



MAPA GEOLÓGICO
DE LA REPÚBLICA DOMINICANA
ESCALA 1:50.000

HATO MAYOR DEL REY
(6372-III)

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

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

Han participado los siguientes técnicos y especialistas:

CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA

- Dr. Jesús García Senz (INYPSA)

COORDINACIÓN Y REDACCIÓN DE LA MEMORIA

- Dr. Jesús García Senz (INYPSA)

SEDIMENTOLOGÍA Y LEVANTAMIENTO DE COLUMNAS

- Ing. Lluís Ardévol Oro (GEOPLAY)

MICROPALEONTOLOGÍA

- Dr. Luis Granados (Geólogo Consultor)

PETROGRAFÍA DE ROCAS SEDIMENTARIAS

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

PETROGRAFÍA Y GEOQUÍMICA DE ROCAS ÍGNEAS Y METAMÓRFICAS

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

GEOLOGÍA ESTRUCTURAL Y TECTÓNICA

- Dr. Jesús García Senz (INYPSA)

GEOMORFOLOGÍA

- Ing. Alberto Díaz de Neira (INYPSA)

MINERALES METÁLICOS Y NO METÁLICOS

- Ing. Eusebio Lopera (IGME)

TELEDETECCIÓN

- Dra. Carmen Antón Pacheco (IGME)

INTERPRETACIÓN DE LA GEOFÍSICA AEROTRANSPORTADA

- Dr. Jose Luis García Lobón (IGME)

DATAACIONES ABSOLUTAS

- Dr. James K. Mortensen (Earth & Ocean Sciences, Universidad de British Columbia)
- Dr. Tom Ulrich (Earth & Ocean Sciences, Universidad de British Columbia)
- Dr. Richard Friedman (Earth & Ocean Sciences, Universidad de British Columbia)

DIRECTOR DEL PROYECTO

- Ing. Eusebio Lopera (IGME)

SUPERVISIÓN TÉCNICA POR PARTE DE LA UNIÓN EUROPEA

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

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

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

SUPERVISIÓN TÉCNICA POR PARTE DEL SERVICIO GEOLÓGICO NACIONAL

- Ing. Juan José Rodríguez
- Ing. Santiago Muñoz
- Ing. María Calzadilla
- Ing. Jesús Rodríguez

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

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

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

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

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

Y los siguientes Informes Complementarios

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

RESUMEN

La Hoja de Hato Mayor del Rey está situada en el centro-sur de la Cordillera Oriental, en el límite con la Llanura Costera del Caribe. Es un área con importante cobertura vegetal y una altitud máxima de 442m en la Loma Peña Alta y mínima de 50 m en el llano. La estratigrafía consiste en unos 2800 m de basaltos, andesitas y riolitas (Fm Los Ranchos) y 400-500 m de calizas (Fm Hatillo), de edad Cretácico Inferior. El Cretácico Superior está formado por unos 3750 m de areniscas volcano-sedimentarias (Fm Las Guayabas), que incluyen un miembro de basaltos/andesitas. Estas rocas soportan una cobertura delgada y discordante de conglomerados paleógenos (Fm Don Juan) y de margocalizas neógenas (Fms Yanigua y Haitises), estas últimas se extienden horizontales por la Llanura Costera del Caribe, cubiertas por sedimentos aluviales cuaternarios. El análisis geoquímico caracteriza a las rocas básicas de la Fm Los Ranchos como toleitas de arco-isla pobres en Ti y LREE, y toleitas de arco isla normales y pobres en Ti. Las rocas félsicas son series toleíticas. El miembro volcánico de la Fm Las Guayabas presenta afinidad transicional y calco-alcalina característica de zonas de subducción. La edad absoluta de una muestra de intrusivos ácidos de la Fm Los Ranchos determinada por el método U/Pb es de $116 \pm 0,8$ Ma. Estructuralmente la Hoja de Hato Mayor se sitúa en el flanco sur del gran antiforme de la Cordillera Oriental. Las rocas forman franjas OSO-ENE con inclinación monoclinal hacia el sur, deformadas por una primera generación de pliegues longitudinales OSO-ESE, que interfiere con una segunda generación de pliegues suaves transversos NNO-SSE. Las estructuras se formaron en el Terciario y continúan desarrollándose en la actualidad, elevando los relieves de la Cordillera respecto a la Llanura Costera del Caribe.

El relieve de la cordillera se caracteriza por lomas incididas por ríos N-S, y la llanura por abanicos aluviales de baja pendiente y terrazas fluviales. Destaca por su importancia el karst desarrollado sobre la Caliza de Hatillo cerca del pueblo de La Clara. La climatología es lluviosa, con un promedio anual de 1370.9 mm y una temperatura media de 26° . Se extrae agua para uso doméstico en acuíferos superficiales en terrazas y abanicos y en las areniscas cretácicas. La actividad minera consiste en pequeñas canteras de áridos, situadas principalmente en las areniscas del Cretácico Superior. La Hoja de Hato Mayor contiene lugares de interés geológico (LIGS) de interés sedimentológico, hidrogeológico y geomorfológico, con uso principalmente didáctico en el ámbito local-regional.

ABSTRACT

The Hato Mayor del Rey Sheet is located in the central-south portion of the Cordillera Oriental, close to the Caribbean Coastal Plain. Is an area of grasslands and forests, ranging in height from 442 m in Loma Peña Alta to less than 50 m in the plain. The Lower Cretaceous consists of 2800m of basalts, andesites and riolites (Los Ranchos Fm) and 400-500 m of limestones (Hatillo Fm). The Upper Cretaceous is made of 3750 m of volcanic litarenites (Las Guayabas Fm), including a member of basalts/andesites. They are unconformable covered by paleogene conglomerates (Don Juan Fm) and Neogene marls and limestones (Yanigua and Haitises Fms). The latter, extend across the Caribbean Coastal Plain, covered by quaternary alluvium. Geochemical analysis carry out on the basic rocks of Los Ranchos Fm characterized island-arc toleites poor in Ti and LREE, and normal island-arc toleites poor in Ti. The felsic rocks are toleitic series. The volcanic member of the Los Ranchos Fm presents transitional and calco-alcline affinities, characteristic of subduction zones. The absolute age of a sample of acid intrusive rocks of Los Ranchos Fm determined by the U/Pb method is $116 \pm 0,8$ Ma. From a structural point of view, the Hato Mayor Sheet is located in the south limb of the Cordillera Oriental antiform. Rock formations outcrop in WSW-ENE bands, monoclinaly inclined to the south and folded by longitudinal WSW-ESE (first generation) folds and a more gentle NNW-SSE transverse (second generation) folds. The structures formed in the Tertiary and continued to develop now, uplifting the relief of the Cordillera over the Caribbean Coastal Plain.

A succession of hills incised by N-S rivers form the main reliefs of the cordillera, the plain is made of low gradient aluvial fans and fluvial terraces. An important feature is the karst developed in the Hatillo limestone close to La Clara village. The climate is rainy, precipitation averages 1370,9 mm and temperatures averages 26°. Water is pump from wells for domestic use in shallow reservoirs in fluvial and alluvial deposits and in the Upper Cretaceous sandstones. Mining activity is scarce and concentrates on the extraction of Upper Cretaceous sandstones in small-medium quarrys for pavement use on dirty roads. The Hato Mayor Sheet includes some remarcable geological points of sedimentologic, hidrogeologic and geomorphologic interest, with didactic use at local-regional ambit.

INDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Metodología	1
1.2. Situación geográfica	5
1.3. Marco geológico	8
1.4. Antecedentes	12
2. ESTRATIGRAFÍA	13
2.1. Cretácico	13
<u>2.1.1. Cretácico Inferior</u>	13
2.1.1.1. Formación Los Ranchos, generalidades	13
2.1.1.2. Formación Los Ranchos, unidad inferior. Conjunto indiferenciado de rocas volcánicas poligénicas y coladas de lavas básicas y/o intermedias (1). Neocomiano. K ₁	16
2.1.1.3. Formación Los Ranchos, unidad intermedia. Riolitas laminadas y tobas ácidas (2). Tobas y brechas ácidas y básicas (3). Neocomiano. K ₁	16
2.1.1.4. Formación Los Ranchos, unidad superior. Basaltos sin estratificación y brechas primarias basálticas (4). Andesita con plagioclasa (5). Brechas estratificadas con cantos de rocas volcánicas y calizas y basaltos estratificados con almohadillas (6). Neocomiano. K ₁	18
2.1.1.5. Formación de Calizas de Hatillo. Calizas masivas con corales y rudistas y calizas tableadas con sílex (7). ¿Aptiano?-Albiano. K ₁	20
<u>2.1.2. Cretácico Superior</u>	22
2.1.2.1. Formación de Areniscas de Las Guayabas. Areniscas en capas delgadas, brechas y lutitas (8). Cenomaniano-Coniaciano. K ₂	26
2.1.2.2. Formación Las Guayabas. Capas delgadas de areniscas granoclasificadas y laminadas, lutitas silíceas y calizas (9). Cenomaniano-¿Turoniano?. K ₂	28

2.1.2.3. Miembro de Conglomerados de El Cujano de la Formación Las Guayabas. Conglomerado de rocas volcánicas (10). Coniaciano. K ₂	31
2.1.2.4. Miembro de Vulcanitas de Loma La Vega de la Formación Las Guayabas. Lavas, brechas y cineritas de basalto olivínico-piroxénico (11). ¿Cenomaniano- Turoniano?. K ₂	33
2.1.2.5. Miembro de Areniscas de Hato Mayor de la Formación Las Guayabas. Areniscas conglomeráticas en capas gruesas amalgamadas (12). Coniaciano. K ₂	35
2.2. Cenozoico	37
<u>2.2.1. Paleógeno</u>	37
2.2.1.1. Formación de Conglomerados de Don Juan. Conglomerado rojizo con cantos dominantes de caliza (13). Margas, areniscas, conglomerados y calizas (14). Eoceno. P ₂	38
<u>2.2.2. Neógeno-Cuaternario</u>	39
2.2.2.1. Formación de Margas de Yanigua. Lutitas rojas o verdes moteadas, calizas margosas con moluscos y conglomerados (16). Plioceno. N ₂	41
2.2.2.2. Formación de Caliza de Haitises. Calizas margosas con moluscos y corales (17). Plioceno-Pleistoceno. N ₂ – Q ₁₋₃	42
<u>2.2.3. Cuaternario</u>	43
2.2.3.1. Depósitos de abanico aluvial. Lutitas con cantos y arenas (18). Holoceno. Q ₄	43
2.2.3.2. Coluviones. Limos, arenas y cantos (19). Holoceno. Q ₄	43
2.2.3.3. Terrazas. Gravas, arenas y limos (20). Holoceno. Q ₄	45
2.2.3.4. Depósitos de fondo de valle. Cantos, arenas y gravas (21). Holoceno. Q ₄ ..	45
2.2.3.5. Depósitos aluviales-coluviales. Limos, arenas y gravas (22). Holoceno. Q ₄	45
3. GEOQUÍMICA Y DATACIONES ABSOLUTAS DE LAS ROCAS ÍGNEAS	45
3.1. Geoquímica de la Fm Los Ranchos e intrusivos relacionados	45

3.2. Geoquímica de la Fm Las Guayabas e intrusivos relacionados	57
3.3. Dataciones absolutas	63
<u>3.3.1. Descripción de las técnicas analíticas</u>	63
3.3.1.1. Técnica analítica U/Pb	63
3.3.1.2. Técnica analítica $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$	64
<u>3.3.2. Resultados y discusión</u>	65
3.3.2.1. Muestras de la Fm Los Ranchos	66
3.3.2.2. Intrusivos tonalíticos de Cevicos, Sabana Grande de Boyá y de El Valle	66
3.3.2.3. Lava andesítica del Mb Loma La Vega de la Fm Las Guayabas	67
4. TECTÓNICA	73
4.1. Estructura de la Cordillera Oriental	73
4.2. Estructura de la Hoja de Hato Mayor	82
<u>4.2.1. Pliegues NE-SO al sur del pueblo de Hato Mayor</u>	82
<u>4.2.2. Pliegues transversos NNO-SSE en el norte de la cartografía</u>	83
<u>4.2.3. Estructura de la Formación Don Juan</u>	84
<u>4.2.4. Fallas que afectan al Neógeno y al Cuaternario</u>	84
<u>4.2.5. Secuencia de deformación</u>	85
5. GEOMORFOLOGÍA	85
5.1. Análisis geomorfológico	85
<u>5.1.1. Estudio morfoestructural</u>	86
5.1.1.1. Formas estructurales	86
<u>5.1.2. Estudio del modelado</u>	87
5.1.2.1. Formas gravitacionales	87
5.1.2.2. Formas fluviales y de escorrentía superficial	87

5.1.2.3. Formas por meteorización química	89
5.1.2.4. Formas poligénicas	90
5.2. Evolución e historia geomorfológica	90
6. HISTORIA GEOLÓGICA.....	91
7. GEOLOGÍA ECONÓMICA	95
7.1. Hidrogeología	95
<u>7.1.1. Hidrología y climatología</u>	<u>95</u>
<u>7.1.2. Hidrogeología</u>	<u>96</u>
7.2. Recursos minerales	100
<u>7.2.1. Rocas industriales</u>	<u>100</u>
7.2.1.1. Descripción de las sustancias	101
<u>7.2.2. Potencial Minero</u>	<u>102</u>
8. LUGARES DE INTERÉS GEOLÓGICO	102
8.1. Descripción de los L.I.G.	103
<u>8.1.1. Areniscas epiclásticas del Cretácico Superior</u>	<u>103</u>
<u>8.1.2. Cueva Fun Fun</u>	<u>103</u>
9. BIBLIOGRAFÍA	105

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Metodología

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

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

Zona L-Este:

- Monte Plata (Antón Sánchez, 6272-I; Bayaguana, 6272-II; Monte Plata, 6272-III y Sabana Grande de Boyá, 6272-IV)
- El Seibo (Miches, 6372-I; El Seibo, 6372-II, Hato Mayor, 6372-III y El Valle, 6372-IV)
- Las Lisas (Rincón Chavón, 6472-III y Las Lisas, 6472-IV)

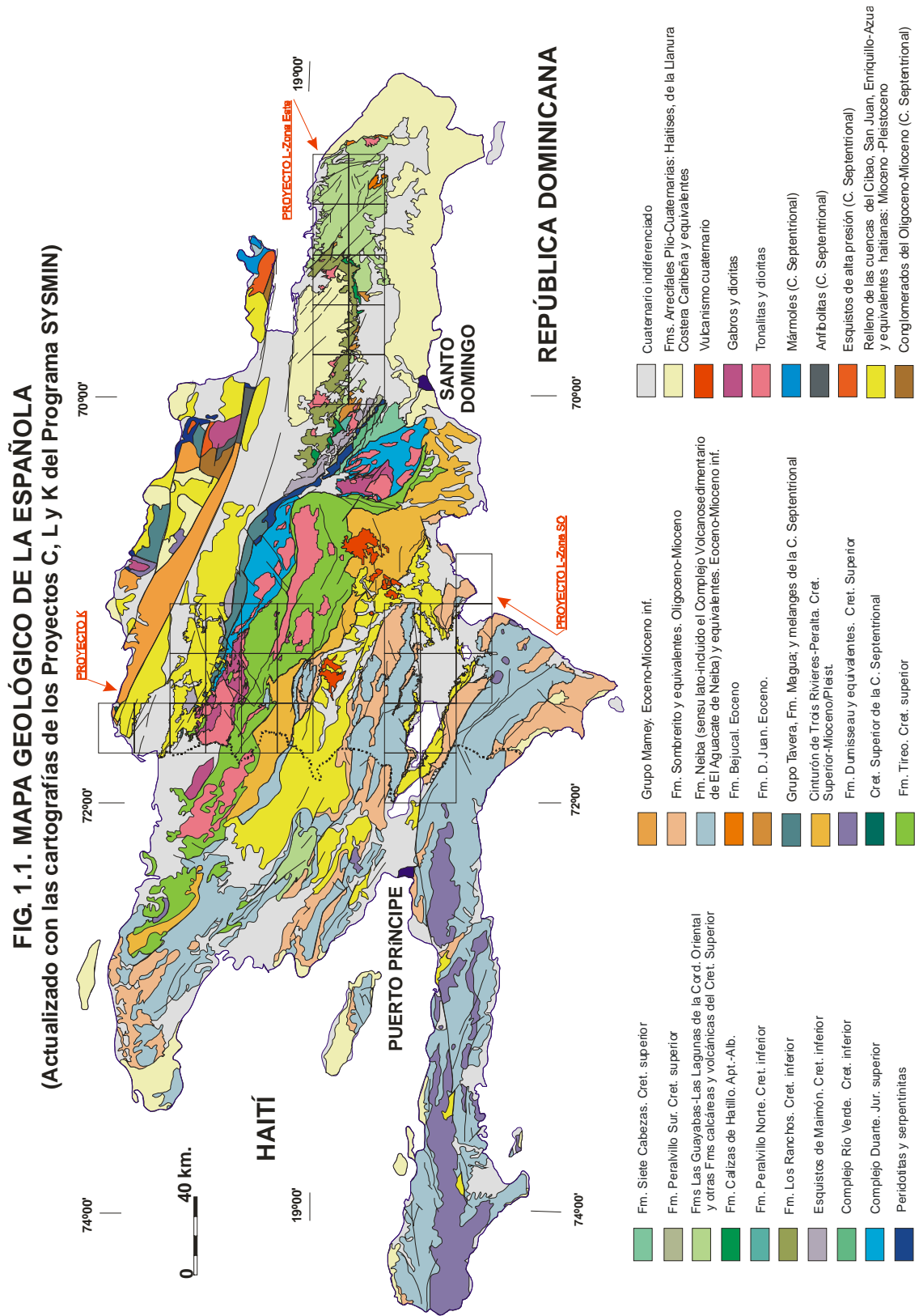
Zona L-Suroeste:

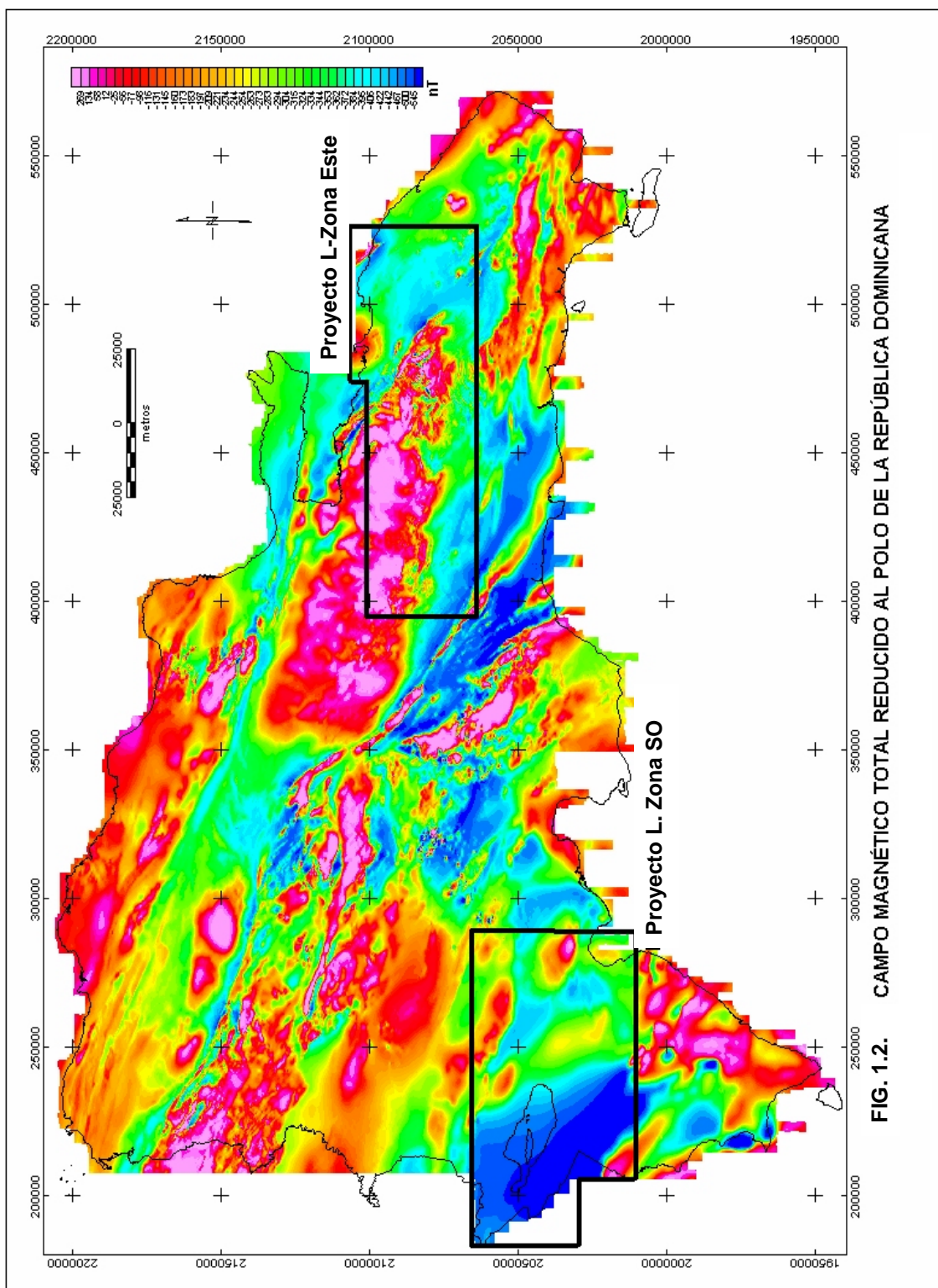
- Jimaní (La Descubierta, 5871-I; Duvergé, 5871-II; Jimaní, 5871-III y Boca Cachón, 5871-IV)
- Neiba (Villarpando, 5971-I; Vicente Noble, 5971-II; Neiba, 5971-III y Galván, 5971-IV)
- Barahona (Barahona, 5970-I y Las Salinas, 5970-IV)
- Azua (Barrero, 6070-IV)

Para la realización de cada hoja se ha tenido en cuenta la información geológica aportada por las hojas colindantes, con intercambio de opiniones sobre el terreno de los diferentes especialistas.

En las hojas de la Zona L-Este, donde se inscribe la Hoja de Hato Mayor del Rey, se ha utilizado información académica en forma de tesis y publicaciones en revistas especializadas; informes internos de investigación minera y trabajos de hidrogeología aplicada. La cartografía se ha realizado con el apoyo de las fotografías aéreas a escala 1:40.000 del Proyecto MARENA (1983-84) o, donde no existía cobertura de éstas, con las de escala 1:60.000 (1960), cedidas por el SGN. Los puntos de observación y toma de muestras se han posicionado por GPS. Los estudios fotogeológicos se han completado con la interpretación de las imágenes de satélite Spot P, Landsat TM y SAR, especialmente útiles para revelar lineamientos y fallas ocultas por la vegetación. Para la identificación y seguimiento de estructuras profundas o subaflorantes ha sido de gran utilidad el Mapa Aeromagnético de la Republica Dominicana (CGG, 1997, Fig. 1.2). El mapa ternario de Uranio-Torio-Potasio ha demostrado ser asimismo muy sensible a la señal en superficie de las rocas volcánicas, calizas y areniscas que componen la mayor parte de las áreas cartografiadas (García Lobón, 2004).

Los recorridos de campo se complementan con fichas de control en las que se registran los puntos de toma de muestras (petrológicas, paleontológicas y sedimentológicas), datos de tipo estructural y fotografías. De forma coordinada con la elaboración de la hoja, se diseñó la cartografía Geomorfológica y de Procesos Activos Susceptibles de Constituir Riesgos Geológicos del cuadrante correspondiente, a escala 1:100.000.





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 Geológico y Minero de España y el Servicio Geológico Nacional (SGN) 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

Las cartografías del Proyecto L-Este cubren una parte importante del área de la Cordillera Oriental, también denominada sierra del Seibo en trabajos geológicos previos (Weyl, 1966; Bowin, 1966, 1975). Es un territorio de media montaña con una elevación media de 450 m (Cucurullo, 1956) y una altura máxima de 736 m en la cumbre de la Loma Vieja. La vertiente norte de la cordillera termina de forma relativamente abrupta en la costa de la Bahía de Samaná, mientras que la vertiente sur es más larga y enlaza con una extensa llanura la "Llanura Costera del Caribe" (De la Fuente, 1976), que se extiende hasta la capital Santo Domingo (Fig. 1.3).

Topográficamente, las áreas elevadas forman dos ejes principales (Fig. 1.4). El eje occidental es una amplia llanura ONO-ESE poco incidida por la red fluvial que incluye el famoso Parque de Los Haitises. Hacia el este, la llanura se va estrechando y pierde altura y continuidad hasta desaparecer al sur de la depresión fluvial de los ríos Yabón y Sano. Una segunda línea de cumbres toma en este punto el relevo. De orientación inicial NO-SE, dobla hacia el este al sur del pueblo de Miches, donde forma una extensa llanura, y finalmente dobla en ángulo recto hacia el SSO, paralelizando de forma aproximada el perfil de la costa. Si exceptuamos la llanura cercana a Miches, el relieve de la mitad oriental de la cordillera se caracteriza por cadenas de lomas estrechas muy recortadas por la red fluvial.

La red hidrográfica principal incide transversalmente de norte a sur los ejes de la cordillera anteriormente descritos, que actúan como divisoria de aguas. Los ríos principales que vierten hacia el Caribe son de oeste a este: Río Cevicos, R. Ozama, R. Yamasa, R. Guanuma, R. Mijo, R. Savita, R. Boya, R. Yavi, R. Sabana, R. Comate, R. Yabacao, R. Casuí, R. Higüamo, R. Maguá, R. Anamá, R. Soco, R. Chavón, R. Sanate, R. Mana y R. Duey. Al Atlántico vierten de oeste a este los ríos Ara, Sano, Yabón, Magua, Yeguada, Jovero, Llano y Maimón.

FIG. 1.3. DOMINIOS FISIOGRAFICOS DE LA REPUBLICA DOMINICANA (Modificado de De la Fuente 1976)

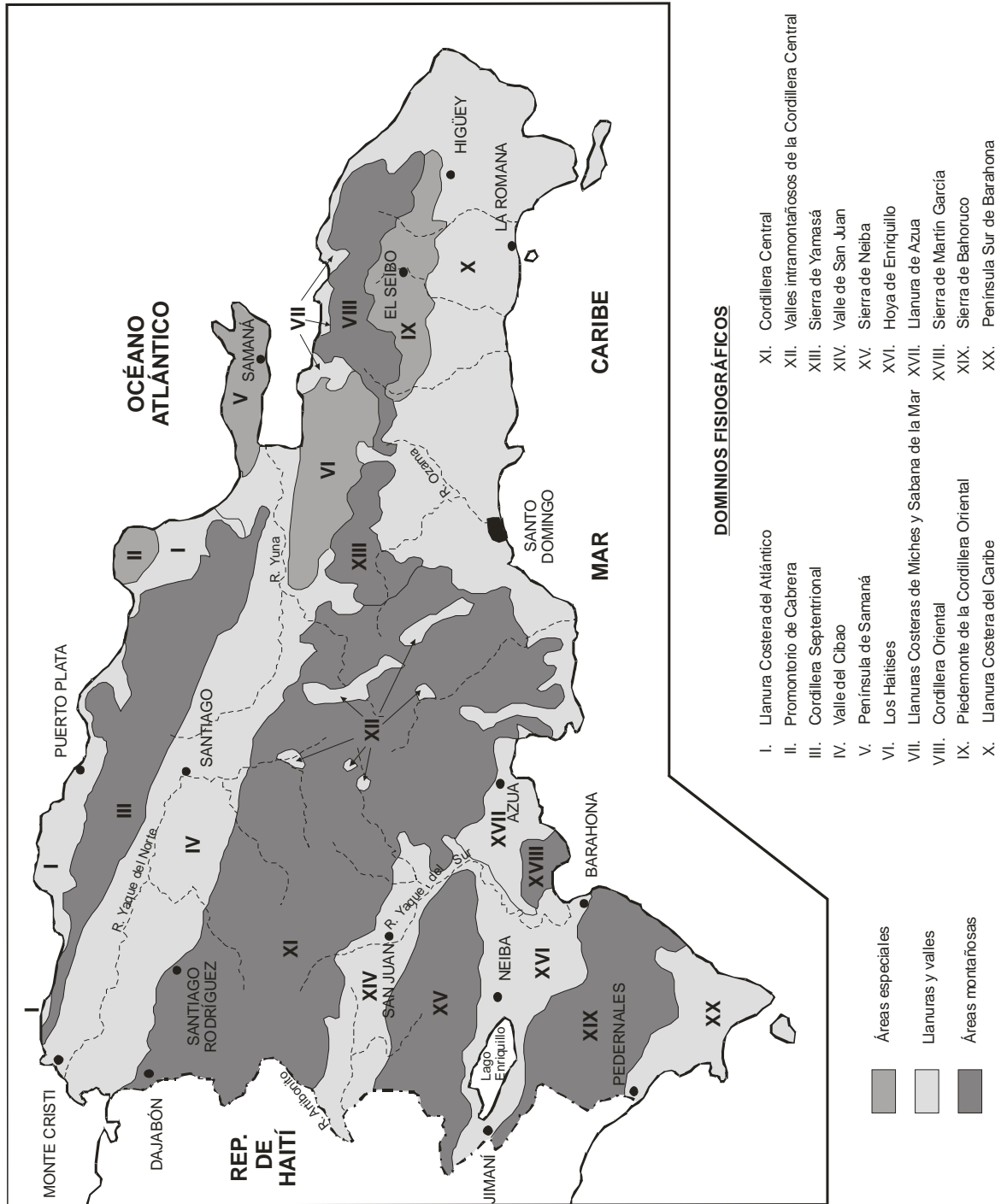
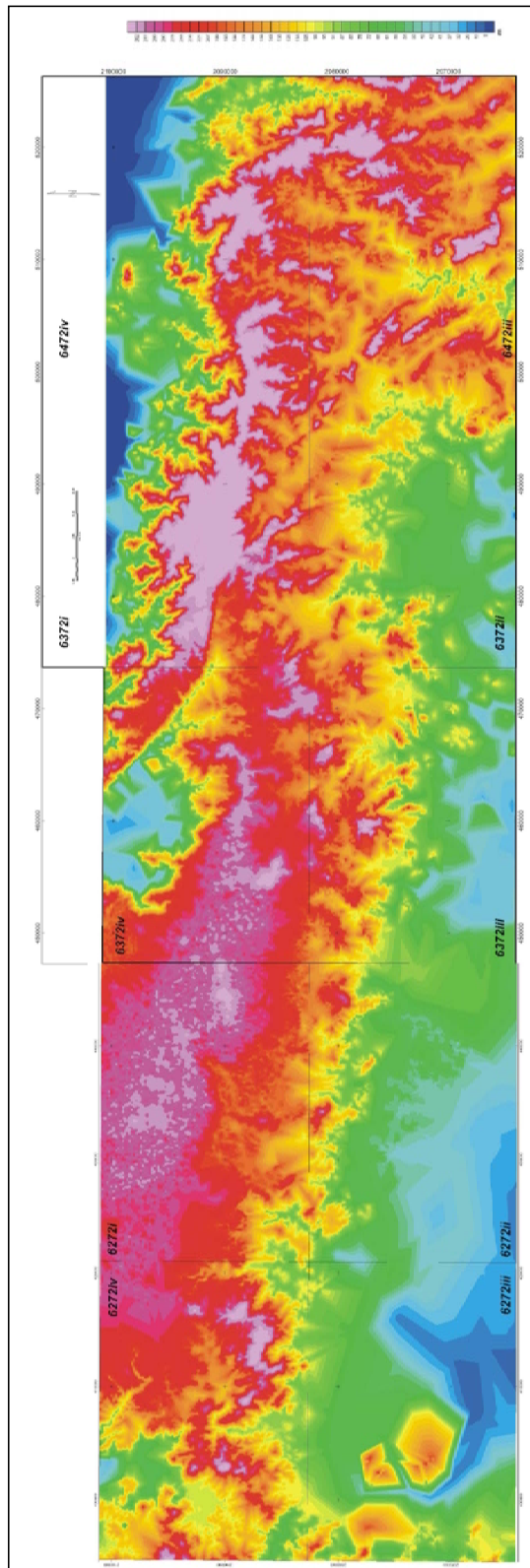


FIG. 1.4. MODELO DIGITAL DEL RELIEVE DE LA CORDILLERA ORIENTAL



Desde el punto de vista administrativo, la zona cartografiada en el Proyecto L-Este ocupa las provincias de Sánchez Ramírez, San Cristóbal, Monte Plata, Hato Mayor, El Seibo y La Altagracia. Las principales poblaciones son Sabana Grande de Boyá, Monte Plata (42.316), Bayaguana (35.195), Hato Mayor (11.003), El Seibo (22.351), El Valle y Miches (cifras de Acuater, 2000). Las principales actividades productivas son la agricultura de la caña de azúcar, cítricos y plátano, la ganadería (vacuno), los servicios comunales, industrias manufactureras y el turismo. Este último es muy incipiente y se concentra alrededor del Parque Nacional de Los Haitises.

Pertenciente al cuadrante de El Seibo, la Hoja a escala 1:50.000 de Hato Mayor del Rey (6372 III) se localiza a unos 70 km en línea recta de la capital Santo Domingo. Se accede cómodamente en vehículo por la autovía a San Pedro de Macorís y la carretera nº 4. Desde el pueblo de Hato Mayor parte una red densa de pistas forestales y caminos que permiten el acceso a la práctica totalidad del territorio cartografiado, siendo el eje más importante la pista que conecta las poblaciones de Hato Mayor, El Puerto y Bayaguana, aunque adolece de un piso en mal estado y problemas de vadeo de arroyos durante las crecidas.

La mitad septentrional de la hoja es montañosa, culminando a 442 metros en la Loma Peña Alta. Justo en la frontera norte con la Hoja de El Valle comienza un terreno más llano "Sabana" poco incidido por la red fluvial. Los relieves disminuyen progresivamente su altura hacia el sur, hasta enlazar con la Llanura Costera del Caribe cubierta por extensos campos de caña. El límite entre cordillera y llano coincide aproximadamente con la cota 100 metros.

Los datos climatológicos del pueblo de El Seibo, distante sólo 16 km del pueblo de Hato Mayor, indican una pluviosidad media mínima de 46 mm en enero y dos máximos de 168 mm en mayo y de 187 mm en octubre. La temperatura media mínima es de 24º en enero y la máxima de 28º en agosto.

1.3. Marco geológico

El contexto geológico actual de la parte oriental de La Española es una colisión de placas activa, con dos fragmentos de corteza (Caribe al sur y Atlántica al norte) que se subducen en sentidos opuestos bajo la corteza engrosada de las Antillas Mayores (McCann y Sykes, 1984; Dolan *et al.* 1998). La sismicidad reciente se concentra en los frentes de deformación

al sur de las Bahamas y en la Fosa de Los Muertos, con focos de terremotos someros y profundos. En la zona de subducción Atlántica destaca por su intensidad el terremoto de Agosto de 1946, cercano a la magnitud Ms 8 y las réplicas que le siguieron. El foco se situó en el límite de placas, 20 km por debajo de la superficie de la Cordillera Oriental.

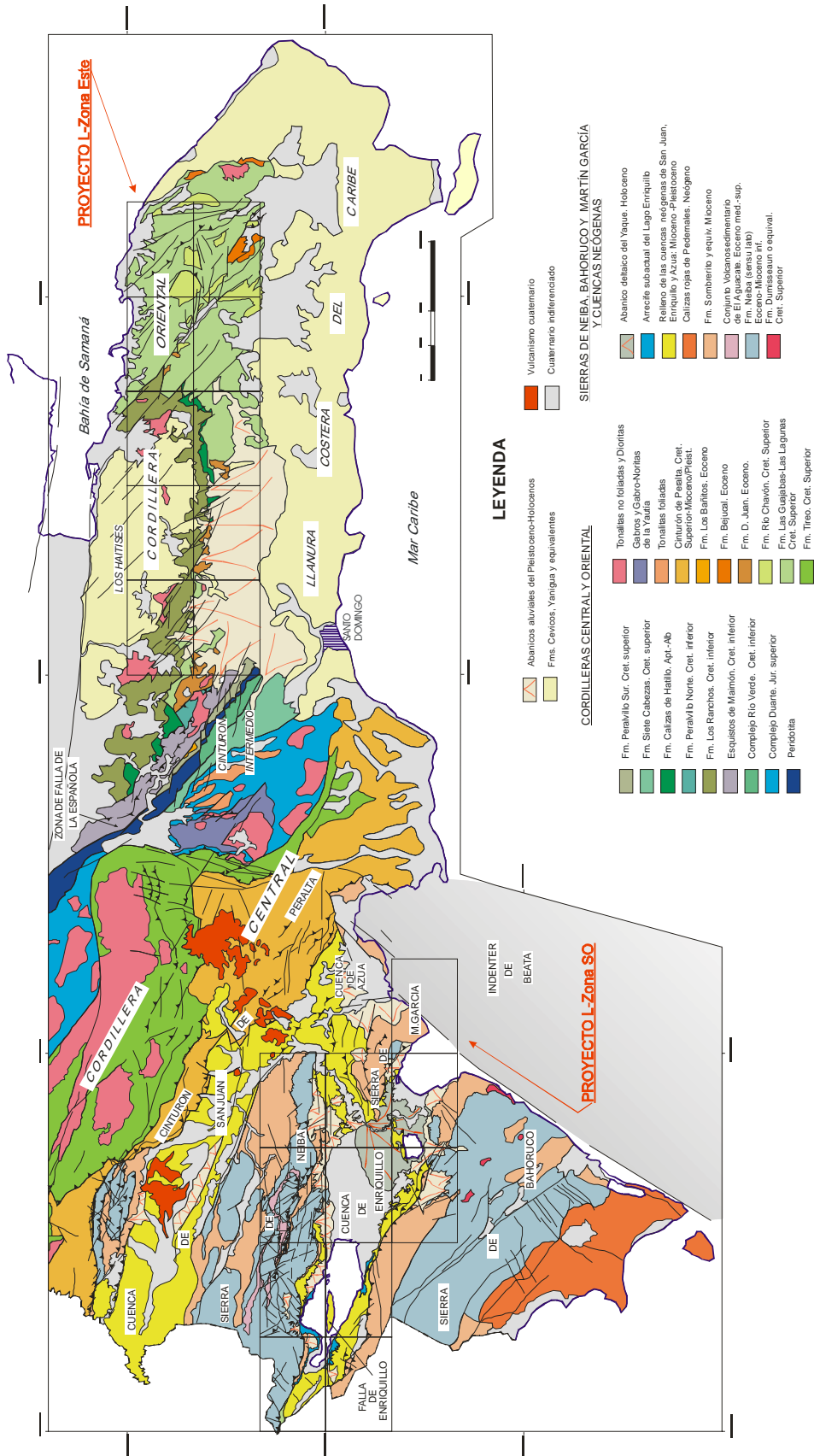
La Cordillera Oriental es el bloque más extenso de rocas cretácicas (875 km² según Lebrón y Perfit, 1994) de la aglomeración de terrenos que componen La Española (Mann *et al.*, 1991) (Figs. 1.1 y 1.5). El límite occidental es el cabalgamiento NO-SE de Hatillo que separa las rocas poco deformadas de la Cordillera Oriental de la banda de rocas de edad equivalente, pero fuertemente deformadas y con peridotita serpentizada, del Cinturón Intermedio (Bowin, 1966). El límite norte rectilíneo son las fallas E-O de la Bahía de Samaná, que prolongan la Cuenca del Cibao de la Española central, donde se ha acumulado un espesor considerable de sedimentos neógenos. Hacia el sur y hacia el este, la Cordillera Oriental termina enterrada bajo la plataforma de carbonatos plio-cuaternaria de la Llanura Costera del Caribe.

