



SERVICIO GEOLÓGICO NACIONAL

REPÚBLICA DOMINICANA

**MAPA GEOMORFOLÓGICO Y DE PROCESOS ACTIVOS
SUSCEPTIBLES DE CONSTITUIR RIESGO GEOLÓGICO
DE LA REPÚBLICA DOMINICANA**

ESCALA 1:100.000

PUERTO PLATA

(6075)

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

La presente Hoja y Memoria ha sido realizada en el periodo 2008-2010 por Informes y Proyectos S.A. (INYPSA), formando parte del Consorcio IGME-BRGM-INYPSA, dentro del Programa de Cartografía Geotemática de la República Dominicana, con normas, dirección y supervisión del Servicio Geológico Nacional (SGN), habiendo participado los siguientes técnicos y especialistas:

CARTOGRAFÍA GEOMORFOLÓGICA

- Lic. Juan Escuer Solé (INYPSA)

CARTOGRAFÍA DE PROCESOS ACTIVOS SUSCEPTIBLES DE CONSTITUIR RIESGO GEOLÓGICO

- Lic. Juan Escuer Solé (INYPSA)

REDACCIÓN DE LA MEMORIA

- Lic. Juan Escuer Solé (INYPSA)

ELABORACIÓN DE LA METODOLOGÍA Y ASESORÍA DURANTE LA ELABORACIÓN DE LOS TRABAJOS

- Dr. Ángel Martín-Serrano (IGME)

TELEDETECCIÓN

- Ing. Juan Carlos Gumiel (IGME)

DIRECTOR DEL PROYECTO

- Ing. Eusebio Lopera (IGME)

SUPERVISIÓN TÉCNICA POR PARTE DE LA UNIÓN EUROPEA

- Ing. Enrique Burkhalter. Director de la Unidad Técnica de Gestión (TYPGA) 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 Jaume Almera del Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Barcelona, España)

SUPERVISIÓN TÉCNICA POR PARTE DEL Servicio Geológico Nacional
(SGN)

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

AGRADECIMIENTOS

Se quiere agradecer muy expresamente:

Al Ing. Jacques Monthel (BRGM) sus múltiples aportaciones en los apartados de formaciones superficiales y en especial en la identificación y descripción de los procesos activos susceptibles de generar riesgos geológicos.

Al Ing. Alberto Díaz de Neira (IGME) la estrecha colaboración mantenida con los autores del presente trabajo; sus ideas y sugerencias sin duda han contribuido notablemente a mejorar la calidad del mismo.

Al Dr. Andrés Pérez-Estaún su espíritu crítico que ha permitido mejorar y enriquecer la memoria final en mayor grado.

INDICE

1.	INTRODUCCIÓN	5
1.1	Metodología	5
2.	DESCRIPCIÓN FISIOGRÁFICA.....	8
3.	ANÁLISIS GEOMORFOLÓGICO.....	11
3.1	Estudio morfoestructural.....	11
3.1.1	Formas estructurales	12
3.2	Estudio del modelado	13
3.2.1	Formas gravitacionales.....	15
3.2.2	Formas fluviales y de escorrentía superficial.....	15
3.2.3	Formas lacustres y endorreicas.....	16
3.2.4	Formas poligénicas.....	17
3.2.5	Formas marinas-litorales	17
3.2.6	Formas kársticas.....	18
3.2.7	Formas antrópicas	18
4.	FORMACIONES SUPERFICIALES	20
4.1	Formaciones gravitacionales	20
4.1.1	Cantos, arenas y lutitas. Coluviones (d). Holoceno	20
4.1.2	Cantos, bloques y lutitas. Deslizamientos (e). Holoceno	20
4.2	Formaciones fluviales y de escorrentía superficial	21
4.2.1	Lutitas, arenas y gravas. Abanicos aluviales(j). Holoceno.....	21
4.2.2	Arenas y limos. Llanuras de inundación y rellenos de meandro (h). Holoceno	21
4.2.3	Gravas, arenas y limos. Fondos de valle (g). Holoceno	21
4.2.4	Gravas y arenas. Terrazas bajas (i). Holoceno.....	21
4.3	Formaciones marinas-litorales	22
4.3.1	Limos y arenas salobres. Marismas altas (a).	22

4.3.2	Limos y arenas. Marismas bajas (b).....	22
4.3.3	Arenas. Cordones litorales (c). Holoceno	22
4.4	Formaciones poligénicas	22
4.4.1	Limolitas, lutitas y conglomerados. Glacis. (g). Holoceno.....	22
4.4.2	Limolitas, lutitas y conglomerados. Depósitos mixtos aluviales- coluviales. (f). Holoceno.	23
5.	EVOLUCIÓN E HISTORIA GEOMORFOLÓGICA.....	24
6.	PROCESOS ACTIVOS SUSCEPTIBLES DE CONSTITUIR RIESGO GEOLÓGICO.....	27
6.1	Actividad sísmica	28
6.1.1	Tsunamis	30
6.2	Tectónica activa.....	31
6.3	El rol de los ciclones tropicales en los procesos activos.....	32
6.4	Actividad asociada a movimientos de laderas	33
6.5	Actividad asociada a procesos de erosión.....	35
6.6	Actividad asociada a procesos de inundación y sedimentación .	35
6.7	Actividad antrópica	36
6.7.1	Almacenamiento y gestión de residuos urbanos	37
6.7.2	La gestión de aguas residuales	37
6.8	Actividad asociada a litologías especiales	38
6.8.1	Litologías solubles.	38
6.8.2	El amianto natural	38
7.	REFERENCIAS CITADAS	39

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Metodología

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

Este Proyecto comprende varias zonas que junto con las ya abordadas con motivo de los proyectos previos (C, ejecutado en el periodo 1997-2000; K y L, ejecutados en el periodo 2002-2004), completan la mayor parte del territorio dominicano. El Proyecto 1B incluye, entre otros trabajos, la elaboración de 24 Hojas Geomorfológicas y otras tantas de Procesos Activos susceptibles de constituir Riesgo Geológico, a escala 1:100.000, correspondientes a los siguientes cuadrantes :

Zona Norte:

- La Vega (6073)
- San Francisco de Macorís (6173)
- Sánchez (6273)
- Samaná (6373)
- Santiago (6074)
- Salcedo (6174)
- Nagua (6274)
- La Isabela (5975)
- Puerto Plata (6075)
- Sabaneta de Yásica (6175)

Zona Sureste:

- La Granchorra (6470)
- Santo Domingo (6271)
- San Pedro de Macorís (6371)
- La Romana (6471)
- Juanillo (6571)
- Las Lisas (6472)
- Bávaro (6572)

Zona Sur:

- Sabana Buey (6070)
- Baní (6071)

Zona Suroeste:

- Isla Beata (5868)
- Cabo Rojo (5869)
- Enriquillo (5969)
- Pedernales (5870)
- Barahona (5970)

Durante la realización de la Hoja Geomorfológica a escala 1:100.000 de Puerto Plata se ha utilizado la cartografía geológica a escala 1:50.000 elaborada durante el presente proyecto, además de la información disponible de diversa procedencia y las fotografías aéreas a escala 1:60.000 del Proyecto MARENA, tomadas en los años 1958, y las imágenes de satélite Spot P, Landsat TM así como el modelo digital del terreno STRM de 90 m de la NASA. La cartografía previa ha sido complementada con diversos recorridos de campo, siendo uno de los principales objetivos de los mismos la toma de datos que pudieran ser de utilidad para la realización de la Hoja a escala 1:100.000 de Procesos Activos susceptibles de constituir Riesgo Geológico, derivada en buena medida de la cartografía geomorfológica.

Los trabajos se efectuaron de acuerdo con la normativa del Programa Nacional de Cartas Geológicas a escala 1:50.000 y Temáticas a escala 1:100.000 de la República Dominicana, elaborada por el Instituto Tecnológico y Geominero de España

y el Servicio Geológico Nacional (SGN) de la República Dominicana. Esta normativa, inspirada en el Modelo del Mapa Geológico Nacional de España a escala 1:50.000, 2ª serie (MAGNA), fue adaptada durante el desarrollo de los Proyectos K y L a la Guía para la elaboración del Mapa Geomorfológico de España a escala 1:50.000 (IGME, 2004), que incluye la correspondiente al Mapa de Procesos Activos, si bien en el presente trabajo se han adoptado ligeras modificaciones en función de la diferente escala de trabajo y de la cantidad de información existente.

La presente Memoria tiene carácter explicativo de los Mapas Geomorfológico y de Procesos Activos susceptibles de constituir Riesgo Geológico del cuadrante de Puerto Plata (6075). Tras la presente introducción, en la que se abordan la metodología seguida, la ubicación de la Hoja en los contextos regionales geográfico y geológico, y los antecedentes más relevantes, se detallan los siguientes aspectos:

- Descripción fisiográfica, en la que se señalan los rasgos físicos más destacables, como los accidentes geográficos (sierras, ríos, llanuras...), los parámetros climáticos generales y los principales rasgos socioeconómicos.

- Análisis morfológico, en el que se trata el relieve desde un punto de vista puramente estático, entendiéndose como tal la relación y explicación de las distintas formas de aquél, agrupadas en función del agente responsable de su origen (estructural, gravitacional, fluvial...), incidiendo en su geometría, tamaño y génesis.

- Estudio de las formaciones superficiales, es decir, de las formas acompañadas de depósito, haciendo hincapié en su litología, espesor y cronología, agrupadas igualmente en función de su agente responsable.

- Evolución e historia geomorfológica, contemplando el desarrollo del relieve en función del tiempo, tratando de explicar su génesis y evolución.

- Procesos activos susceptibles de constituir riesgo geológico, resultado de la potencial funcionalidad de diversos fenómenos geodinámicos, la mayoría testimoniados por diversas formas de la superficie terrestre.

Por otra parte, la memoria de las Hojas Geológicas a escala 1:50.000 del presente cuadrante (Puerto Plata 6075-II; Imbert 6075-III; Luperón 6075-IV), incluyen la mayor parte de la información contenida en el presente texto, distribuida entre sus capítulos correspondientes a Introducción (la Descripción fisiográfica), Estratigrafía (las Formaciones superficiales) y Geomorfoloía (el Análisis morfológico, la Evolución e historia geomorfológica y los Procesos activos susceptibles de constituir riesgo geológico).

