río Yaque del Sur a nivel de la Laguna del Rincón en la Hoja de la Salina.

Debido al fuerte relieve y a la proximidad del mar, o de la Laguna del Rincón (al Norte en la Hoja colindante de Barahona), estas cuencas son pequeñas y de carácter intermitente excepto los ríos Nizaito y Bahoruco. Muchas cañadas desembocan directamente en la costa del mar Caribe.

- Cuenca del río Nizaito. Ocupa el 20% de la superficie en la esquina SO de la Hoja, con el propio Río Nizaito de dirección NO-SE (Foto 7) y sus principales afluentes, río Sito y Cortico. Los tres nacen en la Hoja colindante de Polo.
- Cuenca del Río Bahoruco: de dirección NO-SE, ocupa la parte central de la Hoja con el 20% de la superficie. Comprende el nacimiento del propio Río Bahoruco en la Última Razón (1603 m) al NO de la Hoja, y sus principales afluentes: arroyos La Péndula, e Infierno.
- Cuenca del Río Sito. Ocupa aproximadamente el 10% de la superficie de la Hoja con el propio Río Sito y su cabecera el Arroyo Brazo Seco que nacen en la Loma Pie de Palo-La Última razón.
- Cuenca del Arroyo Seco. Ocupa aproximadamente el 5% de la superficie de la Hoja. Comprende el nacimiento del propio Arroyo Seco y de su afluente el arroyo Los Chupaderos en la Loma Paimingo .

- Cuenca del Río Palomino. Ocupa aproximadamente el 10% de la superficie en el Norte de la Hoja. Comprende el nacimiento del Río Palomino y de su afluente el Arroyo La Bija en la vertiente Norte de La Loma Pie de Palo.
- Cuenca del Arroyo Grande, afluente del Río Yaque del Sur. Ocupa aproximadamente el 20 % en la esquina NO de la Hoja. Las cañadas de dirección Sur-Norte drenan las lomas la Trocha de Pey, José Joaquín y Palo Veinte.

Aproximadamente el 10% de la superficie de la Hoja corresponde a las pequeñas cuencas de las cañadas que desembocan directamente en el Mar Caribe.



Foto 7 : Río Nizaito-El Platón. Fondo de valle con gravas de calizas blancas (116MJ9272\_1; Lat: 18,06715876; Long: -71,21828936)



Foto 8 : Playa Azul con Calizas de la Fm Neiba Mb inferior cubiertas por abanico aluvial antiguo; NE Hoja de La Ciénaga (116MJ9103\_32; Lat: 18,15420952; Long: -71,05915214)

El clima de la isla está condicionado por los vientos alisios, que circulan desde África hasta las Antillas, entrando en la isla por la parte oriental. Este hecho, junto con la topografía, condiciona el clima a nivel local. Así, en esta parte oriental de la Sierra de Bahoruco frente al mar caribe el clima es húmedo cálido, con pluviosidad aproximada de 2000 mm, evapotranspiración entre 1500-1700mm y temperatura media de 25-26 °C. La máxima pluviosidad se produce en los meses de Mayo y Octubre y la mínima en Enero y Julio.

Desde el punto de vegetación la Hoja está cubierta por bosque mixto y latifoliado o de hojas anchas y cafetales (Foto 1; Foto 2), excepto el borde Norte correspondiendo a las vertientes Norte de las lomas Filipinas, Palo Veinte, Pie de palo y Trocha de Pey, que reciben menos aguas y son cubiertas por un bosque seco (Foto 5; Foto 6).

Las especies principales, que ocupan los espacios naturales más elevados, son de importancia biológica excepcional, dado que están ubicadas en regiones de media montaña. Constituyen elementos de rareza ornitológica en el ámbito de la zoogeografía mundial.

En la avifauna se destacan la cotorra, endémica de la Española; el carpintero; la cigua palmera, declarada ave nacional; el papagayo y el guaraguao.

Entre los mamíferos se destacan el puerco cimarrón, la jutía y el ratón. Se encuentran culebras sabaneras en la parte más baja del bosque.

Los pequeños pueblos de la costa aprovechan la pesca artesanal para su consumo propio y la venta en Barahona y a los hoteles de la región.

Los cultivos destinados al consumo local son: habichuelas, guandules, yuca, batatas, maíz y caña; y como frutales, mangos, plátanos, guineos, lechosas y naranjas.

El café, sigue el primer recurso de la población de esta zona.

En la última década la agricultura, principal actividad económica de la zona se ha visto afectada sensiblemente por la constante emigración campesina hacia los centros urbanos especialmente Barahona, Santo Domingo y los Estados Unidos.

El turismo se está desarrollando en la costa en pequeños hoteles, aprovechando la belleza de las playas (Foto 8) y del interior. El Cachote, situado en el centro de la Hoja, en un bosque a 1200 m de altura, representa un intento de turismo rural para la gente que desea salir de las grandes concentraciones turísticas. Pero, en general, el desarrollo de la región sufre de la falta de una autopista para facilitar el acceso hasta la capital Santo Domingo.

La pequeña minería del Larimar, desarrollada en la Sierra de los Checheses, en el centro-norte de la Hoja de La Ciénaga, desde el año 1975, representa un ingreso interesante para la población local: 500 personas trabajan directamente sobre el sitio de extracción. El Larimar es una piedra semipreciosa azul-turquesa (pectolita), exclusividad mundial de esta zona, que se ha convertido en una seña de identidad de la nación Dominicana.

### **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 tectosedimentarios con características diferenciadas (Fig. 7; Fig. 8). 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 cobertera posteriores a las principales fases de deformación.

La Hoja de La Ciénaga abarca el Dominio de la Sierra de Bahoruco situado al Sur de la Zona de la Falla Enriquillo-Plantain Garden ocupada por la Cuenca de Enriquillo.

La denominación del terreno Hotte-Selle-Bahoruco (Mann et al. 1991) procede de los nombres de las tres sierras contiguas, las dos primeras en Haití y la tercera en la República Dominicana que, con directrices generales ONO-ESE se extienden de Oeste a Este por todo el sector meridional de La Española. La formación más representativa de este terreno es la Fm. Dumisseau (Maurrasse et al., 1979) del macizo de La Selle. Con más de 500 m de espesor, consiste en una alternancia de basaltos y pillow no metamórficos, doleritas, calizas pelágicas, cherts, limolitas silíceas y areniscas volcanogénicas, en la que las dataciones paleontológicas (Maurrasse et al., 1979) y radiogénicas (Sayeed et al., 1978; van der Berghe, 1983, Bellon et al., 1985), le atribuyen un intervalo de ocurrencia que va del Cretácico Inferior a, principalmente, el Cretácico Superior. En el macizo de la Hotte y en la sierra de Bahoruco hay formaciones basálticas equivalentes a la Fm. Dumisseau con edades del Maastrichtense-Paleoceno (Fm. Macaya), en el primer caso, y del Maastrichtense, en el segundo. Las similitudes petrológicas y geoquímicas entre los basaltos de la Fm. Dumisseau y los basaltos perforados en el DSDP en el seno del Mar Caribe (p.e. "horizonte B", de edad Coniaciense-Campaniense), apoyan la interpretación del terreno de Hotte-Selle-Bahoruco (Mann et al., 1991) como un fragmento emergido de la

meseta o plateau oceánico del Caribe (Maurrasse et al., 1979; Sen et al., 1988; Girard et al. 1982). Por encima de la Fm. Dumisseau y equivalentes, una importante discordancia marca el final del vulcanismo basáltico y el comienzo de un régimen esencialmente sedimentario, con cierto predominio de facies carbonatadas y ocasionales ocurrencias volcánicas, que comprende el intervalo del Cretácico terminal al Mioceno

Esta Sierra está integrada por una potente y monótona sucesión de unidades eminentemente carbonatadas, depositadas prácticamente durante el Paleógeno-Mioceno, aflorando localmente su sustrato cretácico, de naturaleza ígnea (basáltica). Aunque en detalle presenta una compleja sucesión de pliegues y fallas de envergaduras y geometrías diversas, a grandes rasgos se estructura como un gran antiforme cabalgante hacia el norte sobre la cuenca de Enriquillo.

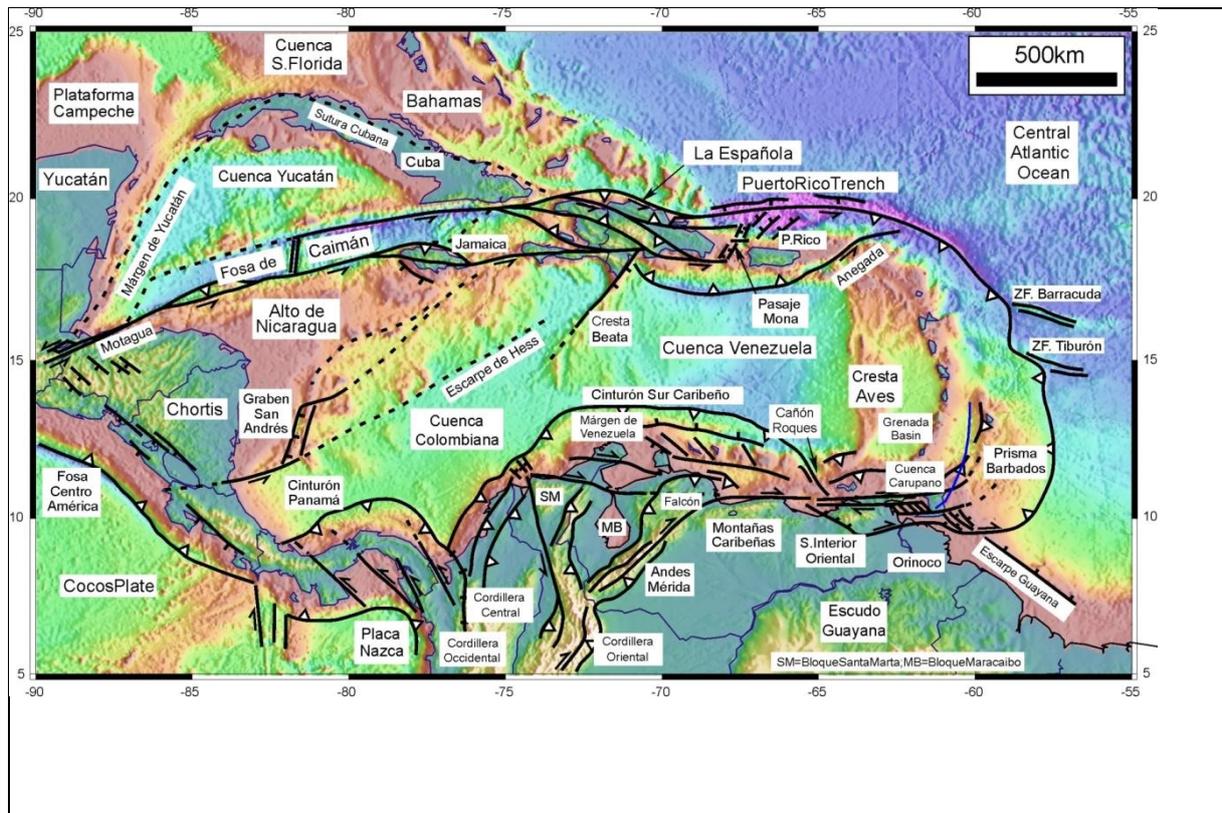


Fig. 4: Mapa de la placa Caribeña mostrando la situación de la isla de La Española en su borde septentrional. En la figura se muestran también los límites estructurales de la placa Caribeña con otras placas y los principales elementos tectónicos

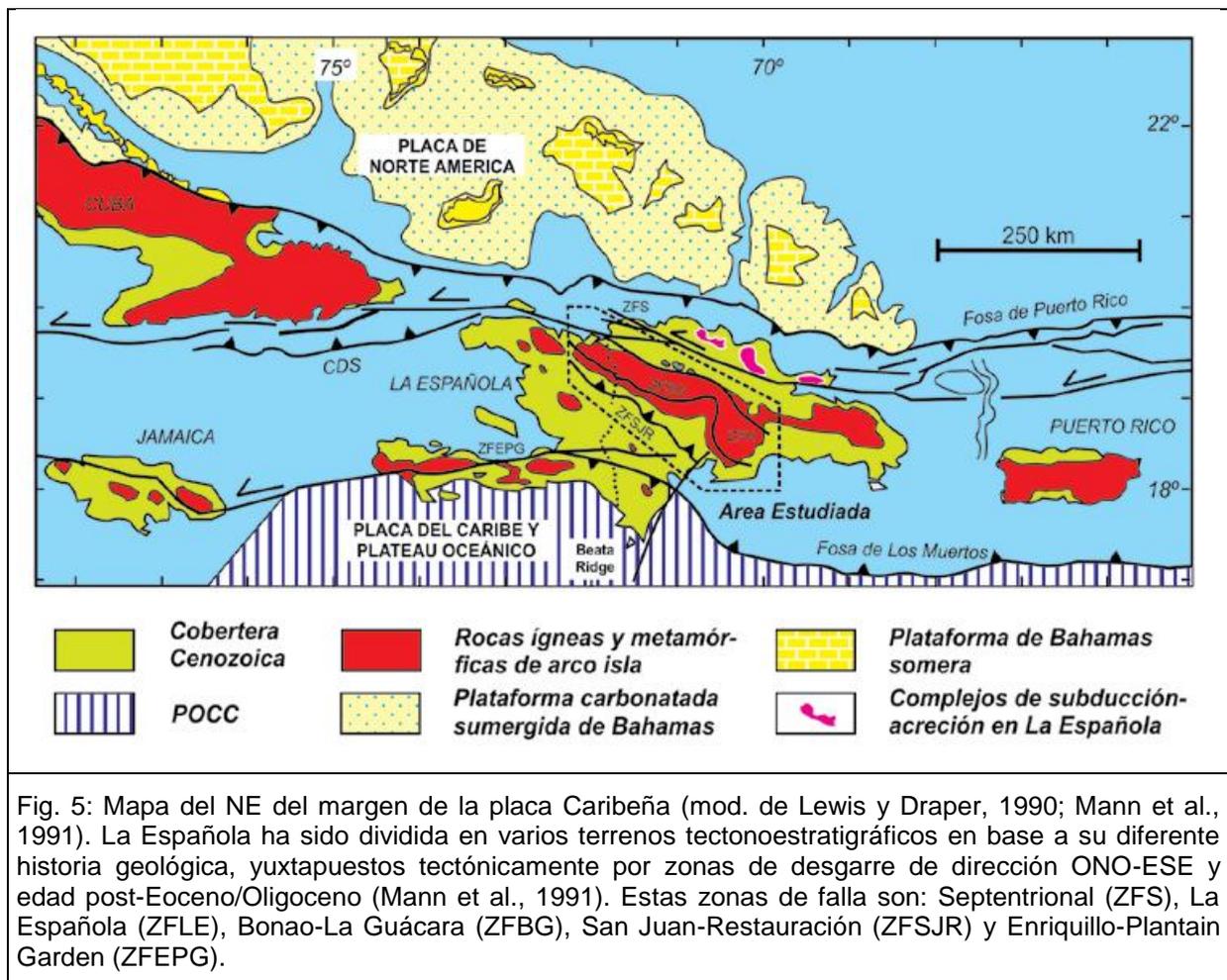


Fig. 5: Mapa del NE del margen de la placa Caribeña (mod. de Lewis y Draper, 1990; Mann et al., 1991). La Española ha sido dividida en varios terrenos tectonoestratigráficos en base a su diferente historia geológica, yuxtapuestos tectónicamente por zonas de desgarre de dirección ONO-ESE y edad post-Eoceno/Oligoceno (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).

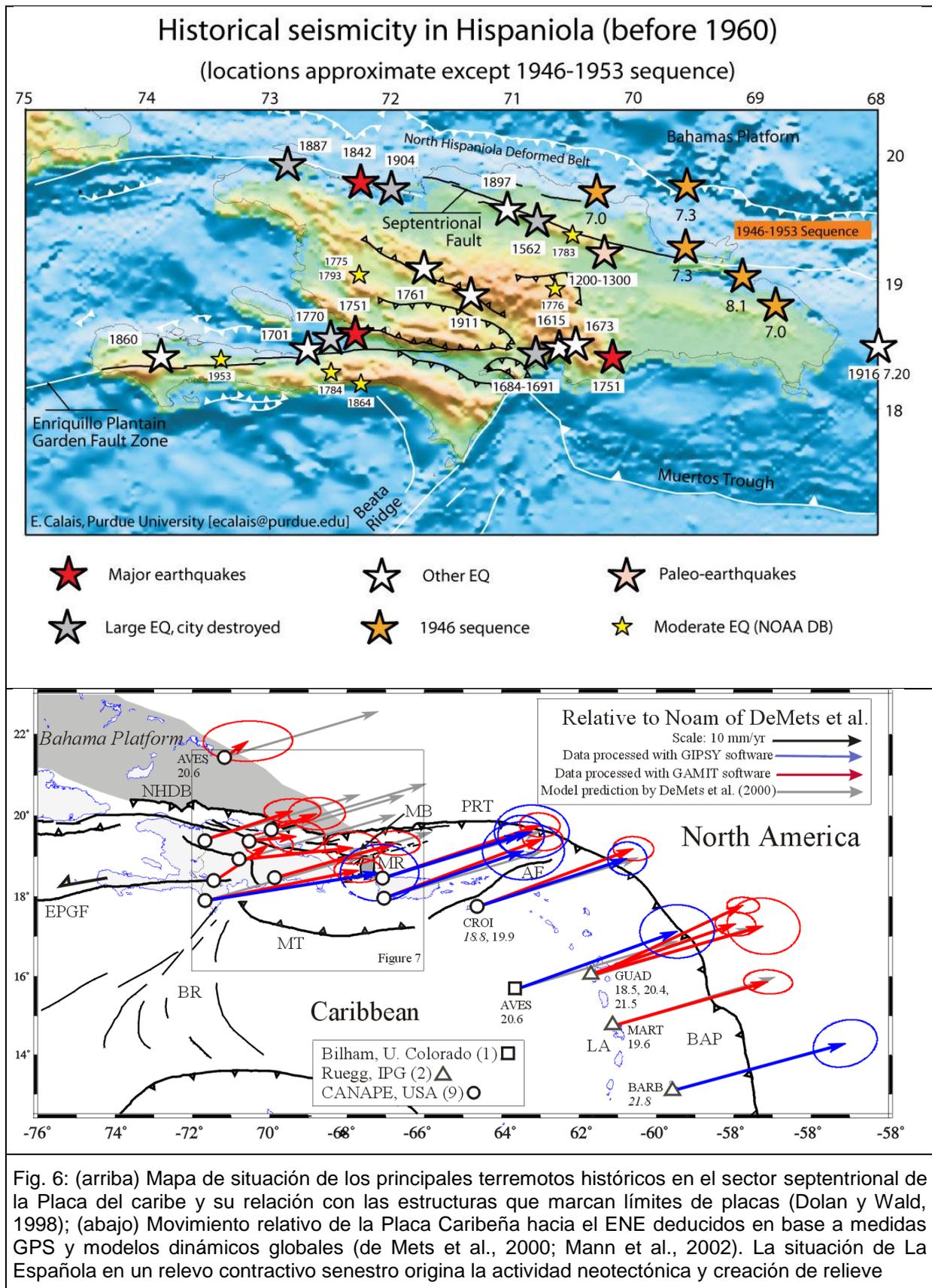


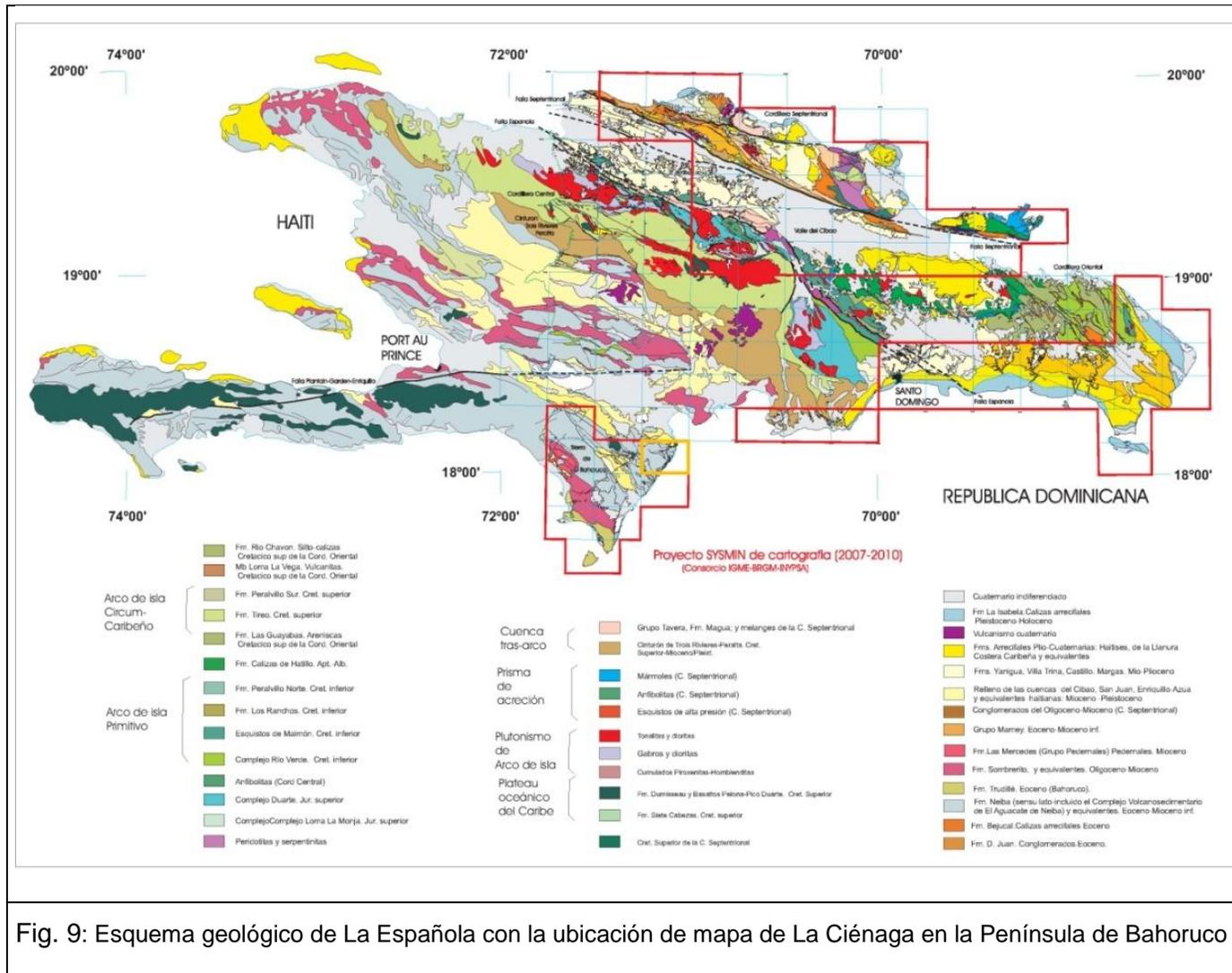
Fig. 6: (arriba) Mapa de situación de los principales terremotos históricos en el sector septentrional de la Placa del Caribe y su relación con las estructuras que marcan límites de placas (Dolan y Wald, 1998); (abajo) Movimiento relativo de la Placa Caribeña hacia el ENE deducidos en base a medidas GPS y modelos dinámicos globales (de Mets et al., 2000; Mann et al., 2002). La situación de La Española en un relevo contractivo senestro origina la actividad neotectónica y creación de relieve



Fig. 7: Principales unidades Morfotectónicas de La Española (Según Lewis y Draper ,1991, modificado a partir de los trabajos SYSMIN: Pérez-Estaún et al., 2007.



Fig. 8: Mapa de los terrenos tectonoestratigráficos de La Española según Mann et al., 1991, modificado a partir de los trabajos SYSMIN: Pérez-Estaún et al., 2007: (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; ZFPG, Enriquillo Plantain Garden; ZFSJR, San José- Restauración ; ZFLPSJ, LosPozos-San Juan .



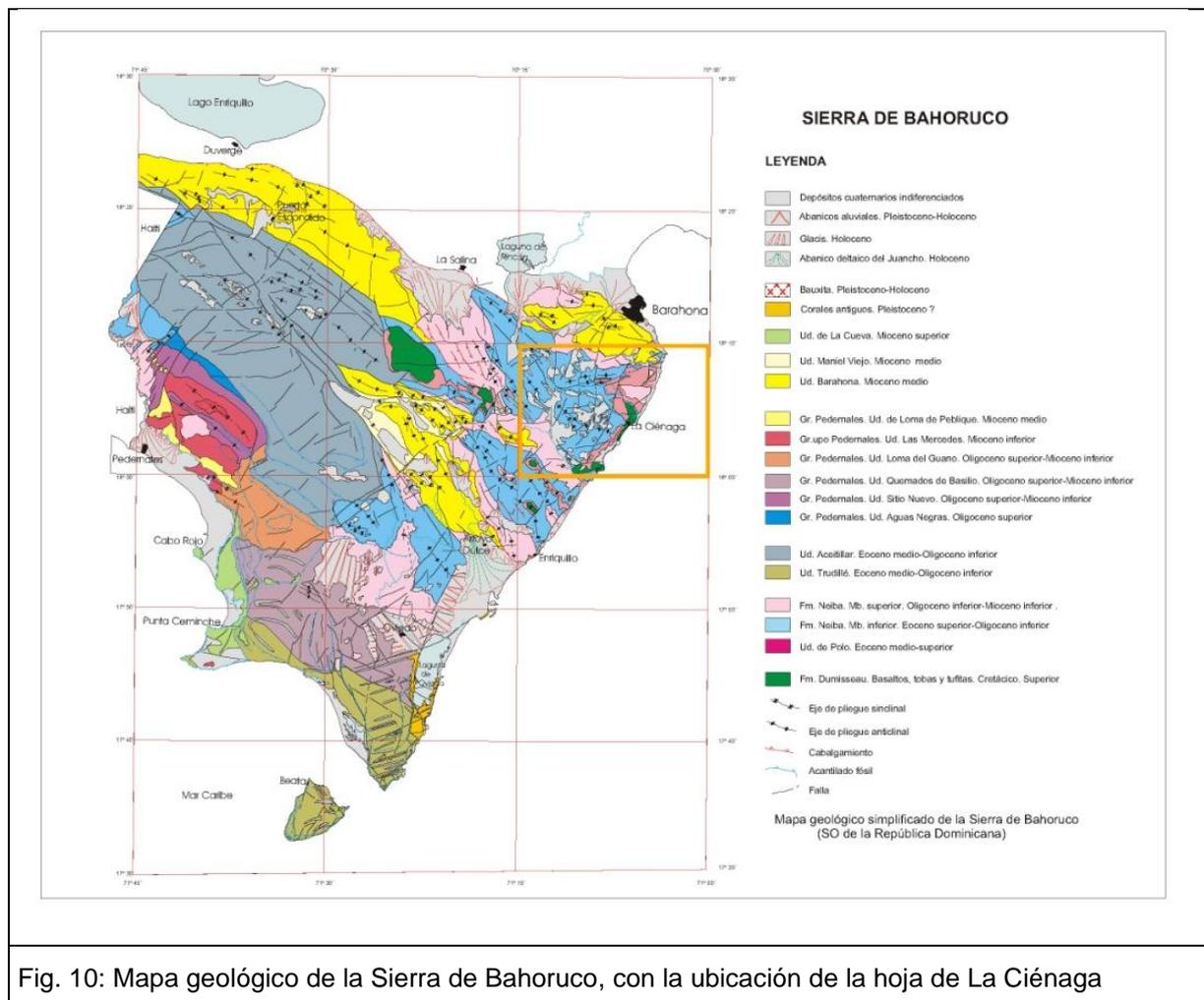


Fig. 10: Mapa geológico de la Sierra de Bahoruco, con la ubicación de la hoja de La Ciénaga

#### 1.4. Antecedentes

En la península de Bahoruco se han realizado básicamente dos trabajos de índole regional, que constituyen los únicos estudios en los cuales se aborda la estratigrafía de la región: Romeo Llinás (1971) y Osiris de León (1989). En el primero de ellos se estudia el área comprendida entre Polo y Duvergé, con una perspectiva muy estratigráfica y abordando el estudio de todas las unidades estratigráficas que afloran en este sector. El trabajo de Osiris de León (1989) abarca prácticamente toda la Península de Bahoruco, y en él describe las distintas unidades litoestratigráficas que componen la península, acompañado de estudios tectónicos, hidrogeológicos y de yacimientos minerales, y mostrando una cartografía a escala 1:125.000.

A nivel más regional, aunque los trabajos pioneros se remontan a la época del descubrimiento de América, las primeras exploraciones sistemáticas tuvieron lugar durante el siglo pasado con motivo de campañas petrolíferas y mineras, de las cuales derivan los

trabajos de Vaughan et al. (1921) para el Servicio Geológico de Estados Unidos, así como los de Arick (1941), Barnett (1941), Dohm (1941, 1942), Hunter (1943), Beall (1945) y Bermúdez (1949), entre otros, para la Dominican Seaboard Oil Company.

Entre las décadas de los años sesenta y ochenta tuvo lugar un notable impulso de los conocimientos geológicos de la República Dominicana, merced a la elaboración de una serie de tesis doctorales de carácter regional, entre las que cabe señalar las de: Bowin (1960), sobre el sector central de la República Dominicana; Mann (1983), centrada en aspectos estructurales y estratigráficos de La Española y Jamaica; 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. Por su particular interés en la zona de estudio es preciso destacar la tesis doctoral de Llinás (1971), en la que se aportan numerosos datos de tipo estratigráfico y estructural de la sierra de Bahoruco y del sector oriental de la cuenca de Enriquillo.

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

Debido a la excelente calidad de los afloramientos de materiales cuaternarios de origen arrecifal distribuidos por la cuenca de Enriquillo y sus implicaciones en la evolución más reciente de la región, su estudio ha sido otro de los temas que ha llamado la atención de los autores que han visitado la zona, pudiendo destacarse al respecto las publicaciones de Mann et al. (1984) y Taylor et al. (1985).

Ante la gran cantidad de trabajos existentes y la consiguiente proliferación de términos referentes a Formaciones, la Dirección General de Minería realizó un intento de unificación de la nomenclatura mediante la elaboración del Léxico Estratigráfico Nacional, con uno de sus dos tomos dedicado a las formaciones del suroeste del país (1984). En cuanto a las cartografías geológicas de síntesis, a la realizada por la Organización de Estados Americanos a escala 1:250.000 (Blesch, 1966), hay que añadir la elaborada a la misma escala, pero con un detalle y calidad superiores, por la Dirección General de Minería y el Instituto Cartográfico Universitario en colaboración con la Misión Alemana (1991).

Otra notable cartografía de síntesis acompaña a la interesantísima 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 entre ellos cabe destacar los de McLaughlin et al., quienes abordan la descripción bioestratigráfica y paleogeográfica de los materiales de las cuencas de Azua y Enriquillo, y Mann et al. (1991c), que proponen una interpretación estructural de las citadas cuencas. Posteriormente, las referencias a la cuenca de Enriquillo fueron ampliadas y revisadas por Mann et al. (1999) dentro de un volumen monográfico relativo a las cuencas caribeñas.

Además de los anteriores, destacan por su importancia en la Hoja las tesis doctorales de Cooper (1983) y Breuner (1985), especialmente por su interés para la estratigrafía de los materiales neógenos, así como la de McLaughlin (1989), ésta enfocada desde un punto de vista bioestratigráfico y evolutivo. Otro tanto puede decirse del estudio hidrogeológico de la región suroriental dominicana elaborado por De León (1983), con una clara descripción estratigráfica acompañada de un esquema cartográfico.

En cuanto a los estudios de índole geomorfológica, son escasos, al igual que en el resto de la República Dominicana. De entre ellos, hay que resaltar el libro Geografía Dominicana (De la Fuente, 1976), que además de aportar una abundante cantidad de datos geográficos e ilustraciones, apunta numerosas consideraciones de orden geomorfológico; sus denominaciones geográficas han servido de referencia durante la realización del presente trabajo.

Entre los trabajos más recientes es preciso señalar los desarrollados en la región limítrofe con motivo del Proyecto de Cartografía Geotemática de la República Dominicana (Díaz de Neira, 2000b; Gómez 2000; Díaz de Neira 2004; García Senz 2004; Genna 2004; Nicol 2004; Deschamps 2004), que suponen un considerable avance en el conocimiento geológico de la región, no sólo desde un punto de vista cartográfico, sino también por el tratamiento sistemático de su estratigrafía, tectónica, geomorfología, petrología y geología económica.

Por último, todos los trabajos desarrollados en este Proyecto SYSMIN durante etapas anteriores (Proyectos C y L de Cartografía Geotemática, 1998-2000 y E de prospección magnética y radiométrica aereoportada del territorio de la República Dominicana; CGG, 1995-96) y las publicaciones a que dieron lugar: Pérez-Estaún et al., Lewis et al., Escuder-Viruete et al., Díaz de Neira & Solé Pont, Hernáiz Huerta et al., y Locutura et al., en Acta Geológica Hispánica, (2002) y Pérez-Estaún et al., García-Lobón et al., Escuder-Viruete et

al., García-Senz et al., Hernáiz Huerta et al., Serra-Kiel et al., Diaz de Neira et al. en Boletín Geológico y Minero, (2007).

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 a escala 1:50.000 de La Ciénaga afloran materiales mesozoicos (Cretácico) de origen volcánica y cenozoicos de origen sedimentario que pueden agruparse en dos grandes conjuntos:

- Materiales paleógenos y miocenos, que configuran la morfoestructura de la sierra de Bahoruco. Se trata de una sucesión muy potente de carbonatados de ambientes marinos de poco a medio profundo.
- Materiales cuaternarios, sobreimpuestos a los conjuntos anteriores de forma irregular, de carácter fluvial o de afinidad litoral.

### **2.1. Cretácico**

#### **2.1.1. La Formación Dumisseau (Volcanismo basáltico Cretácico superior)**

##### **2.1.1.1. Generalidades**

Los materiales más antiguos del SO de la República dominicana corresponden principalmente a rocas volcánicas y volcanoclásticas perteneciente a la Formación Dumisseau (Cretácico), definida en Haití por Maurasse et al. (1979). Estos materiales relacionados con arco-isla y plateau oceánico afloran en la Cordillera Central, la Sierra de Neiba (Bourgeois et al, 1979; Breuner, 1985)-Chaine des Maheux (Kesler, 1971) y la Sierra de Bahoruco-Massif de la Selle (Pindell et Al, 1981; Van den Berghe, 1983). Estas rocas se han encontradas en los sondeos de exploración realizados en las cuencas de Azua y Enriquillo-Cul de Sac (Mann et al 1991)

En la parte central de la Sierra de Bahoruco, este volcanismo aflora en las Hojas de La Ciénaga, Enriquillo, Polo y La Salina, constituyendo el sustrato de la serie carbonatada cenozoica (Fig. 10). Van den Berghe (1983) ha obtenido edades de 74,2+3,7 (Campaniense-Maastrichtiense y 105+-20 Ma (Aptiense-Cenomaniense) por método K-Ar sobre roca total en los basaltos del Sur de Barahona.

Según Girard et al (1982), estos basaltos son no-orogénico, de tipo toleítico oceánico, parecidos a los que se sondearon en la dorsal de Beata.

Bernard de Lépinay et al (1979) y Maurasse (1982) han descrito basaltos parecido muy fallados del Cretácico superior a lo largo de la cresta anticlinal de La Selle en Haití. Para Biju-Duval et al (1983) el paleoambiente Cretácico del basamento basáltico del macizo de La Selle corresponde a una cuenca pelágica marina con montes volcánicos submarinos que emiten lavas y volcanoclastitas en la pendiente y en la cuenca profunda.

Según Sen et al (1988).estos basaltos del macizo de La Selle se formaron en una dorsal medio-oceánica o punto caliente

Desde un punto de vista paleogeográfico, la configuración del fondo oceánico en esta etapa debe asimilarse a una sucesión irregular de montes submarinos separados definiendo alineaciones (seamounts) como consecuencia de la intermitencia en la intensidad de la actividad eruptiva. En algunas zonas la emisión de lavas fue tan importante en aguas profundas que en algún momento del Cretácico superior varios edificios volcánicos emergieron y alcanzaron el nivel del mar formando islas, tal y como puede inferirse del desarrollo de paleosuelos en el techo de la Fm Dumisseau o la aparición de restos de plantas superiores continentales, carbonizadas, en coladas de basaltos a techo de esta misma formación en el sector nororiental de la Sierra.

Por otra parte, fragmentos de la meseta oceánica caribeña afloran también dentro de la secuencia magmática de la Cordillera Central Dominicana (Fm Peña Blanca y Fm Pelona-Pico Duarte), que se han interpretado como una etapa de magmatismo intraplaca del Cretácico superior (Campaniense) ya que no presentan signatura subductiva (Escuder-Viruet et al., 2007b). Tanto los basaltos de Peña Blanca como los de Pelona-Pico Duarte son probablemente discordantes sobre la secuencia de arco del Grupo Tireo (Albiense-Campaniense) (Mann et al, 1991; Escuder-Viruet et al., 2007a), constituido por rocas extrusivas y subvolcánicas relacionadas con el arco isla caribeño. No es del todo improbable que, en algún momento del Campaniense, la actividad volcánica derivada del estadio de arco isla, representado por este Grupo Tireo en la Cordillera Central, haya sido coetánea a la emisión de los basaltos del plateau oceánico del Caribe de la Sierra de Bahoruco, sin bien su relación lateral es, hasta hoy en día, incierta.

En algunas zonas de la vertiente septentrional de la propia Sierra de Bahoruco (hojas de Polo y La Salina) se ha descrito una secuencia sedimentaria de edad cretácica superior que se encuentra por encima de las rocas volcánicas que constituyen la meseta del Caribe, denomina Fm Río Arriba (Romeo Llinás, 1971). Esta formación, constituida por areniscas, calcarenitas y calizas, registra zonas o momentos en la historia mesozoica de la cuenca donde la sedimentación marina siliciclástica y carbonatada fue más importante que la

emisión de rocas volcánicas. En este sentido, en la Sierra de Neiba (Hoja Galván, Hernaiz Huerta, 2004), se ha descrito otra unidad eminentemente sedimentaria denominada El Manguito, representada por calizas y pizarras de ambientes marinos abiertos del Cretácico Superior que intercala coladas de basaltos de composición toleítica y signatura N-MORB. Esta característica permite clasificarlos como basaltos de fondo oceánico y correlacionarlos con los de la citada meseta oceánica. Por tanto, representan equivalentes laterales tanto de la Fm Dumisseau como de la Fm Río Arriba.

#### 2.1.1.2. La Formación Dumisseau en la Hoja de La Ciénaga

##### 2.1.1.2.1. Fm Dumisseau (1) Basaltos, piroclastitas y epiclastitas (Cretácico superior K<sub>2</sub>)

La Fm Dumisseau (Cretácico superior) definida en Haití por Maurasse et al. (1979), de tipo volcanosedimentario, está bien representada (aproximadamente 7 km<sup>2</sup>) en tres lugares de la Hoja de La Ciénaga:

- en la franja costera, desde Bahoruco-La Ciénaga hasta Punta Arena al límite Sur.
- en Los Checheses, en el Centro-Norte, conocidos por la mina de Larimar
- en el Charco Prieto, en la esquina SO de la Hoja.

Los principales afloramientos (3 km<sup>2</sup>) ocupan los pequeños relieves (maxi 250 m) alrededor de Bahoruco y La Ciénaga y llegan hasta la costa, entallados por el Río Bahoruco y su afluente Brazo Seco.

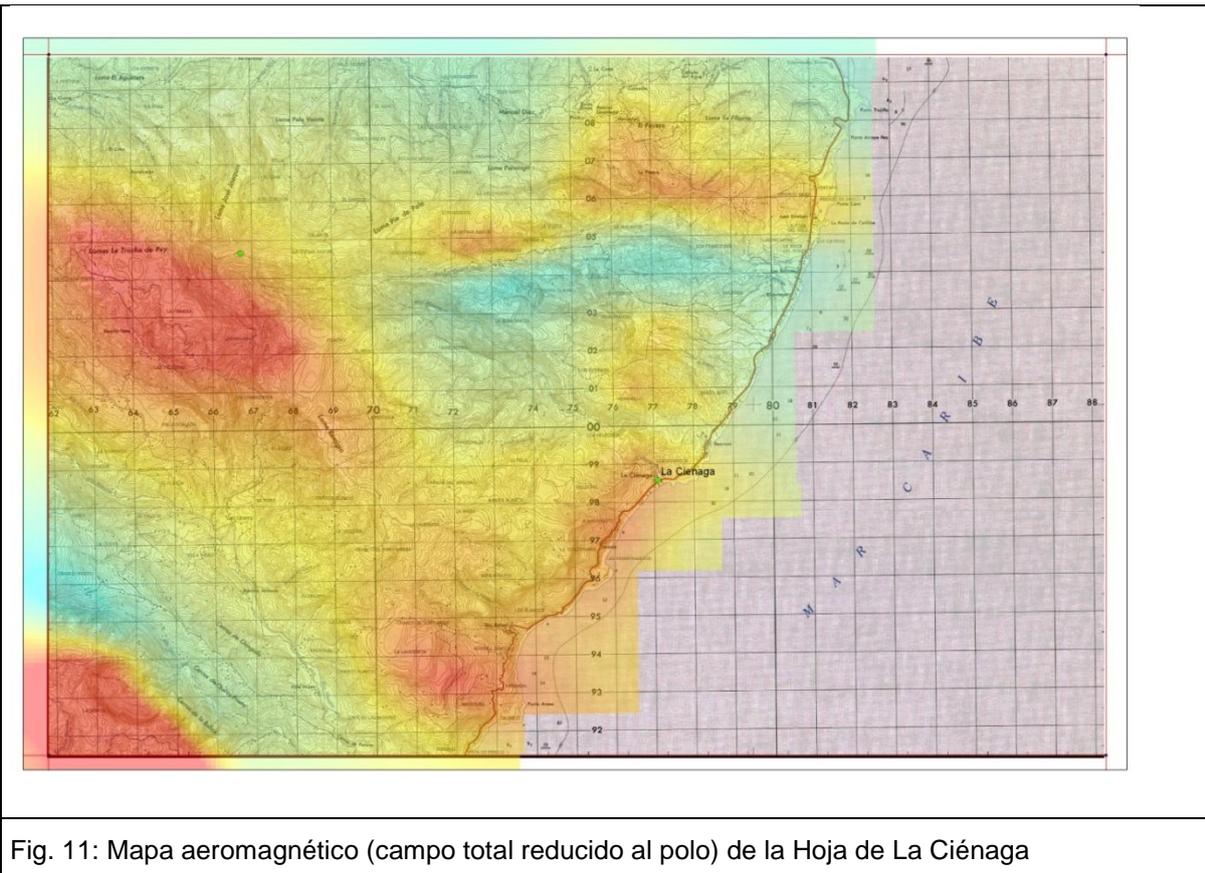
Al Sur de estas localidades afloran muy bien a lo largo de la Ctra. de la Costa en una estrecha franja de 0,3 a 1 km de ancho. Una peligrosa zona de debilidad al límite de los basaltos y de la serie carbonatada suprayacente (Ud de Polo del Eoceno medio), marcada por un salto en el relieve muy fuerte, favorece los deslizamientos que ocultan en gran parte los afloramientos de la Fm basálticas por debajo de los coluviones de calizas. En la costa de San Rafael y Punta Arena los afloramientos son espectaculares. Al Oeste de Punta Arena, en la Ctra. Calimete-Café de Las Mujeres, en la margen izquierda del Río Nizaito, los basaltos afloran hasta la cota 500m.

En Charco Prieto, los basaltos que afloran en el corazón anticlinal (1km<sup>2</sup>) de la serie carbonatada de la Ud de Polo y de la Fm Neiba (Eoceno medio y superior), entallada por un pequeño afluente derecho del Río Nizaito, son de acceso muy difícil, entre 600 y 800 m de altura.

En los Cheseses, al centro-norte de la Hoja, conocidos por la Mina de Larimar, la serie volcanosedimentaria aflora a favor de una zona de Falla OSO-ENE, en una pequeña superficie (0,4 km<sup>2</sup>). Está encajonada entre 750 y 850 m de altura a la base de las calizas

de la Ud de Polo a la confluencia del Río Sito y del Arroyo Brazo Seco cuyo valle sigue la zona de Falla.

El mapa aeromagnético del campo total reducido al polo (Fig. 11) refleja muy bien los afloramientos conocidos. Además, una fuerte anomalía positiva de orientación NO-SE, ubicada al NO de la Hoja, sugiera la presencia de basaltos no aflorantes por debajo de la Fm Neiba de la Sierra de La Loma La Trocha de Pey.



La Fm Dumisseau, es bastante diferenciada pero la exigüidad de los afloramientos y la falta de seguimientos y correlaciones entre los afloramientos no han permitido representar cartográficamente estas variaciones de facies. La secuencia teórica, obtenida a partir de las observaciones de campos y de los frentes subterráneos de la nueva galería de la mina de Larimar de los Chesees realizada por el proyecto Sysmin II (Fig. 12) aparece constituida de muro a techo por:

- Basaltos vesiculares, autobrechas y diques basálticos
- Piroclastitas (brechas, tobas y cineritas)
- Epiclastitas, debris-flows y lahars

- Arcillas rojizas o gris-verde incluyendo paleosuelos con troncos fósiles carbonizados o epigenizados por el larimar (pectolita)

No se observaron las calizas gris-oscuro de la Fm Río Arriba (Llinás, 1971)), con fauna del Cretácico superior terminal, descritas en las Hojas vecinas de La Salina y Polo

#### **A- Basaltos vesiculares, autobrechas y diques basálticos**

Los afloramientos más significativos de estas facies se observan en la costa de San Rafael entre Los Derrumbados al Norte y Punta Arena al Sur.

Aunque tremendamente tectonizados por la falla de Beata que borda la costa Este de toda la Península de Bahoruco, los basaltos de color negro, gris oscuro, o violáceo y verde amarillento debido a un fuerte hidrotermalismo, presentan zonas protegidas con vesículas mm a cm de color blanco (calcita), que subrayan localmente la fluidalidad de las coladas. Estructuras ovaladas métricas de la costa de San Rafael corresponden probablemente a pillow-lavas.

Autobrechas basálticas, con elementos angulosos centimétricos a decimétricos bordan localmente las coladas.

Diques basálticos masivos, de potencia decimétrica a métrica, cortan la serie basáltica encajante.

La descripción petrográfica se encuentra en el capítulo 3 PETROLOGIA, GEOQUIMICA y DATAACIONES de las rocas basálticas de la Fm Dumisseau (ver informe complementario; Javier Escuder Viruete, IGME, 2009.

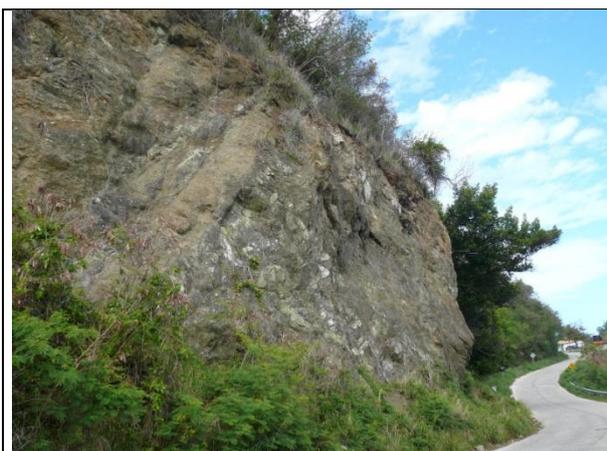


Foto 9 : Afloramiento de la Fm Dumisseau (Cretácico superior) en San Rafael, Ctra. de la Costa (116MJ9143\_14; Lat: 18,03280083; Long: -71,13228014)



Foto 10 : Colada de Basaltos de la Fm Dumisseau (Cretácico superior) Playa de San Rafael (116MJ9145\_1; Lat: 18,03398226; Long: -71,12959013)



Foto 11 : Basaltos masivos de la Fm Dumisseau (Cretácico superior) Playa de San Rafael (116MJ9145\_12; Lat: 18,03398226; Long: -71,12959013)



Foto 12 : Gran proporción de vesículas rellenas de calcita blanca en los Basaltos de la Fm Dumisseau; (Cretácico superior) Playa Sur de La Ciénaga (116MJ9340\_1; Lat: 18,06076764; Long: -71,10998721)



Foto 13 : Basaltos hidrotermalizados de la Fm Dumisseau; (Cretácico superior) Playa Sur de La Ciénaga (116MJ9340\_5; Lat: 18,06076764; Long: -71,10998721)



Foto 14 : Fm Dumisseau: Lavas y autobrechas basálticas (Cretácico superior) Brazo Seco, Norte Bahoruco. (116MJ9029\_1; Lat: 18,09037252; Long: -71,09913239)



Foto 15 : Basaltos con pillow-lava (?) de la Fm Dumisseau (Cretácico superior) San Rafael (116MJ9143\_9; Lat: 18,03280083; Long: -71,13228014)



Foto 16 : Dique basáltico cortando las brechas basálticas de la Fm Dumisseau; (Cretácico) Punta Arena Costa SE de la Hoja de La Ciénaga SO (116MJ9280\_3; Lat: 18,06628319; Long: -71,1092802)

### B- Piroclastitas (brechas, tobas y cineritas)

Las piroclastitas, con elementos angulosos centimétricos a métricos, representan un porcentaje considerable del material volcánico. Localmente se observa una cierta organización (graded bedding) como es el caso en los afloramientos de la mina de Larimar.

La frecuente yuxtaposición de elementos angulosos y redondeados de tamaño centimétricos a métricos traduce un retrabajo de este material de tipo lahars o debris-flow.



Foto 17 : Brechas basálticas de la Fm Dumisseau (Cretácico) San Rafael (116MJ9143\_4; Lat: 18,03280083; Long: -71,13228014)



Foto 18 : Brechas basálticas de la Fm Dumisseau (Cretácico superior) San Rafael (116MJ9143\_2; Lat: 18,03280083; Long: -71,13228014)



Foto 19 : Bloque de Brechas basálticas con elementos angulosos (Fm Dumisseau; Cretácico superior). Río Sito, borde SO Hoja de La Ciénaga (116MJ9106\_3; Lat: 18,00047787; Long: -71,18401869)



Foto 20 : Bloque de Piroclastitas con elementos clasificados (Fm Dumisseau, Cretácico superior). Río Sito, borde SO Hoja de La Ciénaga (116MJ9108\_3; Lat: 18,010193; Long: -71,20751174)



Foto 21 : Brechas basálticas con elementos redondeados retrabajados ( Fm Dumisseau; Cretácico). Río Sito, La Baliza SO Hoja de La Ciénaga (116MJ9110\_4; Lat: 18,01508107; Long: -71,21297406)



Foto 22 : Bloque de Brechas basálticas con elementos redondeados, retrabajados (Fm Dumisseau; Cretácico superior). Río Sito, borde SO Hoja de La Ciénaga (116MJ9106\_4; Lat: 18,00047787; Long: -71,18401869)

### C- Epiclastitas

Las epiclastitas están bien representadas en los afloramientos de la Ctra. de la Costa, al Sur de La Ciénaga

Los niveles decimétricos a métricos bien organizados, pero poco consolidados, de color alternando del gris verdoso al rojizo, están constituidos por una proporción variable de elementos basálticos mm a cm, más o menos redondeados, retrabajados y redepositados en agua tranquila (lago o laguna) con posible cineritas, limos y arcillas. Pequeñas bolitas de 0,5 cm (lapilli ?) y concreciones carbonatadas de 1 a 5 cm a de diámetro se destacan de la matriz fina. Una red de pequeñas vetillas de calcita invade la roca.



