



SERVICIO GEOLÓGICO NACIONAL
REPÚBLICA DOMINICANA

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

ESCALA 1:100,000

SANTIAGO DE LOS CABALLEROS

(6074)

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

La presente Hoja y Memoria ha sido realizada en el periodo 2008-2009 por Informes y Proyectos S.A. (INYPSA), formando parte del Consorcio IGME-BRGM- INYPSA, Proyecto 1B, 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 (TYPSA) del Programa SYSMIN

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

- Dr. Andrés Pérez Estaún (Instituto 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

Se quiere agradecer muy expresamente:

A los Ings. Pol Urien (BRGM), José Ignacio Ramírez Merino (INYPESA) y Pedro Pablo Hernaiz sus múltiples aportaciones en los apartados de formaciones superficiales, identificación y descripción de los procesos activos susceptibles de generar riesgos geológicos y en especial en la tectónica activa.

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	6
1.1	Metodología	6
2.	DESCRIPCIÓN FISOGRÁFICA.....	10
3.	ANÁLISIS GEOMORFOLÓGICO.....	13
3.1	Estudio morfoestructural.....	13
3.1.1	Formas estructurales	14
3.2	Estudio del modelado	17
3.2.1	Formas gravitacionales.....	18
3.2.2	Formas fluviales y de escorrentía superficial.....	20
3.2.3	Formas poligénicas.....	22
3.2.4	Formas por meteorización química.....	24
3.2.5	Formas antrópicas	24
4.	FORMACIONES SUPERFICIALES	26
4.1	Formaciones gravitacionales	26
4.1.1	Cantos, arenas y lutitas. Coluviones (a). Holoceno	26
4.1.2	Lutitas, cantos y bloques. Deslizamientos (b). Holoceno	26
4.2	Formaciones fluviales y de escorrentía superficial	27
4.2.1	Lutitas, arenas y gravas. Abanicos aluviales(h). Holoceno	27
4.2.2	Arenas y limos. Llanuras de inundación y rellenos de meandro (c). Holoceno	28
4.2.3	Gravas, arenas y limos. Terrazas bajas (d). Holoceno.....	28
4.2.4	Gravas, arenas y limos. Terrazas altas (e). Pleistoceno.....	29
4.3	Formaciones por meteorización química.....	30
4.3.1	Arcillas de decalcificación. "Terra rosa". (j). Holoceno.....	30
4.4	Formaciones poligénicas	30
4.4.1	Limolitas, lutitas y conglomerados. Glacis. (g). Holoceno.....	30

4.4.2	Limolitas, lutitas y conglomerados. Depósitos mixtos aluviales-coluviales.. (f). Holoceno.....	31
5.	EVOLUCIÓN E HISTORIA GEOMORFOLÓGICA.....	32
6.	PROCESOS ACTIVOS SUSCEPTIBLES DE CONSTITUIR RIESGO GEOLÓGICO.....	34
6.1	Actividad sísmica	34
6.1.1	Paleosismicidad.....	39
6.1.2	Licuefacción.....	43
6.2	Tectónica activa.....	44
6.2.1	Movimientos horizontales	45
6.2.2	Falla Septentrional (SFZ), traza activa actual.....	47
6.3	El rol de los ciclones tropicales en los procesos activos.....	48
6.4	Actividad asociada a movimientos de laderas	49
6.5	Actividad asociada a procesos de erosión.....	50
6.6	Actividad asociada a procesos de inundación y sedimentación .	50
6.7	Actividad asociada a litologías especiales	53
7.	REFERENCIAS CITADAS	54

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 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. El Programa SYSMIN tiene como objetivo primordial favorecer el desarrollo del sector geológico-minero y mejorar las condiciones de vida de la población frente a los fenómenos sísmicos, la contaminación de las aguas subterráneas y la degradación del medio ambiente generada por las explotaciones mineras en la República Dominicana. Como continuación de los proyectos de Cartografía Geotemática desarrollados dentro del programa SYSMIN I, denominados C (1997-2000), K (2002-2004) y L (2002-2004), 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 TYPSA) y la supervisión del Servicio Geológico Nacional (SGN) del presente Proyecto 1B (EuropeAid/122430/D/SER/DO).

El objetivo general del Proyecto 1B consiste en la producción de mapas geológicos a escala de 1:50.000 y otros mapas geotemáticos a escala de 1:100.000 siguiendo una normativa precisa en cuanto a su realización. Se trata de continuar la provisión de información geocientífica por el Estado en forma de mapas geológicos y temáticos (mapas geomorfológicos, mapas de recursos minerales, y mapas de procesos activos), bases de datos y otra información que sirve como base para la selección y delimitación de áreas a explorar, la selección de métodos de exploración y para la evaluación de los resultados, así como para el uso de tierras, evaluación de riesgos geológicos y prevención de desastres, entre otros.

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 a dicha escala:

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)

Ya que cada Hoja forma parte de un contexto geológico más amplio, la ejecución de cada una de ellas se ha enriquecido mediante la información aportada por las de su entorno; por ello, a lo largo de la presente Memoria son numerosas las alusiones a otras hojas.

La presente Hoja y Memoria afectan a la totalidad de la Hoja a escala 1:100.000 de Santiago de los Caballeros. Durante la realización de la Hoja Geomorfológica a escala 1:100.000 de Santiago de los Caballeros se ha utilizado la cartografía geológica de las 4 hojas a escala 1:50.000 elaborada durante el presente proyecto: San Francisco Arriba (6074-I), Santiago (6074-II), San José de las Matas (6074-III), Esperanza (6074-IV), además de la información disponible de diversa procedencia y las fotografías aéreas del Proyecto ICM, a escala 1:60.000 (1958), así como las imágenes de satélite Spot P, Landsat TM y SAR. Los estudios fotogeológicos se han completado con la interpretación de las imágenes de Google Earth. La cartografía previa ha sido complementada con recorridos de campo. Muchos de los puntos de observación y recorridos fueron grabados con ayuda de un PC portátil con sistema GARMIN acoplado de GPS (System Global Positioning) y el software Global Mapper 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 Geológico y Minero 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 del Proyecto 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

Santiago de los Caballeros (6273). Tras la presente introducción, en la que se abordan brevemente 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 geográfica, 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 explicando las distintas formas de éste, agrupándolas en función del proceso geomorfológico responsable de su origen (estructural, gravitacional, fluvial...), e incidiendo en su geometría, tamaño y génesis.
- Estudio de las formaciones superficiales, es decir, de las formas deposicionales, 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, las memorias de las hojas Geológicas a escala 1:50.000: San Francisco Arriba (6074-I), Santiago (6074-II), San José de las Matas (6074-III), Esperanza (6074-IV), incluyen la mayor parte de la información contenida en el presente texto, distribuida entre sus capítulos correspondientes a Introducción (Descripción fisiográfica), Estratigrafía (Formaciones superficiales) y Geomorfología (Análisis morfológico y Evolución e historia geomorfológica).

2. DESCRIPCIÓN FISIAGRÁFICA

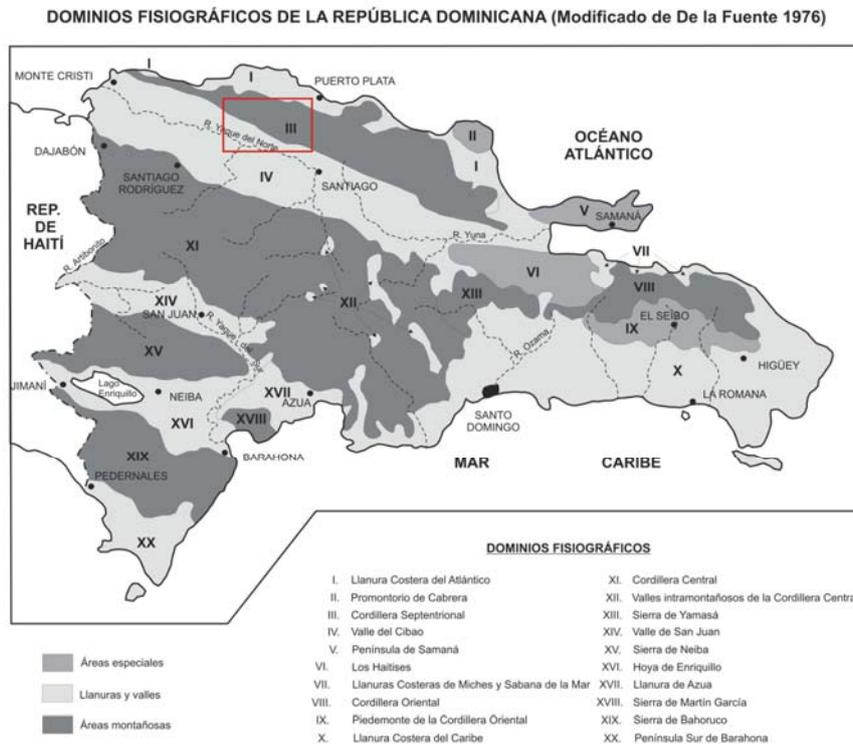


Fig. 2.1. Dominios fisiográficos de la República Dominicana y situación de la Hoja a escala 1:100.000 de Santiago de los Caballeros. Modificado de De la Fuente (1976)

La Hoja de Santiago de los Caballeros abarca desde la vertiente sur de la Cordillera Septentrional hasta la vertiente norte de la Cordillera Central, en la zona noroccidental de la República Dominicana. Presenta tres partes bien diferenciadas: en el centro, cruzando de NW a SE, domina la depresión del río Yaque del Norte o Valle del Cibao; en el norte de ésta se eleva la Cordillera Septentrional, mucho más accidentada y al sur los relieves también notables de la Cordillera Central, principal sistema montañoso del país.

De esta forma, la cota más alta de la Hoja se encuentra en el pico más elevado de la Cordillera Septentrional, el Diego de Ocampo con 1249 msnm, que se alza frente a San Francisco de los Caballeros. De forma opuesta, en el valle del Yasicá se localizan los puntos de menor cota topográfica, con algo menos de 60 msnm. Se

aprecia un fuerte contraste topográfico al hallarse la depresión del Yaque encerrada entre las zonas montañosas, siendo el cambio más neto en el contacto con la Cordillera Septentrional. Casi en el centro de la Hoja y en medio de la depresión se sitúa la ciudad de Santiago.

Otras elevaciones importantes se dan en las inmediaciones del nacimiento del río Canca, donde se alcanzan los 964 msnm. También se superan los 900 msnm cerca del Pico el Muraso, que queda en la Hoja superior, y en la Loma de Agua Honda, donde uno de sus picos alcanza los 984 msnm. Todas estas cotas están incluidas en el conjunto de la Cordillera Septentrional. También en esta Cordillera, en la esquina NE, el río Yasica ha formado una pequeña llanura aluvial en un angosto valle.

En el SW, las estribaciones de la Cordillera Central van tomando mayor valor topográfico a medida que nos acercamos más al sur, hasta los 641 msnm en Cerro Cordo, localizado al E de San José de las Matas, cerca del nacimiento del arroyo Dicajagua.

En la parte central, la depresión del Valle del Yaque ocupa una gran extensión, en la que se han levantado varios núcleos urbanos, de los cuales, el más importante es Santiago y a partir del cual, el río Yaque del Norte cambia de rumbo para dirigirse hacia el Sur, donde su llanura aluvial deja de estar tan desarrollada y pasa a menor magnitud a medida que se adentra en la Cordillera Central.