2. DESCRIPCIÓN FISOGRÁFICA

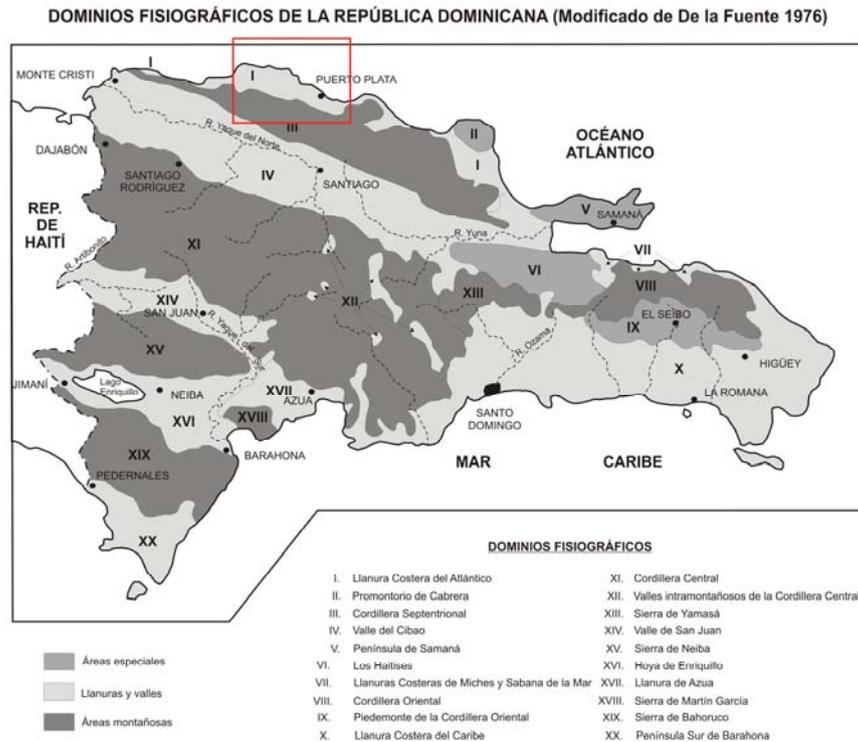


Fig.2.1. Dominios fisiográficos de la República Dominicana y situación de la Hoja a escala 1:100.000 de Puerto Plata. Modificado de De la Fuente (1976)

La Hoja 1:100.000 de Puerto Plata (6075) se sitúa en la zona noroccidental de la República Dominicana y su topografía queda definida por la presencia de la Cordillera Septentrional y sus terrenos asociados, de menor envergadura, que ocupan la Hoja casi en su totalidad, cruzando en dirección paralela a la costa, de NW a SE, y condicionando una orografía accidentada. Sólo la acumulación sedimentaria de algunos ríos como el Bajabonico, Maimón y el Camú ha resultado en reducidas planicies y se han formado las terrazas y llanuras aluviales asociadas. Las cotas de la Hoja oscilan desde los 0 msnm en la costa llegando a los 1083 msnm en la parte SW. El pico Murazo o Jicomé, de 1020 msnm o 1083 msnm según la punta considerada, se alza frente a la población de Esperanza, que no aparece en esta Hoja, y es la primera montaña sobresaliente en aparecer dentro de la Cordillera a medida que nos acercamos al centro de la misma. Aunque la línea de costa constituye uno de los límites fisiográficos de la Hoja, la llanura costera es muy angosta y rápidamente se pasa a relieves abrupto y cotas más elevadas más elevados.

En la parte occidental y siguiendo la dirección de la Cordillera, se encuentra una depresión, que es atravesada por el río Bajabonico describiendo meandros en la parte más baja, debido al bajo desnivel. A medida que nos acercamos a Imbert, el valle se estrecha y toma el nombre de Llanos de Pérez. Si avanzamos más hacia el SE, el desnivel es más fuerte, el carácter meandriforme desaparece y el río se halla encajado entre las elevaciones montañosas. En el extremo más suroccidental, las curvas de nivel se aproximan revelando que nos hallamos en la zona de mayor desnivel de la Hoja, en la Cordillera Septentrional propiamente dicha, cuyo pico más elevado dentro de la misma es el ya mencionado pico Murazo.

Más hacia el margen NE, el desnivel es menor, pero todavía nos encontramos en las estribaciones laterales de la Cordillera. Al S y SE de Sosúa encontramos plataformas muy altas de terrenos cársticos pertenecientes a la Cordillera Septentrional. Cerca de la costa e inmediatamente al S de la ciudad de Puerto Plata, el relieve se vuelve a alzar en el Monte Isabel de Torres alcanzando los 799 msnm. Esta montaña, a pesar de que se encuentra bastante alejada de la Cordillera Septentrional, mantiene conexión con la misma, ya que se trata de un bloque que perteneció a la Cordillera propiamente dicha. Al E de esta loma y en Puerto Plata encontramos una llanura de inundación relativamente extensa, formada por varios ríos y arroyos, de los cuales el Camú es el más importante. Esta planicie es conocida como Llanura de Puerto Plata o Valle del Camú del Norte. En la Hoja, si seguimos la línea de costa, observamos que su morfología está marcada por diversas bahías, entre las que destacan la Bahía de Luperón en el NW y la Bahía de Maimón en el centro, donde el río Maimón también ha desarrollado una pequeña llanura aluvial. En el E también encontramos la Bahía de Sosúa y la Boca de Sosúa.

Al Sur de Sosúa el Choco constituye un dominio de fisonomía peculiar, derivado de la emersión y deformación de una plataforma carbonatada plio-pleistocena. Sus elevaciones máximas, que pueden sobrepasar 350 m, forman parte de los restos de dicha superficie, integrados por la cumbre de una multitud de cerros entre los que se intercala una densa red de dolinas.

La red de drenaje se encuentra muy marcada y desarrollada en la zona occidental de la Hoja. En el cuarto suroccidental de la Hoja existen numerosos arroyos y ríos, que acaban vertiendo sus aguas al río Bajabonico, tanto en su margen derecha como en la izquierda. Más al norte, los arroyos toman dirección opuesta, desembocando en el mar o en ríos de pequeñas cuencas hidrográficas, como los Ríos Guzmán, Lorán y Corozo. En el cuadrante suroriental la red de drenaje es menos

densa siendo el río Camú el de mayor envergadura. Por tanto, dependiendo del tipo de cuenca a la que pertenece, se puede dividir la red de drenaje local según dónde van a desembocar las aguas de la zona: Las aguas del cuadrante suroccidental de la Hoja van a parar al río Bajabonico, el resto desemboca en el mar, bien directamente, bien a través de ríos de menor extensión.

El clima dominante es el tropical marcado por la existencia de dos estaciones bien definidas y condicionadas por los vientos alisios del nordeste y las corrientes marinas, resultando una estación lluviosa o ciclónica (de abril a junio) en la que se suelen dar lluvias torrenciales y una seca el resto del año. Las precipitaciones medias son altas, con más de 2000 mm/año y la temperatura media anual se halla por encima de los 20°C, sin oscilaciones significativas entre el mes más frío y el más cálido.

3. ANÁLISIS GEOMORFOLÓGICO

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

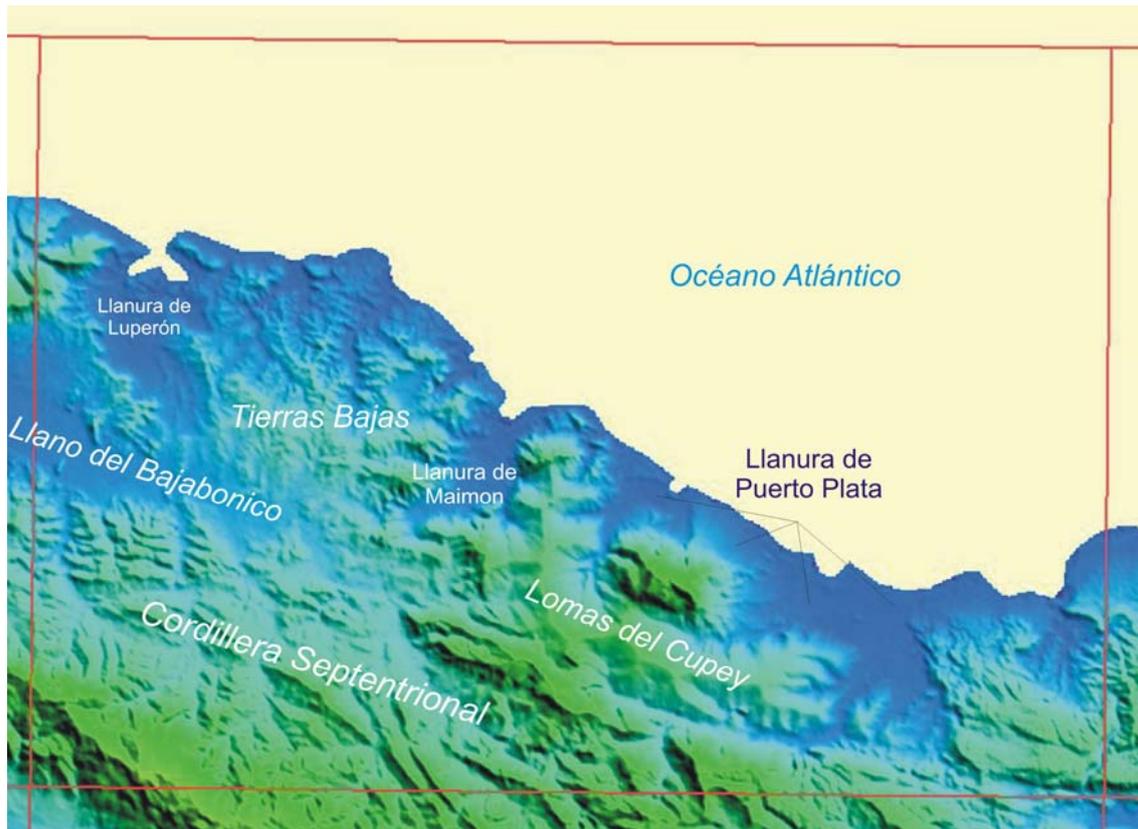


Fig.3.1. Modelo Digital del Terreno mostrando las principales unidades geomorfológicas de la Hoja a escala 1:100.000 de Puerto Plata. (Fuente MDT: SRTM)