La mayor parte del espesor de la corteza de la Cordillera Oriental la forman varios kilómetros de rocas generadas en el Cretácico por acumulación de magma y sedimentos sobre la zona de subducción de un arco de islas volcánico (Bowin, 1975). Estas rocas (Fig. 1.6), incluyen rocas volcánicas y granitoides (plutones de Cevicos, Sabana Grande y El Valle) cubiertas por calizas de edad Cretácico inferior, y epiclastitas de edad Cretácico Superior. En el Cinturón Intermedio existe un basamento de edad Cretácico Inferior de composición metabasáltica y una cobertera de rocas volcánicas de edad Cretácico Superior.

Las series terciarias discordantes están dominadas por detríticos y carbonatos con una proporción de componentes de origen volcánico menor que las series cretácicas. El Paleógeno forma afloramientos discontinuos mientras que el Neógeno está representado por una plataforma de carbonatos que se extiende desde la bahía de Samaná hasta la costa del Caribe, y que desde su depósito, ha sido arqueada como un anticlinorio.

Las estructuras más importantes en el Cinturón Intermedio se dirigen hacia el NE y son la zona de falla de la Española que limita la peridotita de Loma Caribe (Bowin, 1966) la Zona de cizalla dúctil de Ozama, que deforma a la Fm Maimón (Draper *et al.*, 1996) y el cabalgamiento de Hatillo. La estructura más importante interna a la Cordillera Oriental es la falla transcurrente del Yabón (Bourdon, 1985) que tiene asociados a lo largo de su trazado

FIG. 1.5. MAPA GEOLÓGICO REGIONAL DE LA MITAD MERIDIONAL DE LA REPÚBLICA DOMINICANA: CORDILLERAS CENTRAL Y ORIENTAL, SIERRAS DE NEIBA, BAHORUCO, MARTÍN GARCÍA Y CUENCAS NEÓGENAS DE SAN JUAN, ENRIQUILLO Y AZUA



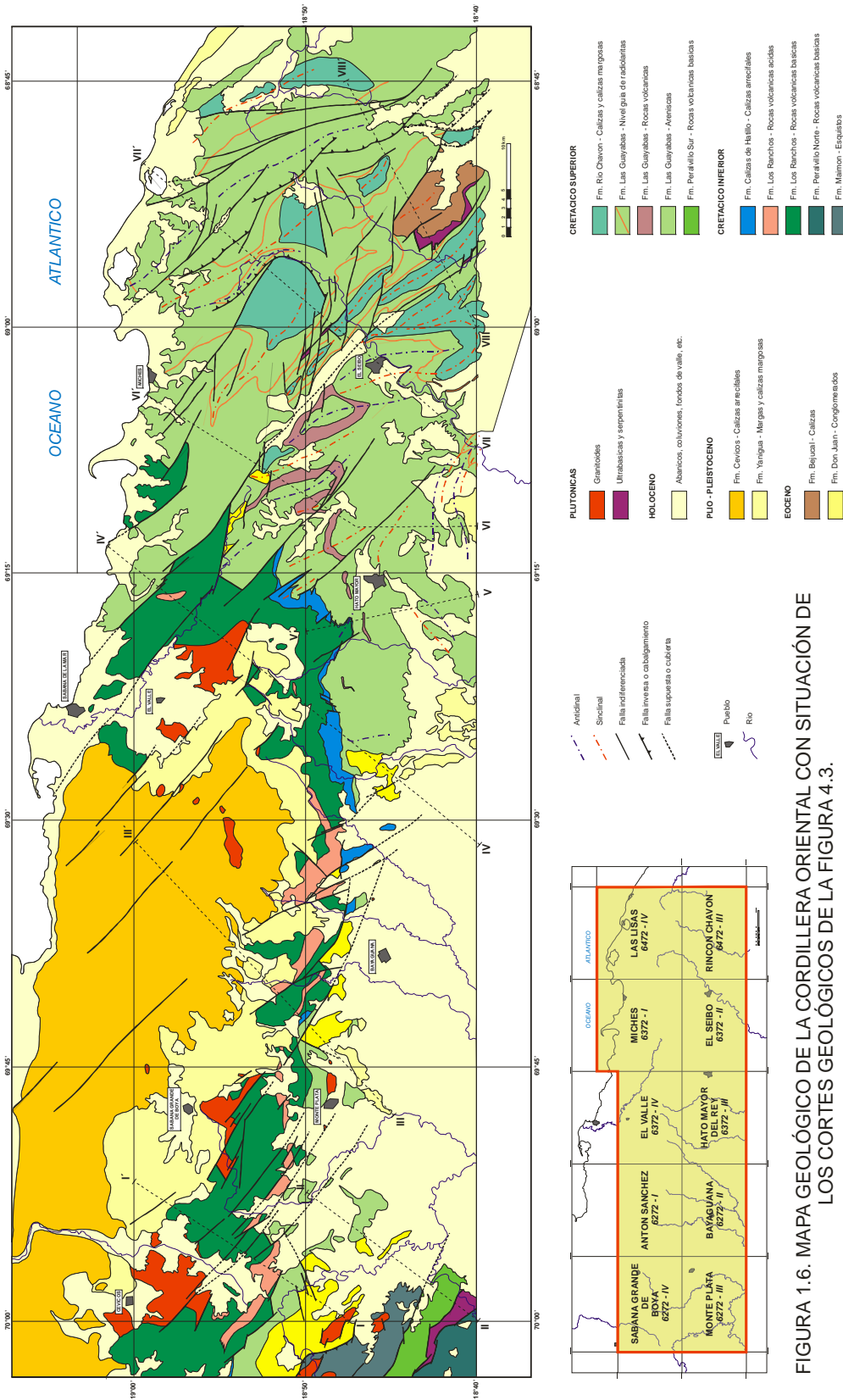


FIGURA 1.6. MAPA GEOLÓGICO DE LA CORDILLERA ORIENTAL CON SITUACIÓN DE LOS CORTES GEOLÓGICOS DE LA FIGURA 4.3.

cuerpos de peridotitas serpentizadas. Ambos dominios, el Cinturón Intermedio y la Cordillera Oriental, se consideran importantes para entender la evolución del arco de islas cretácico.

La Hoja de Hato Mayor se sitúa a mitad de la Cordillera Oriental, en el límite sur con la Llanura costera del Caribe. Contiene las tres unidades litológicas principales del Cretácico: vulcanitas de la Fm Los Ranchos, calizas de la Fm Hatillo y areniscas de La Fm Las Guayabas. La serie terciaria discordante está representada por un afloramiento aislado de conglomerados del Paleógeno y por una cobertera de calizas del Neógeno, que junto a los depósitos cuaternarios, forma las llanuras del cuadrante suroeste del mapa. La estructura está caracterizada en general por estratos inclinados hacia el sur, y en el cuadrante SE por grandes pliegues NE-SO. Todas estas estructuras están dobladas por un sistema posterior de pliegues laxos NO-SE, que pocos kilómetros al este de la Hoja de Hato Mayor son las estructuras dominantes.

1.4. Antecedentes

Las primeras observaciones geológicas se remontan a finales del siglo XIX. Gabb (1881) incluye un corte transversal de la Cordillera Oriental en el que interpreta correctamente la existencia de un sustrato de rocas cretácicas y una cobertera delgada discordante de rocas terciarias. Casi 100 años después, aparecen varias publicaciones sobre la geología de La Española (Douglas, 1961; Blesch, 1966) que culminan en la tesis de Bowin (1966) y su publicación posterior de 1975. Al final de esta etapa se conoce mejor el Cinturón Intermedio que la Cordillera Oriental, como muestra la cartografía de síntesis de Bowin (1975) donde la geología de la Cordillera Oriental se compone de un Cretácico indiferenciado, un Terciario reciente y afloramientos puntuales de rocas ígneas; y la estructura se reduce a medidas dispersas de orientaciones y a la traza cartográfica de dos fallas principales.

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

En el Cinturón Intermedio destaca la tesis de Boisseau (1987), de marcado enfoque estructural, y numerosos estudios temáticos sobre la estructura, petrografía y geoquímica (Draper y Lewis, 1991; Kesler *et al.*, 1991a; Draper *et al.*, 1996; Escuder-Virujete *et al.*, 2002). Los estudios temáticos en la Cordillera Oriental se centran en la geología y geoquímica de la Formación Los Ranchos debido a su contenido en metales preciosos (Informes internos de Falconbridge Dominicana, 1988; Kesler *et al.*, 1991b; Russell y Kesler, 1991 entre otros). Las rocas volcánicas del Cretácico Superior y el plutón de tonalita de El Valle han sido estudiados desde un punto de vista petrológico y geoquímico y geocronológico por Kesler *et al.* (1981), Bourdon (1985), Bellon *et al.* (1985), Lebrón (1989), Lebrón y Perfit (1993) y Kesler *et al.* (1991c).

2. ESTRATIGRAFIA

2.1. Cretácico

2.1.1. Cretácico Inferior

2.1.1.1. Formación Los Ranchos, generalidades

La Formación Los Ranchos fue definida por C.O. Bowin (1966) en los alrededores del célebre yacimiento de oro de Pueblo Viejo⁽¹⁾, del que constituye la roca encajante. Está débilmente metamorfozada en facies prehnita-pumpellita, y localmente se halla intruida por batolitos de composición tonalítica emplazados en el Cretácico Inferior (<116 Ma). Es una formación volcánica que representa un primitivo arco de islas de edad Cretácico Inferior.

A la escala de la Cordillera Oriental, la Formación Los Ranchos dibuja un afloramiento en forma de media luna curvada hacia el norte, de unos 100 km de largo por 10-15 km de ancho (Fig. 1.6). Hacia el oeste, en la región de Cevicos y Cotuí, desaparece cubierta bajo el cabalgamiento de Hatillo. Al este, en la región de El Valle y Sabana de la Mar, la formación

(1) Encajada en la Formación Los Ranchos, la mina de Pueblo Viejo es un yacimiento epitermal de alta sulfuración de Au-Ag. Entre los años 1975 y 2000 la explotación de la parte oxidada del yacimiento produjo cerca de 5.5 Moz de oro y 25 Moz de plata. En cuanto a la parte sulfurada, los cálculos más recientes indican reservas de 200 Mt @ 2.95 g/t Au et 18 g/t Ag, o sea, cerca de 20 Moz de oro y más de 100 Moz de plata. Por su producción histórica, así como por el estado de sus reservas, Pueblo Viejo se sitúa entre los más importantes yacimientos de oro y plata del mundo.

se inclina hacia el norte, para interrumpirse en la falla de desgarre del Yabón. Hacia el norte queda en parte oculta por los sedimentos plio-pleistocenos de los Haïtises. Hacia el sur se sumerge en el subsuelo con una inclinación elevada y es cubierta por la Caliza de Hatillo (Albo-aptiano) o directamente bajo areniscas de la Formación Las Guayabas (Cretácico Superior).

Kesler *et al.* (1991b) proponen una organización litostratigráfica formal basada en trabajos de cartografía realizados en la periferia del Yacimiento de Pueblo Viejo. En el citado trabajo la Formación Los Ranchos se divide en 6 miembros, que a continuación se describen brevemente de base a techo:

1) El Mb Cotuí, formado por flujos de lavas submarinas de composición basáltica; 2) el Mb Quita Sueño, formado por lavas, depósitos piroclásticos y series intrusivas ácidas, representa un episodio de vulcanismo ácido; 3) el Mb Meladito, caracterizado por potentes acumulaciones de rocas volcano-clásticas de origen sedimentario; 4) los miembros Platanal y Naviza, dominados por basaltos y andesitas, que corresponden a un nuevo episodio eruptivo. En el techo se encuentran brechas pertenecientes al Miembro Zambrana y sedimentos volcano-clásticos finos del Miembro de Pueblo Viejo, que en conjunto forman el encajante principal del yacimiento aurífero y se han interpretado como el relleno de una caldera volcánica. La atribución al Neocomiense de la Formación Los Ranchos se basa en floras contenidas en los niveles finos limo-areniscos y carbonosos del Mb Pueblo Viejo (Smiley, 1982).

Recientemente Nelson (2000) ha cuestionado la aparente simplicidad de la sucesión vertical descrita en base a la cartografía detallada a la escala del distrito minero y a la interpretación de sondeos en el Yacimiento de Pueblo Viejo. Para Nelson existen únicamente tres facies principales más o menos sincrónicas, que se interdigitan con un patrón que dista de ser una sucesión estratiforme simple: 1) Volcanitas de composición andesítica que incluyen términos lávicos, piroclásticos e intrusivos; 2) rocas epiclásticas formadas por brechas de tamaño grueso y tobas medias y finas. En este conjunto la facies más gruesa corresponde al Miembro Meladito y la más fina al Miembro Pueblo Viejo; y 3) volcanitas ácidas de composición dacítica con intercalaciones de rocas piroclásticas. Todas estas facies se consideran en términos generales contemporáneas. Las epiclastitas se interpretan como el resultado del desmantelamiento de domos, coladas y/o productos piroclásticos de composición andesítica o dacítica distribuidas en la periferia de los centros emisivos. El

modelo de facies de este autor es un intento de explicar la relación lateral de las diferentes facies y las variaciones bruscas de potencia que presentan.

La comparación de los trabajos de Kesler *et al.* (1991b) y Nelson (2000) realizados en el distrito de Pueblo Viejo revela las dificultades de erigir la estratigrafía de las rocas de un arco de islas a la escala de una cordillera con importante cubierta vegetal, como es el caso de la Cordillera Oriental. En las cartografías previas a escala 1:100.000 (Bourdon, 1985; Lebrón y Mann, 1991) no se hace distinción dentro de la Formación Los Ranchos, representada como «indiferenciada». En las presentes cartografías 1:50.000 del Proyecto L-Este (Programa SYSMIN 2002-2004), la Formación Los Ranchos ha sido reconocida en las Hojas de Sabana Grande de Boyá, Monte Plata, Antón Sánchez, Bayaguana, El Valle, Hato Mayor del Rey y Miches. Las unidades cartográficas distinguidas se agrupan en tres conjuntos principales:

- Una unidad Inferior caracterizada en las Hojas de Sabana Grande y de El Valle por brechas piroclásticas poligénicas con frecuentes intercalaciones de niveles de lava básica (basalto y en menor proporción andesita), así como por horizontes volcánico-clásticos finos bien estratificados. Las brechas afloran generalmente exfoliadas en bolos de tamaño métrico y presentan una variada granulometría, textura y composición. El muro del conjunto no es conocido, dado que las zonas profundas están en contacto con la intrusión de tonalitas, estimándose una potencia superior a 1500 metros.

- Una unidad intermedia, bien individualizada en los mapas de Sabana Grande, Bayaguana, Antón Sánchez, y en menor medida en Hato Mayor y El Valle, formada por lavas ácidas, dacíticas y riódacíticas y productos asociados piroclásticos tobáceos y epiclastitas de dominancia ácida. El espesor de esta unidad varía según los sectores: Es lenticular en la Hoja de El Valle, pero puede alcanzar más de 1000 metros en zonas de las Hojas de Sabana Grande y Bayaguana. Sobre el terreno es una unidad muy característica, tanto por su composición como por el color beige-amarillento a rosáceo de las rocas constituyentes y por la cobertera vegetal distintiva adaptada a su naturaleza silíceo.

- Una unidad superior compuesta por materiales piroclásticos andesíticos, principalmente brechas y aglomerados monogénicos, que incluyen intervalos masivos más o menos importantes de andesitas y basaltos porfídicos. Estos últimos están bien definidos en la Hoja de Bayaguana (El Pan de Azúcar), en Hato Mayor del Rey, y en el ángulo SE de la Hoja de

El Valle, justo bajo la discordancia de la Formación de Calizas de Hatillo. En la Hoja de Hato Mayor el techo de este miembro contiene adicionalmente espesores variables de brechas líticas subredondeadas de origen sedimentario y lavas basálticas con almohadillas.

Considerando la excepcional importancia económica de la Formación Los Ranchos, es de esperar que futuros trabajos geológicos en la Cordillera Oriental mejoren el conocimiento de la definición de las facies y las relaciones de afloramiento.

A continuación se describen la unidades cartográficas diferenciadas en la Hoja de Hato Mayor.

2.1.1.2. Formación Los Ranchos, unidad inferior. Conjunto indiferenciado de rocas volcánicas poligénicas y coladas de lavas básicas y/o intermedias (1). Neocomiano. K₁

La unidad más antigua en Hato Mayor es un pequeño afloramiento de lavas básicas situado en el cuadrante NO de la hoja, que hacia el norte y hacia el este termina cubierto por la Fm Los Haitises. Constituye la terminación oriental del afloramiento de Guaymarote Arriba, caracterizado en la Hoja de Bayaguana por Monthel y Capdeville (2004). Encima yacen riolitas laminadas de la unidad (2).

2.1.1.3. Formación Los Ranchos, unidad intermedia. Riolitas laminadas y tobas ácidas (2). Tobas y brechas ácidas y básicas (3). Neocomiano. K₁

La unidad intermedia de la Fm Los Ranchos aflora en la esquina noroeste de la Hoja, en un área montañosa que incluye la Loma de Castellanos, a la que se accede principalmente por la pista que une los pueblos de Pulgarín y El Guanito. Forma una franja NE-SO de rocas estratificadas, inclinadas hacia el sureste entre 20 y 80°, con un espesor estimado en cartografía de 1400 metros. El techo son brechas sedimentarias de la unidad (6) o basaltos masivos de la unidad (4), con los que aparentemente se interdigita hacia el este.

La unidad cartográfica (2) se compone de riolitas de cuarzo laminadas de color gris claro y rojizo, muy alteradas, y que no han sido detalladas petrográficamente. En vertical gradan a la unidad (3) de litología más variada, formada por brechas y lavas ácidas con óxidos mineralizados y brechas de lavas básicas.

Rocas ácidas

Dos muestras de similar composición caracterizan petrográficamente a la parte media-alta de la unidad. La muestra JG-9051 (UTM X: 045560, Y: 208204) es una riocacita-riolita porfídica, de matriz desvitrificada con textura perlítica. Contiene fenocristales milimétricos de plagioclasa y cuarzo en una matriz afanítica de tonos marrones/rojizos. La muestra JG-9048 (UTM X: 045872, Y: 208090) es una riocacita porfídica compuesta por fenocristales milimétricos de plagioclasa y muy escasos de cuarzo entre una matriz afanítica desvitrificada con textura esferulítica formada por un agregado de cuarzo, sericita, clorita, albita, pumpellita y opacos.

En la parte alta de la unidad, la muestra JG- 9025 (UTM X: 044912, Y: 207837) es un flujo riocacítico-riolítico porfídico estratificado de color claro con fenocristales de cuarzo y feldespato en una matriz micro y criptocristalina cuarzo-feldespática. La muestra JG-9006 (UTM X: 045095, Y: 207982), es una toba cristal-lítica de composición ácida porfídica, formada por fenocristales de feldespato y cuarzo en una matriz afanítica de tonos marrones/rojizos con fragmentos de rocas volcánicas oscuras afaníticas.

Rocas básicas

Volumétricamente son menos importantes, intercaladas entre las rocas ácidas de la parte alta de la unidad (3). La pista y cantera que asciende a El Guanito (UTM X: 044735, Y: 207870), expone más de 100 metros de brechas volcanoclásticas estratificadas, con clastos centimétricos (hasta 20 cm) de rocas volcánicas básicas y capas de cineritas básicas con un clivaje incipiente. Otras tobas básicas en posición estratigráfica equivalente se observan unos 2250 m hacia el ENE, siguiendo la dirección de las capas.

Las lavas riolíticas y los niveles brechoides ácidos intercalados se interpretan en términos generales como flujos de lavas y domos extrusivos con resedimentación por flujos de masas de hialoclastitas que generan brechas (hialoclasticas) en el margen de los flujos lávicos y a lo largo del techo y flanco de los domos. Su disposición alternante resulta posiblemente de la superposición de domos poligénicos. La actividad efusiva debió de estar combinada con explosiones freatomagmáticas, que forman depósitos volcanoclásticos constituidos por mezclas de clastos juveniles con fragmentos de bordes enfriados y piroclastos (tobas). Con

la actividad magmática se formaron también brechas de colapso de edificios volcánicos más antiguos, brechas riolíticas ricas en vesículas y sedimentos volcanogénicos.

2.1.1.4. Formación Los Ranchos, unidad superior. Basaltos sin estratificación y brechas primarias basálticas (4). Andesita con plagioclasa (5). Brechas estratificadas con cantos de rocas volcánicas y de calizas y basaltos estratificados con almohadillas (6). Neocomiano. K₁

Descritos por Bourdon (1985) y por Lebrón y Perfit (1994) como lavas masivas de basaltos asociados a andesitas, estos últimos autores los denominan basaltos de Guamira. El espesor en la Hoja de Hato Mayor es variable, con diferentes litologías bajo la discordancia de la Caliza de Hatillo. El espesor en la cartografía se estima en unos 1400 metros.

Basaltos sin estratificación y brechas primarias basálticas (4)

Los basaltos sin estratificación forman algunas lomas sin nombre donde se recogieron las muestras JG-9052 (UTM X: 045524, Y: 208080), situada bajo la Caliza de Hatillo; y JG-9007 (UTM X: 046467, Y: 208102). Son grandes masas de rocas doleríticas o microgabroicas de color verde oscuro, textura intergranular a subofítica, grano fino y variablemente porfídicas. Están compuestas por fenocristales prismáticos de clinopiroxenos y plagioclasas de idio a subidiomorfos, que pueden formar agregados en sineusis. La mesostasia está formada por microfenoblastos de plagioclasas tabulares, orto y clinopiroxenos, que generalmente definen una orientación paralela fluidal. Entre ellos hay una reducida (<5%) proporción de un material microcristalino y criptocristalino opaco. En sectores abunda la magnetita oxidada. Se superpone una alteración hidrotermal espilitica de relativa baja-T y grado variable, que origina el reemplazamiento de los ferromagnesianos a agregados de epidota, sericita, clorita y opacos; la albitización, epidotización y sericitización de las plagioclasas y opaquización de una parte de la mesostasia. La alteración rellena huecos por agregados de clorita, calcita, pumpellita radial y prenhita, a veces siguiendo un retículo de venas zonadas. Posiblemente se trata de facies del interior de lóbulos de lavas o de diques de alimentación.

Las texturas brechoides aglomeráticas ocupan extensas áreas en los alrededores de la Loma del Toro y en el río Guamira alrededor de la confluencia de los arroyos Congo y El Gato. Se han caracterizado petrográficamente basalto plagioclásico espilitizado, basalto plagioclásico-traquíptico, basalto con orto y clinopiroxeno y basalto-andesita plagioclásico-piroxénico vesicular.

Andesita con plagioclasa (5)

Se localiza bajo la Caliza de Hatillo, próxima a la Loma Gran Diablo, prolongándose hacia la vecina Hoja de El Valle, donde forma una loma de color oscuro con una pared vertical bien visible. Es una roca basáltica/andesítica plagioclásica de color crema claro-verdosa, porfídica, de matriz afanítica sin texturas fluidales visibles, con fenocristales angulosos de plagioclasas que también forman agregados en rosetas. Se observan también fenocristales laminares de biotita accesorios completamente sericitizados/cloritizados. Las plagioclasas están afectadas en grado variable por albitización, epidotización y sericitización. La matriz está variablemente reemplazada por agregados de cuarzo, epidota, clorita, sericita, pirolusita y opacos.

Brechas estratificadas con cantos de rocas volcánicas y de calizas alternando con basaltos estratificados con almohadillas (6)

Bourdon (1985) reseñó en los cauces de los ríos Guamira e Higüamo brechas estratificadas de rocas volcánicas bajo la Caliza de Hatillo. Se ha comprobado que estas brechas forman una franja casi continua, con espesores que oscilan entre 0 m y 450 m (máximos en el río Higüamo y al norte de la Loma de Santana). Los clastos son de microgabro o basalto con orto y clinopiroxeno y de basaltos piroxénicos espilitizados, litologías próximas a la unidad (4), que posiblemente resedimentan por flujos submarinos. Incluyen además clastos esporádicos de calizas con restos de fauna somera de lamelibranquios, equinodermos, gasterópodos, coralaris, espículas y radiolarios. En el río Guamira las capas de brechas alternan con lavas almohadilladas de basalto plagioclásico-piroxénico espilitizado de textura fluidal traquítica. Al norte de la Loma de Santana, en la margen derecha del río Casuí, las brechas de rocas volcánicas están subredondeadas, posiblemente por transporte aluvial.

Se interpreta que las brechas se acumularon en taludes costeros, por erosión de los edificios volcánicos elevados hasta aguas someras o en parte emergidos.

La parte superior de la Formación Los Ranchos intercala también niveles de rocas sedimentarias marinas, que no se han cartografiado. En el camino que asciende por el norte a la Loma Buena Vista (UTM X: 046527, Y: 208210) hay un mínimo de 15 metros de capas delgadas (15 cm cada una) de areniscas sedimentarias con laminación paralela de decantación, separadas por lutitas.

2.1.1.5. Formación de Calizas de Hatillo. Calizas masivas con corales y rudistas y calizas tableadas con sílex (7). ¿Aptiano?-Albiano. K₁

La localidad tipo para la definición de la formación es el pueblo de Hatillo (Bowin, 1966), situado en el extremo oeste de la Cordillera Oriental (UTM, X: 04645; Y: 20790). La base de la formación es una superficie de disconformidad que superpone calizas o delgados horizontes de brechas sobre rocas volcánicas y volcanoclásticas de la Formación Los Ranchos. El techo es un contacto discordante entre calizas y areniscas de granos volcánicos pertenecientes a la Formación Las Guayabas.

La Formación Hatillo aflora entre los pueblos de Bayaguana y Hato Mayor como una franja estrecha de 40 km de largo con buzamiento hacia el sur (Fig. 1.6). Unos once kilómetros de esta franja situados en la mitad occidental de la Hoja de Hato Mayor se habían atribuido erróneamente al Neógeno en las cartografías precedentes de Bourdon (1985) y Lebrón y Mann (1991). Debido a su inclinación tectónica, la Caliza de Hatillo termina hacia el norte erosionada y hacia el sur se sumerge a varios kilómetros de profundidad, sin que existan datos de su continuidad en el subsuelo (Fig. 4.3). No obstante, es previsible que existan variaciones de espesor significativas de norte a sur como las observadas en sentido este-oeste a lo largo de la cordillera. En el mapa de Hato Mayor se estima un espesor de 400-500 metros al oeste del pueblo de La Clara, alrededor de 100 m en el centro-norte de la cartografía entre La Clara y Los Cacaos, escasos metros en el río Guamira y unos 150 m de espesor en la Loma del Chivo situada en la esquina NE de la cartografía. El cambio de espesor puede ser brusco en los bloques de fallas NE-SO como en el caso de La Clara, o fallas NO-SE y E-O al sur de la Loma del Chivo. Aunque estas fallas pueden haber sido activas durante la sedimentación de la Caliza de Hatillo, más posiblemente evidencian la discordancia del Cretácico Superior.

La Formación Hatillo se define usualmente por su litología principal, calizas masivas con rudistas y corales, pero la sucesión completa agrupa hasta cuatro tipos de litofacies dispuestas en tres tramos:

Tramo 1.- Brechas basales y areniscas. Han sido descritas por Russell y Kesler (1991) en cortes mineros de la mina Rosario Dominicana cercana al pueblo de Hatillo. Las lutitas carbonosas del techo de la Formación Los Ranchos están cubiertas por un conglomerado de espesor menor a 10 m, con un contenido máximo de 50% de cantos de sílex englobado

en una matriz de grano fino. Sobre el conglomerado yace una capa uniforme de arenisca (3-10 m) cortada por una red de fracturas tapizadas por concreciones de óxidos de hierro y sílice, interpretadas como paleosuperficies de alteración. Encima hay lutitas calcáreas y areniscas con fragmentos de fósiles marinos, cubiertos por la caliza masiva del tramo-2. Para Russell y Kesler (1991) se trata de un depósito transgresivo sobre la Formación Los Ranchos. Estos autores citan en esta localidad fauna de equínidos de edad ¿Albiano Superior?-Cenomaniano. En la Hoja de Hato Mayor existe un afloramiento situado 2250 metros al noreste del pueblo de La Clara. El yacente son más de cien metros de conglomerados de rocas volcánicas que coronan la Formación Los Ranchos, descritas previamente en la unidad cartográfica (6). El tramo basal de la Formación Hatillo consiste en unos 40 metros de brechas con una matriz de lutita con oxidaciones, capas centimétricas de lutitas con cantos, areniscas calcáreas con fauna marina y conglomerados. El techo son capas gruesas de calcarenitas del tramo-2.

Tramo 2.- Sobre los depósitos de conglomerado descritos, o en su ausencia directamente sobre la Fm Los Ranchos, existen dos litofacies lateralmente relacionadas: a.- caliza masiva gris “*wackestone*”, con fauna de rudistas, corales, equinodermos, gasterópodos, lamelibranquios y orbitolínidos; y b.- calizas con bioclastos, litoclastos y grava de rocas volcánicas. La primera se ha depositado en la zona protegida de una plataforma de carbonatos y la segunda como barras costeras en áreas de oleaje. En muchas áreas el tramo-2 termina por un contacto litológico brusco bajo areniscas del Cretácico Superior. Bourdon (1985) cita en el corte de la Loma del Chivo la siguiente microfauna: *Orbitolina* sp., *Mesorbitolina* (O) *subconcava*, *Paracoskinolina sunnilandensis*, *Spiraplectaminoides* (Cuneolina) *scarsellai*, que determina una edad Aptiano terminal-base del Albiano. Las calizas situadas al oeste del pueblo de La Clara recientemente identificadas como Fm Hatillo contienen *Orbitolina* sp., *Acicularia* sp., *Pseudotextularia?* sp. La fauna de rudistas determinada por Rojas y Skelton (*com. pers.* 1997 en Escuder *et al.*, 2002) ciñen la edad de este tramo al Albiano Inferior-Medio.

Tramo 3.- La serie se completa con calizas oscuras bien estratificadas con nódulos de sílex, bioclastos, *pellets*, espículas, radiolarios y grava de rocas volcánicas. Hay áreas, como el cauce del río Guamira al NO de Hato Mayor, donde la Formación Hatillo consta únicamente de este tramo. Se interpretan como carbonatos de plataforma externa, progresivamente más profunda. Si el tramo-3 está preservado, el tránsito a la Formación Las Guayabas aparenta

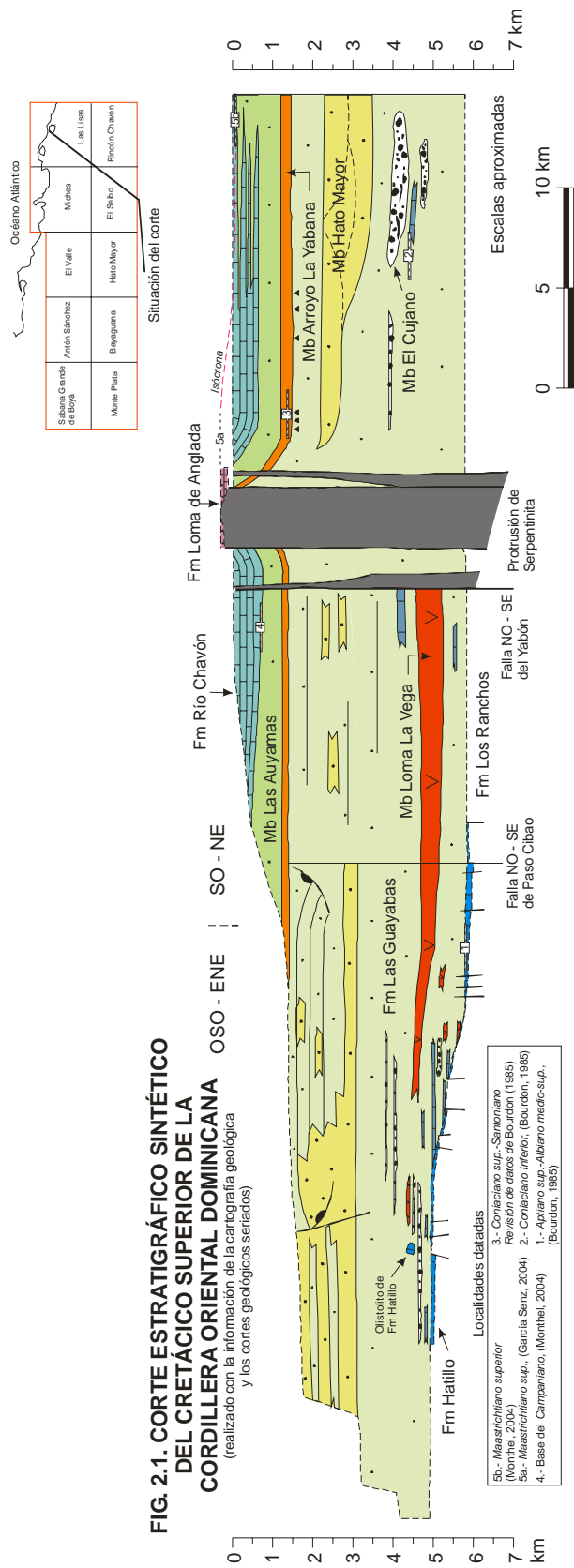
ser transicional. Bourdon (1985) cita el foraminífero *Colomiella recta*, que caracteriza al Aptiano Superior-Albiano.

2.1.2. Cretácico Superior

El Cretácico Superior está representado en la Cordillera Oriental por potentes series de rocas volcanoclásticas agrupadas mayoritariamente en la Formación Las Guayabas (Lebrón y Mann, 1991). Los afloramientos se extienden entre el cabalgamiento de Hatillo que limita con el Cinturón Intermedio y la costa este de la isla. Entre Bayaguana y Monte Plata la Formación Las Guayabas ocupa un área deprimida cubierta por sedimentos recientes que impiden la observación de su techo. La sucesión más completa, de unos 6 km de espesor, está expuesta al este de Hato Mayor (Fig. 2.1) en los principales relieves de la cordillera. Los estratos son en general más jóvenes hacia el sur y se hallan plegados y cortados por fallas en dirección que ponen en contacto rocas de diferentes edades y facies, dificultando la correlación.

La secuencia del Cretácico Superior está limitada por dos discordancias. La inferior es un contacto que asciende y desciende en la serie estratigráfica de las formaciones de Hatillo y Los Ranchos (Cretácico Inferior), con saltos bruscos que coinciden con fallas. La superior es una discordancia bajo la Formación Don Juan (Eoceno) (Bowin, 1966; Bourdon, 1985) que trunca pliegues contractivos, llegando a erosionar a todo el Cretácico Superior (cortes geológicos I-I', III-III' y IV-IV', Fig. 4.3).

Dentro del conjunto mayoritariamente volcanoclástico se diferencian diversas litologías que permiten la subdivisión estratigráfica: areniscas epiclásticas y tobas, lavas, radiolaritas y calizas (Fig. 2.2). Bourdon (1985) ha cartografiado y descrito estas litologías con el apoyo de dataciones, agrupándolas en dos unidades, El Seibo y El Oro, separadas por un cabalgamiento este-oeste. Posteriormente, Mann y Lebrón (1991) proponen una nomenclatura estratigráfica formal que prescinde de la división de El Seibo y El Oro, pero no soluciona el problema de correlación a ambos lados del cabalgamiento. Las nuevas cartografías del Programa SYSMIN 2002-2004 contienen avances en el conocimiento estructural y en la definición de los límites lito y cronostratigráficos de las unidades, que permiten por primera vez unificar la estratigrafía de la Cordillera Oriental.



Bourdon (1985)		Mann y Lebrón (1991)		Este trabajo	
Flysch calcáreo de La Mina	Areniscas calcáreas maastrichtianas	Fm Río Mana	Fm La Mina	Fm de Calizas de Loma de Anglada	Maastrichtiano sup
	Calizas maastrichtianas	Fm Loma de Anglada		Fm de Calizas de Río Chavón	
	Serie calcárea y volcanodetrítica	Fm Bejucalito			
Serie detrítica del Coniaciense inferior	Calizas	Fm Río Chavón			Campaniano
				Mb de lutitas de Las Auyamas	
	Intercalación silícea	Mb Arroyo La Yabana		Mb de Radiolaritas de Arroyo La Yabana	Coniaciano sup.- Santoniano
		Fm Río Cuarón		Mb de Areniscas de Hato Mayor	
	Serie volcano-detrítica y volcánica	Fm El Cujano		Mb de Conglomerados de El Cujano	Coniaciano inf.
	Mb Loma La Vega		Mb de Volcánicos de Loma La Vega		
Conglomerado de rocas ultrabásicas			Fm de Areniscas de Las Guayabas		
(Unidad del Oro)	(Unidad del Seibo)				Albiano m/s

FIG. 2.2. CUADRO DE EQUIVALENCIA DE UNIDADES ESTRATIGRÁFICAS DEFINIDAS EN EL CRETÁCICO SUPERIOR DE LA CORDILLERA ORIENTAL

La biostratigrafía del Cretácico Superior se basa en foraminíferos planctónicos, radiolarios y ammonoideos. Debido a la restricción batimétrica, los rudistas aparecen y son útiles únicamente al final del Cretácico. El piso Cenomaniano no se ha podido separar del Albiano. El Turoniano Inferior-Medio está representado por la zona de *Helveto-globotruncana helvética*, reconocida por Bourdon (1985) en una muestra de turbiditas calcáreas del tramo inferior de la Fm Río Chavón. Se trata con seguridad de fósiles resedimentados que yacen sobre depósitos asignados al Coniaciano por el mismo autor. Ammonites del Coniaciano Inferior han sido citados en calizas intercaladas entre el Miembro El Cujano (Bourdon *et al.*, 1983,1984; Bourdon,1985). Por el contrario, es cuestionable la atribución estricta al Coniaciano dada por Bourdon (1985) del actual Mb Arroyo La Yabana en base a una asociación de radiolarios, porque mezcla formas albo-cenomanianas, formas del Coniaciano Superior-Santoniano y formas del Campaniano. El estudio de foraminíferos planctónicos y radiolarios recogidos en sucesión vertical en la Hoja de El Seibo (Monthel, 2004a) permite acotar el límite Santoniano-Campaniano próximo a la base de la Formación Río Chavón. Este dato contrasta una vez más con la fauna planctónica de edad Coniaciano-Santoniano citada por Bourdon (1985) en la Formación Río Chavón, sugiriendo, ya sea que la fauna se halla resedimentada, o que la base de la Formación Río Chavón es más diacrónica de lo que hasta ahora se ha supuesto.

El Maastrichtiano *sensu lato* y el Maastrichtiano Superior se han reconocido en la Formación Loma de Anglada. El primero por fauna bentónica de sulcoperculinas y orbitoideos (Bourdon, 1985) y el segundo por rudistas de la asociación *Titanosarcólites* (J.M^a. Pons, *com. personal*). El Maastrichtiano Superior se ha reconocido asimismo en la Fm Río Chavón por foraminíferos planctónicos de la biozona de *Abathomphalus mayaroensis* (Monthel, 2004b). La presencia dudosa del globigerínido terciario *Acarinina* sp. en la parte superior de la Formación Loma de Anglada (*det.* L. Granados), necesita confirmación.