Foto 23 : Epiclastitas finas de color verde y pardo (Fm Dumisseau, Cretácico superior); Majagualito Ctra. de la costa SE (116MJ9150\_1; Lat: 18,05434417; Long: -71,11563829)



Foto 24 : Epiclastitas estratificadas de la Fm Dumisseau; cortadas por vetillas de calcitas (Cretácico superior) La Ciénaga SO (116MJ9152\_6; Lat: 18,06628319; Long: -71,1092802)



Foto 25 : Epiclastitas estratificadas de la Fm Dumisseau; cortadas por pequeñas fallas y vetillas de calcitas (Cretácico superior) La Ciénaga SO (116MJ9152\_7; Lat: 18,06628319; Long: -71,1092802)

#### D- Arcillas rojizas o verdes, paleosuelos con troncos fósiles carbonizados y epigenizados por el larimar

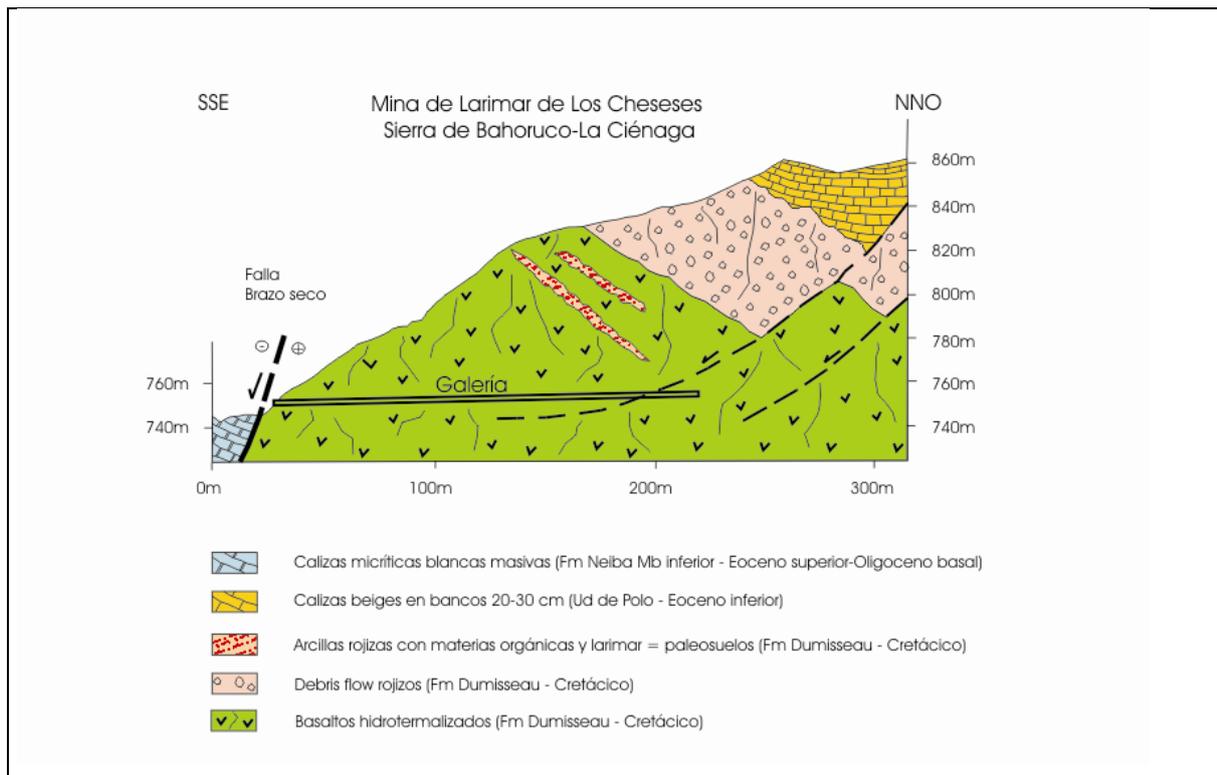
Asociado a las epiclastitas, los niveles rojizos decimétricos a métricos, ricos en arcillas, traducen la meteorización de un paleosuelo o su calcinación por una colada posterior. En la mina de Larimar, la presencia frecuente, en estos horizontes, de troncos fósiles carbonizados y localmente epigenizados por la pectolita azul (Foto 26; Foto 27) objeto de la explotación, confirman la emersión local de edificios volcánicos colonizados por una flora abundante (Espí 2007).



Foto 26 : Troncos fósiles parcialmente substituidos por la pectolita (Larimar) encontrado en los paleosuelos de la Fm Dumisseau (Cretácico superior) de la mina de Larimar de Los Cheseses (116MJ9181\_6; Lat: 18,11967524; Long: -71,1396366)



Foto 27 : Tronco fósil parcialmente substituido por la pectolita (Larimar) encontrado en los paleosuelos de la Fm Dumisseau (Cretácico superior) de la mina de Larimar de Los Cheseses (116MJ9181\_6; Lat: 18,11967524; Long: -71,1396366)



Columna litoestratigráfica de la Fm volcanosedimentaria de Dumisseau (Cretácico superior)  
Mina de Larimar de Los Cheseses, Sierra de Bahoruco (Hoja de La Ciénaga)  
(Según J.A. Espí 2007-Proyecto SYSMIN II)

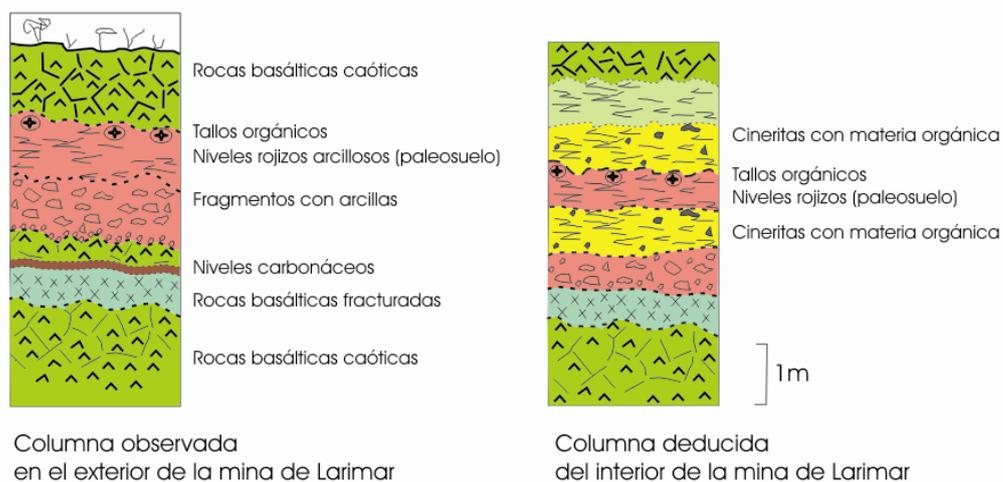
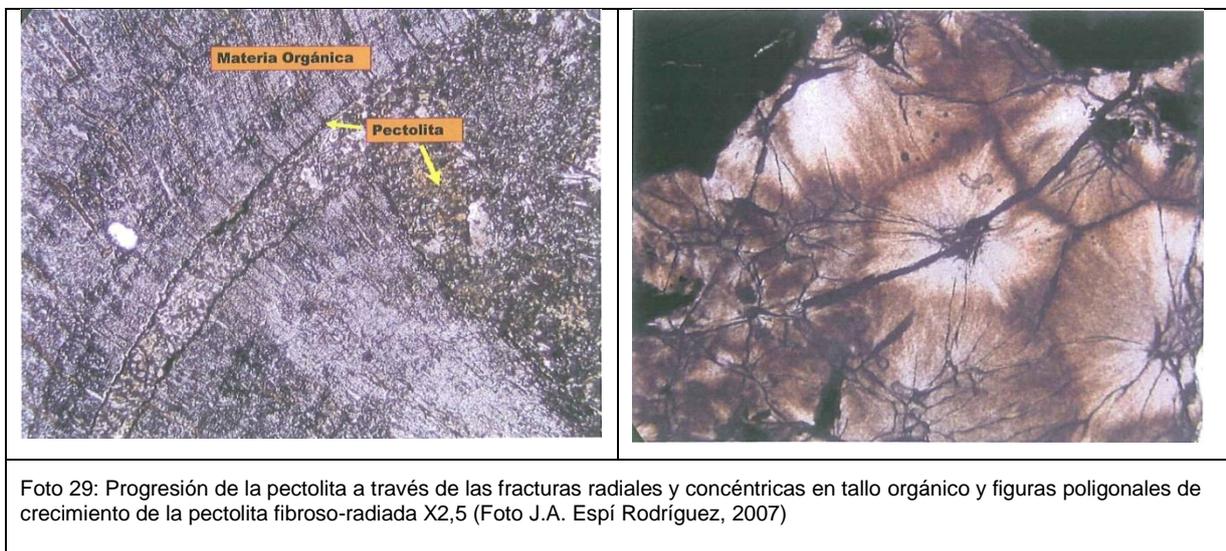
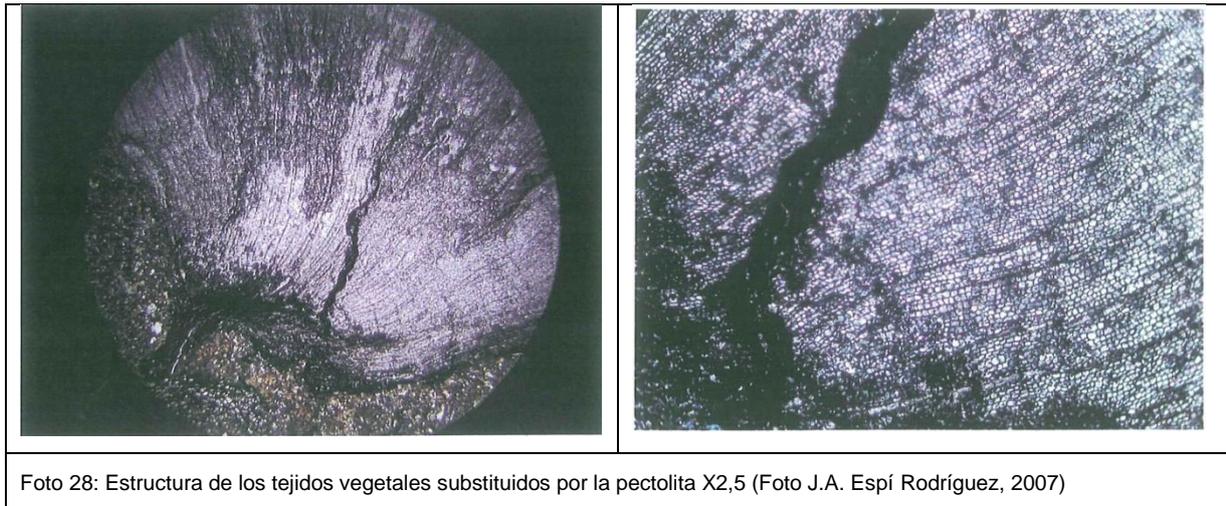


Fig. 12 Corte de la mina de Larimar y secuencia volcánica al interior y al exterior de la mina según J.A. Espí (2007). Los Cheseses, Hoja de La Ciénaga (Entrada galería: Lat: 18,11967524; Long: -71,1396366)



## 2.2. Paleógeno-Neógeno

Los materiales sedimentarios aflorantes en el ámbito de la sierra de Bahrucó han sido interpretados en un contexto caracterizado por sedimentación marina profunda durante el Paleógeno y el Mioceno (Linás, 1971; Cooper, 1983; Mann *et al.*, 1991b).

En la Hoja de La Ciénaga, por encima de la Fm volcanosedimentaria de Dumisseau del Cretácico superior, se depositaron las siguientes formaciones sedimentarias:

- la Ud de Polo al Eoceno medio,
- la Fm Neiba (Mb inferior) al Eoceno superior-Oligoceno inferior basal,
- la Fm Neiba (Mb superior) del Oligoceno al Mioceno inferior,
- la Ud de Barahona al Mioceno medio-superior.

## **2.2.1. Eoceno-Mioceno Inferior**

### **2.2.1.1. Unidad de Polo (Eoceno)**

#### **2.2.1.1.1. Generalidades**

La Ud de Polo (*Eoceno*). Corresponde a una unidad de nueva definición, compuesta por una sucesión de calizas típicamente de algas rojas, en ocasiones formando rodolitos de varios centímetros de diámetro, y con un característico aspecto masivo de campo. Estas características, junto con su organización y su posición directamente por encima de las rocas volcánicas de la Fm Dumisseau han permitido su diferenciación cartográfica y han justificado su definición. Tiene rango de formación y aflora en áreas donde anteriormente estaba cartografiada la Fm Plaisance (Osiris de León, 1989).

Osiris de León distingue una serie de calizas beige (color café) con algo de pedernal y estratificada en bancos métricos, y atribuye esta formación a la Fm Plaisance, descrita en el NO de Haití por Vaughan et al. (1921), atribuyéndole una edad Eoceno inferior-medio. En su cartografía la diferencia básicamente en los sectores de Los Pinos, Enriquillo, Loma de la Torre, etc... En este proyecto, se ha visto que los sectores donde se había diferenciado la Fm Plaisance realmente corresponden a diversas unidades, algunas con características estratigráficas propias y otras correlacionables con unidades descritas en posiciones geográficas más cercanas, con quienes guardan un mayor parecido. Además, las edades están comprendidas entre el Eoceno medio y el Oligoceno basal. Este hecho, junto con la situación muy alejada del área tipo de la Fm Plaisance, posiblemente en un contexto geológico diferente, y la imposibilidad de comprobar la Fm Plaisance en su lugar de definición, no asegura la validez de la Fm Plaisance en la Península de Bahoruco. En los lugares donde aparece la Fm Plaisance se ha reconocido la Unidad de Polo (nueva definición) y la Fm Neiba (miembro inferior).

#### **2.2.1.1.2. Ud de Polo en la Hoja de La Ciénaga**

La Ud de Polo está bien representada en la Hoja de La Ciénaga, cubriendo aproximadamente el 15% de la superficie.

Las calizas masivas constituyen los primeros fuertes relieves del frente del Mar Caribe, por encima del volcanismo cretácico, originando los espectaculares paisajes de la región de La Ciénaga-San Rafael (Foto 30; Foto 31). El Río Bahoruco y su afluente Brazo Seco fuertemente encajados ocasionan unos buenos afloramientos de estas rocas muy competentes, cuyos contactos con la Fm volcanosedimentaria infrayacente de Dumisseau

son frecuentemente mecánicos. Al Sur de San Rafael, la Ctra. Calimete-Majagual permite buenas observaciones de la serie alrededor de la antena telefónica.

Al Norte de Batoruco la serie forma un triángulo que se extiende hasta la mina de Larimar donde cubre también los pequeños afloramientos volcánicos.

En Charco Prieto, en la esquina SO de la Hoja, la Ud de Polo aflora por encima de los basaltos, continuándose hacia el Sur, en la Hoja de Enriquillo donde mejor se observa.

	
<p>Foto 30 : Barra de calizas de la Ud de Polo, con coluviones tapando los basaltos de la Fm Dumisseau y playa de San Rafael Sur . Vista desde la Ctra. San Rafael Paraíso (116MJ9378_6; Lat: 18,02360035; Long: -71,14088885)</p>	<p>Foto 31 : Barra de calizas masivas de la Ud de Polo vista desde Brazo Seco hacia el Este. (116MJ9185_2; Lat: 18,08498313; Long: -71,15821484)</p>

#### 2.2.1.1.2.1. Ud de Polo (2) Calizas masivas con rodolitos y foraminíferos-Eoceno inferior-medio ( $P_2^1$ - $P_2^2$ )

La unidad se presenta en general como una potente barra pluridecamétrica a hectométrica de calizas masivas de color beige a blanco y patina gris (Foto 32; Foto 34; Foto 35; Foto 37) sobre la formación volcanosedimentaria de Dumisseau. Localmente, la karstificación originó cuevas decamétricas (Foto 33) como en el valle del Arroyo que corta la Loma de Los Franceses al Oeste de Las Balizas.

Hacia la base de la unidad aparece localmente una cierta organización en bancos masivos de potencia métrica más o menos nítidos, constituidos por las mismas calizas beige a blanco; se puede observar en el vertedero de Las Balizas (Foto 36).

La potencia máxima se estima a un poco menos de 500 m.

Estas calizas masivas son típicamente de algas rojas, con frecuentes rodolitos de varios centímetros de diámetro.

Al microscopio (ver la ficha ERADATA de la muestra n° 116MJ9304: Lat: 18.11740; Long: -71.12080), se trata de una biopelmicrita con algas y foraminíferos, con estructura heterogénea y textura de tipo wackestone a packstone

Los trozos de algas (*Rhodophyceae coralinacea*) son abundantes.

Los foraminíferos bénticos son frecuentes pero muy mal conservados (*Neodiscocyclina barkeri* VAUGHAN & COLE ?, *Neodiscocyclina grimsdalei* VAUGHAN & COLE) y los planctónicos muy raros (*Subbotina cf. velascoensis* CUSHMAN).

El medio de depósito, corresponde a una plataforma arrecifal interna (lagoon).

La edad bioestratigráfica es Paleoceno superior a Eoceno basal.



Foto 32 : Ud de Polo : barra de calizas blancas masivas; Loma de Los Franceses (116MJ9262\_2; Lat: 18,11791286; Long: -71,08979277)

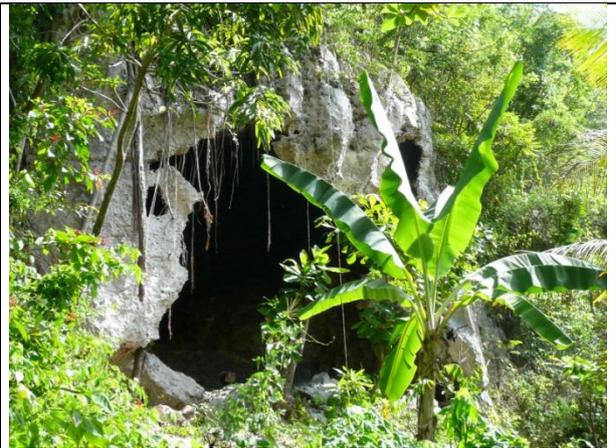


Foto 33 : Cueva en la barra de calizas masivas de la Ud de Polo; Loma de Los Franceses (116MJ9264\_6; Lat: 18,11903989; Long: -71,09397853)



Foto 34 : Ud de Polo: calizas masivas Eoceno medio) NO Las Auyamas (116MJ9037\_1; Lat: 18,09742791; Long: -71,12754294)



Foto 35 : Ud de Polo: calizas masivas Eoceno medio) NO Las Auyamas (116MJ9037\_3; Lat: 18,09742791; Long: -71,12754294)



Foto 36 : Ud de Polo : calizas blancas masivas con rodolitos en bancos métricos; Loma de Los Franceses (116MJ9261\_2; Lat: 18,11559317; Long: -71,08854856)



Foto 37 : Base de la barra de calizas masivas de la Ud de Polo surmontando los basaltos cretácicos de la Fm Dumisseau; Entre los Arroyos Cotorra y Brazo Seco (116MJ9352\_1; Lat: 18,09680404; Long: -71,10832063)



Foto 38 : Ud de Polo : calizas margosas color café en bancos dcm; Brazo Seco-Casa Bonita (116MJ9185\_2; Lat: 18,08498313; Long: -71,09368483)



Foto 39 : Ud de Polo : calizas margosas color café en bancos dcm; Brazo Seco-Casa Bonita (116MJ9184\_3; Lat: 18,08429942; Long: -71,09213476)



Foto 40 : Ud de Polo: calizas masivas color café, en bancos dcm ( Eoceno medio) al techo de los basaltos de la mina de Larimar de Los Cheseses Los Chupaderos-Filipinos (116MJ9180\_2; Lat: 18,12057068; Long: -71,14223742)



Foto 41 : Ud de Polo: calizas masivas color café en bancos dcm ( Eoceno medio) al techo de los basaltos de la mina de Larimar (Eoceno medio) Los chupaderos-Filipinos (116MJ9180\_1; Lat: 18,12057068; Long: -71,14223742)

En la Ud de Polo se incluyó también una facies peculiar, en bancos decimétricos de color café y patina ocre, que aflora en la zona cartografiada por Osiris de León (1989) como Fm Plaisance. Estas calizas ligeramente margosas con algunas intercalaciones de niveles decimétricos de margas blancas, afloran muy bien en Brazo Seco, al Norte de Casa Bonita, en una nueva urbanización (Foto 38; Foto 39) y también en la mina de Larimar de Los Cheseses, donde se colocan directamente las volcanitas de la Fm Dumisseau (Foto 40; Foto 41).

Las tentativas de dataciones por levigados sobre las intercalaciones margosas de los afloramientos de Brazo Seco-Casa Bonita no ha sido concluyente a pesar de los esfuerzos realizados por parte de ERADA encargado del estudio. Esta facies aparece más distal que las facies típicas con rodolitos de plataforma interna o de lagoon. Su posición estratigráfica directamente por encima de las volcanitas cretácicas de la Fm Dumisseau ha sido el argumento principal para incluir esta facies en la Ud de Polo.

Las edades obtenidas para la Ud de Polo corresponden al Eoceno medio, con posible extensión del Paleoceno terminal al Eoceno superior.

Al techo, la Ud de Polo pasa progresivamente a la Fm Neiba (Eoceno superior) de calizas micríticas blancas muy bien organizada en bancos decimétricos.

#### 2.2.1.2. La Formación Neiba (Eoceno superior-Mioceno inferior)

##### 2.2.1.2.1. Generalidades

La Formación Neiba (Eoceno medio-Mioceno inferior) está compuesta por una sucesión potente y monótona de calizas blancas-beige de diversas facies, pero fundamentalmente constituida por calizas micríticas, de aspecto tableado, con niveles de acumulación de bioclastos y frecuentes nódulos y niveles de sílex. Esta formación, cuyas primeras referencias se remontan a los trabajos pioneros de Vaughan *et al.* (1921) ha sido descrita originalmente en la Sierra de Neiba por Arick (1941) y ampliamente reconocida en todo el sector occidental de la República Dominicana desde los primeros trabajos de geología realizados en el sector (p. ej. Bermúdez, 1949). En la península de Bahoruco también se ha podido distinguir la Formación Neiba debido a la particularidad de sus facies (Osiris de León, 1989). Sin embargo, también presenta sus peculiaridades respecto a otros sectores de La Española. En este sector se han distinguido dos unidades litoestratigráficas dentro de la Formación Neiba que tendrían rango de miembro (miembro inferior de calizas micríticas y miembro superior de calizas margosas), que presentan suficientes diferencias para permitir su diferenciación cartográfica. En la Sierra de Neiba, la Formación Neiba se dividió en tres unidades litoestratigráficas (Fm Neiba Mb inferior, Fm Neiba superior y Fm Neiba

brechoide), debido a las características estratigráficas particulares de la región (Hernández-Huerta, 2004). La Fm Neiba Mb inferior y la Fm Neiba superior se encuentran separadas por el Conjunto Volcanosedimentario de El Aguacate (Hernández-Huerta, 2004), el cual no aparece representado en la Península de Bahoruco. Por esta razón, y también por criterios cronoestratigráficos, en la Formación Neiba que aflora en la Península de Bahoruco, las dos unidades litoestratigráficas diferenciadas en este dominio corresponden únicamente a la Fm Neiba superior de la Sierra de Neiba, y por tanto, se propone no utilizar el nombre de Fm Neiba Mb inferior o superior en la Sierra de Bahoruco, para evitar confusiones en la correlación estratigráfica de ambos dominios.

#### 2.2.1.2.2. La Formación Neiba en la Hoja de La Ciénaga

La Fm Neiba es la más representada, cubriendo aproximadamente el 40% de la Hoja de La Ciénaga. Dentro de la Fm Neiba se ha distinguido cartográficamente un miembro inferior esencialmente micrítico (Eoceno superior-Oligoceno inferior basal) ocupando los relieves más altos en el centro de las antiformentas, por encima de la Ud de Polo y de la Fm Dumisseau, y un miembro superior más margoso (Oligoceno-Mioceno inferior) aflorando en las sinformentas. La potencia máxima del conjunto de la Fm Neiba se estima a 1000 m.

La mayoría de los accesos, ríos y carreteras, son de dirección NO-SE, paralelos a los estructuras. Las carreteras transversales son raras y de acceso difícil en estas zonas montañosas

##### 2.2.1.2.2.1. Fm Neiba (Mb inferior) (3). Calizas masivas y calizas micríticas tableadas con sílex. Eoceno superior-Oligoceno Inferior basal. ( $P_2^3$ - $P_3^1$ )

El Mb inferior de la Fm se presenta como una sucesión monótona de calizas micríticas de tonos claros (beige a crema) con patina gris claro, en ocasiones rosáceas y brechoides. La estratificación en bancos decimétricos, raramente de 1m de potencia, le confieren un característico aspecto tableado. Esta disposición tableada registra muy bien los plegamientos métricos a decamétricos (Foto 108) en las zonas de mayor tectonización. Junto con el aspecto tableado, su principal rasgo distintivo es la abundancia de sílex de color marrón a rojizo, en lentejones o nódulos (Foto 44; Foto 45; Foto 47; Foto 49) de potencia centimétrica a decimétrica. Al muro de la formación, la transición con la Ud de Polo es progresiva: las capas de potencia métrica pasan rápidamente al típico tableado decimétrico del resto de la formación.

La potencia máxima del Miembro inferior de la Fm Neiba se estima a 750 m en la Loma Remigio.

En las zonas llanas la alteración kárstica con lapiaz es frecuente. Al NO de la Hoja, las dolinas de las lomas la Trocha de Pey y Joaquín se notan en la topografía. .

Al microscopio (ver la ficha ERADATA de la muestra 116MJ9306 (lat: 18.11814; long: -71.14307 del Sur de la mina de Larimar de Los Checheses) las calizas corresponden a biomicrita, micrita con foraminíferos planctónicos y radiolarios, biocalcarenita, biolitarenita o biolitomicrita. La estructura es heterogénea, microlitada, laminada, secundariamente bioturbada, generalmente con textura wackestone o packstone.

Los constituyentes de la muestra 116MJ9306 (lat: 18.11814; long: -71.14307), procedente del Sur de la mina de Larimar, son:

Los foraminíferos planctónicos son bastante comunes: *Pseudohastigerina micra* (COLE), *Pseudohastigerina naguewichiensis* (MYATLIUK) ?, *Hantkenina cf. alabamensis* CUSHMAN, *Globoturbotalita martini* (BLOW & BANNER), *Turbototalia cerroazulensis* (COLE), *Turbototalia sp.*, *Dentoglobigerina yeguaensis* (WEINZIERL & APPLIN), *Subbotina eocaena* (GÜMBEL), *Subbotina cf. corpulenta* (SUBBOTINA), *Globigerina cf. officinalis* SUBBOTINA, *Catapsydrax cf. dissimilis* (CUSHMAN & BERMUDEZ), *Catapsydrax unicavus* (BOLLI, LOEBLICH & TAPPAN), *Chiloguembelina cf. cubensis* (PALMER), *Chiloguembelina ototara* (FINLAY), *Cribohantkenina ? sp.*, *Globigerinatheka cf. demasiadoicalis* (BLOW & BANNER)

Los raros foraminíferos bénticos son formas de ambiente enlodados profundos: Buliminidae incluyendo *Bolivina sp.*, Nodosariidae, *Cibicidoides sp.*, *Plectofrondicularia ? sp.*, *Nuttallides truempyi* (NUTTALL).

Los radiolarios son frecuentes: *Artophormis cf. barbadensis* (EHRENBERG), *Lithocyclia ? sp.* *Podocyrtes (Podocyrtes) papalis* EHRENBERG, *Lychnocanoma cf. bellum* (CLARK & CAMPBELL), *Calocyclus bandyca* (MATO & THEYER), *Tristylospyris tricerus* (EHRENBERG), *Thirsocyrtis (Pentalacorys) cf. lochites* SANFILIPPO & RIEDEL

En conclusión, la edad de la Fm Neiba (Mb inferior) es Eoceno superior (Priabonense, Zona de foraminíferos planctónicos E15 a E16) a Oligoceno inferior basal, con extensión probable al Eoceno medio para su parte inferior cuyo contacto con la Ud de Polo es transicional. El medio de depósito es marino batial, con posibilidad local de retrabajo de material litoral en dominio de plataforma externa o más distal.



Foto 42 : Fm Neiba Mb inferior: calizas masivas bancos métricos (Eoceno superior-Oligoceno basal) NO La Ciénaga (116MJ9048\_2; Lat: 18,07279056; Long: -71,11540259)



Foto 43 : Fm Neiba Mb inferior: calizas blancas en bancos dcm (Eoceno superior-Oligoceno basal) Pata de Perico, Borde SO de la Hoja La Ciénaga (116MJ9121\_1; Lat: 17,99935838; Long: -71,15203)



Foto 44 : Fm Neiba Mb inferior: calizas blancas con lentejones y nódulos de silex ovoide dcm (Eoceno superior-Oligoceno basal) Río Bahoruco (116MJ9195\_2; Lat: 18,08223554; Long: -71,12571619)



Foto 45 : Fm Neiba Mb inferior: calizas blancas con silex ovoide dcm (Eoceno superior-Oligoceno basal) Río Bahoruco (116MJ9195\_4; Lat: 18,08223554; Long: -71,12571619)



Foto 46 : Fm Neiba Mb inferior: calizas tableadas (Eoceno superior-Oligoceno basal) Agüita blanca, SO La Ciénaga (116MJ9048\_2; Lat: 18,05714792; Long: -71,13473394)



Foto 47 : Pedazos de chert en las calizas de la Fm Neiba Mb inferior Arroyo Feo; NE de la Hoja de La Ciénaga (116MJ9324\_1; Lat: 18,15194456; Long: -71,06660047)



Foto 48 : Fm Neiba Mb inferior: calizas blancas con silex ovoide dcm (Eoceno superior-Oligoceno basal) Calimete Borde SO de la Hoja La Ciénaga (116MJ9125\_1; Lat: 18,00873396; Long: -71,14501778)



Foto 49 : Fm Neiba Mb inferior: calizas blancas con silex ovoide dcm (Eoceno superior-Oligoceno basal) Río Bahoruco (116MJ9195\_6; Lat: 18,08223554; Long: -71,12571619)



Foto 50 : Calizas tableadas de la Fm Neiba Mb inferior. Charco El Toro, (116MJ9376\_1; Lat: 18,03984281; Long: -71,16566425)

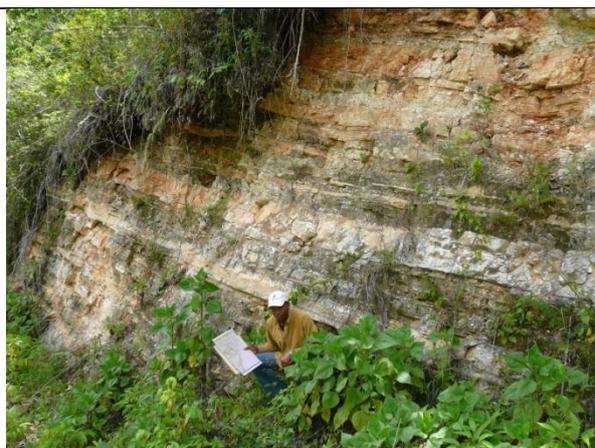


Foto 51 : Fm Neiba Mb inferior: calizas tableadas (Eoceno superior-Oligoceno basal) La Salvación, Norte de la Hoja La Ciénaga (116MJ9020\_1; Lat: 18,13377871; Long: -71,13839096)



Foto 52 : Fm Neiba Mb inferior: calizas blancas en bancos dcm (Eoceno superior-Oligoceno basal) La Cueva; esquina NO de la Hoja de La Ciénaga (116MJ9219\_1; Lat: 18,15701184; Long: -71,24243134)



Foto 53 : Relleno kárstico con elementos volcánicos de la Fm Dumisseau en contacto por falla, en las calizas de la Fm Neiba Mb inferior. Paraíso al límite Sur de la Hoja de La Ciénaga (116MJ9359\_1; Lat: 18,00198569; Long: -71,1666555)

#### 2.2.1.2.2.2. Fm Neiba (Mb superior) (4). Calizas margosas tableadas con silex y margo-calizas. Oligoceno Inferior-Mioceno inferior ( $P_3^1-N_1^1$ )

En la Sierra de Bahoruco, las calizas del Mb superior de la Fm Neiba se distinguen cartográficamente de las del Mb inferior por la aparición progresiva del carácter margoso, ampliado por la intercalación de niveles decimétricos a métricos de margas blancas. El aspecto tableado, la presencia de lentejones y nódulos de silex y el color beige a crema siguen iguales que en el Mb inferior.

Afloran en las sinformes regionales con una potencia máxima de 250 m en la Loma de Los Franceses al Norte de la Hoja, donde están intercaladas entre las calizas del Mb inferior de Neiba y las calizas de la Ud de Barahona, constituyendo el flanco NE de la Sierra de

Bahoruco. Un buen corte corresponde a la Ctra. de Barahona-la Piedra para la parte Este, y la Ctra. La Guazara-Loma Pie de Palo para la parte Oeste.

Los afloramientos de la sinforme de Brazo seco, al Oeste de Pontevedra, están limitados al norte por la Falla EO de Las Balizas. Un buen corte corresponde a la Ctra. de acceso a la Mina de Larimar desde la costa a nivel de Pontevedra.

Al SO de la Hoja, El Mb superior de Neiba aflora entre los Ríos Nizaito y Sito; está surmontando por la Ud de Barahona en la zona de Charco Prieto, al borde de la Hoja de El Polo.

Al microscopio (ver la ficha ERADATA de la muestra 116MJ9345 (Lat: 18.16508; Long: -71.09105, procedente de las calizas tableadas con silex de la Ctra. de la Piedra en la esquina NE de la Hoja), se trata de biomicrita, con estructura localmente microlitada, granoclasificada, y con textura wackestone a packstone según los tramos.

- Los trozos de Algas Rhodophyceae coralinacea son bastante comunes
- Los foraminíferos planctónicos son muy frecuentes y difícilmente identificables en sección: *Orbulina bilobata* (de ORBIGNY), *Orbulina suturalis* BRÖNNIMANN, *Praeorbulina glomerosa* (BLOW) ?, *Sphaeroidinellopsis* sp., *Globorotalia archaeomenardii* (BOLLI), *Fohsella peripheroronda* (BLOW & BANNER), *Fohsella* cf. *praefohsi* (BLOW & BANNER) ?, *Globigerinoides altiapertura* BOLLI ? o forma vecina, *Globigerinoides obliquus* BOLLI, *Globigerinoides* cf. *sacculifer* (BRADY), *Globigerinoides trilobus* (REUSS), *Globigerinoides* cf. *subquadratus* (BRÖNNIMANN), *Clavatorella bermudezi* (BOLLI), *Globigerina* sp., *Globoturbotalita* ? sp., *Globoquadrina venezuelana* (HEDBERG)
- Los foraminíferos béticos retrabajados procedentes de un dominio de plataforma son frecuentes: *Amphistegina* cf. *tuberculata* BERMUDEZ, trozos de Miogypsinidae, *Heterostegina* sp.

El medio de depósito, es batial; facies hemi-pelágico de turbidita epibatial.

La edad bioestratigráfica es Mioceno medio - Langhiense

Zona de foraminíferos planctónicos M6 a la zona M7 no somital, o sea Langhiense superior, equivalente de las biozonas N9 a N11.

En conclusión, las dataciones obtenidas durante este proyecto en el las micritas de la Fm Neiba Mb superior, completadas por 4 dataciones del BGR (1991) para el mapa a escala 1:250.000, sobre calizas y silex de la región de La Piedra (2 por nanofósiles: 600/1 y 602/1 y 2 por foraminíferos: 601/1 y 602/2) dan un rango de edad que se extiende del Oligoceno inferior superior (Zona de nanoplancton NP24) al Mioceno medio (Zona de foraminíferos planctónicos M6-M7 equivalente de las biozonas N9-N11).



Foto 54 : Fm Neiba superior: calizas margosas tableadas con silex y margo-calizas (Oligoceno-Mioceno inferior) La Piedra Norte Hoja La Ciénaga (116MJ9009\_1; Lat: 18,14927358; Long: -71,11785547)



Foto 55 : Calizas margosas de la Fm Neiba superior. Río Sito, borde SO Hoja de La Ciénaga (116MJ9106\_1; Lat: 18,00047787; Long: -71,18401869)



Foto 56 : Calizas margosas de la Fm Neiba superior. Río Sito, borde SO Hoja de La Ciénaga (116MJ9106\_1; Lat: 18,00047787; Long: -71,18401869)



Foto 57 : Calizas margosas con silex, tableadas, de la Fm Neiba superior La Unión Ctra. de la Mina de Larimar (116MJ9160\_1; Lat: 18,11112377; Long: -71,11211789)



Foto 58 : Calizas margosas tableadas de la Fm Neiba superior. Río Sito, borde SO Hoja de La Ciénaga (116MJ9108\_2; Lat: 18,010193; Long: -71,20751174) Lat: 18,00047787; Long: -71,18401869)



Foto 59 : Calizas margosas con silex de la Fm Neiba superior La Unión Ctra. de la Mina de Larimar (116MJ9161\_2; Lat: 18,11248541; Long: -71,11350778)



Foto 60 : Estructura cilíndrica en las calizas margosas de la Fm Neiba superior Palo Veinte; límite Norte de la Hoja de La Ciénaga (116MJ9227\_2; Lat: 18,16598559; Long: -71,17140636)

## 2.2.2. Mioceno superior

### 2.2.2.1. La Unidad de Barahona (Mioceno medio-superior)

#### 2.2.2.1.1. Generalidades

. La Unidad de Barahona (Mioceno medio-superior) fue definida por primera vez en la Hoja de Barahona (Díaz de Neira, 2004). En esa ocasión se definió como un miembro de la Fm Sombrero puesto que se presentaba por encima de la Fm Neiba, aunque no tenía las características típicas de la Fm Sombrero. En este proyecto hemos preferido desligar la

Unidad de Barahona de la Fm Sombrerito, para no inducir a la confusión, puesto que corresponde a facies muy diferentes de las que componen la Fm Sombrerito en su lugar original. Por esta razón, se redefine la Unidad de Barahona, que incluye una sucesión de calizas beige, en ocasiones masivas, con fauna somera, que intercalan bancos de margas, a veces métricos, y que corresponde al paso gradual hacia arriba de la Fm Neiba. Tiene rango de formación.

#### 2.2.2.1.2. La Unidad de Barahona en la Hoja de La Ciénaga

La Ud de Barahona cubre aproximadamente el 4% (20 km<sup>2</sup>) de la Hoja de La Ciénaga. Los principales afloramientos ocupan el borde NE de la Hoja donde constituyen la terminación NE de la Sierra de Bahoruco. Configura una sucesión de pliegues de dirección E-O a ESE-ONO, afectados por una densa red de fracturación, generalmente paralela a los ejes de los pliegues. Su espesor y su estratificación grosera hacen que su plegamiento sea mucho menos apretado que en el caso de la subyacente Fm Neiba, configurando estructuras de gran extensión que condicionan directamente la morfología de esta zona NE

La Ctra. Barahona-La Piedra corta esta Ud pero no permite buenos afloramientos de estas facies masivas cubiertas por una vegetación densa.

Al SO de la Hoja, En Charco Prieto, la Unidad de Barahona ocupa el núcleo de una sinforme de dirección NO-SE cuya mitad NO se extiende en la Hoja de El Polo. El flanco SO de la sinforme está afectado por pequeños pliegues fallas a vergencia Norte, bien visibles en la Hoja vecina de Polo. La Ctra. Paraíso-Charco Prieto permite el acceso a esta Ud.

##### 2.2.2.1.2.1. Unidad de Barahona (5). Calizas masivas beige y margosas blancas. Mioceno medio-superior (N<sub>1</sub><sup>2</sup>-N<sub>1</sub><sup>3</sup>)

La Ud de Barahona corresponde a una monótona sucesión de calizas masivas con patina gris fácilmente reconocible en el relieve por dar lugar a resaltes de varios metros de espesor, como en la Loma La Filipina, frente al Mar Caribe, al NE de la Hoja.

La precariedad de los afloramientos de la Sierra de Bahoruco ha imposibilitado la observación de la base de la Ud de Barahona y por tanto la naturaleza de su contacto con el Mb superior de la Fm Neiba, pese a lo cual parece de naturaleza concordante. No obstante, ha sido señalada la presencia de un nivel conglomerático en la base de la formación (Linás, 1972), sugiriendo la existencia de una discontinuidad entre ambas formaciones. Aunque la base no es directamente observable, es deducible generalmente por el contraste que presenta con respecto a la infrayacente Fm Neiba (Mb superior), como en el caso de la Ctra. de la Piedra en la Loma Filipina.

El techo no se conoce en la Hoja de la Ciénaga; se trata de una superficie estructural karstificada, fuertemente lapiazada. Tampoco ha sido posible la observación del techo de la unidad en la Hoja colindante de Barahona, ya que el contacto con las formaciones neógenas de la cuenca de Enriquillo (formaciones Lemba, Angostura, Arroyo Blanco-Las Salinas y Jimaní) parece de naturaleza tectónica en todos los casos.

La potencia de la Ud es cercana de 250 m en la Hoja de La Ciénaga.

En general, los bancos de calizas masivas de color beige, son gruesos, separados entre sí por superficies de estratificación más o menos netas. Localmente se individualizan pequeños tramos tableados de calizas con algunas intercalaciones de margas blancas. Las calizas presentan un elevado contenido fosilífero con frecuentes bloques decimétricos de corales, abundantes huellas de disolución y con frecuencia se encuentran parcialmente recristalizadas.

Al microscopio (ver las fichas ERADATA de las muestras 116MJ9230: Lat: 18.16508; Long: -71.16554, de la base de la Ud en el sector de Cruce de la Corsa en la Ctra. La Guazara-Loma Pie de Palo, al borde Norte de la Hoja y 116MJ9312: Lat: 18.14967; Long: -71.09308, del alto de la Loma Filipina, al NE del Mundito) se trata de biomicrita, biopelmicrita, biocalcarenita, micrita con Miogypsina, con estructura porosa, presentando una orientación preferencial de numerosos constituyentes, y textura de tipo wackestone a packstone.

- Los foraminíferos planctónicos son bastante comunes: *Orbulina suturalis* BRÖNNIMANN ?, *Orbulina* ? sp., *Globigerinoides obliquus* BOLLI ?, *Globigerinoides trilobus* (REUSS) ?, *Globoquadrina dehiscens* (CHAPMAN, PARR & COLLINS) ?, *Dentoglobigerina altispira* (CUSHMAN & JARVIS) ?, *Sphaeroidinellopsis* ? sp.
- Los foraminíferos bénticos son muy frecuentes y retrabajados desde una plataforma carbonatada litoral: *Amphistegina tuberculata* BERMUDEZ (especímenes particularmente abundantes), *Amphistegina* cf. *canaensis* BERMUDEZ, *Sphaerogypsina globula* (REUSS), Gypsinidae indeterminado, *Nodosaria* sp., *Miogypsina antillea* (CUSHMAN), *Miogypsina panamensis* (CUSHMAN), *Heterostegina antillea* CUSHMAN, *Planorbulina* sp.

El medio de depósito, corresponde a una plataforma media a externa

Biofacies equivalente es conocida en las aguas africanas en frente de Dakar, fosa del Cabo Verde (leg sitio ODP 659 y sitio DSDP 368).

El intervalo de seguridad de la edad bioestratigráfica es Mioceno medio a superior.

En conclusión, pese a la escasez de estructuras sedimentarias que alberga la unidad, en base a su textura y su contenido faunístico se interpreta en el contexto de una plataforma marina media a externa, con desarrollo ocasional de bioconstrucciones, al norte de la cual

(fuera de esta Hoja) se extendería una llanura submarina (basin plain), representada por la Fm Sombrero de las sierras de Neiba y Martín García y de la cuenca de San Juan.

Las edades de la Ud de Barahona son Mioceno medio a superior, pero podrían extenderse desde el Mioceno inferior (zona M2=N5) hasta tal vez el Plioceno (?) (Hoja de La Salina).



Foto 61 : Loma Cornelito (calizas de la Ud de Barahona). Vista desde la Loma La Filipina hacia el NO (116MJ9312\_4; Lat: 18,13439109; Long: -71,11916841)



Foto 62 : Ud de Barahona: calizas masivas beige (Mioceno medio-superior) Charco Prieto SO Hoja La Ciénaga (116MJ9094\_2; Lat:18,05124203; Long: -71,2466994)



Foto 63 : Ud de Barahona: calizas masivas beige (Mioceno medio-superior) Charco Prieto SO Hoja La Ciénaga (116MJ9095\_2; Lat: 18,05338629; Long: -71,24434643)

### 2.3. Cuaternario

Los depósitos cuaternarios de la Hoja de La Ciénaga son esencialmente continentales (abanicos aluviales, coluviones, arcillas de descalcificación, terrazas y fondos de valle). Los depósitos litorales (playas y arrecifes), ocupan una estrecha banda en esta costa abrupta

donde la Sierra de Bahoruco se hunde en el Mar Caribe a favor de la Falla regional de Beata

### **2.3.1. Pleistoceno**

Los depósitos del Pleistoceno corresponden a los abanicos aluviales antiguos que se extienden en la costa, al norte de La Ciénaga.

#### 2.3.1.1. Abanicos aluviales y conos de deyección antiguos (6). Conglomerados, gravas y arenas. Pleistoceno (Q1-3)

Los abanicos aluviales y conos de deyección antiguos están atribuidos al Pleistoceno. Poseen una notable representación en la franja costera al pie de los sistemas montañosos situados al Norte de La Ciénaga donde están relacionados principalmente con el Río Yaque del Sur, ubicado más al Norte en la Hoja de Barahona y el Río Bahoruco. Pequeños abanicos están relacionados con el Río Nizaito al SO de la Hoja y el Arroyo Seco al NO. Este sistema engloba probablemente diversas generaciones imposibles de correlacionar debido a la desconexión de la mayoría de los conos, caracterizándose por mostrar un retoque erosivo que indica que ya no son funcionales. En Playa Azul estos conglomerados, encostrados en la superficie, están afectados por una falla actual (Foto 64; Foto 65).

Estos depósitos se producen en la confluencia de los elementos de la red fluvial con áreas menos encajadas, en las cuales la carga transportada por aquéllos pierde su confinamiento, expandiéndose; cuando los ápices se encuentran próximos entre sí, se produce coalescencia.

Están integrados por proporciones variables de conglomerados, gravas, arenas y, en menor medida, lutitas y arcillas rojizas, cuya composición es predominantemente de naturaleza calcárea, con sílex y basaltos subordinados. Estos materiales se agrupan en sucesiones de niveles de orden decimétrico a métrico de gravas redondeadas heterométricas, con bloques redondeados cuyo diámetro puede sobrepasar los 50 cm. En la playa Azul se han observado bloques plurimétricos de corales empaquetados en las gravas que cubren también los arrecifes antiguos.

El espesor es muy variable, pero puede superar los 40 m en algunos sitios.



Foto 64 : Abanico aluvial antiguo afectado por falla actual; Playa Azul, NE de la Hoja de La Ciénaga (116MJ9103\_12; Lat: 18,15420952; Long: -71,05915214)



Foto 65 : Abanico aluvial antiguo afectado por falla actual; Playa Azul, NE de la Hoja de La Ciénaga (116MJ9103\_6; Lat: 18,15420952; Long: -71,05915214)



Foto 66 : Corales antiguos cubiertos por abanico aluvial antiguo encostrado en parte superficial; Playa Azul, NE de la Hoja de La Ciénaga (116MJ9103\_27; Lat: 18,15420952; Long: -71,05915214)



Foto 67 : Abanico aluvial antiguo; Playa Azul, NE de la Hoja de La Ciénaga (116MJ9103\_3; Lat: 18,15420952; Long: -71,05915214)



Foto 68 : Abanico antiguo de la Punta de Carlitos (NE de la Hoja de La Ciénaga) (116MJ9342\_1; Lat: 18,12529053; Long: -71,06766044)



Foto 69 : Abanico antiguo del Balneario de San Rafael (116MJ9142\_7; Lat: 18,03052984; Long: -71,13629146)

### 2.3.2. Holoceno

Los depósitos del Holoceno corresponden a las siguientes facies:

- Abanicos aluviales y conos de deyección actuales
- Coluviones
- Fondos de valle
- Lagunas
- Arcillas de decalcificación y fondos de dolinas
- Terrazas
- Playas

#### 2.3.2.1. Abanicos aluviales y conos de deyección actuales (7). Gravas y arenas (Q4)

Pequeños abanicos aluviales actuales están relacionados con el Río Nizaito al Oeste de la Hoja. En la costa NE, se individualiza muy bien el pequeño abanico aluvial de Las Balizas, que cubre los depósitos aluviales antiguos. Está encajado por la cañada Lanoria al Norte y El Arroyo al Sur.

El funcionamiento es el mismo que para los abanicos antiguos descritos anteriormente.

En este caso los volúmenes de gravas y arenas, predominantemente calizas y sílex subordinados, son mucho menos importantes.

#### 2.3.2.2. Coluviones (8): Gravas, arenas y limos; Cuaternario (Q4)

Los coluviones son muy extensos en esta Hoja montañosa fuertemente entallada por los Ríos Nizaito y Bahuco, principalmente y una multitud de pequeñas cañadas.

Se forman como respuesta al desequilibrio provocado en las laderas por la erosión fluvial y la actividad tectónica. Básicamente, son depósitos de cantos calcáreos y sílex heterométricos y subangulosos, englobados en una matriz areno-arcillosa, procedentes del desmantelamiento de las vertientes. Su potencia y características internas también son variables, no pudiendo precisarse aquella por ausencia de cortes de detalle, aunque se deducen potencias de orden métrico a decamétrico (Foto 70; Foto 71). Por su relación con la dinámica actual se asignan al Holoceno.

El caso de la Loma Remigio y El Cachote en el centro de la Hoja es muy significativo. Las calizas tableadas de la Fm Neiba (Mb inferior) son muy fracturadas, originando un material que se podría explotar directamente como árido y que alimenta en coluviones las laderas de los Ríos Nizaito al Oeste y Bahuco al Este.

Al Norte de la Hoja, La Loma Pie de Palo afectada por un sistema de falla OSO-ENE y NS origina cantidades enormes de coluviones de la Fm Neiba, abasteciendo los grandes

abanicos aluviales del Río Palomino y del Arroyo Grande, más al Norte en la Hoja de Barahona.

En la costa, la zona de deslizamiento de cantos y bloques relacionada con la falla SSO-NNE de Beata que limita la costa, origina cantidades de coluviones de calizas de la Ud de Polo y de la Fm Neiba por encima de los basaltos de la Fm Dumisseau. En la Ctra. principal, a 1km al Sur de San Rafael, estos coluviones, localmente consolidados (Foto 75), incluyen un tramo decamétrico de calizas estratificadas que parece un afloramiento de la Fm Neiba (Foto 74).

Estos derrumbes representan un peligro para las poblaciones ubicadas en el tramo Bahoruco-Paraíso de la Ctra. Barahona-Pedernales. Un pequeño derrumbe ocurrido al Norte de la playa de San Rafael, durante el levantamiento de la Hoja y que dañó una casa (Foto 76) es nada más que un aviso de posibles deslizamientos mucho más amplios en esta zona llamada Los Derrumbados (Foto 72).



Foto 70 : Coluviones erosionados por la red hidrográfica; Norte San Antonio SO Hoja de La Ciénaga (116MJ9073\_1; Lat:18,06265064; Long: -71,20584106)



Foto 71 : Coluviones La Cueva SO Hoja de La Ciénaga (116MJ9100\_1; Lat: 18,05184938; Long: -71,23313203)



Foto 72 : Los Derrumbados, Playa Sur La Ciénaga): Deslizamiento de la barra de calizas de la Ud de Polo al contacto con los basaltos de la Fm Dumisseau infrayacente (116MJ9341\_3; Lat: 18,04524779; Long: -71,11710462



Foto 73 : Playa de San Rafael Sur, con coluviones tapando los basaltos de la Fm Dumisseau hasta la zona de derrumbe al pie de la barra de calizas de la Ud de Polo. Vista desde la Ctra. San Rafael Paraíso (116MJ9378\_4; Lat: 18,02360035; Long: -71,14088885)



Foto 74 : Coluviones con paquete de calizas estratificadas; 1 km al Sur de San Rafael; Ctra. Barahona-Pedernales (116MJ9378\_3; Lat: 18,02360035; Long: -71,14088885)



Foto 75 : Coluviones consolidados de calizas de la Ud de Polo y Fm Neiba (Mb inferior) por encima de los basaltos de la Fm Dumisseau: (Cretácico) Ctra. Bahoruco-San Rafael, al Norte de la playa de San Rafael (116MJ9284\_16; Lat: 18,03500234; Long: -71,12787352)



Foto 76 : Deslizamiento actual (17/092009) en los coluviones por encima de los basaltos de la Fm Dumisseau: (Cretácico) Ctra. Bahoruco-San Rafael al Norte de la playa de San Rafael (116MJ9284\_16; Lat: 18,03500234; Long: -71,12787352)

### 2.3.2.3. Fondos de valle (9): Arenas, gravas y cantos; Cuaternario (Q4)

Constituyen el principal testimonio de la actividad sedimentaria de la red fluvial actual. Son escasos los cursos fluviales de régimen permanente, siendo mucho más frecuentes las cañadas y los arroyos de dinámica torrencial. En general, se trata de formas estrechas y alargadas, coincidentes con el canal de estiaje.