3.1 Estudio morfoestructural

La isla Hispaniola está cortada, de noroeste a sureste, por 8 grandes fallas regionales que dividen la isla en cuatro importantes fragmentos de placas, de los cuales, el bloque Septentrional se encuentra integrado por el valle del Cibao, la Bahía de Samaná, la Cordillera Septentrional, la Península de Samaná, la costa Atlántica y el talud insular norte. (Cámara Petrolera de la Rep. Dominicana, 2005)

El relieve de la Hoja está condicionado por la presencia de la Cordillera Septentrional y también por los procesos de acumulación de sedimentos en las llanuras aluviales de los ríos Bajabonico, Guzmán y Camú. Se considera que en la Hoja aparecen las siguientes unidades morfoestructurales de rango mayor: la Cordillera Septentrional y el Llano del Bajabonico, o Llanos de Pérez en su parte más estrecha. La Hoja de Puerto Plata queda ubicada en el Bloque Septentrional. Estas unidades se describen a continuación por su relación con las unidades tectónicas y posición geográfica en la Hoja.

También puede diferenciarse la *Llanura costera del Atlántico*, representada por las *Tierras bajas del Luperón y del Bajabonico* y las llanuras de Puerto Plata, Luperon y Maimon, valles formados por los ríos Camú del Norte, y otros arroyos, desde la costa, donde se encuentra Puerto Plata hasta Sosúa, donde Las cuevas de Sosua lo separan del valle costero de Yásica.

La Cordillera Septentrional presenta la zona de relieve más abrupto y muestra, de forma fehaciente, la existencia de fallas lineales que compartimentan esta unidad de su vecina el Valle del Cibao, más hacia el sur, que carece de representación en esta Hoja.

El Choco constituye un dominio de fisonomía peculiar situado al este de la Hoja, derivado de la emersión y deformación de una plataforma carbonatada plio-pleistocena. Su resultado es una superficie estructural, suavemente basculada hacia el norte y notablemente degradada por una intensísima acción kárstica.

3.1.1 Formas estructurales

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

Las formas estructurales en la Hoja de Puerto Plata adquieren notable importancia morfogenética. Se trata de los escarpes y crestas relacionados con las zonas montañosas de la Cordillera Septentrional, algunos de las cuales parecen estar condicionados por fallas, sin que se tenga la total certeza de su existencia. Las crestas quedan claramente marcadas en la Loma Paradero. Por otra parte, ejemplos de escarpes los encontramos en la Loma Isabel de Torres, que constituye un bloque de la Cordillera Septentrional (De la Fuente, 1976), aislado por el efecto de la Falla del

Camú. El hecho de encontrarse rodeado por los materiales lábiles y menos competentes de la Fm. San Carlos destaca todavía más su carácter de relieve estructural puro.

En algunas áreas también se localizan resaltes de líneas de capa monoclinales o resaltes de capas verticalizadas, que pueden dar lugar a crestas, morfologías relacionadas con la distinta resistencia a la erosión ofrecida por los materiales aflorantes.

Al S y SE de la Loma El Brinco, en el W de la Loma los Mates y en el SW de la Hoja, encontramos relieves residuales esculpidos por la erosión, que constituyen cerros cónicos.

Loma Sucia, en el NW, La Pared en el E y las elevaciones calcáreas del E de la Hoja constituyen superficies estructurales, que han sido erosionadas sobre todo por la red de drenaje, marcando surcos y se han identificado en la Hoja como superficies estructurales degradadas. En el extremo más SE se ha producido erosión química en forma de dolinas.

Por último subrayar que pese a la existencia de fracturas recientes muchas de ellas aparecen cubiertas cubiertas por la deposición cuaternaria.

3.2 Estudio del modelado

La acción de los agentes externos sobre dominios tan contrastados como la Cordillera Septentrional, la llanura aluvial del río Camú (Llanura de Puerto Plata), la cuenca del Bajabonico y la orla litoral de las tierras bajas del Luperón, tiene como resultado una expresión geomorfológica sensiblemente diferente. Así, el modelado de la sierra es el producto de una larga evolución presidida por los procesos geodinámicos internos (ígneos y tectónicos) acaecidos a lo largo del periodo Cretácico-Terciario, generadores de relieves positivos, sobre los que han actuado, con mayor o menor efectividad, diversos agentes morfogenéticos encaminados a la destrucción o modelado de dichos relieves, destacando los de carácter fluvial y gravitacional.

La Falla del Camú, cubierta por acumulaciones sedimentarias cuaternarias, ha sido el factor desencadenante de la fisonomía de los ríos Camú y Bajabonico, que en un principio tomaban direcciones NS y tras la misma cambiaron su ruta en dirección NW-SE, siendo opuestas las trayectorias entre ellos.

En el caso de la cuenca del Bajabonico, puede considerarse que la creación de su fisonomía actual se debe a los procesos de erosión fluvial, sedimentación y acumulación de los materiales procedentes de las Cordillera Septentrional, iniciados en el Cenozoico, el cambio de nivel del río queda reflejado con la formación de terrazas, separadas del fondo de valle por un escarpe. En la llanura del Camú (o llanura de Puerto Plata), es el Camú el que ha transportado materiales desde la Cordillera Septentrional y los ha depositados en su llanura aluvial. El retrabajamiento en la costa por parte del océano es el responsable en última instancia del modelado de la zona litoral.

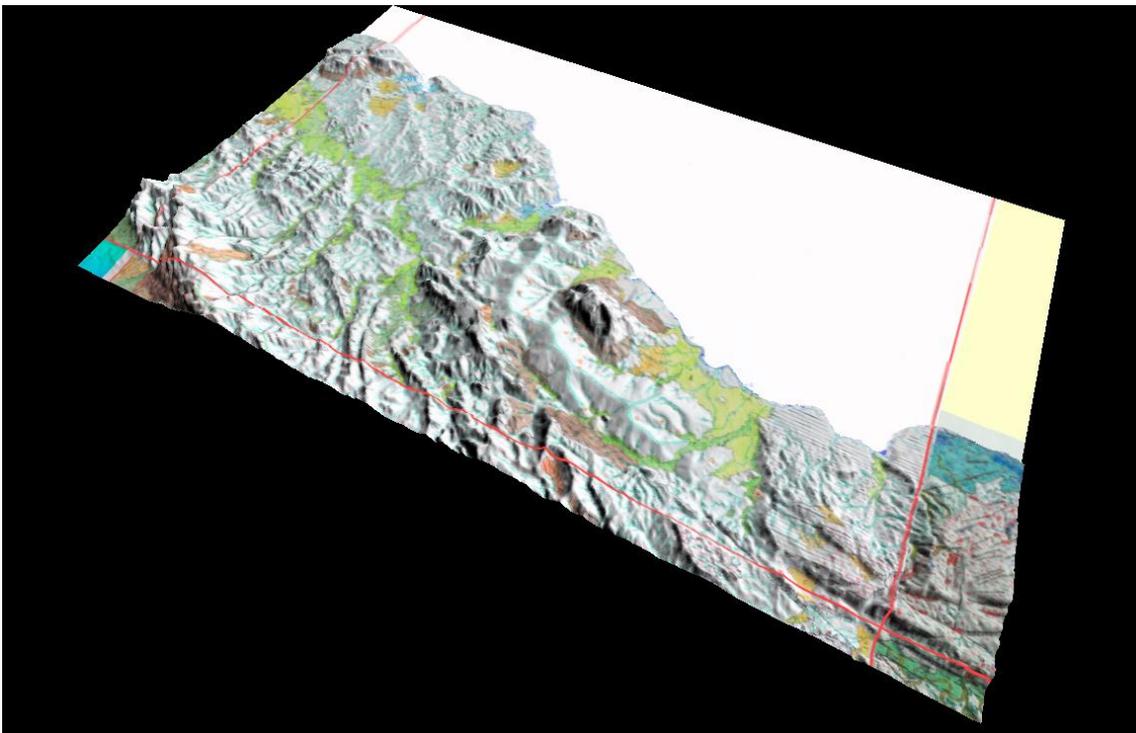


Fig.3.2. Bloque diagrama mostrando los rasgos principales del modelado geomorfológico de la Hoja a escala 1:100.000 de Puerto Plata. (Mapa Geomorfológico de Puerto Plata sobre MDT SRTM 90m. Para la Leyenda consultar la propia Leyenda del Mapa Geomorfológico.)

Por último cabe resaltar por singular el modelado del conjunto de lomas que envuelven por el sur el conjunto estructural de la Loma Isabel de Torres y que se han denominado Lomas del Cupey. El conjunto de lomas redondeadas caracterizadas por divisorias de aguas o cuerdas extremadamente redondeadas deben su singular modelado a las características litológicas de la Fm. San Marcos formada por materiales lábiles menos resistentes si bien son frecuentes los pitones rocosos

compuestos de rocas más duras y puestos en evidencia en el relieve gracias a los procesos de la erosión diferencial.

3.2.1 Formas gravitacionales

Pese a los desniveles existentes en el ámbito de la Cordillera Septentrional, no se trata de formas excesivamente extendidas ni de grandes dimensiones, en buena parte como consecuencia de la propia dinámica de retroceso de las vertientes, que provoca su permanente evolución. Las más frecuentes son los coluviones, formados como respuesta al desequilibrio provocado en las laderas por la erosión fluvial, incisión lineal y procesos de zapamiento susceptibles de generar desniveles topográficos; se distribuyen con mayor preferencia en los escarpes de las lomas y cerros, como el caso de Cerro Pelaso, Loma la Tasajera y la Loma Isabel de Torres.