La sección estratigráfica está dominada por detríticos volcánicos. El volumen de detríticos de origen sedimentario es insignificante en unidades situadas bajo las radiolaritas del Miembro Arroyo La Yabana, pero se incrementa en rocas más recientes derivadas de la destrucción de una plataforma de carbonatos. Los foraminíferos planctónicos, radiolarios y ammonoideos presentes en la sección del Cretácico Superior indican un ambiente de mar profundo, con excepción de la Formación Loma de Anglada que termina el ciclo deposicional. Las estructuras sedimentarias son características de transporte por gravedad,

ya sea por corrientes turbidíticas o por flujos en masa en abanicos submarinos. La escasez de datos de paleocorrientes y la dificultad de ordenar las variaciones de tamaño de grano en términos de proximal a distal impiden la reconstrucción fidedigna de los sistemas deposicionales.

Se considera que el contexto tectónico y deposicional del sedimento del Cretácico Superior es una cuenca de ante-arco desarrollada sobre el extinto arco volcánico de la Formación Los Ranchos (ej. Bourdon, 1985, Mann *et al.*, 1991 y otros autores) y rellena por detríticos que proceden principalmente del nuevo arco volcánico situado al sur de la Cordillera Oriental, pero también de un basamento metamórfico situado al norte, comparable al actual de la Península de Samaná.

2.1.2.1. Formación de Areniscas de Las Guayabas. Areniscas en capas delgadas, brechas y lutitas (8). Cenomaniano-Coniaciano. K₂

La localidad tipo propuesta por Lebrón y Mann (1991) es el corte La Jagua-Los Cacaos descrito por Bourdon (1985) en la Hoja de Hato Mayor (UTM, X: 04645; Y: 20790). Este corte representa unos 200 metros del tramo basal de la unidad.

La base es un contacto litológico brusco y discordante a escala cartográfica, que superpone areniscas de granos volcánicos sobre calizas con rudistas o con sílex de la Formación Hatillo o sobre rocas volcánicas de la Formación Los Ranchos. Los niveles estratigráficos más altos se sitúan por debajo, y tal vez en relación lateral con las radiolaritas del Mb Arroyo La Yabana.

La Formación Las Guayabas se compone típicamente de areniscas finas-medias de color oscuro, estratificadas en capas regulares planoparalelas entre 1 cm y alrededor de 1 metro de espesor. Las capas de espesor centimétrico se componen de arena fina-media y limo con o sin laminación y más raramente muestran buena granoclasificación y laminación *ripple*. Las capas de mayor espesor son de grano grueso a grava y generalmente masivas, con una exfoliación concéntrica característica. En algunas localidades de la Hoja de Monte Plata y en menor medida en Hato Mayor, El Seibo y Rincón Chavón, la estratificación en capas paralelas se halla distorsionada por pliegues de *slump* y fallas de deslizamiento.

En la Hoja de Hato Mayor, los niveles de la Fm Las Guayabas que afloran en los alrededores del pueblo de Manchado incluyen una mezcla de cineritas de cristales de composición básica-intermedia ligeramente retrabajadas como tufitas epiclásticas, capas gruesas masivas de areniscas tufáceas de color oscuro, brechas y tobas de grano grueso e intercalaciones de flujos volcánicos de basalto. Por encima y en lateral se ha diferenciado en cartografía una unidad litológica informal que integra areniscas, lutitas y calizas (9), un miembro de flujos volcánicos (11) y dos miembros de detríticos gruesos esencialmente epiclásticos (10, 12).

Las características petrográficas de las areniscas se examinan en dos diagramas ternarios realizados con 50 muestras repartidas por la cordillera, que incluyen también al Miembro de Areniscas de Hato Mayor. El diagrama QFL (Fig. 2.3A) indica una composición homogénea, rica en fragmentos líticos y feldespato y pobre en cuarzo. La compactación de fragmentos líticos y feldespato ha producido una pseudomatriz que incrementa relativamente la proporción de cuarzo, que no obstante permanece muy baja. De acuerdo con la clasificación de Decker (1985) se trata de areniscas líticas y feldespatolíticas.

El diagrama Lv-Ls-Lm (Fig. 2.3B) refleja el predominio de fragmentos de rocas volcánicas y/o plutónicas, con cantidades menores, aunque significativas, de fragmentos metamórficos y sedimentarios. Estos últimos son principalmente chert y calizas. De acuerdo con la clasificación de Decker (1985), se trata de areniscas volcanogénicas/plutonogénicas y en menor proporción de areniscas metagénicas y sedigénicas. La pobreza en cuarzo permite precisar que provienen de un arco volcánico poco disectado, donde la erosión no ha alcanzado las rocas magmáticas intrusivas (campos de proveniencia de Dickinson y Suczek, 1979).

La Formación Las Guayabas contiene radiolarios y foraminíferos planctónicos mal conservados (Bourdon, 1985). Los fósiles, las estructuras sedimentarias y la petrografía indican que se trata de areniscas y limos tufáceos depositados en un ambiente de mar profundo alrededor de volcanes subacuáticos (volcanismo explosivo a freatomagmático) que aportan de forma continua las partículas volcanoclásticas, ya sea por resedimentación en turbiditas y flujos en masa, o más comúnmente como indica la escasez de estructuras tractivas, por recepción directa de piroclastos por flotación y suspensión.

2.1.2.2. Formación Las Guayabas. Capas delgadas de areniscas granoclasificadas y laminadas, lutitas silíceas y calizas (9). Cenomaniano-¿Turoniano?. K₂

Esta unidad se ha cartografiado como cuerpos discontinuos debido a la dificultad de seguir las capas fuera de los cauces de los ríos, aunque como veremos a continuación se trata de facies turbidíticas y pelágicas de gran extensión lateral. La sucesión descrita combina los afloramientos de los ríos Guamira e Higuamo, donde se han tomado numerosos buzamientos. El rumbo de algunas capas es oblicuo respecto a la Caliza de Hatillo, lo que sugiere la existencia de una discordancia angular con superposición de series más modernas hacia el oeste (Figs. 2.1 y 2.4).

En la sección estratigráfica-1 (Fig. 2.4), la Caliza de Hatillo está cubierta por una alternancia de capas delgadas plano-paralelas de calcarenita y de areniscas líticas volcánicas de grano fino-medio, las últimas dominan a partir de las primeras decenas de metros. Presentan granoselección, laminación paralela de alto régimen de flujo y de decantación, ripples y deformación hidroplástica. Son secuencias de Bouma incompletas características de turbiditas diluidas, que Ardévol (2004) interpreta como facies de cuenca con altos topográficos contra los que rebotan y se reflejan las corrientes (*ponded basin*).

En la sección estratigráfica-2, cerca del contacto con la Caliza de Hatillo, hay una caliza pelágica rojiza arcillosa laminada con espículas, radiolarios, restos de moluscos y stomiosphaeras, entre estas últimas una posible *Pithonella? sphaerica*. Encima se encuentra un tramo potente de lutitas silíceas laminadas y areniscas tobáceas.

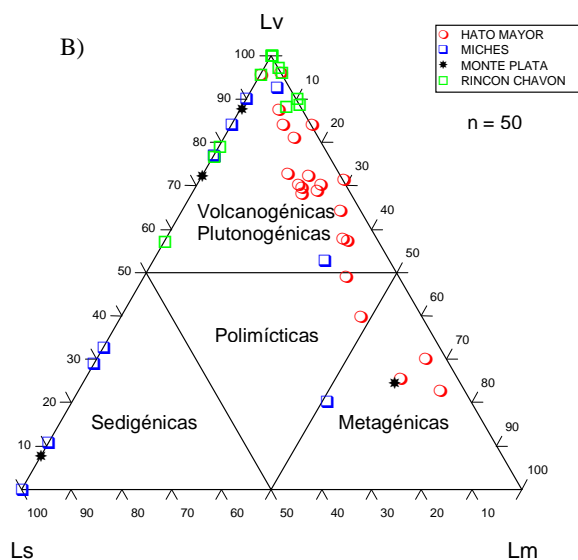
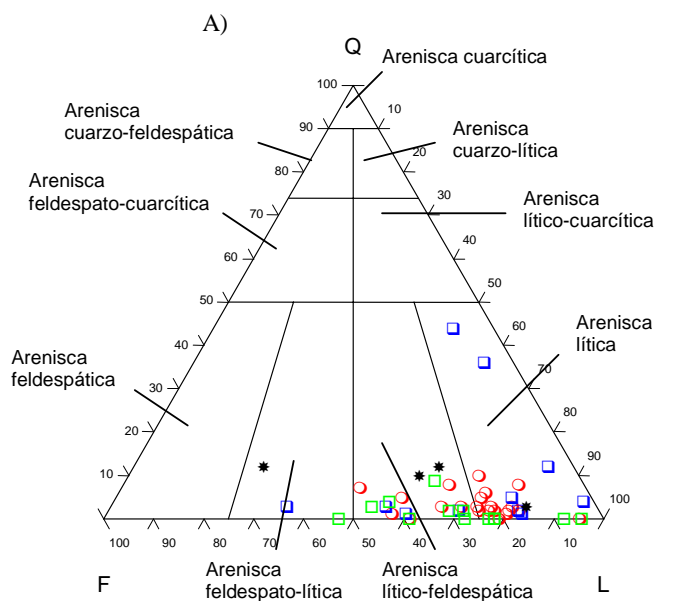
La sección estratigráfica-3 consiste en turbiditas líticas en capas delgadas que intercalan una capa masiva de grava de 8 m de espesor, lutitas silíceas, una capa de calizas pelágicas rojizas y una colada de bloques de 7 m de espesor con clastos subredondeados entre 10-30 cm de diámetro (tam. max. 100 cm) de rocas volcánicas, soportados por una matriz arenosa. Encima hay una sucesión monótona de capas de alrededor de 15 cm de espesor de lutitas silíceas oscuras y areniscas laminadas, depositadas por decantación.

La presencia de coladas de bloques entre turbiditas diluidas y calizas pelágicas indica un ambiente deposicional en un talud submarino o en una cuenca colgada en el talud.

FIGURA 2.3. DIAGRAMAS TERNARIOS DE LAS ARENISCAS DE LA FM LAS GUAYABAS DE LA CORDILLERA ORIENTAL

A.- Cuarzo, feldespato y fragmentos líticos (Q-F-L).

B.- Fragmentos líticos volcánicos, fragmentos sedimentarios+chert, y fragmentos metamórficos (Lv-Ls-Lm).



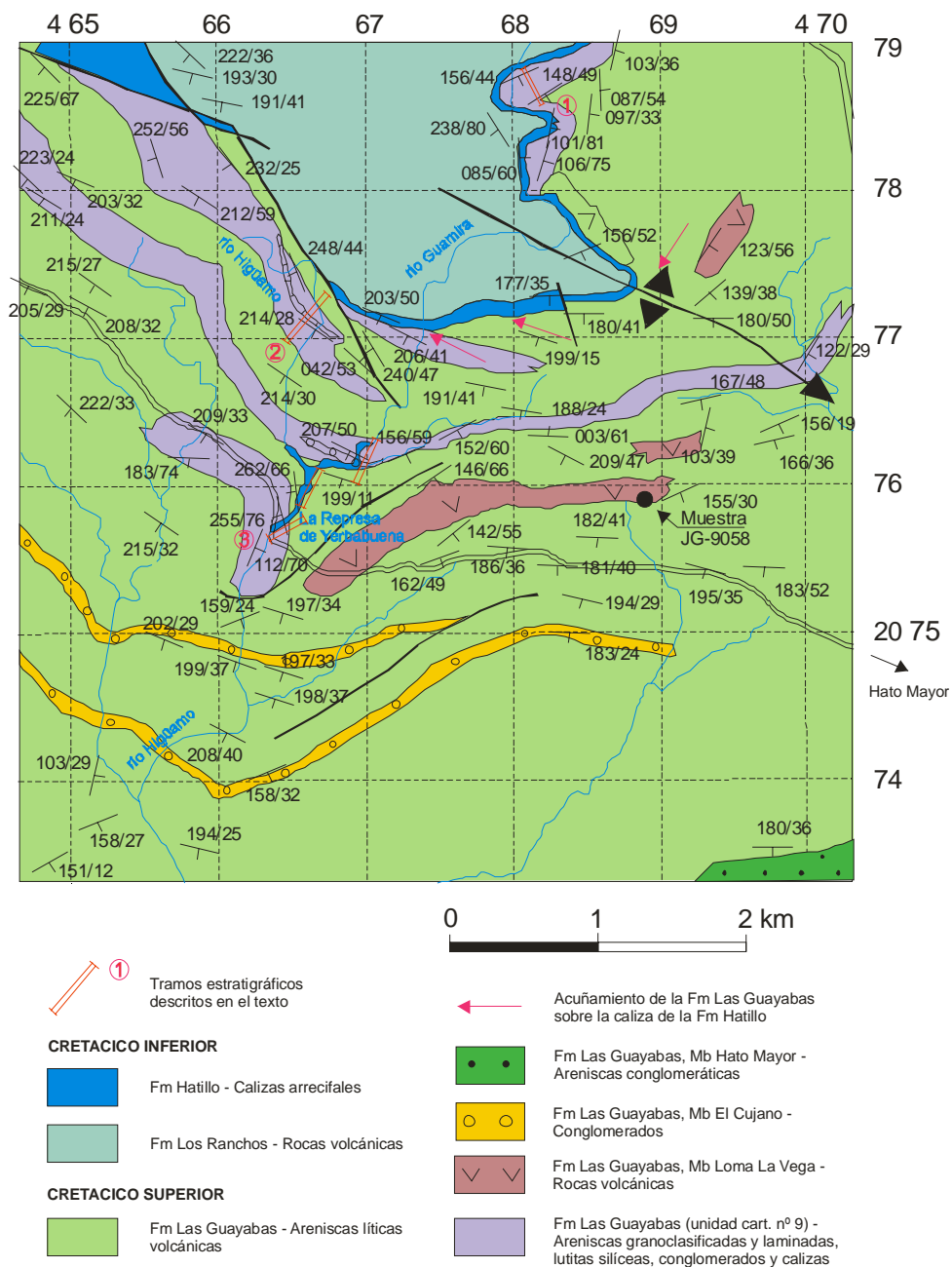


FIGURA 2.4. MAPA GEOLÓGICO DE LA BASE DE LA FM LAS GUAYABAS

Se ha reconocido fauna del Cretácico Superior en un paquete de biomicrita oscura de 10 metros de espesor situado al suroeste del pueblo de La Clara (UTM X: 04599; Y: 20788), con: *Pithonella sphaerica*, *Hedbergella* sp., *Globotruncana* sp., heterohelícidos y radiolarios. La edad de la unidad se ciñe al Cenomaniano-Turoniano por su posición estratigráfica entre la Caliza de Hatillo y el Mb El Cujano, datado como Coniaciano Inferior en la Hoja de Las Lisas (ver a continuación).

2.1.2.3. Miembro de Conglomerados de El Cujano de la Formación Las Guayabas. Conglomerado de rocas volcánicas (10). Coniaciano. K₂

La denominación del Miembro El Cujano se propone en este trabajo como una revisión de los límites y del rango de la Formación El Cujano de Lebrón y Mann (1991). La localidad tipo es un camino situado 2,5 km al SO de la Loma El Cujano, en la Hoja de Las Lisas (UTM X: 05115; Y: 20928). En esta localidad Bourdon (1985) describe un conglomerado de rocas ultrabásicas (Fm El Cujano de Lebrón y Mann) bajo una serie heterolítica de conglomerados de rocas volcánicas, areniscas y niveles de caliza (Formación Río Cuarón de Lebrón y Mann).

En la cartografía geológica de este dominio se propone el abandono de la Formación Río Cuarón por considerarla un equivalente a la Formación Las Guayabas y se propone ampliar el Miembro El Cujano a todos los niveles de conglomerado intercalados en la Formación Las Guayabas por debajo de las Areniscas de Hato Mayor. Bajo esta definición, el Miembro El Cujano está representado por facies ligeramente distintas en tres localidades, que se describen de NE a SO.

En la Loma El Cujano, este miembro consiste en más de 200 metros de brechas con estratificación masiva y poca continuidad lateral, intruidas por diques de gabro de grano fino (Monthel, 2004b). Los cantos flotan desorganizados en una matriz sericítica con clivaje penetrativo. Bourdon (1985) reconoce cantos de lavas básicas, gabros, piroxenitas y rocas ultrabásicas con anfíboles metamórficos, que interpreta como pertenecientes a un complejo ofiolítico. El mecanismo de transporte es por coladas fangosas cohesivas, probablemente procedentes de un complejo de acreción situado al norte (Fig. 2.5). La poca continuidad lateral y el gran espesor de estos cuerpos de brechas puede indicar que rellenan incisiones en el talud submarino.

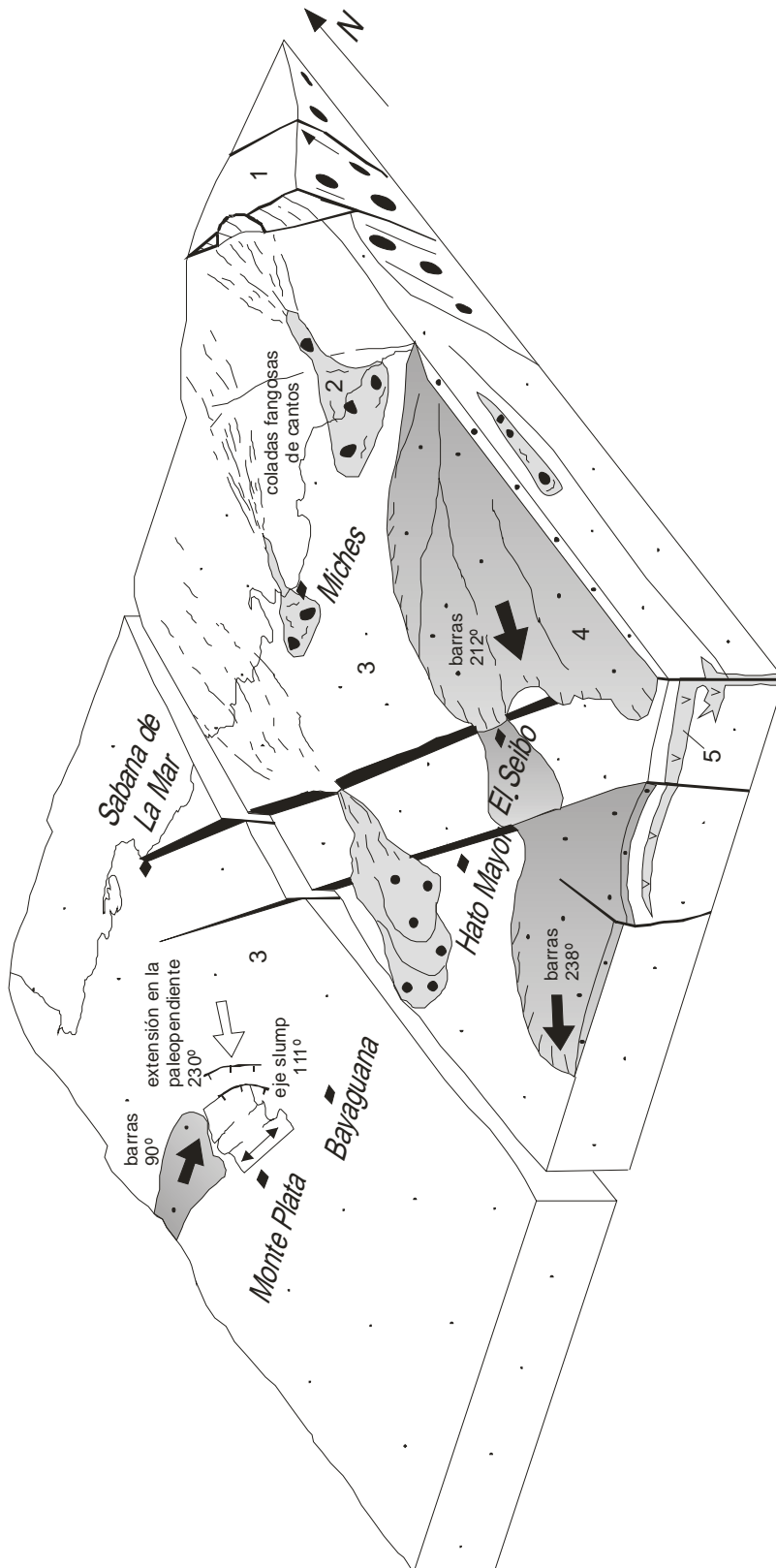


Figura 2.5. Bloque diagrama esquemático del margen convergente en tiempo Cenomaniano-Santoniano, mostrando las características principales de la cuenca de ante-arco. 1.-Prisma de acreción; 2.- coladas fangosas de rocas ultrabásicas provenientes del prisma de acreción (Mb El Cujano); 3.- areniscas volcanoclásticas primarias y epiclastitas (Fm Las Guayabas); 4.-depósitos de abanico submarino (Mb Hato Mayor); 5.- Rocas volcánicas e hipovolcánicas (Mb Loma La Vega). Flechas de paleocorrientes basadas en escamas medidas de barras; paleopendientes basadas en escamas medidas de ejes de slumps y estructuras extensivas gravitacionales.

Otro afloramiento en una posición estratigráfica equivalente es la loma Los Gatos situada seis kilómetros al suroeste del pueblo de Miches. Son capas de brechas sin estructura con clastos centimétricos de rocas volcánicas, que lateralmente terminan en menos de dos kilómetros.

Cuatro cuerpos de conglomerado se han cartografiado al oeste del pueblo de Hato Mayor con un apilamiento oblicuo que los hace más recientes hacia el este. Forman las lomas próximas a Peña Alta como la Loma el Limón o la Loma de Yerbabuena. Son de reducido espesor (unos 10 m), pero se extienden hasta 8 km en la dirección este-oeste de las capas. Los clastos se componen de rocas volcánicas y areniscas con forma subredondeada y están soportados por una matriz arenosa. El tamaño máximo observado de los cantos es de 15 cm. Sobre el nivel más bajo de conglomerados situado al sureste del pueblo de La Clara, hay un olistón de unos 5 m³ de caliza masiva con rudistas y orbitolas de la Fm Hatillo representado en la cartografía 1:50.000 y esquemáticamente en la figura 2.1. Sobre el nivel más alto de conglomerados hay capas de arenisca gruesa y grava, a veces con estratificación cruzada que, debido a la dificultad de establecer sus límites, se han representado como líneas de capa dentro de la Fm Las Guayabas, aunque se relacionan de forma obvia con los conglomerados del Mb El Cujano. Forman las lomas prominentes del centro de la cartografía: Loma de Alfonsillo, Loma de Los Peguero y las loma Los Magueyes y Los Pericos.

Los conglomerados del Miembro El Cujano se interpretan como turbiditas densas que provienen de un área fuente rica en arena y cantos. Posiblemente derivan de un abanico deltaico colgado sobre el talud.

2.1.2.4. Miembro de Vulcanitas de Loma La Vega de la Formación Las Guayabas. Lavas, brechas y cineritas de basalto olivínico-piroxénico (11). ¿Cenomaniano-Turoniano?. K₂

La localidad tipo propuesta por Lebrón y Mann (1991) es la Loma La Vega, en la Hoja de El Seibo (UTM, X: 04783; Y: 20795). Es una de las lomas que destacan al norte de las poblaciones de El Seibo y Hato Mayor, modeladas en un nivel resistente de lavas de 625 metros de espesor. Su continuación hacia el este se interrumpe en la falla del Yabón y hacia el oeste se adelgaza hasta terminar en la Loma Los Gramasos (Hoja de Hato Mayor, Bourdon, 1985).

El Miembro Loma La Vega se compone en su localidad tipo de flujos de lavas traquíticas, brechas volcánicas y tobas vitroclásticas (Bourdon, 1985; Lebrón, 1989; Lebrón y Perfit, 1993). Un muestreo más extenso realizado en toda la superficie de afloramiento (Hojas de Miches, El Seibo y Hato Mayor) revela que la composición de las lavas varía entre basaltos olivino-piroxénicos porfídicos, basaltos plagioclásicos traquíticos de grano muy fino, flujos basáltico-andesíticos con plagioclasa porfídicos y basaltos con olivino, orto y clinopiroxeno. Se han reconocido facies autoclásticas y otras masivas subvolcánicas del tipo diques de alimentación.

En la Hoja de Hato Mayor su composición se ha investigado en 4 afloramientos que corresponden aproximadamente al mismo nivel estratigráfico. El más oriental se sitúa en una loma sin nombre al norte de la Loma Los Jíbaros. La muestra JG9514 (UTM, X: 04736; Y: 20789) proviene de un clasto anguloso dentro de una sucesión de brechas y areniscas que resedimentan depósitos sin-eruptivos. Es una roca volcánica de textura hipocristalina, porfídica, de matriz afanítica sin fluidalidades claras y posiblemente vesicular. Los componentes esenciales son plagioclasa, ortopiroxeno, clinopiroxeno y olivino. Como componentes accesorios hay ilmenita, magnetita y óxidos de Fe-Ti, además de litoclastos de rocas piroclásticas y volcánicas afines. Presenta una alteración leve que origina el reemplazamiento de los ferromagnesianos a agregados de epidota, sericita, clorita y opacos; y la albitización, cloritización y sericitización de las plagioclasas y la opaquización de la mesostasia originalmente vitrea. Se clasifica como un basalto olivínico-piroxénico.

La muestra JG9070 (UTM, X: 04730; Y: 20782, Fig. 3.1), se sitúa en la cara norte de la Loma Los Jíbaros, separada por una falla de la muestra anterior. Es parte de un depósito estratificado de cineritas de color crema, con laminación paralela y *ripple*. El análisis al microscopio revela una textura porfídica hipocristalina formada por fragmentos de cristales y líticos submilimétricos inmersos en una mesostasia afanítica. No existen fábricas deformativas. Los componentes esenciales son olivino, clinopiroxeno y ortopiroxeno, como accesorios hay abundantes opacos, carbonatos, ilmenita y magnetita. Hay alteración de los ferromagnesianos y de las plagioclasas. Se clasifica como una cinerita (toba de cristales) basáltica con orto y cliopiroxeno.

El afloramiento situado entre la Loma Los Jíbaros y el pueblo de Yerbabuena es estratiforme, con una base y un techo bien definidos y un espesor próximo a 175 metros, que se reduce a cero bruscamente en una zona plegada antes de la represa de Yerbabuena

(Fig. 2.4), tal vez como consecuencia de una disposición intrusiva tipo *sill*. En coherencia con esta observación, la muestra JG9058 (UTM, X: 04689; Y: 20759, Figs. 2.4 y 3.1) presenta una textura hipocristalina fanerítica, intergranular a subofítica. Los componentes esenciales son grandes cristales de plagioclasa con inclusiones de olivino y piroxenos, ortopiroxeno, clinopiroxeno y hornblenda. Como componentes accesorios hay carbonatos, ilmenita, magnetita, óxidos de Fe-Ti y cuarzo. Existe una leve alteración hidrotermal que da lugar a la formación de albita, sericita, clorita, pumpellitita, epidota, mica blanca óxidos de Fe-Ti y opacos. Se clasifica como un basalto con orto y clinopiroxeno (diabasa).

El afloramiento más occidental del Mb Loma La Vega se sitúa en la Loma Los Gramasos. Bourdon (1985) describe en esta localidad andesitas con fenocristales de plagioclasa. En este trabajo se ha analizado adicionalmente una muestra de cinerita (JG9018, UTM, X: 04616; Y: 20781) con una textura hipocristalina, porfídica de matriz afanítica masiva sin fábricas. Los componentes esenciales y vitroclastos son plagioclasa, ortopiroxeno, clinopiroxeno y olivino. Como componentes accesorios hay carbonatos, epidota, ilmenita, magnetita y óxidos de Fe-Ti. Los componentes accidentales son fragmentos de rocas basálticas con cpx porfídicas, espilitas y bioclastos. La alteración es leve. Se clasifica como una cinerita de composición básica de cristales de grano muy fino, aunque debido a que se observa una cierta redondez de los fragmentos puede ser clasificada también como una arenisca tufácea fina.

Los sedimentos con fauna marina que rodean las lavas y la existencia de estructuras en almohadilla en la Hoja del Seibo (Monthel, 2004a) sugieren un vulcanismo submarino en el fondo de una cuenca de ante-arco. La edad radiométrica calculada por las proporciones de $^{86}\text{Rb}/^{87}\text{Sr}$ y $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ es de 84.3 ± 17.9 Ma (Lebrón y Perfit, 1994), es una edad centrada en el Santoniano con un rango de error entre el Albiano Superior y el Maastrichtiano. La posición estratigráfica bajo el nivel de radiolaritas del Mb Arroyo La Yabana indica que su edad es más antigua que el Coniaciano Superior-Santoniano.

2.1.2.5. Miembro de Areniscas de Hato Mayor de la Formación Las Guayabas. Areniscas conglomeráticas en capas gruesas amalgamadas (12). Coniaciano. K_2

Su definición formal se propone en este trabajo. Toma el nombre del pueblo de Hato Mayor del Rey, construido sobre las areniscas de la base de la unidad. La localidad tipo propuesta es una cantera de áridos en la Hoja de El Seibo (UTM, X: 04754; Y: 20727). Entre

Bayaguana y Monte Plata está cubierto por sedimentos arrecifales y aluviales recientes. Hacia el este forma los principales relieves de la cordillera, entre ellos la cumbre de la Loma Vieja (736 m).

La base de la unidad forma en Hato Mayor una alineación de lomas inclinadas al sur unos 30° con rumbo SE-NO. Esta disposición contrasta con las capas infrayacentes de rumbo medio E-O y frecuentes cambios de orientación. El patrón cartográfico sugiere que la base del Mb Hato Mayor es una discordancia de bajo ángulo o bien una falla paralela a la estratificación, aunque estos aspectos son difíciles de probar debido a que el contacto reside entre areniscas. Las áreas de mayor espesor acumulado son el sureste de Hato Mayor (1400 m) y la línea de lomas elevadas entre el pueblo de Las Lisas y el sureste del mapa de Rincón Chavón (1450 m), decreciendo hacia el este y el oeste respectivamente por indentación con areniscas de la Formación Las Guayabas. En la Hoja de Miches no está presente. Dependiendo de las citadas indentaciones, el techo son areniscas de la Formación Las Guayabas o radiolaritas del Mb Arroyo La Yabana.

Típicamente se compone de capas métricas de arenisca gruesa, con clastos aislados de grava angulosa de tamaño centimétrico y clastos de lutita deformados en estado plástico. Según la localidad, las capas se presentan amalgamadas formando conjuntos de varios cientos de metros de espesor (por ejemplo en Hato Mayor o Las Lisas), o en paquetes decamétricos intercalados entre areniscas de la Fm Las Guayabas (ej. Hoja del Seibo). Petrográficamente se clasifican como litarenitas de rocas volcánicas. Las estructuras sedimentarias son escasas, en Hato Mayor se han observado barras con caras de avalancha hacia el OSO y bases onduladas que pueden corresponder a incisiones. La granoselección es poco evidente.

Las capas de arenas con partículas gruesas del Mb Hato Mayor se interpretan depositadas por corrientes turbidíticas de alta densidad en lóbulos de abanicos submarinos. Las paleocorrientes son demasiado escasas para concluir la dirección de flujo, considerando además que la orientación de las barras presenta habitualmente una gran dispersión y por tanto el esquema paleogeográfico de la figura 2.5 se ha de considerar como preliminar. La distribución de las principales acumulaciones de arenisca sugiere que al menos existen dos abanicos diferentes, tal vez separados por relieves producidos por fallas activas, notoriamente las fallas profundas del Yabón y Paso Cibao y fallas lístricas que afectan a la parte alta del sedimento.

La edad se ciñe al Coniaciano por su posición entre el Mb El Cujano datado por ammonites como Coniaciano Inferior y las radiolaritas del Mb Arroyo La Yabana asignadas al Coniaciano Superior-Santoniano.

2.2. Cenozoico

2.2.1. Paleógeno

Los sedimentos paleógenos afloran de forma discontinua en la vertiente meridional de la cordillera, discordantes sobre un paleorelieve modelado en el sustrato volcánico-sedimentario cretácico y sus intrusiones asociadas. Se presentan con inclinación moderada a fuerte hacia las fallas que los limitan, acumulando espesores importantes: cerca de 4500 m en la Hoja de Monte Plata, 1500 m entre las poblaciones de Monte Plata y Bayaguana, unos 750 m en Hato Mayor, unos 300 m en Miches y 1400 m al este de El Seibo en la Hoja de Rincón Chavón. La discontinuidad de los afloramientos impide la correlación directa y ha promovido el uso de distintas nomenclaturas para cada área. Combinando la correlación bio y litostratigráfica se diferencian tres unidades principales:

Unidad inferior de conglomerados. Corresponde a la facies tipo de conglomerados rojizos definida por Bowin (1966) en el pueblo de Don Juan (Hoja de Monte Plata). Es la unidad más ubicua de las tres y también la más referenciada en la bibliografía, se ha descrito en los mapas a escala 1:50.000 de Sabana Grande de Boyá, Monte Plata, Antón Sánchez, Bayaguana, Hato Mayor del Rey y Miches. De forma imprecisa se incluyen en el Eoceno Inferior, sin que deba descartarse que los niveles más bajos pertenezcan al Paleoceno. Por su edad se consideran en parte equivalentes a la Fm de Caliza de Bejucal de la Hoja de Rincón Chavón.

Unidad intermedia de calizas. Está presente en tres pequeñas áreas de las Hojas de Monte Plata, Miches y Rincón Chavón. La facies dominante son calizas arrecifales masivas, si bien pueden existir diversas litologías subordinadas. A pesar de su similitud litológica ha recibido distintas denominaciones: Fm La Luisa, Yabón, Loma Peñón y El Guano. La fauna que contiene permite asignarla al Eoceno Medio. La unidad intermedia de calizas es el tramo de referencia en el que se basan las atribuciones cronoestratigráficas de la serie paleógena.

Unidad superior detrítica. Se localiza en dos afloramientos aislados de las Hojas de Miches y de Rincón Chavón. Se trata de un conjunto de conglomerados, brechas y areniscas datados imprecisamente como Eoceno Superior-Mioceno en Rincón Chavón.

2.2.1.1. Formación de Conglomerados de Don Juan. Conglomerado rojizo con cantos dominantes de caliza (13). Margas, areniscas, conglomerados y calizas (14). Eoceno. P₂

La Formación Don Juan fue propuesta por primera vez por Bowin (1966) para agrupar un conjunto de conglomerados, areniscas, limolitas y calizas, con niveles de tobas, que afloran entre el cabalgamiento de Hatillo y el pueblo de Don Juan. Estas litologías forman dos unidades cartográficas en la Hoja de Hato Mayor: una unidad inferior de conglomerados de color rojo-vinoso (13) que grada en vertical y posiblemente en lateral a una unidad superior de margas, areniscas, conglomerados y calizas (14).

La unidad inferior (13) forma una línea N-S de lomas alrededor del pueblo de El Puerto. En estas lomas las capas de conglomerados buzan unos 20° hacia el oeste, discordantes sobre areniscas del Cretácico Superior previamente basculadas hacia el sur (corte geológico IV-IV', Fig. 4.3). El espesor en sección acumulada se aproxima a 600 m. Los conglomerados forman capas métricas amalgamadas con cantos angulosos a subredondeados entre una matriz rojiza de arenisca y grava. El diámetro medio de los cantos es menor a 10 cm, y el tamaño máximo se acerca a 20 cm, con una pobre, pero evidente estratificación horizontal. Los cantos son heterolíticos, de calizas, rocas volcánicas y areniscas volcánicas. En los cantos de calizas, Bourdon (1985) cita biomicritas con rudistas y foraminíferos bentónicos de edad Senoniano Superior indiferenciado y Maastrichtiano. Adicionalmente, R. Rojas (*com. personal*, 2003) ha reconocido rudistas maastrichtianos. El área fuente son las formaciones que afloran en el área cartografiada: Hatillo, Los Ranchos, Las Guayabas, y otras actualmente erosionadas: las Fms Río Chavón y Loma de Anglada.

Al oeste del pueblo de El Puerto, las capas de conglomerados anteriormente descritas se verticalizan hasta 70° y son cubiertas por las margas, areniscas y calizas de la unidad (14). Al sur de El Puerto, este contacto es una falla NO-SE que deprime de forma relativa el bloque meridional. Adyacentes a esta falla afloran calcarenitas parcialmente recristalizadas con dolomitización y silicificación, cubiertas por margas con intercalaciones de conglomerados rojizos y debritas de calizas bioclásticas y brechas. Las intercalaciones de conglomerados indican que existe una relación lateral con la unidad inferior (13).

Los fósiles recogidos provienen de zonas someras de la plataforma: esponjas, equínidos, coralarios, briozoos, lamelibranquios, algas melobesias, *Rotalia* sp., *Lenticulina* sp., *Neorotalia* sp., *Osangularia* sp., *Anomalina* sp.

El ambiente deposicional de la Fm Don Juan es poco conocido debido a que los conglomerados no presentan estructuras diagnósticas de las secuencias fluviales como canalizaciones y barras. Para explicar la estratificación grosera horizontal se propone un mecanismo de transporte y sedimentación por corrientes tractivas que arrastran y depositan en masa la carga, actuando en la parte proximal de un abanico deltaico de gradiente elevado. La ausencia de fósiles hace difícil determinar si el medio deposicional es continental o marino. Los sedimentos de la unidad (14) caracterizan a un talud submarino con procesos de resedimentación.

Los fósiles incluidos en los cantos de la unidad (13) indican que el conglomerado es posterior al Maastrichtiano. La fauna recogida en la unidad (14) no es significativa para determinar la edad.

2.2.2. Neógeno-Cuaternario

El Neógeno-Cuaternario se halla representado en los dos flancos de la Cordillera Oriental por una extensa plataforma de carbonatos. Al norte forma la región de Los Haitises (Hojas a escala 1:50.000 de Sabana Grande de Boyá, Antón Sánchez, Bayaguana, El Valle y Hato Mayor del Rey) basculada entre cotas superiores a 300 m y el nivel del mar de la bahía de Samaná. La combinación de relieve, intensa fracturación y clima han favorecido el desarrollo de un espectacular karst tropical de torres. Al sur forma la Llanura costera del Caribe (Hojas a escala 1:50.000 de Monte Plata, Bayaguana, Hato Mayor del Rey, El Seibo y Las Lisas), áreas donde la morfología indeformada de la plataforma está mejor preservada, descendiendo escalonadamente desde cotas cercanas a 100 m hasta el litoral del Caribe.

Pese al atractivo geológico que ofrece la región de Los Haitises, los trabajos estratigráficos son escasos, y en su mayoría se relacionan con la minería del ámbar. La razón principal es la inaccesibilidad producida por una exuberante vegetación tropical desarrollada sobre un relieve en “caja de huevos”, con infinidad de montículos (*hums* o haitises) entre una red de depresiones (dolinas y uvalas) con desniveles superiores a 200 m.