En esta Hoja se encuentra la divisoria de aguas que divide el Valle del Cibao en dos, el Valle del Yaque del Norte hacia el W y el Valle del Yuna hacia el E. Esta divisoria de pequeños relieves que atraviesan el Valle de N a S, se encuentra en el E de la ciudad de Santiago y va desde el Alto de Bejarán, en Tamboril, hasta cerca de la ciudad de La Vega.

La red de drenaje se halla condicionada por las altas cotas de las dos Cordilleras presentes, así como de la divisoria de aguas anteriormente citada. Los arroyos procedentes de la Cordillera Central van a parar al valle del Cibao y desembocan en el río Yaque del Norte. En la esquina suroriental hay otra cuenca menor, donde los arroyos y cañadas aportan sus aguas al río Licey, que nace en la Cordillera Septentrional y cruza la Hoja de N a S. En el Licey también desembocan otros dos ríos de menor envergadura: el Conca, que se une a la altura de la ciudad Liceo Al Medio y el Moca, que cruza por la ciudad que toma su nombre. Los dos conducen aguas procedentes de la Cordillera Septentrional.

La Hoja de Santiago de los Caballeros engloba una red de drenaje de ambas vertientes de la Cordillera Septentrional. En el borde norte, los arroyos y las cañadas toman dirección norte. En la parte oriental encontramos el río Yasica, que ha desarrollado una pequeña llanura aluvial. En la vertiente S, la mayor parte de la red hidrográfica pertenece a la cuenca del Yaque del Norte, excepto el caso del río Licey, ya mencionado anteriormente.

El clima dominante es tropical, con una temperatura media anual en torno a los 26°C. En el valle, el hecho de estar dividido en dos partes por una divisoria de aguas hace que en cada una se den condiciones hidrológicas y climáticas distintas. En el Valle de Santiago, al W, las lluvias son escasas, mientras que son frecuentes e intensas en el Valle de la Vega Real. (De la Fuente, 1976).

3. ANÁLISIS GEOMORFOLÓGICO

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

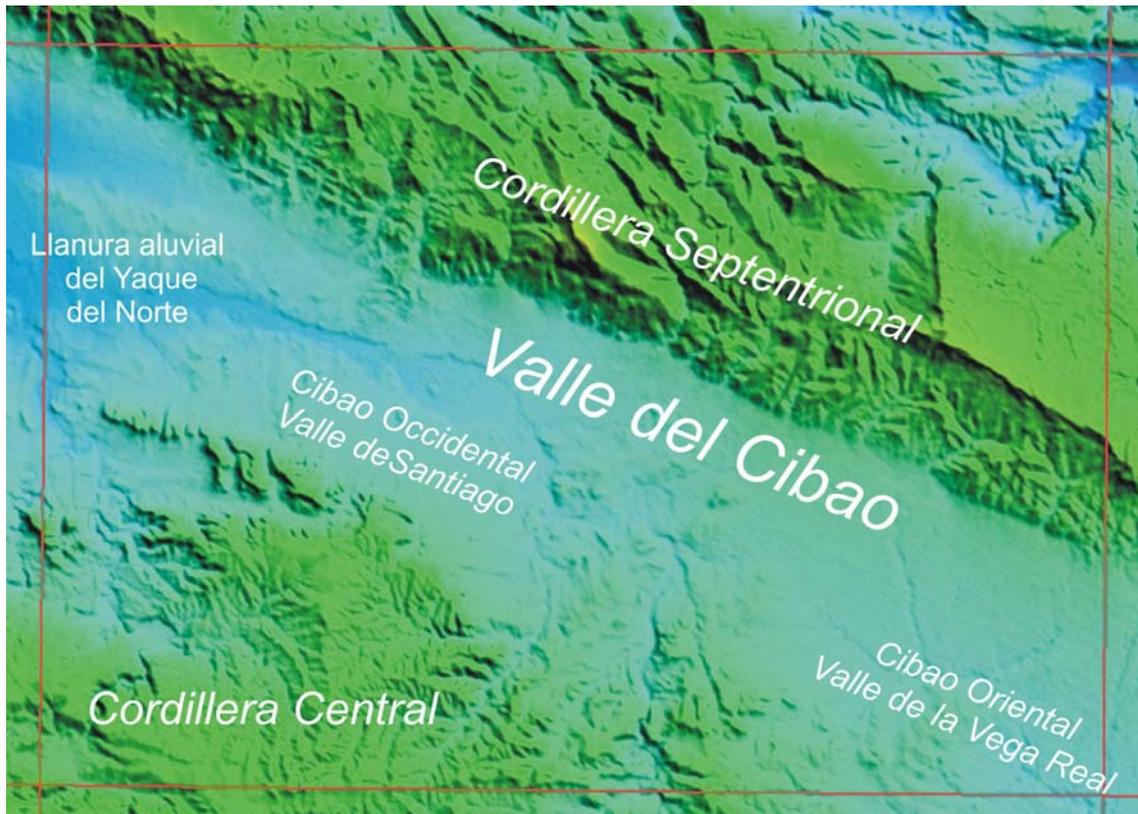


Fig. 3.1. Modelo Digital del Terreno mostrando las principales unidades morfoestructurales de la Hoja a escala 1:100.000 de Sánchez. (Fuente MDT: SRTM)

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)

En la Hoja aparecen las siguientes unidades morfoestructurales de rango mayor: la Cordillera Septentrional, la Cordillera Central y el Valle del Cibao. Este último se subdivide clásicamente en dos unidades: el Cibao Oriental o Valle de la Vega Real al Este y el Cibao Occidental o Valle de Santiago, también llamado Valle del Yaque del Norte, al Oeste. La divisoria de las aguas de ambas cuencas está en “Licey al Medio” (Santiago), donde el Valle del Cibao “se eleva suavemente desde sus dos extremos hacia el centro”, donde se levantan unos pequeños altozanos que lo atraviesan de norte a sur, formando una barrera o divisoria a 175 msnm. Se forman así dos partes hidrológica y climatológicamente distintas (De la Fuente, 1976).



Fig. 3.2. Principales unidades Morfoestructurales de La Española según Draper y Lewis (1991).

La Cordillera Central es el principal sistema montañoso de la isla y puede considerarse constituida por un macizo central y tres ramas principales. La Hoja de Santiago de los Caballeros comprende relieves pertenecientes al denominado macizo del Noroeste (De la Fuente, 1976). En el ámbito de la Hoja, esta zona de la Cordillera Central ha sido arrasada en al menos una ocasión, afectada por procesos de peneplanización que crearon amplias superficies de erosión, hoy completamente degradadas o en un estado muy avanzado de degradación.

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 capas de roca con diferente respuesta al ataque de los agentes externos propicia la erosión diferencial,

reflejando en la morfología caracteres geológicos estructurales. Es, por tanto, la estructura geológica la que controla el relieve. Los agentes externos sólo descubren y modelan sobre un patrón preestablecido.

Las formas estructurales tienen una importancia morfogenética notable en la Hoja de Santiago de los Caballeros. La Cordillera Septentrional tiene una línea de horizonte bastante uniforme, vista desde Santiago, estando interrumpida por pocos picos dentados. Esto sucede porque se encuentra limitada por la falla Septentrional, que recorre totalmente la longitud de la Cordillera (De la Fuente, 1976). Como consecuencia de esta falla, su bloque septentrional se levanta abruptamente y queda separada de forma neta del Valle del Cibao. Por tanto, se trata de una falla con expresión morfológica clara, que sigue dirección NNO-SSE. En realidad, se trata de un sistema de varias *fallas en dirección* paralelas de carácter sinistro, de los que la principal limita la Cordillera Septentrional y el Valle del Cibao; pese a su carácter rectilíneo a escala regional, en detalle se observa cómo el frente muestra un retroceso incipiente debido a la acción erosiva de los numerosos cursos fluviales que abandonan la cordillera, indicando que la falla no es activa actualmente. Por el contrario, la puntual adaptación de la red de drenaje a la falla de Jacagua (río Licey en Tamboril), que discurre al sur de la principal a una distancia aproximada de 1 km, indica su actividad, confirmada por diversos estudios (Mann *et al.*, 1998). Otras fallas discurren a una distancia similar, pero al norte de la principal, manifestándose mediante perceptibles cambios o rupturas de pendiente de la cordillera.

Pese a la elevada velocidad con la que la meteorización elimina o enmascara algunas formas, existen diversos rasgos derivados de la acción de este conjunto de fracturas, entre ellos los escarpes de falla degradados y facetas triangulares de escarpe de falla. La falla Septentrional y su cortejo se manifiesta en el relieve mediante escarpes y presenta un plano de falla modificado por la erosión. Estos retoques son más o menos importantes en función de la erosión diferencial, producto de las debilidades producidas bien por la diversidad litológica, bien por la existencia de diaclasas.

Debe hacerse notar la singularidad de la presencia de facetas triangulares bien desarrolladas en diversos emplazamientos a lo largo de una falla con salto en dirección como es la Falla Septentrional. En principio las facetas son características y aparecen bien desarrolladas en el caso de fallas normales. La existencia de facetas

triangulares bien desarrolladas a lo largo del trazado de la Falla Septentrional implica la existencia de componente vertical reciente en el movimiento de la falla.

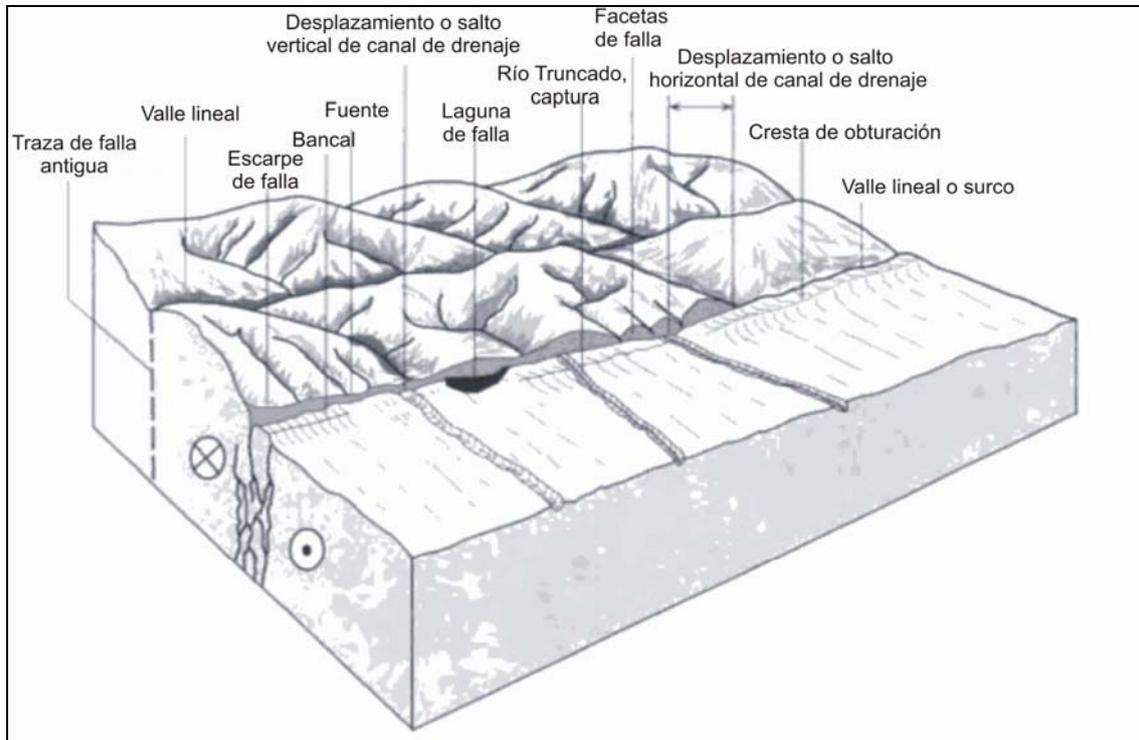


Fig. 3.3. Caracteres geomorfológicos típicos indicativos de la actividad de fallas con salto en dirección (Modificado de Wesson et al. 1975).