También, el desequilibrio en las pendientes y el agua de las precipitaciones, así como la ocurrencia de eventos sísmicos, ha provocado la formación de deslizamientos, movimientos en masa que involucran tanto a las formaciones superficiales como a las rocas del sustrato. Los de mayor escala se concentran en el SW de la Hoja, cerca de la Loma Paradero y en las Lomas del Cupey.

Para un mayor detalle consultar los apartados *4.1 Formaciones gravitacionales* y *6.4 Actividad asociada a movimientos de laderas*.

3.2.2 Formas fluviales y de escorrentía superficial

Son las formas con mejor representación cartográfica de toda la zona. Su cartografía permite, asimismo y de forma complementaria, una detallada caracterización de la red de drenaje. Constituyen la práctica totalidad de la vertiente norte de la Cordillera Septentrional, la mayoría perteneciente a la cuenca del Bajabonico, donde destaca la extensión de los cinturones de meandros, abanicos y conos de deyección que se disponen al pie de los relieves, sobre todo en la zona de cabecera del Bajabonico. La mayor variedad de depósitos fluviales se encuentra en el valle de este río, en cuya cuenca se han diferenciado: el cauce, fondo de valle, terrazas y meandros abandonados.

Siguiendo el límite norte de La Española, la red de drenaje también es densa, aunque con menor carácter de encajamiento respecto al SE de la Hoja. Varios ríos

aportan agua directamente al mar, formando pequeños valles, como es el caso del río Lorán, el Maimón o el Sosúa, en la costa Atlántica.

Los fondos de valle aparecen bien representados en la Cordillera Septentrional y en el enlace de esta con el valle del Bajabonico. Estas formas suelen quedar delimitadas por rupturas de pendiente cóncavas, más o menos pronunciadas. Pueden presentar drenaje en su parte media o no. Cuando el drenaje incide en el fondo de valle se ha cartografiado como incisión lineal. Es frecuente que los fondos de valle hayan sido habilitados para el cultivo por lo que muestran cierta antropización que se traduce en márgenes que protegen los campos. Esta forma implica por si misma un cierto depósito. A pesar de su aparente falta de funcionalidad forman parte de la red de drenaje, concentrando, en caso de fuertes precipitaciones, la arrollada. Son el principal testimonio de la actividad sedimentaria de los principales elementos de la red fluvial actual.

Los cursos principales han desarrollado sistemas de terrazas fluviales, en general limitadas por marcados escarpes, que en la práctica totalidad de los casos se han considerado informalmente bajas, al disponerse a cotas inferiores a +15 m sobre el cauce actual; por su representación a lo largo de su valle, destaca el cortejo asociado al río Bajabonico. Los niveles de terrazas del Bajabonico deben considerarse terrazas de acumulación ya que presentan depósito asociados.

Entre las formas erosivas se han reconocido: múltiples cursos dominados por la incisión lineal, ampliamente representados en la Cordillera Septentrional y aristas divisorias de aguas, que bordean la Loma Isabel de Torres.

También tienen representación pequeños conos de deyección o abanicos aluviales dispuestos al pie de los relieves de la vertiente norte de la Cordillera Septentrional. Su depósito se produce en la confluencia de los elementos de la red fluvial con áreas menos encajadas, en las cuales la carga transportada por aquéllos pierde su confinamiento, expandiéndose. Las dimensiones de estos conos son reducidas, entorno al kilómetro cuadrado.

3.2.3 Formas lacustres y endorreicas

Se hallan representadas únicamente por lagunas relacionadas genéticamente con la interrelación entre la dinámica fluvial y la dinámica costera. Son áreas deprimidas entre zonas de aporte de sedimentos en la zona de mareas altas. En la Hoja de Puerto Plata la mayoría de ellas han sido modificadas por el hombre

incorporándolas como piscinas en los complejos turísticos existentes. En la actualidad, solo se identifica la pequeña laguna de la playa Bergantín en las proximidades de la desembocadura del río Jacuba, no representable a la escala de trabajo.

3.2.4 Formas poligénicas

Se incluyen en este grupo las formas cuya morfogénesis puede atribuirse a la acción simultánea o sucesiva de más de un proceso morfogenético. En este grupo se incluyen los depósitos de carácter aluvial-coluvial que aparecen en la Hoja.

El aluvionamiento se forma por la deposición de los materiales de erosión que el río transporta y que se sedimentan al disminuir la capacidad de transporte, son sedimentos detríticos transportados por las aguas corrientes. Por otra parte, los coluviones están formados por materiales pétreos finos, arrancados de una vertiente, procedentes de la desagregación de las rocas, transportado a poca distancia. Estos materiales son más angulosos que en el caso del aluvión.

Los depósitos poligénicos aluviales-coluviales son producto conjunto de procesos fluviales y gravitacionales, como es el caso de la zona comprendida entre la vertiente este de la Loma Isabel de Torres y la llanura aluvial del Camú.

En varios puntos de la Hoja se han representado pitones rocosos, rocas aisladas o montañas de cima aguda que aparecen al erosionarse los materiales menos competentes que las rodean; aparecen con frecuencia en los terrenos cuyo substrato está formado por materiales de la Fm. San Carlos .

3.2.5 Formas marinas-litorales

Se circunscriben a la llanura Aluvial del Atlántico, representada por las tierras bajas del Bajabonico y del Luperón y la Llanura de Puerto Plata. Son formas están relacionadas con la franja costera y también se encuentran bajo la influencia fluvial en la parte baja de los ríos.

La llanura de Puerto Plata se extiende desde la Boca de Maimón hasta después de Sosua, limitando al sur con un escarpe de falla de gran altura. Tiene depósitos lacustres, arcillas y terrenos coluviales que a esta escala no se han representado.

La influencia de las mareas ha permitido el desarrollo de una marisma baja, localizada bajo la influencia de las mareas diarias y colonizada por un manglar, y de una marisma alta, situada en la zona de influencia de las mareas excepcionales; debido a la baja

pendiente del terreno, se extienden varios kilómetros hacia el interior localizándose los mayores desarrollos en la Bahía de Luperón. El detalle geomorfológico de la zona incluye canales y lagunas mareales.

3.2.6 Formas kársticas.

Poseen una gran representación en el macizo de El Choco, donde se desarrollan sobre las calizas de la Fm Los Haitises, que configuran una superficie con intensa karstificación. Dicha superficie, integra una multitud de cerros (*hums o haitises*) entre los que se intercala una densa red de dolinas, configurando un espectacular relieve en caja de huevos (*cockpits*). Debido a la naturaleza kárstica de estos relieves, los drenajes superficiales están restringidos a los bordes del macizo, donde aflora el sustrato margoso. Su forma más espectacular es el campo de dolinas que confiere su fisonomía característica a la región. Además de las dolinas individualizadas, la confluencia de varias ha generado uvalas y poljés, en este caso probablemente también con influencia tectónica.

En algunas zonas, la disolución vertical se ha detenido, probablemente al alcanzar el sustrato impermeable integrado por las margas de la Fm Villa Trina, con lo que la disolución ha dado lugar a un retroceso lateral del macizo calcáreo, desarrollándose áreas con dolinas y hums en proporciones similares.

La karstificación no se ha desarrollado únicamente en el ámbito del macizo, sino que también ha afectado a la Fm La Isabela, sobre la que se ha desarrollado un campo de lapices desnudo. El espectro de formas kársticas se completa por la presencia de cuevas de dimensiones muy variables.

3.2.7 Formas antrópicas

Como agente geomorfológico, el hombre actúa en diferentes sentidos: modificando el paisaje debido a los usos del suelo para actividades agropecuarias, labores extractivas (canteras a cielo abierto, minería, trincheras, desmontes), construcción de redes de transporte y asentamientos urbanos o de tipo industrial; localmente, la remoción de materiales y la modificación de la topografía original son intensas, bien allanando, rellenando o ahuecando el terreno. Obviamente, no se han representado las modificaciones antrópicas plasmadas en la base topográfica (núcleos urbanos, viales, ferrocarriles y otros elementos planimétricos).

En este sentido cabe destacar la influencia del núcleo de Puerto Plata, la ciudad más grande e importante de la costa norte de La República Dominicana. Puerto Plata tiene un Malecón o paseo marítimo de más de 6 kilómetros de longitud. En los alrededores de esta urbe pueden identificarse diversos vertederos, no representables a la escala de trabajo, tales como el de Loma de la Bestia o el situado en Cañada Bonita al oeste de la capital.

4. FORMACIONES SUPERFICIALES

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

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

4.1 Formaciones gravitacionales

4.1.1 Cantos, arenas y lutitas. Coluviones (d). Holoceno

En general, se trata de depósitos muy heterométricos, con acumulación caótica de bloques y gravas con abundante matriz limosa. La forma de los cantos es angulosa, excepto cuando ya están rodados en el área fuente. La litología de estos depósitos es muy variada en función del tipo de sustrato de cada zona. Su potencia y características internas también son variables, no pudiendo precisarse aquella por ausencia de cortes de detalle, aunque se deducen potencias de orden métrico. En cuanto a su edad, se asignan al Holoceno. Aparecen en las vertientes del Morro así como en las de determinados cerros de la zona norte de la Hoja, en Loma El Convento, Loma El Guazábaro, Loma Isabel de Torres y Loma de los Magueyes.

4.1.2 Cantos, bloques y lutitas. Deslizamientos (e). Holoceno

Depósitos heterométricos que constituyen un conjunto de aspecto desordenado de arcillas que engloban cantos y bloques. La forma de los cantos es variable, dependiendo de la formación de la que procedan. Debido a la propia naturaleza del depósito, su espesor puede variar considerablemente según las zonas. Su génesis obedece a la existencia movimientos en masa favorecidos por elevadas pendientes, presencia de agua y la actividad sísmica.

En numerosas zonas de la Hoja, destacan especialmente las zonas de importantes deslizamientos, derrumbes de rocas y desprendimientos. Para un mayor detalle consultar el apartado *6.4 Actividad asociada a movimientos de laderas*.