El fondo de valle más destacado, con mucho, es el del río Nizaito, que discurre en dirección NS al Oeste de la Hoja, pudiendo señalarse también el del río Bahoruco con dirección NO-SE; los dos presentan un carácter de cañada torrencial hasta el Mar Caribe. Tanto unos como otros están constituidos por gravas y arenas de naturaleza carbonatada de un color blanco espectacular. Los sílex abundantes en la Fm Neiba son frecuentes así que algunas gravas negras o verde oscuros que corresponden a los basaltos de la Fm Dumisseau. Las gravas contienen cantos heterométricos, pudiendo señalarse orientativamente un diámetro de 10-30 cm, pudiendo llegar hasta plurimétricos para algunos bloques aislados. En periodo de lluvia, el régimen torrencial afecta también el color del agua del Mar Caribe a la desembocadura de los ríos, con la coloración blanco azulado debida a las partículas arcillosas de las margas en suspensión.

Aunque no existen cortes que permitan determinar el espesor de estos depósitos de fondos de valle, sin duda éste puede variar notablemente en función del curso en cuestión; en los de mayor envergadura podría alcanzar 5 m. Constituyen depósitos actuales.

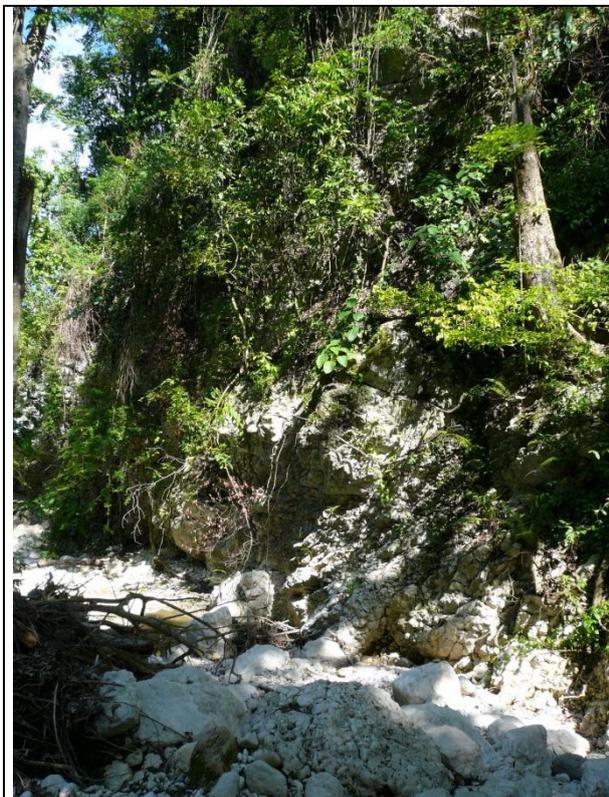


Foto 77 : gravas de calizas de una pequeña cañada afluente del Río Bahoruco cortando las calizas masivas de la Ud de Polo: (Eoceno medio) NO Las Auyamas (116MJ9037\_5; Lat: 18,09742791; Long: -71,12754294)



Foto 78 : gravas de calizas de la Fm Neiba Mb inferior en el cauce seco del Arroyo Palomito (régimen torrencial) Rula en Medio; Norte de la Hoja de La Ciénaga (116MJ9241\_1; Lat: 18,14482807; Long: -71,17142287)

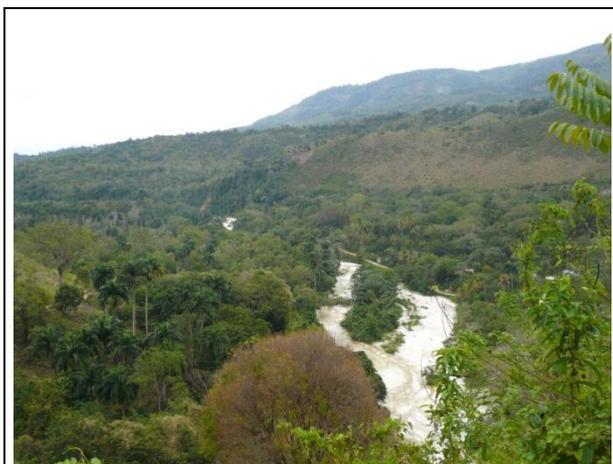


Foto 79 : Fondo del valle Nizaito: gravas de calizas blancas. Río Nizaito al SO de la Hoja de La Ciénaga (116MJ9366\_1; Lat: 18,0218772; Long: -71,18565165)

	
<p>Foto 80 : Fondo de valle Río Nizaito Rancho Antonio SO Hoja de La Ciénaga (116MJ9074_4; Lat: 18,04087336; Long: -71,20120897)</p>	<p>Foto 81 : Coloración en blanco del agua del Mar Caribe por las arcillas blancas en suspensión, transportadas por el Río Nizaito ; Bahía de Pata de Perico-Paraiso borde SE Hoja de La Ciénaga (116MJ9121_1; Lat: 17,99935838; Long: -71,15203)</p>

#### 2.3.2.4. Lagunas (10) Limos, arenas y gravas. Cuaternario (Q4)

La Laguna del Estero es la única de la Hoja de La Ciénaga, en su extremidad NE. Ocupa una pequeña depresión de 500m de largo y 200m de ancho en la llanura del abanico antiguo del Río Yaque del Sur. Está separada del mar por una pequeña franja de gravas en parte colonizada por corales. En periodo de tempestad las aguas del mar invaden la laguna transportando gravas y arenas que se mezclan con los limos que constituyen los depósitos de las áreas de drenaje deficiente debido a sus tendencias endorreicas. El espesor de los limos de color oscuro no debe ser importante debido al tamaño reducido de la laguna.

#### 2.3.2.5. Arcillas de descalcificación (11a); fondos de dolinas (11b). Cuaternario (Q4)

Las arcillas rojas de descalcificación (11a) de las calizas son frecuentes en las zonas llanas karstificadas. Las más extensas (~1 km<sup>2</sup>) son las de Juan Esteban en las Ud de Polo del NE de la Hoja, o la de Charco del Toro en la Fm Neiba (Mb inferior) del Sur de la Hoja. El espesor es muy variable (decimétrico a métrico) según el perfil de karstificación (Foto 82).

Las dolinas aparecen principalmente en las lomas La Trocha de Pey y Joaquín, a modo de formas groseramente elipsoidales cuyo eje mayor posee dirección NO-SE a E-O, denunciando una influencia estructural; las de mayores dimensiones alcanzan 0,5 km de eje mayor. Una capa de arcillas rojas de aspecto masivo, producto de la descalcificación de los materiales calcáreos por acción de procesos kársticos, tapiza los fondos de dolinas (11b).



Foto 82 : Arcillas rojas de descalcificación de las Calizas masivas de la Ud-Polo. Filipinos (116MJ9182\_1; Lat: 18,12104098; Long: -71,13444879)

#### 2.3.2.6. Terrazas (12): Gravas y arenas. Cuaternario (Q4)

Las principales terrazas están relacionadas con los ríos Nizaito (Foto 83) y Bahoruco (Foto 84; Foto 85). Aparecen como superficies distribuidas a modo de retazos colgados entre 5 y 40 m sobre el cauce actual. Debido al fuerte encajonamiento, estos depósitos están en parte erosionados por las fuertes crecidas de los ríos en periodo ciclónico.

Las terrazas están constituidas por gravas, predominantemente calcáreas, en una matriz arenosa; el tamaño de los cantos varía notablemente, predominando los diámetros de 10 a 20 cm. Su potencia oscila entre 2 y 15 m. Por lo que respecta a su edad, en función de las velocidades de encajamiento observadas en otras zonas, se atribuyen al Holoceno pero algunas podrían ser del Pleistoceno.



Foto 83 : Terraza del Río Nizaito Rancho Antonio SO Hoja de La Ciénaga (116MJ9074\_10; Lat: 18,04087336; Long: -71,20120897)



Foto 84 : Terraza colgada del Río Bahoruco, encima de los basaltos de la Fm Dumisseau (116MJ9189\_1; Lat: 18,07947856; Long: -71,09963958)



Foto 85 : Terraza colgada del Río Bahoruco, encima de los basaltos de la Fm Dumisseau de color pardo (116MJ9189\_1; Lat: 18,07947856; Long: -71,09963958)

### 2.3.2.7. Playas. (13) Cantos, gravas, arenas y localmente Beach-rocks Cuaternario (Q4)

La costa de la Sierra de Bahoruco presenta algunas playas muy bonitas, de extensión kilométrica y de anchura decamétrica, que alternan con pequeños acantilados de los abanicos aluviales antiguos al norte o de basaltos al Sur. Las principales, aprovechadas por los pequeños hoteles y el turismo local son de Norte a Sur: Playa Azul, Las Balizas, Pontevedra, Bahoruco, La Ciénaga y San Rafael.

En general se trata de gravas centimétricas predominantes y arenas subordinadas de tonos claros y composición carbonatada cuyos integrantes proceden de los abanicos antiguos y actuales. Son depósitos sometidos a la dinámica actual.

Localmente se está desarrollando un beach rock



Foto 86 : Playa Azul y abanico aluvial antiguo afectado por falla actual; NE de la Hoja de La Ciénaga (116MJ9103\_4; Lat: 18,15420952; Long: -71,05915214)



Foto 87 : Barahona Playa vista desde Brazo Seco hacia el Este. (116MJ9185\_1; Lat: 18,08498313; Long: -71,15821484)



Foto 88 : Los Derrumbados, Playa Sur La Ciénaga): Deslizamiento antiguo de la barra de calizas de la Ud de Polo al contacto con los basaltos de la Fm Dumisseau infrayacente (116MJ9341\_6; Lat: 18,04524779; Long: -71,11710462



Foto 89 : Playa Sur de La Ciénaga: basaltos de la Fm Dumisseau (Cretácico), gravas de calizas blancas y beach rock (116MJ9340\_2; Lat: 18,06076764; Long: -71,10998721)

#### 2.3.2.8. Arrecifes. (14) Calizas biogénicas. Cuaternario (Q4)

El único afloramiento se localiza en la punta Prieta (exTrujillo), al NE de la Hoja de La Ciénaga, entre la Laguna del Estero al Norte y la Playa Azul al Sur (Foto 90). Esta pequeña banda de arrecifes de 3 m de espesor se apoya contra las gravas del abanico aluvial antiguo. Presenta una pequeña raza a unos 50 cm por encima del nivel actual del mar (Foto 91).

Los corales en posición de vida son de color gris (Foto 92) con bloques actuales de color rosado (Foto 93) Pequeños pedazos de sílex están fijados por el desarrollo de los corales (Foto 94). Se consideran del Holoceno en ausencia de dataciones de los elementos más antiguos.

Bloques métricos de corales se encuentran aislados en varios sitios de la costa, como por ejemplo al sur de la playa de San Rafael o de Punta Arena (Foto 95; Foto 96).



Foto 90 : Arrecifes; Punta Prieta, NE de la Hoja de La Ciénaga (116MJ9103\_19; Lat: 18,15420952; Long: -71,05915214)



Foto 91 : Pequeña raza en la parte superior de los arrecifes; Punta Prieta, NE de la Hoja de La Ciénaga (116MJ9103\_19; Lat: 18,15420952; Long: -71,05915214)



Foto 92 : Corales; Punta Prieta, NE Hoja de La Ciénaga (116MJ9103\_37; Lat: 18,15420952; Long: -71,05915214)



Foto 93 : Corales; Punta Prieta, NE Hoja de La Ciénaga (116MJ9103\_34; Lat: 18,15420952; Long: -71,05915214)



Foto 94 : pedazos de Silex presos en los Corales de la Punta Prieta, NE de la Hoja de La Ciénaga (116MJ9103\_21; Lat: 18,15420952; Long: -71,05915214)



Foto 95 : Bloque de Corales antiguos Playa de San Rafael  
(116MJ9142\_1; Lat: 18,03052984; Long: -71,13629146)



Foto 96 : Bloque de Corales antiguos Playa de Punta Arena  
SE de la Hoja de La Ciénaga (116MJ9281\_2; Lat:  
18,01317276; Long: -71,13730886)

### **3. PETROLOGIA, GEOQUIMICA y DATACIONES de las rocas basálticas de la Fm Dumisseau (ver informe complementario; Javier Escuder Viruete, IGME, 2009)**

#### **3.1.1. Introducción**

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

El área estudiada pertenece al dominio geológico Hotte-Salle-Bahoruco Lewis y Draper, 1990): (Fig. 7, Fig. 8). Este dominio incluye morfológicamente la Sierra de Bahoruco y el promontorio submarino, dorsal o ridge de Beata, estando limitado estructuralmente al norte por la denominada Zona de Falla de Enriquillo-Plantain Garden (ZFEPG) y por el sur por la costa Caribeña, incluyendo el terreno tectónico de Hotte-Salle-Bahoruco Mann et al. (1991). Las rocas más antiguas de este dominio son volcánicas y consisten en basaltos con intercalaciones de rocas sedimentarias pelágicas (Calmus, 1983; Maurrasse et al., 1979; Bellon et al., 1985; Mercier de Lépinay et al., 1979), aflorantes en el núcleo de anticlinales en el Massif de la Hotte y e Massif de la Selle en Haití y la Sierra de Bahoruco en la

República Dominicana. Maurrasse et al. (1979) y Sen et al. (1988) interpretan este terreno como un fragmento emergido del plateau oceánico Caribeño.

Se describe a continuación las rocas basálticas que esencialmente constituyen el basamento pre-Terciario del dominio de la Sierra de Bahoruco. Las descripciones constituyen en buena parte los resultados litoestratigráficos, petrológicos y geoquímicos obtenidos en el marco del Proyecto de cartografía geotemática de la República Dominicana, financiada por el Programa SYSMIN de la UE.

### **3.1.2. Contexto geológico**

#### **3.1.2.1. La Provincia ígnea Caribeña**

La Provincia ígnea Caribeña (o CLIP; Caribbean large igneous province, en la literatura anglosajona) representa un periodo de volcanismo y actividad intrusiva extremo en el Cretácico Superior, que formó un plateau oceánico que subsecuentemente resultó la placa Caribeña (Kerr et al., 1997; Sinton et al., 1998; Hauff et al., 2000; Hoernle et al., 2002). La parte sumergida del plateau en el Mar Caribe fue muestreada durante las perforaciones de los proyectos DSDP Leg 15 y ODP Leg 163 (Donnelly et al., 1990), pero secuencias emergidas del CLIP afloran en Jamaica, La Española, Puerto Rico, bordes costeros de Venezuela, Curaçao y las islas de Aruba, la costa Pacífica América Central y el occidente de Colombia y Ecuador (Lapierre et al., 2000; Kerr et al., 2002). El CLIP incluye rocas volcánicas emitidas en tres grandes fases de diferente edad: 124-112 Ma (Lapierre et al., 2000; Escuder-Viruete et al., 2007b), 94-83 Ma (la aparentemente más voluminosa; Kerr et al., 1997; Sinton et al., 1998; Hastie et al., 2008) y 80-72 Ma (Révillon et al., 2000). Estas fases han sido reconocidas por Hauff et al. (2000) y Hoernle et al. (2004) en Costa Rica y en otros plateaux oceánicos Cretácicos del Pacífico Occidental (p.e.; Ontong Java; Kerr, 2003), donde el magmatismo de pluma tuvo lugar durante 50 Ma o más a una muy variable tasa eruptiva. Las rocas más jóvenes del CLIP se encuentran en la República Dominicana (69 Ma; Escuder Viruete et al., 2009a) y en la Península Quepos de Costa Rica (63 Ma; Sinton et al., 1998). Así, el magmatismo del CLIP ocurrió desde el Aptiense al Maastrichtiense, con un pico alrededor del Turoniense-Coniacense (92-88 Ma), mejor que en un único evento muy voluminoso a ~90 Ma, como fue inicialmente postulado.

La secuencia de eventos de fusión asociados con una pluma (o plumas) mantélica que ocurrió bajo la placa Caribeña no está establecida, porque la estratigrafía volcánica interna del CLIP no es bien conocida. La superficie más alta del CLIP ha sido identificada sísmicamente como la discontinuidad B, la cual se interpreta como la superficie superior de

las lavas del plateau (Edgar et al., 1973; Mauffret y Leroy, 1997). La discontinuidad ha sido perforada en cinco localidades en la cuenca Caribeña: DSDP sites 146, 150, 151 y 152, y ODP Site 1001. En el DSDP Site 152 y ODP Site 1001 (separados unos ~40 km), un delgado sill de basaltos fue atravesado, pero el basamento no fue alcanzado (Diebold y Driscoll, 1999). La similaridad composicional de los basaltos de los Sites 152 y 1001 ha dado lugar a la sugerencia de que son parte del mismo horizonte (Sinton et al., 1998). El sill de basaltos atravesado en el Site 152 intruye sedimentos Campaniense (83-70 Ma), y los nuevos datos  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  de datación de los basaltos del Site 1001 proporcionan edades de alrededor de 81 Ma (Sinton et al., 2000). Ellos son por lo tanto más jóvenes que la fase principal de construcción del plateau (i.e. ~90 Ma), y también parecen ser parte de un horizonte sísmico distinto (Mauffret et al., 2000). Así, los basaltos muestreados a los Sites 152 y 1001 pueden no ser parte del plateau "principal", sino más bien el producto de rifting de la corteza Caribeña en un estadio tardío después de la formación del plateau (Sinton et al., 1998). Las muestras recuperadas por sumergible de la Dorsal de Beata, el alto topográfico central de la cuenca Caribeña, indican que esta estructura está formada principalmente por gabros, doleritas y raros basaltos almohadillados (Révillon et al., 2000), con una signatura geoquímica muy similar a la de los basaltos de otros puntos del CLIP. La mayoría de las muestras poseen edades  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  de entre 80 y 75 Ma, las cuales son consistentes con las edades previas dentro de la provincia, pero otras son muy jóvenes, de alrededor de 55 Ma. Siguiendo Révillon et al. (2000), el punto caliente de "Galápagos" fue probablemente responsable del principal evento magmático relacionado con la pluma a unos 90 Ma, y los episodios de 76 Ma y 55 Ma están relacionados con el adelgazamiento litosférico del Caribe Central (Mauffret et al., 2000).

Aunque el CLIP comprende una amplia diversidad de composiciones de magmas basálticos, la gran mayoría de las lavas presenta una signatura empobrecida con valores de  $\epsilon_{\text{Nd}}$  que gradúan entre +8,5 y +6,0 y un patrón normalizado respecto a la condrita plano o ligeramente enriquecido en las tierras raras ligeras (LREE; Kerr et al., 1997, 2002; Sinton et al., 1998; Hauff et al., 2000; Lapiere et al., 2000; Révillon et al., 2000; Thompson et al., 2004; Jolly et al., 2007; Escuder-Viruete et al., 2008). La existencia de una signatura geoquímica e isotópica para basaltos de edades desde 124 a 63 Ma, y procedentes de puntos muy distantes del Caribe, introduce cuestiones sobre la validez de los modelos generalmente aceptados de pluma mantélica para la formación del CLIP como un conjunto. Por lo tanto, deben ser considerados modelos alternativos que reconcilien los datos geológicos, petrología e historia de tectónica de placas.

### 3.1.2.2. Afloramientos del CLIP en La Española

En La Española, fragmentos de basaltos obducidos/acrecionados de tipo plateau oceánico incluyen la Formación Dumisseau del suroeste de Haití (Sen et al., 1988), las unidades litoestratigráficas equivalentes en la Sierra de Bahoruco en el suroeste de la República Dominicana (este Informe), los basaltos de la Formación Pelona-Pico Duarte (Escuder-Viruete et al., 2009), la Formación Siete Cabezas (Donnelly et al., 1990; Sinton et al., 1998; Escuder-Viruete et al., 2008), y el Complejo Duarte en la Cordillera Central (Lewis et al., 1991; Lapierre et al., 1997, 2000; Lewis et al., 2002; Escuder-Viruete et al., 2007b).

En el Massif de la Serre, la Formación Dumisseau consiste de basaltos masivos y almohadillados con picritas subordinadas, intercalados con calizas pelágicas, turbiditas volcanogénicas y biogénicas, cherts y lutitas (Maurrasse et al., 1979). Las edades de fósiles en los sedimentos son Cretácico Inferior a Santoniense para los basaltos inferiores, y Campaniense Superior para los basaltos superiores. Las edades K-Ar en roca total obtenidas en muestras de basaltos y doleritas proporcionan edades desde el Albiense al Maastrichtiense (Bellon et al., 1985). Sinton et al. (1998) obtiene edades  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  entre  $88,7\pm 1,5$  y  $92,0\pm 4,8$  Ma para los basaltos inferiores. Sin embargo, los basaltos superiores de la Formación Dumisseau pueden ser más jóvenes, debido a la edad Campaniense superior de los fósiles presentes en los sedimentos asociados y la edad K-Ar de  $75,0\pm 1,5$  Ma proporcionada por un sill tardío que intruye en la secuencia superior (Sen et al., 1988).

Los basaltos han proporcionado edades K-Ar desde el Maastrichtiense al Paleoceno. Los basaltos de la Sierra de Bahoruco aparecen igualmente en discordancia angular bajo carbonatos de edad Paleoceno-Eoceno y han proporcionado edades K-Ar del Maastrichtiense (van den Berghe, 1983). En síntesis, el fin del magmatismo basáltico en todo el terreno de Hotte-Selle-Bahoruco parece finalizar en el Maastrichtiense.

En la Cordillera Central, la Formación Siete Cabezas se superpone directamente al Complejo Duarte discordantemente (Escuder-Viruete et al., 2008). Está compuesta por basaltos masivos y almohadillados afíricos, con brechas piroclásticas subordinadas, tobas vítreas y cherts, intruidas por diques doleríticos (de Lépinay, 1987). Los radiolarios incluidos en los sedimentos han proporcionado una edad Campaniense medio a Maastrichtiense (Montgomery y Pessagno, 1999). Sinton et al. (1998) obtiene edades consistentes  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  de roca total ( $69,0\pm 0,7$  Ma) y de plagioclasa ( $68,5\pm 0,5$  Ma). Estas edades y las características geoquímicas de las lavas (basaltos toleíticos con un patrón de REE plano) ha permitido a Lewis et al. (2002) y Escuder-Viruete et al. (2008) atribuir esta unidad al CLIP.

La Formación basaltos de Pelona-Pico Duarte está compuesta por una monótona y potente (1,5-3 km) secuencia de basaltos masivos y vesiculares toleíticos, transicionales y alcalinos. Geoquímicamente son basaltos ricos en  $\text{TiO}_2$  y Nb, con un fuerte enriquecimiento en LREE y

empobrecimiento en HREE (Escuder Viruete et al., 2009). Composicionalmente son similares a los basaltos más enriquecidos del CLIP, particularmente a los basaltos sondeados en el DSDP Site 152 y a los dragados en la Dorsal de Beata. Las edades  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  obtenidas son de  $68,4\pm 0,75$  Ma para un flujo basáltico y  $79,4\pm 1,0$  Ma para un dique intrusivo en el Grupo Tireo de similar geoquímica, que sugieren un intervalo Campaniense medio a Maastrichtiense para el magmatismo. Por lo tanto, la unidad registra el evento magmático de pluma más tardío en el CLIP.

### 3.1.2.3. Correlaciones

La Fig. 13 incluye las columnas estratigráficas sintéticas y las edades  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  obtenidas para el conjunto de unidades del CLIP en La Española y otros datos regionales relevantes, la cual nos permite establecer correlaciones entre eventos magmáticos a lo largo del borde septentrional de la placa Caribeña. Los basaltos que constituyen el basamento de la Sierra de Batoruco son en principio comparables con la Formación Pelona-Pico Duarte y la Formación Dumisseau, con la que tradicionalmente se viene correlacionando. La Formación Pelona-Pico Duarte ha proporcionado edades del intervalo 79-68 Ma (Campaniense medio a Maastrichtiense). Este rango de edades incluye a las edades  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  de 69-68 Ma obtenidas regionalmente en los basaltos de la Formación Siete Cabezas (Sinton et al., 1998), que poseen también intercalaciones de cherts con radiolarios de edad Campaniense medio a Maastrichtiense (Montgomery and Pessagno, 1999). También, estas edades son similares a la de las lavas máficas ricas en Nb de la Formación Sabana Grande del suroeste de Puerto Rico (Campaniense; Jolly et al., 2007), la edad K-Ar de  $75,0\pm 1,5$  Ma del sill dolerítico intrusivo en la secuencia superior de basaltos de la Formación Dumisseau en Haití (Sen et al., 1988), y la actividad magmática predominantemente Campaniense registrada en la Dorsal de Beata (80-75 Ma; Révillon et al., 2000), todas atribuidas al CLIP. Temporalmente, este magmatismo puede ser relacionado con la tercera fase de construcción del CLIP de Kerr et al. (2002), así como con las rocas volcánicas de Costa Rica (Hoernle et al., 2004; Denyer and Baumgartner, 2006; Denyer et al., 2006). En resumen, los datos disponibles parecen indicar que los magmas máficos de la Sierra de Batoruco fueron en parte contemporáneos con el volcanismo máfico extensivo del plateau Caribeño Cretácico Superior y, por lo tanto, estos basaltos constituyen una sección emergida de la provincia ígnea Caribeña, con la que deben de tener continuidad a través de la Dorsal de Beata. Estas correlaciones pueden reforzarse en base a los datos petrológicos expuestos a continuación y los geoquímicos incluidos en la memoria.

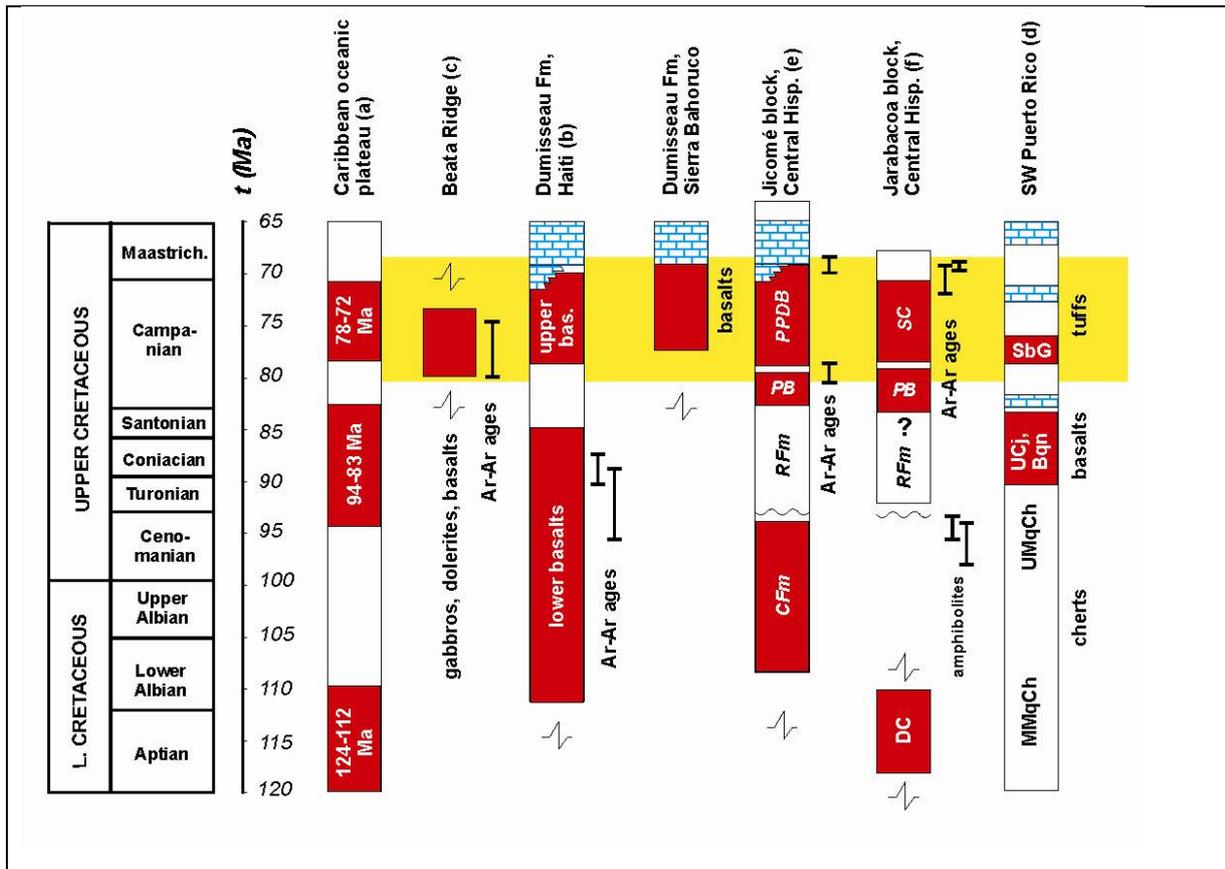


Fig. 13: Columnas estratigráficas esquemática de las diferentes unidades que componen la provincia ígnea Caribeña (CLIP) en el borde septentrional de la placa del Caribe, en la que se incluye la Sierra de Bahoruco. Las columnas incluyen los datos de edades paleontológicas y geocronológicas. Fuentes; a, Kerr et al. (2002); b, Sen et al. (1988) ; c, Révillon et al. (2000); d, Jolly et al. (2007); e, Escuder-Viruet et al. (2009); y f, Sinton et al. (1998). MMqCh, Middle Mariquita Chert; UMqCh, Upper Mariquita Chert; UCj, Fm Upper Cajul; Bqn, Fm Boquerón; SbG, Fm Sabana Grande; CFm, Fm Constanza; RfM, Fm Restauración; PB, Fm Peña Blanca; PPDB, Fm basaltos de Pelona-Pico Duarte; SC, Fm Siete Cabezas. Las edades  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  muestran las barras de error (en 2 $\sigma$ ). La escala de tiempo es de Gradstein et al. (2004). La banda amarilla muestra el rango de edades obtenido para la PVD

#### 3.1.2.4. La Fm Dumisseau en la Sierra de Bahoruco

Los basaltos de la Formación Dumisseau se localizan en el núcleo de anticlinales de dirección NO-SE, generalmente ocupando zonas topográficamente deprimidas, y en el sector costero de la Hoja de La Ciénaga, en el que una gran zona de falla de dirección NNE-SSO hunde el bloque oriental bajo el Mar Caribe.

Debido a la difícil accesibilidad de la Sierra de Bahoruco y la ausencia de afloramientos en muchos sectores por la densa vegetación, los basaltos de la Formación Dumisseau no han podido ser muestreados con mucho detalle, excepto en el corte de la Playa de los Ángeles y el área de la Mina de Larimar de la Hoja de la Ciénaga, y los afloramientos de la Hoja de Enriquillo. Sin embargo, la unidad parece ser litológicamente relativamente homogénea en todos los sectores visitados. La unidad presenta unos 500-1000 m de espesor visible, ya que no aflora su sustrato, y está constituida esencialmente por rocas volcánicas y subordinadamente subvolcánicas. En el campo se han observado tres tipos de facies: basaltos coherentes en flujos texturalmente variados, como almohadillados, hialoclásticos, porfídicos, microporfídicos, afaníticos, vítreos, vesiculares (amigdalares), muy vesiculares y masivos; depósitos piroclásticos máficos resultado de un magmatismo explosivo, como brechas y tobas líticas, tobas vítreas y tobas finas gradadas y laminadas, aunque también hay facies de autobrechas monogénicas; y depósitos volcanoclásticos sin-magmáticos resedimentados y epiclásticos, como brechas de clastos poligenéticos centimétricos, y depósitos de flujo, laminados y tractivos. Todas las rocas volcánicas fueron emitidas o resedimentadas en condiciones subacuosas relativamente profundas, aunque las estructuras de corriente observadas localmente sugieren condiciones someras.

En las zonas centrales de los flujos lávicos pueden aparecer facies doleríticas y en las marginales facies más afaníticas, vítreas y vesiculares, con niveles hialoclásticos asociados. Las doleritas forman también diques sin-magmáticos de estructura fluidal o isótropa, y textura de intergranular a ofítica. Las facies afaníticas son de colores gris-azul oscuro, magnéticas, con vacuolas (amígdalas) rellenas de cuarzo, calcita o zeolitas. Tanto las facies lávicas como las piroclásticas e intrusivas sin-magmáticas aparecen afectadas en grado variable por una alteración hidrotermal, que puede estar acompañada por reemplazamientos minerales y llegar a ser pervasiva. Las rocas intensamente alteradas desarrollan dos tipos de alteraciones: una de coloración verde y otra de tonos rojos. La segunda se superpone espacialmente a la primera. La alteración produce una variable sericitización y carbonatación de las plagioclasas, la cloritización y epidotización de los piroxenos, procesos de silicificación y carbonatación, y tinciones por óxidos de Fe. La alteración lleva también asociada la formación de un retículo de venas y parches de espesor milimétrico a

centimétrico, rellenas por un agregado mineral de tonos blancos y ligeramente azulados compuesto por carbonatos, zeolitas y larimar (pectolita). En los afloramientos de la Hoja de Enriquillo se ha observado un predominio de facies de brechas, microbrechas y tobas líticas, igualmente afectadas por la alteración hidrotermal. Los sedimentos intercalados son muy escasos y consistentes en lentejones de chert y calizas pelágicas. La alta tasa de efusividad, la composición casi exclusivamente basáltica del magmatismo y el predominio de facies lávicas submarinas, indican que la Formación Dumisseau es resultado de un magmatismo intraplaca oceánico producido por las altas tasas de fusión parcial inducidas por una pluma mantélica. Los materiales volcánicos de la Formación Dumisseau no están afectados ni por una deformación esquistosa ni por un metamorfismo regional dinamotérmico.

Los principales tipos petrográficos muestreados en la Hoja de La Ciénaga son (Foto 97; Foto 98; Foto 99): basaltos porfídicos con orto y clinopiroxeno (5970IIMJ9111), vesiculares (5970IIJE9624C); basaltos porfídicos y microporfídicos con clinopiroxeno y plagioclasa vesiculares (5970IIJE9623, 5970IIMJ9142), afaníticos (5970IIJE9624D), y alterados hidrotermalmente (5970IIMJ9027); y basaltos afaníticos (5970IIJE9624B y 5970IIJE9619). Entre las facies intrusivas sub-volcánicas se distinguen doleritas con orto y clinopiroxeno (5970IIMJ9177 y 5970IIJE9620); doleritas y microgabros con clinopiroxeno y plagioclasa (5970IIJE9625 y 5970IIJE9624); y ferrodoleritas (5970IIMJ9150). En la Foto 100 se muestran microfotografías de las texturas de reemplazamiento y neoformación de minerales asociadas a la alteración hidrotermal en un microgabro.

### 3.1.3. Petrología

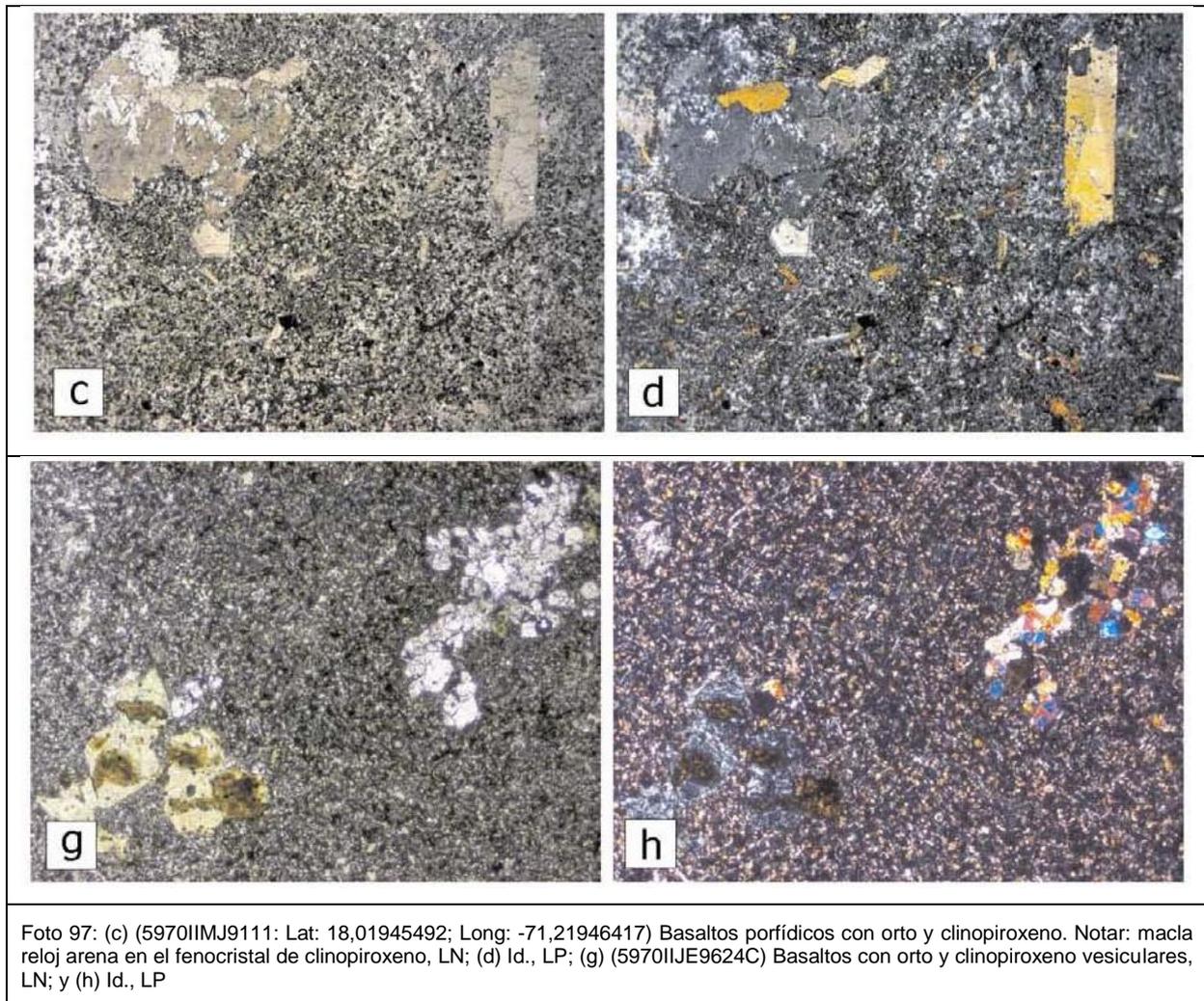
#### 3.1.3.1. Basaltos porfídicos con orto y clinopiroxeno (5970IIMJ9111: Lat: 18.01945492; Long: -71.21946417) vesiculares (5970IIJE9624C)

Los basaltos con orto y clinopiroxeno constituyen una litología volumétricamente abundante en la Formación Dumisseau. Se trata de flujos lávicos de composición basáltica y texturas variadas, tanto porfídicas, microporfídicas y afaníticas, variablemente vesiculares. Las facies aparentemente más abundantes son de basaltos porfídicos, en la que los fenocristales de ferromagnesianos de tamaños milimétricos se destacan sobre una mesostasia afanítica, algo microvesicular. En estos basaltos no se han observado fábricas fluidales en los fenoblastos, ni en las vesículas orientación preferente. En ocasiones están afectados por una pervasiva alteración hidrotermal.

Al microscopio, estos basaltos están compuestos por fenocristales exclusivamente de piroxenos, que se destacan sobre una matriz de micro a criptocrystalina, rica en microfenoblastos de piroxeno, plagioclasa intersticial, granos dispersos de Fe-Ti espinela,

ilmenita y opacos, y vesículas/amígdalas dispersas. Los fenocristales de clino y ortopiroxeno, son idiomorfos, presentan un zonado composicional, maclas en reloj de arena en ocasiones, e inclusiones de espinela Fe-Ti marrón-negra. Su abundancia modal en algunas muestras sugiere que se trata de fases cumulado. El clinopiroxeno es ligeramente pleocroico rosa-amarillo y posee un alto relieve, por lo que es de composición augita titanada. Los fenocristales de ortopiroxeno son modalmente más escasos y presenta colores de interferencia más bajos. Ambos minerales también aparecen como agregados de microfenoblastos intercrecidos y como pequeños granos dispersos por la mesostasia. Los piroxenos aparecen en algunas muestras pseudomorfizados por agregados de minerales secundarios, tales como clorita, calcita y pumpellita. En las muestras estudiadas no se ha observado olivino, aunque algunos agregados de epidota amarilla, clorita y calcita podrían ser pseudomorfos de microfenocristales bipiramidales de este mineral. La plagioclasa forma microfenocristales de contornos alotrio- y subidiomorfos, y también agrupaciones microglomeroporfídicas, presentes sólo en la mesostasia, siendo en la secuencia de cristalización más tardíos que el piroxeno. Aparecen reemplazadas por sericita, albita, prenhita y calcita, principalmente. La mesostasia está formada por un material intersticial micro y criptocristalino, en buena parte resultado de la desestabilización de vidrio volcánico. Este material es a menudo opaco debido a la impregnación de óxidos de Fe-Ti.

En las facies amigdalares, las vesículas son de entre 0,5 y 8 mm de diámetro, y están rellenas de calcita, cuarzo, clorita, pumpellita, albita y material microcristalino, formando tanto rellenos zonados drúsicos, como parches y agregados. Las microvesículas visibles al microscopio están rellenas por minerales secundarios tales como calcita, cuarzo, clorita, prenhita, epidota amarilla y material amorfo. Hay también parches de reemplazamiento rellenos por calcita y sílice.



3.1.3.2. Basaltos porfídicos con clinopiroxeno y plagioclasa (5970IJE9623, 5970IIMJ9142  
(Lat: 18,03052984 ; Long: -71,13629146)

Los basaltos con clinopiroxeno y plagioclasa son también volumétricamente abundantes en la unidad. Constituyen rocas volcánicas de tonos verde-marrón oscuros, de composición basáltica, de estructura lávica masiva, aunque la concentración de vesículas por desgasificación del magma en algunos horizontes define un bandeo de flujo. No obstante, se han observado facies de lavas almohadilladas. Las texturas predominantes son porfídicas y afaníticas, aunque en ocasiones también aparecen doleríticas. Los fenocristales son generalmente escasos (<20%), de 1-2 mm de tamaño o submilimétricos, que se destacan en una pasta o mesostasia afanítica con escasas (<8%) vesículas/amígdalas de 0,5-2 mm rellenas de cuarzo, calcita y zeolitas. Frecuentemente, los basaltos están afectados por un sistema de grietas y venas con rellenos hidrotermales.

Al microscopio los basaltos están compuestos por feno y microfenocristales de plagioclasa y clinopiroxeno, destacados en una mesostasia o matriz afanítica y oscura. La disposición de los fenocristales define texturas variadas, como fluidales, traquíticas, variolíticas (por enfriamiento rápido en las lavas almohadilladas), ofíticas y holocristalinas de grano fino-medio. Los fenocristales de plagioclasa idio- a alotriomorfas aparecen formando prismas independientes tabulares y agregados radiales y glomeroporfídicos, con individuos zonados y maclados, variablemente recristalizados por la alteración secundaria. La plagioclasa también forma pequeños prismas y microfenoblastos, idio y subidiomorfos. Las plagioclasas están variablemente reemplazadas a prenhita-pumpellita e illita. El clinopiroxeno es de color marrón, fuerte relieve, de contornos de idio- a subidiomorfos, sin zonado aparente, marcada exfoliación y de composición augita. Frecuentemente forma grandes cristales milimétricos de carácter poiquilítico, junto al ortopiroxeno, que engloban a la plagioclasa y los opacos, dando lugar a la textura ofítica. En otras muestras el clinopiroxeno forma pequeños prismas (<0,5 mm) dispersos entre la mesostasia y entre las plagioclasas. El ortopiroxeno es muy poco pleocroico, de baja birrefringencia. Ambos, aparecen reemplazados por agregados de prenhita, epidota y clorita. El olivino accesorio forma agregados microcristalinos xenomorfos, completamente reemplazados por clorita, opacos y un material criptocristalino amarillo. Como opacos se observa magnetita esquelética y finos agregados de opacos dispersos. La matriz está compuesta por un material micro y criptocristalino, en buena parte resultado de la transformación del vidrio volcánico. Este material está reemplazado por un agregado muy fino de sericita, clorita, óxidos de Fe-Ti y opacos, así como algún esferulito procedente de la desvitrificación. Este material está reemplazado en parches y fracturado por fisuras, rellenas de calcita, clorita, prenhita (?), pirofilita (?), sericita, epidota amarilla, esferulitos síliceos y material amorfo. Las microamígdalas están rellenas de clorita y zeolitas. Se superpone una alteración/hidrotermalismo tardimagmático que forma minerales secundarios, tales como prenhita, pumpellita, clorita, sericita, calcita y óxidos de Fe.

3.1.3.3. Basaltos y basaltos andesíticos afaníticos, fluidales y vesiculares (5970IJE9624D; (5970IIMJ9027: Lat: 18,08327716; Long: -71,09509047); y basaltos afaníticos (5970IJE9624B y 5970IJE9619)

Bajo este epígrafe se incluye el resto de rocas volcánicas lávicas de composición máfica observadas en la Formación Dumisseau, que en general presentan coloraciones gris-pardo-azuladas al fresco, texturas afaníticas, variablemente fluidales y vesiculares/amigdalares (<25%). Al microscopio, estas lavas están compuestas por microfenocristales submilimétricos de plagioclasa (0-15%) o sus pseudomorfos albitizados y sericitizados, que se destacan sobre una matriz fina micro y criptocristalina, con microfenoblastos dispersos de

plagioclasa, clinopiroxeno y granos de ilmenita/magnetita. Los microfenocristales de plagioclasa idio y subidiomorfa aparecen destacados sobre la matriz formando agrupaciones glomeroporfídicas. Aparecen casi completamente reemplazados por albita, sericita, prenhita y calcita. Los microfenocristales de clinopiroxeno aparecen pseudomorfizados por agregados de clorita, calcita y cuarzo. A menudo, hay también un material intersticial micro y criptocristalino muy rico en óxidos de Fe-Ti, resultado de la desestabilización y recristalización del vidrio volcánico, que le confiere a la roca la coloración oscura. En las facies amigdalares, las vesículas son entre 1 y 10 mm de diámetro, están rellenas de calcita, cuarzo, clorita, pumpellita, albita y material microcristalino, formando tanto rellenos zonados drúsicos, parches, grietas y agregados.

#### 3.1.3.4. Doleritas con orto y clinopiroxeno (5970IIJE9625):

Las doleritas con orto y clinopiroxeno forman diques subverticales intrusivos en la secuencia de basaltos masivos y almohadillados, siendo posiblemente de alimentación magmática. Se trata de rocas subvolcánicas o filonianas, de composición basáltica, muy frescas, de grano fino, y textura dolerítica s ofítica muy característica, en ocasiones algo microporfídica. La roca es holocristalina debido a un enfriamiento del magma de forma relativamente lenta.

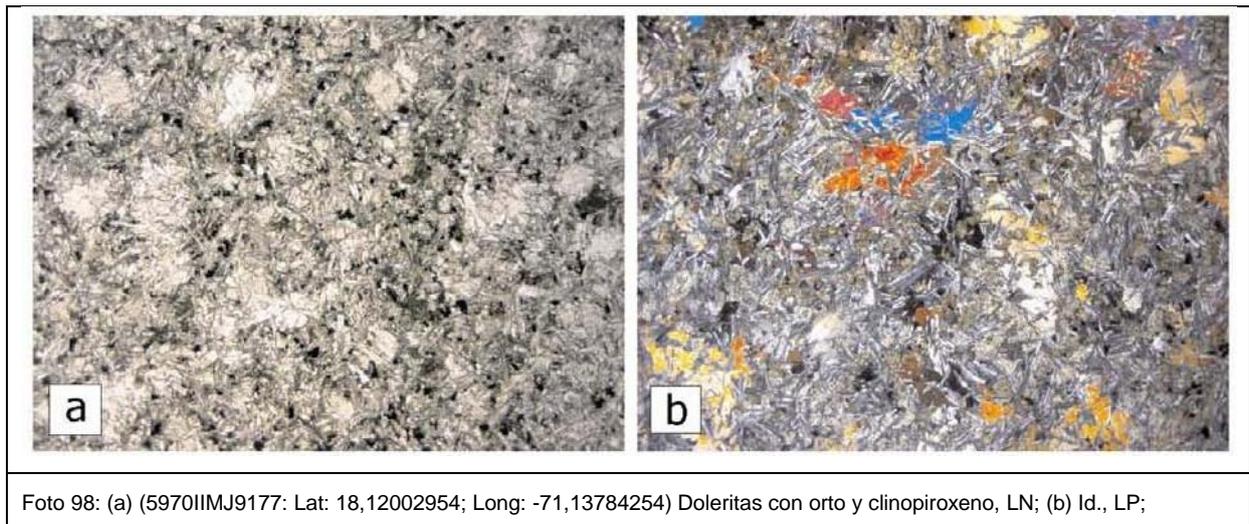
Al microscopio, están compuestas por un fino armazón de microfenocristales o tabletas de plagioclasa, sobre el que crecen grandes clinopiroxenos englobándolas poiquiliticamente, u ocupan los huecos, junto con el olivino, el ortopiroxeno y los granos de ilmenita/magnetita esquelética y opacos. Los poiquilocristales o microfenocristales son de clinopiroxeno heterogranular, ligeramente pleocroico de verde a marrón pálido, de composición posiblemente augita titanada. Presentan un alto relieve, agrupaciones intercrecidas, birrefringencia de segundo orden, e inclusiones de plagioclasas, por lo que resulta más tardío en la secuencia de cristalización. El ortopiroxeno es modalmente accesorio, aparentemente, y presenta colores de interferencia de orden más bajo y no es pleocroico. Ambos aparecen como prismas idio a subidiomorfos, tanto individuales poiquiliticos como intercrecidos y en agregados de carácter intersticial, formando muy pequeños granos dispersos por la mesostasia. Los piroxenos aparecen reemplazados por agregados de epidota amarilla, clorita y calcita. En algunas muestras, el olivino aparece fresco disperso en la mesostasia formando granos subidio a alotriomorfos, aunque generalmente aparece completamente reemplazados por agregados de pumpellita, paragonita, arcillas, clorita y opacos, así como un material micro- y criptocristalino amarillo. Las plagioclasas son tabletas de idio- a subidiomorfos, que aparecen en individuos de macla simple, y son reemplazados por albita, prenhita y calcita, principalmente, así como están recristalizadas por la alteración secundaria. La magnetita-ilmenita son a menudo abundantes moralmente (<5%). En estas

doleritas aparecen parches de un material intersticial micro y criptocristalino oscuro por impregnación de óxidos de Fe-Ti, en buena parte resultado de la desestabilización de vidrio volcánico. Se superpone una alteración/hidrotermalismo tardimagmático que forma minerales secundarios, tales como prenhita, pumpellita, clorita, sericita, calcita y óxidos de Fe.

3.1.3.5. Doleritas y microgabros con clinopiroxeno y plagioclasa (5970IIMJ9177: Lat: 18,12002954 ;Long: -71,13784254) (5970IIJE9624)

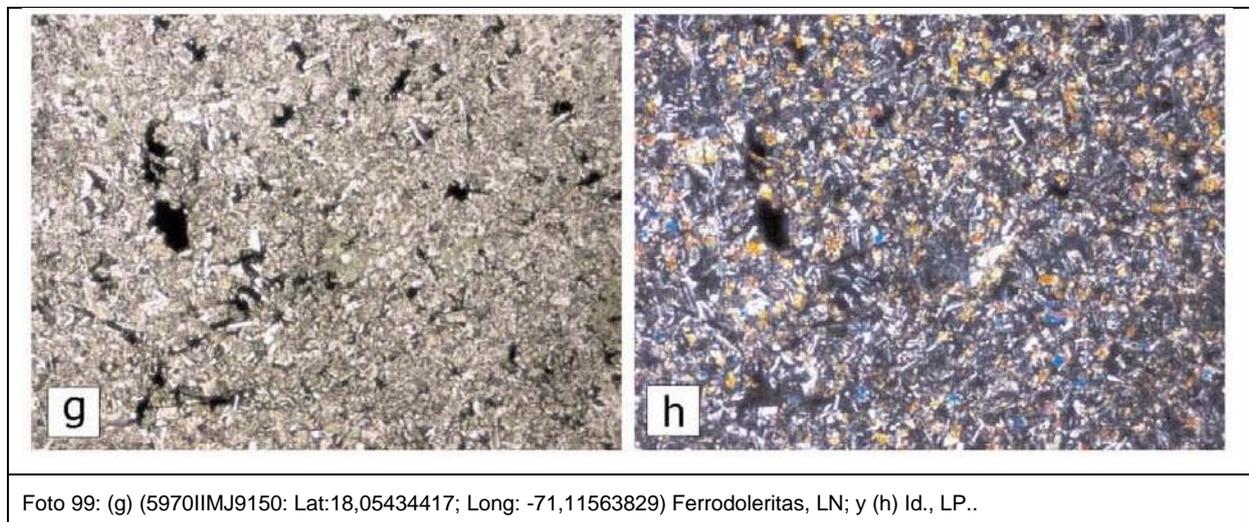
Se agrupan diques de composición dolerítica o microgabroico, de grano medio a grueso (<1 mm hasta 4 mm), de textura porfídica, algo fluidal, afectada por una intensa alteración pseudomórfica de tipo hidrotermal. En algunos diques la alteración hidrotermal es bastante importante y en gran medida ha borrado las texturas subvolcánicas.