En algunas áreas, sobre todo en la Cordillera Septentrional, han adquirido importancia los resaltes de escarpes y crestas, bien por acción de fallas, bien por ser morfologías relacionadas con la distinta resistencia a la meteorización ofrecida por los materiales aflorantes, entre los que abundan los bordes de capas monoclinales o capas verticalizadas. En esta Cordillera también se observan superficies estructurales asociadas a las plataformas carbonatadas del E, que se encuentran intensamente degradadas debido a una intensa erosión, tanto fluvial como química, con la resultante formación de campos de dolinas.

En la Cordillera Central aparecen diversas morfologías relacionadas con el trazado de fallas, algunas con expresión morfológica clara. Corresponden a fallas normales y desgarres; algunos de éstos también podrían responder al rejuego de fallas inversas. En estas fallas también se reconocen facetas triangulares de escarpe de falla. Además, en sus estribaciones más septentrionales, en el E de la Hoja, la

alineación Loma Come Gente, Cerro de Potrero, Loma Atravesada y Loma Capilla presentan superficies estructurales con sus escarpes asociados.

En el Valle del Cibao Occidental, hacia el W, se elevan varios cerros cónicos, pequeños resaltes en zonas de bajo desnivel, resultado de los procesos erosivos. Un ejemplo es Cerro de Boruco, al W del Canal de Amina.

3.2 Estudio del modelado

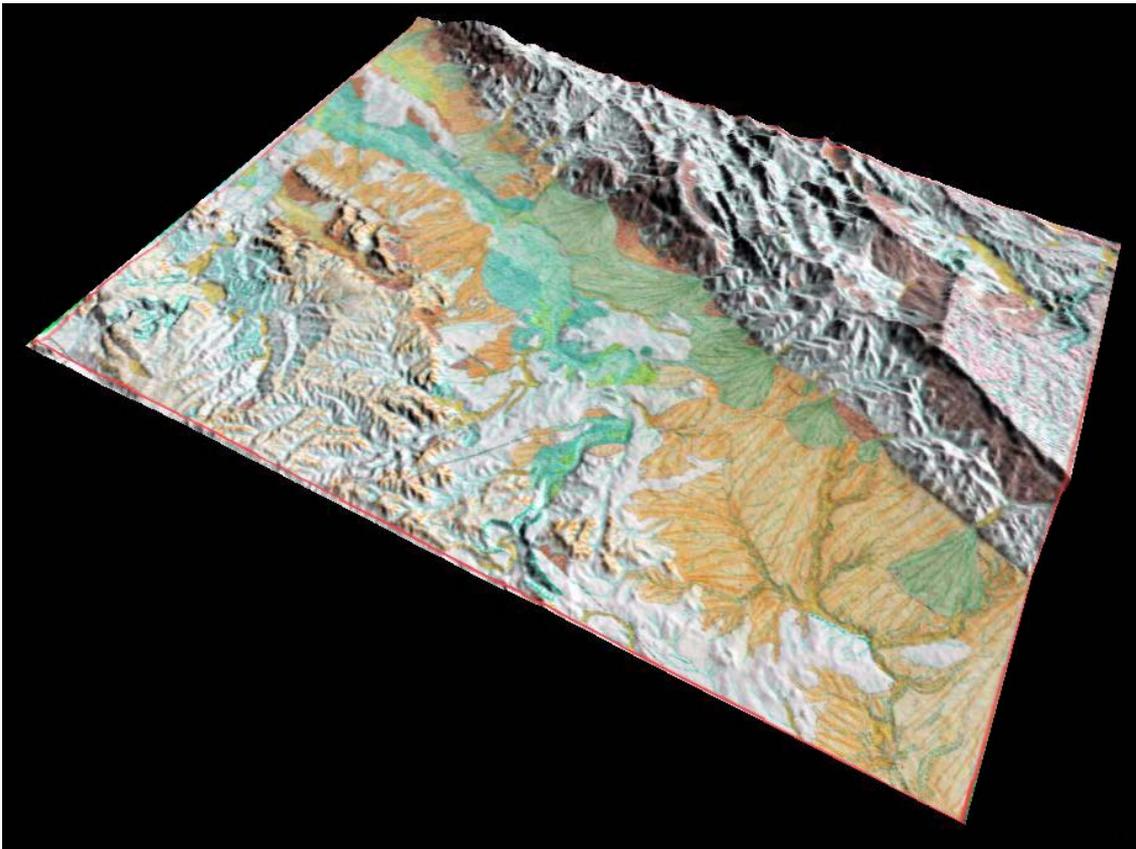


Fig. 3.4. Bloque diagrama mostrando los rasgos principales del modelado geomorfológico de la Hoja a escala 1:100.000 de Santiago de los Caballeros. (Mapa Geomorfológico de la Hoja de Santiago de los Caballeros sobre MDT SRTM 90m. Para la Leyenda consultar la propia Leyenda del Mapa Geomorfológico.)

La acción de los agentes externos sobre dominios tan contrastados como la Cordillera Central, los relieves estructurales de la Cordillera Septentrional y las dos subdivisiones del Valle del Cibao, tiene como resultado una expresión geomorfológica sensiblemente diferente. Así, el modelado de la Cordillera Central es el producto de una larga evolución presidida por los procesos geodinámicos internos (ígneos y

tectónicos) acaecidos a lo largo del periodo Cretácico-Terciario, generadores de relieves positivos, sobre los que han actuado, con mayor o menor efectividad, diversos agentes morfogenéticos encaminados a la destrucción o modelado de dichos relieves, destacando los de carácter fluvial y poligénico.

La Cuenca Oriental del Cibao Occidental ha sido descrita como un graven o fosa de hundimiento, formado por fallas paralelas que la bordean de Norte a sur. La creación de la fisonomía básica actual de la llanura aluvial del río Yaque puede considerarse que arranca con los procesos de sedimentación y acumulación de los materiales procedentes de las Cordilleras Central y Septentrional, entrado el Cenozoico, en el Valle del Cibao. Por otra parte, en el Valle de la Vega Real en la parte que abarca la Hoja, se produce el mismo proceso, con la acumulación de materiales principalmente por procesos fluviales y gravitacionales.

3.2.1 Formas gravitacionales

Los desniveles existentes en el ámbito de la Cordillera Central, la actividad neotectónica, la sismicidad y los fenómenos meteorológicos extremos como los ciclones tropicales condicionan la existencia de múltiples movimientos en masa, algunos de ellos formas muy conspicuas sobretodo si son muy recientes. Sin embargo los antiguos se encuentran retocados en buena parte como consecuencia de la propia dinámica de retroceso de las vertientes, que provoca su permanente evolución. En las laderas son frecuentes los coluviones, formados como respuesta al desequilibrio provocado en las laderas por la erosión fluvial. No es el caso de la Cordillera Septentrional, donde el elevado contraste de niveles, junto a las características de los materiales que la forma y la acción del agua, ha propiciado el desarrollo de gran cantidad de deslizamientos y, en menor medida, coluviones

En el ámbito de la vertiente sur de la Cordillera Septentrional los deslizamientos representan el segundo grupo de depósitos cuaternarios en importancia después de los abanicos aluviales recientes. Aparecen en diferentes sectores. Los deslizamientos más considerables se producen en las laderas de las superficies estructurales degradadas, en el NE de la Hoja, en la alineación Loma del Toro, Loma de los Altos de Guarabito y la prolongación del escarpe de la plataforma hacia SE. También se debe citar que la mayoría de estos deslizamientos tienen sus cicatrices de despegue bien desarrolladas, siendo posible su cartografía. En la zona oriental son muy representativos los de las Lomas de Diego de Ocampo, El Peñón y El Aguacate. El

material deslizado corresponde mayoritariamente a las calizas de la Fm. Los Haitises, y movilizan importantes volúmenes de bloques de tamaño hasta hectométrico de calizas arrecifales, pudiendo englobar ciertas proporciones de cantos y gravas de areniscas de la Fm. Altamira en las masas deslizadas. Los deslizamientos próximos a las localidades de El Barrero y Las Carras implican a los materiales calcáreos y vulcanoclásticos de la Fm Los Hidalgos, mientras que los situados cerca de Cañada Bonita y Macorís del Limón, de superficie entre 1 y >2 km², y otros muchos de menor entidad se asocian a relieves dentro de la Fm. Altamira, estando formados en dichos casos por masas de material arenoso y lutítico o por bloques y cantos de conglomerados.

Al norte de Santiago de los Caballeros y siguiendo en la vertiente sur de la Cordillera Septentrional, los grandes deslizamientos son frecuentes. En el sector de la Cumbre las Cabirmas se identifica un enorme deslizamiento de 7,8 km² de superficie. Este se reparte en dos cuerpos: el más importante, al oeste, en las Cabirmas y un segundo en la cuenca alta del Río Canca. El material deslizado está constituido por mega bloques y bloques de calizas coralinas de la Formación Villa Trina derrumbados del farallón que constituyen estas calizas más al Norte. La matriz de los bloques y mega bloques de color amarillento blanquecino esta constituida de arenas, margas y derrubios calcáreos de las facies margosas y conglomeráticas infrayacentes de las Formaciones Villa Trina y La Toca. Este deslizamiento antiguo ya presenta una importante cubierta vegetal pero continua activo como lo demuestran las trazas de movimientos actuales dentro de la zona deslizada original.

Otro deslizamiento similar es el que afecta a la población de Carlos Díaz. El área afectada comprende el poblado y sus alrededores hasta las proximidades de Los Amaceyes ocupando una superficie aproximada de 5,5 km².

Pequeños deslizamientos, no cartografiados individualmente a escala 1:100.000, se observan de manera sistemática en los taludes en las orillas de los arroyos que atraviesan la Unidad Licey al Medio ya en pleno Valle del Cibao. De extensión decamétrica a hectométrica, ocurren en las arcillas expansivas saturadas por las lluvias y crecidas de los arroyos. El material muy plástico desliza en el cauce de los arroyos provocando embalses temporales que favorecen la saturación de las arcillas y acentúan el fenómeno.

Otras ocurrencias aparecen en el ámbito suroeste del Cuadrante (Hoja de San Jose de las Matas) tres emplazamientos repartidos en ambos flancos del valle de la Cañada de Mera De Oeste hacia Este se ubican al nivel del poblado de la Hundidera en la Loma La Capilla al sur de la Loma Hatillo y, por fin, en el flanco Sur del Valle al Norte de la Loma el Cañete. Ocupan una superficie total de 2,19 Km². Los deslizamientos de Hundidera y Hatillo son masas constituidas de mega bloques y bloques de calizas micríticas coralinias de la Formación Mao Adentro en una matriz arcillo limosa constituida de limolitas y margas de la base de la Formación Mao Adentro. Con la morfología que presenta el deslizamiento de la Loma Hatillo se supone un movimiento principalmente vertical de unos 120 m de amplitud con un desplazamiento de 300 m según la componente horizontal hacia el Sur. Las cicatrices de despegue y coronación quedan frescas con roca aflorante.