Hay que recordar que las formaciones de ladera se desarrollan sobre un sustrato margoso donde los deslizamientos de superficies son frecuentes si el equilibrio es perturbado por las fuertes lluvias, una crecida repentina o trabajos de nivelación mal preparados.

4.2 Formaciones fluviales y de escorrentía superficial

4.2.1 Lutitas, arenas y gravas. Abanicos aluviales(j). Holoceno

Aunque su espesor no es visible en punto alguno, su valor máximo, de unos 20 m, debe registrarse en la zona apical, disminuyendo progresivamente hacia las zonas distales. Se encuentran constituidos por materiales arrastrados en un curso torrencial, riera o barranco intermitente, con una distribución granulométrica decreciente desde el ápice hasta la base.

4.2.2 Arenas y limos. Llanuras de inundación y rellenos de meandro (h). Holoceno

El aspecto más frecuente de las llanuras de inundación es el de una banda de anchura hecto a kilométrica constituida por limos entre los que se intercalan niveles de arenas. En el caso de la del río Bajabonico; en su seno se reconocen estrechas bandas alargadas serpenteantes, temporalmente inundadas, correspondientes a cauces y meandros abandonados, que muestran un cierto contenido lutítico. Su espesor es difícil de determinar ante la ausencia de cortes, pero se estima que es de orden métrico a decamétrico. Se incluyen en el Holoceno.

4.2.3 Gravas, arenas y limos. Fondos de valle (g). Holoceno

Los fondos de valle están constituidos fundamentalmente por limos, gravas y arenas. Aunque no existen cortes que permitan determinar su espesor, sin duda éste puede variar notablemente en función del curso en cuestión; en los de mayor envergadura podría superar los 5 m. Constituyen una de las principales manifestaciones de la dinámica actual, por lo que se asignan al Holoceno.

4.2.4 Gravas y arenas. Terrazas bajas (i). Holoceno

Las gravas de las terrazas de la Hoja, entre las que destacan las del río Bajabonico, contienen cantos redondeados heterométricos, con diámetros que pueden superar los 50 cm. Sus espesores, aunque muy variables, pueden aproximarse a 10 m.

4.3 Formaciones marinas-litorales

4.3.1 Limos y arenas salobres. Marismas altas (a).

Son depósitos, de carácter eminentemente detrítico fino. En el caso de las marismas altas y de las llanuras de mareas abandonadas, son visibles grandes superficies de eflorescencias salinas. No se ha observado corte alguno que permita una detallada descripción de las unidades, ni tampoco el establecimiento de su espesor, posiblemente de orden métrico a decamétrico. En cuanto a su edad, corresponden al Holoceno.

4.3.2 Limos y arenas. Marismas bajas (b).

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

4.3.3 Arenas. Cordones litorales (c). Holoceno

Constituyen el cordón litoral la llanura de Puerto Plata, de composición eminentemente arenosa. Se trata de arenas finas a medias. Frente a zonas donde se disponen como una acumulación sin forma definida, se reconocen localmente pequeñas dunas con elementos que alcanzan 2 m de altura donde se reconocen los surcos de crecimiento, aunque la escala de trabajo sólo ha permitido su representación lineal. Su desarrollo ha tenido lugar dentro del Holoceno.

4.4 Formaciones poligénicas

4.4.1 Limolitas, lutitas y conglomerados. Glacis. (g). Holoceno

Estas formaciones superficiales cubren extensas áreas con suave pendiente. Su clasificación resulta compleja en función de la gran variabilidad de tamaños y combinación de procesos sedimentarios. En general, en las zonas más proximales dominan los materiales gruesos y angulosos de evolución coluvial o gravitacional pudiendo haberse formado por coalescencia de conos de deyección cercanos entre sí,

pasando, en las zonas medias y distales, a materiales más finos y rodados de ambiente aluvial o incluso fluvial. La composición litológica es variada.

4.4.2 Limolitas, lutitas y conglomerados. Depósitos mixtos aluviales- coluviales. (f). Holoceno.

Los depósitos mixtos de origen aluvial-coluvial recubren vertientes poco regularizadas. Pueden situarse en el fondo de valles amplios y suaves recubriendo ambas vertientes o en vertientes onduladas formando depósitos discontinuos. En ocasiones, puede considerarse estos depósitos como la suma de pequeños glacis adyacentes no representados como tales por cuestiones de escala.

Presentan facies de gravas de origen local, con granulometrías centimétricas, morfologías subangulosas que denotan poco transporte, alternando con facies más finas. Los rellenos son multiepisódicos y con arquitecturas internas caóticas con bases erosivas y heterometrías muy marcadas.

5. EVOLUCIÓN E HISTORIA GEOMORFOLÓGICA

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



Fig. 5.1. Esquema paleogeográfico de las plataformas marinas en La Española en el Plioceno. Este esquema recoge el desplazamiento mínimo de las plataformas de la Cordillera Septentrional y de la Península de Samaná a lo largo del sistema de fallas de la Falla Septentrional. Braga (2010).

La superposición de ambas etapas estableció el diseño regional básico sobre el que ha actuado el modelado holoceno, diseño basado en la presencia del Valle del Cibao entre el piedemonte de la Cordillera Central y la Cordillera Septentrional. La Hoja de Puerto Plata se ubica en esta última unidad.

Entre el Plioceno superior y el Pleistoceno se produce una etapa de fuerte elevación de la Cordillera Septentrional, responsable de forma mayoritaria de la creación del relieve actual. La zona montañosa ya habría adquirido una configuración parecida a la actual, mediante la acción del encajamiento de la red fluvial, con el posible desarrollo de pequeñas superficies de erosión y la actividad tectónica, manifestada especialmente por el levantamiento diferencial y el desplazamiento horizontal de bloques. Dicho levantamiento restringió las facies marinas a una orla litoral subparalela a la línea de costa actual, donde se reconocen facies litorales y arrecifales agrupadas en la Fm La Isabela.

A finales del Pleistoceno, el territorio emergido habría incorporado las plataformas correspondientes a la Fm La Isabela, de forma que la línea de costa coincidiría con el límite interno de la actual franja litoral. Con la emersión de las plataformas carbonatadas y formaciones arrecifales, la meteorización química ha tenido un notable desarrollo.

La evolución holocena ha estado condicionada de igual manera por mecanismos endógenos, principalmente la tectónica activa, que ha producido una tendencia regional ascendente, y por mecanismos exógenos como los procesos fluviales, que no sólo han llevado a cabo una importante labor de incisión en las áreas montañosas, sino que con sus aportes sedimentarios han provocado la colmatación de la pequeña depresión situada al sur de Luperon o la llanura costera al este de Puerto Plata. Asimismo numerosos arroyos y caños se han encajado en los materiales de la Cordillera Septentrional propiciando un relieve característico, con el desarrollo de abanicos aluviales y conos de deyección en las partes bajas, en las zonas de desembocadura al río Bajabonico.

El río Bajabonico, constituye el principal eje de drenaje de los sedimentos generados en la Cordillera Septentrional en este sector. El trabajo morfogenético ha sido posible gracias al transporte y retrabajamiento de los materiales por los que sigue su curso, acompañado de una posterior deposición de éstos en forma de terrazas fluviales.

En la zona oriental de la Hoja, también procedentes del retrabajamiento de los materiales de la Cordillera Septentrional, se depositan materiales transportados por el

Camú del Norte y varios arroyos, que han formado la Llanura de Puerto Plata o Valle del Camú del Norte.

Al mismo tiempo, en la llanura costera, el Atlántico ha propiciado el desarrollo de una faja costera intermitente y angosta, con un discreto desarrollo de playas litorales y dominada por acantilados.

La actividad de la Falla de Camú ha sido manifiesta y muestra, aunque desdibujadas por la agresiva actividad exógena, características geomórficas típicas de fallas con actividad reciente pudiendo considerarse totalmente activa en la actualidad.

La futura evolución seguirá estando marcada tanto por procesos endógenos como exógenos. Entre los primeros cabe señalar en especial la actividad de las fallas activas. La sismicidad provocada por estas será uno de los factores que acelere la dinámica gravitacional de las vertientes. La actividad neotectónica también será la responsable de la tendencia ascendente de la región que condicionará a largo plazo el incremento del poder erosivo de los elementos de la red fluvial. Las consecuencias de dicha actividad se traducirán en el retroceso de la línea de costa, el descenso del nivel de base con la consiguiente erosión remontante y las posibles capturas derivadas de ella.

Los procesos exógenos también marcarán la tendencia futura del relieve, en especial si la región sigue estando expuesta a la trayectoria de los huracanes generados en el Atlántico. Estos episodios meteorológicos extremos se convierten en fenómenos cotidianos y prácticamente continuos si consideramos una escala de tiempo geomorfológico (decenas de miles de años). Su poder morfogenético es por tanto muy elevado y condiciona grandemente los fenómenos erosivos, las dinámicas aluviales y fluviales, así como la estabilidad de las vertientes y laderas.

6. PROCESOS ACTIVOS SUSCEPTIBLES DE CONSTITUIR RIESGO GEOLÓGICO

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

Los datos reflejados en la cartografía son el resultado de un reconocimiento general, realizado mediante la interpretación de fotografías aéreas y la realización de recorridos de campo, por lo que se trata de una estimación preliminar y orientativa de los principales procesos geodinámicos activos del territorio. Consiguientemente, la información aportada, tanto en el mapa como en la memoria, no exime de la necesidad legal de realizar los estudios pertinentes en cada futuro proyecto ni debe ser utilizada directamente para la valoración económica de terrenos o propiedades de cualquier clase.

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

Dentro de la Hoja de Puerto Plata existe una gran variedad en cuanto a la naturaleza de los procesos activos, habiéndose detectado actividad sísmica, tectónica activa, por procesos de erosión, inundación y sedimentación, y antrópica. Como puede verse existen dos grandes tipos de procesos que condicionan el nivel de actividad de los procesos susceptibles de producir riesgo geológico. Por un lado los procesos geodinámicos internos responsables en última instancia de la actividad sísmica y los movimientos neotectónicos y por otro los procesos geodinámicos externos:

movimientos de laderas, inundaciones, erosión, controlados en última instancia por los meteoros y en especial por los ciclones: tormentas tropicales y huracanes.