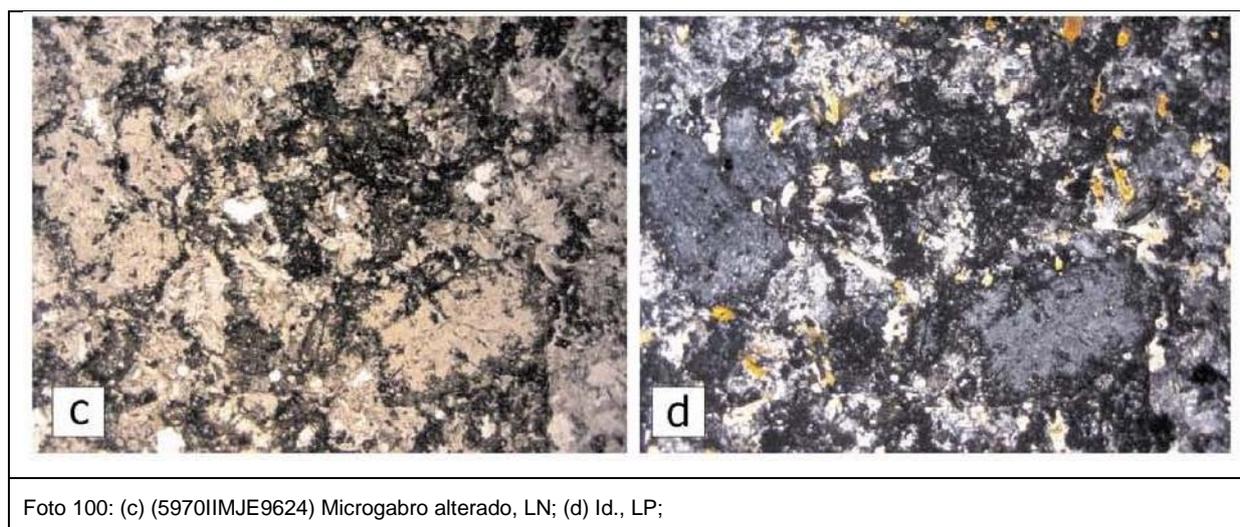
Al microscopio, los diques están compuesta por agregado de fenocristales o prismas de plagioclasa, en el que crecen agregados y cristales individuales de menor tamaño de clinopiroxeno ocupando los huecos, así como granos de ilmenita/magnetita esquelética y opacos. Las plagioclasas forman prismas de idio- a subidiomorfos, que aparecen trabados e intercrecidos Presentan un zonado oscilatorio, típicas maclas ley ortosa y Carlsbad, y una variable alteración zonal. Están reemplazadas de forma importante por albita, prenhita (anubarrada), pumpellita, y calcita, principalmente, tanto en parches como zonalmente. Los fenocristales y también algunos poiquilocristales de clinopiroxeno, son ligeramente pleocroicos pero pálidos, de composición augita, y que presentan un alto relieve. El ortopiroxeno también aparece pero en proporciones modales menores. Ambos piroxenos forman agrupaciones fibroso-radiales intercrecidas, prismas aciculares y pequeños cristales, e inclusiones de plagioclasas, por lo que es más tardío en la secuencia de cristalización. Aparecen reemplazados por agregados de prenhita, clorita, calcita, pumpellita y tremolita/actinolita (?). La magnetita es generalmente abundante (<5%) y aparece transformada o rodeada por óxidos de Fe-Ti limoníticos.



### 3.1.3.6. Ferrodoleritas (5970IIMJ9150: Lat: 18,05434417; Long: -71,11563829)

Entre las facies intrusivas sub-volcánicas se distinguen diques de ferrodoleritas. Estas rocas subvolcánicas o filonianas, son de grano fino y de textura intergranular muy fina a dolerítica (varia en zonas dentro de un mismo dique), algo microporfídica. Al microscopio están compuestas por un entramado de microfenocristales de plagioclasa, granos y agregados de pequeños clinopiroxenos, que generalmente ocupan los huecos, junto con el olivino y el ortopiroxeno accesorios, así como abundantes granos dispersos de ilmenita/magnetita esquelética.





### 3.1.4. Geoquímica

#### 3.1.4.1. Metodología y Técnicas Analíticas

Para la interpretación de la petrogénesis e historia tectónica de las rocas ígneas de la Sierra de Bahoruco y del área de Baní-Nizao, la metodología seguida en este trabajo consistió en integrar un gran volumen de datos petrológicos y geoquímicos, en lo posible de los tipos litológicos poco o nada deformados y/o metamorizados/alterados hidrotermalmente. Para ello, la composición de elementos mayores y trazas fue obtenida en más de 100 muestras de roca total, molida en ágata y analizada mediante ICP-MS en ACME Analytical Laboratories Ltd en Vancouver. Los análisis obtenidos en el ámbito del presente Proyecto en muestras de rocas ígneas volcánicas y subvolcánicas de las Hojas de Polo, La Ciénaga, Enriquillo, están incluidos en la Tabla 1.

Para los óxidos de elementos mayores, los límites de detección son <0,01% excepto para  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (0,04%),  $\text{P}_2\text{O}_5$  (0,001%) y  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  (0,002%); para los elementos trazas son típicamente <0,1 ppm y para las tierras raras <0,05 ppm, e incluso <0,01 ppm. En detalle, los límites de detección (en ppm) fueron: Ba, 1; Be, 1; Co, 0,2; Cs, 0,1; Ga, 0,5; Hf, 0,1; Nb, 0,1; Rb, 0,1; Sn, 1; Sr, 0,5; Ta, 0,1; Th, 0,2; U, 0,1; V, 8; W, 0,5; Zr, 0,1; Y, 0,1; La, 0,1; Ce, 0,1; Pr, 0,02; Nd, 0,3; Sm, 0,05; Eu, 0,02; Gd, 0,05; Tb, 0,01; Dy, 0,05; Ho, 0,02; Er, 0,03; Tm, 0,01; Yb, 0,05; Lu, 0,01; Mo, 0,1; Cu, 0,1; Pb, 0,1; Zn, 1; Ni, 0,1; As, 0,5; Cd, 0,1; Sb, 0,1; Bi, 0,1; Ag, 0,1; Au, 0,5 (ppb); Hg, 0,01; Tl, 0,1; y Se, 0,5. La precisión y exactitud analítica fue estimada analizando los estándares internacionales STD CSC y SO-18, así como mediante análisis duplicados de algunas muestras. En general, la precisión del estándar fue mejor de  $\pm 1\%$  y la exactitud en los análisis duplicados mejor de 0,5%. El Fe procedente de los análisis fue Fe total como  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , por lo que fue recalculado como  $\text{Fe}_2\text{O}_{3t} = \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO} \cdot 1,11135$  y

$FeO_{calc} = FeO / (FeO + Fe_2O_3)$ . Los análisis de todas las muestras fueron recalculados a una base anhidra si la suma de los elementos  $SiO_2$  a  $P_2O_5$  fue  $<99,98\%$ . El número de Mg (Mg#) fue calculado como  $100 \cdot mol \text{ MgO} / (mol \text{ MgO} + mol \text{ FeO}_t)$ , donde  $FeO = 0,8 \cdot Fe_2O_{3t}$  y  $Fe_2O_3 = 0,2 \cdot Fe_2O_{3t}$ . Las composiciones de referencia utilizadas para el manto primordial y los basaltos promedio N-MORB, E-MORB y OIB son las propuestas por Sun y McDonough (1989).

En una primera aproximación, los datos geoquímicos fueron utilizados para discriminar las muestras en contextos magmáticos relacionados o no con procesos de subducción, y su impacto en la definición de unidades cartográficas. Existen numerosos autores que han propuesto criterios geoquímicos que discriminan rocas formadas en diferentes medios tectónicos, como los relacionados con un arco isla (Pearce, 1983; Wood et al., 1980; Shervais, 1982; Pearce et al., 1984; Taylor y Nesbitt, 1995; Pearce y Parkinson, 1993; Pearce y Peate, 1995). Para rocas volcánicas de arco alteradas, los principales elementos traza utilizados son Zr, Nb, Hf, Ta, Ti e Y (high field strength elements, HFSE), que proporcionan una guía preliminar de la afinidad petrológica y tectónica de las rocas volcánicas básicas e intermedias. Otros elementos traza resistentes a la alteración utilizados son las REE (rare earth elements) y el Th. El Th es un LFSE (low field strength element) que, a diferencia de otros elementos de este grupo (Rb, Ba, Sr, Cs, U y Pb), resiste los procesos de alteración y metamorfismo, y proporciona la única oportunidad de comparar el comportamiento primario de estos dos grupos (LFSE vs HFSE), que refleja procesos operativos en medios tectónicos específicos. En este trabajo, la concentración de estos elementos inmóviles fue expresada en diagramas normalizados respecto al manto primitivo (PM; primitive mantle) y N-MORB (normal mid-ocean ridge basalt) de Sun y McDonough (1989), ordenados siguiendo su compatibilidad creciente (de izquierda a derecha) en un fundido basáltico. De forma complementaria se utilizaron diagramas que utilizan relaciones de elementos traza para discriminar entre varios medios tectónicos relacionados o no con arcos isla. Los datos isotópicos de Sr-Nd procedentes de la bibliografía fueron utilizados en algunos casos junto con los geoquímicos de elementos traza, para interpretar la naturaleza de la fuente mantélica y, particularmente, como evidencia de la influencia o no de plumas mantélicas y de la litosfera continental en la petrogénesis de las rocas ígneas.

En el ámbito geológico incluido en la cartografía del Proyecto Sysmin se reconoció una relativa gran variedad composicional de tipos magmáticos básicos que tienen análogos en medios oceánicos modernos, los cuales proporcionan el marco para la interpretación geoquímica e isotópica. Las rocas volcánicas no relacionadas con procesos de subducción fueron comparadas respecto a los basaltos N-MORB (normal mid-ocean ridge basalts), E-MORB (enriched-MORB) emitidos en dorsales influenciadas por plumas, y OIB (ocean island

or oceanic intra-plate basalts) relacionados con la actividad de plumas mantélicas. Los basaltos transicionales son aquellos que tienen características geoquímicas intermedias entre los toleíticos y alcalinos según Winchester y Floyd (1977). Las rocas volcánicas de medios de arco se caracterizan por un enriquecimiento de LFSE (Th) relativo respecto a los más incompatibles HFSE (Nb-Ta), y empobrecimiento en Nb (y Ta) respecto a La. Los tipos reconocidos fueron característicos de arcos intraoceánicos: boninitas fuertemente empobrecidas en elementos incompatibles, andesitas ricas en Mg, basaltos toleíticos IAT (island arc tholeiites) variablemente empobrecidos en Ti o LREE, andesitas y basaltos calcoalcalinos CAB (calc-alkalic basalts), rocas volcánicas félsicas de composición dacítica-riolítica asociadas con las series IAT-CAB y adakititas. Las rocas plutónicas que forman las unidades o batolitos ultramáfico-gabroico-tonalíticos fueron caracterizadas geoquímicamente siguiendo un procedimiento similar.

Sin embargo, las rocas ígneas volcánicas y subvolcánicas de la zona estudiada fueron variablemente deformadas, metamorfizadas e hidrotermalizadas; por lo tanto, antes de hacer interpretaciones petrogenéticas basadas en la geoquímica de roca total, se debe evaluar la movilidad de los elementos utilizados. Los elementos inmóviles bajo un amplio rango de condiciones metamórficas, incluyendo la alteración de fondo oceánico a relaciones agua/roca bajas y moderadas (Bienvenu et al. 1990), son los elementos de transición (V, Cr, Ni y Sc), los HFSE, las REE y el Th. También, los minerales accesorios con REE son estables si no han sufrido un metamorfismo intenso, así como la desaparición parcial de los minerales portadores de las LREE no afecta significativamente la relación isotópica Sm-Nd a la escala de roca total. Por otro lado, la buena correlación obtenida entre el Zr frente a Th, Nb, La, Sm, Ti y Yb sugiere que estos elementos traza fueron relativamente inmóviles durante el metamorfismo, y las diferencias que muestran en la relaciones son debidas a un variable grado de fusión o a diferencias en la fuente mantélica.

A continuación se describen las características geoquímicas de las rocas volcánicas y subvolcánicas aflorantes en la Sierra de Bahoruco. De esta zona no existen prácticamente datos geoquímicos publicados. Los incluidos en la bibliografía geológica de la zona principalmente proceden de los afloramientos de la Fm Dumisseau en el Massif de la Serre en Haití (Maurrasse et al., 1979; Sen et al., 1988; Sinton et al., 1998) y los muestreos realizados con sumergibles de las rocas constituyentes de la Dorsal de Beata (Révillon et al., 2000). Ambos conjuntos de datos son comparados con las rocas volcánicas y subvolcánicas basálticas aflorantes en la Sierra de Bahoruco. La Fig. 13 incluye un cuadro de correlación preliminar entre las diferentes unidades que componen la provincia ígnea

Caribeña (CLIP) en el borde septentrional de la placa del Caribe, en la que se incluye la Sierra de Bahoruco.

Las descripciones incluidas en el Informe constituyen en buena parte los resultados litoestratigráficos, petrológicos y geoquímicos obtenidos en el marco del Proyecto de cartografía geotemática de la República Dominicana, financiada por el Programa SYSMIN de la UE.

#### 3.1.4.2. Descripción de los materiales de la Fm Dumisseau

Los principales tipos litológicos lávicos muestreados en las Hojas de La Ciénaga, Enriquillo y Polo, para el estudio geoquímico son (Tabla 1): basaltos porfídicos con orto y clinopiroxeno (5970IIMJ9111), microporfídicos con clinopiroxeno y plagioclasa vesiculares (5970IIMJ9142), almohadillados (5970IIIJE9621A), afaníticos (5970IIJE9623 y 5970IIJE9624D), ofíticos (5970IIIJE9621B), y alterados hidrotermalmente (5970IIMJ9027); basaltos porfídicos con plagioclasa y alterados (5969IJE9623D); y basaltos con plagioclasa alterados (5969IJE9622). Entre las facies intrusivas sub-volcánicas se obtuvieron muestras de doleritas con orto y clinopiroxeno (5970IIMJ9177 y 5970IIIJE9620); doleritas y microgabros con clinopiroxeno y plagioclasa (5970IIJE96259 y 5970IIJE9624); y ferrodoleritas (5970IIMJ9150)

<b>Hoja</b>	<b>Muestra</b>	<b>Clasificación</b>	<b>Lat</b>	<b>Long</b>
La Ciénaga	<b>5970IIJE9624</b>	MICROGABRO CLINOPIROXENO Y PLAGIOCLASA, ALTERADO	18,0202483333	-71,1388783333
La Ciénaga	<b>5970IIMJ9177</b>	DOLERITA CON ORTO Y CLINOPIROXENO	18,12002954	-71,13784254
La Ciénaga	<b>5970IIJE9625</b>	DOLERITA CON CLINOPIROXENO Y PLAGIOCLASA	18,0338833333	-71,129785
La Ciénaga	<b>5970IIMJ9142</b>	BASALTO MICROPORFÍDICO CON PLAGIOCLASA Y CLINOPIROXENO, VESICULAR	18,03052984	-71,13629146
La Ciénaga	<b>5970IIMJ9027</b>	BASALTO CON PLAGIOCLASA Y CLINOPIROXENO, ALTERADO	18,08327716	-71,09509047
La Ciénaga	<b>5970IIMJ9150</b>	FERRO-DOLERITA	18,0543441	-71,11563829
La Ciénaga	<b>5970IIJE9624D</b>	BASALTO AFANÍTICO CON CLINOPIROXENO y PLAGIOCLASA	18,0202483333	-71,1388783333
La Ciénaga	<b>5970IIMJ9111</b>	BASALTO PORFÍDICO CON CLINO Y ORTOPIROXENO	18,01945492	-71,21946417
Enriquillo	<b>5969IIMJ9623D</b>	BASALTO PORFÍDICO CON PLAGIOCLASA, HIDROTERMALIZADO	17,96145	-71,231315
Enriquillo	<b>5969IIMJ9623</b>	Basaltos afíricos	18,02161	-71,1389966667
Enriquillo	<b>5969IJE9622</b>	BASALTO CON PLAGIOCLASA, ALTERADO	17,9621033333	-71,22829
Polo	<b>5970IIIJE9621A</b>	BASALTO ALMOHADILLADO CON PLAGIOCLASA Y CLINOPIROXENO		
Polo	<b>5970IIIJE9621B</b>	BASALTO CON PLAGIOCLASA Y CLINOPIROXENO OFÍTICO		
Polo	<b>5970IIIJE9620</b>	DOLERITA CON ORTO Y CLINOPIROXENO		

Tabla 1: Análisis geoquímicos de roca total

Las características geoquímicas de la Fm Dumisseau en la Sierra de Bahoruco están representadas en las Fig. 14; Fig. 15; Fig. 16; Fig. 17; Fig. 18. Como evidencian los bajos contenidos en SiO<sub>2</sub> y K<sub>2</sub>O y altos de CaO de algunas muestras, acompañados con altos valores de pérdida por calcinación (LOI>4 %wt), estos basaltos presentan un variable grado de alteración hidrotermal por lo que los contenidos en elementos mayores y trazas móviles en una fase fluida deben ser considerados con precaución. Exceptuando las muestras obviamente alteradas, para un restringido rango en SiO<sub>2</sub> (46,5-48,6 wt%), los basaltos de la Fm Dumisseau poseen contenidos (wt%) relativamente altos en álcalis (2,1-6,2), TiO<sub>2</sub> (0,9-2,9), P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (0,15-1,1) y Fe<sub>2</sub>O<sub>3T</sub> (10.0-14.1 wt.%), y bajos en CaO (8-12) y Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (11,0-14,9). En base al contenido en MgO (Fig. 15), las muestras pueden ser subdivididas en basaltos toleíticos (<8 wt.%) y basaltos magnesianos (alto MgO=8-12 wt.%), sin haberse analizado

composiciones picríticas (posiblemente cumulos de olivino). Los valores de Mg# de 66-47 indican que los magmas experimentaron una muy baja a moderada fraccionación.

Con el descenso en MgO presentan un aumento en SiO<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, álcalis, Zr y Nb típico de las series toleíticas con enriquecimiento en Fe (y Ti). El descenso paralelo de MgO, Ni y Cr indica una evolución magmática principalmente controlada por la fraccionación de olivino y Cr-espinela, clinopiroxeno (augita titanada) y ortopiroxeno, observados como feno y microfenocristales en las lavas menos fraccionadas, así como de plagioclasa y óxidos Fe-Ti (ilmenita y titano-magnetita). Estos basaltos son Qtz u Ol normativos, con Di, Hy y Cr. En base a los elementos traza inmóviles (Nb/Y-Zr/TiO<sub>2</sub>; Fig. 14 c), se clasifican como basaltos toleíticos, transicionales y alcalinos, lo cual es consistente con su Estas características, junto con la presencia de fenocristales de olivino y augita titanada, indican que se trata de basaltos transicionales (Nb/Y>0.4) a alcalinos, lo cual es consistente con su composición en elementos mayores, norma y mineralogía. En los diagramas de discriminación tectónica de Wood (1980) y Meschede (1986), las lavas y diques relacionados caen ambos en los campos de las toleitas intra-placa y de los basaltos alcalinos (Fig. 14 a y b). Presentan generalmente una relación Ti/V>20 (Fig. 14 d), que aumenta en las muestras pasando del campo de los basaltos intraplaca al de los alcalinos.

En diagramas multielementales normalizados respecto a N-MORB (Fig. 16), el conjunto de basaltos y diques máficos de la Fm Dumisseau presentan un patrón variablemente enriquecido en LREE ([La/Nd]<sub>N</sub>=0,8-3,4) y empobrecido en HREE-Y ([Sm/Yb]<sub>N</sub>=0,8 a 6,5), con contenidos de moderados a muy altos en Nb (2,8-162 ppm). En general, los basaltos presentan una mayor diversidad en el patrón de elementos traza que los diques que los intruyen más recientes, los cuales presentan un patrón plano. Todas estas rocas no presentan las anomalías positivas en Pb, K y Sr, y negativas en Nb-Ta, típicas de los magmas relacionados con subducción. Sin embargo, algunas muestras presentan un enriquecimiento selectivo en algunos elementos LILE móviles con los fluidos (Rb, Ba y U) y un fuerte empobrecimiento en K, los cuales son probablemente consecuencia de procesos de alteración de fondo oceánico hidrotermal (Hauff et al., 2003). Las pequeñas anomalías positivas en Sr presentes en algunas muestras son posiblemente debidas a la adición de este elemento a partir del agua marina durante la alteración oceánica. Por otro lado, las ligeras anomalías positivas en Ti que presentan algunos basaltos evolucionados están relacionadas con la acumulación de óxidos de Fe-Ti.

En base al contenido en TiO<sub>2</sub>, patrón multielemental y valores de relaciones de elementos traza incompatibles, en la Fm Dumisseau se identifican tres tipos geoquímicos: toleitas pobres en Ti (tipo I); basaltos ricos en Ti o transicionales (tipo II); y basaltos alcalinos ricos en Ti y en LREE (tipo III). En la Fm Dumisseau, los magmas del tipo I aparecen como

basaltos almohadillados y diques doleríticos/ofíticos intrusivos en los basaltos de los tipos II y III, como en los afloramientos de la Playa de los Ángeles, sugiriendo que los primeros son más jóvenes que los segundos. El menor grado de alteración hidrotermal de las rocas del tipo I es también consistente con esta interpretación.

#### 3.1.4.2.1. Toleitas pobres en Ti (tipo I)

Este grupo está representado por los flujos toleíticos y las intrusiones doleríticas y microgabroicas de la Formación. Estas rocas presentan composiciones de muy poco a ligeramente fraccionadas ( $Mg\# = 66-49$ ). Los contenidos en  $TiO_2$ , Zr y Nb son de 0,9-1,5 wt%, 31-79 ppm y 2,8-13 ppm, respectivamente, para rangos relativamente altos de MgO de 6,8-10,1 wt%. Los contenidos en Cr (134-376 ppm) y Ni (26-121 ppm) son relativamente altos. Presentan una concentración en Th relativamente baja ( $< 0,4$  ppm). Los valores de Nb/Y (0,1-0,2) son típicos de magmas toleíticos. El microgabro 5970IIJE9624 presenta valores anómalos en varios elementos probablemente debidos a su movilización durante la alteración. En el diagrama de REE extendido normalizado respecto al manto primordial (MP; Fig. 18), se caracterizan por una distribución generalmente plana ( $[La/Yb]_N = 0,7-1,2$ ; promedio 1,0), con un ligero empobrecimiento en LREE ( $[La/Nd]_N = 0,8-1,0$ ; promedio 0,9), ligeras anomalías positivas en Nb (respecto al Th y La;  $Nb/Nb^* = 0,2-0,4$ ), ausencia anomalía negativa en Zr-Hf ( $[Zr/Sm]_N = 0,9-1,0$ ), y HREE planas ( $[Sm/Yb]_N = 0,8-1,2$ ; promedio 1,1). Los bajos contenidos en Ti y las bajas abundancias absolutas de REE (4-8 x PM) sugieren una fuente dominada por un manto empobrecido. La modelización geoquímica indica que los magmas del tipo I son producto de altas tasas de fusión (20-30%) de lherzolitas con espinela

#### 3.1.4.2.2. Basaltos ricos en Ti (tipo II)

Este grupo está representado por las lavas basálticas transicionales. Estas rocas presentan composiciones poco fraccionadas ( $Mg\# = 57-52$ ). El contenido en  $TiO_2$  varía entre 2,0 y 2,6 wt%, y para rangos similares de  $Mg\#$  son superiores a los del grupo I. Para contenidos altos en MgO de entre 6,7 y 8,0 wt%, los contenidos en Zr y Nb son también más altos, de 108-148 ppm y 14,4-18,1 ppm, respectivamente. Los contenidos en Cr (240-376 ppm) y Ni (41-74 ppm) son también elevados. Los contenidos en Th son más altos que en las muestras del tipo I. Los valores de Nb/Y (0,65-0,7) son típicos de magmas transicionales. Presentan un patrón de REE extendido de pendiente negativa ( $[La/Yb]_N = 4,0-4,6$ ), LREE planas ( $[La/Nd]_N = 1,1-1,3$ ; promedio 1,2) y un empobrecimiento en HREE ( $[Sm/Yb]_N = 2,4-2,6$ ; promedio 2,5), con ligeras anomalías positivas en Nb ( $Nb/Nb^* = 1,3-1,7$ ), y sin anomalías en el Ti. Los mayores contenidos en  $TiO_2$  y absolutos de REE, junto a la ausencia de anomalías negativas en Zr-Hf ( $[Zr/Sm]_N = 1,1-1,2$ ), sugieren una fuente mantélica más enriquecida que

en el grupo I. La modelización geoquímica indica que los magmas del tipo II son producto moderadas tasas de fusión (8-15%) de una mezcla de lherzolitas con espinela y lherzolitas con granate.

#### 3.1.4.2.3. Basaltos alcalinos ricos en Ti y en LREE (tipo III)

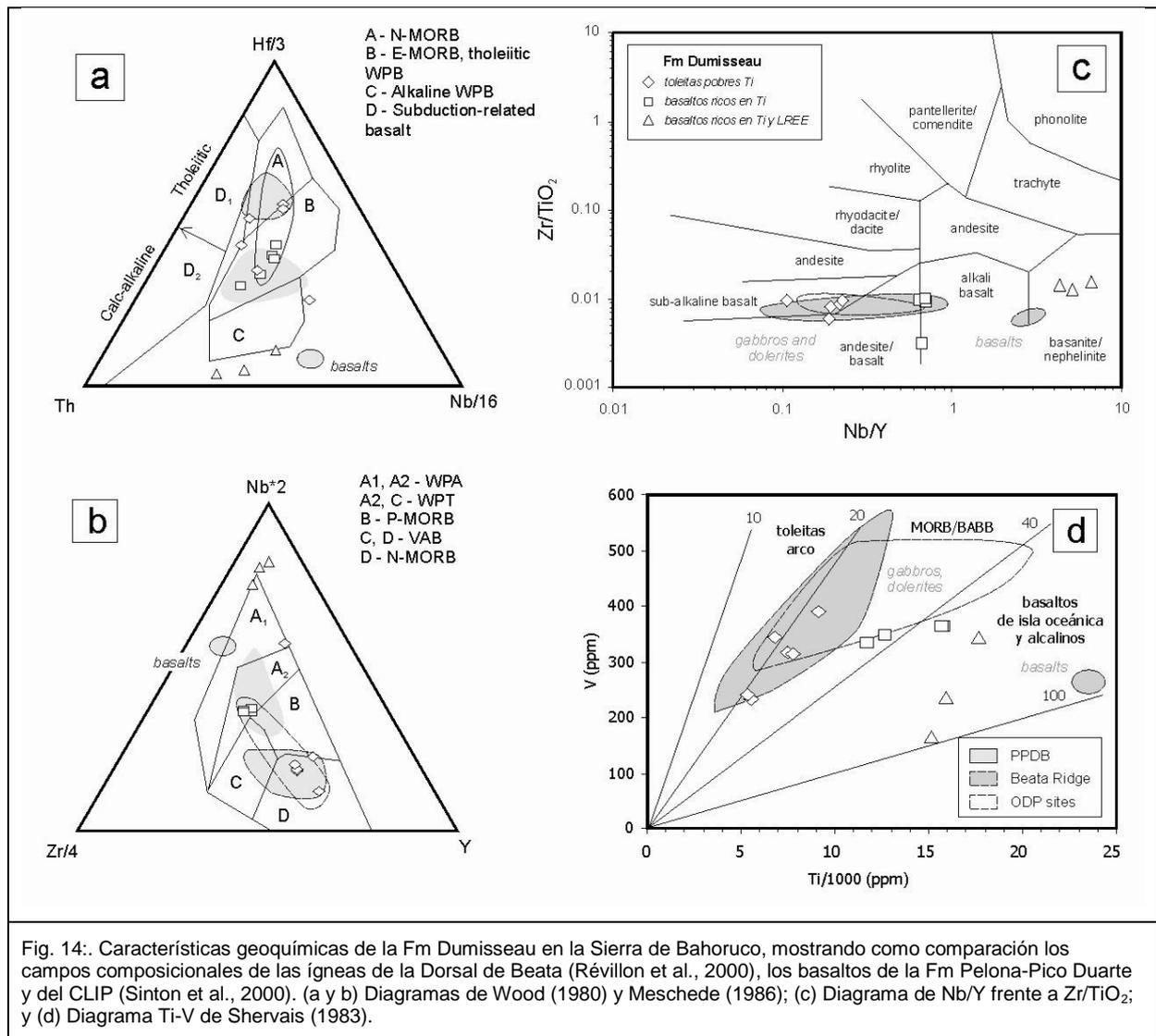
El grupo incluye los basaltos porfídicos con orto, clinopiroxeno y plagioclasa, ricos en Ti y de composiciones ya moderadamente fraccionadas ( $Mg\#=52-45$ ). Con el enriquecimiento en  $TiO_2$  (2,7-2,9 wt%) las lavas de tipo III están enriquecidas en Fe ( $Fe_2O_{3T}=11,6-12,5$  wt%), resultando basaltos ferrotitanados. Los contenidos en CaO son muy elevados (13,8-20,5 wt%) y pueden ser debidos tanto a la acumulación de plagioclasa en estos magmas ya evolucionados, a los rellenos de las vesículas, o a procesos de carbonatación durante la alteración como sugieren los altos valores de LOI (5,1-9,5 wt%). Los valores de Nb/Y (4,5-66) son típicos de magmas alcalinas. Para contenidos en MgO de entre 6,4 y 5,2 wt%, los contenidos en Zr y Nb en las muestras de tipo III son más altos que en los anteriores grupos, de 48-171 ppm y 89-162 ppm, respectivamente. Los contenidos en Cr (7-34 ppm) y Ni (8-26 ppm) son bajos y dan cuenta de una extensa fraccionación. Los contenidos en Th son los más elevados de la Formación (5,4-14 ppm). A un similar  $Mg\#$ , estos basaltos presentan un característico patrón de REE extendido de extremada pendiente negativa ( $[La/Yb]_N=25-59$ ). Respecto al tipo II, presentan un fuerte enriquecimiento en LREE ( $[La/Nd]_N=2,6-3,4$ ) y un mayor empobrecimiento en HREE ( $[Sm/Yb]_N=4,0-7,3$ ). No presentan claras anomalías en Nb ( $Nb/Nb^*=1,0-1,8$ ), Eu o Ti. Los contenidos más altos en  $TiO_2$  y de abundancias absolutas de REE, sugieren una fuente mantélica más enriquecida que en el grupo II. Sin embargo, estos basaltos presentan fuertes anomalías negativas en Zr-Hf ( $[Zr/Sm]_N=0,2-0,9$ ). La modelización geoquímica indica que los magmas del tipo III son producto de bajas tasas de fusión (<5%) de lherzolitas con granate.

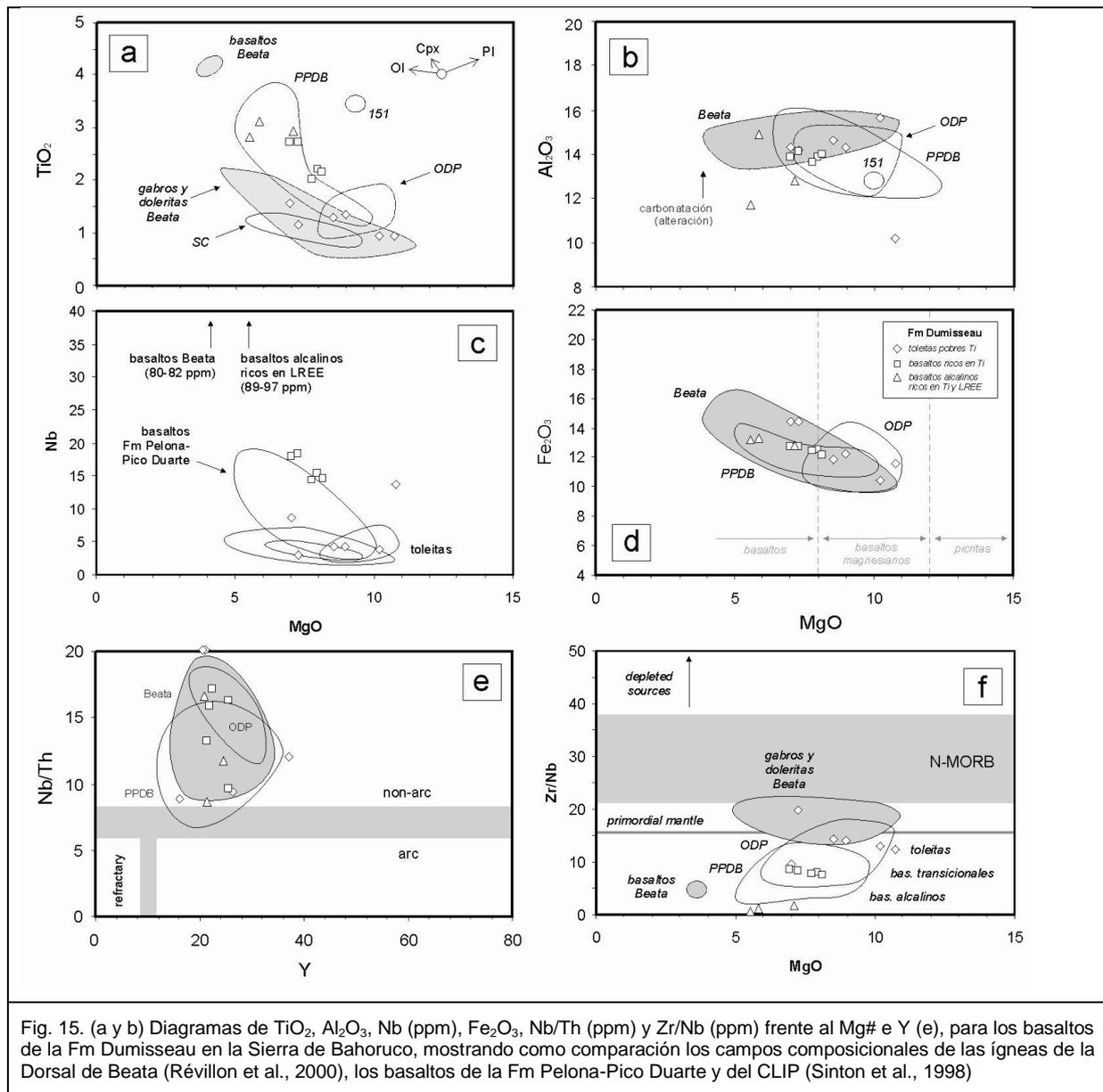
#### 3.1.4.3. Interpretación y correlaciones

Las rocas máficas de la Fm Dumisseau presentan una gran diversidad en la composición de elementos traza. Aunque no se ha podido establecer su estratigrafía, la unidad presenta las características de la gran provincia ígnea Caribeña (CLIP=Caribbean large igneous province), como una gran extensión geográfica (ver después las comparaciones), un total predominio de composiciones basálticas, altas tasas de producción de fundidos, ausencia de sedimentos autóctonos intercalados debido a la alta efusividad magmática, y una formación no directamente relacionada con procesos de apertura de fondo oceánico. Estos magmas no muestran evidencias de la adición de componentes subductivos en su petrogénesis ( $Nb/Th>8$ ; Fig. 15). Los magmas relativamente empobrecidos y menos

fraccionados de tipo I, que parecen ser ligeramente más jóvenes, proceden de altas tasas de fusión (10-20%) de un manto fértil somero, y los fundidos más enriquecidos de los tipos II y III fueron producto de menores tasas de fusión (<15 y <5%, respectivamente) de un manto más profundo con granate residual que fracciona las HREE. Por lo tanto, las fuentes mantélicas de la Fm Dumisseau posiblemente fueron más empobrecidas y someras con el tiempo, lo cual es consistente con el ascenso de un manto profundo a alta temperatura (i.e. una pluma mantélica) bajo la corteza oceánica. No se descarta que la secuencia de basaltos de la Fm Dumisseau sea progresivamente emergente y desarrolle a techo facies de brechas, hialoclásticas y de flujos subaéreos muy vesiculares. La Formación está estratigráficamente superpuesta por carbonatos de plataforma someros de edad Eoceno Inferior-Medio.

Para establecer comparaciones, en las Fig. 17 y Fig. 18 se han representado los basaltos de la Fm Dumisseau en Haití (Sen et al., 1988), los basaltos de la Fm Pelona Pico Duarte, las rocas máficas muestreadas en la Cresta de Beata (Révillon et al., 2000) y los basaltos perforados en el DSDP sites 146-153 (excepto 151; re-analizados por Jolly et al., 2007). Como puede observarse, los magmas toleíticos de tipo I son geoquímicamente comparables a los basaltos de la Fm Dumisseau, los basaltos del DSDP (excepto 151), y a los gabros y doleritas de la Dorsal de Beata (80-75 Ma; Campaniense), así como a los basaltos de la Fm Siete Cabezas (Campaniense; Escuder-Virueite et al., 2008). Estas características E-MORB son comunes en muchas de las lavas máficas del CLIP (Kerr et al., 2002) y sugieren una similar fuente magmática empobrecida. La composición de los magmas transicionales y alcalinos de los tipos II y III es comparable a los basaltos de la Dorsal de Beata, los basaltos de la Fm Pelona-Pico Duarte, los basaltos del sitio 151 del DSDP.





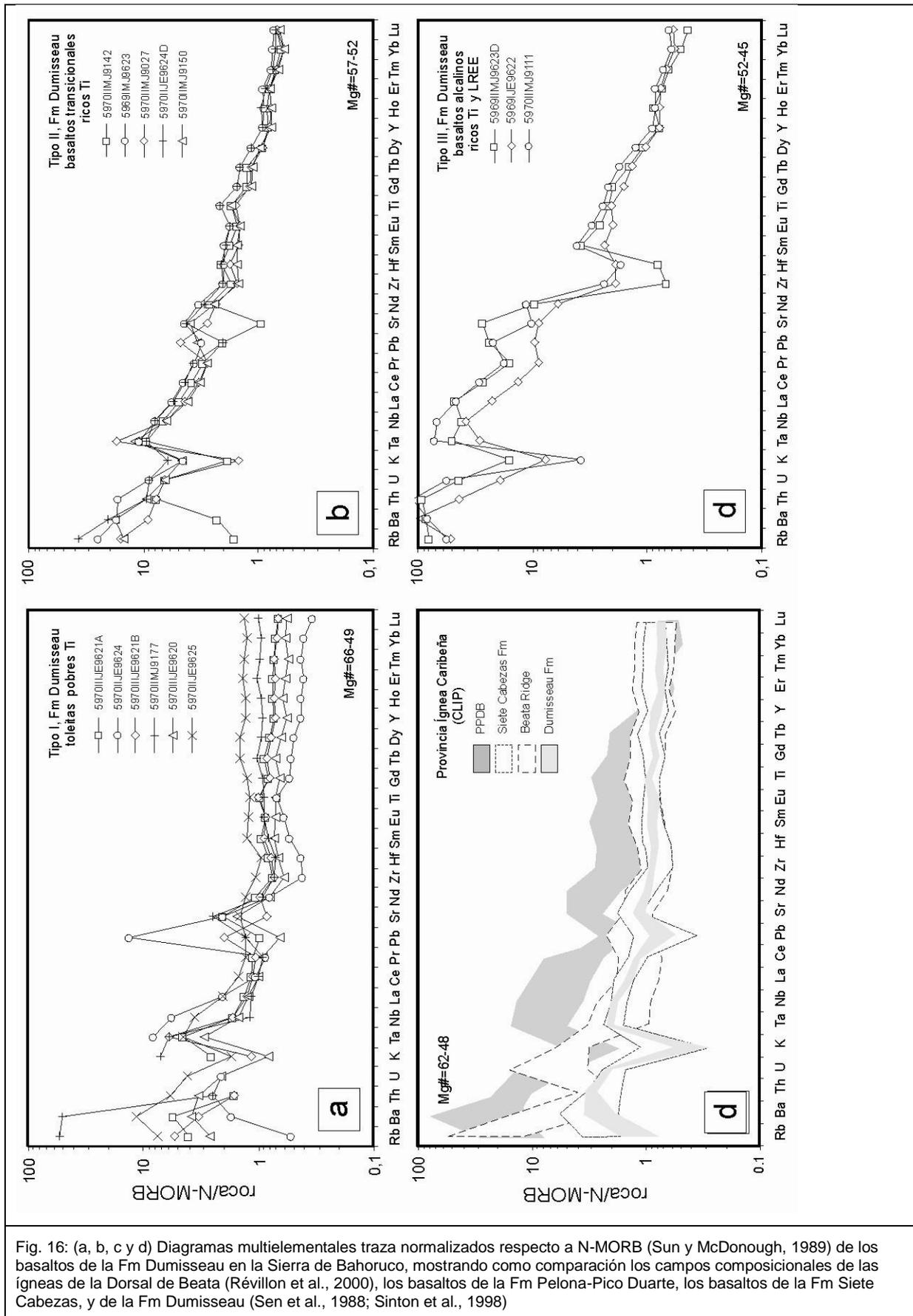
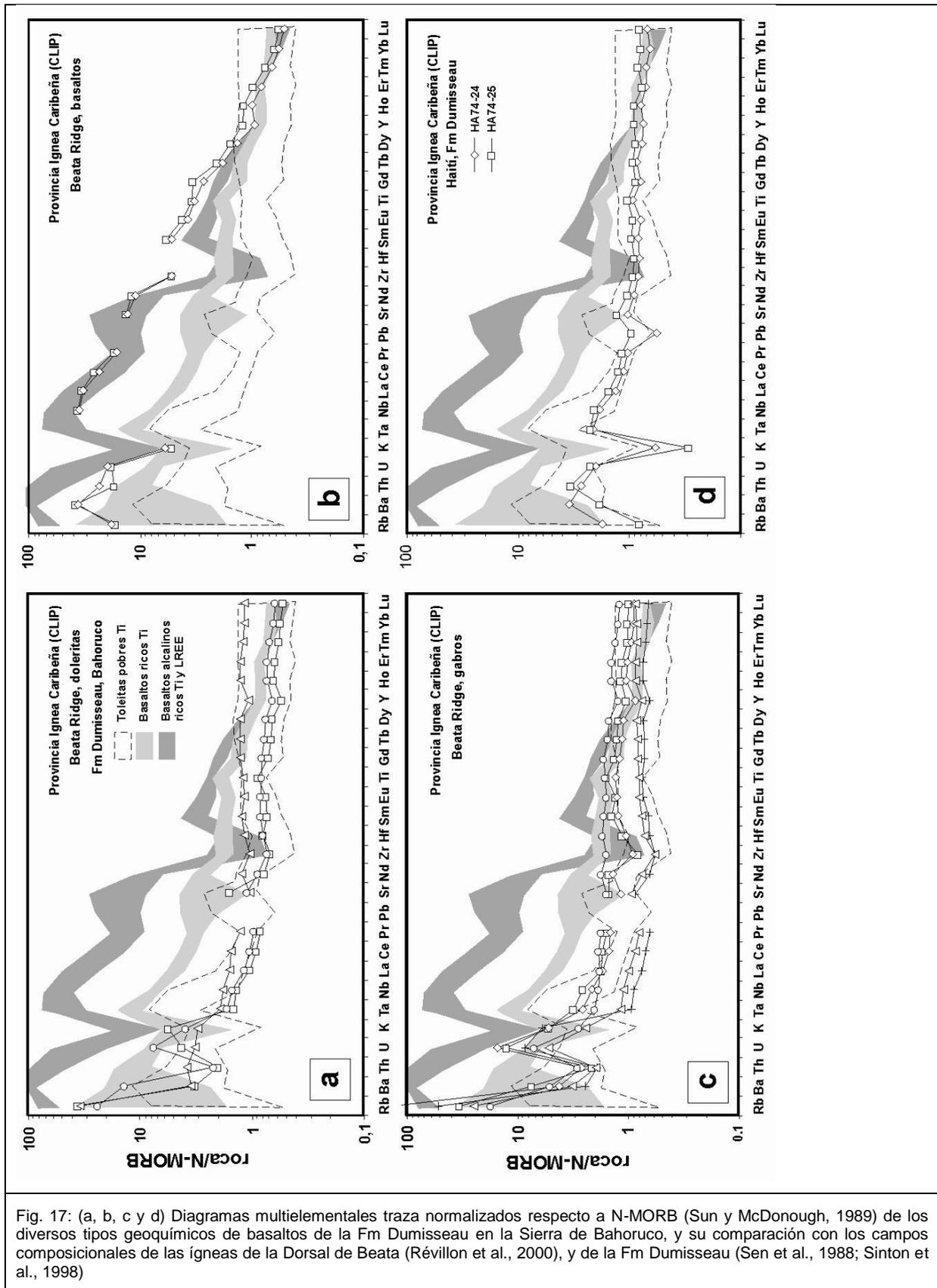


Fig. 16: (a, b, c y d) Diagramas multielementales traza normalizados respecto a N-MORB (Sun y McDonough, 1989) de los basaltos de la Fm Dumisseau en la Sierra de Bahoruco, mostrando como comparación los campos composicionales de las ígneas de la Dorsal de Beata (Révillon et al., 2000), los basaltos de la Fm Pelona-Pico Duarte, los basaltos de la Fm Siete Cabezas, y de la Fm Dumisseau (Sen et al., 1988; Sinton et al., 1998)



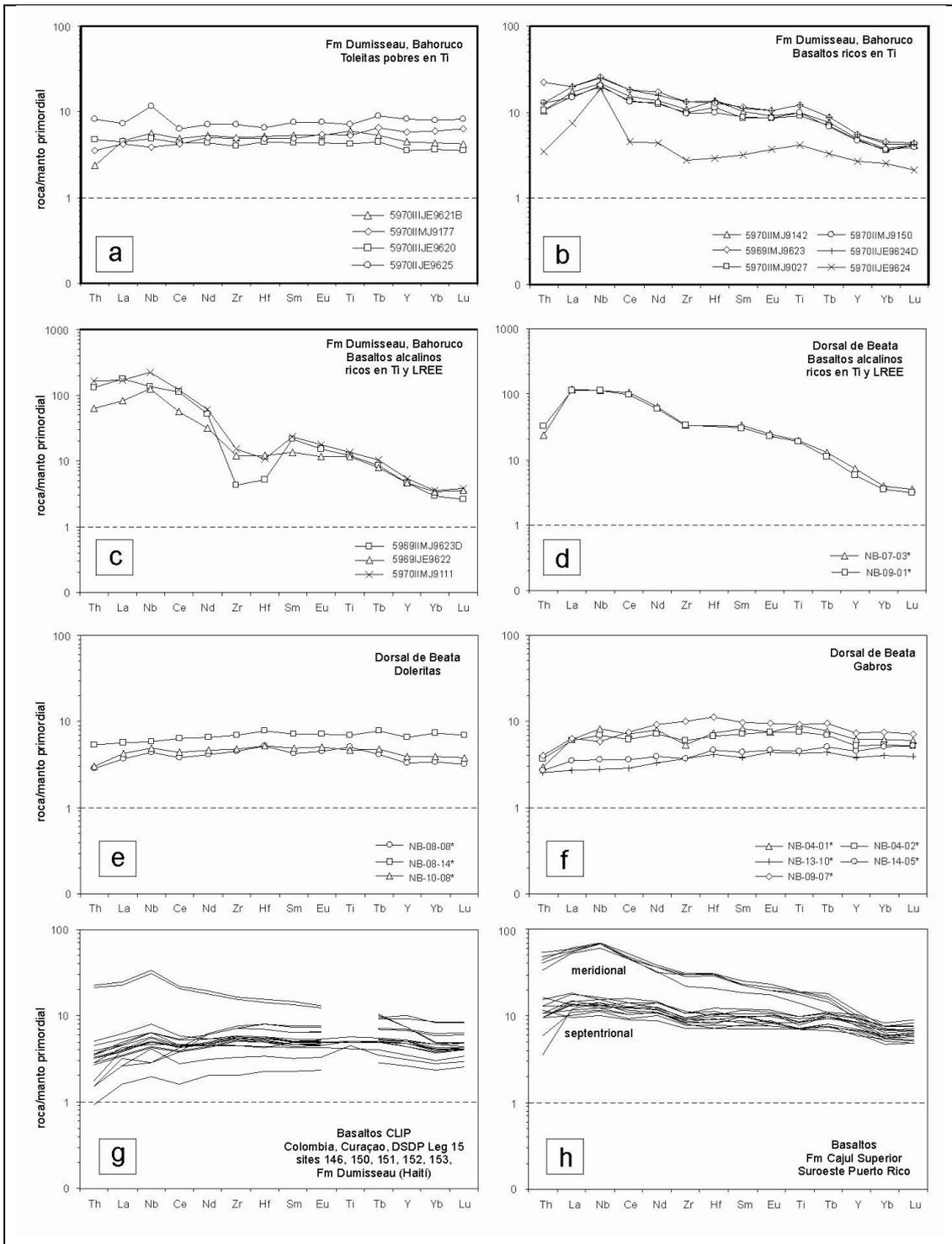


Fig. 18: Diagramas de elementos traza extendidos normalizados respecto al manto primordial (Sun y McDonough, 1989) de los diversos tipos geoquímicos de basaltos de la Fm Dumisseau en la Sierra de Bahoruco, y su comparación con los campos composicionales de los basaltos, doleritas y gabros de la Dorsal de Beata (Révillon et al., 2000), de basaltos representativos del CLIP de Colombia, Curaçao, la Fm Dumisseau (Sen et al., 1988; Sinton et al., 1998), y del DSDP Leg 15 en el Mar Caribe (Sinton et al., 2000); y de la Fm Cajul Superior en Puerto Rico (Jolly et al., 2008)

### 3.1.5. Geocronología

Dos muestras basálticas han sido datadas en la Hoja de La Ciénaga (Fig. 19):

- 116MJ9111 basalto de la Fm Dumisseau, en la esquina SO de la Hoja,
- 116MJ9150 dique basáltico cortando los basaltos de la Fm Dumisseau, en la carretera de la costa, al Sur de Batoruco.

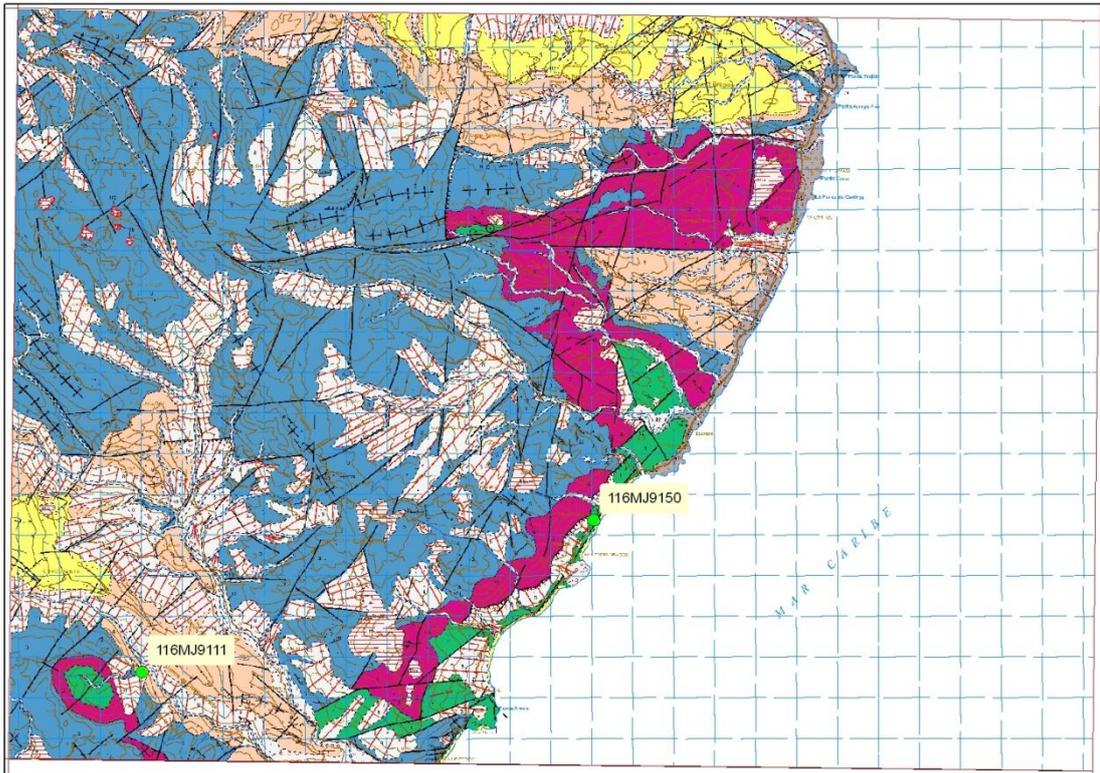


Fig. 19 : Situación de las muestras de basaltos (en verde) para las dataciones absolutas. Hoja de La Ciénaga.