Entre los trabajos que describen la estratigrafía de Los Haitises, destaca el de Brouwer y Brouwer (1982), centrado en el ámbar, que describe cuatro unidades superpuestas: (1) conglomerado basal, (2) Fm Yanigua (que contiene el ámbar), (3) caliza de Cevicos, y (4) caliza de Los Haitises. Un nuevo estudio sobre la geología del ámbar en el ámbito caribeño (Iturralde-Vinent, 2004) incluye el conglomerado basal de Brouwer y Brouwer dentro de la Fm Yanigua y la caliza de Cevicos dentro de la Fm Haitises, simplificando el esquema estratigráfico a dos unidades: la Fm Yanigua, constituida por margas con intercalaciones de conglomerados, calizas y masas discontinuas de ámbar y lignito; y la Fm Los Haitises, formada por calizas arrecifales, que forman el karst. Recientemente, el estudio de la minería artesanal de la República Dominicana (ITGE, 1997), elaborado dentro del Programa SYSMIN, aporta nuevos datos sobre la Fm Yanigua desde un punto de vista minero.

En las cartografías del proyecto L-Este se han adoptado los criterios generales propuestos por Iturralde-Vinent, diferenciando dos unidades: (1) la Fm Yanigua (Hojas de Sabana Grande de Boyá, Antón Sánchez, Bayaguana, El Valle y Hato Mayor del Rey), formada por margas y lutitas con pequeñas masas de lignito y ámbar, además de niveles métricos de calizas y conglomerados. Estos últimos son más frecuentes hacia la base, y en algunas localidades de la Hoja de Sabana Grande de Boyá forman cuerpos cartografiables; (2) la Fm Los Haitises (Hojas de Sabana Grande de Boyá, Antón Sánchez, El Valle) constituida por calizas arrecifales masivas, diferenciadas en dos tramos, en función del mayor o menor contenido en carbonato.

No existe unanimidad sobre la edad de la secuencia sedimentaria. Brouwer y Bruower (1982) sitúan la Fm Yanigua en el Mioceno, Bourdon (1985) atribuye el conjunto calcáreo al Mioceno Superior-actualidad, Toloczy y Ramírez (1991) asignan la Fm Yanigua al Mioceno Superior-Plioceno y la Fm Los Haitises al Plioceno-Cuaternario, y por último, Iturralde-Vinent (2004) propone una edad Mioceno Inferior-Medio para la Fm Yanigua y Mioceno Medio-Superior para la Fm Los Haitises. En cualquier caso, el hallazgo durante la realización del presente trabajo de asociaciones faunísticas características del Plioceno dentro de la Fm Yanigua (Hoja de Antón Sánchez) ha sido el criterio seguido para establecer la cronoestratigrafía de la zona, asignando por su posición estratigráfica la Fm Los Haitises al Plioceno-Pleistoceno.

Los afloramientos de la Fm Yanigua se distribuyen por el borde sur y sureste de la región de Los Haitises, sin que pueda determinarse si existe hacia el norte un cambio lateral de

margas a calizas arrecifales de la Fm Haitises. Ambas formaciones yacen sobre un paleorelieve fallado y plegado modelado en rocas cretácicas y tonalitas, con altos paleogeográficos semicirculares que indican que la Cordillera Oriental estaría reducida a una serie de isleos. La Formación Yanigua se interpreta como depósitos marino-lagunares costeros de baja energía y la Fm Haitises como calizas arrecifales. La superposición de estos ambientes indica un contexto inicialmente transgresivo, que cambia a regresivo con el retroceso de la línea de costa y del complejo arrecifal hasta la disposición actual en la bahía de Samaná. Es una regresión forzada por la elevación tectónica de la región entre el Plioceno y el Holoceno. De acuerdo con este esquema, es predecible que la caliza de Los Haitises sea diacrónica, más antigua en el sector meridional (Plioceno) y prácticamente actual en el margen de la bahía.

La plataforma de carbonatos de la Llanura costera del Caribe ha sido poco estudiada. Tradicionalmente ha sido tratada independientemente de la plataforma de Haitises, pero una relación genética es muy posible, como sugiere la práctica conexión de los afloramientos al NE de Bayaguana y en el extremo oriental de la cordillera, cerca de Nisibón. En las Hojas de Monte Plata, Bayaguana, Hato Mayor del Rey, El Seibo y Las Lisas está formada por lutitas rojas y margas con intercalaciones de calizas y de calizas margosas, que localmente constituyen la litología dominante. Por su similitud litológica con los afloramientos del norte de la cordillera, se han cartografiado como Fm Yanigua. A continuación se describen las unidades presentes en la cartografía de Hato Mayor del Rey.

2.2.2.1. Formación de Margas de Yanigua. Lutitas rojas o verdes moteadas, calizas margosas con moluscos y conglomerados (16). Plioceno. N₂

La Formación Yanigua aflora discordante sobre los relieves erosionados de la Cordillera Oriental y en la región de piedemonte de la vertiente sur. En el área de la cordillera cubre a la Formación Los Ranchos con un contacto de base subhorizontal alrededor de la cota 200m. En la vertiente derecha del río Casuí afloran unos 40 metros de lutitas de color rojoso con intercalaciones de capas decimétricas de conglomerados, horizontes de paleosuelos con rizocreaciones y niveles de calizas nodulosas con acumulaciones de lamelibranquios y gasterópodos. Las calizas abundan más hacia el techo hasta gradar a la Fm de Haitises (17).

En la región del piedemonte, la Fm Yanigua cubre discordante a las Formaciones Don Juan y Las Guayabas y está parcialmente cubierta por sedimentos aluviales recientes. El contacto de base se orienta de NO a SE, descendiendo desde la cota 80 m en las localidades más noroccidentales a 20 m en las surorientales. El espesor aflorante no supera 40 m. La formación presenta dos litologías principales: (1) margas pardo-rojizas, grises o pardo-amarillentas y (2) calizas margosas grises con construcciones de corales. Aunque estas litologías no se han diferenciado en la cartografía, los datos preliminares sugieren que las primeras dominan en la frontera con la Hoja de Bayaguana y las segundas al sur del paralelo UTM 2070 y al este del meridiano 452. El mejor punto de observación de las construcciones arrecifales es una cantera activa a la derecha de la pista que conduce desde El Puerto al Batey Calmito (punto nº 10 del apartado de 7.2.1. Rocas industriales).

La Fm Yanigua se acumuló en un ambiente costero protegido en la parte interna de la plataforma arrecifal. Las lutitas versicolores se interpretan como facies de bahía fangosa con terrígenos provenientes de áreas próximas emergidas; y las calizas margosas con fauna arrecifal como depósitos de áreas libres de las descargas del continente. La presencia de conglomerado en los depósitos que yacen sobre la cordillera indica relieves continentales más importantes que en la región del piedemonte.

No hay datos de edad en la Hoja de Hato Mayor. La Formación se asigna al Plioceno en base a la datación realizada en la Hoja de Antón Sánchez (Díaz de Neira y Hernaiz Huerta, 2004).

2.2.2.2. Formación de Caliza de Haitises. Calizas margosas con moluscos y corales (17). Plioceno-Pleistoceno. N₂ – Q₁₋₃

Existe un afloramiento reducido en la esquina noroeste de la Hoja que continúa los afloramientos más extensos de la Hoja de El Valle. Se compone de calizas margosas fosilíferas con corales, gasterópodos y lamelibránquios y entre la microfauna se ha reconocido *Misorites americanus*, *Archaias* sp., *A. angulatus*, *Annulosorites spiralis*, *Borelis* sp., *Alveolinella* sp., *Peneroplis* sp., *Dendritina?* sp., *Spirolina?* sp., *Elphidium* sp., *E. cf. rota*, miliólidos, spirillínidos, peneróplidos, ataxophragmídiidos, ophthalmídiidos y ostrácodos. Es una facies de plataforma interna arrecifal, transgresiva sobre la Fm Yanigua infrayacente. La fauna recogida asegura una edad Mioceno Medio-Plioceno, que se ciñe al Plioceno por su posición estratigráfica.

2.2.3. Cuaternario

Una delgada cobertera de sedimentos de edad holocena cubre parte de la Llanura Costera del Caribe en la mitad sur de la cartografía y forma el sustrato de los campos de caña. En contraste, el área montañosa de la mitad norte de la cartografía se halla desprovista de recubrimiento. Los sedimentos más extendidos son de origen aluvial, en menor proporción hay coluviones y depósitos de origen aluvial-coluvial. La alteración argilítica afecta principalmente a los sedimentos cuaternarios del borde occidental, con mayor intensidad en los alrededores del pueblo de El Puerto.

2.2.3.1. Depósitos de abanico aluvial. Lutitas con cantos y arenas (18). Holoceno. Q₄

Son depósitos de composición heterogénea, formados por lutitas con cantos y arena con mala organización. Por su continuidad destaca un manto de 13 km de longitud en dirección norte-sur y de procedencia norte, que ocupa el borde oeste de la cartografía. Tiene un espesor generalmente menor de medio metro y en algunas localidades está cubierto por costras cementadas de pisolitos (ferralitización). Hacia el este termina paralelo a la pista que se dirige a los pueblos de La Estrella y Los Llanos, formando el límite erosivo donde arranca la vertiente del río Casuí. Es un depósito de abanico aluvial de baja pendiente, situado a cotas más elevadas que las terrazas más altas preservadas del río Casuí.

En el centro-sur de la cartografía los depósitos de abanico son de proveniencia norte y poco potentes, mientras que en el cuadrante sureste proceden del noreste, rellenando valles entre las crestas resistentes de arenisca de la Fm Las Guayabas. El depósito en el corte de la cañada Magdalena, es de espesor métrico, formado por bloques angulosos casi nada rodados de areniscas y chert. Cerca de su confluencia con el arroyo Papa Luis (UTM X: 047360, Y: 206500) consiste en dos niveles superpuestos, el inferior deformado, tal vez por problemas de compactación (Fig. 2.6).

2.2.3.2. Coluviones. Limos, arenas y cantos (19). Holoceno. Q₄

Retazos de coluviones formados por limos, arenas y cantos se observan en las vertientes del río Casuí, provenientes del desmantelamiento de los depósitos de abanico aluvial y de las rocas neógenas. Otros depósitos menos importantes cubren la ladera inclinada de las Lomas San Nicolás y El Limón, cerca del pueblo de La Clara.

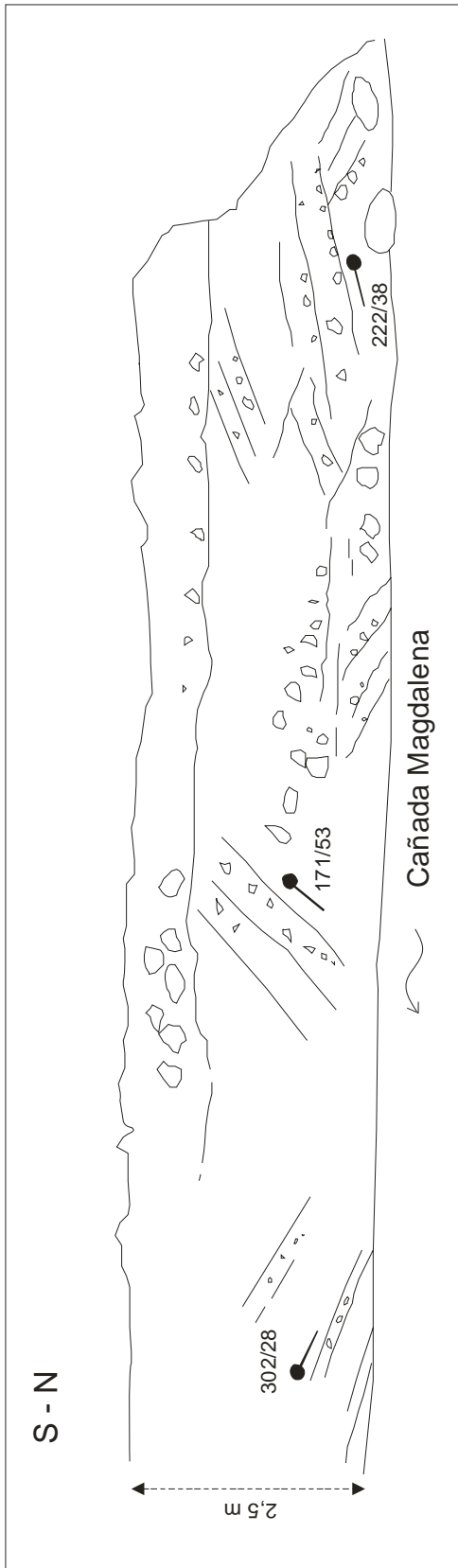


FIGURA 2.6. SEDIMENTOS CUATERNARIOS DE ABANICO ALUVIAL DEFORMADOS Y CUBIERTOS POR SEDIMENTOS INDEFORMADOS EN LA CAÑADA MAGDALENA

2.2.3.3. Terrazas. Gravas, arenas y limos (20). Holoceno. Q₄

Son depósitos estrechos y alargados colgados a escasos metros sobre los ríos Casuí, Almirante e Higuamo. Se componen de gravas subredondeadas, arena y limo con estructuras canaliformes y tractivas. Un ejemplo es la terraza del río Casuí expuesta en la pista que conduce a El Puerto, formada por unos 8 m de arena y conglomerado rellenando canales entre limos rojos. Los materiales provienen predominantemente de la erosión de la Fm Don Juan.

2.2.3.4. Depósitos de fondo de valle. Cantos, arenas y gravas (21). Holoceno. Q₄

Los fondos encajados de los arroyos y ríos contienen barras de arena y grava separadas por tramos con afloramiento del sustrato rocoso. Las principales acumulaciones que se han reflejado en la cartografía se encuentran en el curso bajo del río Casuí.

2.2.3.5. Depósitos aluviales-coluviales. Limos, arenas y gravas (22). Holoceno. Q₄

Son depósitos de limos, arenas y gravas, que rellenan depresiones sin morfología definida entre lomas de elevada pendiente que aportan material coluvionar. Dos ejemplos son el relleno de la depresión excavada por el arroyo Palacio al pie de la Loma Peña Alta y los depósitos alrededor del arroyo Juan Prieto al pie de la Loma Alfonsillo.

3. GEOQUÍMICA Y DATACIONES ABSOLUTAS DE LAS ROCAS ÍGNEAS

3.1. Geoquímica de la Fm Los Ranchos e intrusivos relacionados

Esta caracterización geoquímica (Escuder-Virueite, 2004), se ha realizado para el conjunto de las rocas de la Fm Los Ranchos muestreadas en la Cordillera Oriental y para los intrusivos asociados (Fig. 3.1).

Las rocas de la Fm Los Ranchos utilizadas para determinar las características geoquímicas fueron aquellas que no presentan texturas de cumulos ígneos o una gran abundancia de fenocristales (Fig. 3.2). Por lo tanto, las rocas utilizadas fueron aquellas que mejor representan la composición de un líquido magmático: diques, rocas volcánicas (flujos y

rocas volcanoclásticas) y granitoides. Las facies de gabros bandeados o masivos son incluidas en los diagramas como comparación. Sin embargo, los contenidos muy similares en elementos traza que presentan respecto a las facies de diques y depósitos volcánicos, sugiere que los minerales acumulados que contienen han preservado las características de los magmas de los que proceden.

En un diagrama Nb/Y *versus* Zr/TiO₂ (Winchester y Floyd, 1977), las rocas muestreadas de la Fm Los Ranchos gradan en composición desde basaltos subalcalinos hasta composiciones andesíticas y de riolitas/riodacitas, observándose en el diagrama una cierta ausencia de composiciones intermedias basáltico/andesíticas (Fig. 3.3A). En este estudio se incluyen también los intrusivos en la Fm Los Ranchos de composición tonalítica y cuarzodiorítica relacionados con las rocas volcánicas ácidas. Estas muestras proceden de los macizos de El Valle (JM-9070), Haitises (HH-9044) y Sabana Grande de Boyá (JM-9177, JM-9176 y JM-9181). En los diagramas Yb *versus* Th y Zr *versus* Y de Barrett y McLean (1999) las rocas máficas son subalcalinas y muestran en particular una afinidad toleítica (Figs. 3.3B, D). En la Fig. 3.4 se muestra la variación de algunos óxidos y elementos traza seleccionados respecto al MgO (% en peso) en las diferentes unidades litoestratigráficas de rocas volcánicas en la Fm Los Ranchos e intrusiones relacionadas. En los diagramas se observa también la ausencia de composiciones intermedias, distinguiéndose dos grupos composicionales: rocas volcánicas basálticas, basáltico-andesíticas y andesíticas, intrusiones de gabros y microgabros y la unidad basáltica intermedia de la Hoja de Antón Sanchez (¿Mb La Naviza?) (%MgO>3,3); y rocas volcánicas riolíticas e intrusiones cuarzodioríticas y tonalíticas (%MgO<1,4).

La comparación de muestras de la Fm Los Ranchos con un similar grado de fraccionación (o Mg#) revela la existencia de una gran variación, tanto en la abundancia de elementos traza, como en el tipo de diagrama de REE extendido resultante al normalizar los análisis respecto al manto primordial (Fig. 3.5). En una primera aproximación, todas las rocas de la Fm Los Ranchos son de carácter toleítico (ver más adelante) y presentan una pronunciada anomalía negativa de Nb (y de Ta) indicativa de un origen relacionado con la subducción. Como las tierras raras pesadas (HREE) y los HFSE (Ti, Zr, Hf, Ta y Nb) no resultan afectadas por el componente relacionado con la subducción en magmas de arco (Pearce y Peate, 1995), estos elementos pueden ser utilizados como una guía de la composición del manto del cual derivaron las rocas magmáticas estudiadas. En los diagramas, la pendiente negativa de los HFSE aumenta con el grado de empobrecimiento del manto y la abundancia de las HREE (a

grados equivalentes de fraccionación) refleja cuantitativamente el grado de fusión parcial. Estos aspectos importantes de los diagramas de REE extendidos quedan reflejados en relaciones de elementos trazas normalizados respecto al MP (Figs. 3.6 y 3.2): la relación $(Zr/Sm)_N$ refleja la naturaleza de la anomalía del Zr (y Hf) y la relación $(La/Yb)_N$ refleja el grado de enriquecimiento o empobrecimiento en las tierras raras ligeras (LREE). Valores bajos de ambas relaciones indican una fuente mantélica más empobrecida, previamente al metasomatismo en el manto relacionado con los procesos de subducción. El Mg# y el contenido en TiO_2 proporcionan de forma cuantitativa información sobre el grado de fraccionación y empobrecimiento de la fuente, respectivamente, excepto cuando las anomalías positiva o negativa del Ti en el diagrama de REE extendido indican que el contenido en Ti ha sido afectado por procesos de fraccionación cristalina. Como puede observarse en la Fig. 3.5, todos los patrones de distribución de REE de las rocas de la Fm Los Ranchos indican una fuente para los magmas de carácter similar a la de los N-MORB y más empobrecida.

En el presente trabajo se han distinguido dos series geoquímicas de rocas básicas en la Fm Los Ranchos, entendiendo que en la realidad existen composiciones transicionales entre ellas. Estos dos tipos de rocas básicas son: (tipo I) toleitas de arco isla (IAT) pobres en Ti y LREE; y (tipo II) toleitas de arco isla (IAT) normales y pobres en Ti. Un tercer grupo está constituido por las rocas félsicas, que incluye las rocas volcánicas ácidas de la Fm Los Ranchos y los intrusivos de composición tonalítica y cuarzodiorítica genéticamente relacionados.

Tipo I: Toleitas de arco isla (IAT) pobres en Ti y LREE

Este grupo está representado por las rocas volcánicas máficas de la Fm Los Ranchos (basaltos y basaltos andesíticos), las rocas volcánicas de la unidad basáltica intermedia (¿Mb La Naviza?) y los gabros masivos y diques máficos microgabroicos intrusivos. Algunas de las rocas volcánicas tienen composiciones de basaltos ricos en Mg ($MgO > 8\%$) e incluyen las composiciones menos fraccionadas de todas las muestras ($Mg\# > 50$). Los intrusivos son rocas también poco fraccionadas ($Mg\# > 46$). En un diagrama de REE extendido (Fig. 3.5), muchas de las rocas del tipo I muestran un empobrecimiento en LREE (con $(La/Yb)_N$ entre 0,28 y 0,69) y anomalías negativas de Zr y Hf (relación $(Zr/Sm)_N$ entre 0,50 y 1,03). De forma general, todas las muestras tienen una anomalía negativa de Nb. En algún caso no se observan anomalías de Th y Nb, por lo que estas rocas no tienen un significativo

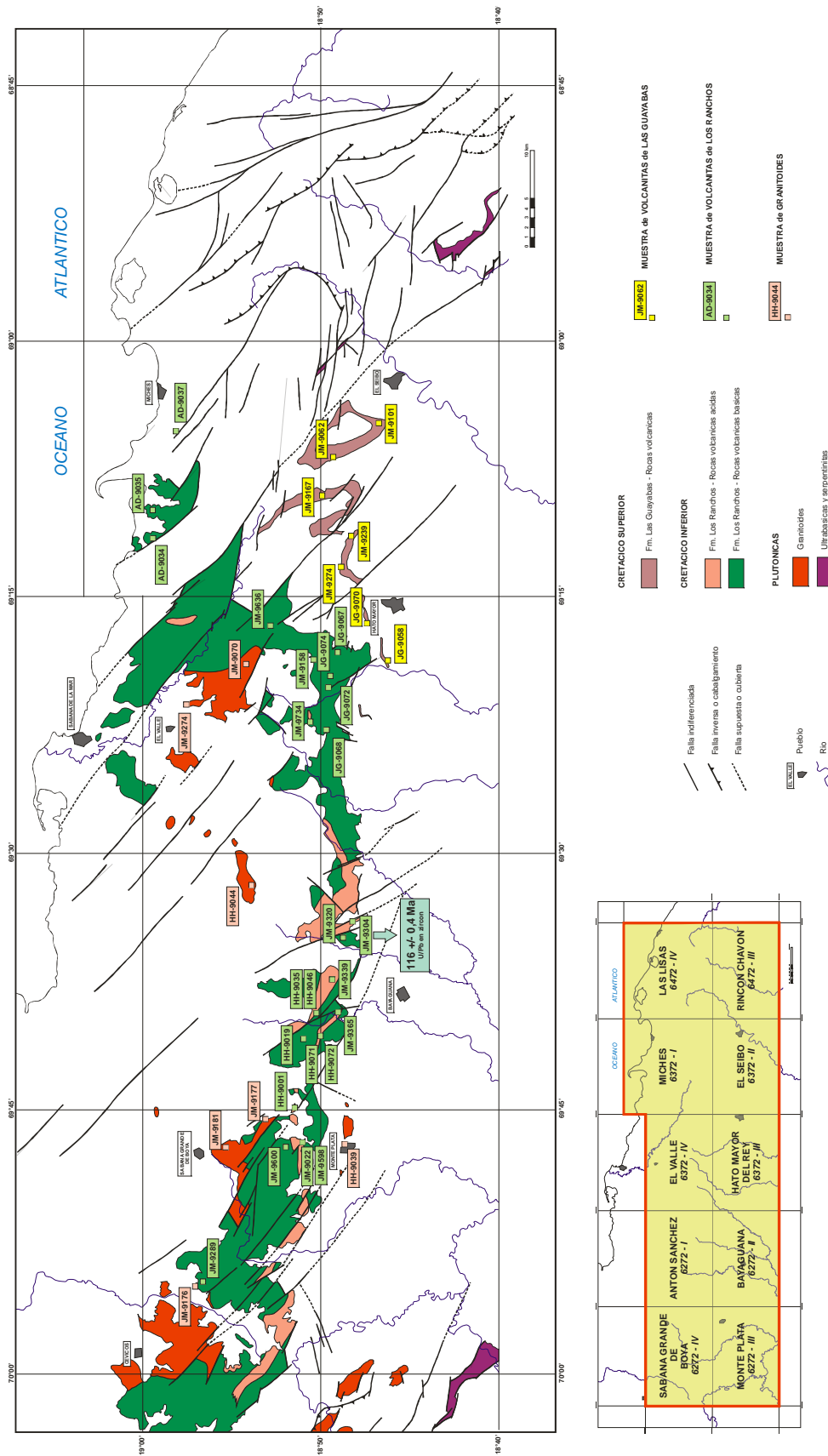


FIGURA 3.1. SITUACIÓN DE LAS MUESTRAS DE GEOQUÍMICA RECOGIDAS EN LA CORDILLERA ORIENTAL

FIG. 3.2. TABLA DE RELACIÓN DE MUESTRAS DE GEOQUÍMICA DE LA FM LOS RANCHOS

Unidad	Litología	Muestra	clasificación TAS	Mg#	(Zr/Sm)N	(La/Yb)N	Tipo	
Los Ranchos (indif.)	Basalto	JM-9022	<i>basalto</i>	65,73	0,52	0,62	1	<i>boninita</i>
Los Ranchos (indif.)	Volcanoclastica	JM-9289	<i>basalto andesítico</i>	46,85	0,58	0,28	1	
Los Ranchos (indif.)	Basalto	JM-9598	<i>basalto</i>	52,83	0,54	0,45	1	
Los Ranchos (indif.)	Riolita ?	JM-9600	<i>riolita</i>	25,22	1,02	0,51	3	
Los Ranchos (indif.)	Andesita porfírica	JM-9320	<i>basalto andesítico</i>	45,81	0,66	0,69	1	
Los Ranchos (indif.)	lava intermedia	JG-9067	<i>basalto andesítico</i>	62,38	0,80	0,82	2	<i>boninita?</i>
Los Ranchos (indif.)	canto basalto en brecha	JG-9068	<i>riolita</i>	26,22	1,69	0,71	3	
Los Ranchos (indif.)	basalto dolerítico	JG-9072	<i>basalto</i>	45,78	0,67	0,79	3	
Los Ranchos (indif.)	lava básica	JG-9074	<i>basalto</i>	39,74	0,64	0,64	2	
Los Ranchos (indif.)	lava básica	AD-9034	<i>andesita</i>	53,77	1,03	0,50	1	<i>boninita?</i>
Los Ranchos (indif.)	lava básica	AD-9035	<i>basalto andesítico</i>	60,87	0,74	0,66	1	<i>boninita</i>
Los Ranchos (indif.)	Riolita	JM 9365	<i>riolita</i>	24,82	1,50	1,17	3	
Los Ranchos (indif.)	Riolita	JM 9304	<i>riolita</i>	18,24	0,68	1,92	3	
Los Ranchos (indif.)	Andesita porfídica	JM 9636	<i>basalto andesítico</i>	45,58	0,75	0,93	2	
Los Ranchos (indif.)	Colada de basalto	JM 9158	<i>andesita</i>	40,55	0,64	0,72	2	
Los Ranchos (indif.)	Riolita	JM 9734	<i>riolita</i>	36,95	0,91	0,58	3	
La Naviza	Basalto/Bas. Andesítico	HH-9019	<i>basalto</i>	56,41	0,52	1,36	1	
La Naviza	Basalto/Bas. Andesítico	HH-9035	<i>basalto andesítico</i>	43,64	0,50	0,54	1	<i>boninita?</i>
Meladito Fragmental	Brecha piroclástica	HH-9038	<i>dacita</i>	43,84	0,53	1,69	2	
Serie Riolítica Inferior	Riolitas	HH-9046	<i>riolita</i>	10,51	0,97	1,63	3	
Serie Riolítica Inferior	Riolitas	HH-9046du	<i>riolita</i>	10,76	1,01	1,78	3	
Serie Riolítica Inferior	Riolitas	HH-9049	<i>riolita</i>	29,03	1,37	1,11	3	
Serie Riolítica Superior	Riodacita	HH-9071	<i>riolita</i>	20,44	1,31	1,21	3	
Serie Riolítica Superior	Riodacita	HH-9072	<i>riolita</i>	27,65	1,15	1,14	3	
Intrusivo básico	Roca básica	AD-9037	<i>andesita</i>	49,67	0,29	2,53	3	
Granitoide	Gabro	JM-9177	<i>basalto andesítico</i>	46,04	0,61	0,26	1	Mz S.G. Boyá
Granitoide	Tonalita/Cuarzodiorita	JM 9070	<i>dacita</i>	36,26	1,19	1,39	3	Mz El Valle
Granitoide	Microgabro	JM 9274	<i>basalto</i>	53,54	0,82	1,29	2	
Granitoide	Microgabro	RE/JM 9274	<i>basalto</i>	53,50	0,90	1,45	2	
Granitoide	Tonalita/Cuarzodiorita	JM-9176	<i>riolita</i>	33,63	1,03	0,42	3	Mz S.G. Boyá
Granitoide	Tonalita	HH-9044	<i>riolita</i>	34,38	1,03	0,55	3	Mz Haitises
Granitoide	Tonalita/Cuarzodiorita	JM-9181	<i>riolita</i>	28,25	0,85	0,50	3	Mz S.G. Boyá

Tipo I: toleitas de arco isla (IAT) pobres en Ti y LREE; Tipo II: toleitas de arco isla (IAT) normales y pobres en Ti; Tipo III: rocas félsicas, que incluye las rocas volcánicas ácidas de la Fm Los Ranchos y los intrusivos de composición tonalítica y cuarzodiorítica genéticamente relacionados.

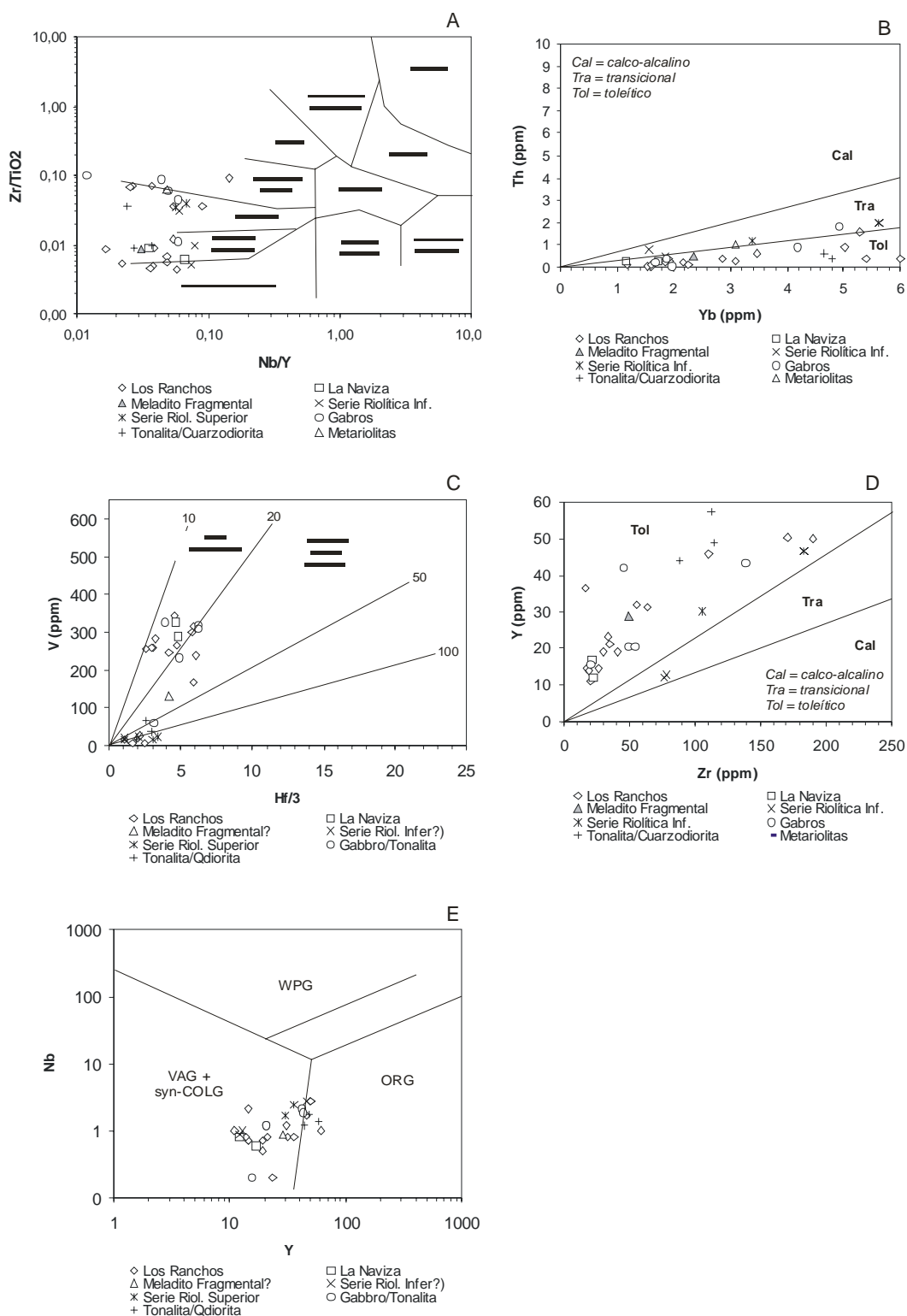


Fig. 3.3. Proyección de las rocas de la Fm Los Ranchos en los diagramas Nb/Y versus Zr/TiO₂ (Winchester y Floyd, 1977), Yb-Th y Zr-Y (Barrett y McLean, 1999), Ti/1000-V de Shervais (1982) e Y-Nb de discriminación de granitoides (Pearce *et al.*, 1984).

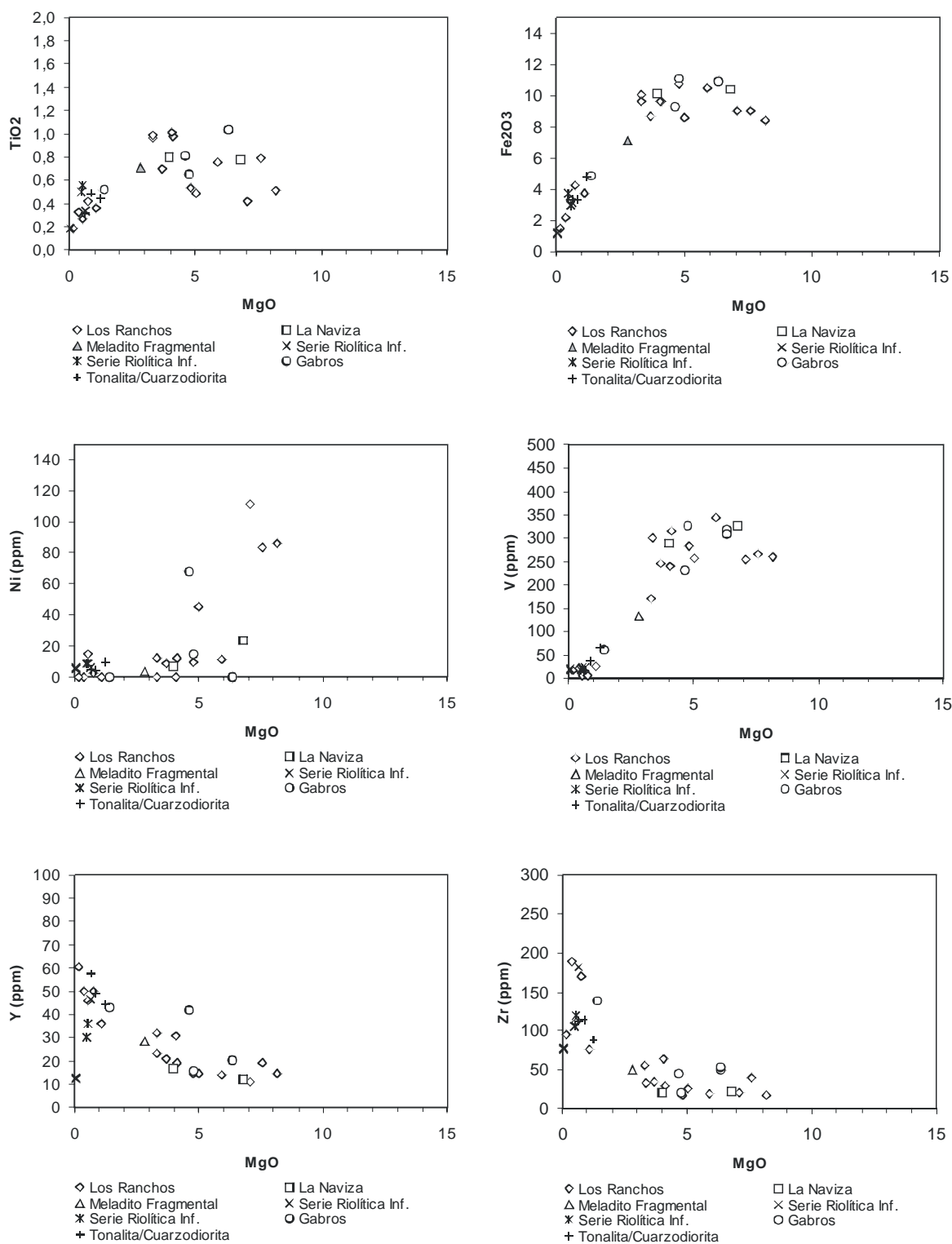
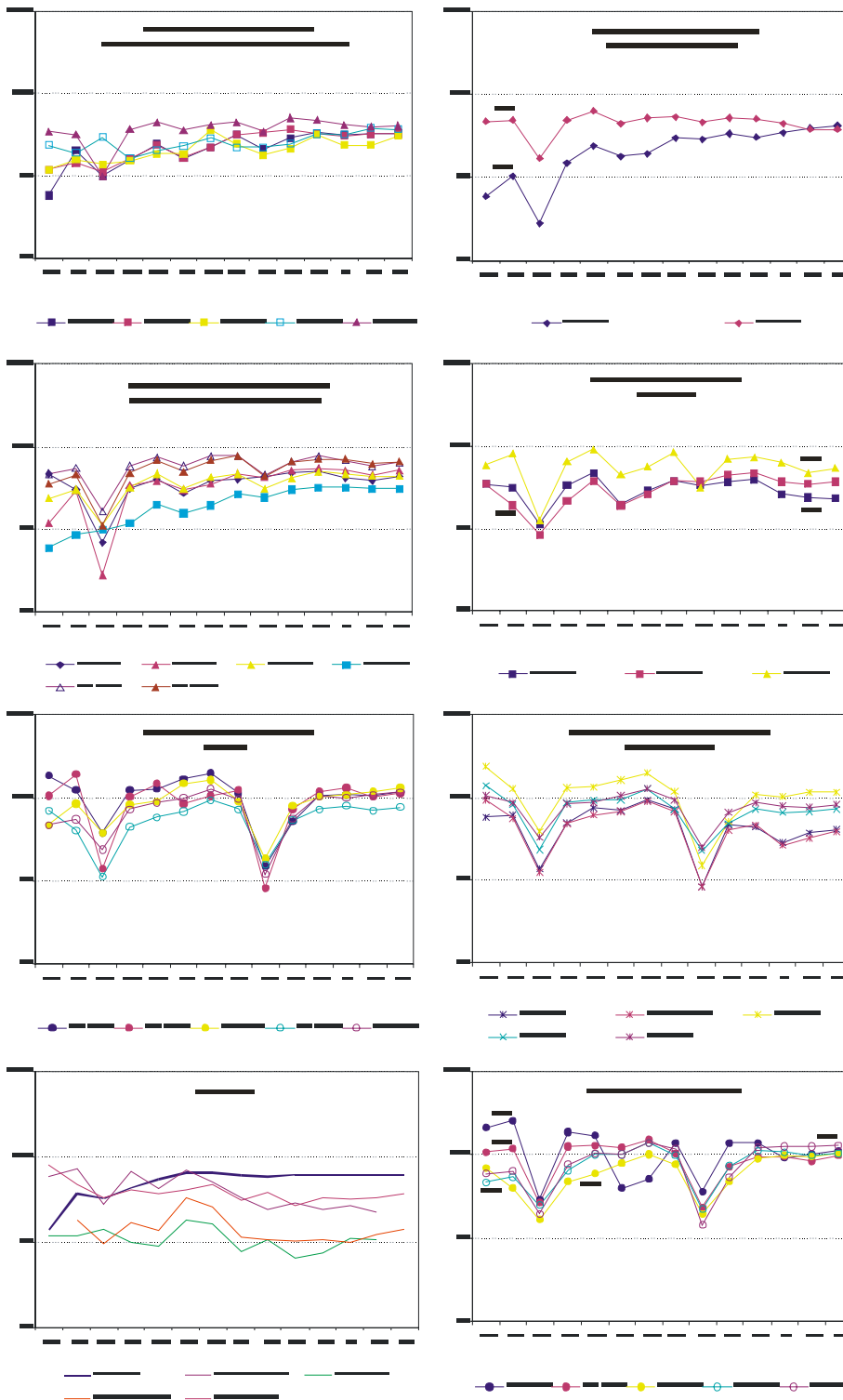


Fig. 3.4. Diagramas binarios frente al MgO para las rocas de la Fm Los Ranchos.