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 superficie de la llanura aluvial del río Yaque del Norte, donde destaca la extensión de los cinturones de meandros, sin olvidar la orla de glaciares, abanicos y conos de deyección que se disponen al pie de los relieves. La mayor variedad de depósitos fluviales se encuentra en el valle del río Yaque del norte, en cuya llanura aluvial se han diferenciado: llanura de inundación, cauces y meandros abandonados, además de la identificación de varios niveles de terrazas.

Los fondos de valle aparecen representados en la Cordillera Central, en la Cordillera Septentrional y en el enlace de éstas con la Llanura del río Yaque y con el río Licey. Estas formas suelen quedar delimitadas por rupturas de pendiente, más o menos pronunciadas, cóncavas, en ambas orillas a lo largo de su curso. Pueden presentar drenaje en su parte media o no. Cuando el drenaje incide, el fondo de valle se ha cartografiado como incisión lineal y en algunos casos, en los que la erosión es más fuerte, se ha identificado la formación de cárcavas. 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 arroyada. Son el principal testimonio de la actividad sedimentaria de los principales elementos de la red fluvial actual.

Se han identificado varios niveles de terrazas, aunque su tamaño y distribución, así como la escala de trabajo, han dificultado su representación cartográfica obligando a agruparlas en conjuntos (inferiores, medias y superiores). En algunos de los casos se encuentran colgadas, es decir, separadas de la llanura de inundación mediante un escarpe.

Las terrazas fluviales se localizan principalmente en ámbas márgenes de los ríos Yaque del Norte y Amina, existiendo así mismo pequeños niveles de terraza en el río Grande y los arroyos de Las Lavas y Guanábano, dentro de la Cordillera. Se han interpretado igualmente como terraza baja los materiales situados al N de Esperanza hasta más o menos el Cruce de Jicome.

En la confluencia del Río Ámina con el la Cañada de Mera a unos 200m río abajo de la Presa de Potrero se identifican terrazas altas en la ribera izquierda a unos 20 a 30m por encima del cauce actual del Río Ámina.

En el río Yaque las terrazas altas se extienden en los sectores de La Herradura y a lo largo de los canales de riego Musieur Bogaert y Navarrete en ambos lados del Río Yaque. Al Noroeste de La Herradura constituyen una cobertura plana o levemente inclinada hacia el Norte con una altura relativa de 20 a 30m encima de la llanura de inundación del Río Yaque. Al Sur de La Herradura constituyen relieves residuales superando los 30m de altura relativa. Al Este del Río Yaque, en el sector del Canal Navarrete y del vertedero de Cienfuegos los niveles de terrazas se escalonan con desniveles de 10 a 50m encima de la Llanura del Río Yaque. En los Sectores de Las Charcas Pastor al SO de Santiago, constituyen planicies tabulares en los flancos de los relieves o mesetas, a más de 50 m por encima del cauce actual del Río Yaque. En la parte norte (Sectores de La Herradura la Otra Banda) constituyen relieves residuales.

Las terrazas aluviales bajas, en relación directa con la red hidrográfica actual o la llanura de inundación, presentan materiales de origen diferente según el río, Yaque del Norte o Licey.

Las terrazas bajas del Río Yaque del Norte se exponen en dos sectores principales. El primero se ubica río arriba del centro de la ciudad de Santiago en los sectores de La Barranca y al Norte de la Angostura en los barrios Arroyo Hondo, Los Jazmines , Valle Verde El segundo sector se ubica río abajo del centro de Santiago en los barrios de Rafey La Otra Banda, Baracoa, la Joya.

Entre las formas fluviales erosivas se han reconocido: marcas de incisión lineal, ampliamente representadas en las dos Cordilleras, cárcavas, escarpes, aristas divisorias y cañones por erosión fluvial o gargantas.

También tienen una notable representación los conos de deyección o abanicos aluviales dispuestos al pie de los relieves de la vertiente sur 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 aquellos pierde su confinamiento, expandiéndose. Las dimensiones de estos conos son acusadas en el caso de los que se encuentran asociados al valle del Yaque del Norte, pudiendo llegar al orden de varios kilómetros cuadrados.

En el margen septentrional del Valle del Cibao, los abanicos constituyen la parte superior del relleno sedimentario de la cuenca. Los que presentan mayor extensión superficial son los abanicos aluviales recientes, con un desarrollo longitudinal kilométrico, y cuyas zonas apicales ocupan la totalidad de las desembocaduras de los arroyos y cañadas de la Cordillera Septentrional en su salida al Valle de Cibao. Los abanicos aluviales antiguos se preservan adosados a los primeros relieves de la Cordillera, a unos 30-40 m de altura relativa sobre los abanicos recientes, y con espesores entre 12 y 20 m, dado que rellenan un paleorelieve sometido a una intensa tectónica activa.

3.2.3 Formas poligénicas

Se incluyen en este grupo las formas cuya morfogénesis puede atribuirse a la acción simultánea o sucesiva de más de un proceso morfogenético. En este grupo se incluyen los piedemontes y las superficies de erosión que aparecen en la Hoja.

Es innegable la existencia en la Hoja de retazos de superficies de erosión, ya que en ocasiones pueden observarse los materiales geológicos, especialmente los que presentan estratificación, completamente biselados. Estas superficies de erosión son macroformas que afectan amplias zonas del SW de la Hoja.

La variabilidad altitudinal entre los diferentes retazos es también incuestionable, aunque el origen de dicha variabilidad no lo sea tanto. Esto puede deberse a distintas circunstancias que probablemente puedan haberse combinado: existencia de más de una superficie, deformaciones tectónicas posteriores a la elaboración de la/las

superficies (fracturas, basculamientos), desniveles previos importantes (existencia de un paleorrelieve) y evidentemente retoques erosivos posteriores.

Uno de los rasgos más característicos de la zona de estudio es la frecuente presencia de un manto de alteración que ha sido prácticamente desmantelado en diversas áreas mientras que en otras puede todavía reconocerse. Este rasgo hace sospechar en que las superficies de erosión que hemos considerado anteriormente puedan ser asimilables a lo que en la literatura se conoce como formas de corrosión química en este caso "llanuras de corrosión química" grabadas (del inglés *etchplains*) especialmente aquellas que afectan a un substrato de origen ígneo. Una llanura grabada es una superficie de erosión formada primeramente por una profunda intemperización o alteración y posteriormente, retrabajada por la erosión que habría evacuado el total o parte del material alterado para formar una superficie a un nivel inferior.

Los piedemontes constituyen la transición entre zonas elevadas, donde la erosión es el proceso predominante, y las áreas de bajo relieve, en las que imperan el transporte y sedimentación, como es el caso de los piedemontes situados al S de la Cordillera Septentrional y al N de la Central, en dirección al Valle del Yaque. Por tanto las morfologías que se generan en los pedimentos pueden ser de carácter erosivo o mixto como los glacis o claramente deposicional como los abanicos aluviales.

Los glacis y los abanicos aluviales pueden estar íntimamente relacionados por lo que a veces surge un problema para diferenciarlos aunque desde un punto de vista morfogenético los abanicos se incluyen claramente en el sistema fluvial. Un abanico puede convertirse en un glacis como consecuencia del descenso del nivel de base y un aumento de la erosión que provoca su degradación y, a su vez, este puede quedar fosilizado por aportes posteriores formando un claro abanico Gutierrez Elorza (2001). Se ha preferido describir diversos piedemontes que aparecen en la Hoja como glacis por diversas razones: en primer lugar para remarcar su origen poligénico; asimismo se ha tenido en cuenta que los glacis son propios de áreas con relieve poco contrastado, como es el caso, a diferencia de los abanicos, que son más abundantes en relieves enérgicos; el espesor del depósito suele ser inferior a 1/100 de la longitud de la forma y presenta las mayores potencias, al menos aparentemente, en las zonas más distales, características más propias de los glacis Bull (1977); por último el considerar la peculiaridad climática de esta zona semiárida y seca, entorno más típico de los glacis que de los abanicos aluviales. De todas formas la adscripción de estas formas a

abanicos aluviales de baja pendiente degradados también podría ser posible aunque por su descripción habría que incluirlos necesariamente en las formas poligénicas.

En esta Hoja, los glaciares ocupan una gran extensión, casi todo el cuadrante SE y, en dirección NW las dos vertientes hacia el Valle del Cibao. En algunas zonas, al norte del Licey, se encuentran degradados y la erosión ha marcado escarpes en sus bordes.

Otro depósito que se ha cartografiado es el aluvial – coluvial, acumulado frecuentemente en las zonas bajas de los valles y que proviene de procesos fluviales y gravitacionales. Es el caso del cauce del valle que bordea la Loma de Hatillo o el Valle del río Yasica, en el NE de la Hoja.

3.2.4 Formas por meteorización química

Se encuentran relacionadas principalmente con la intensa karstificación que afecta a los materiales carbonatados aflorantes en el NE de la Hoja. Puede considerarse que esta zona ha sido sujeta a aplanamiento cárstico y constituye una superficie de corrosión. Dichas áreas se manifiestan como un campo de dolinas, con abundantes formas de disolución de pequeña escala, con formas redondeadas o elipsoidales. En algunos casos, en los que la disolución es más evolucionada, se han formado dolinas capturadas.

3.2.5 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 la hoja existen depósitos antrópicos que presentan importancia en cuanto a sus contextos geológicos. Se trata de los diferentes vertederos de desechos ubicados en el sector NO de la hoja, al límite con la Hoja de San José de las Matas donde se extienden. Los vertederos de Rafey o de Cienfuegos son los más importantes de la comunidad urbana de Santiago. Se trata de basuras de origen doméstica o industrial depositadas en las canteras abandonadas de las areniscas de la Formación Mao o

terrazas altas del Río Yaque. El piso o subsuelo de estas canteras corresponde generalmente a las margas y siltitas de la Formación Gurabo. La mayoría de las canteras abandonadas en la periferia de la zona urbana están utilizadas como vertederos. Es el caso por ejemplo de las numerosas canteras de La Noriega y Arroyo Hondo al Sur de la Ciudad de Santiago.

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 (a). 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 aquélla 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 de las formaciones degradadas, al pie de sus escarpes y a ambos lados del valle de la Cañada de Mena o en las inmediaciones de la Zona de Falla Septentrional. En ocasiones, estos materiales gradan distalmente a depósitos de glacis moderno (g). En el resto de la Hoja están escasamente representados y se reconocen únicamente en laderas de relieves estructurales.

4.1.2 Lutitas, cantos y bloques. Deslizamientos (b). 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 de elevadas pendientes, favorecida además por la presencia de agua y la actividad sísmica.

Por lo general movilizan importantes volúmenes de bloques de tamaño hasta hectométrico de calizas, pudiendo englobar ciertas proporciones de cantos y gravas de areniscas de la Fm. Altamira en las masas deslizadas de la zona oriental.

En la Cordillera Septentrional al norte de Santiago el material deslizado está constituido por mega bloques y bloques de calizas coralinas de la Formación Villa Trina derrumbados del farallón que constituyen estas calizas más al Norte. La matriz de los bloques y mega bloques de color amarillento blanquecino esta constituida de arenas, margas y derrubios calcáreos de las facies margosas y conglomeráticas infrayacentes de las Formaciones Villa Trina y La Toca.