#### 3.1.5.1. Muestra 116MJ911. Basaltos de la Fm Dumisseau

La muestra de basaltos de la Fm Dumisseau, proviene del Arroyo Punta Alegre, en la esquina SO de la Hoja de La Ciénaga (Fig. 19).

Se trata de un basalto porfídico con clino y ortopiroxeno, algo microvesicular. Una ligera alteración se marca por un inicio de sericitización y carbonatación de las plagioclasas, cloritización de los ferromagnesianos, desvitrificación del vidrio volcánico y oxidación de los opacos.

La datación por método Ar-Ar, roca total (Fig. 20), no ha proporcionado una edad plateau. La isócrona normal indica una edad de  $102 \pm 40$  Ma y una edad integrada de  $103,6 \pm 17$  Ma, correspondiendo al Cretácico inferior alto (Albiense).

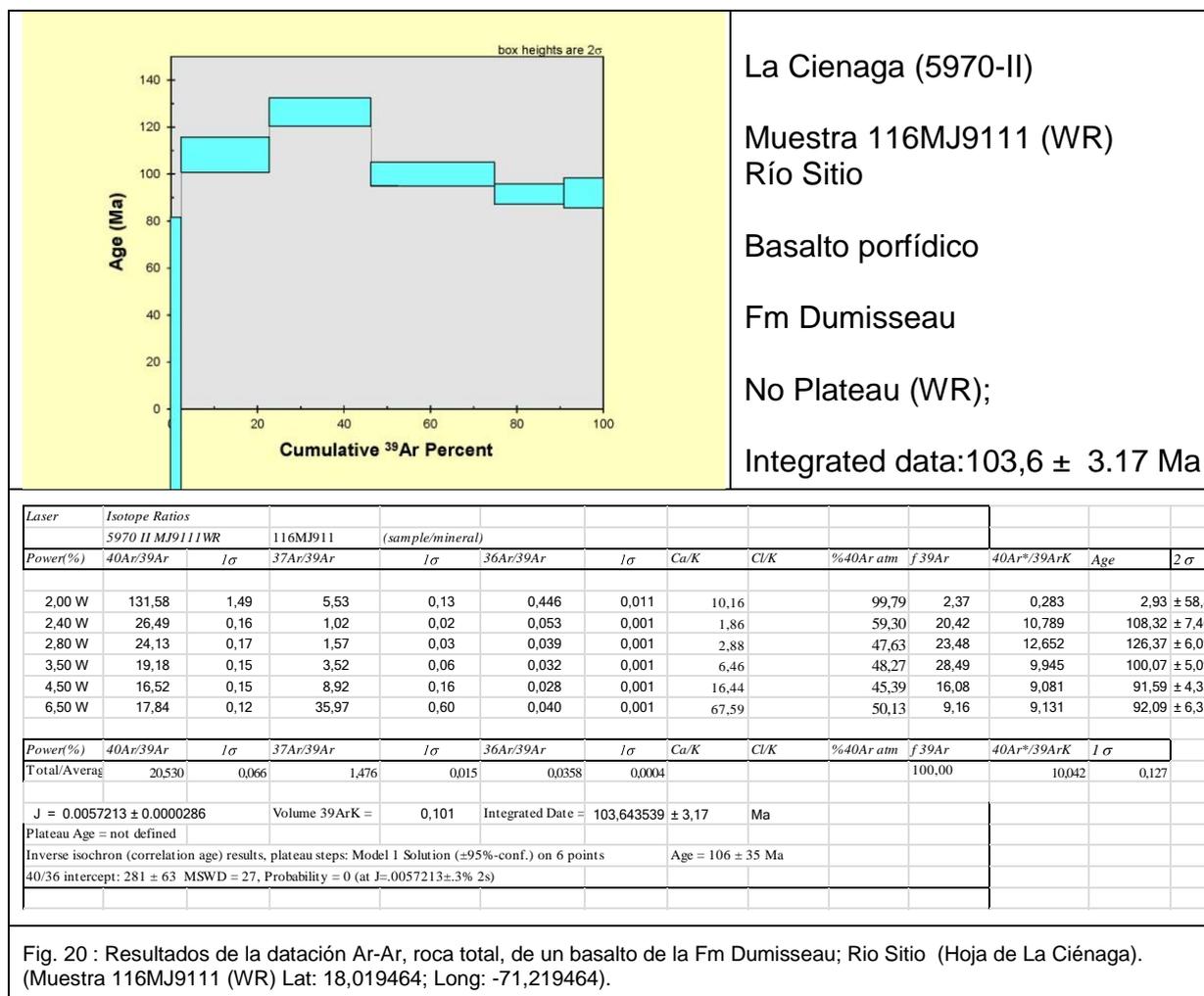


Fig. 20 : Resultados de la datación Ar-Ar, roca total, de un basalto de la Fm Dumisseau; Río Sitio (Hoja de La Ciénaga). (Muestra 116MJ9111 (WR) Lat: 18,019464; Long: -71,219464).

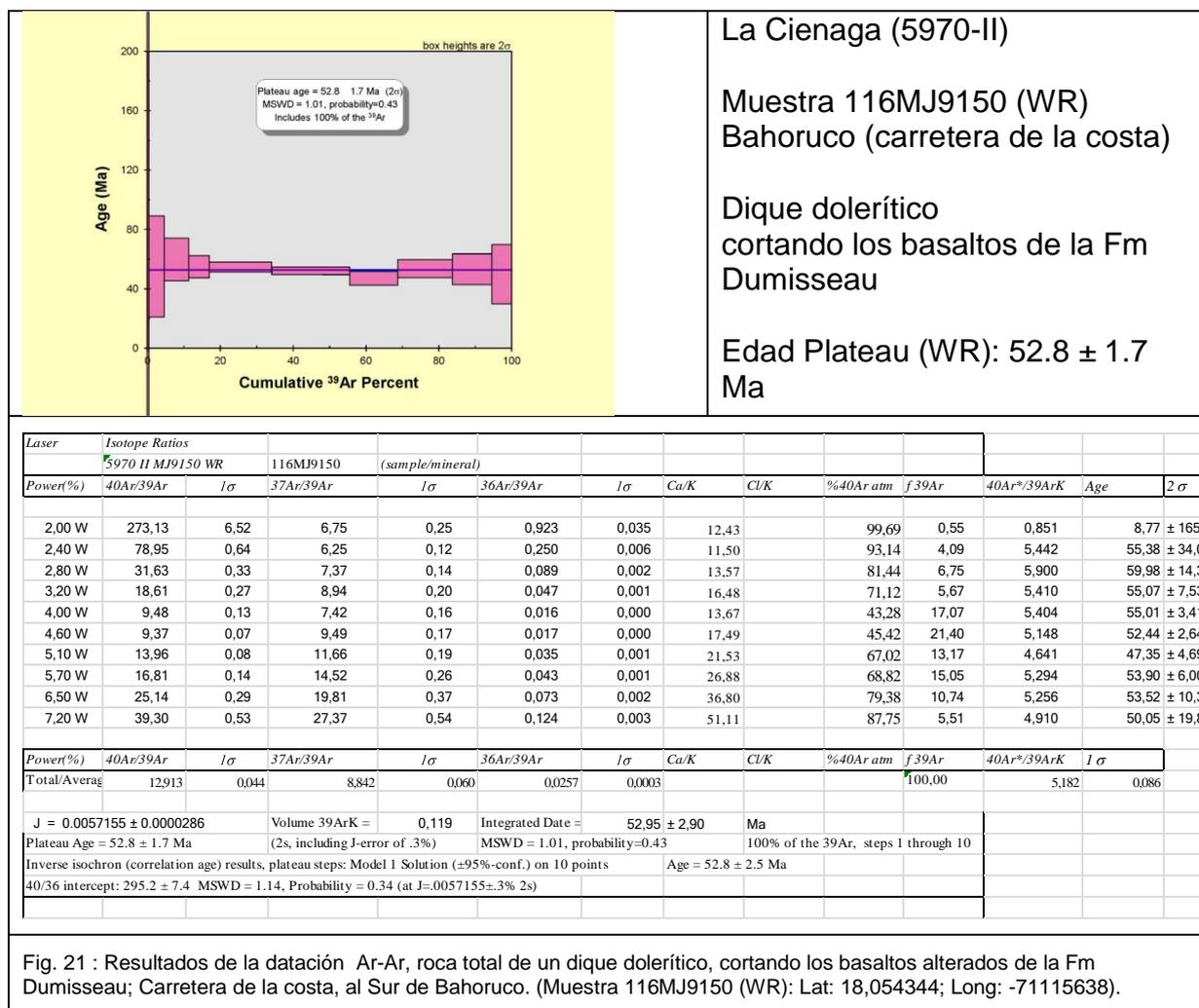
3.1.5.2. Muestra 116MJ9150: Dique dolerítico cortando la Fm Dumisseau.

Se trata de un dique de 80 cm de potencia (dirección N125°E-55°NE) cortando los basaltos alterados de la Fm Dumisseau de la carretera de la costa al Sur de Bahoruco (Fig. 19 y Foto 101). La roca subvolcánica, filoniana, de grano fino, presenta una textura granular muy fina con pequeños microfenocristales de ferromagnesianos. Al microscopio la textura es intergranular a dolerítica, algo microporfídica. La muestra corresponde a una ferrodolerita.

La datación absoluta por método Ar-Ar, roca total, ha proporcionado una edad plateau de  $52,8 \pm 1,7$  Ma (Fig. 21), correspondiendo a la base del Eoceno (Ypresiense).



Foto 101 : Dique dolerítico (dirección N125°E-55°NE; P=80 cm) , cortando los basaltos alterados de la Fm Dumisseau, Cretácico superior) Majagualito; Ctra. de la costa al Sur de Bahoruco (116MJ9150\_1; Lat: 18,05434417; Long: -71,11563829)



#### 4. TECTONICA

En este capítulo se abordan las características estructurales de la Hoja de La Ciénaga 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 Ciénaga y se presenta una propuesta de evolución tectónica para el conjunto de la región

##### 4.1. Contexto geodinámico de la isla La Española

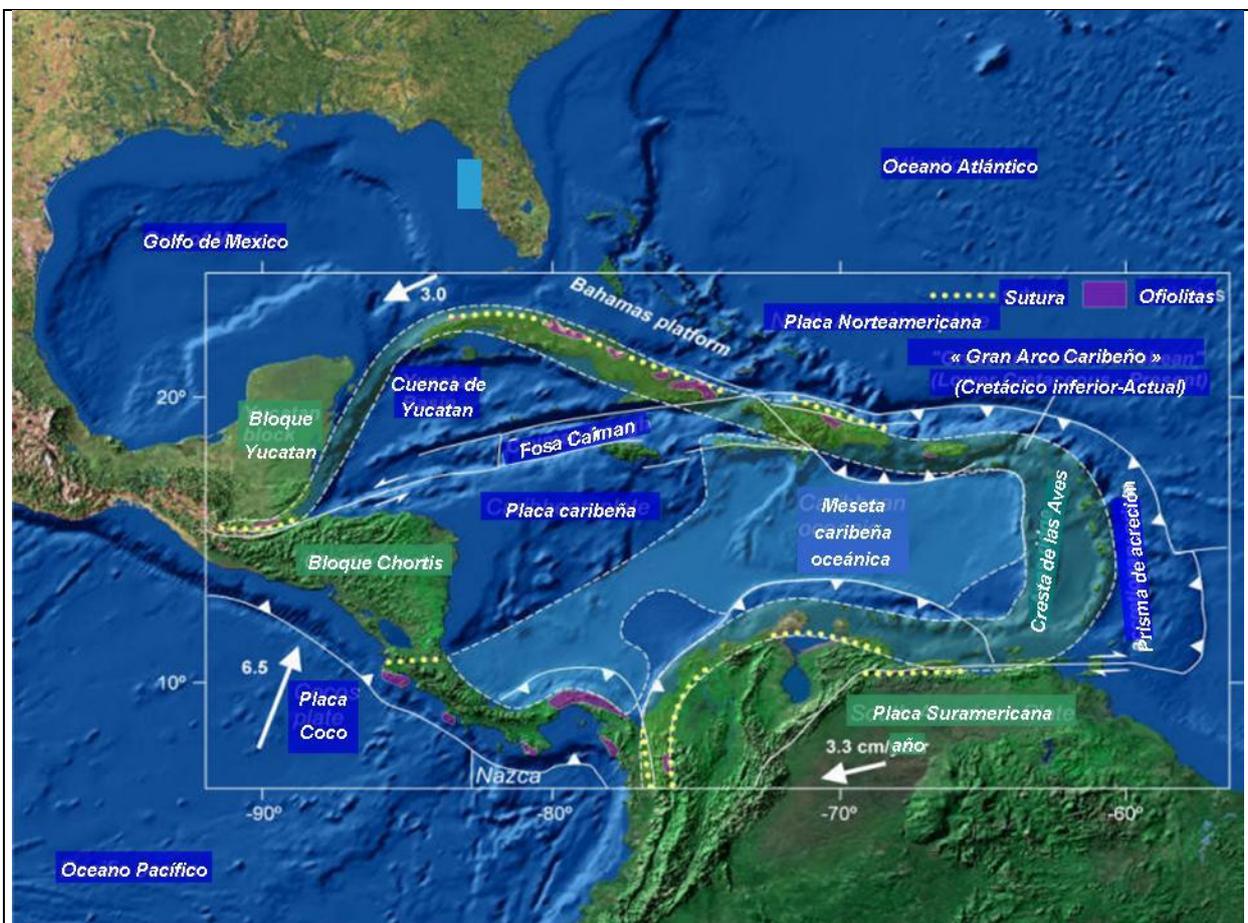


Fig. 22: Contexto geodinámico de la placa del Caribe

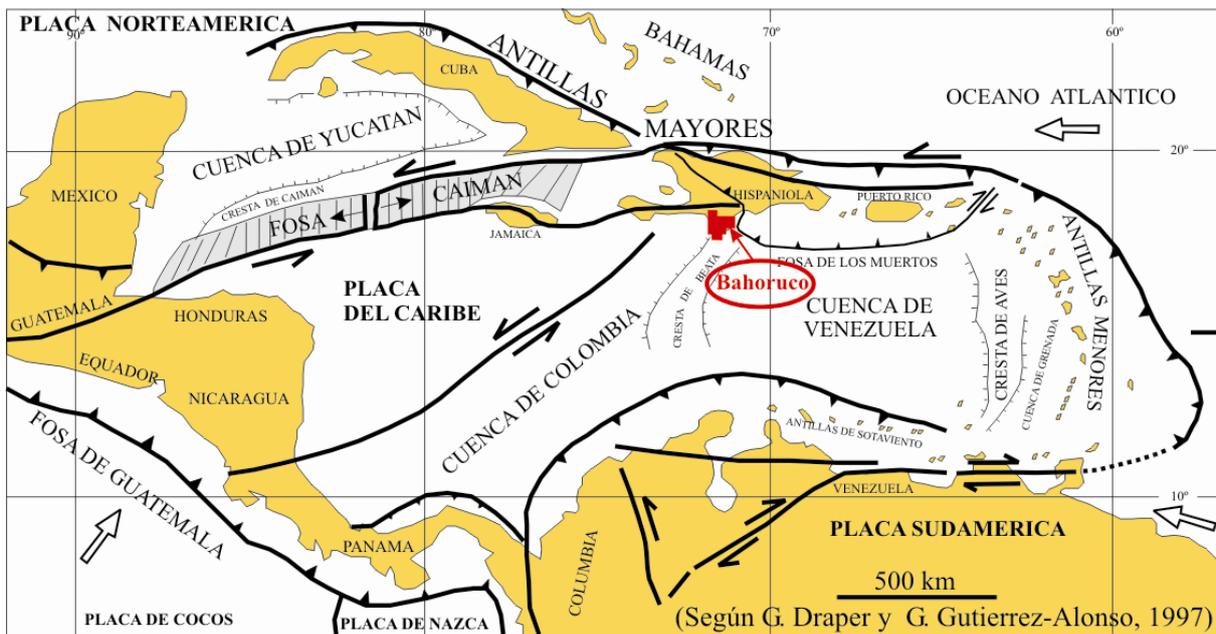


Fig. 23: Contexto geodinámico de la placa del Caribe : situación de la Península de Bahoruco

La isla de La Española es la segunda en extensión de las Antillas Mayores, que forman el segmento septentrional de la cadena de arcos de isla que circunda la Placa del Caribe desde Cuba hasta Venezuela (Fig. 22; Fig. 23). Entre las denominaciones más habituales para referirse a esta cadena están las de Gran Arco del Caribe (Mann et al., 1991) 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 ?)-Cretácico 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 (Pindell & Barrett, 1990, Pindell, 1994).

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 Cretácico y parte del Eoceno, a ser hoy, tras la colisión de esta placa con la plataforma de las Bahamas (Colisión Arco-Continente), un límite dominado en gran parte por desplazamientos en dirección de carácter senestro, que acomodan el desplazamiento hacia el Este de la Placa del Caribe en relación con Norteamérica (Mann et al., 2010).

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 Amina-Maimón y 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).

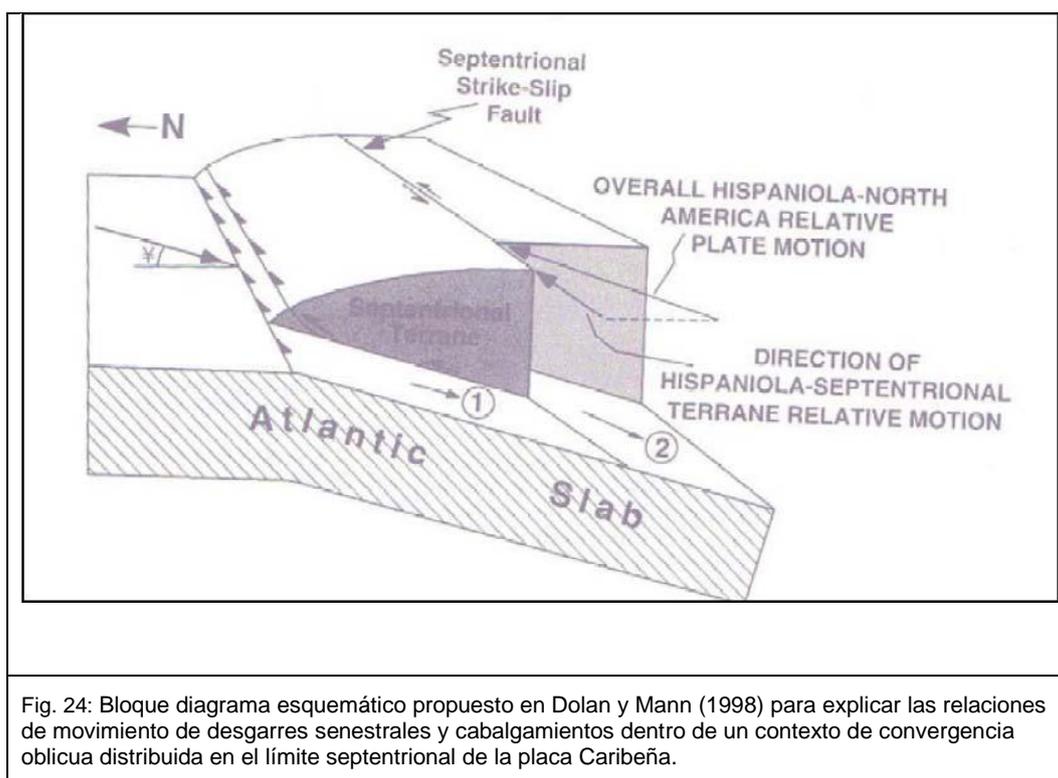
En el Cretáceo Superior, en los terrenos situados al Sur de la Falla de la Española, la subducción hacia el Sur produce un importante magmatismo que da lugar por una parte a un nuevo arco volcánico (Arco II, representado por la Fm. Tireo) y numerosas intrusiones gabro-diorítico-tonalíticas, así como un engrosamiento de la corteza oceánica y formación de una meseta oceánica, representada por la Fm Siete Cabezas 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.

El margen meridional de la Isla de la Española y Puerto Rico ha pasado desde comportarse como una trasera de arco al comienzo del Eoceno, a constituir en la actualidad un margen activo con subducción de la corteza oceánica del Caribe bajo el arco de islas Circum-Caribeño (Burke et al., 1978; Burke, 1988; Dolan et al., 1991).

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

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

Entre los dominios que la integran, el más meridional, la sierra de Bahoruco, constituye un fragmento emergido de la meseta oceánica del Caribe.



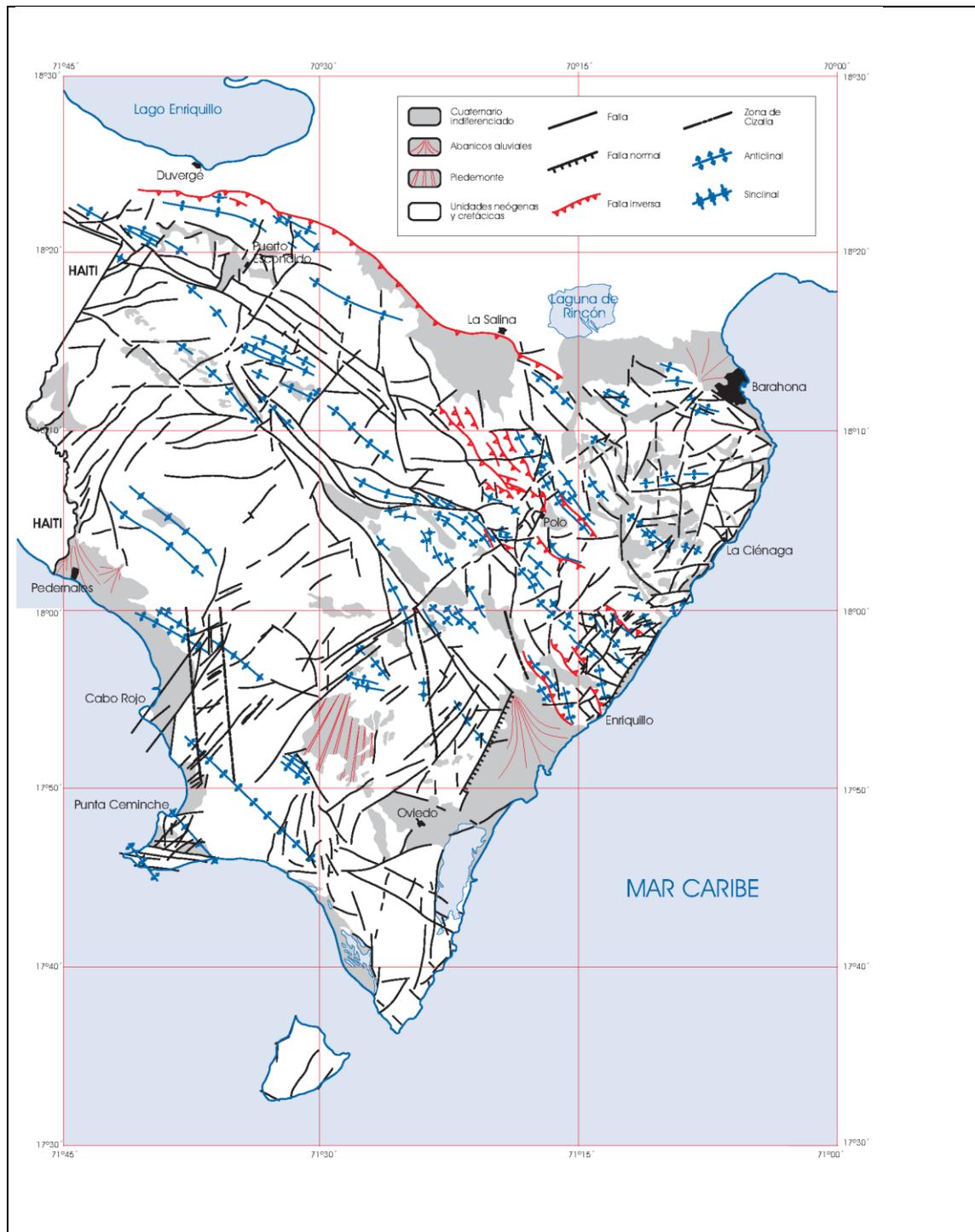
#### **4.2. Marco geológico-estructural de la Península de Bahoruco**

En las Fig. 10 y Fig. 25 se muestra la Península de Bahoruco en su marco geológico-estructural. En ella se representan los dominios y estructuras de la Península y de su entorno que, por intervenir directa o indirectamente en la evolución de aquellos, merecen una mención previa.

La estructura del margen norte de la sierra de Bahoruco es relativamente sencilla y se puede resumir en los siguientes puntos: a) una disposición monoclinial hacia el N/NE o suavemente plegada de las series calcáreas de Neiba superior y Barahona; b) el desarrollo de un frente de mayor deformación, bastante neto, al pie de la sierra, que se asocia al cabalgamiento de estas formaciones calcáreas sobre la cuenca de Enriquillo (Zona de cabalgamiento de Bahoruco); y c) la presencia de fallas rectilíneas de dirección NO-SE con movimiento vertical inverso y en dirección que, en parte, modifican este frente y producen la compartimentación de todo el flanco en bloques progresivamente más elevados hacia el interior de la sierra y ligeramente cabalgantes hacia el exterior de la misma (Fig. 25, Fig. 26).

La cresta oceánica de Beata (Heubeck y Mann, 1991), corresponde a un promontorio alargado con forma de cuña hacia el norte que se dispone en el centro de la meseta oceánica del Caribe con una dirección NNE-SSO, transversalmente al límite meridional de

La Española y al septentrional de la placa Sudamericana (Mauffret y Leroy, 1997). Según Heubeck y Mann (1991) y Mann et al. (1991c), la cresta de Beata funcionó a partir del Plioceno Medio como una indentación, empujada desde el otro margen, bajo el cual subduce (Mauffret y Leroy, 1997).



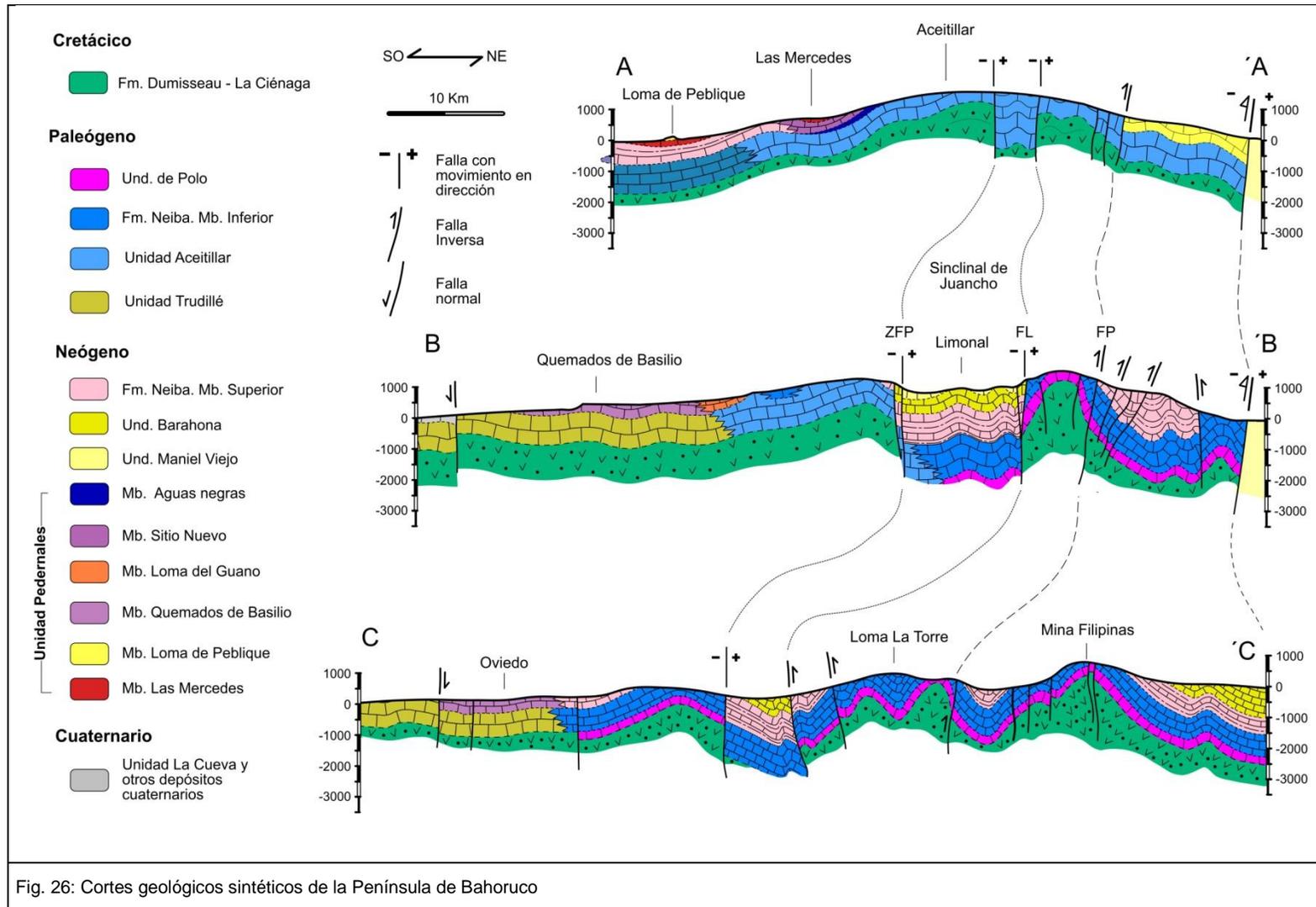


Fig. 26: Cortes geológicos sintéticos de la Península de Bahoruco

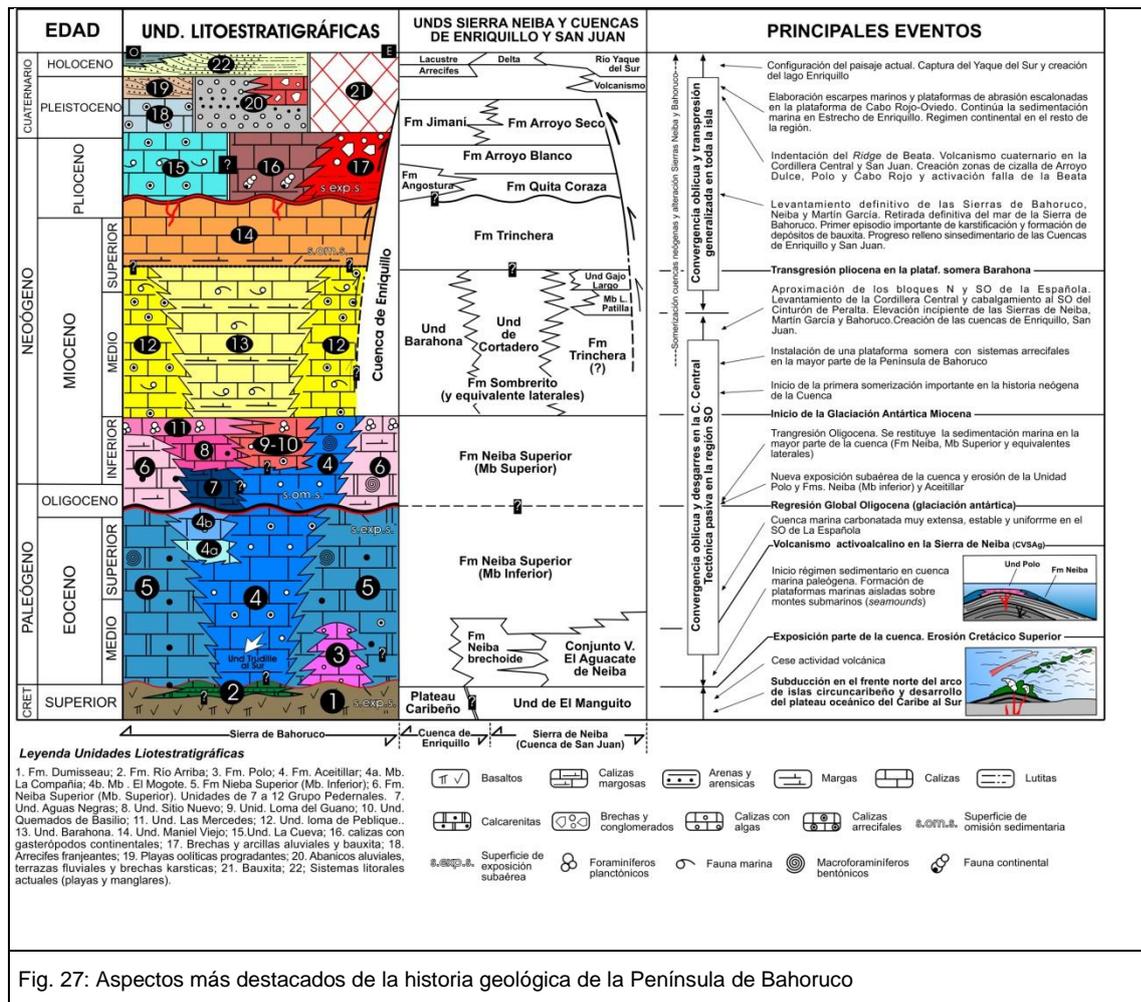


Fig. 27: Aspectos más destacados de la historia geológica de la Península de Bahoruco

### 4.3. Estructura de la zona de estudio

Las principales estructuras y unidades tectónicas de la Hoja de La Ciénaga están definidas en el esquema estructural y los cortes asociados al mapa.

El conjunto litológico a deformar tiene una unidad inferior, la Fm volcánica de Dumisseau y la plataforma carbonatada del Eoceno al actual.

A grandes rasgos, la estructura de la Hoja de La Ciénaga se basa en la existencia de la Sierra de Bahoruco que cabalga hacia el NE, la cuenca del Lago Enriquillo situado más al Norte en la Hoja de Barahona.

En detalle, la estructura de la sierra de Bahoruco se caracteriza por una sucesión de pliegues amplios orientados de E-O a NO-SE, excepto en las proximidades de la cuenca, donde adquieren un carácter apretado.

La estructura del margen septentrional de la sierra de Bahoruco es relativamente sencilla y se puede resumir en los siguientes puntos: disposición monoclinial hacia el NNE, o suavemente plegada, de las series calcáreas de la Fm Neiba y del Mb Barahona; desarrollo

de un frente de mayor deformación, bastante neto, al pie de la sierra, asociado al cabalgamiento de estas formaciones sobre la cuenca de Enriquillo; y presencia de fallas rectilíneas de dirección NO-SE con movimiento vertical inverso y en dirección que, en parte, modifican este frente y producen la compartimentación de todo el flanco en bloques progresivamente más elevados hacia el interior de la sierra y ligeramente cabalgantes hacia el exterior de la misma.

La tendencia monoclinial hacia el N-NE o suavemente plegada de la serie carbonatada del Mb Barahona se observa bien en paisaje y queda reflejada en los cortes efectuados tanto en la Hoja como en la región. En general los buzamientos son suaves, con valores inferiores a 30°, aunque se incrementan considerablemente en el ámbito de Barahona. El plegamiento que afecta a estas series se relaciona con el funcionamiento de estas fallas y, en general, sigue su misma orientación NO-SE; su suavidad es más acusada en el caso del Mb Barahona, que se comporta concéntricamente y puede tener reflejo morfológico, a diferencia de la Fm Neiba, cuya fina estratificación en capas ha favorecido el desarrollo local de pliegues apretados. En el borde septentrional de la sierra el estilo estructural pasa a ser el de un frente deformado, muy localizado, que marca el contacto con la cuenca de Enriquillo. El contacto es cabalgante y se resuelve mediante un sistema de fallas inversas o cabalgamientos de alto ángulo que suman desplazamientos verticales para el conjunto de la sierra superiores a los 3.000 m. En contraste, la traslación en la horizontal es pequeña ya que en ningún caso supera 1 ó 2 km. La geometría del frente es más sencilla que en sectores occidentales, al no estar involucrada en él la Fm Angostura, interpretándose como un cabalgamiento neto, de plano subvertical, que superpone la Fm Neiba sobre la Fm Trinchera, con un salto superior a los 3.000 m. si bien queda oculto bajo los depósitos cuaternarios.

#### **4.3.1. La fracturación**

La zona de estudio está afectada por una intensa fracturación, cuyo estudio de detalle excede los objetivos del trabajo. Por esta razón, se ha optado por hacer un análisis cartográfico de la misma, enfocado principalmente a determinar su posible relación con las estructuras de plegamiento y cabalgamiento descritas en párrafos anteriores. No obstante, en un capítulo posterior se propone un modelo de deformación que contextualiza la estructura de la Hoja en la estructura regional. Las pautas de la fracturación son muy complejas y su incidencia es desigual en los distintos dominios de la zona de estudio.

Hay dos sistemas en los que las fallas presentan direcciones y sentidos de desplazamiento bastante consistentes. Son los sistemas NNO-SSE y ENE-OSO que, en planta, reproducen

mayoritariamente sentidos de movimiento en dirección dextrales y senestrales, respectivamente. Ambos sistemas alteran y modifican las trazas de los pliegues y cabalgamientos pero es el segundo el que muestra una relación genética con ellos de forma más clara, como se desprende de sus relaciones de corte, asintóticas y escalonadas.

En la Hoja de La Ciénaga es el sistema NNO-SSE el que tiene su mayor incidencia, si bien aquí también incluye fallas de dirección NO-SE y ONO-ESE. En sectores más occidentales muestran desplazamientos en planta con sentido dextral

#### **4.3.2. Edad de la deformación**

La deformación principal ligada al levantamiento de las sierras de Neiba, Batoruco y Martín García ocurre a partir del Plioceno Inferior-Medio en la cuenca de Enriquillo. Al Sur, en la Hoja de La Ciénaga, esta deformación se inicie probablemente más tarde (Plioceno superior ? Pleistoceno).

La deformación y el levantamiento han continuado durante todo el Holoceno hasta la actualidad, como pone de manifiesto la superposición y el encajamiento de varios sistemas de abanicos aluviales al pie de las sierras, en general progradantes hacia el centro de la cuenca o la emersión de los arrecifes cuaternarios del ámbito de playa Andina. Las fallas que afectan los conglomerados de los abanicos aluviales de la Playa Azul atestan también la tectónica activa en esta Hoja.

#### **4.3.3. Correlación de la estructura con el mapa de aeromagnético**

Al comienzo de los trabajos cartográficos, la geofísica aerotransportada se ha revelado como una herramienta de gran utilidad para definir la estructura regional y fijar los principales objetivos a investigar en cada zona. Sin embargo, a medida que avanzaban los trabajos, se ha podido comprobar una gran la fidelidad entre la geología y estructura de superficie y las anomalías geofísicas. Por esta razón, una vez concluida la cartografía parece razonable revisar la correlación entre ambas. En la zona de la Península de Batoruco esta correlación se realiza con el mapa de gradiente magnético vertical ya que ofrece una imagen más próxima a la superficie que el reducido al polo. En esta zona el mapa radiométrico presenta amplias áreas con vacíos de datos y su respuesta no ofrece mejoras respecto al de gradiente vertical.

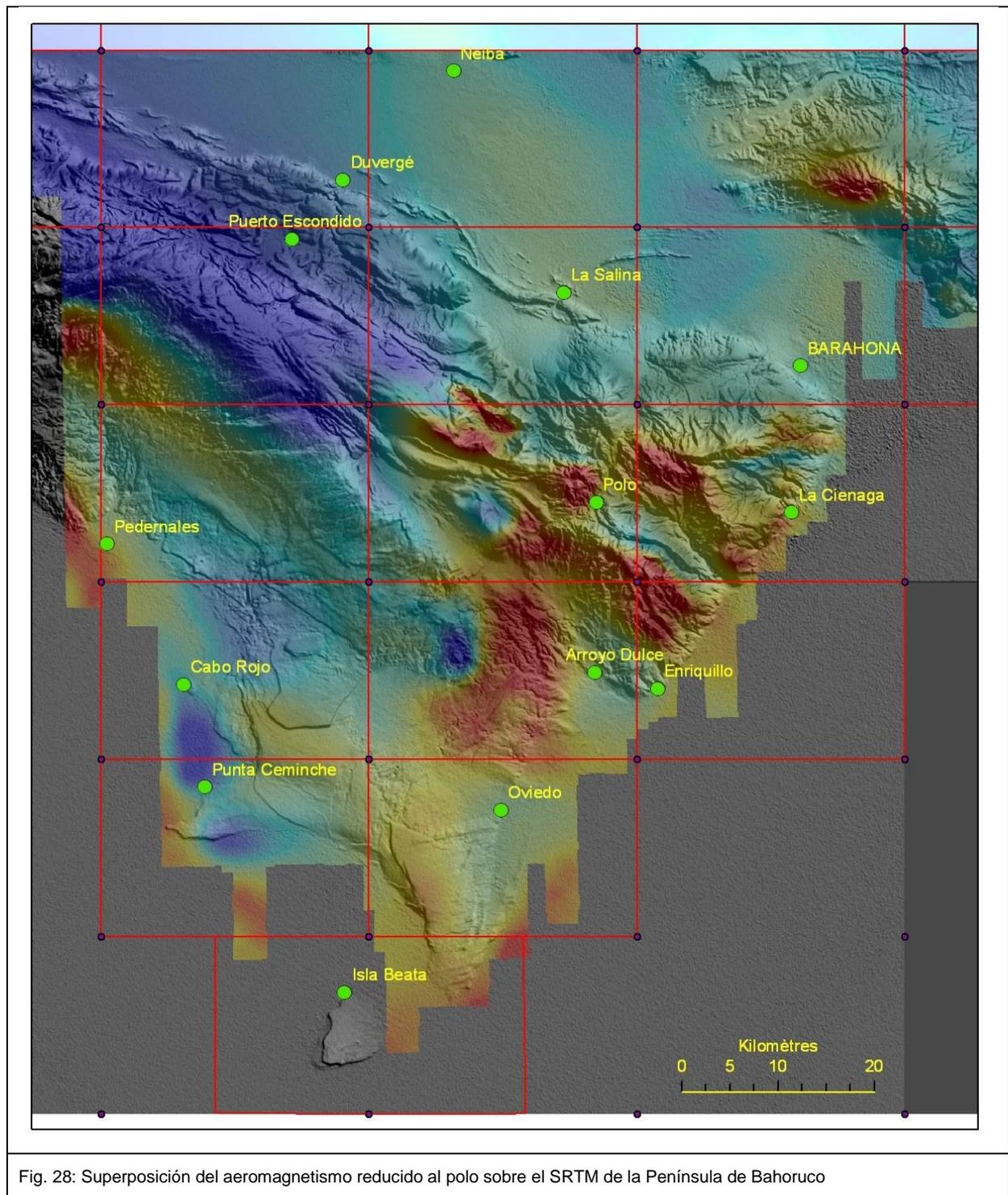


Fig. 28: Superposición del aeromagnetismo reducido al polo sobre el SRTM de la Península de Bahoruco

#### 4.3.3.1. Anomalías relacionadas con la litología

Probablemente la correlación más obvia en toda la zona corresponde a las de anomalías con el volcanismo basáltico de la Fm Dumisseau. Esta correlación es tanto litológica como estructural por cuanto estas anomalías reproducen la presencia de este volcanismo y las

estructuras anticlinales a las que está cartográficamente asociado. Sin embargo, llama la atención que estas anomalías reproduzcan mejor la estructura de los anticlinales que el propio contorno de los afloramientos del volcanismo, lo que no ocurre con otras anomalías de origen litológico.

#### 4.3.3.2. Anomalías relacionadas con estructuras

La sierra de Bahoruco produce una acusada alineación magnética que coincide con el contacto cartográfico fallado y rectilíneo entre las Fms. Neiba superior y Sombrerito (en parte, fuera de la zona de estudio)

#### **4.4. Modelo de evolución tectónica de la zona de estudio y edad de la deformación**

La integración de los datos estructurales procedentes de todas las Hojas que engloban la sierra de Bahoruco y la cuenca de Enriquillo permite comprender mejor el tipo de deformación regional y la relación entre las diferentes estructuras. El conocimiento regional alcanzado durante la elaboración de los proyectos de cartografía SYSMIN la RD y los datos ya existentes (Mann 1983; Norconsult 1983; McLaughlin et al. 1991; Mann et al. 1991c, Mann et al. 1994; Mann et al. 1995; Mann et al. 1999; entre otros ) permiten observar que el borde Norte de la Sierra de Bahoruco está dominado por estructuras contractivas con una fuerte participación de desgarres cuya resultante es una estructura en flor negativa. Del mismo modo toda la Sierra de Bahoruco es una estructura en flor positiva. La Hoja de La Ciénaga está situada dentro de esta macroestructura de origen transpresional. Se caracteriza por un anticlinorio con fallas longitudinales y subparalelas a su traza axial que en corte geológico convergen en profundidad. Para acabar de acomodar los desplazamientos laterales asociados a esta estructura compresiva se generan otras fallas oblicuas a la traza axial: fallas normales o de desgarre.

La edad de la deformación se inicie al Plioceno medio-superior en la Cuenca de Enriquillo, y más tarde (Plioceno superior? Pleistoceno) en la Sierra de Bahoruco, cuyo levantamiento sigue hasta la actualidad, con una tectónica activa visible en los depósitos aluviales de la costa.

#### 4.5. Estructuras de la Hoja La Ciénaga

La Hoja de La Ciénaga contiene una porción nororiental de la sierra de Bahoruco que corresponde a un vasto anticlinorio cuyos anticlinales están separados por fallas inversas y terminan, más al Norte en las Hojas de La Salina y de Barahona, por pliegues más

estrechos, asociados a los cabalgamientos frontales del macizo sobre la cuenca del Lago Enriquillo.

La superficie actual del macizo, corresponde a una paleosuperficie afectada por una karstificación intensa.

La estructura se refleja en la morfología del terreno, con lomas en bloques fallados y plegados.

#### **4.5.1. Las deformaciones**

La estructura general de la Hoja de La Ciénaga es la de un domo incompleto de flancos con poco buzamiento, que se interrumpe en su parte Oeste, en el mar caribe. Procede de la evolución de un anticlinorio de dirección NO-SE que está presente en las Hojas más occidentales (La Salina, Polo) y colindantes (Barahona y Enriquillo).

A grandes rasgos está constituido por las calizas de la Fm Neiba ocupando las lomas de la parte central, surmontadas por las calizas masivas de la Ud de Barahona en los flancos SO y NE. Las volcanitas cretácicas de la Fm Dumisseau, ocupan el núcleo anticlinal principal a nivel del Mar Caribe y dos pequeños núcleos al interior de la Sierra.

En detalle este anticlinorio está constituido por un gran anticlinal central afectado por pliegues secundarios y flanqueado al SO y al NE por sinclinales y anticlinales más apretados y fallados.

##### 4.5.1.1. Estructura central

El anticlinal central muestra en su núcleo las rocas volcánicas del Cretácico superior que afloran en la costa, y se dibuja bien en la cartografía por las calizas del Eoceno-Oligoceno basal de la Ud de Polo y del Mb inferior de la Fm Neiba.

En la sierra, los pliegues secundarios presentan un perfil abierto con semi-longitudes de onda del orden de 1 km y son ligeramente vergentes hacia el NE.

La cartografía muestra un patrón de trazas axiales “en échelon” sinestro, oblicuo a la falla principal de Batoruco de dirección ONO-ESE a EO, situada más al Norte en el frente de la sierra, en las Hojas de La Salina y Barahona.

Las trazas axiales varían de NO-SE en general, a E-O en relación con la falla de desgarre sinestro de Brazo Seco en la parte NE de la Hoja.

Los pliegues están cortados por fallas verticales E-O, SO-NE y NS, que ocasionan escarpes morfológicos.

En la Loma Remigio los ejes de los pliegues decamétricos, de dirección NO-SE y EO, son subhorizontales.

Se observan frecuentemente en las calizas tableadas pliegues métricos a decamétricos en forma de cofre (Foto 108).

#### 4.5.1.2. Estructura SO

Al SO, los ríos Nizaito y Sito limitan la sinforme ocupada por las calizas del Mb superior de la Fm Neiba (Oligoceno superior-Mioceno inferior) y la Ud de Barahona (Mioceno medio superior). La dirección de los ejes varía de NO-SE a EO.

Localmente los flancos son verticalizados, fallados e incluso ligeramente invertidos hacia el NE. El fuerte encajonamiento de los Ríos origina cantidades importantes de coluviones que cubren gran parte de estas estructuras.

El anticlinal de Charco Prieto, al Sur del Río Sito, en la esquina SO de la Hoja, presenta una típica forma en cofre con el flanco norte, corto y verticalizados y el flanco sur, largo y poco inclinado. El núcleo basáltico aflora en la charnela erosionada.

#### 4.5.1.3. Estructuras NE y Norte

Al NE se individualiza el sinclinal de Malembe-Las Balizas, de forma triangular, con el núcleo ocupado por las calizas margosas del Mb superior de la Fm Neiba (Oligoceno superior-Mioceno inferior). El flanco Norte está limitado por la falla EO, subrayada por el Arroyo-Las Balizas, que pone en contacto, no visible en el campo, las calizas tableadas del Mb superior de la Fm Neiba con las calizas masivas de la Ud de Polo (Eoceno inferior-medio)

El borde Norte de la Hoja corresponde al flanco norte del anticlinorio con las calizas masivas de la Ud Barahona, en superficie estructural karstificada, buzando suavemente hacia el NE. Los pliegues secundarios que afectan este flanco norte son amplios y paralelos a las fallas de dirección ONO-ESE de Arroyo Feo y de la laguna del Estero, en la esquina NE de la Hoja. Más al Norte, en la Hoja de Barahona, el sistema de falla se amplía y los pliegues se aprietan progresivamente hasta cabalgar la cuenca de Enriquillo en la zona de Falla de Batoruco

El flanco Sur de la estructura anticlinal está invertido y fallado a nivel del Arroyo Brazo Seco. Se trata de una importante zona de falla EO a OSO-ENE, subrayada por el Arroyo Brazo Seco y el Arroyo Seco, que pone al afloramientos, en el núcleo anticlinal, las volcanitas de la mina de Larimar de Los Cheseses.

Al Sur y al Norte de la zona de falla, los ejes de los pliegues secundarios (km) son subhorizontales (Foto 104), paralelos a la falla EO o ligeramente oblicuos y localmente curvos como es el caso del anticlinal del Molino, al Sur de La Piedra.