Rocas volcánicas: Tipo 1 y Mb. La Naviza = cuadrados; Tipo 2 y Mb. Meladito = triángulos; Tipo 3 = círculos; Series riolíticas = estrellas
Rocas intrusivas: Tipo 1 = rombos; Tipo 3= tonalitas y cuarzodioritas

Fig. 3.5. Diagramas extendidos de REE para los distintos tipos de rocas diferenciados en Fm Los Ranchos agrupados en función del Mg#

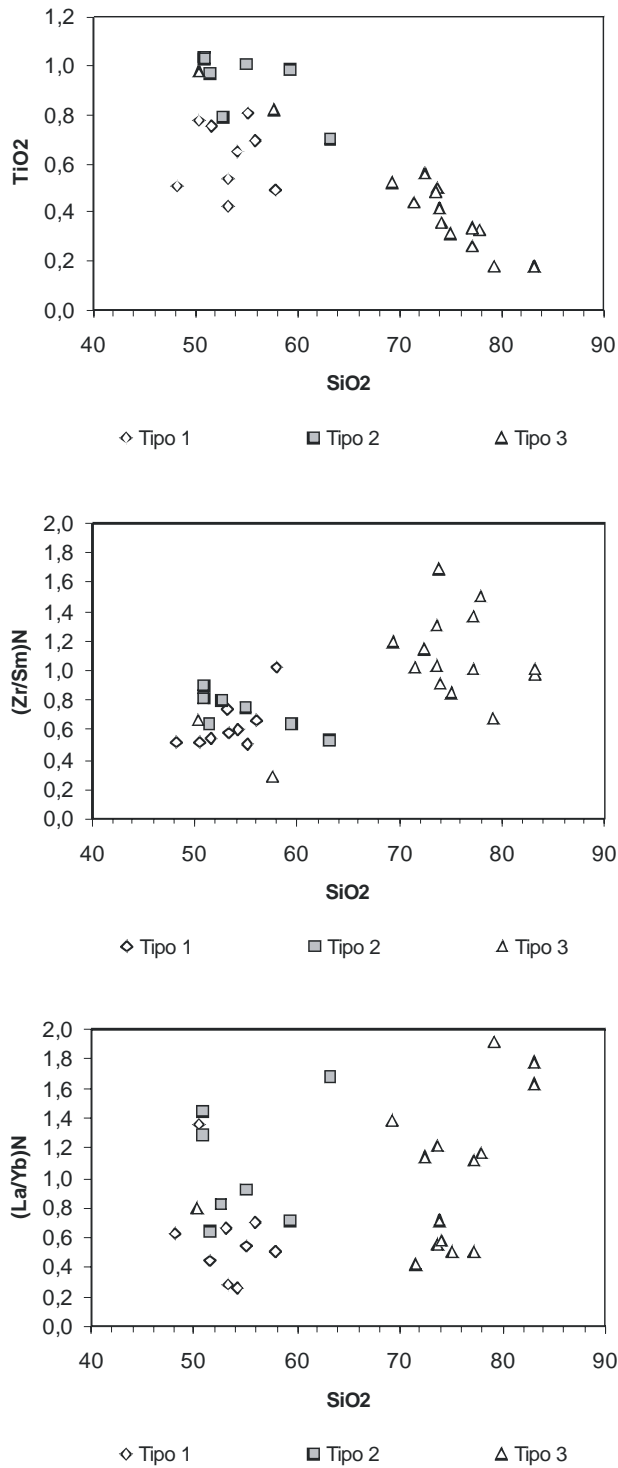


Fig. 3.6. Diagramas binarios SiO₂ versus TiO₂, (Zr/Sm)_N y (La/Yb)_N para las rocas de la Fm Los Ranchos

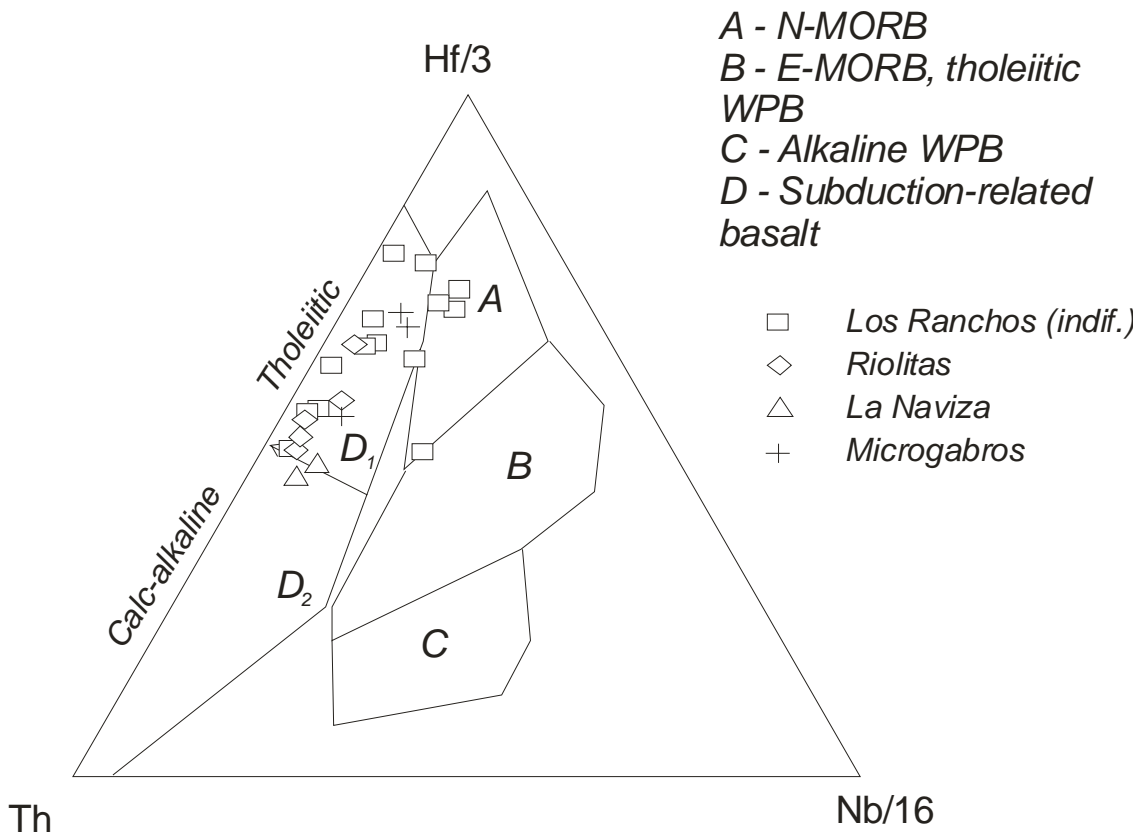


Fig. 3.7. Diagrama triangular Hf/3-Th-Nb/16 de Wood (1980) para las rocas de la Fm Los Ranchos.

componente de subducción, aunque las concentraciones medidas para estos elementos están próximas al límite de detección. El TiO_2 en este grupo es $<0,8$ para abundancias absolutas de las HREE inferiores a las del tipo II (entre 2,2 y 4,5 x manto primitivo). Los patrones de REE extendidas para los gabros son muy similares a los de las rocas volcánicas (Fig. 3.5), sugiriendo una conexión genética entre ambos tipos de rocas. Algunas muestras (JM9022 de Sabana Grande, JG9067 de Hato Mayor, AD9034 y AD9035 de Miches) presentan rangos composicionales propios de rocas boniniticas ($\text{SiO}_2 > 53\%$, $\text{MgO} > 8\%$, $\text{TiO}_2 < 0,5$; *sensu Crawford et al.*, 1989), aunque los elementos mayores pueden haber sido movilizados. El patrón de REE extendido de la unidad basáltica intermedia (¿Mb La Naviza?) es, por ejemplo, muy similar a boninitas muestreadas en el ODP Leg 125. En cualquier caso, el empobrecimiento en LREE, bajos contenidos en TiO_2 , niveles de HREE y altos Mg# que muestran las rocas de este grupo, sugieren una fuente mantélica muy empobrecida y altas tasas de fusión parcial.

Tipo II: Toleitas de arco isla (IAT) normales y pobres en Ti

Este grupo está representado por las rocas volcánicas de composición basaltos andesíticos y andesitas de la Fm Los Ranchos. Presentan composiciones de basaltos toleíticos ricos en Fe ($>9,6\%$) y están bastante fraccionadas (Mg# de 38 a 50). El TiO_2 en este grupo es bajo oscilando entre 0,7 y 1,03%. El patrón en un diagrama de REE extendido (Fig. 3.5), es muy similar al que presentan las IAT modernas para abundancias absolutas similares (HREE de 4 a 8 x manto primitivo). Presentan un ligero empobrecimiento o enriquecimiento de LREE (con $(\text{La}/\text{Yb})_N$ entre 0,7 y 1,4), una fuerte anomalía negativa en Nb, anomalía positiva en Th en ocasiones, ligeras anomalías negativas de Zr y Hf (relación $(\text{Zr}/\text{Sm})_N$ entre 0,5 y 0,9) y HREE planas. Estas características sugieren también una fuente mantélica muy empobrecida para estas rocas (similar o incluso más empobrecida que la de los N-MORB), para tasas de fusión parcial algo menores que en el tipo I, en la que el granate no estuvo presente como fase residual ya que este mineral es el que fracciona las HREE.

Tipo III: Rocas félsicas

Este tipo agrupa las rocas volcánicas ácidas de la Fm Los Ranchos, incluyendo las muestras de las Series Riolíticas Inferior y Superior, y los intrusivos de composición tonalítica y cuarzodiorítica. En los diagramas Yb *versus* Th y Zr *versus* Y de Barrett y

McLean (1999) caen dentro del campo de las series toleíticas y, en algún caso, en el límite con las series transicionales. En función de su alto contenido en SiO_2 las rocas volcánicas son de composición riodacítica y fundamentalmente riolítica (SiO_2 entre 72 y 83%). El rango de composiciones más intermedias de las tonalitas y cuarzo-dioritas (SiO_2 entre 58 y 75%) está probablemente dominado por la presencia de plagioclasas ricas en Ca y cuarzo como cumulos, confirmando las observaciones realizadas en las láminas delgadas, la menor relación $\text{CaO}/(\text{CaO}+\text{Na}_2\text{O})$ y menor Mg# (de 28-36 frente a 10-30 para las volcánicas ácidas). Todas las rocas félsicas del grupo III caen en un diagrama SiO_2 - K_2O dentro del campo pobre en K, siendo el $\text{K}_2\text{O}<0.94$ en las rocas tonalíticas y cuarzodioríticas. Los contenidos en Zr y P_2O_5 son también muy bajos en comparación con las rocas félsicas típicamente calco-alcalinas. Los contenidos en TiO_2 son también muy bajos, entre 0,56 y 0,18. Los patrones de REE extendidas para las rocas volcánicas e intrusivos tonalíticos/cuarzo-dioríticos en la Fm Los Ranchos son muy similares para rangos de Mg# <38 (Fig. 3.5), lo que establece una clara conexión genética entre ambos tipos de rocas. Las riolitas presentan una distribución plana o ligeramente enriquecida en LREE $(\text{La}/\text{Yb})_N = 1,1$ a 1,8 y las tonalitas de plana a ligeramente empobrecida en LREE $(\text{La}/\text{Yb})_N = 0,4$ a 0,6, en contraste con las rocas félsicas calco-alcalinas que exhiben un moderado a fuerte enriquecimiento en LREE, reforzando su afinidad toleítica. El carácter toleítico frente al calco-alcalino de todas las rocas de la Fm Los Ranchos, queda claramente definido en el diagrama de discriminación tectonomagmática $\text{Hf}/3\text{-Th-Nb}/16$ de Wood (1980) (Fig. 3.7).

Aunque la composición de elementos mayores de estas rocas es similar a los plagiogranitos formados en centros de apertura oceánica, en los diagramas de discriminación tectónica muchas de las rocas volcánicas félsicas y tonalitas caen en el campo de los granitos de arco volcánico (VAG; Pearce *et al.*, 1984). Esto es compatible con la fuerte anomalía negativa en Nb observada en los diagramas extendidos de REE, característica de las rocas relacionadas con la subducción. Algunas rocas tienen una anomalía positiva en Th y en Hf (relación $(\text{Zr}/\text{Sm})_N$ entre 0,8 y 1,5). Estas rocas félsicas ricas en SiO_2 y pobres en K_2O son generalmente interpretadas como los productos de fusión parcial, en oposición a una fraccionación, de rocas máficas (Drummond y Defant, 1990; Jenner y Swinden, 1993). Este aspecto es compatible con la ausencia de rocas volcánicas de una cierta composición intermedia en la Fm Los Ranchos. La abundancia de anfíboles magmáticos indica también que estos magmas fueron hidratados.

3.2. Geoquímica de la Fm Las Guayabas e intrusivos relacionados

En el estudio geoquímico de la Fm Las Guayabas realizado en este proyecto (Escudé-Viruete, 2004), las muestras estudiadas corresponden a andesitas del Mb Loma La Vega y a intrusiones tonalíticas y cuarzodioríticas relacionadas. Se incluyen también como comparación los análisis de Lebrón y Perfit (1994), realizados en la localidad tipo de la Hoja de El Seibo (Figs. 3.1 y 3.8).

Composicionalmente se trata de un grupo de basaltos andesíticos, andesitas y dacitas relativamente bastante fraccionadas (Mg# de 44 a 20) y generalmente ricas en K₂O (entre 2,7 y 12%) y Na₂O (entre 2,6 y 5,8%). Presentan contenidos altos en Al₂O₃ (entre 17,0 y 21,0%), Rb y Sr, y bajos en TiO₂ (<1,0%) y MgO (<1,0%), incluyendo los basaltos andesíticos del Mb Loma La Vega donde son de 2,5 y 2,7% (Fig. 3.9). Sin embargo, los altos contenidos en álcalis y otros elementos mayores pueden ser debidos a la alteración y la movilidad de ciertos elementos, por lo que es necesario considerar a los elementos considerados inmóviles durante los procesos de alteración y/o metamorfismo. En el diagrama Nb/Y *versus* Zr/TiO₂ de Winchester y Floyd (1977) caen en el campo de los basaltos/andesitas, y las intrusiones tonalíticas y cuarzodioríticas relacionadas presentes en la Hoja de Monte Plata en el campo de los basaltos subalcalinos. Los términos basálticos muestran una clara afinidad transicional y calco-alcalina en los diagramas Yb *versus* Th y Zr *versus* Y (Barret y McLean, 1999), diferenciándose claramente de las toleitas pobres en K de la Fm Los Ranchos infrayacente (Lebrón y Perfit, 1994). En el diagrama triangular Hf/3-Th-Nb/16 de Wood (1980) los basaltos caen en el campo de los basaltos relacionados con la subducción en el campo calco-alcalino (Fig. 3.11D), también a diferencia de los basaltos de la Fm Los Ranchos que se sitúan en el campo toleítico y de dos basaltos de la Fm Peralvillo sur que caen en el campo de los N-MORB próximos al de las IAT.

En un diagrama multielemental normalizado frente a N-MORB (Fig. 3.10), los basaltos y andesitas calco-alcalinas presentan un fuerte enriquecimiento en elementos LILE (Cs, Rb, Ba, Pb, Sr), K, U y Th, junto a un empobrecimiento en HFSE (Nb, Ta, Zr, Ti, Y, Yb) y REE, en especial, HREE (entre 0,6-0,9 x N-MORB). Estas características geoquímicas y el perfil con una fuerte pendiente negativa se conservan y acentúan incluso en los términos ácidos de dacitas ricas en K de la formación (HREE entre 1,0-2,2 x N-MORB). Numerosos estudios han demostrado que las rocas volcánicas emitidas en arcos magmáticos se caracterizan por un enriquecimiento en LILE y empobrecimiento en HFSE relativos a las LREE (Pearce y

Norry, 1979; Wood, 1980; Briquieu *et al.*, 1984; Tatsumi *et al.*, 1986). Por lo tanto, valores altos en las relaciones LILE/LREE ($Th/La=0,19-0,25$; $Ba/La=52-155$) y bajos en las relaciones HFSE/LREE ($Nb/La=0,16-0,38$, $Ti/Eu=1600-3200$) en las rocas basálticas del Mb Loma La Vega, comparados con los valores típicos para basaltos N-MORB (0,05; 2,5; 0,93 y 7451, respectivamente; Sun y McDonough, 1989), sugiere que estas rocas fueron generadas por encima de una zona de subducción. Las rocas caen en el campo de basaltos de arco en los diagramas de discriminación tectonomagmática y presentan contenidos altos en Th y una anomalía negativa en Nb y Ta, particularmente en las rocas menos fraccionadas, característica de magmas de zona de subducción.

Análogamente, en un diagrama extendido de REE normalizado respecto al manto primordial (Fig. 3.11A,B,C) todas las rocas de la Fm Las Guayabas se caracterizan por un patrón de pendiente negativa [$(La/Yb)_N=6,2-8,3$ para $Mg\#>30$; $(La/Yb)_N=5,5-7,6$ para $Mg\#<30$], un marcado enriquecimiento en Th y LREE, y anomalías negativas en Nb y Ti, especialmente en las rocas más fraccionadas, típicos de rocas basálticas e intermedias relacionadas con subducción. Los valores promedio de la relación $(Zr/Sm)_N=0,96$ y HREE con una ligera pendiente negativa, sugieren una fuente mantélica empobrecida para los basaltos, similar a la de los N-MORB.

FIG. 3.8. TABLA DE RELACIÓN DE MUESTRAS DE GEOQUÍMICA DE LA FM LAS GUAYABAS. FUENTE: ROCAS VOLCÁNICAS DE LOMA LA VEGA (LLV) PROCEDENTES DE LEBRÓN Y PERFIT (1994) Y DATOS REGIONALES PROPIOS

Litología	Muestra	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Mg#	clasificación	(Zr/Sm) _N	(La/Yb) _N	Tipo
andesita	JG-9058	53,90	0,79	20,44	40,79	basalto andesítico	0,54	8,01	CCA
andesita	JG-9070	53,18	0,73	21,04	43,89	basalto andesítico	0,54	8,27	CCA
Tonalita/Qdiorita	HH-9039	65,92	0,92	17,70	29,75	dacita	1,06	6,22	CCA
flujo LLV	RU-28	61,48	0,48	17,89	36,07	andesita			CCA
flujo LLV	RU-28B	60,28	0,46	20,86	35,13	andesita			CCA
flujo LLV	RU-50	62,97	0,44	18,59	27,53	andesita			CCA
toba LLV	RU-44	60,18	0,47	19,99	37,45	andesita			CCA
toba LLV	85-1	62,04	0,32	18,31	32,56	andesita			CCA
toba LLV	VSD-115	61,52	0,39	19,71	30,45	andesita			CCA
brecha vol.LLV	LLV	63,15	0,44	18,61	17,14	dacita			CCA
brecha vol.LLV	85-4	61,84	0,52	18,51	29,79	andesita			CCA
brecha vol.LLV	MC-1MC-2	62,10	0,61	17,60	22,90	andesita			CCA
flujo LLV	RU-20	61,84	0,44	19,02	29,13	andesita	1,24	6,85	CCA
toba LLV	86-IM	63,16	0,44	18,78	43,93	dacita			CCA
flujo LLV	87-20	62,03	0,42	18,54	33,21	andesita	0,92	7,19	CCA
toba LLV	87-14	64,01	0,35	18,49	19,96	dacita	1,08	5,45	CCA
toba LLV	87-10								CCA
toba LLV	87-7								CCA
toba LLV	86-1						0,98	7,66	CCA
toba/epiclástica	RU-52								CCA

CCA=*calc-alkaline*

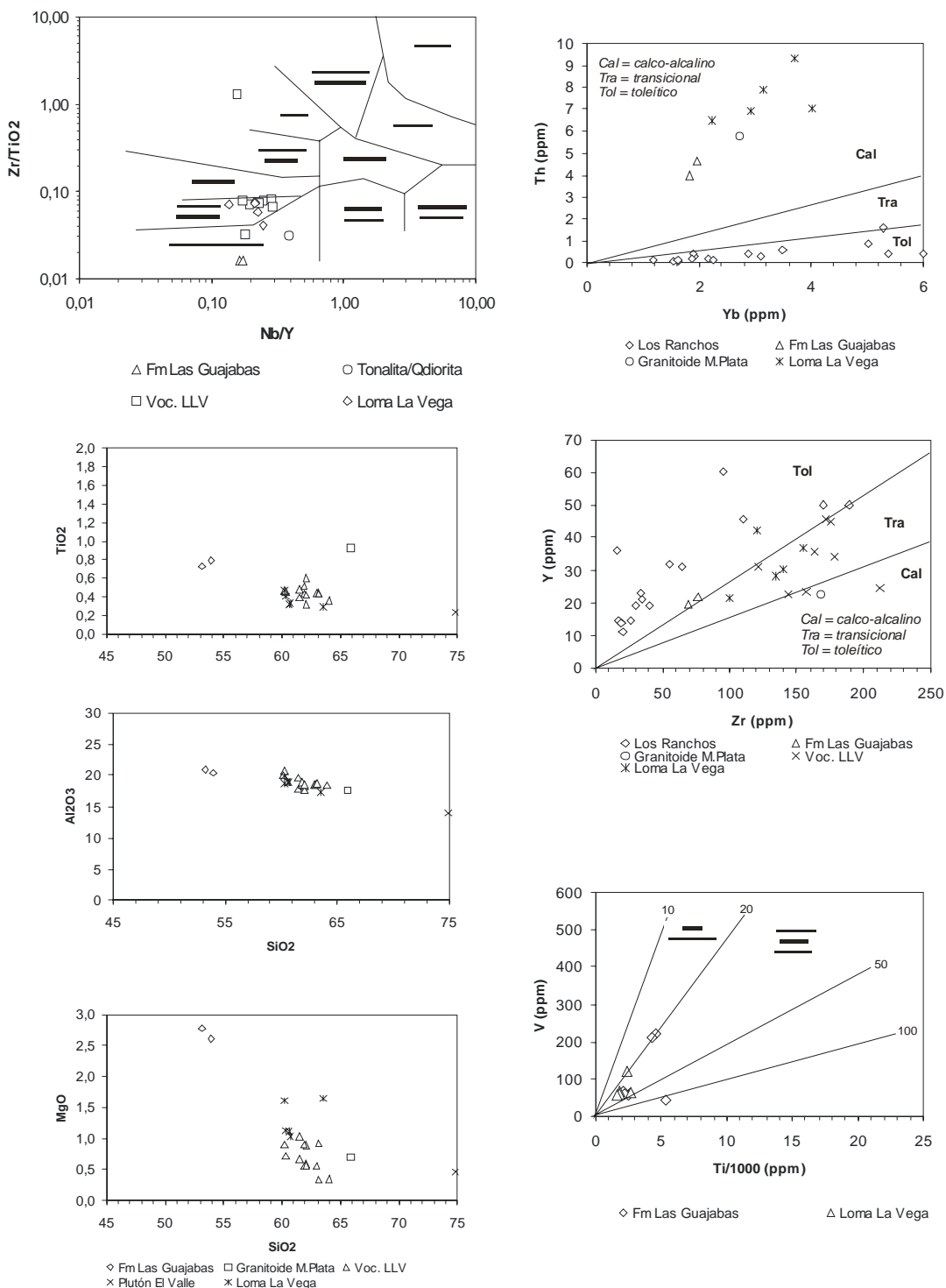


Fig. 3.9. Proyección de las rocas de la Fm Las Guayabas en los diagramas Nb/Y versus Zr/TiO₂ (Winchester y Floyd, 1977), Yb-Th y Zr-Y (Barrett y McLean, 1999), Ti/1000-V de Shervais (1982) y en los diagramas binarios SiO₂ frente a TiO₂, Al₂O₃, MgO y K₂O. Notar las posición de las muestras del Mb Loma La Vega y de los granitoides del sector de Monte Plata en los distintos diagramas.

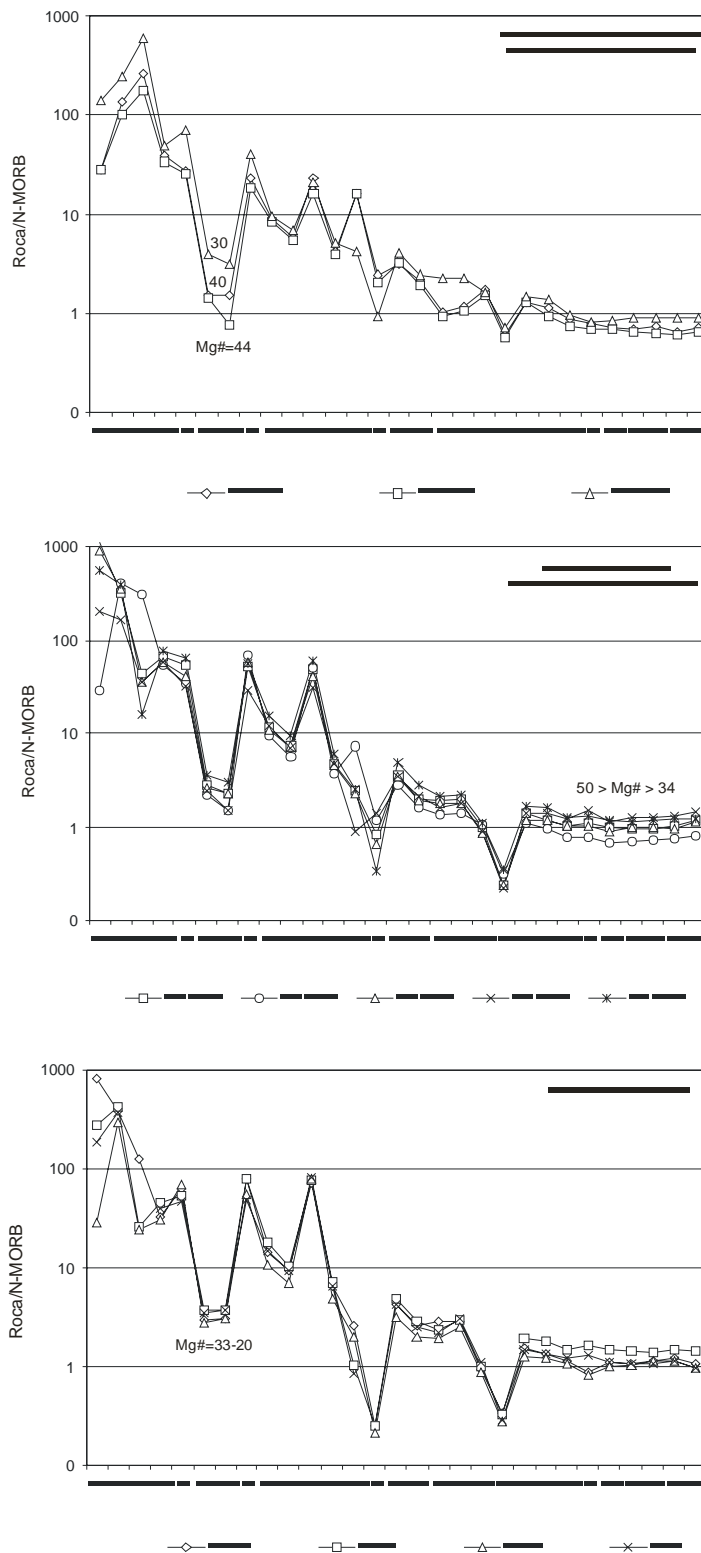


Fig. 3.10. Diagramas multielementales para las rocas de la Fm Las Guayabas agrupados en basaltos y andesitas calco-alcalinis y dacitas ricas en K.

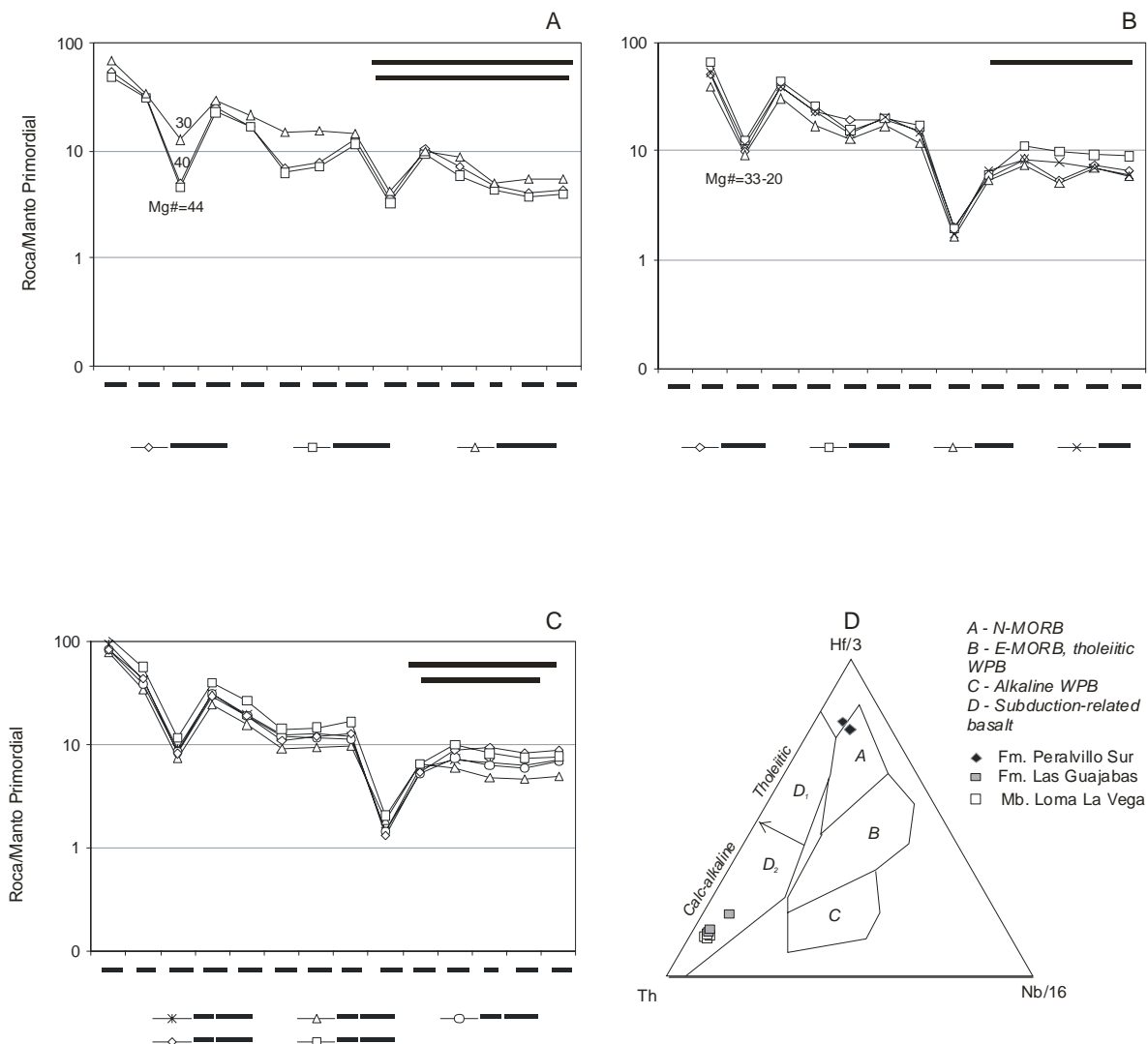


Fig. 3.11. A),B),C): Diagramas extendidos de REE para las rocas de la Fm Las Guajabas agrupados en basaltos y andesitas calco-alcaldas y dacitas ricas en K; D) Diagrama triangular Hf/3-Th-Nb/16 de Wood (1980)

3.3. Dataciones absolutas

En el marco del presente Proyecto se han analizado 8 muestras de rocas magmáticas, intrusivas o efusivas de la Cordillera Oriental en los laboratorios del *Pacific Centre for Isotopic and Geochemical Research, Earth and Ocean Sciences*, de la Universidad de British Columbia, en Vaucouver (Canadá), por los Drs. T. Ullrich (Ar/Ar) y R. Friedman (U/Pb), bajo la dirección del profesor J. Mortensen.

Las técnicas de datación utilizadas corresponden al método U/Pb sobre circones y al método $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ por calentamiento escalonado en minerales separados (horblenda o feldespato potásico). Las técnicas y los resultados obtenidos están detallados en informes originales (Friedman, 2004; Ulrich, 2004), que a continuación se resumen junto a breves comentarios sobre sus implicaciones geológicas. La localización y la naturaleza de las muestras, así como las técnicas analíticas utilizadas y las edades obtenidas aparecen en las figuras 3.12 y 3.13.

3.3.1. Descripción de las técnicas analíticas

3.3.1.1. Técnica analítica U/Pb

Los circones y otros minerales accesorios fueron extraídos de las muestras mediante técnicas convencionales de machacado y de separación mediante tabla Wilfley, a las que siguió la concentración final mediante líquidos pesados y separación magnética. Las fracciones minerales a analizar se seleccionaron en función de la calidad del grano, tamaño, susceptibilidad magnética y morfología. Con el objeto de minimizar los efectos de la pérdida superficial de Pb próxima a la superficie de los granos, todas las fracciones de los circones fueron sometidas previamente a su disolución a una abrasión por aire usando la técnica de Krogh (1982). Posteriormente fueron disueltas en una solución extrapura 3N de HNO_3 , lavadas con acetona bajo su punto de ebullición y se pesaron (hasta $\pm 2 \mu\text{g}$). Los circones fueron disueltos en microcápsulas de PTFE o PFA de $300 \mu\text{l}$ con y se disolvieron durante 40 horas con $100 \mu\text{l}$ de HF 29N y de $\sim 15 \mu\text{l}$ de HNO_3 14N bajo el punto de ebullición, en presencia de un trazador mixto de $^{233-235}\text{U}$ - ^{205}Pb y durante 40 horas a 240°C .

La disolución se llevó a cabo en bombas de acero inoxidable Parr con líneas PTFE de teflón de 250ml. Posteriormente las soluciones fueron secadas de sales y re-bombadas en ~200 μ l de solución de HCl 3.1N ultrapuro durante 12 horas a 210°C. Estas soluciones fueron de nuevo secadas de sales en una placa calentada a unos 125°C, y redisueltas en una solución de 0.5 ml de HCl 3.1N durante un mínimo de 8 horas. Para la separación del Pb y U se emplearon técnicas de columnas de intercambio iónico similares a las descritas por Parrish *et al.* (1987). Pb y U fueron separados secuencialmente en el mismo recipiente, donde fueron añadidos 2 μ l de ácido fosfórico extrapuro 1.0 M. Cada muestra fue cargada en un único filamento de Re usando un exhalador de gel de sílice fosfórico (SiCl_4). Las relaciones isotópicas fueron medidas con un espectrómetro de masas de ionización termal VG-54R modificado, con único colector y equipado con un fotomultiplicador analógico Daly. Tanto el U como el Pb fueron procesados a 1450°C en el modo de encendido-en pico del detector Daly. La fraccionación del U fue determinada directamente en procesos individuales utilizando el trazador $^{233-235}\text{U}$ y las relaciones isotópicas del Pb fueron corregidas para una fraccionación del 0.37%/amu, en base a análisis duplicados del estándar de Pb NBS-981 y los valores recomendados por Thirlwall (2000). Los blancos analíticos para el U y el Pb fueron menores de 1 y 3 pg respectivamente. La composición isotópica del Pb común fue derivada del modelo de Stacey y Kramers (1975). Todos los errores analíticos fueron propagados numéricamente a lo largo del cálculo completo de la edad siguiendo la técnica de Roddick (1987). Las edades de intersección con la curva de concordia y los errores asociados fueron calculados usando una versión modificada del modelo de regresión de York-II (donde los errores York-II se multiplican por el MSWD) y el algoritmo de Ludwig (1980). Todas las edades se refieren al nivel 2σ de incertidumbre.

3.3.1.2. Técnica analítica $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$

Cada muestra fue machacada y molida hasta reducirla a fragmentos de entre 0.1 y 0.5 mm de diámetro y posteriormente pasada bajo un imán manualmente para eliminar los minerales magnéticos y las esquirlas metálicas de la machacadora. Las muestras fueron posteriormente lavadas con agua desionizada, aclaradas y secadas en aire seco a la temperatura ambiente. Los minerales de interés fueron separados a mano, envueltos en papel de aluminio y guardados en una cápsula de irradiación junto a otras muestras de edad similar y a monitores del flujo de neutrones (sanidinas de la toba Fish Canyon de 28.02 Ma ;Renne *et al.*, 1998). Las muestras se irradiaron los días 27 y 28 de Mayo del 2004 en el reactor nuclear de McMaster en Hamilton, Ontario, a 56 MWH y un flujo de neutrones de

3×10^{16} neutrones/cm² aproximadamente. El análisis (n=54) de las posiciones del flujo de neutrones 18 produjo errores de <0.5% en el valor J. Las muestras fueron analizadas entre el 19 y el 26 de Julio del 2004, en el Noble Gas Laboratory del Pacific Centre for Isotopic and Geochemical Research, University of British Columbia, Vancouver, Canada. Los separados minerales fueron calentados a intervalos crecientes mediante un rayo láser desenfocado de 10W CO₂. (New Wave Research MIR10), hasta su fusión. Los gases emitidos en cada intervalo de temperatura fueron analizados en un espectrómetro de masas VG5400, equipado con un multiplicador de electrones contador de iones. Todas las medidas fueron corregidas en relación a variaciones en la sensibilidad del espectrómetro de masas, la discriminación de masas, y la descomposición radioactiva durante y después de la irradiación, así como de la interferencia de Ar debida a contaminación atmosférica y la irradiación de Ca, Cl y K (Relaciones de producción isotópica: ⁴⁰Ar/³⁹Ar, K=0.0302; ³⁷Ar/³⁹Ar, Ca=1416.4306; ³⁶Ar/³⁹Ar, Ca=0.3952; Ca/K=1.83, ³⁷ArCa/³⁹ArK).