6.1 Actividad sísmica

La Española se sitúa en un contexto geodinámico de límite entre las placas litosféricas Norteamericana y Caribe, cuyo desplazamiento relativo este-oeste origina, en última instancia, la actividad sísmica; siendo este uno de los procesos activos más relevantes que afectan el país. Actualmente existe un consenso en reconocer las principales estructuras tectónicas de la isla y que éstas están relacionadas con el desplazamiento relativo entre las placas litosféricas citadas.

Si bien los rasgos generales son conocidos, el estudio de detalle de la actividad sísmica en la República Dominicana tropieza con una cierta escasez de datos. Los registros históricos e instrumentales son pocos y no pueden considerarse definitivos.

El registro histórico se inicia con la llegada de los españoles en el siglo XV, lo que limita su ámbito a los últimos 500 años, a diferencia de otras zonas del planeta donde el registro histórico abarca un milenio (Europa, Oriente Medio) o excepcionalmente varios milenios como es el caso de China.

El registro instrumental también tiene graves inconvenientes. La Red Sísmica de la República Dominicana es extremadamente reciente (1998) y su registro por tanto muy parco. Los registros existentes más antiguos provienen, en su mayor parte, de agencias situadas fuera del territorio dominicano, por lo que solo se han registrado los eventos con magnitudes lo suficiente grandes para ser registradas por redes alejadas, o en el caso de magnitudes pequeñas, los que quedan bien cubiertos por las redes sísmicas de otros países cercanos como es el caso de la red puertorriqueña que cubre la zona oriental de la República Dominicana.

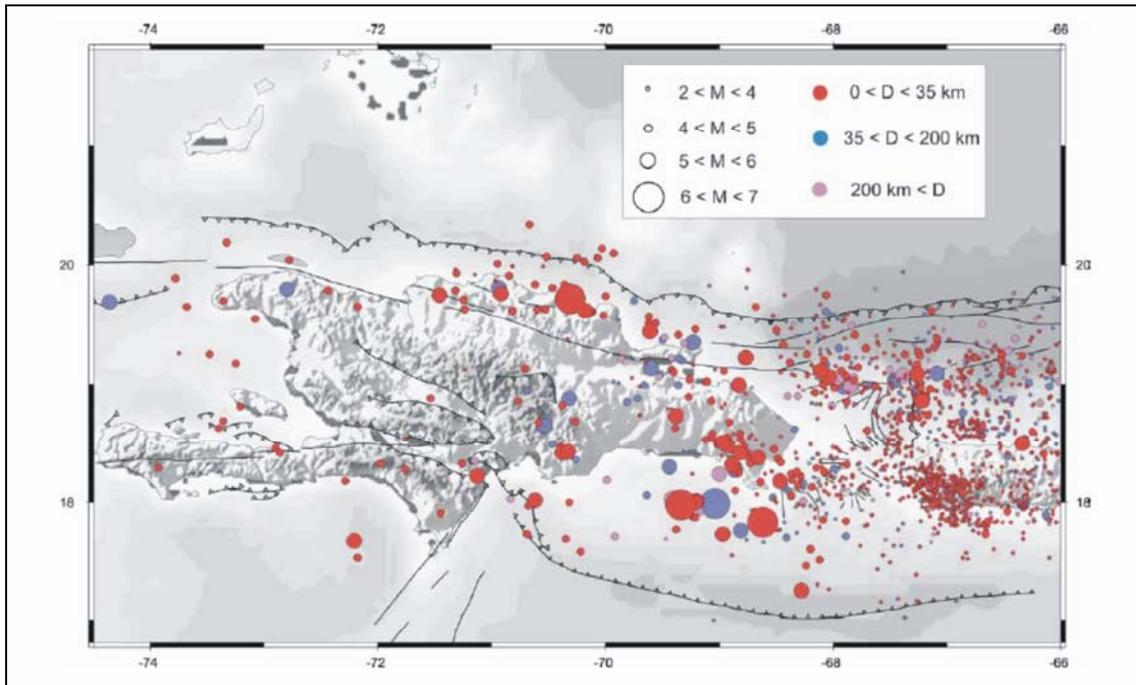


Fig. 6.1. Sismicidad instrumental de La Española (1972-2002). Catálogo NEIC-USGS (En Calais, 2008)

Para la elaboración del presente trabajo se ha accedido a las siguientes fuentes y bases de datos: RSND Red Sísmica Nacional Dominicana, IPGH (Instituto Panamericano de Geografía e Historia), PRSN (Red Sísmica de Puerto Rico), MIDAS (Middle American Seismograph Consortium). El periodo cubierto ha sido 1505-2003. En la Hoja 1:100.000 Puerto Plata se han localizado 10 epicentros. Cabe señalar que debido a la calidad del registro las localizaciones epicentrales deben tomarse como meras aproximaciones ya que el error de posición es de orden kilométrico.

La estructura tectónica más importante desde el punto de vista sísmico es el límite de placas, que corre al norte de Puerto Plata, donde, si observamos la Hoja, se concentran la mayor parte de epicentros. (Cámara Minera Petrolera de la Rep. Dominicana, 2005). La mitad de los epicentros señalados se sitúan en la corteza marina, hecho que no es de sorprender, ya que el 80% de ellos se producen en el suelo marino, muchos de ellos en los bordes de placas y se trata de una de estas zonas, en la que la placa Norteamericana subduce bajo la placa del Caribe.

Si se considera el registro histórico, en el terremoto del 4 de agosto 1946, la Hoja queda bajo el área de influencia de las isosistas de intensidades VI a VIII, según la Escala de Mercalli Modificada (IMM), siendo de mayor intensidad en dirección W-E. Es de gran interés señalar el terremoto que tuvo lugar el 22 de diciembre de 2003 en Tubagua, cerca de Puerto Plata. Su epicentro se localizó en la falla del Camú y alcanzó una magnitud de 6.5, creando cuantiosos daños en edificios en Puerto Plata y Santiago entre otros, y tuvo 4 réplicas de magnitudes 4.5, 5.1, 4.4 y 4.8. Este terremoto fue el primero tras la instalación de la red geosísmica del INDRHI.

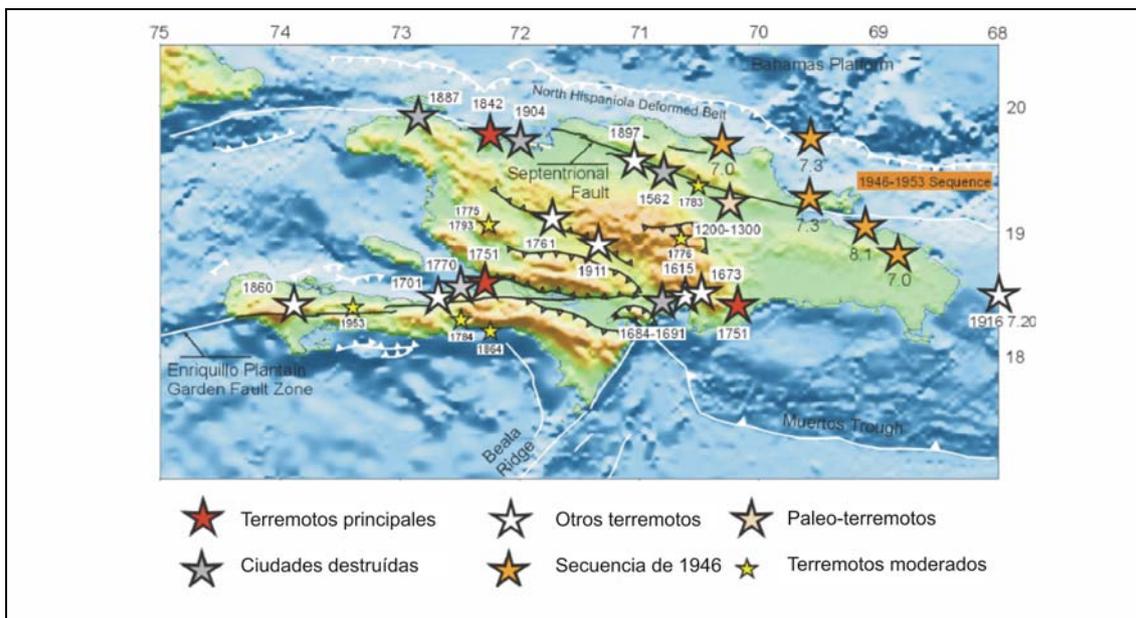


Fig. 6.2. Sismicidad histórica en La Española anterior a 1960 (En Calais, 2008)

6.1.1 Tsunamis

Los tsunamis son olas sísmicas marinas, de grandes dimensiones, causadas por un movimiento súbito a gran escala del fondo marino, debido mayoritariamente a terremotos.

Los tsunamis difieren de otros peligros sísmicos en el hecho de que pueden causar daños serios a miles de kilómetros de las fallas causativas. Una vez que son generados son prácticamente imperceptibles en el mar abierto, donde la altura de su superficie es menos de un metro. Viajan a velocidades muy grandes, hasta 900km/hr, y la distancia entre cresta de ola y otra puede ser hasta de 500km. A medida que las olas se acercan a aguas de poca profundidad, la velocidad del tsunami disminuye y la energía se transforma en altura de ola que a veces alcanza alturas de hasta 25m; pero el intervalo de tiempo entre olas sucesivas permanece sin cambio y es generalmente

de entre 20 y 40 minutos. Cuando los tsunamis se aproximan a la línea de costa, el mar suele retraerse a niveles mucho más bajos que la marea baja y luego crece como una ola gigante.

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

La costa perteneciente a la Hoja de Puerto Plata, como la practica totalidad de la costa atlántica de la República, se halla expuesta a los tsunamis tal como atestigua el registro histórico existente Mora (2003). Las costas Haitianas y Dominicanas han sido afectadas por Tsunamis en diversas ocasiones: 1842 (Cap Haïtien-Monte Cristi), 1887 (Cap Haitien), 1904 ($M_s \geq 6.5$, $I_{mm} = IX$ Port-de-Paix), 1947-48-49 ($M_s = 8.1$, $I_{mm} = X-XI$ El Cibao).