Foto 102 : Pliegue métrico (eje: N45°E-30°SO) en las brechas y lavas basálticas de la Fm Dumisseau; (Cretácico) Punta Arena Costa SE de la Hoja de La Ciénaga SO (116MJ9280\_3; Lat: 18,06628319; Long: -71,1092802)

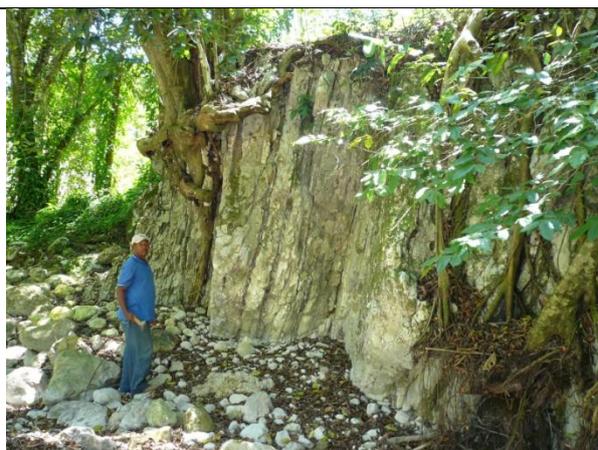


Foto 103 : Capas verticalizadas de las calizas de la Fm Neiba Mb inferior (Eoceno superior-Oligoceno basal) Río Bahoruco (116MJ9195\_5; Lat: 18,08223554; Long: -71,12571619)



Foto 104 : Anticlinal de Molino en las Calizas de la Fm Neiba Mb inferior. Vista desde El Río Chupadero hacia el Norte (116MJ9301\_1; Lat: 18,13439109; Long: -71,11916841)



Foto 105 : Detalle del Anticlinal de Molino, eje subhorizontal fracturado perpendicularmente y karstificado en las calizas de la Fm Neiba Mb inferior. Vista desde El Río Chupadero hacia el Norte (116MJ9301\_2; Lat: 18,13439109; Long: -71,11916841)



Foto 106 : charnela de pliegue cilíndrico (?) con eje subhorizontal (Eje: N110°E-10°ONO; plan axial: sub-vertical) en las calizas tableadas de la Fm Neiba Mb inferior (Eoceno superior-Oligoceno basal) Charco blanco, Centro Hoja La Ciénaga (116MJ9068\_1; Lat: 18,0580364; Long: -71,18623671)



Foto 107 : Calizas en bancos dcm ondulados Fm Neiba Mb inferior (Eoceno medio-Oligoceno); Rula en Medio Norte de la Hoja de La Ciénaga (116MJ9240\_1; Lat: 18,1461939; Long: -71,16059731)



Foto 108 : Fm Neiba Mb inferior: pliegue "en cofre" (Eje: N70°E-25°E) en las calizas tableadas (Eoceno superior-Oligoceno basal) Loma Paiminga, Norte de la Hoja La Ciénaga (116MJ9019\_1; Lat: 18,13471866; Long: -71,13963132)



Foto 109 : pliegue en cofre en las calizas Fm Neiba Mb inferior cubiertas por las gravas del Abanico aluvial antiguo. Punta Arroyo Feo (NE de la Hoja de La Ciénaga) (116MJ9343\_3; Lat: 18,15033968; Long: -71,06074453)

## 4.5.2. Las fallas

La Hoja de La Ciénaga está afectada por dos fallas regionales, la falla de Beata y la falla de Brazo Seco y un importante sistema de fallas secundarias que estructuran la topografía actual

### 4.5.2.1. Las fallas regionales

La falla de Beata, de dirección SSO-NNE, limita la Sierra de Bahoruco a nivel de la costa del Mar Caribe. No se refleja bien en el mapa aeromagnético del gradiente vertical, debido a la

interrupción de las líneas de vuelo a nivel de la costa, salvo en la bahía de Barahona donde su traza está bastante nítida y se empalma con la falla de Azua. En el Mar Caribe las curvas batimétricas la subrayan muy bien, pasando de 0 a menos 2000 m .en 10 km al este de la costa de Bahoruco.

En la Hoja de La Ciénaga, en el segmento de la costa al Sur de Bahoruco, las volcanitas basálticas son intensamente fracturadas por este accidente.

Se trata de un desgarre sinestro de dirección N30°E subvertical, con una componente vertical probablemente importante que ha permitido la surelevación de la Sierra de Bahoruco. Los ejes de los pliegues métricos observados en las volcanitas de Punta Arena presentan una dirección N40°E y un pitch de 30°S. En el paisaje, la traza de la falla está subrayada por el frente de deslizamiento que marca el contacto entre las calizas masivas de la Ud de Polo y las volcanitas en parte tapadas por importantes coluviones (Foto 30). El desnivel es hectométrico entre las volcanitas que afloran hasta 500 m de altura al Oeste de Punta Arena y las calizas de la Fm Neiba (Mb inferior) de La Laguneta, karstificadas a más de 1000m.

La Falla de Arroyo Seco, atraviesa la parte Norte de la Hoja en dirección OSO-ENE, subrayada por el Arroyo Brazo Seco en el tramo central y el Arroyo Seco hacia el Este hasta la costa (Punta Arroyo Feo). Al Oeste de la Hoja, su traza está desplazada por fallas NO-SE al Sur de la Loma Trocha de Pey y se pierde probablemente en el tramo SO-NE del Río Nizaito, ocultada por coluviones; se sigue de nuevo muy bien en la Hoja colindante de Polo.

Se trata de una falla regional de desgarre sinestro con una componente vertical, que ha favorecido el afloramiento de las volcanitas básicas de la Mina de Larimar de Los Cheseses, en el núcleo del anticlinal invertido de la Loma Pie de Palo. La zona milonitizada en las calizas de la Ud de Polo de los alrededores de la Mina presenta una anchura de cerca de 100 m y da lugar a explotación de áridos para el uso local (Foto 119).



Foto 110 : Basaltos fracturados (Falla Beata) de la Fm Dumisseau (Cretácico) San Rafael (116MJ9142\_6; Lat: 18,03052984; Long: -71,13629146)

#### 4.5.2.2. Las fallas secundarias

La Hoja de La Ciénaga está afectada por una red densa de fallas que modela la topografía de la Sierra de Bahoruco, subrayada por la red hidrográfica muy encajonada.

Las principales direcciones son: SSO-NNE a SO-NE, NO-SE a ONO-ESE, EO y NS.

Las direcciones SSO-NNE a SO-NE, corresponden al sistema de la Falla de Beata, cuya influencia se nota en toda la Hoja. Estas fallas escalonan (movimiento de desgarre senestro) los ejes de pliegues NO-SE y los contactos geológicos. Ocasionalmente también resaltan en la topografía subrayados por coluviones. Es el caso en particular en la vertiente Norte de la Loma Pie de Palo, donde el juego en falla normal acentúa el relieve originando los importantes coluviones del Norte de la Hoja.

Las direcciones NO-SE a ONO-ESE son paralelas a los ejes de pliegues regionales y subrayan los flancos verticalizados o ligeramente invertidos y fallados. En muchos casos se deducen de la geometría de los pliegues.

Al NE de la Hoja, dos fallas de dirección ONO-ESE, paralelas al frente de cabalgamiento de la Sierra de Bahoruco sobre la Cuenca del Lago Enriquillo (Hojas de La Salina y Barahona), escalonan las calizas de Barahona con un juego normal hacia el NE, y limitan la pequeña laguna del Estero .

La dirección EO es paralela a la falla de desgarre regional de Brazo Seco. Este sistema limita los afloramientos de volcanitas de Café de Las Mujeres al Sur de la Hoja y al NE, el Mb Superior de la Fm Neiba de la sinforme de Malembe-Pontevedra.

Las direcciones NS son muy nítidas pero no afectan mucho las estructuras. Se puede notar que la superficie karstificada de Charco Abad (Juan Esteban, al NE de la Hoja) está limitada por fallas NS y SO-NE.



Foto 111 : Esquistosidad de fractura perpendicular a la estratificación de las calizas blancas de la Fm Neiba Mb inferior. Villa Nizao, Margen izquierda del Río Nizaito (116MJ9366\_5; Lat: 18,0218772; Long: -71,18565165)



Foto 112 : Nódulos dcm de sílex subrayando la estratificación de las calizas de la Fm Neiba Mb inferior; esquistosidad de fractura perpendicular a la estratificación. Villa Nizao, Margen izquierda del Río Nizaito (116MJ9366\_4; Lat: 18,0218772; Long: -71,18565165)



Foto 113 : Calizas margosas con sílex de la Fm Neiba superior; Diaclasage plan axial, perpendicular a la estratificación Río Nizaito, Villa Nizao (116MJ9075\_2; Lat: 18,02313684; Long: -71,19005844)



Foto 114 : Calizas margosas con sílex de la Fm Neiba superior; Diaclasage plan axial, perpendicular a la estratificación Río Nizaito, Villa Nizao (116MJ9075\_3; Lat: 18,02313684; Long: -71,19005844)

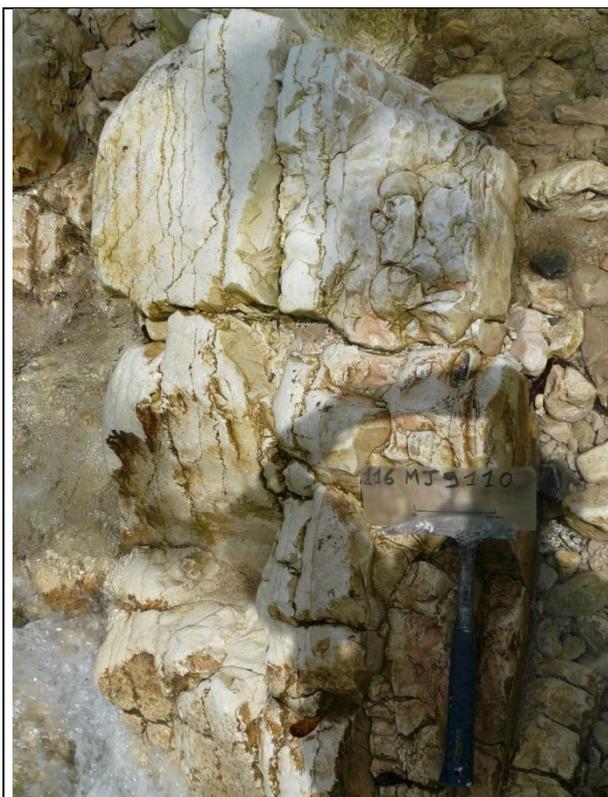


Foto 115 : Estilolitos en las calizas micríticas la Fm Neiba superior. Río Sito, La Baliza SO Hoja de La Ciénaga (116MJ9110\_1; Lat: 18,01508107; Long: -71,21297406)

#### 4.5.2.3. Las Fallas actuales

En la Playa Azul, al NE de la Hoja, se observa el juego de falla actual que afecta el abanico aluvial del Río Yaque Norte y localmente del Arroyo Feo.

La zona se encuentra a la junción de los tres sistemas de fallas importantes ONO-ESE, OSO-ENE y SSO-NNE.

- La 2 fallas ONO-ESE limitan las calizas de Barahona al borde Sur de la Laguna del Estero y las Calizas de Neiba en el Arroyo Feo;
- Las 2 fallas OSO-ENE, corresponden al desgarramiento regional de Brazo Seco al Sur de la desembocadura del Arroyo Feo y una paralela más al Norte
- La falla SSO-NNE de Beata no se observa

La Playa Azul está limitada al Norte y al Sur por dos pequeños afloramientos de calizas plegadas del Mb inferior de la Fm Neiba, en parte cubiertos por el abanico antiguo.

En las gravas y limolitas rojas del abanico antiguo del centro de la Playa Azul se observan, en un tramo decamétrico del acantilado, pequeñas grietas, de dirección N80° a N125°E y buzamiento 75 a 80°S, que llegan hasta la superficie. Originan escalones con

desplazamiento vertical del borde Sur de 1,5m, 0,5 m y 30 cm (Foto 116; Foto 117; Foto 118)

El contacto entre las limolitas rojizas de la base del acantilado y las gravas blancas es ondulado y claramente hundido en la zona de falla.



Foto 116 : Playa Azul y abanico aluvial antiguo afectado por falla actual EO; NE de la Hoja de La Ciénaga (116MJ9103\_10; Lat: 18,15420952; Long: -71,05915214)



Foto 117 : Abanico aluvial antiguo afectado por falla actual EO; Playa Azul, NE de la Hoja de La Ciénaga (116MJ9103\_1; Lat: 18,15420952; Long: -71,05915214)



Foto 118 : detalle de juego actual de la Falla en el abanico aluvial antiguo; Playa Azul, NE de la Hoja de La Ciénaga (116MJ9103\_1; Lat: 18,15420952; Long: -71,05915214)

### **4.5.3. Cronología de la deformación**

La Hoja de la Ciénaga no es la más favorable para el estudio de la cronología de la deformación. Una parte de la información proviene de las hojas vecinas, que cubren la zona de contacto entre la Sierra de Bahoruco y la cuenca del Lago Enriquillo.

Las primeras estructuras existentes afectan las calizas de la sierra de Bahoruco (Eoceno-Mioceno). Son pliegues con eje sub-horizontal NO-SE, que estructuran la Hoja. Una parte de este plegamiento es anterior a la paleosuperficie que desarrolló el karst en las calizas de Mb Barahona (Mioceno Medio superior). Estos pliegues están afectados por dos generaciones de fallas: la primera es contemporánea y separada generalmente de los pliegues; la segunda es una red de fallas normales, de dirección N80°E, posterior a la formación de la paleosuperficie. Dicha paleosuperficie se observa muy bien en la Hoja de Duvergé.

Las siguientes estructuras en observarse son diversos tipos de fallas y pliegues. Los pliegues frontales de la sierra de Bahoruco son contemporáneos de las molasas pleistocenas de la Fm. Arroyo Seco, desarrollada alrededor de la cuenca Enriquillo. Con vergencia norte, estos pliegues deforman la paleosuperficie del karst de la sierra de Bahoruco (Calais and al. 1998). Una red de fallas normales conjugadas, afecta la paleosuperficie de la sierra de Bahoruco. La prolongación de dichas fallas, por debajo de las formaciones del lago Enriquillo, son probablemente al origen de la laguna del Rincón. Se puede concebir el funcionamiento de las estructuras tectónicas posteriores a la paleosuperficie contemporánea, en el seno de un dispositivo "pull-apart" al origen del lago Enriquillo.

## **5. GEOMORFOLOGÍA**

### **5.1. Análisis geomorfológico**

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

#### **5.1.1. Estudio morfoestructural**

La sierra de Bahoruco se estructura como un gran antiforme de orientación NO-SE a E-O, cabalgante hacia el norte sobre la depresión del lago Enriquillo. En ella cabe diferenciar dos dominios morfoestructurales: la vertiente septentrional (donde queda comprendida la

totalidad de esta hoja) y la meridional (que se prolonga en hojas contiguas hacia el oeste y suroeste).

El dominio en el que se incluye esta hoja se caracteriza por una sucesión de pliegues y falla, que en el área presentan ambos una dirección NO-SE. En ocasiones, dichos pliegues dan lugar a relieves conformes, en forma de culminaciones anticlinales y surcos sinclinales que perduran todavía - no han sido desmantelados por la erosión -, lo que da idea del carácter juvenil del relieve. En el extremo nororiental de la hoja se sitúa el borde tectónico con la fosa de Enriquillo-bahía de Neiba, que comprende dos fallas y una plataforma intermedia, con dirección ONO-ESE.

Junto con las fallas mencionadas existe otra familia aproximadamente perpendicular, que escalona el relieve hasta la línea de costa, la cual presenta un trazado rectilíneo según la dirección comprendida entre NE-SO y NNE-SSO.

#### 5.1.1.1. Formas estructurales

Pese a la reducida extensión del área de estudio se da bastante variedad de formas estructurales. Las fallas con expresión morfológica se agrupan en torno a las familias mencionadas, que, según los casos, aparecen como fallas supuestas, como valles de fractura, o como alineación morfológica con control estructural. Pese a la elevada velocidad con que la meteorización elimina o enmascara algunas formas, existen diversos rasgos derivados de la acción de fallas, entre ellos se encuentran los escarpes de falla y las facetas triangulares de escarpe de falla, en especial sobre las fallas aproximadamente paralelas a la costa, lo que podría indicar su actividad reciente.

En lo referente a las formas debidas a plegamiento han adquirido cierta importancia las morfologías relacionadas con la distinta resistencia a la erosión ofrecida por los materiales aflorantes, que permiten identificar algún rumbo e inclinación de capa, o bien líneas de capas con indicación de buzamiento. Presentan mayor expresión morfológica los escarpes estructurales en capas monoclinales. Aunque menos frecuentes, también se producen resaltes de capas inclinadas, (chevrons), que suelen producirse al pie de los relieves montañosos, jalonando las líneas de incisión fluvial, como ocurre en el río Sito, del extremo suroccidental.

Junto con lo anterior también se han identificado un relieve conforme anticlinal y dos relieves conformes sinclinales, de menor longitud que los anteriores, uno de los cuales coincide con el tramo del río Nizaito próximo a su desembocadura.

#### **4.1.1. Procesos morfogénicos**

En lo que sigue se describen las formas erosivas y de depósito, agrupadas según su origen o procesos morfogénicos que las han generado, entre las que, por su mayor representación, destacan las formas gravitacionales.

##### **4.1.1.1. Depósitos de origen gravitacional**

De los tres deslizamientos ya mencionados y presentes en el área, dos de ellos se ubican en la línea de costa que, siendo bastante rectilínea, presenta dos cabos o promontorios coincidiendo con dichos deslizamientos. Las cicatrices relacionadas con estas masas deslizadas aparecen parcialmente degradadas por el rápido retroceso de las laderas. El más meridional de los tres aparece en la fotointerpretación como un deslizamiento múltiple, formado por un primer episodio que alcanzó y modificó la línea de costa, seguido de otros dos de menor tamaño, uno de los cuales supuso una removilización de parte del primero, mientras que el otro incorporó nuevos materiales, ampliando la superficie afectada por este proceso gravitacional.

Los coluviones aparecen restringidos en su mayor parte a la mitad septentrional de la hoja, donde el accidentado relieve y la presencia de margas y arcillas en el sustrato favorecen su desarrollo. Los coluviones más extensos se localizan en la ladera norte de la mayor elevación del área, la cual corresponde a una culminación anticlinal con dirección este-oeste. En consecuencia y por tratarse de un relieve conforme, dicha ladera corresponde al flanco norte del anticlinal, circunstancia que ha podido propiciar un deslizamiento que también se ubica en este entorno.

##### **4.1.1.2. Depósitos de origen fluvial y de escorrentía superficial**

Son los que presentan más variedad y mayor distribución geográfica, aunque con extensión muy reducida debido al accidentado relieve. Entre los **tipos de depósito**, los fondos de valle ocupan una pequeña parte de la red fluvial actual en las inmediaciones de sus desembocaduras al mar del Caribe, especialmente en el río Nizaito.

Los abanicos o conos de deyección antiguos y no funcionales, presentan un desarrollo importante tan solo en el sector costero, donde, al pie del escarpe montañoso, forman una estrecha plataforma con pendiente dirigida hacia el mar. Dicha plataforma se sitúa a unos 20 sobre el nivel medio de éste y su reducida anchura es el resultado del retroceso paulatino de los acantilados creados por el oleaje en dichos depósitos.

Considerando de forma conjunta los sistemas de abanicos de la vertiente norte de la Sierra de Bahoruco, situada fuera de esta hoja, se diferencian hasta tres generaciones, encajados en unos casos y superpuestos en otros, de las cuales solo es funcional o activa la más reciente, cuyos ápices suelen enlazar con los fondos de valle que los alimentan. Estos pequeños valles (en ocasiones gargantas o pequeños cañones) atraviesan longitudinalmente los abanicos anteriores de la segunda generación. Los abanicos de la primera generación aparecen como pequeños retazos aislados y algo elevados entre los más extensos de la segunda.

En el sector costero y en el resto de esta hoja solo se diferencian las dos generaciones más recientes, de forma que la estrecha plataforma ya mencionada corresponde a la 2ª generación. Los más recientes y funcionales sólo se encuentran en el valle del río Nizaito y en la costa.

Las terrazas fluviales también quedan restringidas al río Nizaito, donde configuran estrechas y alargadas plataformas que en muchos casos, por su reducida extensión, no son representables a esta escala de trabajo. Aparecen como pequeños escalones distribuidos entre 5 y 10 m sobre el cauce actual, una cota similar a la que se observa en los abanicos de 2ª generación en relación a los fondos de valle.

Entre las **tipos fluviales debidos a erosión**, la incisión lineal alcanza una elevada densidad, por tratarse de una zona montañosa, donde el fuerte encajamiento de la red además ha dado lugar a: cañones o gargantas, cambios bruscos de pendiente o saltos de agua y aristas, las cuales alcanzan una notable representación. Las divisoriais montañas redondeadas, posiblemente relacionadas con culminaciones anticlinales, quedan restringidas al centro de la hoja. Las cárcavas se concentran en un amplio y profundo anfiteatro situado en el ángulo suroeste, el cual constituye un importante vacío erosional limitado en su parte superior por una cabecera de cárcavas casi circular.

#### **4.1.1.3. Depósitos de origen marina-litoral**

Dado el abrupto relieve que llega hasta la costa, los depósitos de origen litoral presentan un escaso desarrollo. Los acantilados, con altura inferior a 25 m ocupan la mayor parte de la línea de costa, no obstante, en su base suele desarrollarse una pequeña rampa o estrecha playa de arena y cantos, de forma que la longitud total de playa llega a igualar a la de los acantilados. En el extremo septentrional de la costa comprendida en la hoja coincide con el lugar donde comienza la costa baja de la bahía de Neiba. En dicho lugar y al pie de un escarpe de falla se localiza un pequeño manglar o marisma baja, separado del mar abierto por un cordón de construcciones biogénicas, las cuales alcanzan un notable desarrollo a lo largo de dicha bahía.

#### 5.1.1.2. Depósitos originados por meteorización química

Se han delimitado dos áreas con intensa karstificación, una en el ángulo nororiental y otra en sector central de la hoja, coincidiendo con los afloramientos del Mb Barahona y de la Fm Neiba, con abundantes formas de disolución de pequeña escala como son los lapiaces y los campos de pequeñas dolinas.

Muchas de las pequeñas dolinas aparecen como dolinas capturadas, indicando las elevadas tasas de erosión de las laderas. Otras pequeñas dolinas parecen actuar como sumideros o pérdidas de la red de drenaje. En ocasiones, el agrupamiento y coalescencia de varias dolinas dan lugar a úvalas de contornos irregulares y fondo plano cubierto de arcillas de descalcificación. En el borde occidental de la hoja se ha identificado una dolina de karst cubierto bajo un coluvión.

#### 5.1.1.3. Depósitos de origen poligénica

Se incluyen en este grupo los depósitos cuya morfogénesis puede atribuirse a la acción simultánea o sucesiva de más de un proceso genético, que en esta hoja apenas están representados, habiéndose reconocido en el ángulo noroeste de la hoja tan solo una pequeña plataforma elevada que puede corresponder a una superficie de erosión degradada de pequeña extensión. Este plano se continúa en la hoja contigua, donde se localizan otros análogos con cotas muy variables, sin que existan criterios concluyentes para determinar si se trata de varias superficies o tan sólo de una, trastocada posteriormente por el juego de bloques de la sierra.

### **5.2. Evolución e historia geomorfológica**

Se desarrolla a continuación la evolución geomorfológica del entorno regional, mucho más amplio que la reducida extensión ocupada por la hoja, que por sí sola no puede proporcionar la información necesaria para dicho fin.

La morfología actual de la región está en parte condicionada por la geometría de la cuenca (distribución de facies) a lo largo del Paleógeno y Mioceno. El relieve actual y las unidades morfoestructurales del área son el resultado de la deformación y emersión de aquella desde el Mioceno a la actualidad. Pueden definirse dos etapas en esta última fase, diferenciadas por la velocidad e intensidad de los procesos tectónicos acaecidos: la primera, durante el Mioceno, en la que la deformación transpresiva que tuvo lugar en el sector suroccidental de La Española, condicionó la distribución de las cordilleras y depresiones existentes en el sector meridional de La Española (sierras de Neiba, Martín García y Bahoruco y cuencas de Enriquillo y San Juan). En la segunda, ya en el Cuaternario, el mismo régimen tectónico anterior produjo la deformación del relleno plio-cuaternario de las cuencas.

La emersión paulatina de la sierras fue acompañada de la elaboración de diversas superficies de erosión, identificadas en la vertiente norte de la sierra de Bahoruco a cotas: 200., 700 y 1.600 a 1.800 m, aunque dada la importante actividad tectónica en la articulación de dicha sierra con la hoya de Enriquillo, no es posible dilucidar el número real de superficies, o bien si se trata de una única, compartimentada y desnivelada por la importante actividad de las fallas. Por el contrario en la vertiente meridional de la misma sierra, menos alterada por la fracturación y movimientos diferenciales en la vertical, el mismo ascenso de la isla, en combinación con sucesivos máximos marinos, creó hasta cinco superficies de erosión. Éstas presentan continuidad lateral con superficies equivalentes generadas con el encajamiento de la red fluvial, e identificadas en la hoja contigua con ésta hacia el suroeste. Antes de la elaboración de dichas superficies, también en la vertiente meridional de la sierra de Bahoruco, se produjeron otros aplanamientos de origen incierto.

Bahoruco se produjeron otros aplanamientos de origen incierto.

Por el momento no se ha realizado la correlación o integración de las superficies de erosión de ambas vertientes de la mencionada sierra, lo cual puede que no sea factible debido a la importante tectonización de su vertiente norte. En cualquier caso, la elaboración de estas superficies debió de realizarse de forma simultánea al relleno y colmatación de la hoya de Enriquillo durante el Plioceno y Cuaternario, de forma que dicho relleno, en parte puede corresponder a los depósitos correlativos de aquellas. Dicha elaboración debió ser simultánea con la progresiva incisión de la red hidrográfica y el avance del modelado kárstico en el interior de las sierras, con los que se ha alcanzado una configuración del relieve muy similar a la actual.

En esta hoja, que coincide con el extremo más oriental de la sierra de Bahoruco, en su lugar de encuentro con la línea costera, dicha evolución debió ser simultánea a la articulación de dicha sierra con dicha línea de costa, que de forma imprecisa se viene designado en la bibliografía como falla de Beata. Dicho accidente tiene su expresión en el área como un fuerte escalonamiento del relieve y la presencia de numerosas fallas paralelas o algo oblicuas a la costa.

En el Pleistoceno superior – edad más probable y ya argumentada más arriba para el los abanicos de la banda costera – la participación de la tectónica en la configuración del relieve ya debió haber alcanzado un estado, en lo esencial, similar al actual. De hecho, dichos abanicos constituyen una forma de depósito solo alterada por fallas de pequeño salto, como las existentes en Playa Azul, y por su posición elevada sobre el nivel marino actual, a tan solo 20 m.

Los procesos gravitacionales han intervenido notablemente en el retroceso de las laderas, propiciados por la intensa incisión lineal de la red de drenaje. En ocasiones han sido

inducidos por la presencia de estructuras favorables para su aparición. Tal es el caso del deslizamiento desarrollado en el flanco septentrional de la culminación anticlinal del norte de la hoja. En la banda costera, la erosión litoral ha provocado el retroceso de los acantilados labrados en los abanicos del pie de la sierra, con una tasa desconocida por el momento, pero que en cualquier caso está reduciendo paulatinamente la superficie de la estrecha plataforma creada por ellos.

En el sector meridional de la costa falta dicha plataforma, y la línea costera muestra un avance hacia tierra, de forma que la erosión litoral incide directamente sobre la base del relieve montañoso, provocando su desestabilización y la ocurrencia de importantes deslizamientos.

## 6. HISTORIA GEOLOGICA

La historia geológica de la Hoja de La Ciénaga, y de la Sierra de Bahoruco, se integra dentro de la evolución general del sector más suroccidental de la República Dominicana, entendiendo este como el territorio situado al SO de la Zona de Falla de Bahoruco (ZFB) (Llinás, 1971; McLaughlin et al., 1991). Este límite se produce a través de un sinuoso frente montañoso que la separa de la Cuenca de Enriquillo y del resto de la Isla de la Española.

En conjunto, las rocas de la Sierra de Bahoruco registran aproximadamente 90 Ma de evolución de las Grandes Antillas, desde la formación de un plateau oceánico hasta la configuración del paisaje actual, pasando por la convergencia oblicua y transpresión entre placas en el Neógeno superior o la indentación de la cresta oceánica de Beata en el Cuaternario.

La evolución paleogeográfica de la región permite diferenciar cuatro etapas principales:

- Cretácico Superior, caracterizado por el desarrollo de un plateau o meseta oceánica.
- Paleógeno-Mioceno Superior, representado por una cuenca de sedimentación marina y carbonatada, muy estable desde un punto de vista tectónico, que registra a gran escala un ciclo transgresivo-regresivo modulado por oscilaciones eustáticas.
- Mioceno Superior-Plioceno (?), cuando se produce la elevación y deformación de la cuenca, que da lugar al levantamiento de la Sierra de Bahoruco, consecuencia de la generación de la estructura en flor positiva de la Sierra. Este acontecimiento queda registrado mediante una rápida somerización de la cuenca que finaliza con su exposición subárea, desarrollo de alteritas en posiciones más internas de la Sierra y formación de una orla de facies arrecifales en la actual franja litoral.
- Pleistoceno-Holoceno, en la que continúa la elevación que ha experimentado la península de Bahoruco durante el Cuaternario y que ha dado lugar a la modificación de la red hidrográfica regional y la configuración del paisaje actual. De forma simultánea se produce el desarrollo de alteritas y formación de numerosas superficies de erosión continentales o marinas colgadas y escalonadas en la vertiente sur de la Sierra.

En la Fig. 27 se sintetizan los aspectos más destacados de la historia geológica de la región. Una descripción más detallada de cada una de estas etapas se desarrolla a continuación.

### **6.1. El plateau oceánico del Cretácico Superior**

Las rocas integrantes del plateau oceánico del Caribe han sido relacionadas con un gran evento de basaltos de inundación (Donnelly, 1973; Donnelly et al., 1973; White et al., 1999; Sinton et al., 2000), que tuvo lugar en la región caribeña durante el Cretácico Superior. Este gran evento magmático basáltico ha sido interpretado como un plateau oceánico (Burke et al., 1978; Duncan y Hargraves, 1984; Donnelly et al., 1990; Hill, 1993; Kerr et al., 1996b), formado como con secuencia del ascenso de una pluma mantélica profunda (Duncan y Hargraves, 1984; Klaver, 1987). La formación de la mesta oceánica pudo ser extremadamente rápida. Los sedimentos suprayacentes a los basaltos sumergidos en el Mar del Caribe sondeados por el DSDP Leg 15, establecen un límite de edad bioestratigráfica de 88-83 Ma para el cese de la actividad ígnea generadora del plateau oceánico (Donnelly et al., 1990; Donnelly, 1994; Kerr et al., 1997b). Los registros más antiguos de las sierras de Hotte-Selle-Bahoruco, constituidos por una potente sucesión de basaltos, doleritas, calizas pelágicas, etc. (Fm Dumisseau y equivalentes) sugieren que en el Cretácico Superior toda la región formaba parte de la meseta oceánica caribeña (Maurrasse et al., 1979; Pindell y Barret, 1990). Las similitudes petrológicas y geoquímicas entre estos basaltos y los basaltos perforados en el DSDP en el Mar del Caribe, no ofrecen ninguna duda sobre la interpretación de estos basaltos como un fragmento emergido de la meseta o plateau del Caribe.

En algunas zonas la emisión de lavas fue tan importante en aguas profundas que en algún momento del Cretácico superior varios edificios volcánicos emergieron y alcanzaron el nivel del mar formando islas, tal y como puede inferirse del desarrollo de paleosuelos en el techo de la Fm Dumisseau o la aparición de restos de plantas superiores continentales, carbonizadas, en coladas de basaltos a techo de esta misma formación en el sector nororiental de la Sierra.

En algunas zonas de la vertiente septentrional de la propia Sierra de Bahoruco (hojas de Polo y La Salina) se ha descrito una secuencia sedimentaria de edad cretácica superior que se encuentra por encima de las rocas volcánicas que constituyen el plateau del Caribe, denomina Fm Río Arriba (Romeo Llinás, 1971). Esta formación, constituida por areniscas, calcarenitas y calizas, registra zonas o momentos en la historia mesozoica de la cuenca donde la sedimentación marina siliciclástica y carbonatada fue más importante que la emisión de rocas volcánicas. En este sentido, en la Sierra de Neiba, se ha descrito otra unidad eminentemente sedimentaria denominada El Manguito, representada por calizas y pizarras de ambientes marinos abiertos del Cretácico Superior que intercala coladas de basaltos de composición toleítica y signatura N-MORB. Esta característica permite

clasificarlos como basaltos de fondo oceánico y correlacionarlos con los de la citada meseta oceánica. Por tanto, representan equivalentes laterales tanto de la Fm Dumisseau como de la Fm Río Arriba.

## **6.2. La Cuenca del Paleógeno al Mioceno Superior**

La ausencia de depósitos paleocenos impide precisar la secuencia de acontecimientos seguida entre el cese de la actividad magmática de la meseta oceánica y el comienzo de la sedimentación paleógena. Ésta se produjo en una extensa cuenca carbonatada. Sus variaciones a lo largo del tiempo estarían provocadas por cambios batimétricos de origen eustático y en la tasa de producción de carbonatos, dependientes estas últimas de multitud de factores ecológicos y físicos.

La sedimentación paleógena comenzó probablemente en el Eoceno medio, mediante el depósito de la Unidad de Polo (Eoceno Medio-Superior?), constituida por una sucesión de potencia variable de calizas algales, que registran la aparición de plataformas carbonatadas aisladas, relativamente someras, sobre los montes submarinos o guyots de origen volcánico. Es muy probable que hacia zonas más profundas de la cuenca, la Unidad de Polo posea cierta relación lateral con la Fm. Neiba.

Durante el resto del Paleógeno (Eoceno medio-Mioceno Inferior) tiene lugar en la cuenca el depósito de la Fm. Neiba (y sus equivalentes laterales), que constituye la unidad mejor representada en toda la Península de Bahoruco y que registra una profundización de la cuenca con respecto a la unidad infrayacente, las calizas de Polo. La Fm. Neiba representa una plataforma de tipo rampa carbonatada en su zona media-distal, fuera de la influencia del oleaje de tormenta, con esporádicas llegadas de niveles bioclásticos retrabajados de las partes más internas de la rampa. Estas zonas más profundas de la plataforma marina debieron situarse principalmente hacia los extremos occidental y oriental de la sierra. Por otro lado, las partes más internas quedan registradas dentro de la Unidad Aceitillar y en la parte inferior y media del Grupo Pedernales que, a grandes rasgos, se interpretan como plataformas carbonatadas someras de diferentes batimetrías, cuyas variabilidad de facies deben justificarse a través de los distintos factores que controlaron la sedimentación carbonatada en esta etapa de la cuenca (luminosidad, hidrodinámica, nutrientes, etc.). Dichas zonas de plataforma somera se localizarían en el sector central y septentrional de la Península Bahoruco y representarían un área de la cuenca topográficamente más elevada, probablemente como consecuencia de la existencia de un paleorrelieve conformado por zonas más engrosadas de la corteza de la placa del Caribe cretácica. De la misma forma, hacia las posiciones más meridionales de la península, debió de existir otra zona de menor

profundidad que queda registrada por las calizas de plataforma interna de la Unidad de Trudillé.

Durante el Paleógeno la sedimentación marina sólo se ve interrumpida en el Oligoceno inferior muy probablemente relacionada con una regresión asociada al desarrollo de casquetes polares en la Antártica, provoca la retirada del nivel mar y la emersión de algunos sectores de la cuenca. Esta regresión se registra mediante la aparición de una discontinuidad sedimentaria marcada por una superficie erosiva que acentúa aún más la irregularidad del paleorrelieve cretácico y que se desarrolla a techo de las unidades de Polo, Aceitillar y Trudillé o del Mb inferior de la Fm. Neiba.

Durante el Oligoceno Medio y Superior, se origina la instalación de una plataforma carbonatada de tipo rampa sobre los sedimentos previos de la Sierra de Bahoruco. La configuración topográfica de la cuenca debió ser muy similar a la del Eoceno, depositándose, en la mayoría de los casos, las facies de rampa media y externa del Mb Superior de la Fm Neiba sobre su Mb Inferior. De la misma forma, sobre las calizas de plataforma somera de tipo Bahamiano de la Ud Aceitillar se sedimentan las calizas de plataforma somera y media del Grupo Pedernales.

La relativa homogeneidad de las facies de la Fm Neiba cartografiadas en las Sierras de Bahoruco, Neiba y Martín García parece indicar que durante el Paleógeno formaban parte de una misma cuenca y que los importantes accidentes estructurales que afectan en la actualidad han sido generados posteriormente o que, al menos, permanecieron inactivos durante el Paleógeno y buena parte del Neógeno. A escala regional, en el Eoceno Medio, mientras probablemente en la Sierra de Bahoruco se iniciaba el depósito de la Ud de Polo y Fm Neiba, y sus equivalentes laterales, en la Sierra de Neiba la estabilidad de la cuenca se vio interrumpida por la irrupción de un vulcanismo de signatura toleítica a alcalina, agrupado dentro del denominado Complejo Vulcano Sedimentario del Aguacate (Hernaiz-Huerta et al., 2007) que se interpreta producido en un contexto de intraplaca asociado al desarrollo de una pluma mantélica. Tras este periodo de inestabilidad, la región quedó configurada como cuenca subsidente que se prolongaba hacia el Norte hasta los dominios del cinturón de Peralta. En esta cuenca de gran extensión se depositó la Fm Neiba, y sus equivalentes proximales, durante el resto del Paleógeno y Mioceno inferior.

El relleno de la cuenca continúa de forma estable hasta el Mioceno inferior, con una somerización progresiva de la cuenca, que se registra con la formación de una plataforma carbonatada de gran extensión, en ocasiones acompañada por la construcción de grandes edificios arrecifales, representada por las unidades Barahona y Loma de Peblique que continua hasta el Mioceno Superior. El origen de esta somerización, probablemente causada por una estabilización o descenso del nivel del mar acompañado por un incremento en la

tasa de producción de carbonatos, es desconocido. No parece haber tenido un gran impacto en estos momentos en la cuenca la nueva situación de convergencia entre el dominio suroccidental de La Española y el resto de la Isla, que produjo la mayor transformación paleogeográfica de la historia cenozoica de la región, aunque sí es posible que tuviera lugar una elevación incipiente de las principales sierras, incluida la de Bahoruco. Por otro lado, el Mioceno es una época geológica que sí es bien conocida por un descenso generalizado del nivel marino como consecuencia de una nueva glaciación antártica que se inicia aproximadamente hace 15 Ma, durante el Mioceno Medio (Zachos et al., 2001).

De cualquier modo, y al mismo tiempo que en la cuenca de Bahoruco se depositaban las calizas de Barahona y Loma de Peblique, la propagación hacia el sur del Cinturón de Peralta produjo un surco flexural donde se depositaron la Fm Sombrerito y sus equivalentes, representativos aquí de una llanura submarina donde se recibían aportes de naturaleza turbidítica.

### **6.3. La Cuenca del Mioceno Superior al Plioceno**

El registro estratigráfico de esta etapa en la evolución de la cuenca se encuentra exclusivamente dentro en las unidades de Maniel Viejo y La Cueva, de edad Mio-Plioceno. Esta etapa, aunque mal preservada, consta de una gran importancia, ya que en ella se produce la elevación de la cuenca y la consecuente formación de la Sierra de Bahoruco. A la luz de las dataciones y el análisis de cuencas efectuado para esta Sierra (Pérez-Valera y Abad, 2009) es probable que exista una diacronía no cuantificable entre el levantamiento de la Cordillera Central y el avance del cinturón de pliegues y cabalgamientos del Cinturón de Peralta con la formación definitiva de las sierras de Bahoruco. De hecho, en el SO de la Española la deformación principal tiene lugar durante el Plioceno Inferior-Medio, con el cabalgamiento de las sierra de Neiba, Martín García y Bahoruco sobre la cuenca de Enriquillo (Hernáiz-Huerta et al., 2007).

En el Mioceno Superior, tras una leve pulsación transgresiva y de profundización registrada por el inicio de la sedimentación de facies de la Ud Maniel Viejo, la cuenca registra una rápida somerización que finaliza con su exposición subaérea y conduce al desarrollo de sistemas continentales aluviales y lacustres y a la formación de depósitos de bauxita en algún momento del Plioceno. Durante gran parte del Mioceno Superior y del Plioceno Inferior en el surco flexural desarrollado al pie del cinturón de pliegues y cabalgamientos del Cinturón de Peralta continuaba el depósito de los materiales turbidíticos y deltaicos de la Fm. Trinchera, que comienzan a rellenar la Cuenca de Enriquillo.

A través de este proceso rápido de levantamiento de la Sierra la sedimentación marina se traslada en el Plioceno a la actual franja costera, donde se depositan las calizas arrecifales y

bioclásticas de Ud La Cueva, cuya evolución y distribución escalonada en la vertiente sur de la sierra registra una elevación continua de sus relieves. Es evidente, por tanto, que está rápida regresión debe representar el levantamiento definitivo de la Sierra de Bahoruco, Neiba y Martín García y el relleno sintectónico y colmatación de las Cuencas neógenas de Enriquillo y San Juan. Estas últimas reflejan una clara tendencia somerizante y evolucionan bajo un contexto sedimentario litoral y marino somero.

#### **6.4. La Sierra de Bahoruco del Pleistoceno al Holoceno**

La elevación de la Sierra de Bahoruco continúa durante todo el Pleistoceno hasta prácticamente la actualidad como consecuencia del avance de la Cordillera Central. Este levantamiento prolongado de la isla durante el Cuaternario, junto episodios de oscilación rápida del nivel del mar y el posible efecto de la tectónica activa en la región, generaron numerosas terrazas marinas, con amplia continuidad regional, que cubren la vertiente meridional de la sierra de Bahoruco y su prolongación hacia la costa actual o plataforma de Oviedo-Cabo Rojo (Abad et al, 2008; 2009). De forma simultánea a dicho levantamiento, el área experimentó un plegamiento y la formación o reactivación de diversas fallas. Los pliegues mencionados produjeron suaves flexuras en las superficies de erosión marina escalonadas, que pueden estar fosilizadas por sistemas arrecifales franjeantes y playas carbonatas oolíticas con tendencias progradantes, al menos durante el Pleistoceno Medio y Superior.

En posiciones más internas de la Sierra, los mismos máximos marinos actuaron como nivel de base para el modelado fluvial, con él que se crearon sucesivas superficies de erosión, de las cuales las más altas muestran continuidad lateral con las terrazas marinas equivalentes y que llegan a desarrollar importantes perfiles de alteración (rubefacciones y argilizaciones) y depósitos de bauxita. Por encima de las mencionadas superficies se produjeron otros aplanamientos peor conservados y de origen incierto, pero que reflejan ya la interacción de las oscilaciones eustáticas con el ascenso y emersión de la sierra de Bahoruco, probablemente ya en el Plioceno. De forma simultánea a todo lo anterior, a lo largo del Cuaternario el modelado kárstico ha creado numerosas dolinas de disolución, excepcionalmente de colapso, y diversas áreas subsidentes con arcillas de descalcificación. Salvo por las terrazas y depósitos asociados de la cuenca del Río Nizaito y Pedernales, la red fluvial posee una pobre representación durante la evolución cuaternaria de la región. A excepción de algunos sistemas aluviales y deslizamientos de importancia, durante el Holoceno las formaciones superficiales mejor representadas son los sistemas litorales, conformados por manglares, cordones arenosos, lagunas costeras, playas carbonatadas y

sistemas arrecifales, que afloran extensamente a lo largo de toda la orla costera de la Península de Bahoruco.

Un dato importante a señalar es que desde finales del Plioceno hasta la actualidad, la indentación de la Cresta de Beata en la Bahía de Ocoa ha producido el arqueamiento y la posterior ruptura de las estructuras del ámbito de la bahía; o el desarrollo de un intenso volcanismo de afinidad geoquímica heterogénea en la Cordillera Central y la Cuenca de San Juan (Hernández-Huerta, 2004). El avance de la cresta de Beata en la Península de Bahoruco origina algunas grandes estructuras evidentes desde un punto de vista cartográfico. Dentro de estas estructuras se encuentran zonas de cizalla de basamento que afectan a la cobertera (Zona de cizalla de Arroyo Dulce, Cabo Rojo y Polo) y la Zona de Falla de Beata, todas ellas muy activas durante el Cuaternario, aunque actualmente no podemos asegurar que su origen pueda ser relacionado con toda seguridad con la indentación de la cresta de Beata en los dominios meridionales de La Española.

## **7. GEOLOGÍA ECONÓMICA**

### **7.1. Hidrogeología**

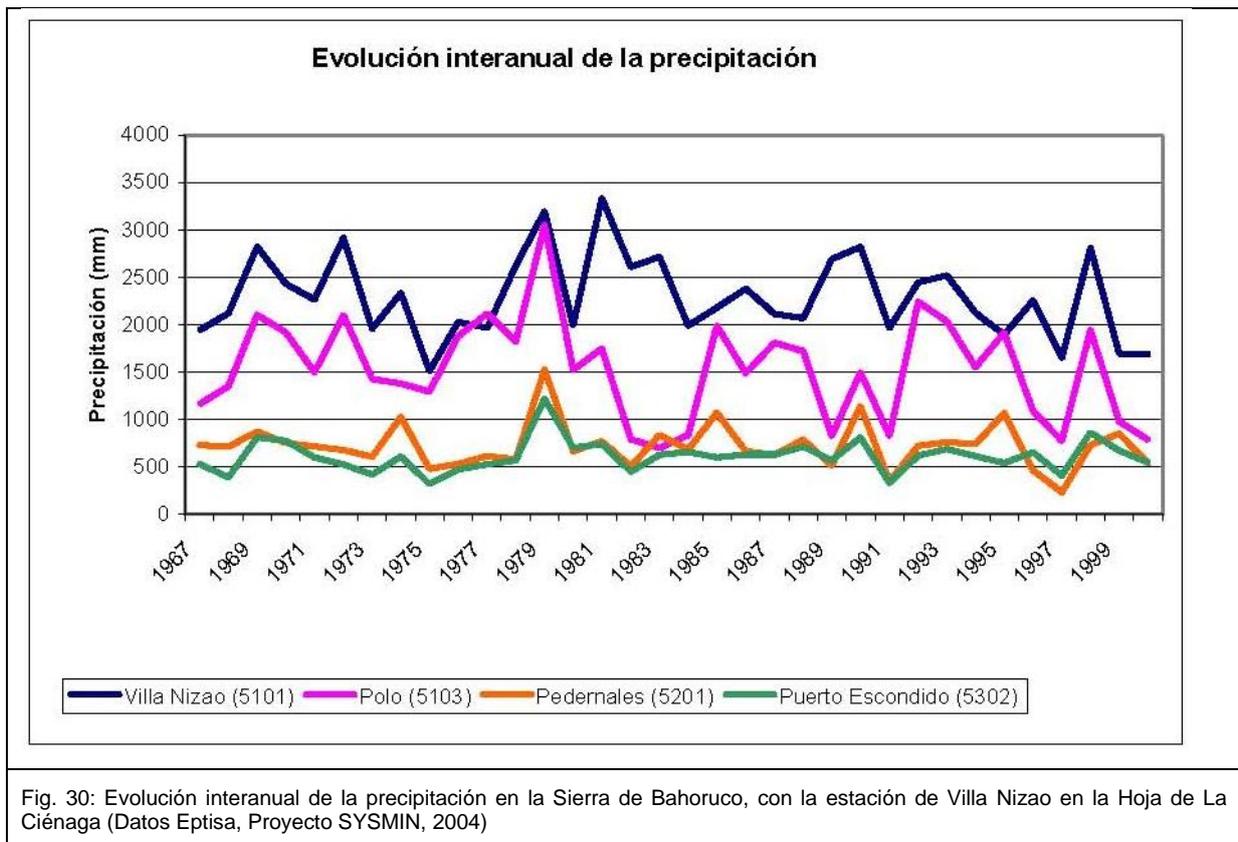
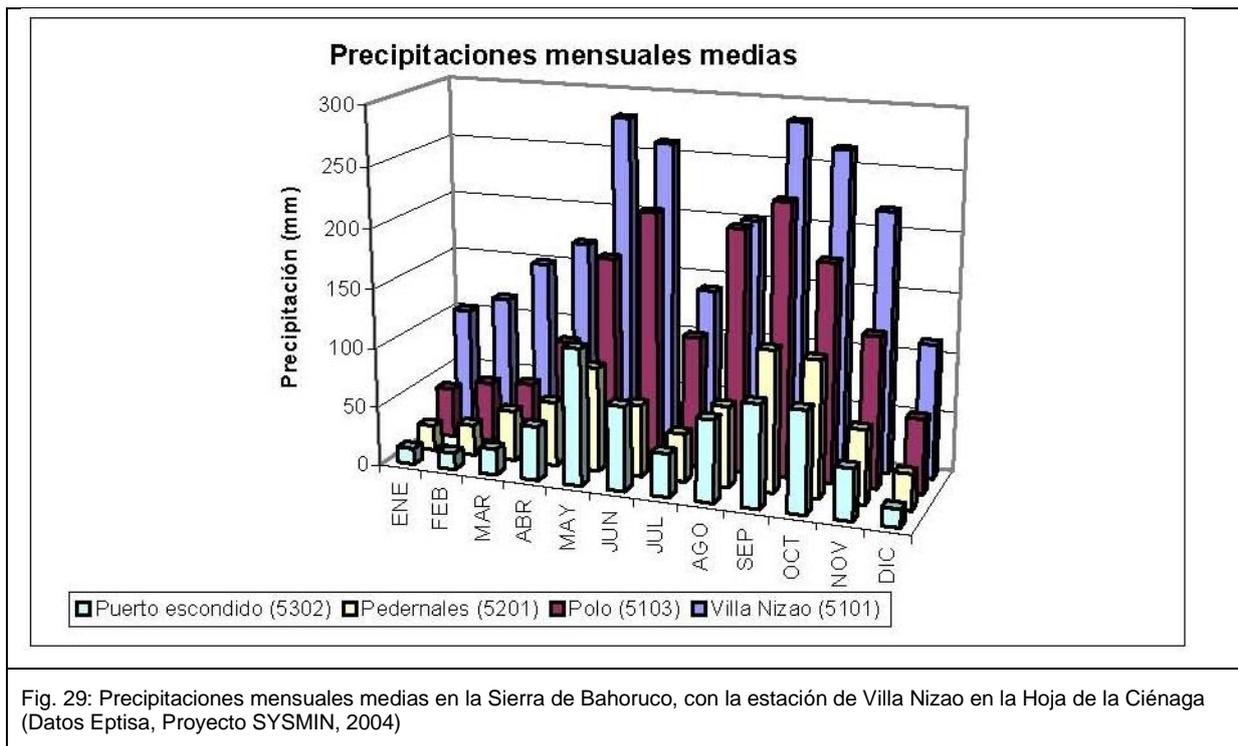
La información de mayor interés disponible, hasta la fecha, sobre parámetros hidráulicos de la U.H. de la Sierra de Bahoruco procede, fundamentalmente, de dos estudios: el estudio isotópico e hidrológico realizado entre los años 1984 y 1986 por el INDRHI (J.F. Febrillet y E. Bueno) y el Institut für Radiohydrometrie alemán (K.P. Sèller y W. Stcher) y los dos ensayos de bombeo realizados entre los años 1999 y 2000 por Aquater S.p.A., durante el “Estudio Hidrogeológico Nacional de la República Dominicana. Fase I.”, en las calizas arrecifales del Mioceno (Mc) del sector de la Llana de Juancho (en el sureste de la unidad de la Península Sur de Barahona

Estudios hidrogeológicos de la Sierra de Bahoruco han sido realizados por el INDRHI y recientemente por Eptisa (2004) en el marco de un proyecto Sysmin. Unas conclusiones de este estudio se reflejan en este capítulo.

La Hoja de La Ciénaga dispone de una estación meteorológica en Villa Nizao (Río Nizaito) y 3 estaciones de hidrología (Valle Nizao, Bahoruco y Paraíso).

#### **7.1.1. Climatología**

En las Fig. 29 y Fig. 30 se reflejan las precipitaciones mensuales medias y la evolución interanual en las cuatro estaciones de la Sierra de Bahoruco.



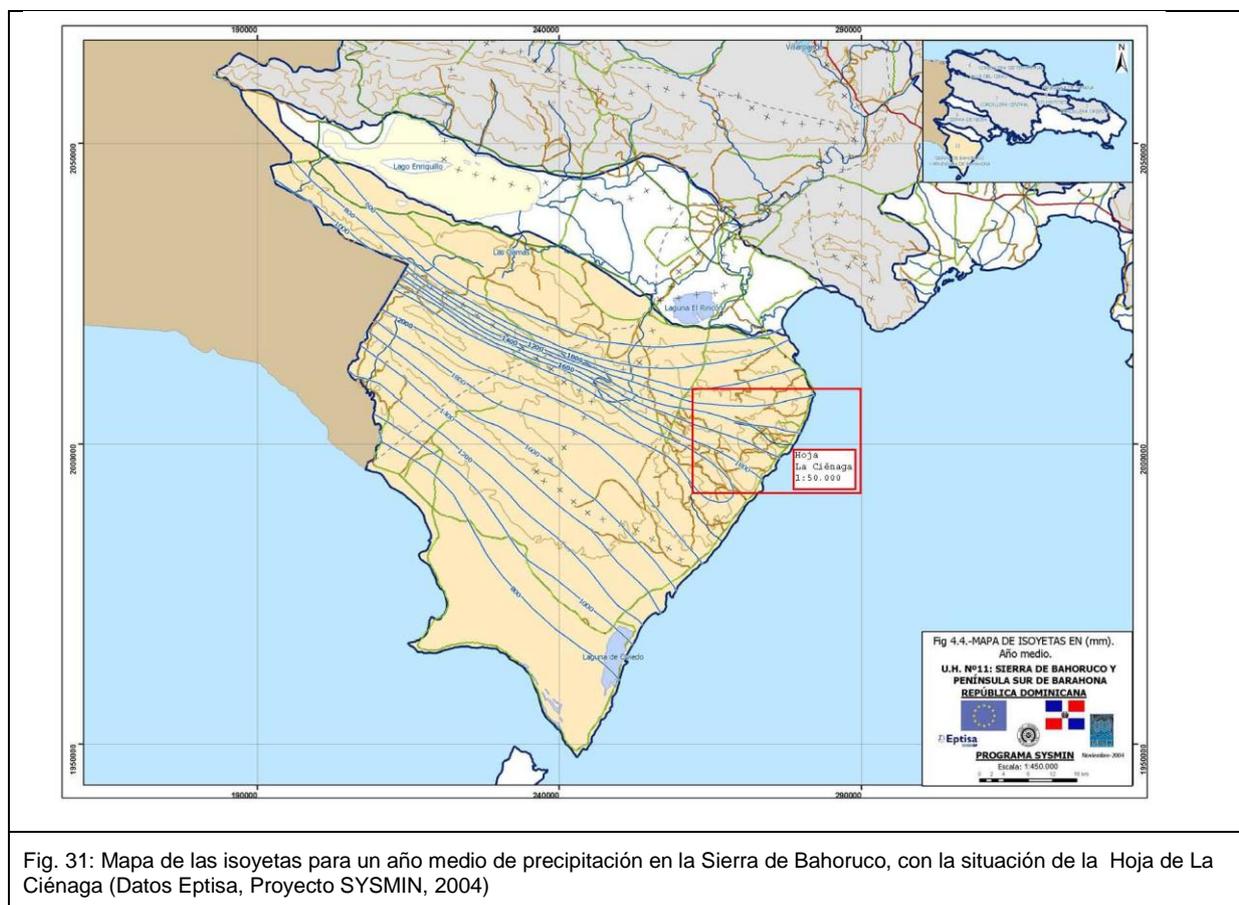
La pluviometría más elevada se produce en las zonas altas de la Sierra de Bahoruco, y en las cercanías de la estación de Villa Nizao (Tabla 2). Las precipitaciones disminuyen de

forma rápida cuando se desciende desde la Sierra hacia el lago Enriquillo, mientras que hacia el suroeste la disminución de la pluviometría es más suave.