Los deslizamientos de Hundidera y Hatillo son masas constituidas de mega bloques y bloques de calizas micríticas coralinas de la Formación Mao Adentro en una matriz arcillo limosa constituida de limolitas y margas de la base de la Formación Mao Adentro.

Unidad Licey al Medio ya en pleno Valle del Cibao. De extensión decamétrica a hectométrica, ocurren en las arcillas expansivas saturadas por las lluvias y crecidas de los arroyos. El material muy plástico

Constituyen una de las principales manifestaciones de la dinámica actual, a pesar de que algunos de ellos pueden tener una larga historia, por lo que se asignan al Holoceno.

4.2 Formaciones fluviales y de escorrentía superficial

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

Aparecen principalmente entre el borde meridional de la Cordillera Septentrional, suavizando el desnivel hacia el río Yaque del Norte o hacia el Licey en el E de la Hoja. Están formados por materiales pertenecientes a la Cordillera Septentrional. En el caso del Yaque del Norte, los abanicos gradan a los depósitos de terraza baja.

Tanto los abanicos antiguos como los recientes están constituidos por una serie heterogénea de depósitos clásticos groseros, con predominio de los cuerpos conglomeráticos de bases canalizadas en las zonas apicales, entre los que intercalan cuerpos más arenosos y niveles más finos de limolitas y arcillas arenosas. Los conglomerados están constituidos por cantos y gravas redondeados de hasta 50 cm de centil, predominantemente de naturaleza calcárea aunque también son frecuentes

los de areniscas turbidíticas y rocas volcánicas, con facies desorganizadas o con gradación positiva poco marcada, presentando por lo general una abundante matriz arenoso-lutítica. Los 1,5-2 m superiores de los abanicos aluviales antiguos corresponden a una costra carbonatada (caliche) de tipo pulverulento, a diferencia de los abanicos recientes, que carecen de carbonataciones secundarias. Todas estas características permiten interpretar estas facies como pertenecientes a depósitos de abanico aluvial, existiendo una gradación de las facies de más gruesas a más finas según el desarrollo longitudinal de los abanicos.

Se atribuyen al Holoceno si bien los más antiguos podrían ser considerados de edad Pleistoceno.

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

La llanura de inundación del río Yaque del Norte está constituida por limo-arcillas entre los que se intercalan niveles de arenas y algunos escasos cantos y gravas. Dentro de la llanura se aprecian los antiguos cauces abandonados que temporalmente pueden permanecer inundados, originando lagos de *ox-bow* efímeros. De litología similar, muestran un mayor contenido lutítico y tonos oscuros dada la proporción de materia orgánica que contienen. Su espesor es difícil de determinar ante la ausencia de cortes, pero se estima que es de orden métrico a decamétrico, sin que, en razón de la intensa tectónica activa de la zona, pueda descartarse la posibilidad de potencias mucho mayores. El proceso de abandono de canales no se debe, al menos en la mayoría de los casos, a fenómenos de migración y captura de meandros, sino que se ha realizado de forma catastrófica por procesos de avulsión durante crecidas excepcionales, muchas de ellas muy recientes como lo demuestra el trazado del límite provincial entre Valverde y Santiago, que sigue los antiguos meandros, no los actuales.

4.2.3 Gravas, arenas y limos. Terrazas bajas (d). Holoceno

Se desarrollan en la cuenca del Yaque del Norte, que al igual que sus niveles altos y medios, están integradas por gravas polimícticas con cantos volcánicos y volcano-sedimentarios procedentes de la cordillera Central, con matriz arenosa de composición litarenítica y arcósica. En todos los casos están integradas por cantos redondeados de tamaños muy variables, con diámetros que pueden superar los 50 cm. Sus espesores, aunque muy variables, pueden aproximarse a 10 m.

Las terrazas bajas presentan un especial desarrollo en el Yaque del Norte. Su altura relativa respecto al curso no rebasa dentro de la hoja los 5 metros de desnivel, destacando la situada al Norte del Yaque por su escasa elevación respecto a la llanura aluvial, de apenas un metro. Al sur de Esperanza, en una pequeña mina que explota una de las numerosas pequeñas tejerías artesanales que aprovechan el material de las terrazas, se ha obtenido un corte con 7 m visibles. Sobre 3 m de arenas microconglomeráticas con gravas de naturaleza siliciclástica de 0,5-2 cm que presentan estratificación cruzada en surco y corresponden a facies de *point-bar*, se disponen 4 m de arcillas limoarenosas de tonos pardo-amarillentos, que constituyen una facies de llanura de inundación.

Las terrazas bajas de Río Ámina son constituidas de cantos polimicticos decimétricos a centimétricos de rocas intrusivas, metamórficas y volcánicas proviniendo directamente o indirectamente de la Cordillera Central o de las ocurrencias de esquistos de Ámina Maimón. Se encuentran ocasionalmente cantos de calizas coralinas. La matriz esta constituida de arenas gruesa no consolidadas. Se desarrollan en la parte Norte en Sui y desde Sui en la sección baja del cauce con unas secciones estrechas sin desarrollo de terrazas.

4.2.4 Gravass, arenas y limos. Terrazas altas (e). Pleistoceno

Están muy bien representadas en la cuenca del Yaque. Son depósitos residuales con varias decenas de elevación respecto al lecho del río, constituidos por gravas con un alto grado de cementación pudiéndose considerar conglomerados. Se encuentran descolgadas de la llanura aluvial mediante un escarpe.

Las terrazas altas están formadas por gravas más o menos consolidadas soportadas por la matriz constituidos por cantos redondeados e imbricados de naturaleza diversa: calizas, areniscas y rocas volcánicas. Su moda es de 5 cm y el centil de 10 cm. La matriz es limoarenosa rojiza. Presentan intercalaciones de hasta 1 m de arenas de grano medio a grueso. Tienen hasta 5-6 m de espesor visible, y localmente pueden estar afectadas por fallas con tectónica activa que las basculan.

En la Hoja de Esperanza han llegado a identificarse las terrazas medias, son de naturaleza más arenosa y están formadas por arenas con gravas de 3-5 cm, arenas con estratificaciones cruzadas planares y en surco y algunas intercalaciones

conglomeráticas. Presentan un espesor de hasta 15 m. Han sido objeto de algunas pequeñas explotaciones actualmente abandonadas o con un aprovechamiento intermitente de carácter artesanal.

En el Valle del Río Sui, las facies son de tipo coluvial aluvial mal clasificadas heterométricas. Los cantos son de orígenes muy diversos. Hay numerosos cantos subangulosos de esquistos y cuarzos de la Fm. Ámina Maimón. Los cantos de intrusivos, volcanitas y metavolcanitas de la Cordillera Central provienen de la erosión de los niveles conglomeráticos de la Fm Bulla o Fm. Cercado. Se notan también escasos cantos de calizas bioclásticos de La Fm Cercado. La matriz es muy reducida y el color es beige amarillenta.

En el río Ámina presentan una buena clasificación con niveles (30cm) bien individualizados en alternancias con niveles arenosos levemente consolidados por carbonatación. La composición de los clastos es de 90% de cantos de calizas provenientes de la cuenca de la Cañada de Mera y 10% de cantos de metavolcanitas transportados por el Río Ámina.

4.3 Formaciones por meteorización química

4.3.1 Arcillas de decalcificación. "Terra rosa". (j). Holoceno.

Son formaciones que aparecen en los fondos de dolina producto de la decalcificación. Los carbonatos han sido solubilizados y los minerales insolubles presentes en las calizas forman acumulaciones de arcillas llamadas "terras rosas".

4.4 Formaciones poligénicas

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

Estas formaciones superficiales cubren extensas áreas con suave pendiente, salpicadas por frecuentes resaltes rocosos de sustrato total o parcialmente rodeados por la formación superficial, en el caso de los más antiguos. 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. Los de mayor extensión están situados en zonas donde la menor resistencia a

la erosión de los materiales del sustrato ha permitido la excavación. Los más antiguos ocupan posiciones colgadas pudiéndose considerar plataformas residuales.

La composición litológica es variada. Los depósitos de los glaciares antiguos están constituidos por cantos y gravas principalmente de calizas micríticas y coralinas y alguno de areniscas calcáreas procedentes de la Formación Mao Adentro, con cuyos relieves están genéticamente ligados. El tamaño de clasto oscila entre una moda de 4 cm y un centil de 7 cm. Presentan una matriz de limos y arcillas arenosas, intercalando también localmente niveles limoarenosos de espesor métrico. El metro superior presenta una costra carbonatada de tipo pulverulento. El conjunto tiene unos 7-12 m de potencia.

Los glaciares recientes presentan litologías de limos y arcillas pardo-grisáceas, eventualmente con alguna grava dispersa. La ausencia de cortes impide evaluar su espesor, que en ningún caso debe superar los pocos metros.

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

Los depósitos mixtos de origen aluvial-coluvial recubren vertientes menos regularizadas que los glaciares. Se trata de depósitos con una extensión generalmente inferior a la de estos. 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 glaciares 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

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

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

Los márgenes septentrionales de la Cordillera Central muestran diversas superficies de erosión que afectan amplias zonas de la mitad meridional de la Hoja. Dicha superficie, una vez exhumada, sirvió de punto de partida para la progresiva instalación de la red fluvial actual, con toda probabilidad a lo largo de todo el Cuaternario. No se conoce con precisión la fecha de inicio de esta incisión aunque es, sin duda, posterior a la deposición de la serie neógena, a finales del Plioceno.

Es evidente que el balance erosivo se mantiene prácticamente hasta la actualidad con excepción del Valle del Yaque. Durante este periodo se generan los relieves estructurales por erosión diferencial de la serie neógena, como es el caso del grupo de plataformas estructurales de la Fm Villa Trina, en el NE de la Hoja, entre las más significativas. A partir de este momento, la evolución del relieve ha estado presidida por el comportamiento de la red de drenaje, con fuertes encajamientos en la zona montañosa. El encajamiento ha sido simultáneo con la meteorización y consiguiente argilización de los materiales del substrato volcánicos y sedimentarios, la arenización de cuerpos intrusivos, el retroceso de las vertientes con desarrollo de coluvionamientos y de movimientos en masa, así como con cambios de orientación de la red por adaptación a fracturas y contrastes litológicos.

Durante el lapso de tiempo entre el inicio de la incisión y la actualidad pueden reconocerse diversas etapas generalizadas de acreción y erosión, un mínimo de dos principales, tal como demuestran los diferentes niveles de terrazas, glacis y abanicos que pueden reconocerse.

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 cual 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 Santiago de los Caballeros existe una gran variedad en cuanto a la naturaleza de los procesos activos, habiéndose detectado diversos tipos de actividad: sísmica, tectónica activa, por procesos de erosión, inundación y sedimentación, y antrópica.

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 y instrumentales son parcos y no pueden considerarse definitivos.