Los resultados analíticos, incluyendo los diagramas de las edades de *plateau* y por correlación inversa obtenidas, están incluidos en el Informe Geocronológico correspondiente (Ullrich, 2004). Las edades de *plateau* y por correlación inversa (método de la isócrona inversa) han sido calculadas utilizando el programa ISOPLOT versión 3.09 (Ludwig, 2003). Los errores se refieren al nivel 2σ (95 % de confianza) e incluye la propagación de los errores procedentes de todas las fuentes, con excepción de los procedentes de la sensibilidad del espectrómetro de masas y la edad del monitor de flujo. Los “picos” para las edades obtenidas mediante correlación inversa y de *plateau* son arbitrarios y se deben considerar como tentativas, ya que el trabajo analítico se ha realizado sin conocer de forma directa el contexto geológico de las muestras. La interpretación de los resultados analíticos ha de hacerse en el contexto de la diferente temperatura de cierre del Ar en cada mineral analizado (hornblenda: 525-450°C; moscovita: 375-325°C; biotita: 350-260°C y feldespato-K: 350-125°C), junto a la naturaleza ígnea o metamórfica de la muestra.

3.3.2. Resultados y discusión

Los resultados sintetizados en la tabla de la figura 3.13, se comentan a continuación:

3.3.2.1. Muestras de la Fm Los Ranchos

Sólo una muestra de las dos analizadas en la Fm Los Ranchos se ha podido datar por el método U/Pb. Se trata de una dacita porfídica (JM-9304) recogida en la Hoja de Bayaguana, que caracteriza a las protrusiones ácidas del miembro intermedio de la Fm Los Ranchos. De los cinco fragmentos de circón analizados, tres definen una edad de $116 \pm 0,8$ Ma (Aptiano) (Fig. 3.14). Este resultado es coherente con la atribución al Neocomiano de los vegetales fósiles descritos por C.J. Smiley (1982) en los alrededores de Pueblo Viejo.

La muestra de andesita porfídica con clinopiroxeno (JM-9320) recogida en el denominado Pan de Azúcar de la Hoja de Bayaguana no se ha podido datar por método Ar/Ar, debido a la ausencia de K en los cristales de hornblenda.

3.3.2.2. Intrusivos tonalíticos de Cevicos, Sabana Grande de Boya y de El Valle

Los granitoides de composición tonalítica intrusivos en la Fm Los Ranchos se han muestreado en varios sectores para su datación por el método Ar/Ar sobre hornblenda:

- Cuarzo-diorita de grano medio-grueso, isótropa, del batolito de Cevicos (JM-9176, Hoja de Sabana Grande de Boya).
- Tonalita hornbléndico-biotítica de grano medio a grueso, en un afloramiento rodeado por la caliza de Los Haitises (HH-9045, Hoja de Antón Sánchez);
- Tonalita de grano grueso con textura isogranular (JM-9070) y microgabro de grano fino (JM-9274) del plutón de El Valle.

Excepto para la muestra JM-9070, las edades *plateau* obtenidas están bien definidas entre 106 y 121 Ma (Albiano-Aptiano) (Fig. 3.15). Son comparables con la edad obtenida para las tonalitas del plutón de Zambrana ($115 \pm 0,3$ Ma, U/Pb en roca total) en la Hoja de Hatillo, realizada durante el anterior Programa SYSMIN (Martín Fernández y Draper, 2000). Las edades obtenidas respaldan la similar signatura geoquímica de los intrusivos tonalíticos y de las facies volcánicas ácidas de la Fm Los Ranchos (Escuder-Viruete, 2004).

La edad de $85,1 \pm 7,9$ Ma obtenida en la muestra JM-9070 es más moderna, y parece poco fiable debido a la "integración de los valores del conjunto de los escalones". Es comparable a las edades dadas por Bellon *et al.* (1985) en dos muestras del macizo de El Valle (método $^{40}\text{K}/^{40}\text{Ar}$ sobre roca total): $95 \pm 4,8$ Ma y $87,3 \pm 4,4$ Ma. El rejuvenecimiento de la edad es tal vez inducido por el metamorfismo en facies prehnita-pumpellita que afecta a sectores de la tonalita.

3.3.2.3. Lava andesítica del Mb Loma La Vega de la Fm Las Guayabas

La muestra estudiada (JM-9274, Hoja de El Seibo) corresponde a una lava de composición andesítica, porfídica, con una fábrica fluidal traquítica. Debido a la ausencia de circón y horblenda la datación se efectuó por método Ar/Ar sobre feldespatos potásicos. La edad obtenida de $58,1 \pm 0,8$ Ma (Fig. 3.16), refleja posiblemente el efecto de una alteración paleocena muy posterior a la extrusión de la lava, que por su posición estratigráfica dentro de la Fm Las Guayabas, es previa al Coniaciano superior.

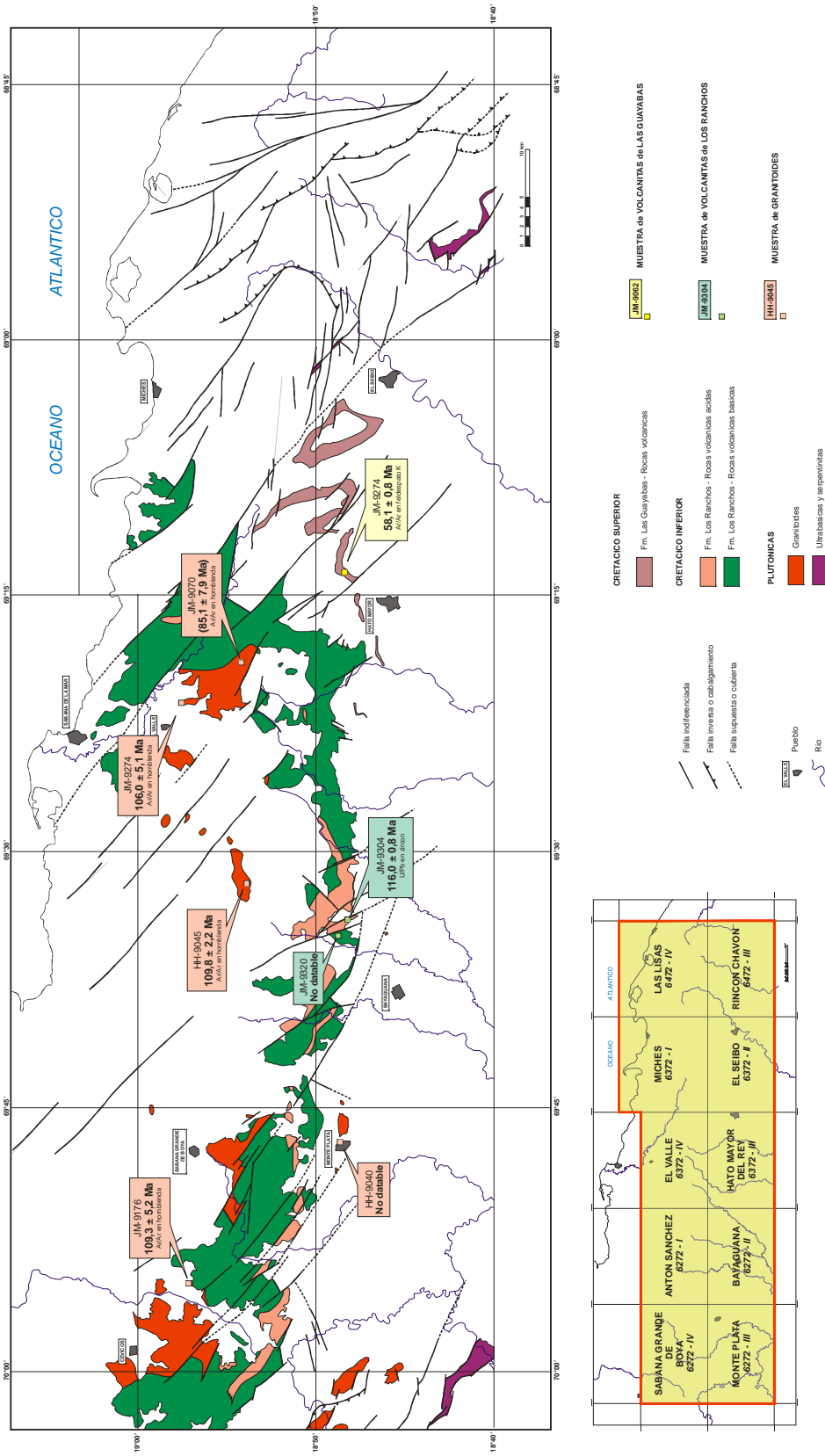


Fig. 3.12. Localización de los afloramientos muestreados para dataciones absolutas. Principales resultados del Proyecto L-Este

Fig. 3.13. Tabla de dataciones absolutas realizadas en el Proyecto L-Este

Muestra	Hoja 1:50 000		Coordenadas geográficas		Coordenadas UTM - MAD 27		Formación Litología	Autores Laboratorio	Método	Datación
	Nombre	Numero	Latitud	Longitud	XXXX (m)	YYYY (m)				
JM-9176	Sabana Grande de Boyá	6272-IV	18.96001	-69.91480	403 638	2 085 351	Intrusivo - Tonalita	J. Mortensen, T. Ulrich, R. Friedman PCIGR	Ar/Ar en hornblenda "Plateau" Isocrona inversa	109,3 ± 5,2 Ma 119 ± 15 Ma
HH-9040	Monte Plata	6272-III			417 701	2 080 001	Intrusivo - Tonalita	J. Mortensen, T. Ulrich, R. Friedman PCIGR	U/Pb en zircon	No datable
HH-9045	Antón Sanchez	6272-I			444 700	2 089 305	Intrusivo - Tonalita	J. Mortensen, T. Ulrich, R. Friedman PCIGR	Ar/Ar en hornblenda "Plateau" Isocrona inversa	109,8 ± 2,2 Ma 106 ± 28 Ma
JM-9304	Bayaguana	6272-II	18.80655	-69.57068	439 865	2 079 395	Fm Los Ranchos Rodacla	J. Mortensen, T. Ulrich, R. Friedman PCIGR	U/Pb en zircon	116,0 ± 0,8 Ma
JM-9320	Bayaguana	6272-II	18.82021	-69.56484	438 378	2 080 911	Fm Los Ranchos Andesita	J. Mortensen, T. Ulrich, R. Friedman PCIGR	Ar/Ar en hornblenda	No datable
JM-9070	El Valle	6372-IV	18.90401	-69.32211	466 078	2 090 112	Intrusivo - Tonalita	J. Mortensen, T. Ulrich, R. Friedman PCIGR	Ar/Ar en hornblenda "Plateau" Isocrona inversa	(85,1 ± 7,9 Ma) 93 ± 25 Ma
JM-9274	El Valle	6372-IV	18.96843	-69.35665	462 452	2 086 140	Intrusivo - Microgabro	J. Mortensen, T. Ulrich, R. Friedman PCIGR	Ar/Ar en hornblenda (1) Ar/Ar en hornblenda (2) "Plateau" Isocrona inversa	106,0 ± 5,1 Ma 115 ± 17 Ma 121,0 ± 5,4 Ma 123 ± 56 Ma
JM-9274	El Seibo	6372-II	18.81547	-69.22071	476 745	2 080 299	Fm Las Guayabas Andesita	J. Mortensen, T. Ulrich, R. Friedman PCIGR	Ar/Ar en feldspato potásico "Plateau" Isocrona inversa	58,1 ± 0,8 Ma 59,0 ± 2,3 Ma

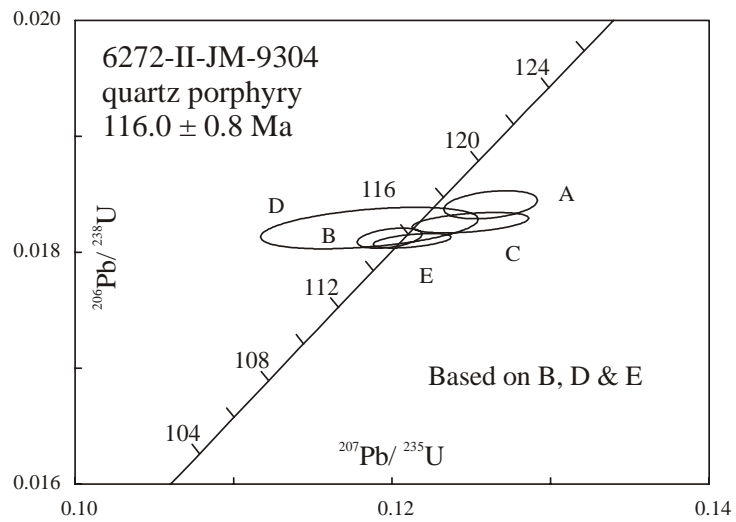


Fig. 3.14. Diagrama de concordia de la datación de la muestra JM-9304, realizada por el método U/Pb. (Hoja de Bayaguana - Proyecto-L-Este)

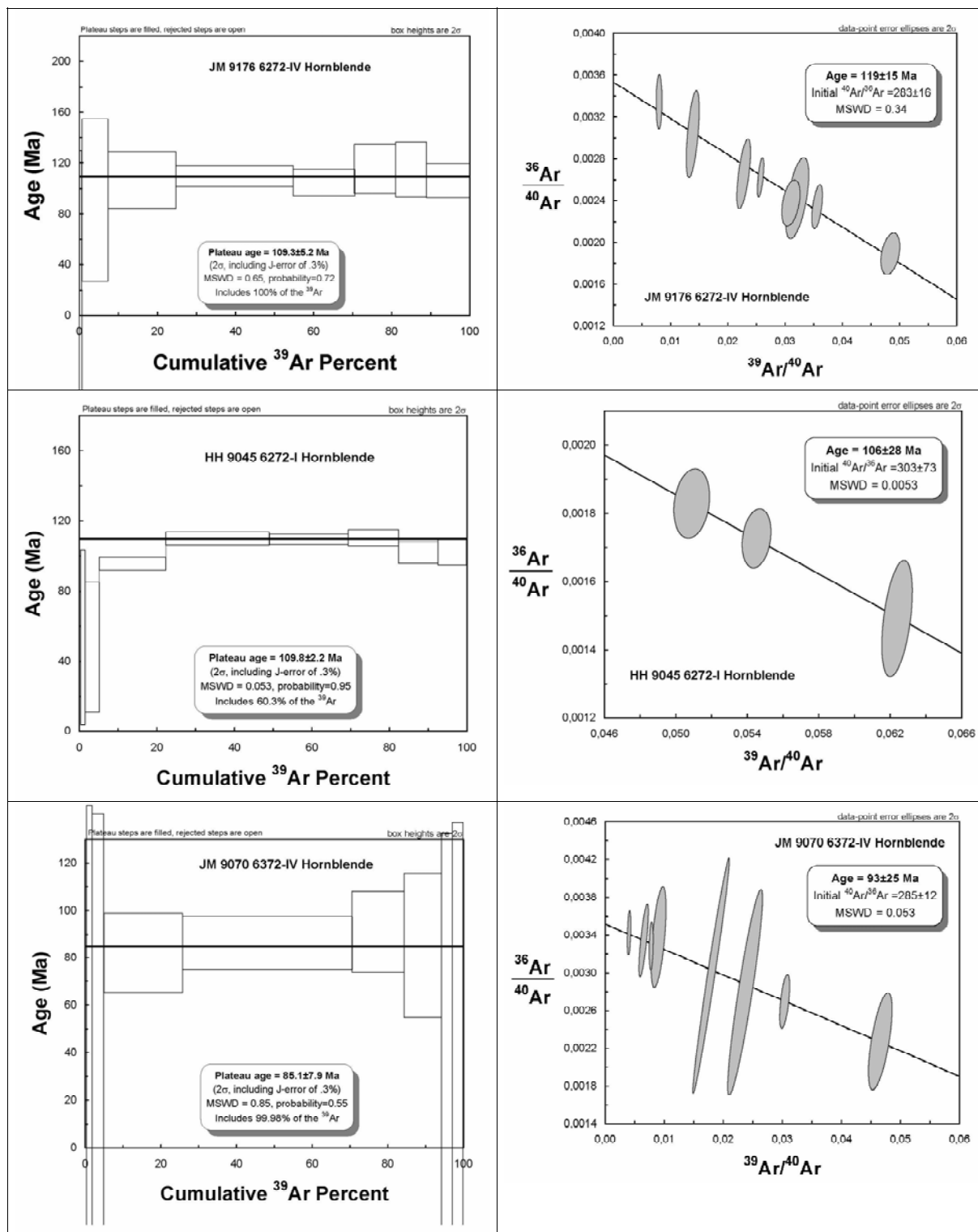


Fig. 3.15. Diagramas con las edades *plateau* y las isócronas realizadas por el método Ar/Ar en las muestras de granitoides (Proyecto L-Este)

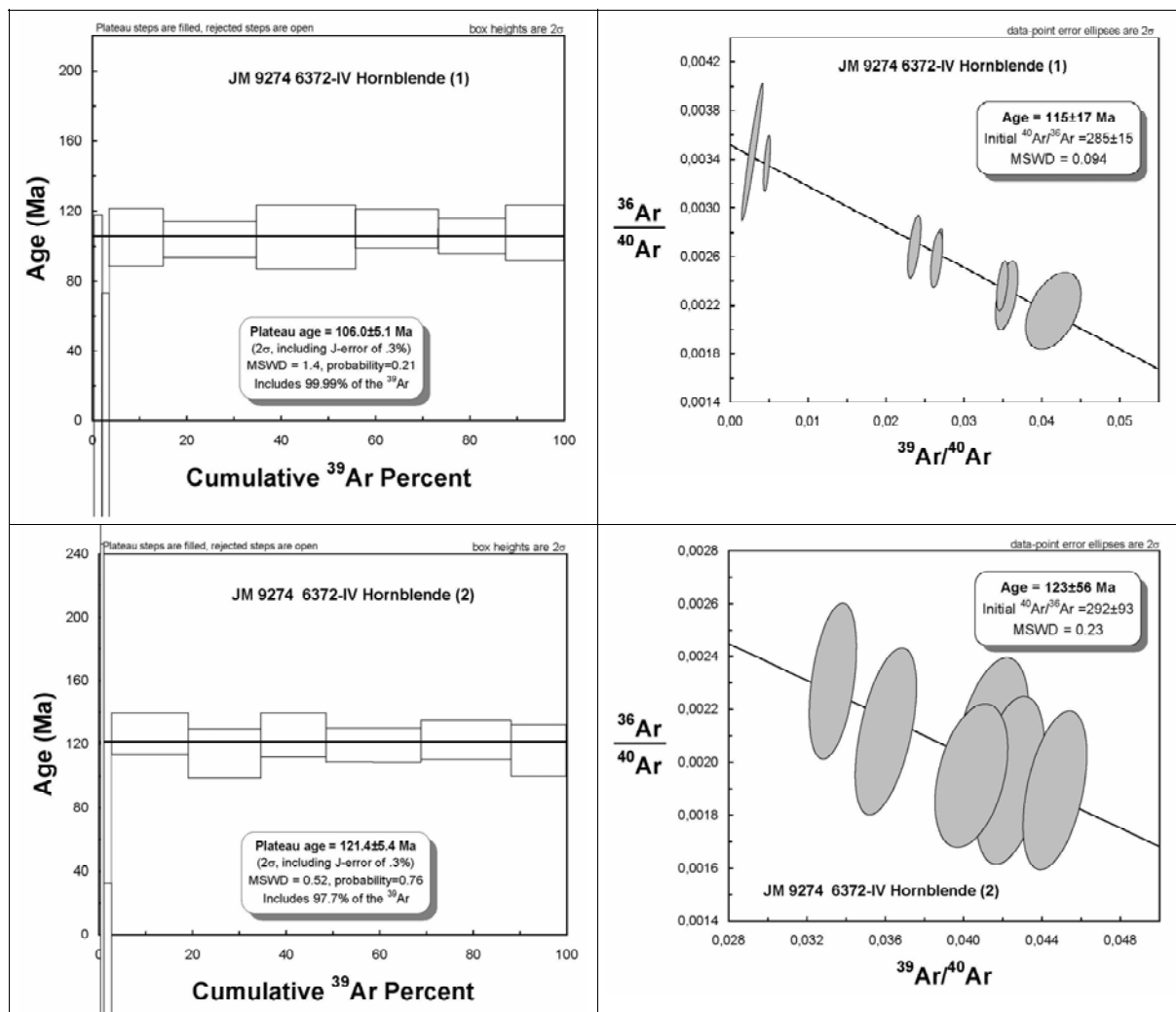


Fig. 3.15. (cont.). Diagramas con las edades *plateau* y las isócronas realizadas por el método Ar/Ar en las muestras de granitoides (Proyecto L-Este)

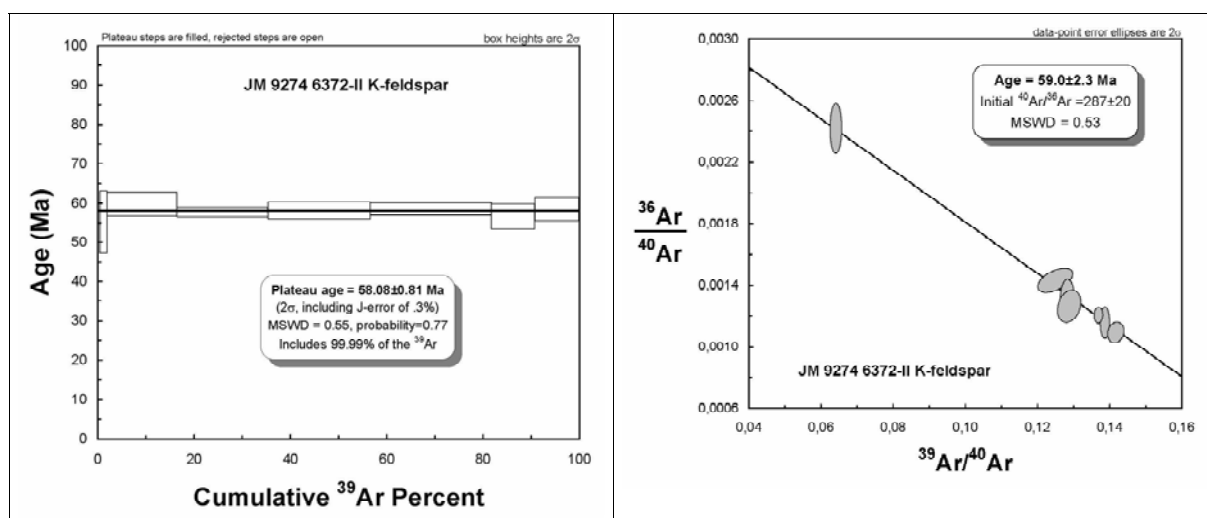


Fig. 3.16. Diagramas con la edad *plateau* y la isócrona realizadas por el método Ar/Ar en la muestra JM-9274 (Hoja de El Seibo - Proyecto L-Este)

4. TECTONICA

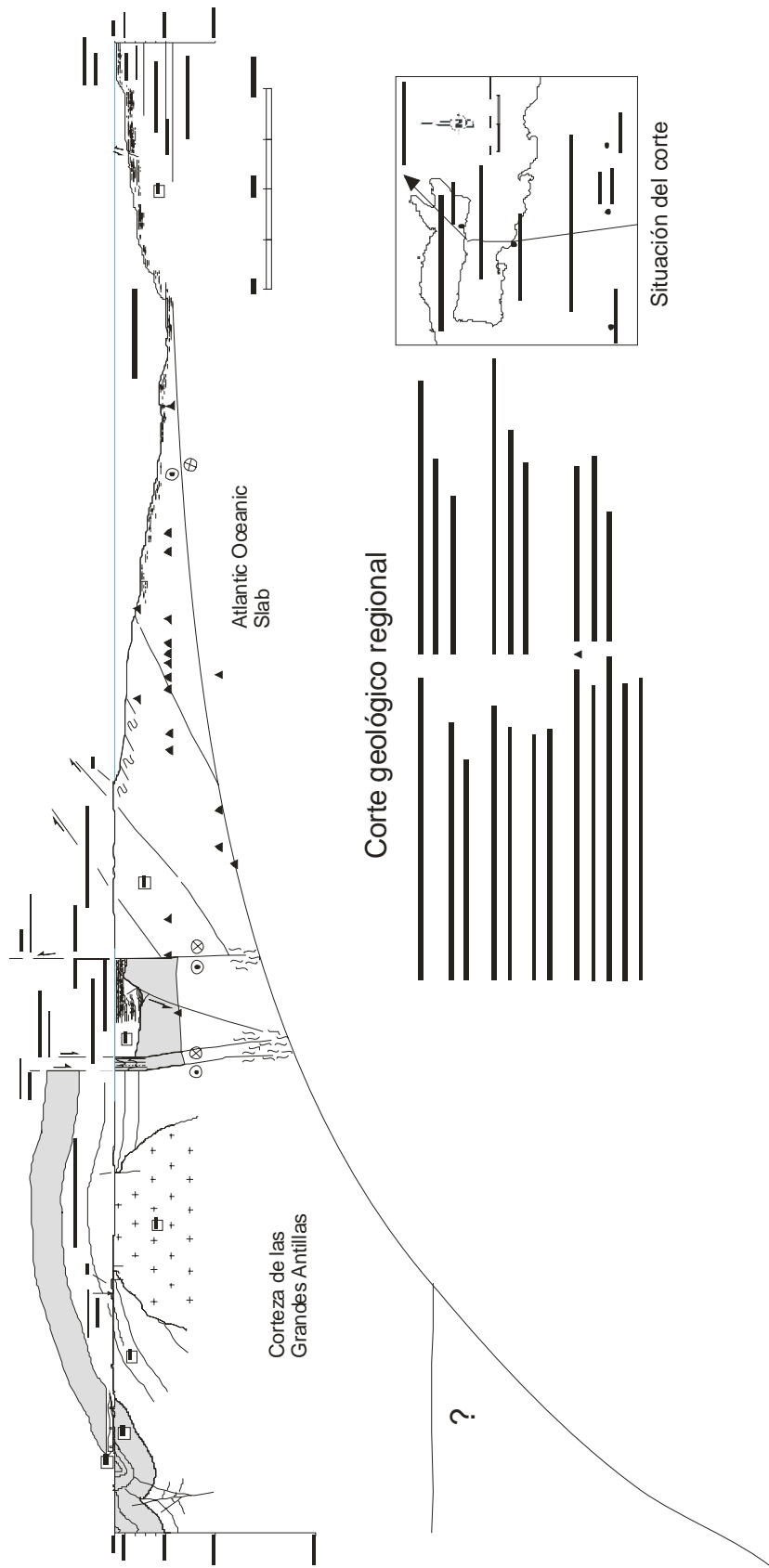
4.1. Estructura de la Cordillera Oriental

La Cordillera Oriental se extiende de este a oeste con una longitud de unos 135 kilómetros y una anchura de unos 35 kilómetros, en el área adyacente a la costa sur de la Bahía de Samaná (Fig. 1.5). Su límite norte es la falla Meridional de Samaná que forma parte del sistema de fallas que se prolongan hacia el NO a lo largo de la Cuenca del Cibao (Dixon y Daily, 1981; de Zoeten y Mann, 1991; Edgar, 1991). Al oeste se halla separada de las rocas cretácicas que forman el Cinturón Intermedio por el cabalgamiento de Hatillo. Hacia el sur los relieves de la Cordillera Oriental disminuyen su altura y las rocas plegadas que la forman son cubiertas en discordancia por calizas arrecifales de edad plio-cuaternaria.

La evolución tectónica y sedimentaria es resultado de la subducción y colisión oblicua entre el borde norte de la placa del Caribe y la plataforma de las Bahamas (Burke *et al.*, 1978). Un corte geológico a través del límite de placas (Fig. 4.1) sitúa la Cordillera Oriental como un gran bloque volcánico-plutónico de edad cretácica adyacente a las fallas E-O que limitan la cuenca de la Bahía de Samaná, rellena por 2900 m de sedimentos plio-cuaternarios (Edgar, 1991). El basamento de esta cuenca se cree formado por las mismas rocas cretácicas expuestas en la Cordillera Oriental y diferente de las rocas del complejo metamórfico que forma la Península de Samaná. La fosa entre la Península de Samaná y el Banco de Navidad está situada en el límite entre la placa del Caribe y la placa Norteamericana, como demuestra la actividad sísmica concentrada al sur de la fosa (Dolan *et al.*, 1998).

Bowin (1975) presenta un mapa geológico y un mapa estructural de la isla de La Española que incluye por primera vez elementos estructurales de la Cordillera Oriental. Esta área permaneció sin embargo como una de las menos conocidas de la isla hasta el trabajo de Bourdon (1985), que integra una cartografía geológica 1:100.000, cortes geológicos seriados y análisis de orientaciones. Bourdon reconoce dos unidades principales, El Seibo y El Oro, cada una con distinta serie estratigráfica y diferente estilo de deformación. El mapa de Bourdon (1985) es reproducido casi sin cambios por Lebrón y Mann (1991), que aportan adicionalmente un corte geológico regional profundo, con pliegues de vergencia norte sobre una superficie de despegue situada a techo de la Formación Los Ranchos. Las recientes cartografías geológicas 1:50.000 del Programa SYSMIN 2002-2004 demuestran que las

FIG. 4.1. CORTE GEOLÓGICO REGIONAL ENTRE LA CORDILLERA ORIENTAL Y LA PLATAFORMA DE LAS BAHAMAS

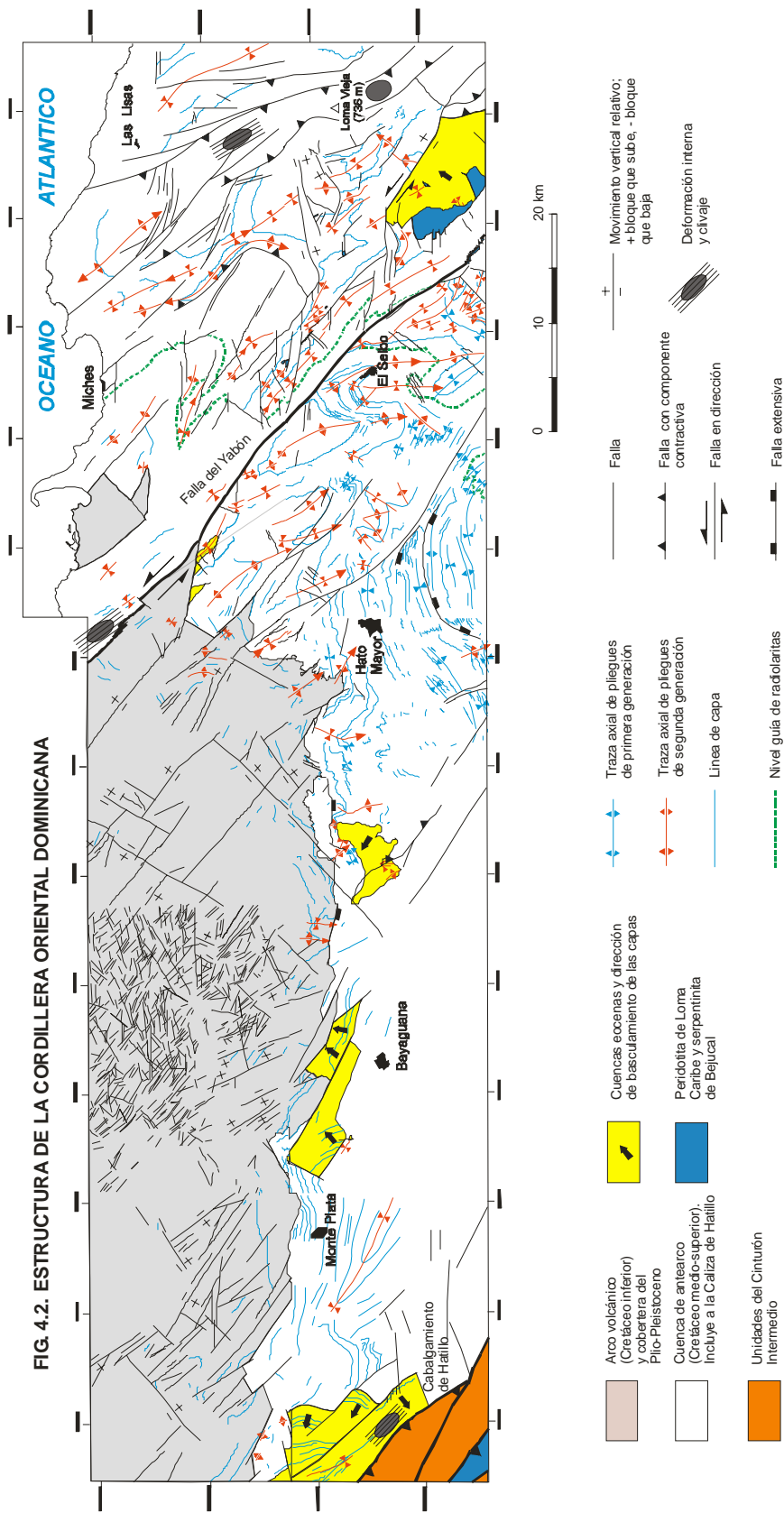


formaciones estratigráficas y los elementos estructurales cruzan los límites de las Unidades del Seibo y del Oro y por tanto resulta innecesaria esta subdivisión, simplificando en gran medida la geología de la cordillera.

A escala regional, la Cordillera Oriental es un gran antiforme ONO-ESE, que cierra hacia el este, definiendo una amplia zona de charnela (Figs. 1.6, y 4.1). En el núcleo del antiforme están expuestas las rocas del Cretácico Inferior y los granitoides intrusivos, mientras que las rocas del Cretácico Superior forman las capas externas. El flanco norte está cortado por la falla Meridional de la bahía de Samaná. Esta estructura antiformal relativamente sencilla está complicada por pliegues y fallas de superficie axial casi vertical con cizallas de salto en dirección y componentes inversos y normales (Fig. 4.2). Los pliegues dominan en las series estratificadas del Cretácico Superior y son menos aparentes en la pila de rocas volcánicas de la Formación Los Ranchos y en los granitoides intrusivos del núcleo del antiforme, que se hallan principalmente fracturados. La fracturación es más evidente cuando una cobertera de calizas plio-pleistocenas cubre a la Formación Los Ranchos, por ejemplo en el área al norte de Bayaguana.

Fuera del área de culminación antiformal, la Fm Los Ranchos aflora en un área reducida al oeste del pueblo de Miches. Ambos afloramientos están separados por la falla NO-SE del Yabón, activa desde el terciario como una falla en dirección levógira (Hernández, 1980; Bourdon, 1985). Esta falla produce una señal marcada en el mapa geomagnético (Fig. 1.2) y tiene asociadas protrusiones (intrusiones tectónicas) de rocas ultramáficas de origen mantélico emplazadas en el Cretácico Superior. Se trata por tanto de una falla de desgarre que ha evolucionado a partir de una falla cortical en la cuenca de ante-arco, manteniendo posiblemente la misma cinemática oblicua.

La existencia de fallas con larga historia de actividad es asimismo postulada por Draper *et al.* (1996) para explicar la intensa deformación en las unidades más antiguas del Cinturón Intermedio. Estos autores consideran una fase de deformación por cabalgamientos de edad Cretácico Medio previa a la sedimentación de la Formación de Hatillo y una reactivación tardía de las estructuras desde el Eoceno hasta la actualidad. Independientemente de estos argumentos, en la Cordillera Oriental no existe una severa deformación de la Formación Los Ranchos bajo la Caliza de Hatillo. La discordancia angular entre ambas formaciones resulta más bien compatible con una elevación vertical o una suave contracción longitudinal.



Un poco mejor caracterizada desde el punto de vista estructural es la discordancia de la base del Cretácico Superior entre la Caliza de Hatillo y la Formación Las Guayabas. Entre las poblaciones de Hato Mayor y Bayaguana hay familias de fallas NO-SE, NE-SO y E-O que muestran erosión en sus bloques, con cambios bruscos de espesor de la Caliza de Hatillo, que puede estar totalmente omitida (Figs. 1.6 y 4.3). Otras fallas de una escala mayor cortan en rampa 1,2 km de la parte alta del Cretácico Superior al sureste de Hato Mayor (Fig. 4.2). Aunque la homogeneidad litológica de la Fm Las Guayabas impide reconocer la separación estratigráfica en ambos bloques, la opción más plausible es que se trata de fallas que extienden hacia el sur los sedimentos en el talud submarino. Análogos de pequeña escala se observan en cortes de taludes en la Hoja de Antón Sánchez (Díaz de Neira y Hernaiz Huerta, 2004). Estas observaciones indican que las fallas extensivas gravitacionales de diferentes escalas son un elemento característico del área estudiada.

A la escala de la cordillera se identifican dos generaciones superpuestas de pliegues (Fig. 4.2). La primera, con un patrón concéntrico, es groseramente paralela al contacto cartográfico de las Formaciones los Ranchos y Las Guayabas. Entre las poblaciones de Hato Mayor y Las Lisas está doblada por pliegues NO-SE y N-S de segunda generación, que producen estructuras de interferencia del tipo-I, caja de huevos de Ramsay (1967). El ejemplo más espectacular es la estructura sinformal de doble inmersión situada al sureste de El Seibo (García Senz, 2004; Monthel, 2004a). Los pliegues de primera generación son paralelos al basculamiento monoclinial hacia el sur y sureste de las series cretácicas, indicando la elevación y basculamiento hacia el arco del borde de la placa del Caribe sobre la placa subducida (Fig. 4.1). Esta deformación ocurrió antes del Eoceno (Bourdon, 1985), edad del Conglomerado de Don Juan que erosiona terrenos más antiguos hacia el norte, llegando a yacer al oeste de Hato Mayor sobre la Formación Los Ranchos. Previamente al Eoceno ocurrió también la protrusión hasta la superficie de rocas ultramáficas serpentinizadas en el sector oriental de la cordillera.