CÓDIGO	NOMBRE DE LA ESTACIÓN	AÑO SECO	AÑO MEDIO	AÑO HÚMEDO
4986	BARAHONA	678.5	921.9	1 224.6
5101	VILLA NIZAO	1875.4	2298.5	2 795.0
5103	POLO (MET)	879.4	1536.6	2 050.3
5201	PEDERNALES	467.7	724.0	1 022.2
5202	ENRIQUILLO (MET)		2411.0	
5302	PUERTO ESCONDIDO	401.4	614.7	777.5
5312	ANGOSTURA	324.2	528.0	697.6
5321	JIMANI (MET)	679.5	991.6	1 248.7
	MEDIA	758.0	1253.3	1 402.3

Tabla 2 : Precipitación anual (en mm) para los años tipo de la Sierra de Bahoruco con la estación de Villa Nizao en la Hoja de La Ciénaga (Datos Eptisa, Proyecto SYSMIN, 2004)

En la Fig. 31 se representa el mapa de las isoyetas para un año “medio” de precipitaciones en la Sierra de Bahoruco, incluyendo la Hoja de la Ciénaga.



Para el estudio de las variaciones de temperaturas se dispone de las 3 estaciones termométricas de la Tabla 3.

CÓDIGO	NOMBRE DE LA ESTACIÓN	LATITUD	LONGITUD	ALTITUD (m.s.n.m.)	T media anual (°C)
5102	JUANCHO	17° 52' 20"	71° 16' 15"	10	26.5
5302	PUERTO ESCONDIDO	18° 19' 15"	71° 34' 20"	400	23.2
5312	ANGOSTURA	18° 9' 36"	71° 13' 48"	35	23.8

Tabla 3: Estaciones termométricas de la Sierra de Bahoruco, con la temperatura media anual en °C (Datos Eptisa, Proyecto SYSMIN, 2004)

La distribución mensual de las temperaturas medias es muy similar en las tres estaciones, con pocas variaciones a lo largo del año, siendo abril el mes más frío y octubre y noviembre los meses más cálidos (Fig. 32).

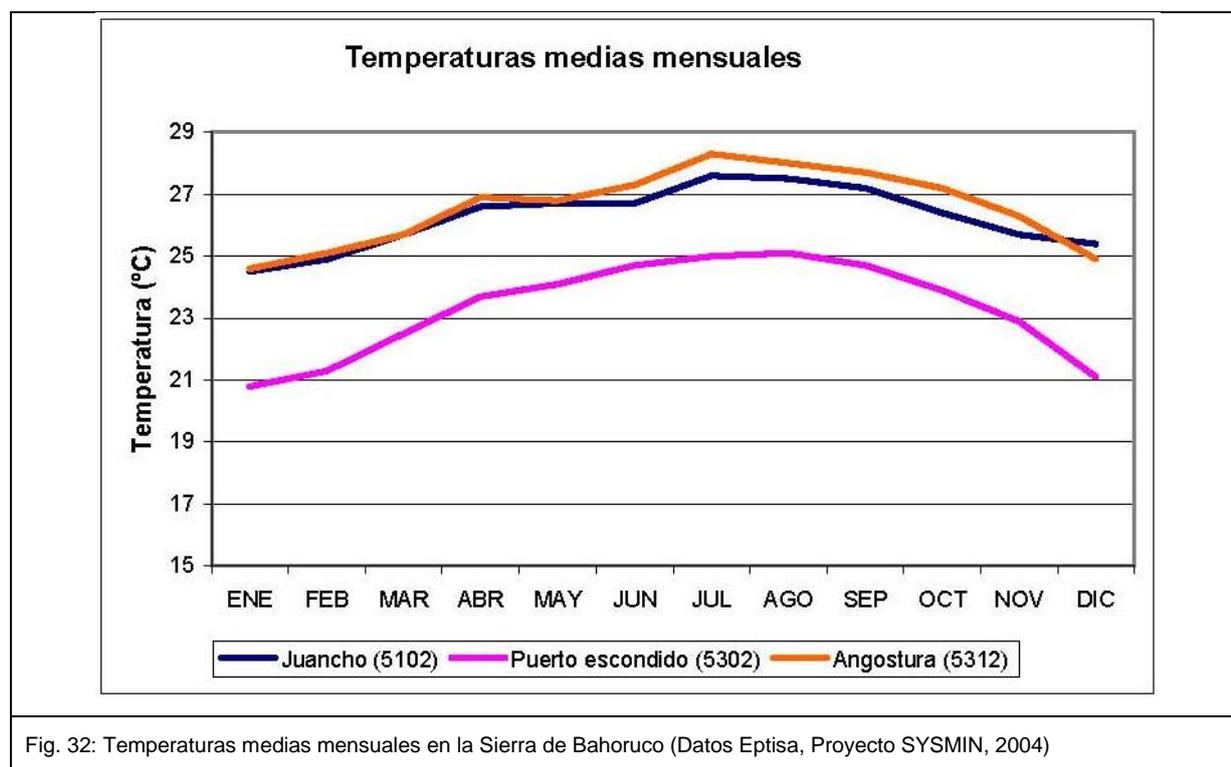


Fig. 32: Temperaturas medias mensuales en la Sierra de Bahoruco (Datos Eptisa, Proyecto SYSMIN, 2004)

En la Tabla 4 se resumen los valores de lluvia útil obtenidos para cada una de las subunidades hidrogeológicas y para cada año tipo. Estos valores se han obtenido multiplicando el valor de lluvia útil entre isolíneas por la superficie de los afloramientos permeables.

Subunidades	Año medio	Año húmedo	Año seco
Sinclinal de Nizaito	218	488	102
Sinclinal del Enriquillo	185	333	57
Meridional de Bahoruco y Península de Barahona	117	284	57
Septentrional	109	185	52
MEDIA DE LA UNIDAD (*)	157	322	67
* La media de la unidad ha sido ponderada con la superficie de materiales permeables.			
Tabla 4: Lluvia útil anual (mm) para las subunidades hidrogeológicas de la Sierra de Bahoruco con el sinclinal de Nizaito incluido en la Hoja de La Ciénaga (Datos Eptisa, Proyecto SYSMIN, 2004)			

Estos valores de lluvia útil 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.

### 7.1.2. Hidrología

Los cursos de agua superficiales más significativos y relacionados con la unidad de Sierra de Bahoruco en la Hoja de la Ciénaga son: El Arroyo Seco y los ríos Bahoruco, Nizaito y Sito, de distribución Oeste-Este y vertientes directamente al Mar del Caribe.

En la Sierra de Bahoruco se dispone de 5 aforos históricos del INDRHI con registros mensuales y anuales.

En cuanto a la infraestructura de riego, esta unidad dispone de un total de 10 canales de riego principales de los que parten una serie de canales secundarios (Tabla 5). La longitud total de la red de canales (tanto principales como secundarios) es de 94.6 Km.

En Nizaito, al SO de la Hoja de la Ciénaga se inicia un canal de riego de 38,7 km de largo hasta Oviedo (Fig. 33).

<b>NOMBRE DEL CANAL</b>	<b>LONGITUD (Metros)</b>
ESPERANZA	6 033
SISTEMA MAJAGUAL	4 053
COLECTOR CABRAL	976
NIZAITO	38 747
VENGAN A VER	4 694
JIMANI	5 578
LOS SALADILLOS	3 998
EL NARANJO	2 986
CRISTOBAL	3 894
CABALLERO	2 674
OTROS	21 042
<b>TOTAL</b>	<b>94 682</b>

Tabla 5 : Canales principales de riegos

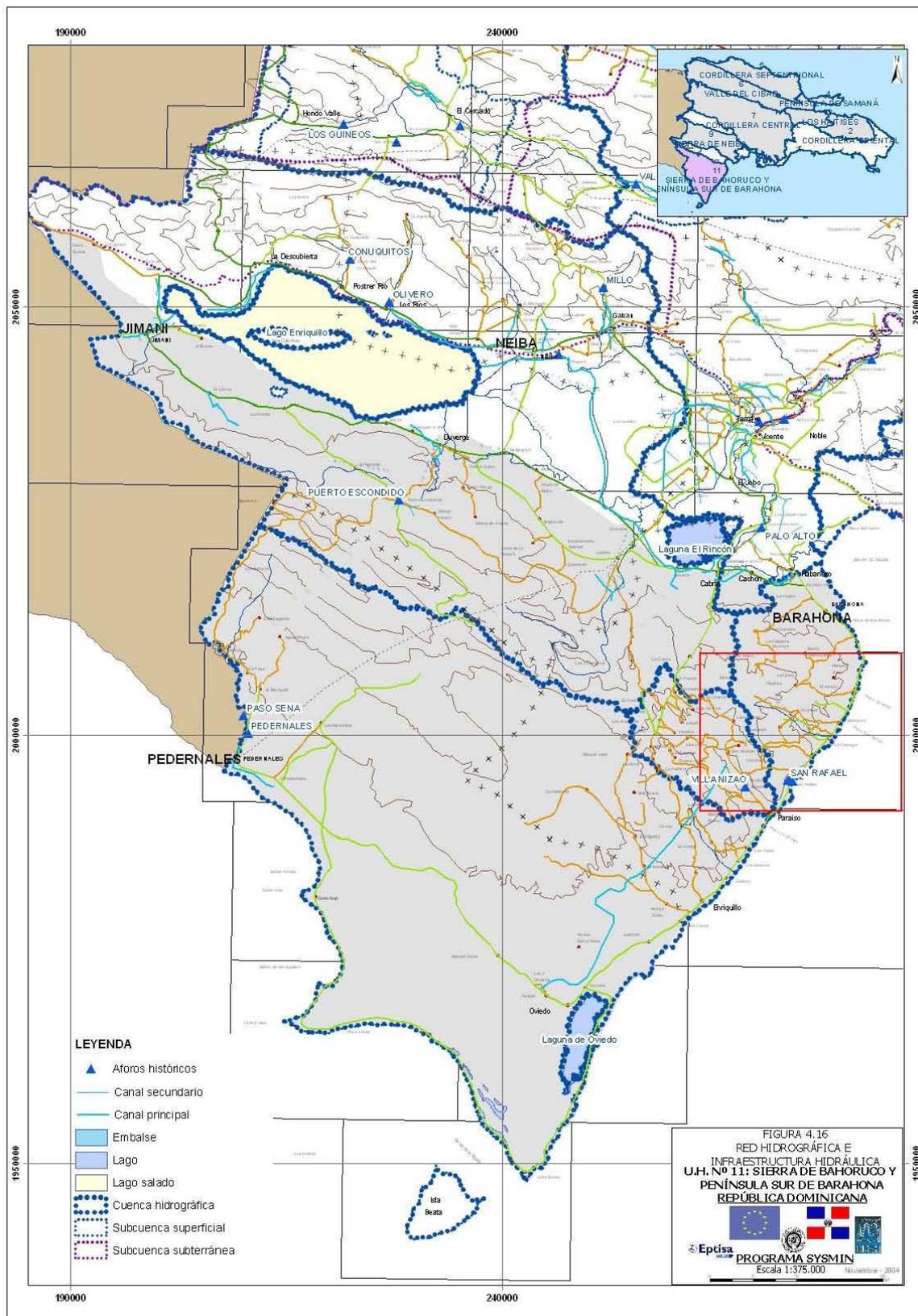


Fig. 33: Mapa de la red hidrográfica e infraestructuras hidráulicas en la Sierra de Bahoruco, con la situación de la Hoja de La Ciénaga (Datos Eptisa, Proyecto SYSMIN, 2004)

En la Tabla 6 se reflejan la situación y los resultados de las 2 estaciones de control disponibles en la zona: la de Villa Nizao para la cuenca del río Nizaito, cuya gran parte está incluida en la Hoja de La Ciénaga, y la de Paso Sena, al Norte de Pedernales. Las series de datos son muy heterogéneas, variando enormemente el número de medidas, así como los años de control de las mismas. Se indica, para cada punto de aforo el periodo de control de las series (Año de inicio-Año de finalización), así como los caudales (expresados en m<sup>3</sup>/s) máximos y mínimos históricos y la media mensual obtenida a partir del total de medidas.

Denominación	Coord X	Coord Y	Cuenca Hidrográfica	Nombre del río	Superficie de la cuenca aforada(km <sup>2</sup> )
Paso Sena	210050	2002268	Pedernales	Río Pedernales	298
Villa Nizao	268170	1993956	Nizaito	Río Nizaito	116
Denominación	Año Inicio	Año Final	Máx Histórico (m <sup>3</sup> /s)	Mín Histórico (m <sup>3</sup> /s)	Media Mensual (m <sup>3</sup> /s)
Paso Sena	1973	1993	7.88	0.4	1.73
Villa Nizao	1955	1992	9.94	0.26	3.32

Tabla 6 : Estaciones de aforo y periodo de control de las series (Año de inicio-Año de finalización), así como los caudales (expresados en m<sup>3</sup>/s) máximos y mínimos históricos y la media mensual obtenida a partir del total de medidas (Datos Eptisa, Proyecto SYSMIN, 2004)

En la Tabla 7 se indican los caudales medios mensuales (en m<sup>3</sup>/s) obtenidos para cada punto de control, utilizando el total de las medidas de la serie.

Estación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Media Mensual
Paso Sena	1.50	1.31	1.14	1.22	1.95	1.97	1.68	1.50	1.86	2.39	2.33	1.95	1.73
Villa Nizao	2.94	2.67	2.51	2.48	2.99	3.75	4.18	3.56	3.28	3.72	4.13	3.66	3.32

Tabla 7: Caudales medios mensuales (en m<sup>3</sup>/s) obtenidos para cada punto de control, utilizando el total de las medidas de la serie (Datos Eptisa, Proyecto SYSMIN, 2004)

### 7.1.3. Hidrogeología

La Hoja cubre parte de dos unidades hidrogeológicas que se sitúan al suroeste de la isla Española, en su zona más meridional, limitada al Este por el Mar Caribe (Fig. 34).

El Norte de la Hoja pertenece a la Unidad de la Península Sur de Barahona. Está drenada de Norte a Sur, por el Arroyo Palomino, que desemboca en la Costa Este en la Hoja de

Barahona, y pequeñas cañadas, afluentes del Río Yaque del Sur, a nivel de la Laguna del Rincón en la Hoja de la Salina.

El resto de la Hoja de La Ciénaga pertenece a la Unidad Sierra de Bahoruco, con los cursos de aguas superficiales más significativos: ríos Nizaito, Bahoruco, Sito, Arroyo Seco y Arroyo Feo. Las cuencas son pequeñas y descargan directamente hacia el mar Caribe.

La Hoja presenta un relieve abrupto, de dirección NO-SE a EO e importantes variaciones topográficas que oscilan entre los 1532 m de la Loma Pie de Palo al Norte de la Hoja y el Mar Caribe al Este.

Sobre un basamento de volcanitas basálticas del Cretácico, se edifica un sistema de calizas cenozoicas formando un gran anticlinorio y un extenso acuífero carbonatado con permeabilidad por fracturación, en el que se ha desarrollado un proceso de karstificación avanzado.

Los principales niveles acuíferos carbonatados los constituyen las calizas masivas de la Ud de Polo y las calizas tableadas de la Fm Neiba (Eoceno-Mioceno inferior) así que las calizas masivas de la Ud de Barahona (Mioceno medio superior) . La disposición estructural hace que funcionen como un acuífero único, con permeabilidad alta por fracturación-karstificación. Los procesos de karstificación, son tanto del tipo abiertos como cerrados.

#### 7.1.3.1. Formaciones con permeabilidad alta por porosidad intergranular (Cuaternario)

Las terrazas de los ríos principales (Nizaito, Bahoruco) y arroyos (Brazo Seco) constituidas de gravas y arenas, representan formaciones porosas con permeabilidad elevada cuya productividad (potencialidad real de explotación) está limitada por la extensión reducida de las superficie en esta zona muy montañosa.

Los abanico aluviales, compuestos por cantos de calizas englobadas en una matriz arcillo-arenosa son también muy permeables y la productividad es interesante en toda la costa donde están muy bien representados.

Los coluviones también son muy permeables y representan superficies interesantes en las zonas con relieve muy acentuado.

#### 7.1.3.2. Formaciones con permeabilidad media por fracturación y carstificación (Mioceno medio-superior)

Las calizas micríticas y margosas de la Ud de Barahona (Mioceno Medio-superior) presentan una permeabilidad media por fracturación y carstificación. La extensión es notable en el NE y SO de la Hoja en el núcleo de sinforma. La presencia de intercalaciones margosas limita la permeabilidad y la productividad de esta unidad.

7.1.3.3. Formación con permeabilidad baja a muy baja por fracturación y karstificación (Oligoceno)

La permeabilidad por fracturación y carstificación de las calizas margosas del Mb superior de la Fm Neiba (Oligoceno) es baja a muy baja. Las intercalaciones de margas son frecuentes en las calizas micríticas y margosas lo que reduce considerablemente el potencial de este Miembro.

7.1.3.4. Formación con permeabilidad alta por fracturación y karstificación (Eoceno)

La permeabilidad por fracturación y carstificación de las calizas masivas de la Ud de Polo y de las calizas micríticas tableadas del Mb inferior de la Fm Neiba (Eoceno superior) es alta. La productividad y potencialidad de explotación será alta (la más importante de toda la Hoja), debido al alto grado de carstificación 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.

7.1.3.5. Formación con permeabilidad baja por fracturación (Cretácico)

Las volcanitas basálticas de la Fm Dumisseau (Cretácico) presentan una permeabilidad baja por fracturación. La permeabilidad, tanto en los basaltos muy fracturados que en las piroclastitas y epiclastitas, está limitada por la abundancia de arcillas en relación con un hidrotermalismo muy fuerte.

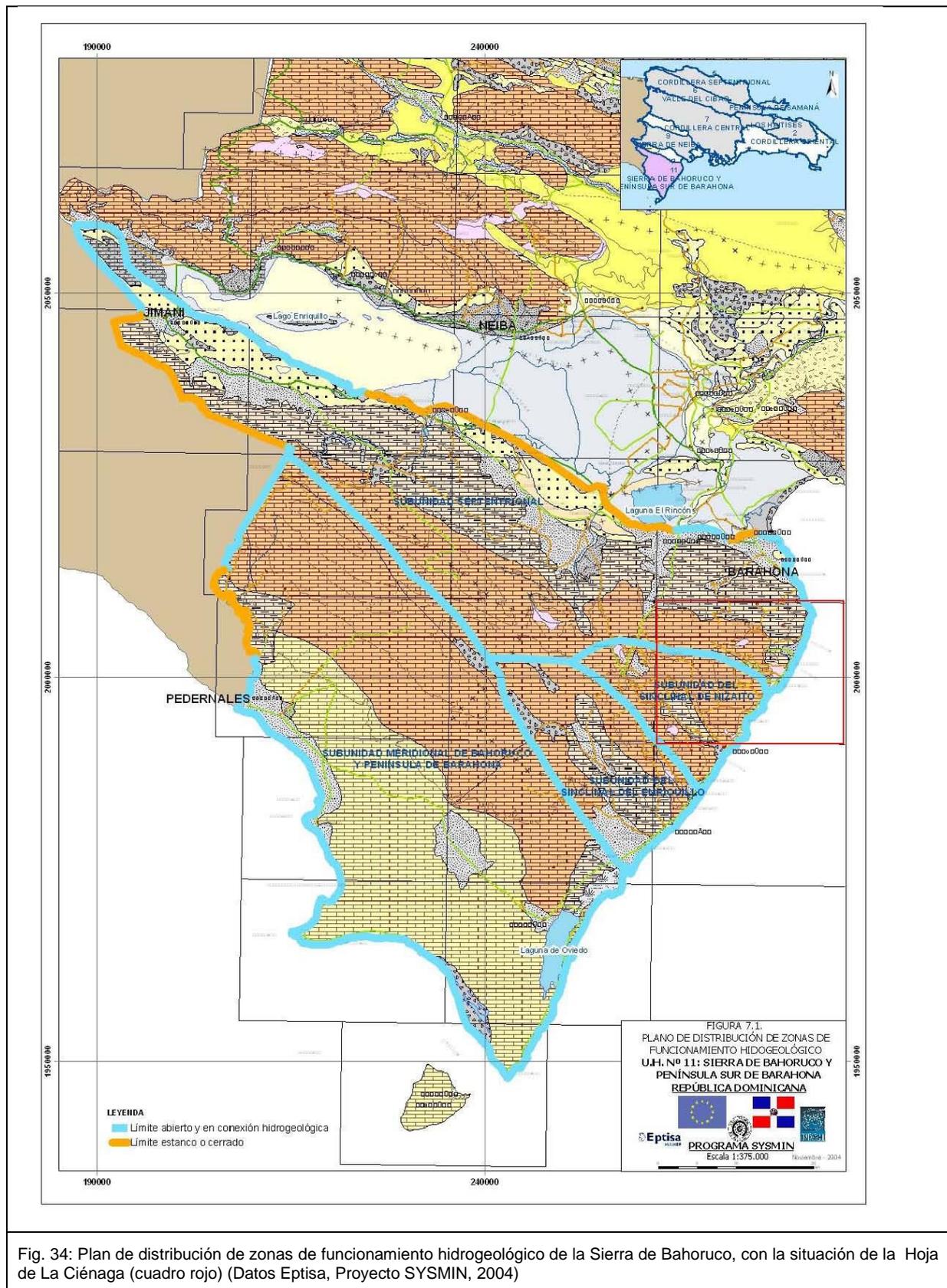


Fig. 34: Plan de distribución de zonas de funcionamiento hidrogeológico de la Sierra de Bahoruco, con la situación de la Hoja de La Ciénaga (cuadro rojo) (Datos Eptisa, Proyecto SYSMIN, 2004)

### 7.1.3.6. Funcionamiento hidrogeológico y balance hídrico

#### 7.1.3.6.1. Recarga

La recarga de la Zona o U.H. de la Sierra de Bahoruco y de su contigua de la Península Sur de Barahona se produce, fundamentalmente, por cuatro vías preferenciales:

- Infiltración directa del agua de la lluvia precipitada sobre los afloramientos permeables; es desde lejos la más importante
- Retornos de riego e infiltración desde canales.
- Infiltración desde cauces superficiales (de forma muy localizada y minoritaria),
- Entradas laterales procedentes de zonas o unidades hidrológicas colindantes

#### 7.1.3.6.2. Descarga

Las descargas de la UU.HH. de la Sierra de Bahoruco y Península Sur de Barahona se producen, básicamente, por cuatro vías preferenciales:

- Drenajes por cauces superficiales desde lejos la más importante en la Hoja de La Ciénaga
- Salidas por manantiales y emergencias de distintos tipos, tanto subaéreas, como submarinas.
- Extracciones por bombeos; casi inexistente en esta hoja.
- Descargas laterales por conexiones con unidades hidrogeológicas contiguas o al mar.

#### 7.1.3.6.3. Balance hídrico

En la Tabla 8 se puede apreciar las entradas de aguas subterráneas (para años medios) para las subunidades de la Sierra de Bahoruco.

La Tabla 9 corresponde a las salidas de aguas

El balance entrada y salida aparece equilibrado, en particular para el sinclinal de Nizaito (17 hm<sup>3</sup>/año), ubicado en la hoja de la Ciénaga.

SUBUNIDADES	INFILTRACIÓN LLUVIA (IP)	INFILTRACIÓN CAUCES (IRC)	RETORNOS RIEGO (IRR)	ENTRADAS LATERALES (QAC)	ENTRADAS TOTALES
SEPTENTRIONAL	37	-	13-	3	53
SINCLINAL DE NIZAITO	17	-	0-	-	17
SINCLINAL DE ENRIQUILLO	17	-	8-	-	25
MERIDIONAL Y PENÍNSULA SUR DE BARAHONA	146	-	12-	-	158
<b>TOTALES</b>	<b>217</b>	<b>-</b>	<b>33</b>	<b>3</b>	<b>253</b>

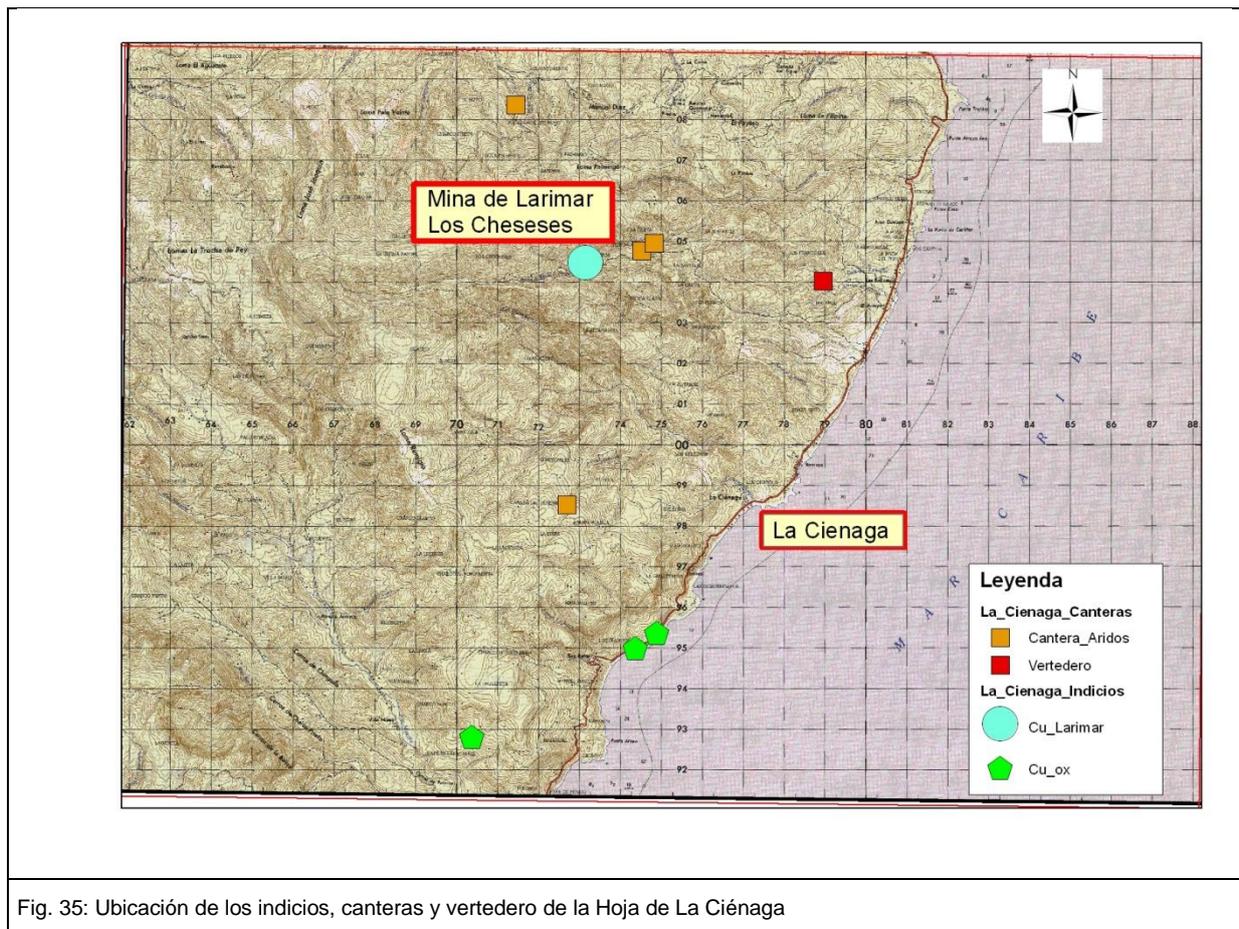
Tabla 8: Balance de aguas subterráneas para años medios (entradas) \*Todos los datos son en hm<sup>3</sup>/año. (Datos Eptisa, 2004)

SUBUNIDADES	DESCARGA A RÍOS (DR)	DESCARGAS AL MAR Y CONEXIONES LATERALES (QS)	EXTRACCIONES POR BOMBEO (B)	SALIDAS TOTALES
SEPTENTRIONAL	25	-	28	53
SINCLINAL DE NIZAITO	16	-	1	17
SINCLINAL DE ENRIQUILLO	-	24**	1	25
MERIDIONAL Y PENÍNSULA SUR DE BARAHONA	50	98**	10	158
<b>TOTALES</b>	<b>91</b>	<b>122**</b>	<b>40</b>	<b>253</b>

Tabla 9: Balance de aguas subterráneas para años medios (salidas). \*\* Valores estimados por diferencias en la ecuación del balance hídrico (Datos Eptisa, 2004)

## 7.2. Recursos minerales

En la República dominicana y en el mundo La Ciénaga es conocida por el Larimar (piedra semi preciosa de color azul turquesa) exclusividad de la pequeña mina de Los Cheseses. Esta pectolita, así que los pequeños indicios de cobre encontrados durante esta cartografía (Fig. 35 y Tabla 10), están relacionados con las volcanitas basálticas que constituyen el substrato de la plataforma carbonatada de la Sierra de Bahoruco. Las calizas representan los materiales industriales de tipo árido explotados localmente (Fig. 35 y Tabla).



### 7.3. Oro y sustancias polimetálicas

Los indicios metálicos de la Hoja de La Ciénaga están ligados a los basaltos de la Fm Dumisseau de edad Cretácica (Tabla 10). Se trata de muy pequeñas ocurrencias de óxidos de cobre (malaquita y azurita), sin interés minero, asociadas a los basaltos frecuentemente fracturados e hidrotermalizados en las fallas de Beata (costa del Mar Caribe) o de Brazo Seco (mina de Larimar de Los Cheseeses).

En la Mina de Los Cheseeses se observan frecuentemente pequeñas manchas de cobre nativo en la pectolita explotada por el Larimar.(ver capítulo siguiente).

N°	Localidad	LAT WGS84	LONG WGS84	Y_Nad27	X_Nad27	Sustancia	Edad Formación	Litología
116MJ9 144	San Rafael	18,033563 59	71,1309 6963	1995198,0 1874	274410,35 8544	Cu_Malaquita _Azurita	Cretácico sup	Basaltos tipo Pelona_Pico Duarte
116MJ9 146	San Rafael	18,037007 46	71,1261 2564	1995573,3 4759	274927,72 8857	Cu_Malaquita _Azurita	Cretácico sup	Basaltos tipo Pelona_Pico Duarte
116MJ9 371	Café de Las Mujeres	18,013486 75	71,1684 8736	1993021,6 6621	270411,07 0877	Cu_Malaquita _Azurita	Cretácico sup	Basaltos tipo Pelona_Pico Duarte
116MJ9 181	Los Chechese s	18,119056	71,1434 8481	2004677,3 4451	273194,87 9499	Cu nativo y Larimar	Cretácico sup	Basaltos tipo Pelona_Pico Duarte

Tabla 10: Indicios metálicos de la Hoja de La Ciénaga

## 7.4. Rocas industriales y ornamentales

### 7.4.1. Materiales de construcción

Tanto los basaltos del Cretácico que las calizas de la plataforma carbonatada del Eoceno-Mioceno) o las gravas y arenas del Cuaternario (terrazas y abanicos aluviales) representan un potencial enorme de material industrial de tipo áridos. Pero este potencial está actualmente poco explotado, debido al alejamiento de los centros urbanos importantes y la falta de una red de carreteras de buena calidad.

Durante la cartografía solo se ha inventariado tres canteras de áridos y una cantera de caliche, de pequeño tamaño explotadas de manera intermitentes para la construcción y el mantenimiento de la red local de carreteras (Fig. 35 y Tabla 11).

El vertedero de Las Balizas ubicado en una pequeña cañada podría representar un riesgo de contaminación, pero de amplitud limitada debido a su pequeño tamaño.

N°	X_WGS84	Y_WGS84	FORMACIÓN	SUSTANCIA	ACTIVIDAD	TAMAÑO	UTILIZACIÓN
116MJ9181	273191,593 186	2004556,64 977	Dumisseau	Larimar	Permanente	Pequeño	Piedra semipreciosa
116MJ9171	274569,529 25800000	2004964,81 941000000	Polo	Árido	Intermitente	Pequeño	Obras públicas y construcción
116MJ9236	271482,246 86600000	2008561,55 283000000	Neiba sup	Árido	Intermitente	Pequeño	Obras públicas y construcción
116MJ9261	279005,532 44300000	2004227,19 272000000	Terreca	Vertedero	Intermitente	Pequeño	Obras públicas y construcción
116MJ9299	274874,345 25700000	2005154,34 493000000	Neiba inf	Caliche	Intermitente	Pequeño	Obras públicas y construcción
116MJ9329	272742,208 89900000	2005007,86 786000000	Neiba inf	Árido	Intermitente	Pequeño	Obras públicas y construcción

Tabla 11: sustancias industriales y ornamentales de la Hoja de La Ciénaga



#### 7.4.2. Mina de Larimar

La única mina de Larimar en el mundo se encuentra en la parte Norte de la hoja de La Ciénaga en Los Chupaderos, sección de Los Cheseses.

Esta variedad de pectolita,  $\text{NaCa}_2\text{Si}_3\text{O}_8(\text{OH})$ , presenta un color azul turquesa debido a trazas de manganeso y cobre, que la distingue de las pectolitas comunes blancas y le confiere un valor de piedra semipreciosa.

La historia empieza en 1916, cuando el Padre Miguel Domingo Fuentes Loren pidió un permiso de exploración-explotación de una piedra azul en el sector de Los Cheseses y que la demanda, registrada por la Dirección General de Minería, fue rechazada debido al desconocimiento de esta pectolita.

En 1974, Miguel Méndez y Norman Rilling redescubren en las gravas de la costa de Batoruco, esta pectolita azul, conocida de las poblaciones locales, y la llaman Larimar: contracción de Larissa, nombre de la hija de Miguel Méndez, y mar, por el color del agua del mar caribe.

En el marco de proyectos SYSMIN se realizó un estudio preliminar en 1997 y otro muy detallado en 2006 (Espí Rodríguez, 2007) del cual se reflejan a continuación las principales conclusiones; se abrió una galería de 300m de largo para el reconocimiento de la mina y un

taller fue organizado en Bahoruco para la formación del personal local al trabajo de las piedras semipreciosas. Unos sondeos de reconocimiento con recuperación de testigos están previstos para delimitar mejor el yacimiento.

Hoy en día cerca de 500 personas trabajan directamente en la mina y mucho más en la transformación y venta de esta piedra semipreciosa, tanto en la provincia de Barahona que en la capital Santo Domingo o Puerto Plata.

La explotación se realiza en condiciones muy peligrosas por pequeñas galerías con máxima pendiente que siguen la vetas estrechas (>3m de potencia) y discontinuas, sin uso de explosivos ni aire comprimido. En los últimos años el recogido de las galerías está enmaderado y el uso de pequeñas plantas eléctricas se generaliza. El riesgo de deslizamiento, ya importante por la configuración topográfica natural del valle encajonado del Río Brazo Seco, está aumentado por el recién descalce de la "Mina Nueva".

#### 7.4.2.1. Geología del yacimiento

La estrecha banda de volcanitas basálticas de la Fm Dumisseau (Cretácico superior) que encaja el yacimiento de Los Cheseses, entre 700 y 850 m de altitud, está limitada al Sur por la Falla regional OSO-ENE de Brazo Seco (desgarre sinestro) y cubiertas al Norte por las calizas de la Ud de Polo. La extensión expuesta es de 800 m y la superficie del orden de 0,4 km<sup>2</sup>.

La serie volcánica, muy corta, se reduce a rocas basálticas muy fracturadas, surmontadas por piroclastitas básicas de color rojizo a verdoso, posiblemente retrabajada (debris flow), con clastos poligénicos gruesos (10 cm) a la base y más finos hacia el techo (Fig. 12). La secuencia parece repetida hasta 6 veces, en parte probablemente por las complicaciones tectónicas de esta zona de falla regional.

Pequeños niveles (0,5 a 2 m de espesor) de arcillas grises y verdosas, con fragmentos de materia orgánica, se observan en los basaltos, cerca de la base de las piroclastitas rojizas. Estos niveles rojizos arcillosos (guía de los mineros por soportar la mejor calidad de Larimar) contienen tallos, ramos y otros materiales carbonosos y corresponden probablemente a un paleosuelo colonizado por la vegetación (Espí, 2007).

La alteración hidrotermal, al origen del Larimar, es casi omnipresente, pero de intensidad variable, más fuerte en los niveles arcillosos y a su base inmediatamente inferior. La asociación original, plagioclasas, olivino y piroxeno, está reemplazada por minerales hidratados: serpentina, clorita talco, limolita, y en menor proporción anfíboles y pectolita así que calcita, thomsonita o natrolita y cuarzo. El cobre nativo también es presente, en pequeñas manchas milimétricas, asociado al Larimar.

Durante el levantamiento de las Hojas de La Ciénaga, Enriquillo y Polo, se ha podido comprobar la generalización del hidrotermalismo en las volcanitas de la zona costera o del interior de la Sierra de Bahoruco, con localmente pequeñas trazas de Larimar pero nada de llamativo y tampoco se encontraron troncos o ramos fósiles carbonizados.

Las extensiones inmediatas de la mina de Los Cheseses sólo se pueden estudiar por sondeos, debido a la topografía muy encajada y la densa vegetación que cubre esta zona.

En cuanto a la Mina, parece difícil seguir muy lejos con la técnica artesanal utilizada actualmente.

Los trabajos subterráneos modernos son probablemente desproporcionados con el pequeño tamaño de los niveles portadores (<3m) y fuera del alcance de la técnica de los obreros locales.

Una explotación a cielo abierto, con escalones apropiados a la fuerte pendiente y a la inestabilidad de los terrenos, permitiría trabajar en condiciones mucho más sanas y seguras de lo que se realiza actualmente. Evidentemente la ayuda de una maquinaria pesada (bulldozer) es necesaria en un primer tiempo para la descubierta y la preparación de los escalones. Por otro lado, el importante movimiento de material originado puede ser incompatible con las condiciones medioambientales de la zona.



Foto 120: Mina de los Cheseses, Hoja de La Ciénaga  
(116MJ9181\_1; Lat: 18,11905607; Long: -71,14348481)

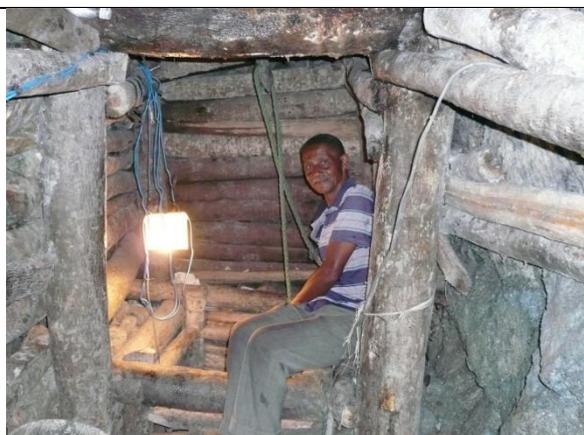


Foto 121: Pozo artesanal en la Mina de los Cheseses, Hoja de La Ciénaga (116MJ9181\_1; Lat: 18,11905607; Long: -71,14348481)



Foto 122: pequeñas galerías de explotación del larimar al contacto basaltos hidrotermalizados y debris flows rojizos; Mina de los Cheseses, Hoja de La Ciénaga (116MJ9181\_1; Lat: 18,11905607; Long: -71,14348481)



Foto 123: fuerte pendiente del flanco de la mina de larimar con bloques métricos de debris flows rojizos muy peligrosos; Mina de los Cheseses, Hoja de La Ciénaga (116MJ9181\_1; Lat: 18,11905607; Long: -71,14348481)

#### 7.4.2.2. El Larimar

El Larimar es una piedra semipreciosa de color verde azulado a azul intenso, cortada, pulida y según la calidad, vendida directamente o montada con plata u oro. El color azul turquesa intenso es el más cotizado. Los precios durante la primera década del 2000 han variado entre 100-300 pesos dominicanos por libra de larimar bruto comprado en la zona de producción (2,6-13,2 €/kg o 3,6-18,1US\$/kg) y 30-40 pesos/g (600-800€/kg o 800-1100\$/kg) después de transformación. Para una pieza de excepción los precios suben hasta 50-60 pesos/g (1000-1200€/kg o 1370-1645 \$/kg) en los talleres de la zona de producción y pueden duplicarse en Santo Domingo o Puerto Plata.

Las cifras de producción, muy difíciles a establecer, debido al carácter artesanal de la explotación, serían del orden de 10 T/año.

El Larimar es una pectolita, silicato hidratado de calcio y sodio con manganeso:

- composición:  $\text{NaCa}_2\text{Si}_3\text{O}_8(\text{OH})$
- dureza: 4,5-5
- color: varía entre blanco, verde-azulado, azul-verdosa y azul-turquesa intenso
- Clivaje: perfecto en dos dimensiones, no visible en la forma compacta
- Sistema cristalino: triclinico
- Uso roca ornamental y semipreciosa

La variedad blanca no tiene valor comercial.

La coloración de la pectolita durante la fase hidrotermal parece ligada a la presencia de vanadio (K. Bente, R. Thum y J. Wannemacher, 1991) o manganeso y cobre (Espí, 2007) con un papel probablemente importante de la materia orgánica.

En la Foto 124 se puede apreciar el avance de la transformación en pectolita de troncos o ramos fosilizados por coladas o debris flows en las laderas de un edificio volcánico aéreo colonizado por la vegetación. El avance se hace en general de forma radial y más raramente de forma concéntrica. Al microscopio, se puede ver este proceso de sustitución de los tejidos vegetales (Foto 125, Foto 126) (Espí, 2007).



Foto 124: Evolución de la sustitución por la pectolita de los tallos vegetales carbonizados

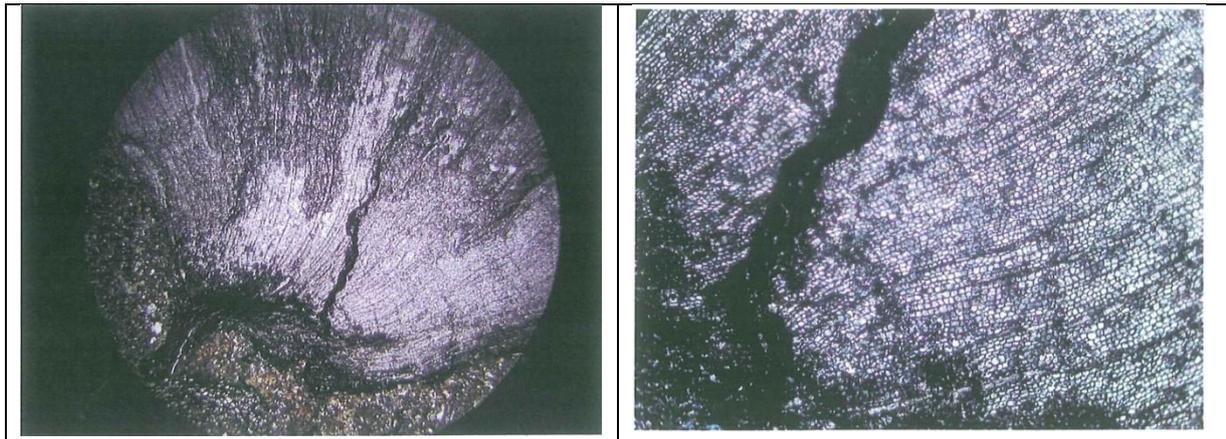


Foto 125: Estructura de los tejidos vegetales substituidos por la pectolita X2,5 (Foto J.A. Espí Rodríguez, 2007)



Foto 126: Progresión de la pectolita a través de las fracturas radiales y concéntricas en tallo orgánico y figuras poligonales de crecimiento de la pectolita fibroso-radiada X2,5 (Foto J.A. Espí Rodríguez, 2007)

En conclusión, J.A. Espí (Proyecto SYSMIN, 2007) ha mostrado que las condiciones para la obtención de un yacimiento de Larimar parecen tan complejas que, hasta hoy, solo se han encontrado reunidas en la mina de Los Cheseses:

- edificio volcánico básico aéreo, colonizado por vegetación (paleosuelo)
- fosilización de la materia orgánica (troncos, ramos etc.) por coladas o debris flows
- alteración hidrotermal de las volcanitas básicas originando la pectolita
- coloración azul turquesa de la pectolita por trazas de manganeso y cobre (lixiviación de los basaltos) en presencia de la materia orgánica.



Foto 127: Taller en Santo Domingo: montaje de las piezas con plata u oro



Foto 128: Lijado y pulido del larimar



Foto 129: cabujones de larimar



Foto 130: Piezas de larimar para la venta

## 8. LUGARES DE INTERÉS GEOLÓGICO

### 8.1. Introducción

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

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

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

## **8.2. Relación de los Lugares de Interés Geológicos.**

La Hoja de La Ciénaga dispone de una maravillosa costa salvaje con la terminación NE de la Sierra de Batoruco en el Mar Caribe. Las volcanitas basálticas del Cretácico que afloran tanto en la costa como en el interior, abarcan la única mina de Larimar del mundo. Por encima se desarrolló una serie carbonatada del Eoceno al Mioceno. La red de carreteras, asfaltas o no es bastante densa y permite un buen acceso a esta magnífica región. Se han seleccionado cuatro puntos como Lugares de Interés Geológico, situados en las zonas más accesibles (Tabla 12 y Fig. 36).

El primer L.I.G. (LIG1abcd) corresponde a la mina de Larimar encajada en las volcanitas basálticas de la Fm Dumisseau (Cretácico) surmontadas por las calizas de la Ud de Polo (Eoceno inferior-medio)

El segundo LIG (LIG2abc) corresponde a las volcanitas basálticas de la Fm Dumisseau en la playa de San Rafael, donde se puede ver una panorámica de la zona de deslizamiento al contacto basaltos - calizas masivas de la Ud de Polo y los riesgos actuales para las habitaciones del frente de montaña.

El tercer LIG corresponde un tramo del Río Batoruco que corta las calizas masivas de la Ud de Polo y tableadas de la Fm Neiba Mb inferior

El cuarto LIG (LIG4ab) permite la observación de una falla actual que afecta las gravas del abanico aluvial antiguo de la Playa Azul, así que dos pequeños afloramientos de calizas de la Fm Neiba Mb inferior (Eoceno superior).

N° de LIG	Lat. (°dec) WGS84	Long (°dec) WGS84	Provincia	Municipio	Paraje
LIG1a	18,11905607	-71,14348481	Barahona	La Ciénaga	Mina de Larimar de Los Cheseses (116MJ9181)
LIG1b	18,11967524	-71,1396366	Barahona	La Ciénaga	Mina de Larimar de Los Cheseses (116MJ9176)
LIG1c	18,12002954	-71,13784254	Barahona	La Ciénaga	Mina de Larimar de Los Cheseses (116MJ9177)
LIG1d	18,12104098	-71,13444879	Barahona	La Ciénaga	Mina de Larimar de Los Cheseses (116MJ9182)
LIG2a	18,03052984	-71,13629146	Barahona	La Ciénaga	San Rafael (116MJ9142)
LIG2b	18,03398226	-71,12959013	Barahona	La Ciénaga	San Rafael (116MJ9145)
LIG2c	18,01424808	-71,13781697	Barahona	La Ciénaga	San Rafael (116MJ9280)
LIG3a	18,08223554	-71,12571619	Barahona	La Ciénaga	Río Bahoruco_Neiba inf (116MJ9195)
LIG3b	18,08089326	-71,1203226	Barahona	La Ciénaga	Río Bahoruco_Polo (116MJ9194)
LIG3c	18,07947856	-71,09963958	Barahona	La Ciénaga	Río Bahoruco_Terraza (116MJ9189)
LIG4a	18,15420952	-71,05915214	Barahona	La Ciénaga	Playa Azul (116MJ9103)
LIG4b	18,15033968	-71,06074453	Barahona	La Ciénaga	Arroyo Feo (116MJ9343)

Tabla 12: Situación y coordenadas de los Lugares de Interés Geológico de la Hoja de La Ciénaga

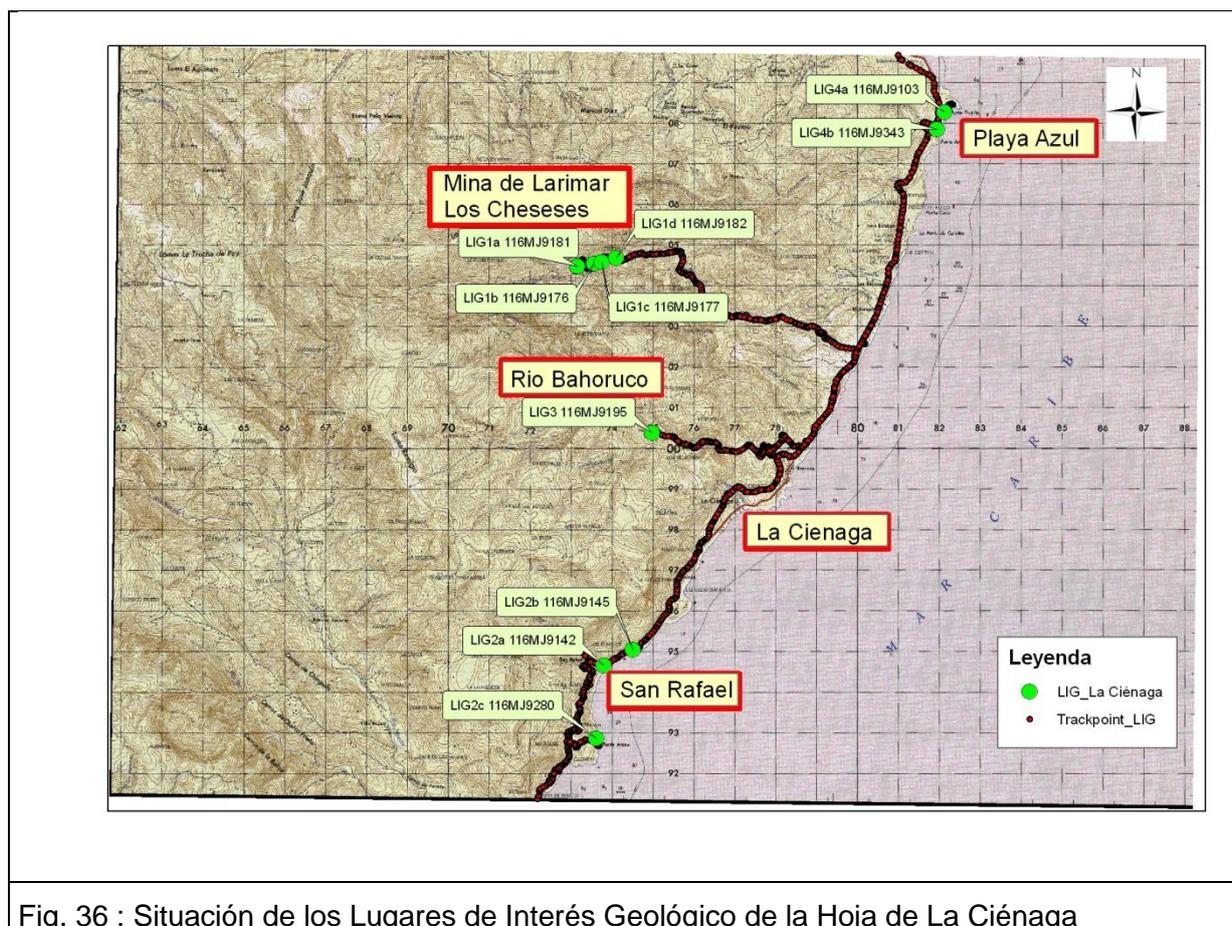


Fig. 36 : Situación de los Lugares de Interés Geológico de la Hoja de La Ciénaga

### 8.3. Descripción de los Lugares

Se describen cuatro L.I.G. situados en condiciones de acceso fácil (Fig. 36). El interés principal es petrológico y estructural. Por una posible utilización se pueden catalogar como didácticos y científicos, en tanto que el ámbito de influencia es local a internacional.