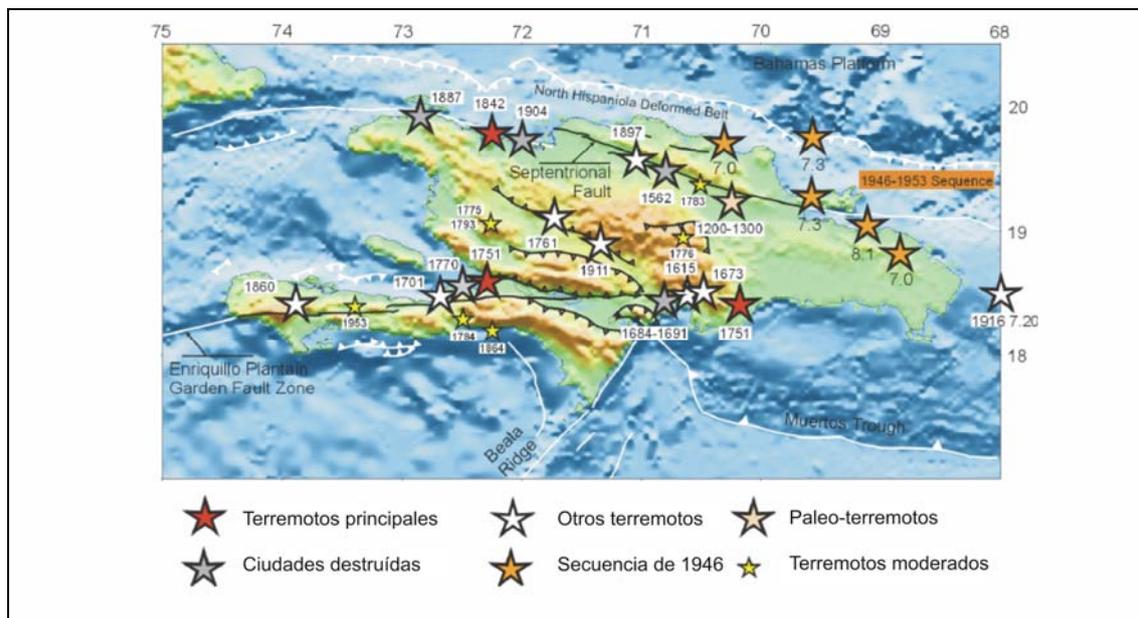


Fig. 6.1. Sismicidad histórica en La Española anterior a 1960 (En Calais, 2008)

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.

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 de Santiago de los Caballeros se han localizado 9 epicentros. Evidentemente debe considerarse este registro como poco representativo. Esta escasez de sismos no debe interpretarse de ningún modo como una falta de actividad sísmica sino más bien como una carencia en el registro. Cabe señalar asimismo que debido a la pobre calidad del registro las localizaciones epicentrales deben tomarse como meras aproximaciones ya que el error de posición es de orden kilométrico. La mayoría de los epicentros se sitúan sobre la Cordillera Septentrional.

El Valle del Cibao posee un registro histórico de importantes sismos que han afectado el ámbito del Cuadrante 1:100.000 de Santiago de los Caballeros (6074) entre los que se destacan los siguientes.

El 2 de diciembre de 1562 un fuerte terremoto destruye totalmente las ciudades de Santiago, La Vega y Puerto Plata. En los años 1775 y 1783 Santiago fue otras veces destruida.

El 7 de Mayo de 1842 ocurre otro sismo de intensidad IX (escala MSK) en toda la isla, que destruye Santiago y Cabo Haitiano, provocando un maremoto en la costa del Norte.

El 29 de diciembre de 1897, otro sismo de intensidad IX (escala MSK) destruye partes de Santiago y Guayubín, y provoca deslizamientos en las montañas al Norte de Santiago.

El 4 de Agosto del año 1946 ocurre un sismo de magnitud 7.9 (Richter) en el Océano Atlántico, al nordeste de la ciudad de Nagua que produjo daños en toda la costa oriental del país, afectando hasta las ciudades de Moca y Santiago.

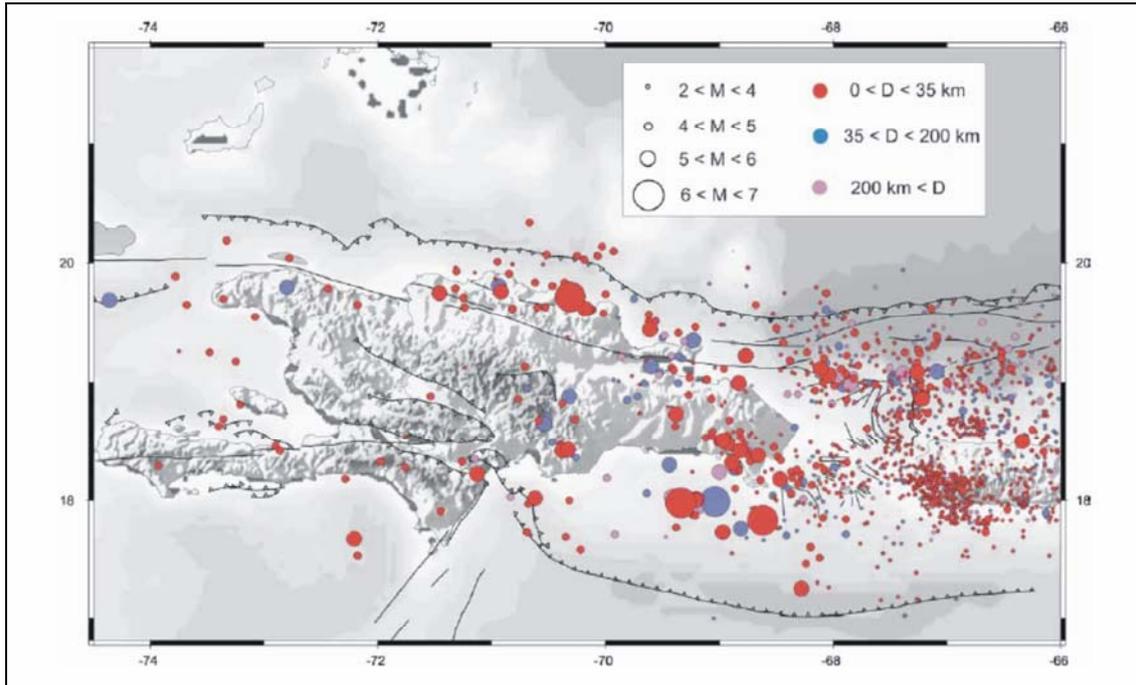


Fig. 6.2. Sismicidad instrumental de La Española (1972-2002). Catálogo NEIC-USGS (En Calais, 2008)

La conocida tectónica activa y sismicidad de la Cordillera Septentrional y del valle del Cibao tiene su primera referencia importante dentro del contexto del límite de placas, en el trabajo de Mann et al. (1984), y posteriormente, en algunos de los trabajos de Calais y colaboradores. Más recientemente, el Volumen Especial (Nº 326) editado en 1998 por la Sociedad Geológica Americana, Dolan et al. (1998) y la Penrose Conference de 1999 en Puerto Plata, Mann et al., (1999), suponen una completa puesta al día en esta materia.

Estos estudios se han visto reforzados por datos concretos del desplazamiento relativo entre las placas Caribeña y Norteamericana obtenidos mediante GPS, De Mets et al., (2000) los cuales, por otra parte han permitido constatar el movimiento diferencial de bloques o "microplacas" dentro de la propia isla, entre ellos el correspondiente a la propia Cordillera Septentrional (Mann et al., 2002).

Los sismos afectando Santiago y sus entornos se ubican principalmente al norte de la hoja, varios de ellos en el corredor de las fallas MFFZ y SFZ con profundidades estimadas de 95 a 64 km. Existe un grupo de tres epicentros en el Sur inmediato de Moca con magnitudes entre 4.5 y 3.2, a profundidades de 23 a 83 km. Cabe señalar la presencia de un grupo de sismos en la Cordillera Septentrional, entre

5.3 y 4 de magnitud con epicentros entre 9 y 60 km de profundidad. Uno de ellos ocurrió el 14 de diciembre 2007 a 9 km de profundidad bajo el Pueblo de Carlos Díaz, destruido por un deslizamiento el 11 de febrero 2009. Sin que la relación sea directa, estos sismos participan tal como la topografía, el contexto litológico e hidrogeológico a la destabilización mecánica de varias zonas en las laderas de la Cordillera Septentrional.

Es de interés señalar el terremoto que tuvo lugar el 22 de diciembre de 2003 en Tubagua, cerca de Puerto Plata. Alcanzó una magnitud de 6.5, creando cuantiosos daños en edificios en Puerto Plata y Santiago, y que tuvo 4 réplicas de magnitudes 4.5, 5.1, 4.4 y 4.8.

Sin embargo está en discusión la participación de la falla Septentrional en dicha sismicidad ni tan siquiera en la secuencia de terremotos históricos registrados en la región en los años 1564, 1783, 1842, 1887 y 1897, ya que las dataciones indican que su movimiento fue anterior (entre los años 1040 y 1230; Prentice et al., 1993; Dolan y Wald, 1998). Más bien al contrario dicha sismicidad parece que se relaciona principalmente con los movimientos generados a lo largo de la zona de subducción (oblicua) de la Placa Norteamericana y la plataforma de Las Bahamas bajo la Cordillera Septentrional y así lo confirman los mecanismos focales de tipo falla inversa o cabalgamiento de una serie de terremotos ocurridos en el norte de la isla entre 1943 y 1953 (Dolan et al., 1998; Mann et al., 1998; Dolan y Wald, 1998).

6.1.1 Paleosismicidad.

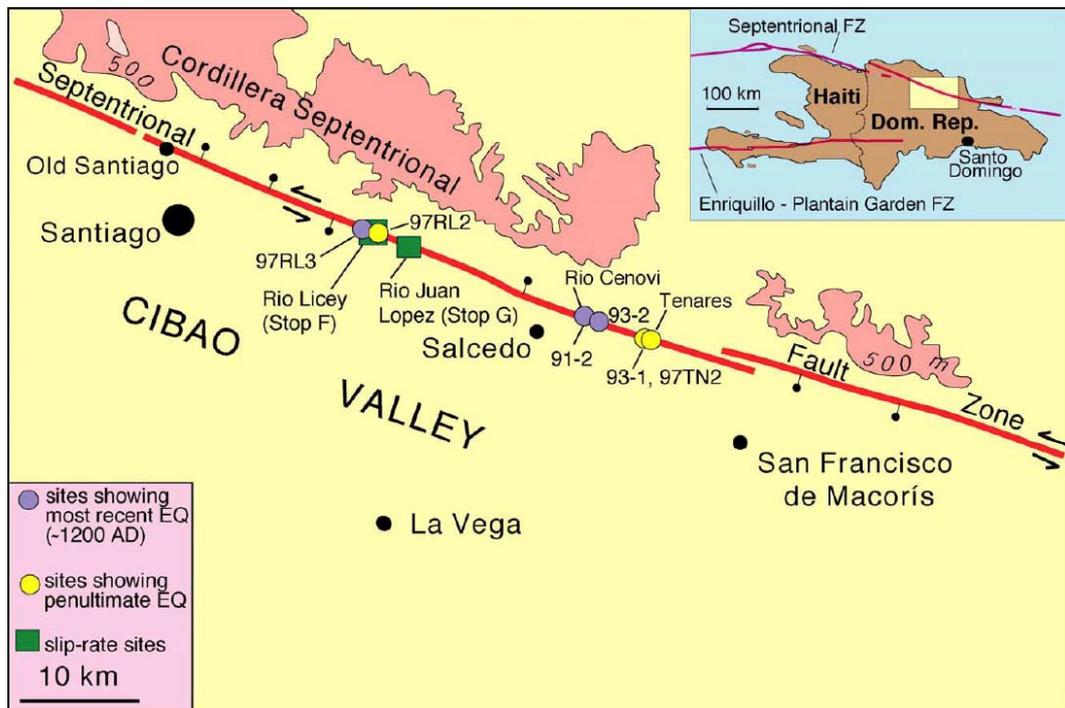


Fig. 6.3. Posición de los emplazamientos para el estudio de la paleosismicidad del ramal activo de la Falla Septentrional. (Modificado de Mann et al. 1998)

La Cordillera Septentrional y el valle del Cibao son zonas sísmicamente activas. Los estudios de paleosismicidad y observaciones geomorfológicas realizadas por Mann et al. (1998) han demostrado la actividad del segmento central de esta falla durante el Holoceno más reciente.