6.2 Tectónica activa

En una región donde la tectónica activa es evidente, sorprende que las formas originadas por ella sean menos conspicuas de lo previsible, por lo que se refiere a los principales sistemas de fallas en relación con la Hoja de Puerto Plata; probablemente esto es debido a la elevada velocidad de erosión y la densa cubierta vegetal de las sierras, factores que sin duda enmascaran rápidamente algunas de dichas formas, como los escarpes producidos por las fallas. Sin embargo, el rastro de la Falla de Camú tiene características geomorfológicas típicas de las fallas activas transcurrentes, es decir: drenajes alineados, conflictos de vegetación, escarpes, etc.

Se entiende por falla activa aquella que afecta a materiales holocenos o incluso cuaternarios según diversos criterios Gonzalez De Vallejo (1980). Los criterios más conservadores consideran activas aquellas fallas con actividad manifiesta en los últimos 2 millones de años. De forma similar al concepto de falla activa se utiliza el de falla capaz en el sentido de su capacidad de ser activa. Se entiende por falla capaz aquella que presenta deformación de edad cuaternaria o sismicidad asociada e incluso relación estructural con otra falla activa. En este sentido debe ser considerada la Falla del Camú con episodios sísmicos prácticamente recientes.

La falla de Camú se sitúa en el interior de la cordillera con una traza de dirección próxima a E-O y por tanto ligeramente oblicua a la de la falla Septentrional. Entre las localidades de Imbert y Sabaneta de Yásica esta traza es relativamente neta, aunque con algunas bifurcaciones, mientras que desde Imbert hacia el este se desarrolla una zona de falla con una anchura entre 3 y 5 kms formada por numerosos ramales o *splays* que individualizan bloques de formas romboidales. La terminación occidental de la zona de falla hacia la costa, en la Hoja de Barrancón, es poco precisa al estar semioculta por materiales cuaternarios o terciarios muy blandos que afloran en malas condiciones. Tampoco está muy claro si la prolongación oriental se resuelve en el mar, dentro del golfo situado entre Gaspar Hernandez y Río San Juan o si ésta coincide con una o las dos fallas de dirección ONO-ESE que atraviesan la parte más septentrional del complejo de Río San Juan, inmediatamente al este de Gaspar Hernández. Esta falla constituye el límite meridional del denominado bloque de Puerto Plata (Pindel y Draper 1991; De Zoeten y Mann 1991; 1999). Como también es el caso de la falla Septentrional, no hay marcadores o referencias regionales fiables que permitan hacer estimaciones de desplazamiento a lo largo de esta falla, si bien la idea de correlación entre los complejos de Puerto Plata y Río San Juan propuesta por Draper y Nagle (1991) es sugerente y permite suponer un desplazamiento entre ambos a favor de la falla de Camú de al menos 60 km.

6.3 El rol de los ciclones tropicales en los procesos activos.

Los ciclones tropicales pueden producir vientos, olas extremadamente grandes y extremadamente fuertes, tornados, lluvias torrenciales (que ocasionan inundaciones y corrimientos de tierra) y también pueden provocar marejadas ciclónicas en áreas costeras. Se desarrollan sobre extensas superficies de agua cálida y pierden su fuerza cuando penetran en tierra. Esa es una de las razones por la que las zonas costeras son dañadas de forma significativa por los ciclones tropicales, mientras que las regiones interiores están relativamente a salvo de recibir fuertes vientos. Sin embargo, las fuertes lluvias pueden producir inundaciones y movimientos en masa tierra adentro y las marejadas ciclónicas pueden producir inundaciones extensas a más de 40 km hacia el interior dependiendo de la configuración del relieve.

Los registros de ciclones existentes en la República Dominicana comprenden desde el inicio del siglo XVI hasta la actualidad y aunque el registro puede presentar algunas omisiones, se dispone de trayectorias desde 1851 hasta la fecha. Durante el período 1851-2009 y dentro de la temporada de huracanes del Atlántico Norte, el país ha estado bajo la influencia de 32 tormentas tropicales y 44 huracanes. Esos 76

episodios ciclónicos pueden ser clasificados en cinco diferentes categorías de acuerdo a la intensidad de sus vientos, la presión central y la altura de la marea que les acompaña.

En su máxima categoría un huracán de clase 5 presenta vientos mayores de 249 kilómetros por hora o mayores, marea de tempestad superior a los 6 metros, presión barométrica mínima inferior a los 920 milibares. Sus efectos son devastadores: fallo completo de los techos, residencias y estructuras industriales, pequeñas edificaciones son levantadas por el viento, árboles y arbustos son arrancados de raíz, grandes daños a ventanas y puertas, daños considerables sobre las costas y pisos bajos de las estructuras e inundación del mar tierra adentro por debajo de los 5 metros. Se requiere evacuación masiva de los residentes próximo a las costas. Los huracanes David y Allen de los años 1979 y 1980 fueron huracanes de la categoría 5.

Desde un punto de vista morfogenético es evidente la importancia de los ciclones tropicales en la República Dominicana. La actividad asociada a movimientos de laderas, procesos de erosión, de inundación y sedimentación alcanza su máxima expresión durante estos episodios sin perjuicio que puedan darse este tipo de procesos bajo otras circunstancias pero es especialmente durante los ciclones cuando la actividad geodinámica externa alcanza niveles más elevados.

6.4 Actividad asociada a movimientos de laderas

Pese a las elevadas pendientes existentes en la vertiente norte de la Cordillera Septentrional, son escasos los depósitos de origen gravitacional. Su formación es consecuencia de una rápida destrucción por el propio retroceso de las vertientes y por la acción de los procesos de arroyada. Su actividad es mayor en las vertientes de la loma de Isabel de Torres. En las laderas, las formaciones arcillosas y la cobertera están sujetos a deslizamientos asociados a las fuertes lluvias. Del mismo modo, los escarpes rocosos, calizos y conglomeráticos, pueden ocasionar caídas de rocas por efecto de la lluvia y la alteración. El ejemplo más espectacular es aquel que afecta a la cornisa calcárea de la cima del Pico Isabel de Torres, a los pies de antenas y cimientos del teleférico.

En el extremo SW se han reconocido también cicatrices de despegue y deslizamientos asociados.

Cabe destacar la singularidad de las Lomas del Cupey, área cuyo substrato viene configurado por los materiales de la Fm. San Marcos. La presencia de materiales con características geotécnicas críticas (límites plásticos y líquidos

elevados) condiciona una alta susceptibilidad a los fenómenos gravitacionales. En la zona existen múltiples antecedentes de movimientos en masa como los deslizamientos acaecidos en febrero de 2010 en el sector los Bordas. También en 2009 diversos deslizamientos afectaron la comunidad de San Marcos Arriba iniciándose en la Sabana del Corozo y extendiéndose a la zona de La Cueva. La carretera que conduce desde Cuesta Amarilla hasta la base principal del teleférico de Puerto Plata, ubicada en la meseta de la loma Isabel de Torres, también se halla bajo la influencia de movimientos en masa.

La Fm San Marcos es por definición la más inestable de la región y todas las construcciones y estructuras diseñadas en la zona no permanecen largo tiempo debido a las consecuencias de esta inestabilidad. La viabilidad de la carretera que une Santiago a Puerto Plata es puesta en duda cuando se desarrolla sobre la Fm San Marcos, como ocurre a la entrada de Puerto Plata. Ese es el mismo caso de la carretera de Puerto Plata a El Cupey, pero el problema es mucho menor debido a que el tráfico es mucho más reducido.

Los deslizamientos son más comunes en aquellos terrenos sedimentarios en los que se pone en contacto una capa argilítico-margosa impermeable y una cobertera competente, cargada de agua, como una barra de conglomerados o calizas. Ese es el caso de los conglomerados de la Jaiba y de las argilitas de la Fm La Toca cerca de Los Palmaritos y Rancho Ambrosio al SO de la Hoja. Del mismo modo, ese es el caso de la Fm Luperón, en el que los conglomerados y las alternancias de la Fm Villa Trina de numerosos puntos del Este de la Hoja, como a lo largo de la carretera turística, o los caminos que jalonan los conductos de alimentación de agua de Puerto Plata, entre los Ciruelos y Los Guaos. En otro sector, el pueblo de La Piedra está amenazado con desaparecer debido a los deslizamientos provocados por la excavación y erosión rápida de las argilitas de Luperón por el arroyo de Leche, con la formación de profundas grietas y deslizamientos.

Otros deslizamientos y desprendimientos de rocas son igualmente espectaculares, estos se desarrollan en la interfase de las alternancias y barras calcáreas de techo de Villa Trina. Ese es el caso del deslizamiento reciente (mayo de 1993 y febrero de 1996) que afectó el techo de Loma Isabel de Torres, en la base de las antenas y pilares del teleférico. Es igualmente el caso al centro-sur de la Hoja con los desprendimientos que jalonan la cornisa calcárea de Cerro Pelado.

6.5 Actividad asociada a procesos de erosión

Alcanza su máximo desarrollo en la zona montañosa, pues su acción es de baja intensidad en la depresión, donde predominan los procesos de inundación y sedimentación.

La principal manifestación de los procesos de erosión viene dada por la incisión lineal asociada a la actividad de los distintos ríos, arroyos y cañadas; en el caso del curso del río Bajabonico, va acompañada por frecuentes erosiones laterales del cauce causadas por su geometría meandriforme, no plasmadas cartográficamente por problemas de representación.

Cabe destacar una vez más la singularidad de las Lomas del Cupey área cuyo substrato viene configurado por los materiales de la Fm. San Marcos. La presencia de materiales con características lábiles condiciona una alta susceptibilidad a los fenómenos erosivos.

6.6 Actividad asociada a procesos de inundación y sedimentación

Es la actividad relacionada con una mayor variedad de procesos, además de ser la que tiene una mayor incidencia sobre la población. Su origen está relacionado con la actividad fluvial, litoral, lacustre, eólica, antrópico y, en general, con cualquier tipo de proceso generador de áreas deprimidas susceptibles de ser inundadas o recibir aportes sedimentarios.