#### 8.3.1. L.I.G. Nº 1 Mina de Larimar de Los Cheseses (La Ciénaga)

Desde Pontevedra, al Norte de La Ciénaga, en la costa del Mar Caribe, se sube a la mina de Larimar de Los Cheseses (LIG1a:116MJ9181) en ½ hora, por una carretera sin asfaltar que atraviesa primero las calizas margosas tableadas de la Fm Neiba Mb superior (Oligoceno-Mioceno inferior) y luego las calizas de la Ud de Polo. Las volcanitas basálticas de la Fm Dumisseau (Cretácico), afloran en un núcleo anticlinal, limitado al Sur por la falla regional de dirección ESE-ONO a nivel del arroyo Brazo Seco

Más de 300 obreros están explotando la mina por pequeñas galerías artesanales (Foto 131; Foto 132; Foto 133) ubicadas al límite de los basaltos hidrotermalizados y de las piroclastitas y debris flows rojizos De hecho, los mineros utilizan como nivel guía los paleosuelos, con

arcillas rojizas y materia orgánica fosilizada (truncos, ramos, etc.) por coladas o debris flows. Durante la alteración hidrotermal la materia orgánica parece haber favorecido la coloración de la pectolita ( $(\text{SiO}_3)_3\text{Ca}_2\text{NaH}$ ) en azul turquesa por trazas de manganeso y cobre. El cobre nativo se observa frecuentemente asociado al larimar.



Foto 131: Mina de los Cheseses, Hoja de La Ciénaga (116MJ9181\_1; Lat: 18,11905607; Long: -71,14348481)



Foto 132: pequeñas galerías de explotación del larimar al contacto basaltos hidrotermalizados y debris flows rojizos; Mina de los Cheseses, Hoja de La Ciénaga (116MJ9181\_1; Lat: 18,11905607; Long: -71,14348481)



Foto 133: fuerte pendiente del flanco de la mina de larimar con bloques métricos de debris flows rojizos muy peligrosos; Mina de los Cheseses, Hoja de La Ciénaga (116MJ9181\_1; Lat: 18,11905607; Long: -71,14348481)

El LIG1b (116MJ9176) corresponde a la entrada de la galería horizontal realizada en el marco de un proyecto SYSMIN para el reconocimiento de la parte inferior de la mina.

A proximidad, el LIG1c (116MJ9177) permite observar un dique dolerítico (N70°E-70°NO) de 2m de potencia cortando la serie basáltica.

La serie basáltica está cubierta por una facies particular de las calizas de la Ud de Polo de color café en bancos decimétricos, visible en el por El LIG1d (Fig. 12).

El interés de este LIG es fundamentalmente científico, con contenido esencialmente mineralógico, petrográfico y tectónico. Su importancia puede considerarse como de nivel internacional: se trata del único yacimiento de Larimar (Pectolita azul turquesa) conocida en el mundo).

### **8.3.2. L.I.G. N° 2: Volcanitas basálticas de la Fm Dumisseau y panorámica de la zona de derrumbe (San Rafael)**

El acceso al L.I.G. N° 2 ubicado en la playa de San Rafael, al Sur de la Hoja de La Ciénaga, es fácil por la carretera principal La Ciénaga-San Rafael.

El LIG2a corresponde al balneario de San Rafael donde se puede aparcar y disfrutar de un refresco o de una comida tradicional con pescado fresco. Los afloramientos de basaltos vesiculares de la Fm Dumisseau (Cretácico) del borde de la Ctra. están muy fracturados por la Falla de Beata que afecta la totalidad de la costa del Mar Caribe, limitando la Sierra de Bahrucó con la dirección regional SSO-NNE. Las gravas del abanico aluvial del Arroyo de

la Isleta recubren una parte del afloramiento y están muy bien visibles en el Balneario donde surge el agua del Arroyo Isleta.

En el LIG2b ubicado un poco más al Norte, se observan, en la Carta y en la playa, varias facies de la Fm Dumisseau: basaltos masivos o muy vesiculares, pillow lavas, brechas, más o menos hidrotermalizados



Foto 134 : Basaltos fracturados de la Fm Dumisseau (Cretácico) San Rafael (116MJ9142\_4; Lat: 18,03052984; Long: -71,13629146)



Foto 135 : Abanico antiguo del Balneario de San Rafael (116MJ9142\_7; Lat: 18,03052984; Long: -71,13629146)



Foto 136 : Basaltos vesiculares de la Fm Dumisseau (Cretácico superior) Playa de San Rafael (116MJ9145\_4; Lat: 18,03398226; Long: -71,12959013)



Foto 137 : Basaltos hidrotermalizados de la Fm Dumisseau (Cretácico) San Rafael (116MJ9143\_8; Lat: 18,03280083; Long: -71,13228014)



Foto 138 : Basaltos hidrotermalizados de la Fm Dumisseau (Cretácico) San Rafael (116MJ9143\_1; Lat: 18,03280083; Long: -71,13228014)

El LIG2c está ubicado a 2km al Sur de San Rafael, en Punta Arena. El acceso se hace en ¼ de hora, bajando a pie por un sendero desde la Ctra. hasta la playa, a través cacao y bloques de calizas derrumbados de la Sierra.

En la Playa los basaltos y las brechas están plegados y fracturados por la Falla de Beata SSO-NNE y un sistema de falla ESE-ONO y NS.



Foto 139 : Dique basáltico cortando las brechas basálticas de la Fm Dumisseau; (Cretácico) Punta Arena Costa SE de la Hoja de La Ciénaga SO (116MJ9280\_7; Lat: 18,06628319; Long: -71,1092802)



Foto 140 : Pliegue métrico (eje: N45°E-30°SO) en las brechas y lavas basálticas de la Fm Dumisseau; (Cretácico) Punta Arena Costa SE de la Hoja de La Ciénaga SO (116MJ9280\_3; Lat: 18,06628319; Long: -71,1092802)

El interés de este punto es fundamentalmente científico, con contenido esencialmente petrográfico y tectónico y. Su importancia puede considerarse como de nivel regional.

### 8.3.3. L.I.G. N°3: Calizas de la Ud de Polo y Fm Neiba Mb Inf (Eoceno) y terrazas colgadas ( Río Bahoruco)

El L.I.G. N° 3, corresponde al corte del Río Bahoruco, al Norte de La Ciénaga.

El acceso es fácil en todoterreno por la ctra. sin asfaltar que sigue más o menos el Río Bahoruco. A nivel de Bahoruco, entrando por Casa Bonita se puede llegar directamente al LIG3a en ¼ h atravesando las volcanitas de la Fm Dumisseau (Cretácico), las calizas masivas de la Ud de Polo (Eoceno inferior-medio) y las calizas tableadas de la Fm Neiba Mb inferior (Eoceno superior). El valle protegido por un bosque denso es muy fresco y el Río Bahoruco con sus aguas turquesas es precioso; varios pequeños balnearios muy tranquilos están aprovechados por los locales.

En el LIG3a afloran las calizas tableadas con silex del Mb inferior de la Fm Neiba. En la orilla derecha del Río Bahoruco se observa un típico anticlinal decamétrico en cofre con eje de dirección N120°E. Las capas son poco inclinadas al SO (N120°E-20°SO) (Foto 141) y verticalizadas al NE (N120-80°NE) (Foto 144); la charnela no se ve. En las capas poco inclinadas afectadas por pliegues secundarios se observan lentejones y nódulos de silex, de color gris o rojo (Foto 142; Foto 143).



Foto 141 : Fm Neiba Mb inferior: calizas blancas con lentejones y nódulos de silex ovoide dcm (Eoceno superior-Oligoceno basal) Río Bahoruco (116MJ9195\_2; Lat: 18,08223554; Long: -71,12571619)



Foto 142 : Fm Neiba Mb inferior: calizas blancas con silex ovoide dcm (Eoceno superior-Oligoceno basal) Río Bahoruco (116MJ9195\_4; Lat: 18,08223554; Long: -71,12571619)



Foto 143 :Nódulo de silex en las calizas blancas de la Fm Neiba Mb inferior: (Eoceno superior-Oligoceno basal) Río Bahoruco (116MJ9195\_6; Lat: 18,08223554; Long: -71,12571619)

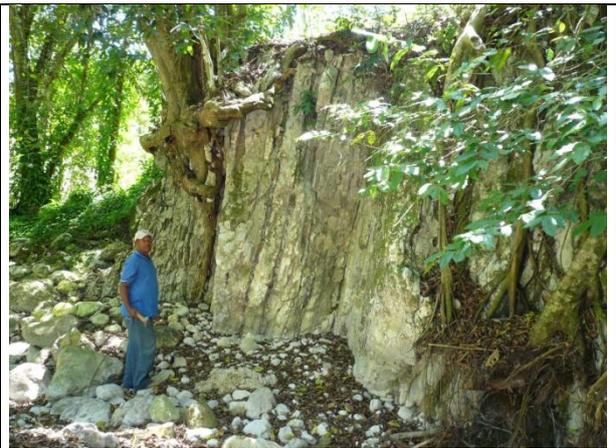


Foto 144 : Capas verticalizadas de las calizas de la Fm Neiba Mb inferior (Eoceno superior-Oligoceno basal) Río Bahoruco (116MJ9195\_5; Lat: 18,08223554; Long: -71,12571619)

El LIG3b está situado 500m aguas abajo, y corresponde a la potente barra de calizas masivas con rodolitos de la Ud de Polo (Eoceno inferior) que estructura la Loma Membrillo.

El LIG3c está ubicada a 2 km aguas abajo. En el borde izquierdo del meandro del Río Bahoruco, se destaca una pequeña terraza blanca colgada sobre los basaltos de la Fm Dumisseau a 50m de altura o sea 40m por encima del curso actual del Río. Quitando la Ctra. principal se puede subir con un todoterreno hasta el afloramiento (Foto 84Foto 85).



Foto 145 : Terraza colgada sobre la basaltos de la Fm Dumisseau a 40m por encima del Río Bahoruco actual, (116MJ9189\_1; Lat: 18,07947856; Long: -71,09963958)



Foto 146 : Gravas de calizas blancas de la Terraza colgada sobre los basaltos de la Fm Dumisseau de color marrón (116MJ9189\_1; Lat: 18,07947856; Long: -71,09963958)

El interés de este punto es turístico y científico, con contenido esencialmente estratigráfico y tectónico. Su importancia puede considerarse como de nivel local.

### 8.3.4. L.I.G. N°4: Falla actual en las gravas del abanico aluvial antiguo (Playa Azul)

El L.I.G. N° 4, está ubicado en la Playa Azul, al NE de la Hoja de La Ciénaga. Desde Barahona se accede en ¼ h por la ctra. de la costa.

Esta zona se encuentra a la junción de 2 sistemas de fallas regionales: ONO-ESE del frente Norte de la Sierra de Batoruco cabalgando la cuenca del Lago enriquillo y OSO-ENE de la Falla de Brazo Seco (desgarre sinestro). (Foto 147)



Foto 147 : Vista general del Hotel de la Playa Azul: abanico aluvial antiguo rojizo al primer plano relieve correspondiendo a las calizas de la Fm Neiba (Eoceno superior-Mioceno inferior) y Ud de Barahona (Mioceno medio-superior); Playa Azul, NE de la Hoja de La Ciénaga (116MJ9103\_26; Lat: 18,15420952; Long: -71,05915214)

El LIG4a corresponde a las gravas del abanico antiguo (Pleistoceno) del Río Yaque del Sur, afectadas por una falla actual EO, subvertical. El desplazamiento vertical es del orden de 1,5 m. (Foto 148; Foto 149; Foto 150; Foto 151)

Hacia el Norte de la Playa afloran las calizas micríticas blancas con silex de la Fm Neiba Mb inferior, muy fracturadas (Foto 152) y los arrecifes que constituyen la Punta Prieta

El LIG4b está ubicado al Sur de la Playa Azul a la desembocadura del Arroyo Feo donde afloran también las calizas con silex, plegadas de la Fm Neiba Mb Inferior, cubiertas por las gravas del abanico aluvial (Foto 155)

El interés de este punto es fundamentalmente científico, con contenido esencialmente tectónico y estratigráfico. Su importancia puede considerarse como de nivel nacional.



Foto 148 : abanico aluvial antiguo afectado por falla actual EO; Playa Azul NE de la Hoja de La Ciénaga (116MJ9103\_10; Lat: 18,15420952; Long: -71,05915214)



Foto 149 : Falla actual afectando las gravas y limos rojizos del Abanico aluvial antiguo; Playa Azul, NE de la Hoja de La Ciénaga (116MJ9103\_6; Lat: 18,15420952; Long: -71,05915214)



Foto 150 : detalle de juego actual de la Falla en el abanico aluvial antiguo; Playa Azul, NE de la Hoja de La Ciénaga (116MJ9103\_1; Lat: 18,15420952; Long: -71,05915214)



Foto 151 : Abanico aluvial antiguo afectado por falla actual EO; Playa Azul, NE de la Hoja de La Ciénaga (116MJ9103\_1; Lat: 18,15420952; Long: -71,05915214)



Foto 152 : Calizas masivas con silex de la Fm Neiba Mb inferior cubiertas por las gravas y arcillas rojizas del Abanico aluvial antiguo; norte de la Playa Azul , NE de la Hoja de La Ciénaga (116MJ9104\_1; Lat: 18,15479851; Long: -71,0585421)

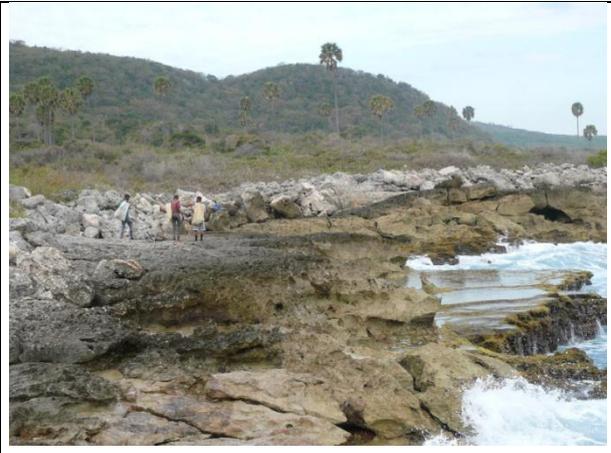


Foto 153 : Pequeña raza en la parte superior de los arrecifes; Punta Prieta, NE de la Hoja de La Ciénaga (116MJ9103\_19; Lat: 18,15420952; Long: -71,05915214)



Foto 154 : pliegue en cofre en las calizas Fm Neiba Mb inferior cubiertas por las gravas del Abanico aluvial antiguo. Punta Arroyo Feo (NE de la Hoja de La Ciénaga) (116MJ9343\_3; Lat: 18,15033968; Long: -71,06074453)



Foto 155 : Calizas con sílex de la Fm Neiba Mb inferior por debajo del abanico aluvial antiguo ocre. Punta Arroyo Feo (NE de la Hoja de La Ciénaga) (116MJ9343\_5; Lat: 18,15033968; Long: -71,06074453)

## 9. BIBLIOGRAFÍA

- ABAD, M., MORENO, F., PÉREZ-VALERA, F., RODRÍGUEZ VIDAL, J., MEDIATO, J., JOUBERT, M., CÁCERES, L.M., RUIZ, F. (2009).** Análisis geomorfológico y sedimentario de terrazas marinas pleistocenas en la vertiente meridional de la Sierra de Bahoruco (SO República Dominicana). VII Reunión del Cuaternario Ibérico. Faro (Portugal).
- ABAD, M., PÉREZ-VALERA, F., RODRÍGUEZ VIDAL, J., HERNAIZ, P. P., PÉREZ-ESTAÚN, A., RUIZ, F., CÁCERES, L. M. (2008b).** Análisis morfosedimentario de niveles escalonados marinos plio-cuaternarios: un caso de estudio en las costas norte y suroeste de la República Dominicana. 18 Conferencia Geológica del Caribe. Santo Domingo, República Dominicana.
- ARICK, M.B., (1940a).** Report on the geology of Hispaniola. Unpublished reports, Dominican Seaboard Oil Co. 12 p.
- ARICK, M.B., (1940b).** Dominican Seaboard Oil Co., Inc., Annual report of Geological department. Unpublished reports, Dominican Seaboard Oil Co 34 p.
- 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.
- BEALL, R., (1943).** Geological map and report on the eastern portion of the Cibao Basin, Dominican Republic, New York Office, Dominican Seaboard Oil Co. Scale 1/100,000 unpublished report.
- BERMUDEZ, P., (1949).** Tertiary smaller foraminifera of the Dominican Republic. Cushman Laboratory for Foraminifera Research Special Publication 25, 322 p.
- BENTE K., THUM R., WANNEMARCHER J. (1991)** "Colored Pectolites so called Larimar, from Sierra de Bahoruco, Barahona Province, southern Dominican Republic". N. Jb. Miner. Mh, Jg, , H-1. Stuttgart, January 1991
- BILICH, A., FROHLICH, C., AND 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.

- 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.
- BOURGEOIS, J., GLACON, G., TAVARES, I., VILA, J. (1979a).** Découverte d'une tectonique récente à vergence sud dans la Sierra de Neiba (Île d'Hispaniola, République Dominicaine, Grandes Antilles) *Comptes Rendus Académie Sciences, Séries D, Paris*, 289, 257-260.
- BOWIN C. (1975):** The geology of Hispaniola, En: *The ocean basins and margins; Volume 3, The Gulf of Mexico and the Caribbean*, (NAIM A. y STEHLI F., Eds.), New York, Plenum Press, 501-552.
- BOWIN, C. (1966).** Geology of the central Dominican Republic. A case history of part of an island arc. In Hess H.H. ed., *Caribbean geological investigations. Geological Society of America Memoir* 98, p. 11-98.
- BREUNER, T., (1985).** The geology of the Sierra de Neiba, Dominican Republic, [M.S. thesis]. : Washington, D.C., Geoge Washington University, 128 p.
- 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.
- BURKE, K. (1988).** Tectonic evolution of the Caribbean. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 16, 201-230.
- BELLON, H., VILA, J.M., & MERCIER DE LEPINAY, B., 1985.** Chronologie K-Ar et affinités géochimiques des manifestations magmatiques au Crétacé et au Paléogène dans l'île d'Hispaniola. En: *Géodynamique des Caraïbes.. Editions Technip. Géodynamique des Caraïbes.* p. 329-340.
- BERMÚDEZ, P. J., 1949.** Tertiary smaller Foraminifera of the Dominican Republic. *Cushman Laboratoir of Foraminiferal Research, Special Publication*, 25, p. 1-322.
- 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 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, 125-142.

- CALAIS, E., BETHOUX, N., MERCIER DE LÉPINAY, B. (1992a).** 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., MAZABRAUD, Y., MERCIER DE LÉPINAY, B., MANN, P., MATTIOLI, G. JANSMA, P. (2002).** Strain partitioning and fault slip rates in the northeastern Caribbean from GPS measurements. *Geophysical Research Letters* 106(6), 1-8.
- CALAIS, E., MERCIER DE LÉPINAY, B. (1995).** Strike-slip tectonic processes in the northern Caribbean between Cuba and Hispaniola (Windward Pasaje). *Marine Geophysics Research* 17, 63-95.
- COMPAGNIE GENERALE DE GEOPHYSIQUE (CGG) (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.
- COOKE, C. W., (1920).** Geologic reconnaissance in Santo Domingo (Abst). *Geological Society of America, Bulletin*, 31, p. 217-219.
- COOPER, C., (1983).** Geology of the Fondo Negro region, Dominican Republic, [M.S. thesis]. : Albany, State University of New York, 145 p.
- DE LA FUENTE, S., (1976).** Geografía dominicana: Santo Domingo, Dominican Republic, Editorial Colegial Quisqueyana, 272 p.
- DE LEÓN, R.O. (1983).** Aspectos geológicos e hidrogeológicos de la región suroeste. Publicaciones especiales. Museo Nacional de Historia Natural. Santo Domingo, 25 p.
- DE LEÓN, R.O. (1989).** Geología de la Sierra de Batoruco (República Dominicana). Museo Nacional de Historia Natural. Santo Domingo, 112 p.
- DE METS, 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.
- DESCHAMPS, Y., (2004 b).** Mapa Geológico de la Hoja a escala 1:50.000 n° 5871-IV (Boca Cachón) y Memoria correspondiente. Servicio Geológico Nacional, Santo Domingo, 135 p.
- De ZOETEN R., MANN P. (1991):** Structural geology and Cenozoic tectonic history of the central Cordillera Septentrional, Dominican Republic. En: Geologic and tectonic development of the North America-Caribbean plate boundary in Hispaniola (Mann P.,

Draper G. y Lewis J.F., Eds.), Geological Society of America Special Paper, 262, 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. Caribbean Basins. Sedimentary basins of the world edited (Mann, P. Ed., Series editor Hsü, K.J.), 247-286.

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

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

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

**DÍAZ DE NEIRA, J. A. SOLÉ PONT, F. J. (2002).** Precisiones estratigráficas sobre el Neógeno de la cuenca de Azua (República Dominicana) - Stratigraphic precisions about the Neogene of the Azua basin (Dominican Republic). Acta Geologica Hispanica 37, 163-181.

**DÍAZ DE NEIRA, J.A. (2004a).** Mapa Geológico de la Hoja a E. 1:50.000 nº 5970-I (Barahona) y Memoria correspondiente. Proyecto “L” (Zona SO) de Cartografía Geotemática de la República Dominicana. Programa SYSMIN. Servicio Geológico Nacional, Santo Domingo.

**DÍAZ DE NEIRA, J.A. (2004b).** Mapa Geológico de la Hoja a E. 1:50.000 nº 5971-I (Villapando) y Memoria correspondiente. Proyecto “L” (Zona SO) de Cartografía Geotemática de la República Dominicana. Programa SYSMIN. Servicio Geológico Nacional, Santo Domingo.

**DIAZ DE NEIRA, J.A., MARTÍN-SERRANO, A., PEREZ CERDÁN, F., y ESCUER, J.: (2007).** Aplicación de la cartografía de procesos activos a la Hoya de Enriquillo (suroeste de la República Dominicana). Active processes application to Hoya de Enriquillo (southwest of the Dominican Republic). Boletín Geológico y Minero, vol. 118, núm. 2. Revista de Ciencias de la Tierra. Journal of earth Sciences, 401-413 p.

**Servicio Geológico Nacional (SGN), BUNDESANSTALT FUR  
GEOWISSENSCHAFTEN UND ROHSTOFFE (BGR). COOPERACIÓN MINERA**

**DOMINICO-ALEMANA (1991).** Mapa geológico de la República Dominicana Escala 1:250.000.

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

**DOHM, C. F., (1943).** Geologic map and report on the western portion of the Cibao Basin, Dominican Republic: New York Office, Dominican Seabord Oil Co., scale 1:100,000, unpublished report.

**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.

**DOLAN, J. F., MANN, P. (1998).** Preface; Active strike-slip and collisional tectonics of the northern Caribbean Plate boundary zone. *Special Paper-Geological Society of America* 326, 5-16

**DOLAN, J.F. (1988).** Paleogene sedimentary basin development in the eastern Greater Antilles; three studies in active-margin sedimentology. Ph.D. Thesis, University of California, Santa Cruz, 235 p.

**DONNELLY T.W. (1973).** Late Cretaceous basalts from the Caribbean, a possible flood basalt province of vast size. *EOS Transactions American Geophysical Union.* 54, 1004.

- DONNELLY T.W. (1989).** Geologic history of the Caribbean and Central America. In: An Overview. The geology of North America (A.W. Bally, A.R. Palmer, Eds.). Geological Society of America, Boulder, Colorado, Vol. A, 299-321.
- DONNELLY T.W., (1994).** The Caribbean sea floor. In S.K. Donovan, T.A. Jackson (eds.). Caribbean Geology: An Introduction. U.W.I. Publ Assoc, Kingston, p. 41-64.
- 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. En: The Caribbean Region, The Geology of North America (Dengo, G., Case, J. Eds). Geol. Soc. America. Boulder, Vol. H, 339-374.
- DRAPER G., LEWIS J.F. (1991).** Metamorphic belts in central 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, 29-45.
- DRAPER G., NAGLE F. (1991).** Geology, structure, and tectonic development of the Río San Juan Complex, northern 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, 77-95.
- DRAPER G., GUTIERREZ G., LEWIS J.F. (1996).** Thrust emplacement of the Hispaniola peridotite belt: Orogenic expression of the Mid Cretaceous Caribbean arc polarity reversal. *Geology*, v.24 (12): p. 1143-1146.
- DRAPER, G., GUTIERREZ-ALONSO, G. (1997).** La estructura del Cinturón de Maimón en la isla de Hispaniola y sus implicaciones geodinámicas. *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 10, 281-299
- DRAPER, G., MANN, P., LEWIS, J. F. (1994).** Hispaniola. En: Caribbean Geology: An introduction. (Donovan, S.K., Jackson, T.A. Eds.), Kingston, Jamaica, University of the West Indies Publishers Association, 129-150.
- DRAPER, G., GUTIERREZ, G., LEWIS, J.F. (1996).** Thrust emplacement of the Española peridotite belt: Orogenic expression of the Mid Cretaceous Caribbean arc polarity reversal. *Geology* 24 (12), 1143-1146.
- EPTISA (2004).** Informe de la unidad hidrogeológica de la Sierra de Bahoruco y Península Sur de Barahona. Programa SYSMIN, 193 pp.

**ESCUDER VIRUETE J., CONTRERAS F., JOUBERT M., URIEN P., STEIN G., WEIS D. y PEREZ-ESTAUN A. (2007a).** Tectonica y geoquimica de la formación Amina: registro del arco isla Caribeno primitivo en la Cordillera Central, Republica Dominicana. Boletín Geológico y Minero 118 (2), 221-242.

**ESCUDER VIRUETE J., CONTRERAS F., JOUBERT M., URIEN P., STEIN G., LOPERA E., WEIS D., ULLRICH T. y PEREZ-ESTAUN A. (2007b).** La secuencia magmatica del Jurasico Superior-Cretacico Superior de la Cordillera Central, Republica Dominicana. Boletín Geológico y Minero 118(2) 243-268.

**ESCUDER VIRUETE J., DIAZ DE NEIRA A., HERNAIZ HUERTA P.P., MONTHEL J., GARCIA-SENZ J., JOUBERT M., LOPERA E., ULLRICH T., FRIEDMAN R., MORTENSEN J., PEREZ-ESTAUN A. (2006).** Magmatic relationships and ages of Caribbean Island arc tholeiites, boninites and related felsic Rocks, Dominican Republic. Lithos 90, 161-186.

**ESCUDER VIRUETE J., DIAZ DE NEIRA A., HERNAIZ HUERTA P.P., MONTHEL J., GARCIA-SENZ J., JOUBERT M., LOPERA E., ULLRICH T., FRIEDMAN R., MORTENSEN J., PEREZ-ESTAUN A. (2006).** Magmatic relationships and ages of Caribbean Island arc tholeiites, boninites and related felsic Rocks, Dominican Republic. Lithos 90, 161-186.

**ESCUDER VIRUETE, J., CONTRERAS, F., STEIN, G., URIEN, P., JOUBERT, M., BERNARDEZ, E., HERNAIZ HUERTA, P.P., LEWIS, J., LOPERA, E. Y PÉREZ-ESTAÚN, A., (2004).** La secuencia magmática Jurásico Superior-Cretácico Superior en la Cordillera Central, República Dominicana: sección cortical de un arco-isla intraoceánico. Geo-Temas 6(1), 41-44.

**ESCUDER VIRUETE, J., FRIEDMAN, R. PÉREZ-ESTAÚN, A., JOUBERT, M., WEIS, D. (2009).** U-Pb constraints on the timing of igneous and metamorphic events in the Rio San Juan complex, northern Hispaniola. VII Congreso Cubano de Geología. Workshop IGCP-544.

**ESCUDER VIRUETE, J., JOUBERT, M., URIEN, P., FRIEDMAN, R., WEIS, D., ULLRICH, T., PÉREZ-ESTAÚN, A. (2008).** Caribbean island-arc rifting and back-arc basin development in the Late Cretaceous: geochemical, isotopic and geochronological evidence from Central Hispaniola. Lithos 104, 378-404.

- ESCUDER VIRUETE, J., PEREZ-ESTAUN, A. (2006).** Subduction related P-T path for eclogites and garnet glaucophanites from the Samana Peninsula basement complex, northern Hispaniola. *International Journal of Earth Sciences* 95, 995-1017.
- ESCUDER-VIRUETE, J. (2010a).** Informe de petrología de rocas ígneas y metamórficas de la Sierra de Bahoruco. Proyecto SYSMIN II. 30 pp.
- ESCUDER-VIRUETE, J. (2010b).** Informe de geoquímica de rocas ígneas y metamórficas de la Sierra de Bahoruco. Proyecto SYSMIN II. 26 pp.
- GARCIA SENZ, J., (2004 b).** Mapa Geológico de la Hoja a escala 1:50.000 n° 6472-III (Rincón Chavón) y Memoria correspondiente. Servicio Geológico Nacional, Santo Domingo, 79 p.
- ESPI J.A. (1997)** "Análisis y Ordenación de la Minería Artesanal de la República Dominicana". Dirección General de Minería. SYSMIN 1
- ESPI RODRIGUEZ, J.A., (2007).** La pectolita coloreada de la Sierra de Bauruco (Rep.Dominicana): Estudio de su geología y modelo genético, cadena de valor y aspecto social y ambiental (Programa SYSMIN II).
- 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 República Dominicana. *Boletín Geológico y Minero* 18(2), 269-292.
- GENNA, A., (2004 b).** Mapa Geológico de la Hoja a escala 1:50.000 n° 5871-II (Duvergé) y Memoria correspondiente. Servicio Geológico Nacional, Santo Domingo, 110 p.
- GIRARD, D; BECK, C; STEPHAN, JF, et al. (1982).** Petrology, Geochemistry and Geodynamic Significance of Circum Caribbean Cretaceous Volcanic Formations. *BULLETIN DE LA SOCIETE GEOLOGIQUE DE FRANCE* Vol: 24 3 p. 535-544.
- GÓMEZ SÁINZ, A. (2000).** Mapa Geológico de la República Dominicana E. 1:50.000, Constanza (6072). Servicio Geológico Nacional, Santo Domingo, 230 pp.
- GONÇALVES PH, GUILLOT S, LARDEAUX JM, NICOLLET C, MERCIER DE LÉPINAY B. (2000).** Thrusting and sinistral wrenching in a pre-Eocene HP-LT Caribbean accretionary wedge (Samana Peninsula, Dominican Republic). *Geodinamica Acta* 13, 119-132.
- HEDBERG, H. D. (Ed) (1980):** Guía Estratigráfica Internacional. Reverte, Barcelona, 205 pp

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

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

**HERNAIZ HUERTA, P.P. (2004a).** Mapa Geológico de la Hoja a E. 1:50.000 n° 5971-IV (Galván) y Memoria correspondiente. Proyecto “L” (Zona SO) de Cartografía Geotemática de la República Dominicana. Programa SYSMIN. Servicio Geológico Nacional, Santo Domingo

**HERNAIZ HUERTA, P.P. (2004b).** Mapa Geológico de la Hoja a E. 1:50.000 n° 5871-I (La Descubierta) y Memoria correspondiente. Proyecto “L” (Zona SO) de Cartografía Geotemática de la República Dominicana. Programa SYSMIN. Servicio Geológico Nacional, Santo Domingo.

**HERNAIZ HUERTA, P.P. (2007).** La estructura del Sector Meridional de la República Dominicana. Una aproximación a su evolución geodinámica durante el Cenozoico. Tesis Doctoral (Inédita). Universidad Complutense de Madrid. 287 pp.

**HERNAIZ HUERTA, P.P., DÍAZ DE NEIRA, J.A, GARCÍA SENZ, J., DESCHAMPS, I., LOPERA, E., ESCUDER VIRUETE, J., ARDÉVOL ORÓ, LL., GRANADOS L., CALVO J.P. Y PÉREZ ESTAÚN, A. (2007a).** La estratigrafía de la Sierra de Neiba, República Dominicana. En: Pérez-Estaún, A., Hernaiz Huerta, P. P., Lopera, E. y Joubert, M. (Eds.), La Geología de la República Dominicana. Boletín Geológico y Minero 118, 313-336.

**HERNAIZ HUERTA, P.P., DÍAZ DE NEIRA, J.A, GARCÍA SENZ, J., DESCHAMPS, I., GENNA, A., NICOLE, N., LOPERA, E., ESCUDER VIRUETE, J., ARDÉVOL ORÓ, LL., PÉREZ ESTAÚN, A. (2007b).** La estructura de la sierra de Neiba, margen norte de la sierra de Batoruco, Sierra de Martín García y cuenca de Enriquillo de la República Dominicana: un ejemplo de deformación transpresiva. En: Pérez-Estaún, A., Hernaiz Huerta, P. P., Lopera, E. y Joubert, M. (Eds.), La Geología de la República Dominicana. Boletín Geológico y Minero 118, 337-357.

**HERNAIZ HUERTA, P.P., PÉREZ-ESTAÚN, A. (2002).** Estructura del cinturón de pliegues y cabalgamientos de Peralta, República Dominicana. En: Evolución geológica del margen norte de la Placa del Caribe, República Dominicana (Pérez-Estaún, A., Tavares, I., García Cortes, A. y Hernaiz Huerta, P.P., Eds.). Acta Geológica Hispánica 37, 183-205.

**HERNAIZ HUERTA, P.P., PÉREZ-ESTAÚN, A. (2002).** Estructura del cinturón de pliegues y cabalgamientos de Peralta, República Dominicana. En: Evolución geológica del margen norte de la Placa del Caribe, República Dominicana (Pérez-Estaún, A., Tavares, I., García Cortes, A. y Hernaiz Huerta, P.P., Eds.). Acta Geológica Hispánica 37, 183-205.

**HEUBECK C. (1988).** Geology of the southeastern termination of the Cordillera Central, Dominican Republic. M.A. Thesis. University of Texas, Austin, 333 pp.

**HEUBECK, C., MANN, P. (1991).** Structural Geology and Cenozoic Tectonic History of the Southeastern Termination of the Cordillera Central, Dominican Republic. In: Geologic and tectonic development of the North America-Caribbean plate boundary in Hispaniola (Mann, P., Draper, G., Lewis, J.F. Eds.). Geological Society of America Special Paper 262, 315-336.

**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.

**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.

**JOUBERT, M., URIEN, P., ARDÉVOL, LL., BOURDILLON, CH., BONNEMAISON, M., ESCUDER VIRUETE, J., LE GOFF, E., LEROUGE, C., ESCUER, J., LOPERA, E., ANTÓN PACHECO, C., GARCÍA LOBÓN, J.L., MORTENSEN, J.K., ULLRICH, T., FRIEDMAN R. (2004).** Mapa Geológico de la República Dominicana a E. 1:50.000, Lamedero (5973-I). Servicio Geológico Nacional, Santo Domingo, 192 pp.

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

- KERR A.C., ANDREW C., TARNEY J. (1996).** The Caribbean-Colombian Cretaceous Igneous Province: The Internal Anatomy of an Oceanic Plateau. En: AUG Monography on Large Igneous Provinces, (MAHONY J.J., COFIN M. Eds.).
- KERR, A.C., ITURRALDE-VINENT, M.A., SAUNDERS, A.D., BABBS, T.L., AND TARNEY, J. (1999).** A new plate tectonic model of the Caribbean: Implications from a geochemical reconnaissance of Cuban Mesozoic volcanic rocks. Geological Society of America Bulletin 111, 1581–1599.
- KERR, A.C., TARNEY, J., KEMPTON, P.D., SPADEA, P., NIVIA, A., MARRINER, G.F., DUNCAN, R.A. (2002).** Pervasive mantle plume head heterogeneity. evidence from the late Cretaceous Caribbean–Colombian oceanic plateau. Journal of Geophysical Research 107, 1029-2001.
- KERR, A.C., TARNEY, J., MARRINER, G.F., NIVIA, A., SAUNDERS, A.D. (1997).** The Caribbean–Colombian Cretaceous igneous province: The internal anatomy of an oceanic plateau. In: Mahoney, J., Coffin, M.F. (Eds), Large Igneous Provinces. AGU Washington DC. pp. 123–144.
- KESLER S.E., SUTTER J.F., JONES L.M., WALKER R.L. (1977).** Early Cretaceous basement rocks in Hispaniola. Geology 5, 245-247.
- KESLER, S.E., CAMPBELL, I.H., ALLEN, CH.M. (2005).** Age of the Los Ranchos Formation, Dominican Republic: timing and tectonic setting of primitive island arc volcanism in the Caribbean region. Geological Society of America Bulletin 117, 987-995.
- KESLER, S.E., RUSSELL, N., AND MCCURDY, K. (2003).** Trace-element content of the Pueblo Viejo precious-metal deposits and their relation to other high-sulfidation epithermal systems: Mineralium Deposita 38, 668-682.
- KESLER, S.E., RUSSELL, N., REYES, C., SANTOS, L., RODRIGUEZ, A., AND FONDEUR, L. (1990b).** Geology of the Maimon Formation, Dominican Republic, in Mann, P., *et al.*, eds., Geologic and tectonic development of the North America-Caribbean plate boundary in Hispaniola. Geological Society of America Special Paper 262, 173-185.
- KREBS, M. (2008).** Geothermobarometrie und Geochronologie subduktionsbezogener Hochdruckmetamorphite des Rio San Juan Komplexes (nördliche Dominikanische Republik). Inédita. Tesis Doctoral. Ruhr-Universität Bochum, Bochum.

- KREBS, M., MARESCH, W.V., SCHERTL, H.-P., BAUMANN, A., DRAPER, G., IDLEMAN, B., MÜNKER, C., TRAPP, E. (2007).** The dynamics of intra-oceanic subduction zones: A direct comparison between fossil petrological evidence (Rio San Juan Complex, Dominican Republic) and numerical simulation. *Lithos* 103, 106-137.
- LAPIERRE, H., BOSCH, D., DUPUIS, V., POLVÉ, M., MAURY, R., HERNANDEZ, J., MONIÉ, P., YEGHICHEYAN, D., JAILLARD, E., TARDY, M., DE LEPINAY, B., MAMBERTI, M., DESMET, A., KELLER F., SENEBIER, F. (2000).** Multiple plume events in the genesis of the peri-Caribbean Cretaceous oceanic plateau province. *Journal of Geophysical Research* 105, 8403-8421.
- LAPIERRE, H., DUPUIS, V., DE LEPINAY, B.M., BOSCH, D., MONIE, P., TARDY, M., MAURY, R.C., HERNANDEZ, J., POLVE, M., YEGHICHEYAN, D., COTTEN, J. (1999).** Late Jurassic oceanic crust and upper cretaceous Caribbean plateau picritic basalts exposed in the Duarte igneous complex, Hispaniola. *Journal of Geology* 107, 193-207.
- LAPIERRE, H., DUPUIS, V., LEPINAY, B.M., TARDY, M., RUIZ, J., MAURY, R.C., HERNÁNDEZ, J., LOUBET, M. (1997).** Is the Lower Duarte Complex (Española) a remnant of the Caribbean plume generated oceanic plateau?. *Journal of Geology* 105, 111-120.
- LEBRÓN M.C., PERFIT M.R. (1994).** Petrochemistry and tectonic significance of Cretaceous island-arc rocks, Cordillera Oriental, Dominican Republic. *Tectonophysics* 229, 69-100.
- LEWIS J.F., AMARANTE A., BLOISE G., JIMENEZ G., J.G., DOMINGUEZ H.D. (1991).** Lithology and stratigraphy of upper Cretaceous volcanic, and volcanoclastic rocks of Tireo Group, Dominican Republic, and correlations with the Massif du Nord in Haiti. En: *Geologic and tectonic development of the North America-Caribbean plate boundary in Hispaniola* (Mann P., Draper G. Lewis J.F., Eds.), Geological Society of America Special Paper 262, 143-163.
- LEWIS J.F., ASTACIO V.A., ESPAILLAT J., JIMENEZ J. (2000).** The occurrence of volcanogenic massive sulfide deposits in the Maimon Formation, Dominican Republic. The Cerro de Maimón, Loma Pesada and Loma Barbuito deposits. In: *VMS deposits of Latin America* (Sherlock, R., Barsch, R., Logan, A., Eds.). Geological Society of Canada Special Publication 223-249.

- LEWIS J.F., ESCUDER VIRUETE J., HERNALZ HUERTA P.P., GUTIERREZ G., DRAPER G., PÉREZ-ESTAÚN A. (2002):** Subdivisión geoquímica del Arco Isla Circum-Caribeño, Cordillera Central Dominicana: implicaciones para la formación, acreción y crecimiento cortical en un ambiente intraoceánico. Evolución geológica del margen norte de la Placa del Caribe, República Dominicana. *Acta Geologica Hispanica*. 37, 2-3, 81-122.
- LEWIS, J.F. (1980).** Résumé of geology in Hispaniola. En *Field guide to the 9th Caribbean Geological Conference*, Santo Domingo, Dominican Republic. Amigo del Hogar Publishers, 5-31.
- LEWIS, J.F., DRAPER, G. (1990).** Geological and tectonic evolution of the northern Caribbean margin. In: *The Geology of North America* (Dengo, G., Case, J.E., Eds.), Vol. H, The Caribbean region. Geological Society of America, 77-140.
- LEWIS, J.F., DRAPER, G., PROENZA, J., ESPAILLAT, J., JIMÉNEZ, J. (2006).** Ophiolite-Related Ultramafic Rocks (Serpentinites) in the Caribbean Region: A Review of their Occurrence, Composition, Origin, Emplacement and Ni-Laterite Soil Formation. *Geologica Acta* 4, 237-263.
- LEWIS, J.F., JIMÉNEZ, J.G. (1991).** Duarte Complex in the La Vega-Jarabacoa-Jánico Area, Central Española. Geological and Geochemical Features of the Sea Floor During the Early Stages of Arc Evolution. En: Mann, P., Draper, G. y Lewis J.F. (Ed.), *Geologic and Tectonic Development of the North America-Caribbean Plate Boundary in Hispaniola*. Geological Society America Special Paper 262, 115-142.
- LLINÁS, R.A. (1971).** Geología del área Polo-Duvergé, Cuenca de Enriquillo, República Dominicana. Tesis Doctoral. México City, México, Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería, 83 p.
- LOBÓN, J.L., AYALA, C. (2007).** Cartografía geofísica de la República Dominicana: datos de densidad, susceptibilidad magnética y magnetización remanente. Geophysical mapping of the Dominican republic: density, magnetic susceptibility and remanent magnetism data. *Boletín Geológico y Minero*, vol. 118, núm. 2. *Revista de Ciencias de la Tierra*. *Journal of earth Sciences*, 175-194 p.
- MANN, P. (1999).** Caribbean Sedimentary Basins. Classification and Tectonic Setting from Jurassic to Present. In: *Caribbean Basins. Sedimentary Basins of the World* (Mann, P., Ed.), 3-31.

**MANN P., DRAPER G., LEWIS J.F. (1991a):** Geologic and tectonic development of the North America-Caribbean plate boundary in Hispaniola. Geological Society of America Special Paper 262, 325 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., MCLAUGHLIN, P.P., COOPER, C. (1991c).** Geology of the Azua and Enriquillo basins, Dominican Republic; 2, Structure and tectonics. In: Geologic and tectonic development of the North America-Caribbean plate boundary in Hispaniola (Mann, P., Draper, G., Lewis, J.F., Eds.), Geological Society of America Special Paper 262, 367-390.

**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., 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., MCLAUGHLIN, P., VAN DEN BOLD, W.A., LAWRENCE, S.R., LAMAR, M.E. (1999).** Tectonic and Eustatic Controls on Neogene Evaporitic and Siliciclastic Deposition in the Enriquillo Basin, Dominican Republic. In: Caribbean Basins. Sedimentary Basins of the World (Mann, P. Ed.) (Series Editor: K.J. Hsü) 4, 3-31

**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, J.E., (2009).** Sierra de Bahoruco República Dominicana, Sus Regiones (<http://www.imarcano.com/mipais/geografia/regiones/bahor6.html>)

**MARCUELLO, J. YGARCIA GUINEA, J. (1990).** "Caracterización mineralógica e histórica del Larimar de Barahona (República Dominicana). Boletín del Instituto Gemológico Español. Vo1.32. Sept. 1990, pp. 6-12.

- MAUFFRET A., LEROY S. (1997).** Seismic stratigraphy and structure of the Caribbean igneous province. *Tectonophysics* 283, p. 61-104.
- MAURRASSE, F.J. M., G., HUSLER, J., GEORGES, G., SCHMITT, R., DAMOND, P. (1979).** Upraised Caribbean sea-floor below acoustic reflector B" and the Southern Peninsula of Haiti. *Geologie en Mijnbouw* 8, 71-83
- 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* (Maurrasse, F.J.M. Ed.), 184-198. Ministère des Mines et des Ressources Énergétiques Port-au-Prince, Port-au-Prince, Haiti.
- MCLAUGHLIN, P.P., VAN DEN BOLD, W.A., MANN, P. (1991).** Geology of the Azua and Enriquillo basins. Dominican Republic; 1, Neogene lithofacies, biostratigraphy, biofacies, and paleogeography. En: *Geologic and tectonic development of the North America-Caribbean plate boundary in Hispaniola* (Mann, P., Draper, G., Lewis, J.F. Eds.), Geological Society of America Special Paper 262, 337-366.
- 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 (Lidz, B., Nagle, F.). Miami Geological Society, 1-28.
- NAGLE, F. (1974).** Blueschist, eclogite, paired metamorphic belts, and the early tectonic history of Hispaniola. *Geological Society American Bulletin* 85, 1461-1466.
- NICOL, N., (2004b).** Mapa Geológico de la Hoja a escala 1:50.000 n° 5972-III (La Salina) y Memoria correspondiente. Servicio Geológico Nacional, Santo Domingo, 135 p.
- PEREZ ESTAÚN, A., HERNAIZ HUERTA, PP., LOPERA, E., JOUBERT, M. Y GRUPO SYSMIN (ESCUDER VIRUETE, J., DÍAZ DE NEIRA, A., MONTHEL, J., URIEN, P., CONTRERAS, F., BERNARDEZ, E., STEIN, G., DESCHAMPS, Y., GARCÍA LOBÓN, J.L., AYALA, C.) (2007).** Geología de la República Dominicana: de la construcción de arcos islas a la colisión arco-continente. *Geology of the Dominican Republic: from island arcs to arc-continent collision. Boletín Geológico y Minero*, vol. 118, núm. 2. *Revista de Ciencias de la Tierra. Journal of earth Sciences*, 157-173 p.
- PEREZ VALERA F., ABAD DE LOS SANTOS M. (2010).** Informe estratigráfico y sedimentológico. Programa SYSMIN II, Cartografía Geotemática de la República Dominicana. Consorcio IGME-BRGM-INYPSA. Servicio Geológico Nacional, Santo Domingo.

- PINDELL, J.L. (1994).** Evolution of the Gulf of Mexico and the Caribbean. In: Caribbean Geology: an introduction. University of the West Indies (Donovan, S.K., Jackson, T.A., Eds.). Publishers Association, University of the West Indies Press, Kingston, Jamaica, 13-39.
- PINDELL J.L., BARRET S.F. (1990).** Geologic of the Caribbean region; A plate- tectonic perspective. En: The Geology of North America: The Caribbean region (Dengo, G. y Case, J.E., Eds.), Geological Society of America, Vol. H., Boulder, Colorado, 405-432.
- PINDELL J.L., DRAPER G. (1991).** Stratigraphy and geological history of the Puerto Plata area, northern Dominican Republic. In: Geologic and tectonic development of the North America-Caribbean plate boundary in Hispaniola (Mann P., Draper G., Lewis J.F., Eds.), Geological Society of America Special Paper 262, 97-114.
- PINDELL, J. L., L. KENNAN, (2006).** Mexico and Gulf of Mexico, Exploration Framework Atlas Volume 4. Tectonic Analysis Ltd., non-exclusive report and GIS database.
- PINDELL, J.L., KENNAN, L. (2009).** Tectonic evolution of the Gulf of Mexico, Caribbean and northern and northern South America in the mantle reference frame: an update. In: The geology and evolution of the region between North and South America (James, K., Lorente, M.A., Pindell, J., Eds), Geological Society of London, Special Publication. 1-60.
- PINDELL, J., L. KENNAN, K. P. STANEK, W.V. MARESCH, AND G. DRAPER, (2006).** Foundations of Gulf of Mexico and Caribbean evolution: eight controversies resolved: *Geologica Acta* 4, 303-341.
- 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.
- REGUANT, J., ORTIZ, R. (2001).** Guía Estratigráfica Internacional –versión abreviada-. *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 14, 3-4: 271-293.
- SEN, G., HICKEY-VARGAS, D.G., WAGGONER, F., MAURASSE, F. (1988).** Geochemistry of basalts from the Dumisseau Formation. Southern Haiti: Implications for the origin of the Caribbean Sea crust. *Earth Planetary Science Letters* 87, 423-437.

- SERRA-KIEL, J., FERRÁNDEZ-CAÑADELL, C., GARCÍ-SENZ, J., and HERNAIZ HUERTA, PP.: (2007).** Cainozoic larger foraminifers from Dominican Republic. Macroforaminíferos cenozoicos de la República Dominicana. Boletín Geológico y Minero, vol. 118, núm. 2. Revista de Ciencias de la Tierra. Journal of earth Sciences, 359-384 p.
- SINTON, C.W., DUNCAN, R.A., STOREY, M., LEWIS, J., ESTRADA, J.J (1998).** An oceanic flood basalt province within the Caribbean plate. Earth and Planetary Science Letters 155, 221– 235.
- STEIN, G., ARDÉVOL, LL., BOURDILLON, CH., BONNEMAISON, M., ESCUDER VIRUETE, J., LE GOFF, E., ESCUER, J., LOPERA, E., ANTÓN PACHECO, C., GARCÍA LOBÓN, J.L., MORTENSEN, J.K., ULLRICH, T., FRIEDMAN R. (2004).** Mapa Geológico de la República Dominicana a E. 1:50.000, Restauración (5873-I). Servicio Geológico Nacional, Santo Domingo, 168 p.
- TAYLOR, F.W., MANN, P., VALASTRO, S., AND BURKE, K. (1985).** Stratigraphy and radiocarbon chronology of a subaerially exposed Holocene coral reef, Dominican Republic. Journal of Geology 93, 311-332.
- VAN DEN BERGHE, B. (1983).** Evolution sedimentaire et structurale depuis le Paleocene de secteur "Massif de la Selle-Barouco-Nord de la Ride de Beata" dans l'orogene nor Caraibe (Hispaniola Grandes Antilles). These de doctorat, Universidad Marie y Pierre Curie, Paris, 205 p.
- VAUGHAN, T. W., COOKE, W., CONDIT, D. D., ROSS, C. P., WOODRING, W. P. & CALKING, F. C., (1921).** A geological reconnaissance of the Dominican Republic. *Geological Survey Dominican Republic Memoirs*, 1, p. 1-268.
- WHITE, R.V., TARNEY, J., KERR, A.C., SAUNDERS, A.D., KEMPTON, P.D., PRINGLE, M.S., KLAVER, G.T. (1999).** Modification of an oceanic plateau, Aruba, Dutch Caribbean: Implications for the generation of continental crust. Lithos, 46, 43-68
- WOODRUFF, R.E. (1986).** "Larimar, Beautiful, Blue and Baffling". Lapidary Journal. v.39. nO 10. January 1986. p.p. 26-43.
- WOODRUFF, R.E. Y FRITSCH (1989).** "Blue Pectolite from the Dominican Republic". Gems and Genology. Winter 1989. pp. 216-225
- ZACHOS, J., PAGANI, M., SLOAN, L., THOMAS, E., BILLUPS, K. (2001).** Trenes, Rhythms, and Aberrations in Global Climate 65 Ma to Present. Science 292, 686-693.