Varias trincheras (Calicatas) excavadas en sedimentos aluviales holocenos en cuatro localidades situadas a lo largo de 30 kilómetros de longitud de la traza activa, en el segmento central de la Zona de la Falla Septentrional, han revelado depósitos fallados y plegados que proporcionan evidencias de más de un evento o terremoto prehistórico afectando la Zona de la Falla Septentrional.

Las trincheras excavadas en las localidades de Ojo de Agua (río Cenovi), Salcedo (1991-1993) y Río Lincey, Tamboril, Santiago (1997), evidencian que la más reciente ruptura de la superficie, a lo largo del segmento central de la Zona de Falla Septentrional, ocurrió hace aproximadamente 800 años. Los resultados de los análisis de radiocarbono de las muestras recogidas datan este terremoto entre 1150-1230 A. Mann et al. (1998).

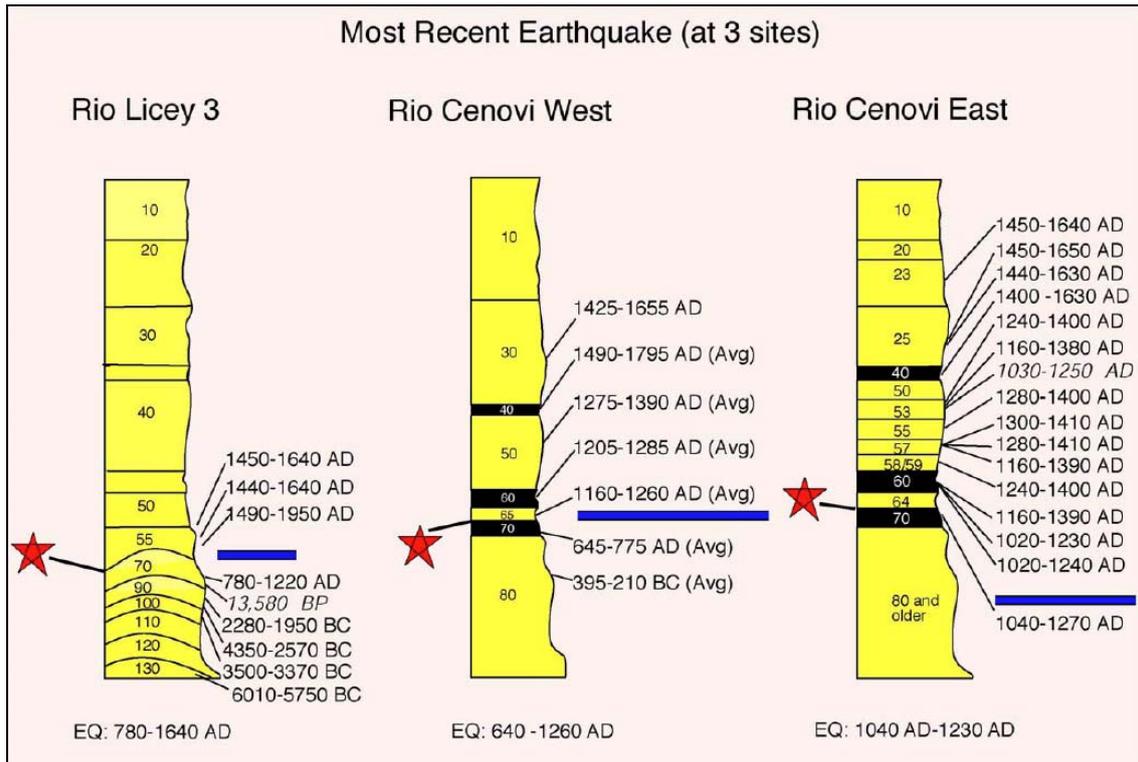


Fig. 6.4. Registros atribuidos a paleosismicidad en tres trincheras en el Valle del Cibao. Los estratos debajo del que ha sido marcado con una estrella han sido deformados mientras que aquellos situados por encima no presentan deformación (modificado de Prentice et al, 1993,1997). Las trincheras Cenovi W y Cenovi E también son conocidas como Ojo de Agua Oeste y Ojo de Agua Este.

Las trincheras excavadas en las localidades del Naranjo, Salcedo (1993-1997) y Río Licey, Tamboril, Santiago (1997) muestran depósitos fallados y plegados que registrarían el más reciente terremoto prehistórico de 1150-1230 A. C. y el penúltimo terremoto prehistórico que ha afectado este área.

La Sección transversal (lado oeste de la trinchera calicata) No. 2, excavada en Río Licey, Tamboril, Santiago, evidenciaría el terremoto prehistórico que ocurrió hace 800 años y el penúltimo que precedió a este. Una cuña de coluvión que se formó en respuesta al penúltimo evento ha sido fallada de nuevo durante el más reciente terremoto prehistórico al romper la superficie del terreno a lo largo de la zona de falla septentrional según Prentice et al, (1997).

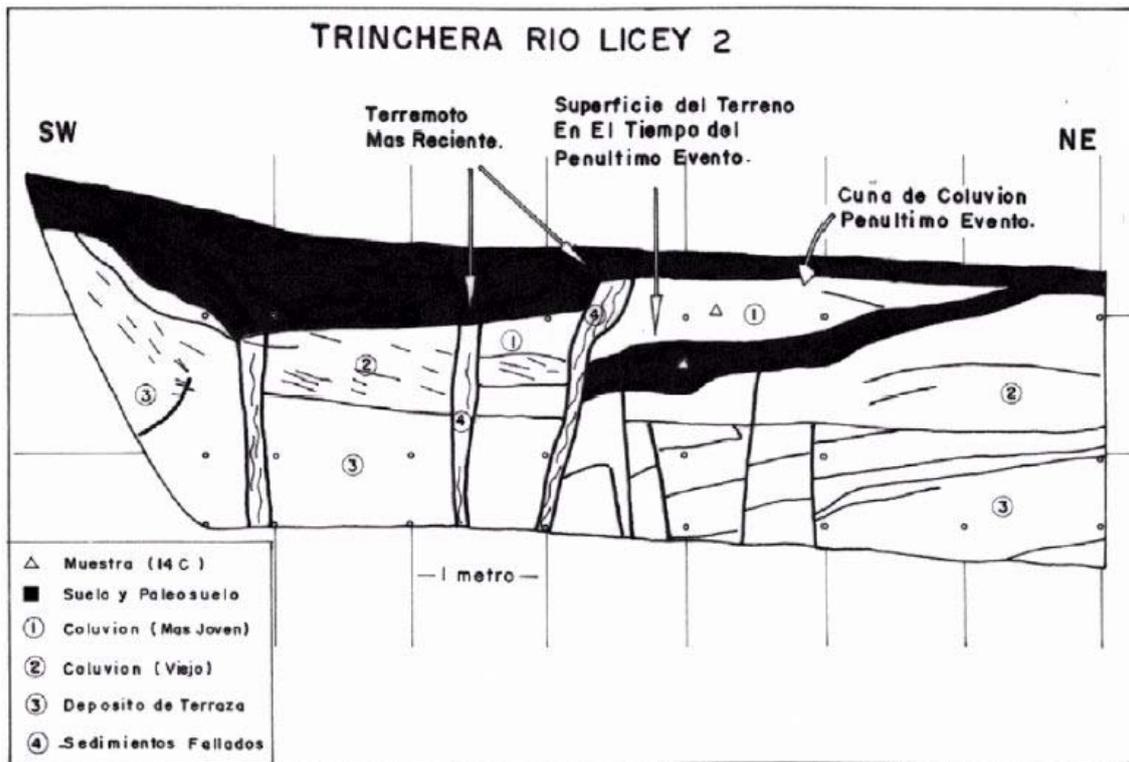


Fig. 6.5. Sección transversal (lado oeste de la trinchera calicata) No. 2, excavada en Río Licey, Tamboril, Santiago. Fuente: SYSMIN Prointec (1998).

En el marco del Programa de Desarrollo Geológico Minero (SYSMIN) en 1998 se excavaron diez trincheras en la parte occidental del Valle del Cibao, en los sedimentos holocénicos atravesados por el ramal activo de la zona de la Falla Septentrional. Las trincheras excavadas ofrecieron resultados en el área de la cuenca “pull apart” de Navarrete, así como también las excavaciones situadas al sur del Jaibón y suroeste de Hatillo Palma, en los sedimentos fluviales del Río Yaque del Norte.

Las investigaciones llevadas a cabo entre los años 1998 y 1999 consistieron en la identificación de los diferentes tramos de la Falla Septentrional en la parte occidental del Valle del Cibao, la realización de nuevas trincheras, descripción de las estratigrafías de detalle, muestreo para dataciones C14, expedición de las muestras a los laboratorios, elaboración de los resultados obtenidos e interpretación.

Los resultados indican dos eventos: uno prehistórico, que ocurrió en el 3590 – 2790 BP, y otro histórico, que ocurrió después del 540 BP relacionados con la Falla Septentrional en la parte occidental del Valle del Cibao.

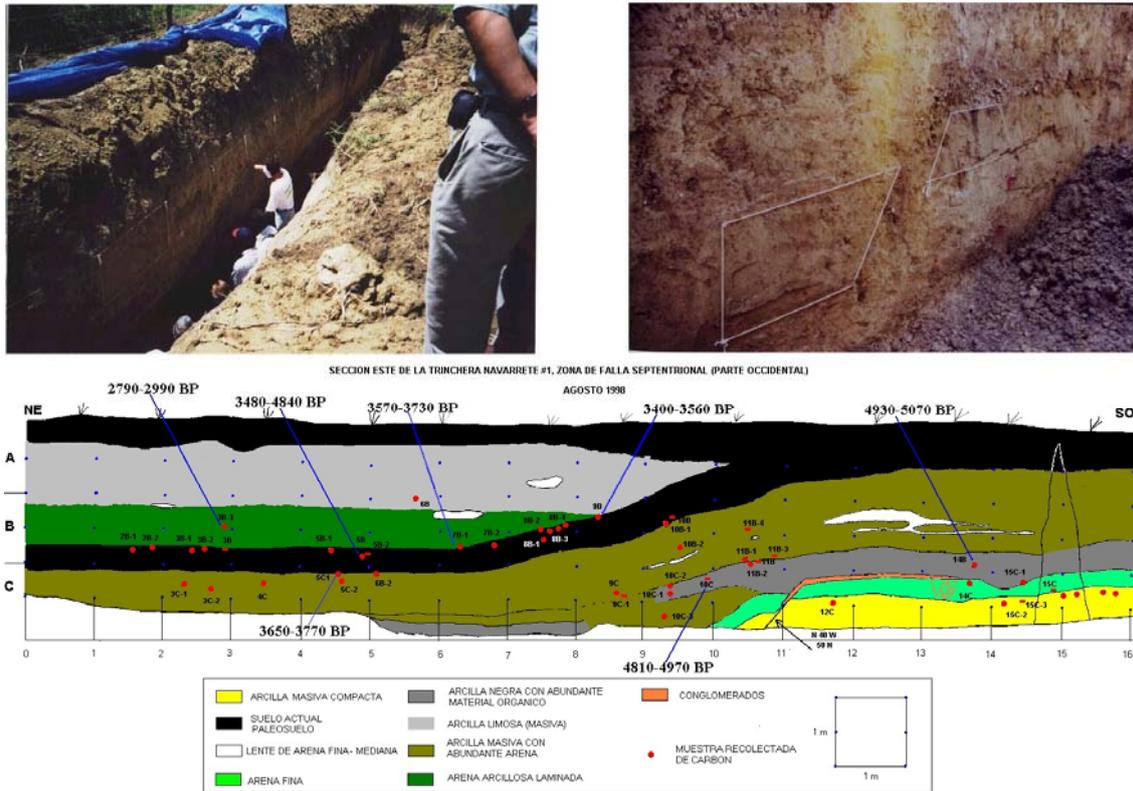


Fig. 6.6. Sección transversal No. 2, excavada en Navarrete. Se observa que cuando el paleosuelo localizado en esta trinchera ocupaba la parte superficial del terreno ocurrió un evento (3570-2790 BP) que deformó este área, formando una cuenca que posteriormente fue rellenada por el suelo actual.