Una gran parte de Puerto Plata está localizada en una zona inundable, en particular el barrio del muelle, en la desembocadura de los ríos San Marcos y Los Domínguez. Pero los barrios del Sur de Puerto Plata como el de Los Mameyes, en las laderas del Pico Isabel de Torres, son aún más sensibles a los riesgos de inundación ya que la mayoría de las viviendas se construye directamente en el cauce de los ríos y torrentes que entran de repente desde la cumbre de La Loma.

La localidad de Luperón situada a pie de la Loma La Culebra, está ubicada en una zona en la que convergen los drenajes naturales de la región y que es en parte inundable en periodo de fuertes precipitaciones.

En cuanto a las causas que dieron origen a las inundaciones en la provincia de Puerto Plata en el periodo 1966-2000 (Cardona et al. 2001), se encuentran al mismo nivel los desbordamientos de ríos y cañadas y las precipitaciones ocurridas durante la temporada normal lluviosa, aportando cada una de ellas el 50% del total.

Los procesos de inundación y sedimentación actúan de forma prácticamente permanente sobre los fondos de valle de los ríos y bajo un régimen torrencial en los numerosos arroyos y cañadas de la zona, así como en los mantos de arroyada. En el caso de las llanuras de inundación, las inundaciones se producen de forma más esporádica, pero afectando a áreas de mayor amplitud; más frecuentes son las que se registran en los cauces y meandros que albergan aquéllas, si bien se trata de áreas pequeñas.

Los conos de deyección y los abanicos poseen una funcionalidad menos predecible, lo que dificulta su tratamiento, pudiendo dar lugar a violentos depósitos de masas aluviales con una participación acuosa variable; con frecuencia, sus ápices coinciden con fallas activas, lo que implica que su actividad puede relacionarse con procesos climáticos y sísmicos. En el caso de algunos de los abanicos y conos de mayor envergadura, claramente han perdido su funcionalidad, lo que no implica que su superficie no quede sometida a inundaciones ante la densa red de incisión que se ha desarrollado sobre ella. Un ejemplo catastrófico de la actividad de los abanicos aluviales de baja pendiente fue ofrecido por el paso del huracán Georges en 1.998, que sepultó todo su ámbito de influencia bajo un manto de lodo y agua.

La actividad en el litoral es manifiesta en relación con los canales de marea, las marismas y las playas, como áreas sometidas a constantes procesos de inundación y sedimentación. Aunque menos perceptible, también es un hecho en las playas y en el cordón litoral, si bien el cinturón de dunas queda a salvo de inundaciones, excepción hecha de la llegada eventual de algún tsunami al litoral.

6.7 Actividad antrópica

Ya que la cartografía no contempla los procesos relacionados con las formas de origen antrópico que aparecen plasmadas en la base cartográfica, su representación es mínima pese a su indudable desarrollo en las áreas más pobladas, en las que se producen modificaciones prácticamente continuas en relación con la red

de comunicaciones, el desarrollo urbano, etc. A continuación se señalan aquellos procesos antrópicos susceptibles de generar riesgos.

6.7.1 Almacenamiento y gestión de residuos urbanos

La basura generada en Puerto Plata es almacenada en una depresión localizada a la entrada noroeste de la ciudad, en el borde del arroyo Maggiolo. El substrato geológico está compuesto por una brecha volcánica alterada del substrato cretácico. La basura de Sosua, Monte Llano, La Unión y Cabarete son almacenadas en las antiguas excavaciones situadas al Sureste del aeropuerto de La Unión. Estos reposan sobre calizas y margas alteradas del muro de la Fm La Isabela. En el caso de la población de Luperón las basuras de son acumuladas en una pequeña depresión kárstica, sobre la plataforma de margas de Villa Trina. Ninguna precaución particular se toma para minimizar los riesgos de contaminación. El tamaño del basurero es limitado, pero debido al desarrollo turístico y la construcción de numerosos hoteles, éste puede crecer rápidamente y daña el medioambiente.

Cada una de estas zonas representan superficies de varias hectáreas. Además del impacto visual y el mal olor que desprenden estos depósitos, la contaminación de agua de escorrentía y por infiltración es un hecho dado que gran parte de los lixiviados generados por descomposición de los desechos es vertida, se infiltra en el suelo y contamina las capas subyacentes. Otra parte se dirige hacia los cursos de agua por escorrentía y contamina las zonas costeras en la desembocadura de los ríos en el mar.

6.7.2 La gestión de aguas residuales

Una parte de las aguas residuales de las ciudades son pretratadas antes de ser liberadas en el medio natural. Puerto Plata dispone de una estación de tratamiento al Oeste de la ciudad. Sosúa dispone también de una estación de colección y depuración de aguas, eliminada una parte de sus impurezas, se envían al mar a unos 2 km de la costa. Las aguas residuales de los centros turísticos de Playa Dorada y Costa Dorada reciben un tratamiento similar. Por el contrario, no se ha tomado ninguna precaución en las pequeñas localidades (Monte Llano, El Cupey, etc.) o en los suburbios periféricos entorno a Puerto Plata donde las aguas residuales son expulsadas directamente al medio natural.

6.8 Actividad asociada a litologías especiales

6.8.1 Litologías solubles.

Se desarrolla principalmente en relación con los procesos kársticos que afectan a las áreas calizas de la Hoja básicamente el macizo del Choco y las plataformas calizas de la Llanura Costera del Atlántico. El macizo de El Choco destaca por sus extensas áreas con depresiones debidas a disolución cuyas dimensiones no han posibilitado su representación cartográfica individualizada y relacionadas con los procesos kársticos que afectan a las calizas de la Fm Los Haitises.

Las cavidades kársticas, desarrolladas en las calizas arrecifales de la Fm La Isabela, se localizan en las zonas de afloramientos de esta formación, en particular sobre la plataforma que domina Luperón y a lo largo de cornisas y acantilados que jalonan la costa Atlántica. Las pequeñas depresiones, a menudo alineadas con la red de diaclasas y fracturas, pueden revelar en superficie una red de cavidades subterráneas. La ausencia del desarrollo de karstificación en superficie no implica, sin embargo, su ausencia en profundidad.

Evidenciando la actividad kárstica, aunque con efectos menos perceptibles, es preciso señalar el extenso lapiaz desnudo desarrollado sobre las calizas de las Fms. Los Haitises y La Isabela.

La intensidad de los procesos de disolución en dolinas y campos de lapiazes posibilitan procesos de colapso derivados como consecuencia del desarrollo del endokarst, originando en su caso dolinas en superficie.

6.8.2 El amianto natural

Los afloramientos de rocas susceptibles de contener amianto, como las serpentinitas y peridotitas, están localizados en las facies que esencialmente constituyen el substrato Cretácico del cuadrante de Puerto Plata. Los peligros del amianto son bien conocidos y debido a una exposición prolongada se ha demostrado que se asocian una serie de enfermedades bronco-pulmonares. Las rocas con amianto pueden emitir fibras por efecto de la erosión, meteorización o escorrentía. Este fenómeno puede inducirse y acelerarse por la actividad humana en estas zonas: movimientos de terreno, zanjas, excavaciones asociadas a carreteras, canteras, etc. Estos efectos han de ser reconocidos y minimizados en la medida de lo posible.

7. REFERENCIAS CITADAS

- BRAGA, J.C. (2010).** Informe sobre las Formaciones Arrecifales del Neógeno y Cuaternario de la República Dominicana. Proyecto de Cartografía Geotemática de la República Dominicana. Programa SYSMIN, Proyecto 1B. Servicio Geológico Nacional (SGN), Santo Domingo, 73 pp.
- CALAIS, E. (2008).**, Risque Sismique en Haïti: Fondements Scientifiques et Nature du Risque. Conferencia de Puerto Príncipe.
- CÁMARA MINERA PETROLERA DE LA REP. DOMINICANA (2005):** Desastres naturales y emergencias. Conferencia presentada en el Seminario Internacional.
- CARDONA, O. D., (2001).** Los desastres ocurridos en la República Dominicana 1966-2000.
- DE LA FUENTE, S., (1976).** Geografía Dominicana. Ed Colegial Quisqueyana S.A., Instituto Americano del Libro y Santiago de la Fuente sj; Santo Domingo, 272 p.
- DE ZOETEN Y MANN, (1991).** Structural geology and Cenozoic tectonic history of the central Cordillera Septentrional, Dominican Republic. In: Geologic and tectonic development of the North America-Caribbean Plate boundary in Española. Special Paper – Geological Society of America, 262, p. 265-279.
- DE ZOETEN R., MANN P. (1999).** Cenozoic El Mamey Group of Northern Hispaniola: a sedimentary record of subduction, collisional and strike-slip events within the North America – Caribbean Plate boundary zone. Caribbean Basins. Sedimentary basins of the world edited (Mann, P. Ed., Series editor Hsü, K.J.), 247-286.
- DRAPER G., NAGLE F. (1991) :** Geology, structure, and tectonic development of the Río San Juan Complex, northern Dominican Republic. En: Geologic and tectonic development of the North America-Caribbean plate boundary in Hispaniola (Mann, P., Draper, G. y Lewis, J.F., eds.), Geological Society of America Special Paper 262, p. 77-95.
- GONZALEZ DE VALLEJO (1980).** Fallas activas y sus implicaciones en la ingeniería. Active faults and their implications for engineering; Anales del IV congreso

peruano de geología; Parte VI. Boletín de la Sociedad Geológica del Perú, 65, p. 99-103.

MORA, S., (2003). Enjambre sísmico en la República Dominicana. 22 de septiembre de 2003. <http://www.eeri.org/lfe/pdf/dominican_republic_SismosRD-22-09-03actualiz-S-Mora.pdf>

PINDELL J.L., DRAPER G. (1991) : Stratigraphy and geological history of the Puerto Plata area, northern Dominican Republic. In Mann P., Draper G. and Lewis J.F., eds., Geologic and tectonic development of the North America-Caribbean plate boundary in Hispaniola. Boulder, Colorado, Geological Society of America Special Paper 262, p. 97-114.