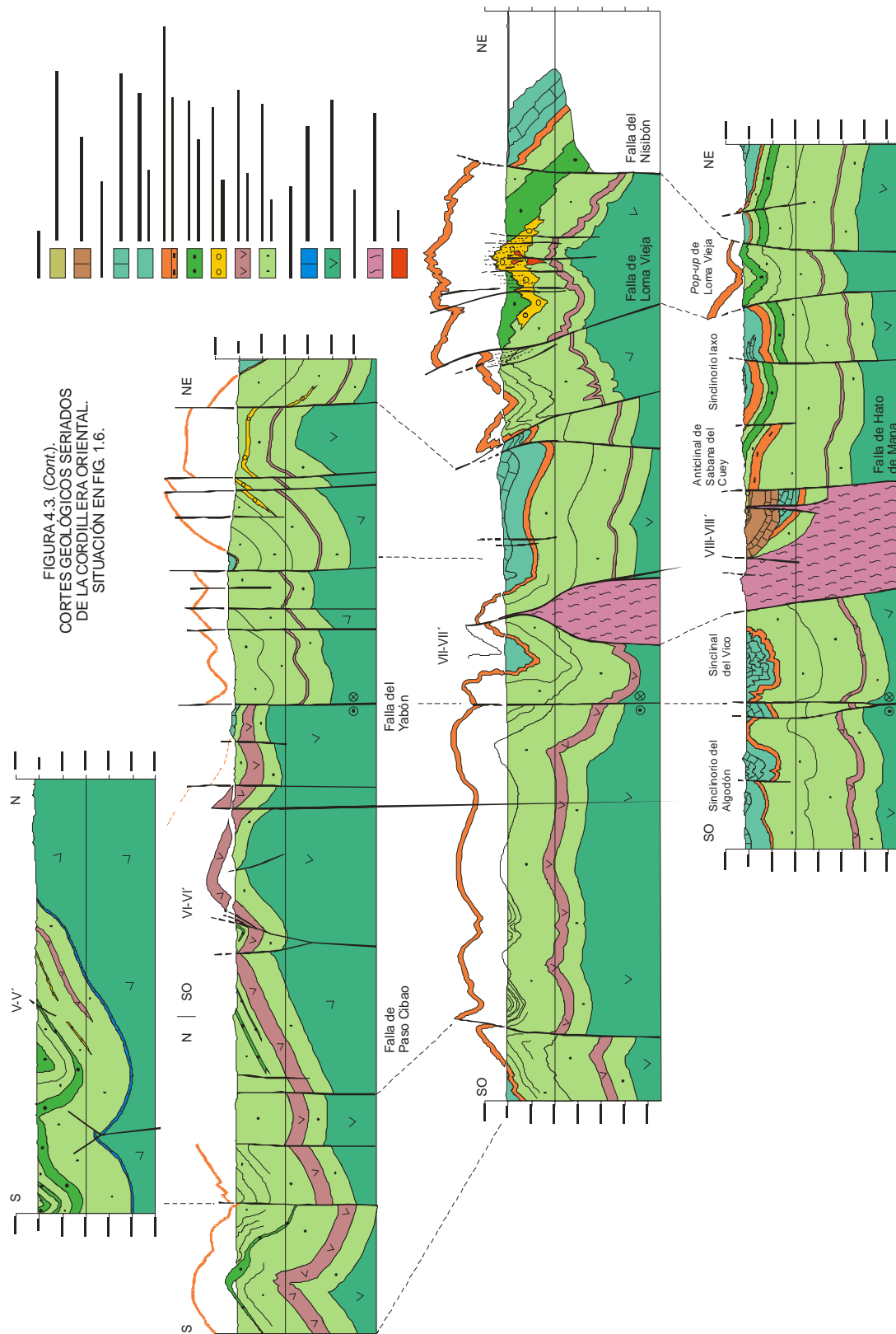
La deformación finicretácica de la Cordillera Oriental coincide con el cese de la principal actividad volcánico-plutónica en La Española y es correlativa al episodio de deformación regional que afecta a las Antillas Mayores entre el Campaniano y el Eoceno, para la que se han invocado diversos contextos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

Las rocas elevadas y erosionadas del arco volcánico del Cretácico Inferior y del ante-arco del Cretácico Superior forman el basamento de los sedimentos eocenos, depositados en cuencas estrechas limitadas por fallas NO-SE, E-O y NO-SE (Fig. 4.2). El perfil transverso de estas cuencas es de tipo *semigraben*, con estratos rotados hacia las fallas (cortes III-III' y IV-IV', Fig. 4.3). Los primeros depósitos son conglomerados aluviales de la Formación Don Juan, provenientes de los relieves adyacentes a las fallas. Encima yacen generalmente calizas, areniscas y conglomerados marinos con diferencias estratigráficas entre cuencas que indican una evolución independiente. La generación de relieve en bloques elevados adyacentes a bloques deprimidos es típica de cuencas transpresivas.

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

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

El perfil de los pliegues, generalmente abierto, cambia a apretado de tipo acordeón en el área adyacente a fallas importantes como la del Yabón, o en bloques empujados y elevados como el de Loma Vieja (Fig. 4.3). La configuración del sinclinorio situado al sureste de El Seibo es cónica, con líneas de charnela que divergen hacia el SE en la dirección de



movimiento de la falla del Yabón. La mecánica del plegamiento por cizalla convergente que se invoca usualmente para explicar la formación de estos pliegues (ej. Silvester, 1988) no requiere la existencia de una superficie de despegue somera a techo de la Formación Los Ranchos como proponen Mann *et al.* (1991).

La región de máximo acortamiento con desarrollo de clivaje se sitúa próxima a la costa norte, entre las poblaciones de Miches y Las Lisas. El clivaje prácticamente desaparece siguiendo el eje de los pliegues hacia el sureste (Fig. 4.2). Existe por tanto una variación de acortamiento subperpendicular a las superficies axiales, que Bourdon (1985) interpretó erróneamente como la evidencia de dos Unidades, El Seibo y El Oro con una historia tectónica y estratigráfica diferente y que Mann *et al.* (1991) llevan a la categoría de “terrenos”.

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

En la actualidad, el borde norte de La Española es una zona activa de subducción oblicua, con deformación y sismicidad. Edgar (1991) reconoce deformación reciente en las líneas sísmicas superficiales bajo el agua de la Bahía de Samaná y Winslow *et al.* (1991) en la continuidad de estas estructuras hacia tierra por el bloque de San Francisco (Fig. 6.1). La actividad neotectónica en la Cordillera Oriental es evidente en la elevación del arrecife plio-Cuaternario, que originalmente se extendía de costa a costa en el este de la isla y actualmente presenta un relieve estructural superior a 400 metros respecto a la Llanura Costera del Caribe (ver cortes en los mapas geomorfológicos 1:100.000 de Monte Plata y de El Seibo; Díaz de Neira, 2004a,b). El plegamiento del arrecife es pasivo, adaptado a la componente vertical de movimiento de fallas de desgarre ONO-ESE y NE-SO. Entre los rasgos geomorfológicos destacan la superficie de erosión argilitizada al sur de Miches, numerosos relieves de lomas paralelos a escarpes de fallas y el control de la red hidrográfica. Este último se evidencia a pequeña escala en el trazado rectilíneo de los arroyos y a gran escala en el drenaje dominante hacia el sur. La causa última es la

disimetría impuesta por las fallas bajo la Bahía de Samaná, que deprimen abruptamente el bloque norte adyacente al máximo relieve de la cordillera.

4.2. Estructura de la Hoja de Hato Mayor

La Hoja de Hato Mayor se sitúa en el flanco meridional del antiforme de la Cordillera Oriental (Fig. 1.6). La geometría de este gran pliegue controla el modelo monoclinial de afloramiento de las rocas cretácicas en Hato Mayor, en forma de bandas orientadas OSO-ENE, con las formaciones más antiguas (Los Ranchos y Hatillo) expuestas al norte de la cartografía y las más modernas (Fm Las Guayabas) al sur. Pliegues coherentes con la orientación del antiforme dominan en el cuadrante SE de la cartografía, mientras que en la mitad norte dominan pliegues de orientación transversa NNO-SSE. En ambas áreas existen ejemplos de plegamiento superpuesto que permiten establecer la secuencia de deformación.

4.2.1. Pliegues NE-SO al sur del pueblo de Hato Mayor

El área al sur del pueblo de Hato Mayor se caracteriza por tres pliegues kilométricos NE-SO que forman parte de una banda arqueada que se prolonga por la Hoja de El Seibo (Fig. 4.2 y corte V-V', Fig. 4.3). Son pliegues abiertos de ligera vergencia norte, que pueden tener más de una charnela. A pesar de sus grandes dimensiones, sus trazas axiales se siguen difícilmente. Además de una posible disposición "en relevo", las complicaciones más evidentes resultan de la superposición de estructuras posteriores, entre ellas un anticlinal transverso NO-SE y una zona de fallas transcurrentes también orientada NO-SE. Esta última produce una inflexión sigmoidal de apariencia levógira en las capas de arenisca, que cambian de rumbo E-O a rumbo NO-SE a lo largo de 1 km en la Loma Carcetero.

Más problemática es la continuidad del plegamiento hacia la Hoja de El Seibo, donde capas de rumbo E-O visibles en la Cañada Magdalena se interrumpen contra una falla NNE-SSO que sigue el trazado de la carretera de Hato Mayor a San Pedro de Macorís. Se interpreta tentativamente como la terminación oblicua de una falla extensiva formada en la cuenca de antearco del Cretácico Superior.

4.2.2. Pliegues transversos NNO-SSE en el norte de la cartografía

A diferencia de la región sur del mapa de Hato Mayor, el plegamiento que domina en el norte es de eje transverso a la dirección regional OSO-ESE de la estratificación. Los pliegues se observan bien en la Caliza de Hatillo, con una curvatura que cierra hacia el sur en las estructuras anticlinales y hacia el norte en las sinclinales, indicando la inmersión hacia el sur de las líneas de charnela. El pliegue de mayores dimensiones es el anticlinal del Guamira, de 10 km de semi-longitud de onda, perfil suave simétrico y eje 26/174. Ambos flancos están cortados por fallas transcurrentes NO-SE y E-O, posteriores al plegamiento, con excepción de tres fallas en el flanco oriental que controlan los cambios de espesor de la Caliza de Hatillo (ver cap. 2.1.1.5). El plegamiento en la Fm de Las Guayabas es concéntrico a la Caliza de Hatillo, con pliegues de segundo orden en las proximidades del pueblo de Yerbabuena formados por cizallas paralelas a las capas.

Hacia el oeste, el anticlinal del Guamira comparte flanco con el sinclinal de Arroyo Higuero, otro gran pliegue transverso que ocupa el área centro-norte de la cartografía. La interferencia con pliegues de primera generación ONO-ESE produce la forma de sinclinal en cubeta de la Loma Los Gramasos.

El flanco occidental del sinclinal de Arroyo Higuero está cortado por fallas NE-SO en las proximidades del pueblo de La Clara. Debido a que el espesor de la Caliza de Hatillo se incrementa bruscamente al oeste de La Clara, se infiere que algunas de estas fallas reactivan fallas previas de edad albiano-cenomaniano. La estructura más importante por su longitud es una falla vertical E-O que interrumpe la Caliza de Hatillo en la localidad de la Boca del Infierno (corte IV-IV', Fig. 4.3). Esta falla separa las areniscas de la Fm Las Guayabas, deformadas por pliegues hectométricos, de la Caliza de Hatillo esencialmente indeformada.

El pliegue más occidental que dobla a la Caliza de Hatillo en la Hoja de Hato Mayor es el anticlinal de la Loma de Santana. Es un pliegue abierto de eje 18/131 y vergencia este, con el flanco occidental cortado por una falla oblicua NE-SO. Se diferencia de los pliegues anteriormente descritos por la inclinación de los flancos, que localmente alcanza más de 70°.

4.2.3. Estructura de la Formación Don Juan

La discordancia angular de la base de la Formación Don Juan, examinada al norte de el pueblo de El Puerto, muestra un relieve topográfico casi horizontal, ascendiendo hacia el norte con una pendiente media de 2° , desde la cota 60m hasta la cota 180m (corte IV-IV', Fig. 4.3) . La superficie de la discordancia trunca estratos cretácicos más antiguos hacia el norte, indicando que previamente al depósito de la Formación Don Juan los estratos del Cretácico estaban inclinados hacia el sur. Debido a que los estratos de conglomerados que cubren la discordancia buzan entre $20-30^{\circ}$ hacia el oeste se interpreta que cada paquete de conglomerados termina en el subsuelo contra la superficie de discordancia y que el centro de sedimentación migra hacia el oeste. Esta disposición se explica por la elevación sin-deposicional del borde oriental del afloramiento y por la existencia de un paleorelieve en el borde occidental sobre el que se acuñan los conglomerados. Como consecuencia, el espesor de conglomerados medido en sección vertical es menor que el espesor total acumulado, próximo a 600 metros.

Al sur del pueblo de El Puerto, la Formación Don Juan se halla plegada con una orientación NNO-SSE y cortada por fallas oblicuas NO-SE (corte IV-IV', Fig. 4.3). Una de estas fallas, la falla de Guabita Chiquita superpone la Fm Don Juan sobre el Neógeno y se describe a continuación como una estructura neotectónica.

4.2.4. Fallas que afectan al Neógeno y al Cuaternario

La terminación de la Fm Yanigua en el piedemonte de la cordillera coincide con una discontinuidad NO-SE en el mapa geomagnético, sugiriendo que existen fallas activas que elevan la cordillera y favorecen el desmantelamiento de las formaciones neógenas. Una de éstas fallas se observa en el Arroyo Guabita Chiquita, 1500 m al sur de El Puerto (UTM, X: 04513; Y: 20729) como un cabalgamiento de superficie inclinada unos 40° hacia el NE que superpone calizas y margas de la Fm Don Juan sobre lutitas de la Fm Yanigua. El desplazamiento vertical combinado de esta falla y otras no visibles desnivela la base de la discordancia del Neógeno desde la cota 30 m en el piedemonte, a 200 m en el norte de la cartografía.

El tránsito piedemonte-cordillera en la Hoja de Hato Mayor marca asimismo el límite oriental de los grandes abanicos aluviales cuaternarios que se extienden por las Hojas de

Bayaguana y Monte Plata (Fig. 1.6) y constituye una evidencia indirecta de fallas neógenas que continúan produciendo relieve en el Holoceno.

4.2.5. Secuencia de deformación

El buzamiento monoclinal hacia el sur y posiblemente los grandes pliegues de eje NE-SO son estructuras de primera generación, formadas previamente a la sedimentación de la Fm Don Juan entre el final del Cretácico y el Eoceno (Fig. 4.2). Los pliegues NO-SE superpuestos, que producen estructuras de interferencia son pliegues de segunda generación de edad post-eocena, asociados a fallas transcurrentes NO-SE y NE-SO. La deformación más reciente es de edad pliocuaternaria, responsable del plegamiento y fracturación de las formaciones Yanigua y Haitises y de la elevación topográfica de la cordillera.

5. GEOMORFOLOGÍA

En el presente apartado se trata el relieve desde un punto de vista puramente estático, entendiendo por tal la explicación de la disposición actual de las distintas formas, pero buscando al mismo tiempo el origen de las mismas (morfogénesis). A continuación se describen las formas diferenciadas en la Hoja de Hato Mayor del Rey, que han sido también representadas en el Mapa Geomorfológico a escala 1:100.000 de El Seibo (6372) (Díaz de Neira, 2004b), atendiendo a su geometría, tamaño y génesis. El depósito que acompaña a algunas de estas formas (formaciones superficiales) se describe en el apartado de estratigrafía de los materiales cuaternarios.

5.1. Análisis geomorfológico

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

5.1.1. Estudio morfoestructural

El relieve está condicionado en gran medida por la litología y la disposición de las rocas que afloran. El sustrato volcano-sedimentario cretácico de la cordillera forma un mosaico de bloques elevados y deprimidos limitados por fallas activas que han condicionado el encajamiento rectilíneo de algunos tramos de la red fluvial y el desarrollo de capturas. El plegamiento produce estructuras lineales con contrastes litológicos marcados entre rocas volcánicas, areniscas, calizas y lutitas. Por el contrario, los niveles calcáreo-margosos poco deformados de Los Haitises y la Llanura Costera del Caribe han dado lugar a superficies estructurales cubiertas por extensos abanicos aluviales.

5.1.1.1. Formas estructurales

Las *fallas con expresión morfológica* corresponden a fallas *inversas* y *desgarres* agrupadas en familias NO-SE y NE-SO. El mayor número se encuentra en el margen norte de la cartografía, condicionando la orientación de las elevaciones menores de las Lomas Buena Vista, Moña Gerra, del Toro y La Depatillada y de los valles que las separan. Al norte de Hato Mayor una falla supuesta ENE-OSO limita la Loma de Los Jíbaros. En el cuadrante SE de la cartografía, dos fallas paralelas NO-SE siguen los flancos de la Loma Carcetero que destaca por su orientación transversa a las lomas circundantes modeladas en capas verticales de arenisca. En ocasiones las fallas se encuentran bajo depósitos cuaternarios sin afectarlos o bien algún rasgo morfológico parece estar condicionado por una falla sin que se tenga la total certeza de su existencia, habiéndose representado en ambos casos como *fallas supuestas*.

Pese a la elevada velocidad con que la meteorización elimina o enmascara algunas formas, existen rasgos que se interpretan en relación con la actividad de fallas, entre ellos: *escarpes de falla*, frecuentemente *degradados*; *escarpes de falla producidos por erosión diferencial*, como los que limitan la calizas de la Fm Hatillo al norte de El Puerto, y *facetitas triangulares de escarpe de falla*.

Entre las morfologías condicionadas por la distinta resistencia a la meteorización de las rocas existen resaltes de *líneas de capa monoclinales* en areniscas del Mb Hato Mayor, acompañados por *escarpes* de paquetes de conglomerados y areniscas intercalados en la

Fm Las Guayabas visibles elrededor de la Loma Peña Alta. Las capas forman *crestas, barras y resaltes de capas subverticales*.

Las formas producidas a favor de capas horizontales siguen los afloramientos de las calizas margosas neógenas, produciendo *superficies estructurales* generalmente *degradadas* en la llanura que ocupa el cuadrante suroccidental de la cartografía.

5.1.2. Estudio del modelado

El modelado de la Cordillera Oriental es consecuencia de una larga evolución en el Cretácico Superior y Terciario, controlada por procesos de tectónica y sedimentación que han generado relieves positivos desgastados por agentes morfogenéticos de carácter *fluvial, gravitacional, poligénico* y de *meteorización química*. En Los Haitises y la Llanura caribeña el modelado se inicia sobre una superficie de erosión transgresiva en la base de la plataforma arrecifal de edad plio-cuaternaria y la llanura litoral adyacente. La elevación neotectónica de Los Haitises y la litología caliza han favorecido los procesos cársticos, mientras que en la Llanura litoral caribeña formada por calizas mezcladas con terrígenos y con menor relieve, el agente principal ha sido la dinámica fluvial.

5.1.2.1. Formas gravitacionales

A pesar de los importantes desniveles existentes en el ámbito de la sierra, no se trata de formas excesivamente extendidas ni de grandes dimensiones, posiblemente como consecuencia de la propia dinámica de retroceso de las vertientes en permanente evolución. Las más extendidas son los *coluviones*, formados como consecuencia del desequilibrio producido en las laderas por la erosión fluvial; los más extensos se localizan en el sector suroccidental en el valle del río Casuí. El límite entre la cordillera y el piedemonte-llanura presenta frecuentes *cambios bruscos de pendiente* en las laderas, que tienen un origen litológico-estructural.

5.1.2.2. Formas fluviales y de escorrentía superficial

Son con diferencia las formas más ubicuas. Ocupan una parte importante de la superficie de la Llanura Costera del Caribe y del Piedemonte de la Cordillera Oriental, así como de

algunos valles en la sierra. Destacan por su extensión los abanicos aluviales, en contraste con los escasos depósitos de los ríos.

Los *fondos de valle* son el principal registro del transporte y sedimentación en la red fluvial actual. Se trata de formas estrechas, especialmente en los tramos de cauce que discurren por la sierra, coincidentes con el canal de estiaje. Mayor desarrollo tienen las *terrazas* asociadas a los principales cursos, destacando por su extensión los sistemas de los ríos Casuí e Higuamo. En ningún caso se han reconocido escalonamientos de más de dos sistemas encajados: el inferior son terrazas bajas a cotas menores de +20 m sobre el cauce actual; el superior agrupa las terrazas medias por encima de +20 m. Posiblemente la ausencia de niveles superiores resulta del reducido potencial de encajamiento debido a la escasa diferencia altimétrica entre la llanura y el nivel de base del mar Caribe.

Más abundantes son los *conos de deyección* y los *abanicos aluviales*. De los tres sistemas principales reconocidos en la cordillera, sólo los sistemas intermedio y moderno están presentes en Hato Mayor. Su depósito se produce por desconfinamiento del flujo en la confluencia de ríos y arroyos con valles de mayor entidad. Cuando los ápices se encuentran próximos entre sí, se produce coalescencia. El *sistema intermedio* agrupa diversas generaciones difíciles de correlacionar por la desconexión de la mayoría de las formas. Se caracterizan por un retoque erosivo que indica que ya no son funcionales. Sus principales representantes orlan los relieves del sector meridional. Al sur del pueblo de Hato Mayor rellenan vaguadas entre lomas modeladas en estratos resistentes de areniscas. El *sistema más moderno* está ampliamente distribuido y agrupa los abanicos potencialmente funcionales, como se deduce de su mínimo retoque erosivo.

Un especial interés merecen los *abanicos aluviales de baja pendiente* que se inician al pie de la sierra y cubren el sector occidental de la Llanura Costera del Caribe desde el oeste de Monte Plata hasta el límite de las Hojas de Bayaguana y Hato Mayor. La pista que conduce del pueblo de El Puerto a los pueblos de La Estrella y Los Llanos sigue el límite de erosión de un gran abanico que configura una planicie ligeramente inclinada desde una cota próxima a 100 m hasta algo más de 50 m. La ladera que arranca hacia el este en el citado límite erosivo es parte de la excavación del río Casuí.

Entre las formas erosivas se han reconocido formas de *incisión lineal*, que en el dominio montañoso forman *gargantas* y *cañones* como el del río Casuí y el río Higuamo a su paso

por la Caliza de Hatillo y el río Guamira a través de la Fm Los Ranchos. En la mitad sur de la cartografía el río Higuamo discurre encajado sobre sus terrazas y sobre areniscas de la Fm Las Guayabas. El cauce de los ríos Casuí e Higuamo presenta numerosos meandros sobre litologías tan diferentes como rocas volcánicas, areniscas o margocalizas. Otras formas erosivas son las *divisorias montañosas*, ejemplificadas por las lomas que rodean la Peña Alta, separando las cuencas de los ríos Casuí e Higuamo. Los cursos bajos de estos ríos contienen asimismo *escarpes de terraza*. Un pequeño escarpe del *techo del abanico aluvial de baja pendiente* discurre paralelo a la pista de El Puerto a Los Llanos, su formación ha sido favorecida por la ferruginización del techo del abanico. Las *cárcavas* son poco frecuentes debido a la elevada proporción de materiales competentes, apareciendo generalmente como *áreas acarcavadas* sobre lutitas de la Fm Yanigua o erosionando depósitos de abanico aluvial.

El carácter de los ríos principales sobre la sierra es de tipo consecuente, con un abundante cortejo de afluentes de tipo subsecuente, adaptados a las diversas orientaciones de la fracturación y a los contactos litológicos. La geometría dominante es de tipo dendrítico. En la Llanura costera y el Piedemonte, el carácter es también consecuente, discurriendo a favor de la máxima pendiente regional. La geometría es asimismo de tipo dendrítico.

Como principales factores en la futura evolución de la red deben tenerse en cuenta: la influencia de las fallas que actualmente elevan la cordillera, las posibles modificaciones eustáticas del nivel de base, el retroceso de las vertientes, la erosión remontante y su efecto en las posibles capturas.

5.1.2.3. Formas por meteorización química

Toda la franja de afloramiento de la caliza de Hatillo en el norte de la cartografía muestra formas de disolución cárstica, pero sólo donde la extensión y el espesor de las calizas es mayor ocurren *áreas con intensa karstificación*. La principal se sitúa al noreste del pueblo del Puerto en la zona de Los Sumideros, Sabana Salsipuedes, Sabana de Palmarejo y Los Platanares, desarrollándose campos de *dolinas* y *uvalas*, *campos de laplaces*, *cañones*, *surgencias*, *sumideros* y *cuevas*. Destacan la cueva donde se sume el río Almirante, el sumidero de un arroyo paralelo en la Sabana Salsipuedes y otras pérdidas cerca del pueblo de La Clara. La principal surgencia es la cueva Fun Fun o cueva de Capote.

Los procesos de meteorización química en rocas no carbonatadas se encuentran muy extendidos. Las capas gruesas de areniscas del Cretácico superior presentan a menudo *alveolos de alteración* en la confluencia de pequeñas fracturas y diferentes sustratos muestran *argilizaciones* que los transforman en arcillas rojas lateríticas. La argilización afecta a la Fm Los Ranchos en la Loma de Castellanos, a las margas de Yanigua de edad Pliocena y a las terrazas y abanicos aluviales cuaternarios, principalmente en los alrededores del pueblo de El Puerto. Se han reconocido *ferruginizaciones* relacionadas con la alteración del abanico aluvial de baja pendiente existente en el margen oeste de la cartografía, donde pese a su reducido espesor producen un ligero resalte morfológico. Un horizonte decimétrico de pisolitos ferruginosos se extiende sobre las lutitas de la Fm Yanigua en la pista que atraviesa la Loma de Castellanos y conduce al pueblo de El Guanito.

5.1.2.4. Formas poligénicas

Se incluyen en este grupo las formas cuya morfogénesis se atribuye a la acción simultánea o sucesiva de más de un proceso genético, reconociéndose *escarpes*, *cerros cónicos* y *picos principales*. Los *cerros cónicos* resultan de procesos de erosión selectiva, con ejemplos en las Lomas El Calvario, La Parcela y Guazumita. Los *picos principales* son de elevación moderada, destacando la Loma Peña Alta (442 m) con una instalación de antenas visible desde casi toda el área, y las Loma Alfonsillo (249 m) y Los Magueyes (279 m) entre otras.

5.2. Evolución e historia geomorfológica

Si bien la morfología de la Cordillera Oriental está influenciada por todos los procesos que han actuado a lo largo de toda su historia, su fisonomía actual se perfila a comienzos del Cuaternario, cuando la cordillera poseía un relieve y extensión inferior a la actual y estaba flanqueada al norte y al sur por plataformas arrecifales en las áreas de Los Haitises y la Llanura Costera del Caribe. Ambas plataformas se unían por su extremidad oriental y por un área situada al noreste de Bayaguana, quedando la cordillera rodeada por el agua como una isla.

Esta configuración inicial dio lugar a una superficie estructural desarrollada sobre la plataforma de carbonatos emergida y a una superficie de erosión “correlativa” en el área

litoral. Los complejos arrecifales migraron hacia el norte a medida que se producía el ascenso de la sierra, que fue más acusado en la superficie de La Herradura, situada al suroeste de Miches. Sobre esta superficie comenzó una incipiente red de drenaje con cursos de pequeña longitud y carácter consecuente, que incrementaron su poder incisivo al ascender con respecto al nivel de base dismantelando la superficie de La Herradura. Posiblemente el desarrollo de lateritizaciones y arenizaciones comenzó con anterioridad a la jerarquización de la red.

Cerca del límite Pleistoceno-Holoceno ocurrió una elevación rápida del relieve montañoso debida a la actividad de fallas, promoviendo el desarrollo de sistemas aluviales de baja pendiente que cubrieron las llanuras costeras formando la superficie de la que arrancaría la incisión actual. La actividad neotectónica ha continuado desde la elaboración de la superficie de La Herradura, favoreciendo el crecimiento de la red de drenaje, con encajamientos importantes en la zona montañosa y moderados en la llanura debido a su pequeño gradiente respecto al nivel del mar. El encajamiento en la cordillera coexistió con el proceso de argilización del sustrato y con el retroceso de las vertientes. Como resultado del encajamiento en la zona montañosa existe una importante erosión remontante desde las dos vertientes, a diferencia de la planicie, donde la incisión es moderada.

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

6. HISTORIA GEOLÓGICA

Las rocas de la Cordillera Oriental Dominicana registran 130 Ma de evolución de las Grandes Antillas, desde su inicio como un arco de islas intraoceánico hasta la colisión oblicua con la placa de Norteamérica y traslación a lo largo de fallas transformantes paralelas al límite de placas (Fig. 6.1). Sobre la corteza de la placa del Caribe se desarrolló en el Cretácico Inferior un arco de islas primitivo de composición bimodal y afinidad toleítica representado en la zona de estudio por la Fm Los Ranchos y sus equivalentes deformados, los Esquistos de Maimón y la Fm Peralvillo Norte (Escuder-Viruete *et al.*, 2002). La reconstrucción basada en la Fm Los Ranchos indica que en un estadio inicial se acumularon

lavas en aguas profundas, y posteriormente lavas y volcanoclásticos en aguas someras afectadas por un metamorfismo de bajo grado debido a la convección hidrotermal del agua marina (Kesler *et al.*, 1991b). En algún momento del Neocomiano el edificio volcánico había alcanzado el nivel del mar y su destrucción en los taludes costeros aportó una proporción de sedimentos con restos de plantas que fueron posteriormente impregnados de depósitos epitermales de oro y plata en el área de Pueblo Viejo. La vegetación transportada sugiere un clima cálido, estacionalmente seco (Smiley, 1982). Con el cese progresivo del vulcanismo se intruyen numerosos stocks de tonalitas de la misma afinidad toleítica y los relieves emergidos terminaron arrasados en una plataforma, sobre la que se depositaron en ligera discordancia angular calizas arrecifales de la Formación de Hatillo (Bourdon, 1985).

Hacia el final del Albiano, la plataforma de carbonatos de Hatillo que se había mantenido con una subsidencia estable, quedó enterrada bajo rocas volcanoclásticas de la Formación Las Guayabas. Este evento se relaciona con el desarrollo de un segundo arco volcánico de naturaleza calcoalcalina, relacionado con la subducción de la placa Norteamericana hacia el sur, que aporta detritos a una cuenca de ante-arco superpuesta al arco inicial. La Formación Las Guayabas se depositó por corrientes de turbidez en un mar profundo, sobre un talud tectónicamente inestable. Una gruesa intercalación de rocas volcánicas básicas a intermedias en su tramo inferior (Mb Loma La Vega), indica la proximidad del magmatismo del arco y la existencia de una zona de subducción.

El aporte de detríticos quedó interrumpido en algún momento del Coniaciano Superior-Santoniano, sedimentándose un extenso nivel de radiolaritas. Este nivel marca un punto de inflexión en el tipo de los aportes, con disminución de los detríticos de área fuente volcánica y aumento de los detríticos de área fuente calcárea, que serán dominantes en el Campaniano-Maastrichtiano.

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

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

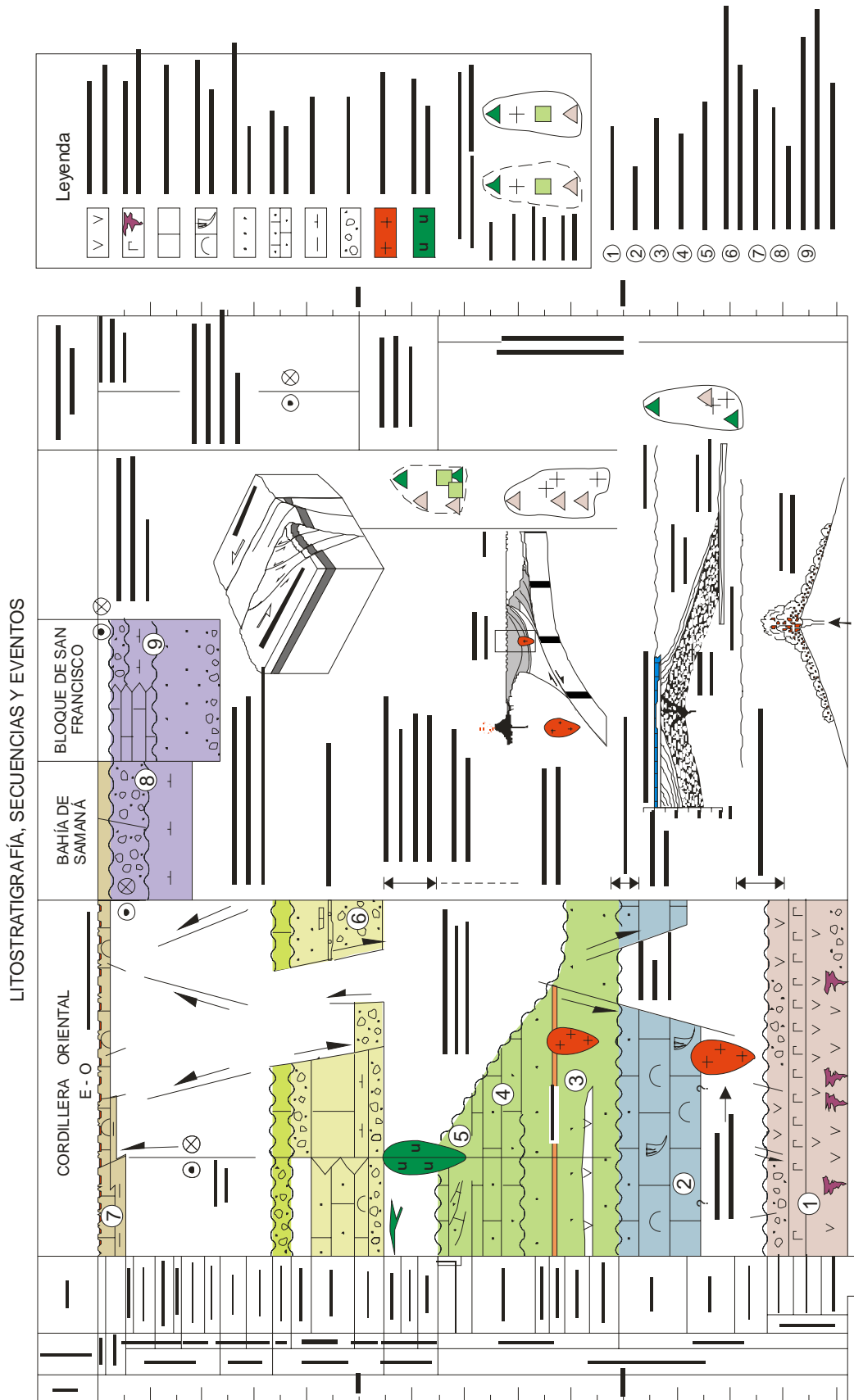
El segmento de cuenca de ante-arco contenido en la Cordillera Oriental fue elevado, plegado y basculado hacia el sur en el Paleoceno, como parte del proceso diacrónico de colisión de las Antillas Mayores con el margen sur de la placa de Norteamérica en el Paleoceno-Eoceno (Pindell y Barret, 1990; Dolan *et al.*, 1991). Paralelamente al bloqueo progresivo de la subducción cesó también la actividad ígnea. Las últimas intrusiones de tonalitas, dioritas y granodioritas de afinidad calcoalcalina datan del Eoceno.

Tras la colisión y hasta la actualidad, la traslación de las placas cambió de oblicua a subparalela a lo largo de la superficie inclinada al sur que limita las placas y a lo largo de fallas transformantes, con cambios de curvatura que según su orientación respecto al vector de movimiento de la placa del Caribe, producen simultáneamente extensión en la cuenca trastensiva del Caimán (iniciada en el Eoceno Inferior según Rosencrantz *et al.*, 1988), transpresión en el sur de Cuba y en La Española (referida ésta última como “colisión oblicua”), y subducción oceánica en las Pequeñas Antillas (Mann *et al.*, 2001). Como consecuencia, sobre el basamento cretácico arrasado de la Cordillera Oriental se formaron cuencas transpresivas separadas por fallas en dirección NO-SE. Los primeros depósitos son conglomerados aluviales (Fm Don Juan) provenientes de los relieves adyacentes a las depresiones. El tipo de sedimento y la batimetría varían de una cuenca a otra, pero en general la evolución es transgresiva a medida que las cuencas se ampliaban y áreas más extensas subsidían. En el Eoceno Superior existen taludes con resedimentación de depósitos en masa y turbiditas de área fuente volcánica y metamórfica.

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

En estas condiciones ocurrió la transgresión de la plataforma arrecifal de Los Haitises a inicios del Plioceno, conectando el mar las actuales costa norte y la costa sur de la región

Fig. 6.1. CUADRO RESUMEN DE LA HISTORIA GEOLÓGICA DE LA CORDILLERA ORIENTAL



oriental de La Española. Sólo los relieves tectónicos más elevados de la cordillera sobresalían como islas. El crecimiento de los corales fue influenciado por las variaciones del nivel eustático y la tectónica transpresiva, que en última instancia forzó la regresión que elevó la plataforma como un karst subtropical a alturas superiores a 300 metros. Donde la disolución y erosión han desmantelado el arrecife, aparecieron extensas superficies sometidas a procesos de argilitización, como la existente al sur de Miches, que en la actualidad está siendo incidida por la red fluvial.

7. GEOLOGÍA ECONÓMICA

7.1. Hidrogeología

7.1.1. Hidrología y climatología

Según los datos presentados en el informe de Acuater (2000) el clima varía desde las áreas más meridionales de la Llanura Costera del Caribe, caracterizadas parte del año por una evapotranspiración potencial de referencia ET_{Po} mayor que la precipitación, a las zonas húmedas de la Cordillera Oriental con periodos húmedos superiores a 5-7 meses.

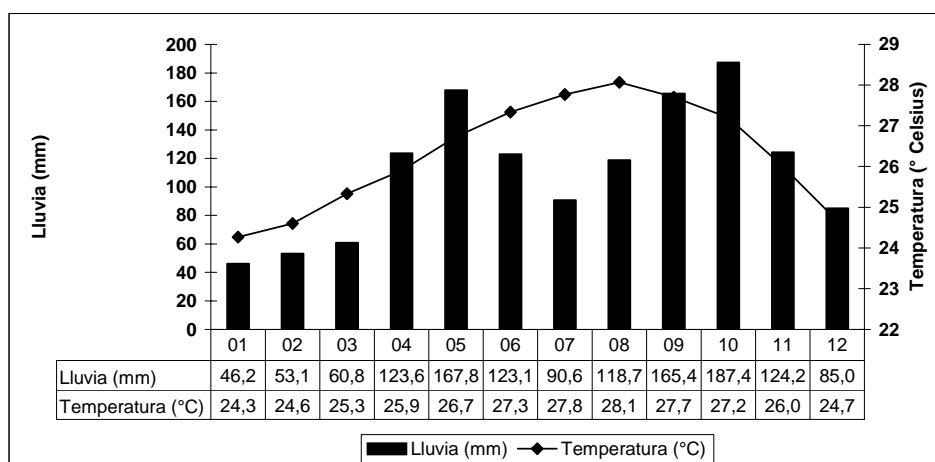


Fig. 7.1. Temperatura y precipitación medias registradas en El Seibo entre 1952 y 1980 (datos obtenidos en <http://www.worldclimate.com>)

El promedio de lluvia anual es de 1370.9 mm; los valores anuales medios tomados en estaciones oscilan entre 873 mm y 2688 mm. El registro concreto en el pueblo de El Seibo

oscila entre 46.2 mm y 187.4 mm (Fig. 7.1). La variación mensual de la precipitación presenta un régimen de tipo bimodal con época lluviosa en la primavera (en términos generales en el mes de Mayo) y en verano-otoño (desde Agosto hasta Noviembre) y con sequía en el invierno y en Junio-Julio; pero si esta variación intranual es bastante homogénea, los meses máximos y mínimos relativos tienen una elevada variabilidad de un lugar al otro, y también entre estaciones bastante cercanas.

La temperatura media del aire presenta valores anuales que fluctúan entre menos de 25 °C y más de 26 °C. La variación interanual de la temperatura media oscila entre 3 y 4 °C, y en general el período de mayores temperaturas corresponde a los meses de Julio a Agosto y el de mínima a los meses de Enero y Febrero. El registro concreto en el pueblo de El Seibo oscila entre 24.3 °C y 28.1 °C (Fig. 7.1). El promedio anual de la ETPo es de 1669.4 mm, con valores anuales medios obtenidos en estaciones que oscilan entre 1560 mm y 1970 mm. El valor de evaporación de tanque A medido en El Seibo es de 1775 mm. La red de drenaje está integrada por ríos y arroyos de carácter permanente debido a la elevada pluviometría que vierten de norte a sur al mar Caribe. De este a oeste se reconocen las cuencas del río Yabacoa, Casuí, Higuamo y Maguá. La divisoria de aguas entre la cuenca de los dos principales ríos, el Casuí y el Higuamo, cruza de norte a sur el centro de la cartografía.

7.1.2. Hidrogeología

El cuadro adjunto (Fig. 7.2) resume las unidades hidrogeológicas consideradas en la Hoja de Hato Mayor, según se han definido en el esquema hidrogeológico a escala 1:200.000 que acompaña al mapa geológico. Incluye la litología dominante de cada unidad, el grado y tipo de permeabilidad y en algunos casos las características de los acuíferos que albergan. De forma complementaria se presenta el esquema hidrogeológico realizado por ACUATER (2000) para el Estudio Hidrogeológico Nacional (Fig. 7.3).

Según las mediciones de ACUATER (2000), la transmisividades medias en los acuíferos que albergan las formaciones cuaternarias más permeables varían entre 10^{-2} a 10^{-3} m²/s. En lo que se refiere al análisis de las variaciones piezométricas en el tiempo, los mínimos se observan esencialmente alrededor del mes de Mayo (entre Marzo y Agosto) y los máximos

**HOJA DE HATO MAYOR DEL REY
FIGURA 7.2. CUADRO RESUMEN DE LAS UNIDADES O AGRUPACIONES HIDROGEOLÓGICAS**

EDAD	UNIDAD O AGRUPACIÓN HIDROGEOLÓGICA	UNIDADES CARTOGRÁFI CAS AGRUPADAS	LITOLOGÍAS	GRADO/TIPO DE PERMEABILIDAD	TIPOS DE ACUÍFEROS Y OBSERVACIONES
CUATRNA RIO	Terrazas, fondos de valle y abanicos aluviales	18, 20, 21	Cantos, arenas, gravas y limos	Alta por porosidad intergranular	Acuíferos libres de productividad dependiente de su extensión y espesor
	Abanicos aluviales, coluviones y depósitos aluviales- coluviales	18, 19 y 22	Limos con niveles subordinados de arenas, cantos y gravas	Media-baja por porosidad intergranular	Sin acuíferos significativos, salvo, localmente, en tramos de arenas y gravas de cierto espesor, de carácter libre o confinado
PLIO- PLEIST	Formaciones de la Llanura Costera y sobre la cordillera	16, 17	Margas y calizas margosas	Baja	Sin acuíferos significativos (localmente media, por carsificación de niveles calcareos subflorantes)
CRET. SUP. PALEOGENO	Fm Don Juan y Fm Las Guayabas	Del 9 al 15	Areniscas tobáceas, conglomerados y lutitas	Baja-media por fracturación	Sin acuíferos significativos, salvo localmente, en zonas fracturadas
CRET. INF.	Fm Hatillo	7	Calizas masivas	Alta por carsificación	Acuíferos libres o confinados con circulación cársica
CRET. INF.	Fm Los Ranchos	Del 1 al 6	Basaltos, riolitas, tobas, brechas y conglomerados	Baja	Sin acuíferos significativos

Notas:

FIG. 7.3. ESQUEMA HIDROGEOLÓGICO DE LA LLANURA COSTERA DEL CARIBE Y EL MARGEN MERIDIONAL DE LA CORDILLERA ORIENTAL (Según ACUATER 2000)

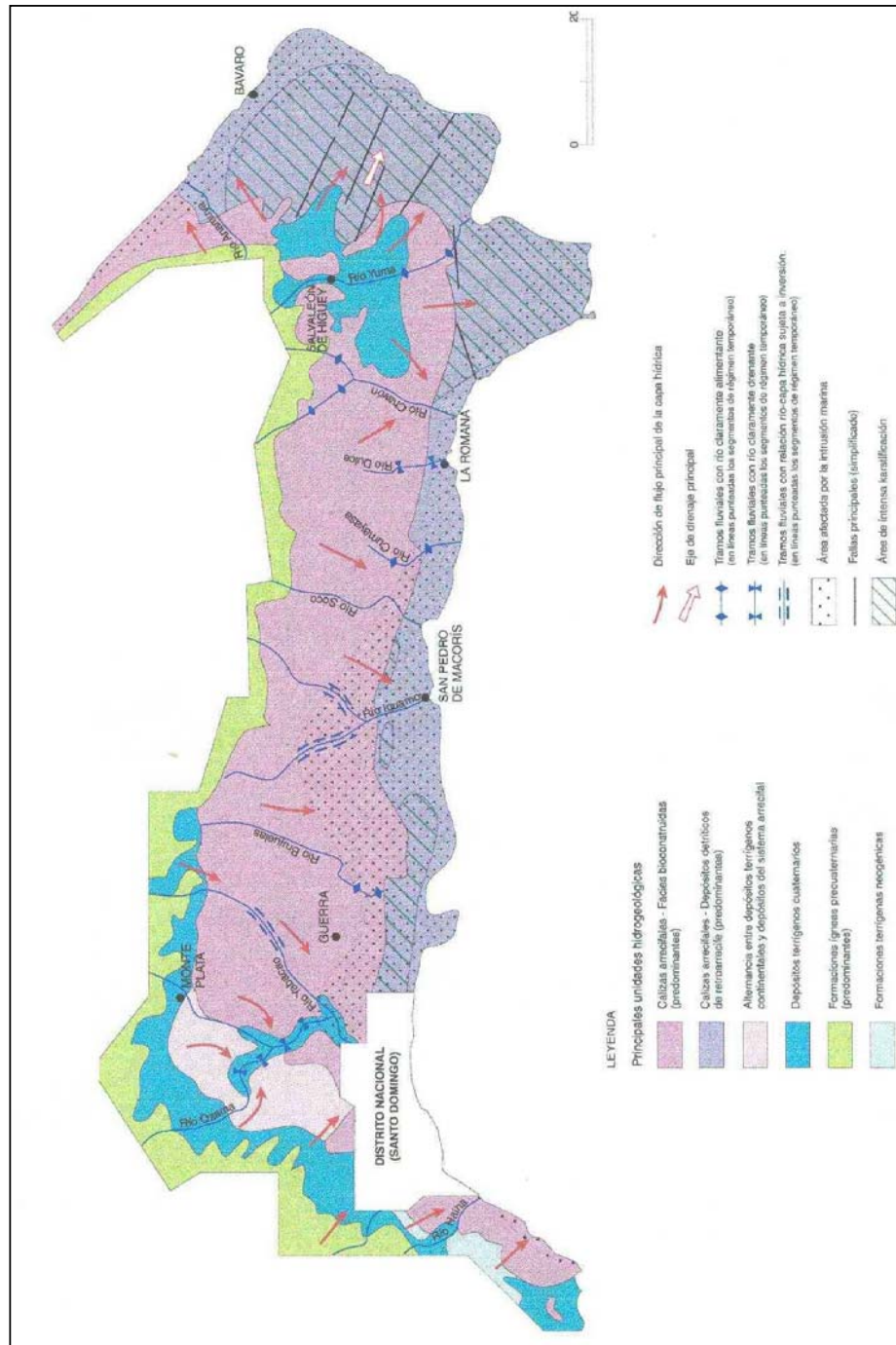
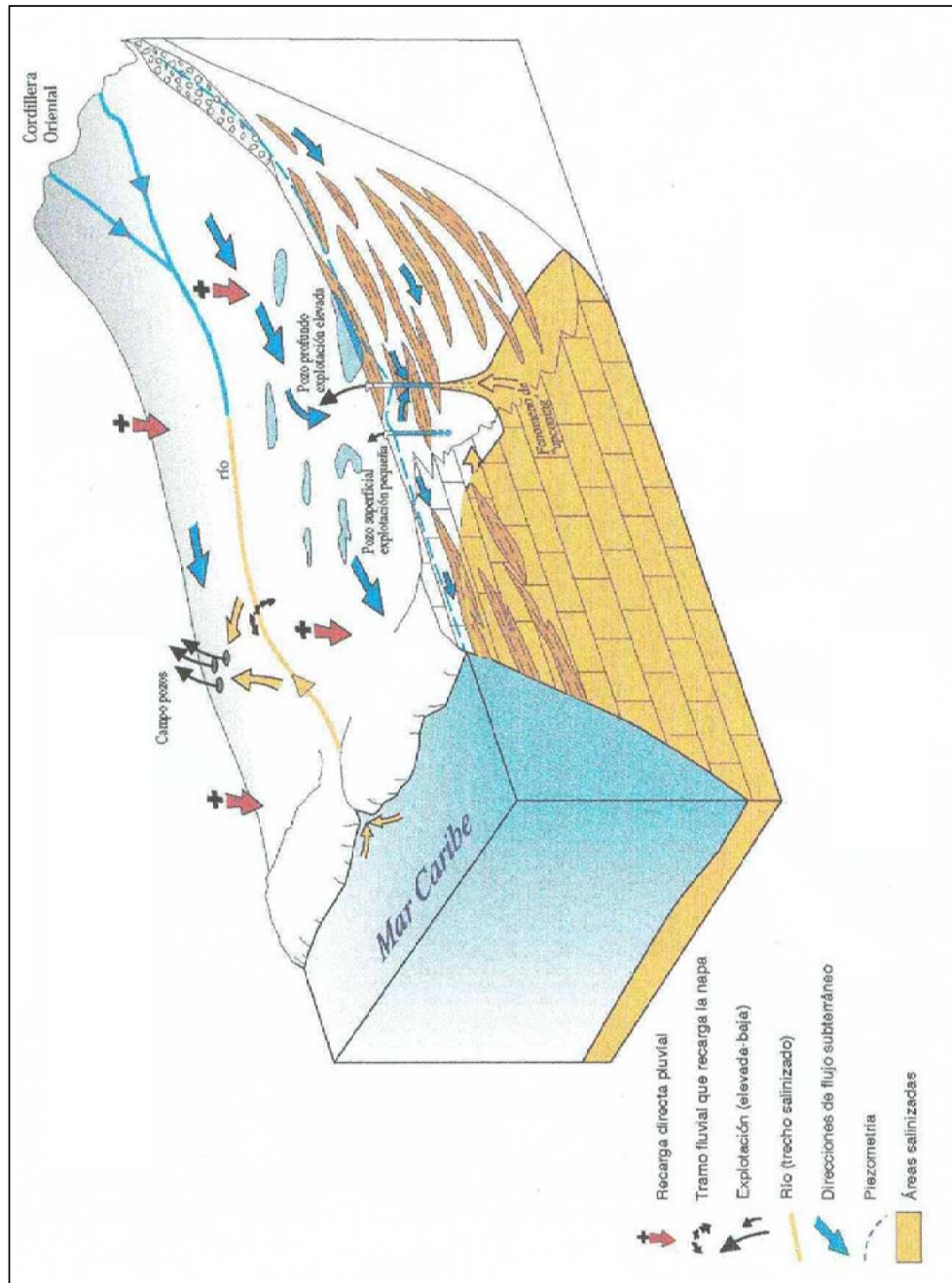


FIG. 7.4. MODELO HIDROGEOLÓGICO DE LA LLANURA COSTERA DEL CARIBE Y EL MARGEN MERIDIONAL DE LA CORDILLERA ORIENTAL (Según ACUATER 2000)



tienen mayor frecuencia en Septiembre y se sitúan entre este mes y Diciembre. Las variaciones anuales son generalmente muy reducidas (en su mayoría inferiores a 1 m).

El análisis de las aguas subterráneas ha determinado una composición bicarbonatada-alcalino térrea para las aguas típicas de la recarga regional, que aún aumentando su contenido salino a lo largo de su recorrido, mantienen generalmente valores de salinidad inferiores a 1 g/l. En áreas litológicamente independientes sin conexión regional, las aguas tienen una composición bicarbonatada-alcalina. En las proximidades de la costa, fuera de la zona de estudio, la composición pasa a ser clorurado-alcalina, por interacción de las aguas dulces subterráneas y el agua marina.

El modelo hidrogeológico de ACUATER (2000) sitúa la Llanura Costera del Caribe como la zona de enlace entre la Cordillera Oriental y la costa (Fig. 7.4). Los abanicos aluviales procedentes de los relieves septentrionales albergan acuíferos superficiales locales y discontinuos de baja productividad con gradientes hidráulicos moderados y líneas de flujo de norte a sur. Los principales acuíferos se encuentran relativamente profundos en las calizas arrecifales. En Hato Mayor la isopieza de 1 m se sitúa en el límite meridional de la cartografía. Los pozos son de uso doméstico y explotan las formaciones porosas cuaternarias y las areniscas de la Fm Las Guayabas.

7.2. Recursos minerales

En la Hoja de Hato Mayor no se ha puesto de manifiesto ningún indicio relacionado con sustancias metálicas, Todas las relacionadas en la hoja pertenecen al grupo de las rocas industriales (Lopera, 2004). En su gran mayoría se localizan sobre terrenos pertenecientes a la Fm Las Guayabas, dos indicios están en la Fm Los Ranchos y extraen también Calizas de Hatillo, uno está sobre la Fm Don Juan y otro sobre las margocalizas neógenas de la Fm Yanigua.

7.2.1. Rocas industriales

En la tabla adjunta quedan registrados los puntos que tienen o han tenido actividad más o menos reciente en el aprovechamiento de las diversas sustancias. Su denominador común, con excepción del indicio nº 4, es su pequeño tamaño, su falta de mecanización y la

utilización del material en la proximidad al punto de arranque. Solo el indicio nº 4 destaca por el volumen de su extracción, instalaciones de machaqueo y clasificación, así como empleo de explosivos para los sucesivos cortes.

HATO MAYOR DEL REY						
NUMERO	COORDENADAS UTM		SUSTANCIA	ACTIVIDAD	TAMAÑO	UTILIZACIÓN
	X	Y				
1	471149	2076900	Tufitas y volcánicas	Abandonada	Pequeña	Arm
2	469992	2079014	Tufitas y volcánicas	Abandonada	Pequeña	Arm
3	464575	2078691	Tufitas y volcánicas	Abandonada	Pequeña	Arm
4	469362	2072556	Tufitas y volcánicas	Activa	Grande	Arm
5	473351	2067160	Tufitas y volcánicas	Intermitente	Grande	Arm
6	468880	2080150	Volcánicas y calizas	Abandonada	Medio	Arm
7	468563	2080532	Volcánicas y calizas	Intermitente	Medio	Arm
10	453330	2070269	Margocalizas	Activa	Medio	Arm
11	470951	2079204	Tufitas y volcánicas	Intermitente	Medio	Arm
12	470850	207360	Tufitas y volcánicas	Activa	Medio	Arm
Arm = Arido de machaqueo						

7.2.1.1. Descripción de las sustancias

- Canteras de calizas. Se localizan dos indicios sobre la Fm de Calizas de Hatillo, ambos abandonados en la actualidad. En uno de ellos se instaló una planta portátil de machaqueo y clasificación, que dado el tipo de explotación y las características del material no pudo tener un óptimo rendimiento. Las calizas de la Fm Hatillo, sin duda las mejores rocas desde el punto de vista geotécnico para su utilización como árido, se emplearon para la construcción y reparación de la carretera aldeaña a la explotación.

- Canteras de Tufitas, Lutitas, Areniscas y Rocas Volcánicas. Salvo dos indicios que se localizan en la Fm Los Ranchos (Cretácico inf.), el resto se sitúa en la Fm Las Guayabas (Cretácico sup.). Los materiales extraídos son de litología variada, predominando las canteras que explotan areniscas y materiales volcánico-derivados. Es sobre esta litología donde se localizan las mayores explotaciones (nº 4).

- Canteras de Conglomerados. Solo hay una cantera que explotó los conglomerados de la Fm Don Juan. Está abandonada en la actualidad.

- Canteras de Margocalizas. Solo hay una, de actividad intermitente, situada en la zona suroeste de la hoja. Se sitúa sobre margocalizas y calizas margosas coralinas de la Fm Yanigua (Neógeno). Su aplicación inmediata es la construcción y mantenimiento de los caminos que surcan las plantaciones de caña de azúcar del entorno.

7.2.2. Potencial Minero

Como se ha mencionado, las calizas de la Fm Hatillo constituyen sin duda el mejor litotecto para áridos, por sus características geotécnicas. Su explotación estará limitada por los condicionantes ambientales y por la accesibilidad de los puntos de extracción. Su potencial es grande. La Fm Las Guayabas contiene varios litotectos de interés, aún cuando sus características geotécnicas no sean idóneas en todos sus parámetros. Son sin duda las areniscas y rocas volcánicas las mejores litologías a utilizar. Su potencial es ilimitado.

8. LUGARES DE INTERÉS GEOLÓGICO

La protección de diversas zonas del territorio tiene como finalidad asegurar la continuidad natural de los ecosistemas, preservándolos de actividades antrópicas destructivas y evitar el uso abusivo de sus recursos. Dentro de los recursos no renovables de un país, el patrimonio 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, utilizados de forma racional y ordenada, pueden resultar beneficiosos para la humanidad. Es por ello necesario no sólo preservar el medio natural y, en este caso, el patrimonio geológico, sino también estudiarlo en detalle, para así difundir el conocimiento que encierra y crear conciencia de su conservación.

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

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

8.1. Descripción de los L.I.G.

La geología de la Hoja de Hato Mayor es especialmente interesante en el ámbito de la Cordillera Oriental por la serie estratigráfica del Cretácico que contiene, aunque sobre el terreno los afloramientos resultan poco escénicos. Se han seleccionado dos lugares, el primero es de interés estratigráfico y el segundo de interés hidrogeológico y didáctico.

8.1.1. Areniscas epiclásticas del Cretácico Superior

Se accede en vehículo por una pista desde Hato Mayor del Rey en dirección al pueblo de El Puerto. Tras recorrer 3.5 km se localiza la cantera inmediatamente a la izquierda, junto a la Loma El Calvario (UTM, X: 046960; Y: 207270). Este punto es la cantera nº 4 del apartado de Rocas industriales, que extrae areniscas de la Fm Las Guayabas, de edad Cretácico Superior. La panorámica del corte de extracción de la pared sur muestra capas de forma tabular que se extienden más de cien metros a lo largo de su dirección. Para acercarse y ver en detalle las capas es recomendable el uso de un casco protector en previsión de posibles desprendimientos de piedras. Se observan capas de arenisca y limolita de color gris claro formadas por granos de rocas volcánicas y metamórficas con laminación paralela, ripple y convolucionada. Estas estructuras indican una sedimentación rápida por turbiditas diluidas. Es un buen afloramiento que permite hacer una sedimentología de detalle de los depósitos epiclásticos de la Formación Las Guayabas.

El interés científico es esencialmente sedimentológico y didáctico para la enseñanza de la geología.

8.1.2. Cueva Fun Fun

Aparece en algunos mapas como la Cueva de Capote. Se accede desde el pueblo de Hato Mayor por una pista forestal en buen estado, siguiendo la ruta hacia La Clara y Capote. Al sureste de Capote se toma un desvío a la derecha con una puerta de hierro hasta alcanzar el final de la pista en una propiedad. Desde allí se accede a la cueva a pie en 5 minutos, hay pasarelas de manera para alcanzar la entrada (UTM, X: 045577; Y: 207830).

La cueva Fun Fun es una espectacular surgencia kárstica donde reaparece el río Almirante que se sume 2250 metros hacia el noreste en un valle ciego. El recorrido subterráneo de

galerías no se conoce pero es posible que pueda ser recorrido como una cueva de longitudes kilométricas. El agua aparece debido a una falla E-O que hunde las areniscas de la Formación Las Guayabas produciendo una barrera al paso del agua (karst barrado).

El punto propuesto presenta interés hidrogeológico como ejemplo de surgencia en un acuífero cárstico, que por su nula capacidad de filtración es muy vulnerable a la entrada de contaminantes y es imperativo asegurar su protección. Presenta además interés geomorfológico para el estudio de las formas de disolución del karst y las formas subterráneas. En la actualidad es una excursión de aventura ofertada por los hoteles de Punta Cana y Bávaro, con un gran potencial didáctico enfocado al eco-turismo.

9. BIBLIOGRAFÍA

- **ACUATER (2000):** Mapa Hidrogeológico Planicie Costera Oriental, mapa N° 9/1/3 Escala 1:50.000, Febrero 2000. República Dominicana-UE. Programa de Desarrollo Geológico-Minero (SYSMIN) Convención Lomé IV.
- **ARDÉVOL, LI. (2004):** Informe Sedimentológico del Proyecto L (Zonas Este y Suroeste) de Cartografía Geotemática de la República Dominicana. Programa SYSMIN. Servicio Geológico Nacional, Santo Domingo.
- **BARRETT, T.J. y McLEAN, W.H. (1999):** Volcanic sequences, lithochemochemistry, and hydrothermal alteration in some bimodal volcanic-associated massive sulfide systems. In volcanic-associated massive sulfide deposits: processes and examples in modern and ancient settings. Ed. by C.T. Barrie and M.D. Hannington. *Reviews in Economic Geology*, N°8, p. 101-131.
- **BELLON, H.; VILA, J.M. y MERCIER DE LEPINAY, B (1985):** Chronologie K- Ar et affinités geoquimiques des manifestations magnétiques au crétacé et au paléogène dans l'île d'Hispaniola. En, *Geodynamique des Caraïbes*, Editions Technip.
- **BLESCH, R.R. (1966):** Mapa geológico preliminar de la República Dominicana 1/250.000, Unión Panamericana.
- **BOISSEAU, M. (1987):** Le flanc nord-est de la Cordillère Centrale dominicaine (Hispaniola, Grandes Antilles);. Un édifice de nappes Crétacé polyphase. Tesis Doctoral inédita. Université Pierre et Marie Curie, Paris, France, 200 p.
- **BOURDON, L., GEYSSANT, J.R., MERCIER de LEPINAY, B. y VILA, J.M. (1983):** Hallazgo de amonitas coniacanas en la Cordillera Oriental Dominicana (Hispaniola, Antillas Mayores), 10th Caribbean Geological Conference, Cartagena de Indias, 1983.
- **BOURDON, L., GEYSSANT, J.R., MERCIER de LEPINAY, B. y VILA, J.M. (1984):** Intérêts paléontologique, chronologique et tectonique de la découverte de *Peroniceras* (*Ammonoidae*, *Collignoniceratidae*) dans le Coniacien inférieur de la Cordillère Orientale

de la République Dominicaine (Hispaniola, Grandes Antilles), *C.R. Acad. Sc. Paris*, t. 298, série II, n° 7, p. 287-292.

- **BOURDON, L. (1985):** La Cordillère Orientale Dominicaine (Hispaniola, Grandes Antilles); Un arc insulaire Cretacé polystructure. Tesis Doctoral, Universidad Pierre et Marie Curie, Paris, France, 203 p.
- **BOWIN, C. (1966):** Geology of the Central Dominican Republic. A case history of part of an island arc. En: *Caribbean geological investigations* (HESS, H., Ed.), *Geological Society of America*, 98, p. 11-84.
- **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*, p. 501-552.
- **BRIQUEAU, L., BOUGAULT, H. y JORON, J.L., (1984):** Quantification of Nb, Ta, Ti, and V anomalies in magmas associated with subduction zones: petrogenetic implications. *Earth and Planetary Science Letters*, 68, p. 297-308.
- **BROUWER, S.B. y BROUWER, P.A. (1982):** Geología de la región ambarífera oriental de la República Dominicana. En: *Transactions of the 9th Caribbean Geological Conference, Santo Domingo, Dominican Republic, 1980*: Amigo del Hogar Publishers, p. 303-324.
- **BURKE, K., FOX, P.J. Y SENGOR, A.M.C. (1978):** Buoyant ocean floor and the evolution of the Caribbean. *Journal of Geophysical Research*, v. 83, p. 3949-3945.
- **BURKE, K., GRIPPI, J. y SENGOR, A.M.C. (1980):** Neogene structures in Jamaica and the tectonic style of the northern Caribbean plate boundary zone. *Journal of Geophysical Research*, v. 88, p. 375-386.
- **C.G.G. (COMPAGNIE GENERALE DE GEOPHYSIQUE) (1999):** Informe final sobre la prospección magnética y radiométrica aeroportada de la República Dominicana. Programa SYSMIN, Proyecto E. Servicio Geológico Nacional, Santo Domingo.

-
- **CRAWFORD, A.J., FALLON, T.J. y GREEN, D.H. (1989):** Classification, petrogenesis and tectonic setting of boninites. En A.J. Crawford (ed.). Boninites and related rocks. Unwin Hyman, London, p. 1-49.
 - **CUCURULLO, O. Jr. (1956):** Geografía de Santo Domingo. Vol. I. Editora Montalvo, Ciudad trujillo, 118p.
 - **DECKER, J. (1985):** Sandstone modal analysis procedure: Alaska, Department of Natural Resources, Division of Geological and Geophysical Survey, Public Data File Report, PDF 85-3a.
 - **DE LA FUENTE, S. (1976):** Geografía Dominicana. Amigo del Hogar, Santo Domingo, 272 p.
 - **DE ZOETEN, R. y MANN, P. (1991):** Structural geology and Cenozoic tectonic history of the central Cordillera Septentrional, Dominican Republic. En: Geologic and tectonic development of the North America-Caribbean plate boundary in Hispaniola (Mann, P., Draper, G. y Lewis, J.F., eds.), *Geological Society of America Special Paper*, 262, p. 265-279.
 - **DÍAZ DE NEIRA, A. (2004a):** Mapa Geomorfológico y de Procesos Activos susceptibles de constituir Riesgo Geológico de la Hoja a escala 1:100.000 de Monte Plata (6272) y Memoria correspondiente. Proyecto de Cartografía Geotemática de la República Dominicana, Programa SYSMIN. Servicio Geológico Nacional, Santo Domingo.
 - , **(2004b):** Mapa Geomorfológico y de Procesos Activos susceptibles de constituir Riesgo Geológico de la Hoja a escala 1:100.000 de El Seibo (6372) y Memoria correspondiente. Proyecto de Cartografía Geotemática de la República Dominicana, Programa SYSMIN. Servicio Geológico Nacional, Santo Domingo.
 - **DÍAZ DE NEIRA, J.A. y HERNÁIZ HUERTA, P.P. (2004):** Mapa Geológico de la Hoja a escala 1:50.000 n° 6272-I (Antón Sánchez) y Memoria correspondiente. Proyecto de Cartografía Geotemática de la República Dominicana. Programa SYSMIN. Servicio Geológico Nacional, Santo Domingo.

-
- **DICKINSON, W.R. y SUCZEK, C.A. (1979):** Plate tectonics and sandstone composition. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, v. 63, p. 2164-2182.

 - **DIXON, T.H. y DAILY, M.I. (1981):** Analysis of a SEASTAT-SAR image of the northeastern Dominican Republic, Paris, France, Photo-Interpretation, v.5, p. 4.3-4.7.

 - **DOLAN, J.F., MANN, P., de ZOETEN, R., HEUBECK, C., y SHIROMA, J., (1991):** Sedimentologic, stratigraphic, and tectonic synthesis of Eocene-Miocene sedimentary basins, Hispaniola and Puerto Rico. En: Geologic and tectonic development of the North America-Caribbean plate boundary in Hispaniola (Mann, P., Draper, G. y Lewis, J.F., eds.), *Geological Society of America Special Paper*, 262, p. 217-263.

 - **DOLAN, J.F., MULLINS, H.T. y DAVID, J.W. (1998):** Active tectonics of the north-central Caribbean: Oblique collision, strain partitioning and opposing subducted slabs, En: *Active Strike-Slip and Collisional Tectonics of the Northern Caribbean Plate Boundary Zone*, (Dolan, J.F. y Mann, P., eds.) *Special Paper 326, Geological Society of America*, 174 p.

 - **DOUGLAS, R.C. (1961):** Orbitolinas from Caribbean Islands. *Journal of Paleontology*, 35, 3, p. 475-479.

 - **DRAPER, G. y 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*, p. 29-45.

 - **DRAPER, G; GUTIERREZ, G y 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.

 - **DRUMMOND, M.S. y DEFANT, M.J. (1990):** A model for trondhjemite-tonalita-dacite genesis and crustal growth via slab melting: Archean to Modern comparisons. *Journal of Geophysical Research*, 95, p. 21503-21521.

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

 - **ESCUDER VIRUETE, J., HERNAIZ HUERTA, P.P., DRAPER, G., GUTIÉRREZ, G., LEWIS, J.F. y PÉREZ ESTAÚN, A. (2002):** Metamorfismo y estructura de la Formación Maimón y los Complejos Duarte y Río Verde, Cordillera Central Dominicana: implicaciones en la estructura y la evolución del primitivo Arco Isla Caribeño. *Acta Geológica Hispánica*, v. 37, nº 2-3, p. 123-162.

 - **ESCUDER VIRUETE, J. (2004):** Informe de Petrología y Geoquímica de las Rocas Ígneas y Metamórficas del Proyecto L (Zonas Este y Suroeste) de Cartografía Geotemática de la República Dominicana Programa SYSMIN. Servicio Geológico Nacional, Santo Domingo.

 - **FRIEDMAN, R. (2004):** Informe de las dataciones absolutas realizadas por el método U/Pb en los proyectos K y L de Cartografía Geotemática de la República Dominicana (Pacific Centre for Isotopic and Geochemical Research Earth and Ocean Sciences Department, Universidad de British Columbia, Alberta, Canadá). Programa SYSMIN. Servicio Geológico Nacional, Santo Domingo

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

 - **GARCÍA LOBÓN, J.L. (2004):** Informe de Interpretación de la Geofísica Aerotransportada del Proyecto-L de Cartografía Geotemática de la República Dominicana. Programa SYSMIN. Servicio Geológico Nacional, Santo Domingo.

 - **GARCÍA SENZ, J. (2004):** Mapa Geológico de la Hoja a escala 1:50.000 nº 6472-III (Rincón Chavón) y Memoria correspondiente. Proyecto de Cartografía Geotemática de la República Dominicana. Programa SYSMIN. Servicio Geológico Nacional, Santo Domingo.

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

 - **HERNÁNDEZ, H. (1980):** Geología preliminar de la zona comprendida entre Hato Mayor y El Valle (Rep. Dom.). 9th Caribbean Geological Conference, Santo Domingo, 1980.

 - **INFORMES INTERNOS DE FALCONBRIDGE DOMINICANA (1988):** Preliminary Discussion of Results. Cordillera Oriental Project, 2 de Mayo de 1988, 6 p.; Cordillera Oriental Project, J. J. Watkins, y C. Chávez Castro, 15 de Julio de 1988, 25 p. Centro de Documentación, Dpto. de Exploraciones Falconbridge.

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

 - **JENNER, G.A. y SWINDEN, H.S. (1993):** The Pipestone Pond Complex, central Newfoundland: complex magmatism in an eastern Dunnage Zone ophiolite. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 30, p. 434-448.

 - **KESLER, S.E., RUSSELL, N., SEAWARD, M., RIVERA, J., McCURDY, K., CUMMING, G.L. y SUTTER, J.F. (1981):** Geology and geochemistry of sulfide mineralization underlying the Pueblo Viejo gold-silver deposit, Dominican Republic, *Economic Geology*, 76, p. 1096-1117.

 - **KESLER, S.E., RUSSELL, N., REYES, C., SANTOS, L., RODRÍGUEZ, A. y FONDEUR, L. (1991a):** Geology of the Maimón Formation, Dominican Republic. En: *Geologic and tectonic development of the North America-Caribbean plate boundary in Hispaniola* (Mann, P., Draper, G. y Lewis, J.F., eds.), *Geological Society of America Special Paper* 262, p. 173-185

 - **KESLER, S.E., RUSSELL, N., POLANCO, J., McCURDY, K. y CUMMING, G.L. (1991b):** Geology and Geochemistry of the Early Cretaceous Los Ranchos Formation, Central Dominican Republic. En: *Geologic and tectonic development of the North America-Caribbean plate boundary in Hispaniola* (Mann, P., Draper, G. y Lewis, J.F., eds.), *Geological Society of America Special Paper*, 262, p. 187-201.

-
- **KESLER, S.E., SUTTER, J.F., BARTON, J.M. y SPECK, R.C. (1991c):** Age of Intrusive Rocks in Northern 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, p. 165-172.

 - **KROGH T. E. (1982):** Improved accuracy of U-Pb zircon ages by the creation of more concordant systems using an air abrasion technique. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 46, p. 637-649.

 - **LEBRÓN, M.C. (1989):** Petrochemistry and tectonic significance of Late Cretaceous calcalkaline volcanic rocks, Cordillera Oriental, Dominican Republic. M.Sc. thesis, Univ. Florida, Gainesville, Fla., (unpubl.). 154 p.

 - **LEBRÓN, M.C. y MANN, P. (1991):** Geologic map of the eastern Dominican Republic. En: P. Mann, G. Draper and J. Lewis (Editors), *Geologic and Tectonic Development of the North America-Caribbean Plate in Hispaniola. Geol. Soc. Am. Spec. Paper.*, 262, scale 1:150.000

 - **LEBRÓN, M.C. y PERFIT, M.R. (1993):** Stratigraphic and Petrochemical Data Support Subduction Polarity Reversal of the Cretaceous Caribbean Island Arc. *Journal of Geology*. V. 101, p. 389-396.

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

 - **LOPERA, E. (2004):** Mapa de Recursos Minerales de las Hojas a escala 1:100.000 de El Seibo (6372) y Las Lisas (6472) y Memoria correspondiente. Proyecto de Cartografía Geotemática de la República Dominicana Programa SYSMIN. Servicio Geológico Nacional, Santo Domingo.

 - **LUDWIG, K.R. (1980):** Calculation of uncertainties of U-Pb isotope data. *Earth and Planetary Science Letters*, 46, p. 212-220.

-
- **LUDWIG, K.R (2003):** Isoplot 3.00 A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel. *Berkeley Geochronology Center, Special Publication No. 4*

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

 - **MANN, P., DRAPER, G. y LEWIS, J.F. (1991):** 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, p. 1-28.

 - **MANN, P., CALAIS, E., RUEGG, J.C., DeMETS C., JANSMA, P.E. y MATTIOLI, G.S. (2002):** Oblique collision in the northeastern Caribbean from GPS measurements and geological observations. *Tectonics*, 21, 6, p. 1- 26.

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

 - **McCANN, W.R. y SYKES, L.R. (1984):** Subduction of aseismic ridges beneath the Caribbean Plate: Implications for the tectonics and seismic potential of the northeastern Caribbean. *Journal of Geophysical Research*, v. 89, p. 4493-4519.

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

 - **__, (2004b):** Mapa Geológico de la Hoja a escala 1:50.000 n° 6472-IV (Las Lisas) y Memoria correspondiente. Proyecto de Cartografía Geotemática de la República Dominicana. Programa SYSMIN. Servicio Geológico Nacional, Santo Domingo.

 - **MONTHEL J. y CAPDEVILLE J.P. (2004):** Mapa Geológico de la Hoja a escala 1:50.000 n° 6272-II (Bayaguana) y Memoria correspondiente. Proyecto de Cartografía

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

- **NELSON, C.E. (2000):** Volcanic domes and gold mineralization in the Pueblo Viejo district, Dominican Republic. *Mineralium Deposita*, 35, p. 511-525.
- **PARRISH R.R., RODDICK J.C., LOVERIDGE W.D. y SULLIVAN R.W. (1987):** Uranium-lead analytical techniques at the Geochronology Laboratory, Geological Survey of Canada; Radiogenic age and isotopic studies; Report 1. Paper - Geological Survey of Canada, 87-2, p. 3-7.
- **PEARCE, J.A. y NORRY, M.J. (1979):** Petrogenetic Implications of Ti, Zr, Y, and Nb Variations in Volcanic Rocks. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, vol. 69, p. 33-47.
- **PEARCE, J.A., HARRIS N.B.W. y TINDLE, A.G. (1984):** Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks, *Journal of Petrology*, vol. 25, p. 956-983.
- **PEARCE, J.A. y PEATE, D.W. (1995):** Tectonic implications of the composition of volcanic arc magmas. *Earth and Planetary Science Annual Review*, 23, p. 251-285.
- **PINDELL, J.L. y 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. P. 405-432.
- **RAMSAY, J.G. (1967):** Folding and Fracturing of Rocks, McGraw-Hill, New York and London, 568 p.
- **RENNE P.R., SWISHER C.C., DEINO A.L., KARNER D.B., OWENS T. y DePAOLO D.J. (1998):** Intercalibration of standards, absolute ages and uncertainties in $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating. *Chemical Geology*, 145 (1-2), p. 117-152.

-
- **RODDICK J.C. (1987):** Generalized numerical error analysis with applications to geochronology and thermodynamics. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 51, p. 2129-2135.

 - **ROSENCRANTZ, E., ROSS, M.I. y SCLATER, J.G. (1988):** Age and spreading history of the Cayman Trough as determined from depth, heat flow and magnetic anomalies, *Journal of Geophysical Research*, v. 93, p. 2141-2157.

 - **RUSSELL, N. y KESLER, S.E. (1991):** Geology of the Maar-Diatreme Complex Hosting Precious Metal Mineralization at Pueblo Viejo, Dominican Republic. En: *Geologic and tectonic development of the North America-Caribbean plate boundary in Hispaniola* (Mann, P., Draper, G. y Lewis, J.F., eds.), *Geological Society of America Special Paper*, 262, p. 203-215.

 - **SILVESTER, A.G. (1988):** Strike-slip faults. *Geological Society of America Bulletin*, v. 100, p. 1666-1703.

 - **SMILEY, C.J. (1982):** Lower Cretaceous plants from the Dominican Republic. En: *Caribbean Geology into the third Millennium*. Trevor A. Jackson (ed.) University of the West Indies Press, p. 119-129.

 - **STACEY J.S. y KRAMERS J.D. (1975):** Approximation of terrestrial lead isotope evolution by a two-stage model. *Earth and Planetary Science Letters*, 26, p. 207-221.

 - **SUN, S. y McDONOUGH, W.F. (1989):** Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: Implications for mantle compositions and processes. En A.D. Saunders, M.J.Norry (eds.). *Magmatism in the Ocean Basins. Geological Society Special Publication*, 42, p. 313-345.

 - **TATSUMI, Y., HAMILTON, D.L. y NESBITT, R.W., (1986):** Chemical characteristics of fluid phase released from a subducted lithosphere and origin of arc lavas: evidence from high-pressure experiments and natural rocks. *J. Volcanol. Geotherm. Res*, 29, p. 293-309.

-
- **THIRLWALL, M.F. (2000):** Inter-laboratory and other errors in Pb isotope analyses investigated using a (super 207) Pb- (super 204) Pb double spike. *Chemical Geology*, 163, p. 299-322.
 - **TOLOCZYKI, M. y RAMÍREZ, L. (1991):** Mapa geológico de la República Dominicana 1:250.000. Ministerio de Energía y Minas, Servicio Geológico Nacional, Instituto Geográfico Universitario, Santo Domingo, D.N. (en cooperación con Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover, República Federal de Alemania).
 - **ULLRICH, T. (2004):** Informe de las dataciones absolutas realizadas por el método Ar/Ar en los proyectos K y L de Cartografía Geotemática de la República Dominicana (Pacific Centre for Isotopic and Geochemical Research Earth and Ocean Sciences Department, Universidad de British Columbia, Alberta, Canadá). Programa SYSMIN. Servicio Geológico Nacional, Santo Domingo
 - **WEYL, R. (1966):** Geologie der Antillen, Band 4, Beitrage zur Regionalen Geologie der Erde, (H. J. Martini, ed.) Berlin, Gebrüder Bornträger, 410 p.
 - **WINCHESTER J.A. y FLOYD, P.A. (1977):** Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements. *Chemical Geology*, vol. 20, p. 325-343.
 - **WINSLOW, M.A., GUGLIELMO, G., Jr., NADAI, A.C., VEGA, L.A., y McCAAN, W.R., (1991):** Tectonic evolution of the San Francisco Ridge of the eastern Cibao Basin, northeastern 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, p. 301-313.
 - **WOOD, D.A. (1980):** The application of a Th-Hf-Ta diagram to problems of tectonomagmatic classification and to establishing the nature of crustal contamination of basaltic lavas of the British Tertiary volcanic province. *Earth and Planetary Science Letters*, vol. 50, p. 11-30.