Según los resultados de este estudio un evento prehistórico con edades comprendidas entre (3570-2790 BP) está asociado a las últimas deformaciones observadas a lo largo de la traza activa de la Zona de Falla Septentrional, segmento Navarrete-Villa Vásquez. Este evento podría significar el antepenúltimo evento prehistórico y, por consiguiente sugiere una posible recurrencia de grandes sismos a través de los segmentos activos de la Falla Septentrional en períodos aproximados de mil años (terremoto reciente de 1150-1230 AD, penúltimo después de 30 AD y antepenúltimo 3590-2790 BP).

Los datos de las trincheras Hatillo Palma, excavadas en los sedimentos holocénicos que cubren el posible ramal sur de la bifurcación propuesta de la Zona de Falla Septentrional en el área de Jaibón, indican que ha ocurrido un evento reciente entre el 540 BP y hoy día, con lo que estos resultados ponen de evidencia que uno de los eventos históricos, posiblemente el de 1842 ó 1897, que según Scherer (1912), y

Chalas Jiménez (1989), afectaron fuertemente el noroeste de la isla, sea el responsable de la deformación y licuefacción observada en estas trincheras.

Los estudios paleosísmicos 1993-1998, junto a la sismicidad histórica e instrumental, ponen de relieve la larga tranquilidad de la Zona de Falla Septentrional en su segmento central en el Valle del Cibao, ya que en este segmento no se encontraron deformaciones relacionadas con los eventos históricos. También se pone de manifiesto que la parte occidental presenta una situación dual, la ocurrencia de un evento prehistórico (2590-2740 BP) responsable de la deformación y fallamiento del segmento Navarrete-Villa Vásquez, y la traslación de la actividad más reciente hacia la parte sur en el segmento Jaibón-Guayubín-Manzanillo-Norte de la costa Norte de Haití, con la detección de un evento histórico (de 540 BP hasta nuestros días) responsable de la deformación y licuefacción observada en las trincheras Hatillo Palma.

6.1.2 Licuefacción.

En el Valle del Cibao se han descrito diversas generaciones de estructuras de escape de fluidos, y diques clásticos afectando sedimentos cuaternarios lo que indicaría procesos de licuefacción recurrentes. Tuttle et al (2003).

En las descripciones históricas de los terremotos de 1642, 1842, 1897 y 1946 se describen fenómenos de grietas o fisuras de suelos, hundimiento de edificios, subsidencias de suelos. Scherer (1912) señala apariciones de manantiales en las cercanías de Santiago durante el terremoto de 1842.

Las trincheras excavadas durante el anterior proyecto SYSMIN (1998) en los sedimentos fluviales del Río Yaque del Norte (Cauce Viejo), cuatro kilómetros aproximadamente al Suroeste del poblado de Hatillo Palma se ubican en sedimentos fluviales holocénicos del Río Yaque del Norte. Estas trincheras muestran una zona bastante deformada, truncada por pequeñas estructuras de licuefacción (dique de arena fina).

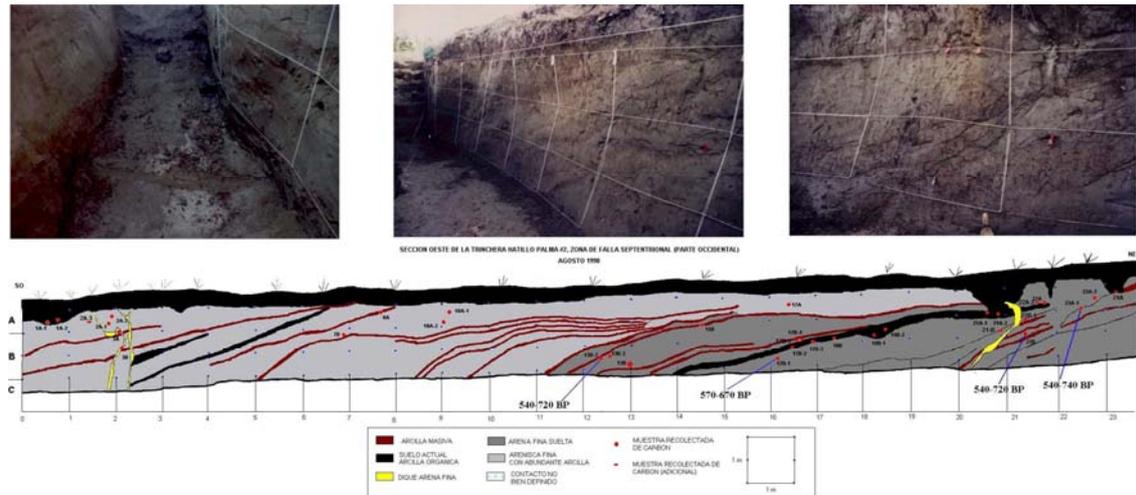


Fig. 6.7. Las dataciones de la trincheras de Hatillo Palma indican de una manera clara que las deformaciones de los sedimentos y la intrusión en ellas por estructuras de licuefacción están relacionadas con uno de los eventos históricos, que ha ocurrido entre 540 BP y el momento actual. Fuente: PROYECTO SYSMIN (PROINTEC, 1998).

6.2 Tectónica activa

En una región donde la tectónica activa es evidente, sorprende que las formas originadas por ella sean menos de las previsibles. Probablemente, esto es debido a la elevada velocidad de erosión y de la densa cubierta vegetal, factores que sin duda enmascaran rápidamente algunas de dichas formas, como los escarpes producidos por las fallas. Sin embargo, existen diversos indicios muy claros de tectónica activa en la zona de Falla Septentrional, donde se encuentran facetas de escarpe y escarpes de falla. En el borde de la Cordillera Septentrional también se han localizado fallas con sus facetas de escarpe asociadas, aunque son de menor envergadura que en el caso de la Cordillera Septentrional.

También la red fluvial muestra indicios de tectónica activa, siendo los más perceptibles su incisión y pendiente anómalas por exceso, además de las capturas, rasgo que se evidencia más en las fracturas de la Cordillera Central, donde la incisión sigue la dirección de la falla.

Estos indicios probarían la existencia de fallas activas y capaces en este sector. 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 la Hoja predominan las fallas en dirección, con orientación NO-SE y E-O, destacando las que marcan el límite entre la Cordillera Septentrional y el Valle del Cibao. Su carácter rectilíneo y neto, sugiere su carácter activo.

La Falla Septentrional es la más representativa en el ámbito de la hoja. De hecho representa un segmento de una gran falla transformante que limita por el norte, el surco de Caimán. Pese a que la Falla Septentrional, se identifica con el límite entre la Cordillera y la Cuenca del Cibao, en realidad su traza activa actual no coincide con el frente montañoso (Mann et al., 1998).

En el sector comprendido entre Santiago y San Francisco de Macorís la traza activa se localiza en el interior de la Cuenca del Cibao, desplazada unos centenares de metros respecto al frente montañoso. Más hacia el oeste, la falla Septentrional se segmenta en diferentes ramales que parecen más activos en dirección sur. Así, utilizando la misma nomenclatura de Mann et al., (1998), la falla que este autor identifica con el frente montañoso discurre muy al norte por el interior de la cordillera y es prácticamente inactiva. Al sur de ésta se reconocen, ya dentro de los materiales de la cuenca, las fallas de Montecristi y Villa Vazquez, por este orden, con una traza muy neta que refleja una actividad si no actual, sí al menos relativamente reciente (Cuadrante geomorfológico de la Isabela). Por último, los citados autores proponen que el ramal activo de la falla Septentrional discurre por el interior de la cuenca del Cibao semioculta por los depósitos cuaternarios y con un trazado poco definido que pasa aproximadamente al sur de Navarrete, Esperanza y Villa Vázquez y se prolonga hacia el oeste hasta alcanzar la costa por algún punto situado al norte de la localidad de Pepillo Salcedo (Cuadrante geomorfológico de Monte Cristi).

Desde el meridiano de San Francisco de Macorís hacia el este, la falla Septentrional tiene una traza relativamente neta que limita por el sur el macizo metamórfico de Río San Juan y continúa a través de los depósitos cuaternarios de la llanura del río Yuna, hasta enlazar con la falla que forma el límite septentrional de la bahía de Samaná (Edgar, 1991).

6.2.1 Movimientos horizontales

La ausencia de marcadores regionales impide un cálculo riguroso de los desplazamientos laterales, relativos o absolutos, producidos a favor de la falla Septentrional; aún así, algunos autores han realizado algunas estimaciones a partir de

correlaciones diversas. Por ejemplo, Eberle et al., (1982) justifican un desplazamiento superior a 100 km a partir de la correlación de depósitos aluviales auríferos; y Erikson et al., (1998), deducen un desplazamiento posterior al Mioceno entre 55 y 125 km mediante la correlación de cuencas productoras de ámbar. A mayor escala, Pindell y Barret (1990) sugieren que la falla Septentrional ha debido acomodar una parte de los más de 400 km de desplazamiento lateral (siniestro) ocurrido entre Cuba y La Española a partir del Mioceno inferior. Más recientemente, los estudios estratigráficos y sedimentológicos realizados en el contexto del actual proyecto sobre las Fms Cevicos/Villa Trina y Los Haitises han permitido precisar la paleogeografía de estas formaciones y a partir de ella se deduce un desplazamiento de unos 200 kms a favor de la falla Septentrional para explicar la distribución de sus facies (Braga, 2010).

En la parte central del Valle del Cibao, en dos emplazamientos Río Licey, Tamboril, Santiago y Río Juan López, Moca existe desplazamiento de terrazas fluviales a ambos lados de la falla. Este sugiere la cantidad y velocidad máxima de desplazamiento de la Zona de Falla Septentrional. Estas dos terrazas están desplazadas en sentido levógiro (desplazamiento lateral izquierdo), por la Zona de Falla Septentrional por distancias de 60 y 40 metros. La velocidad promedio de desplazamiento indican una tasa de 6-12 mm/año. (Prentice, 2003) que es consecuente con los índices de movimiento obtenidos con los datos de G.P.S. $12,8 \pm 2,5$ mm/año (Calais, et al. 2002).

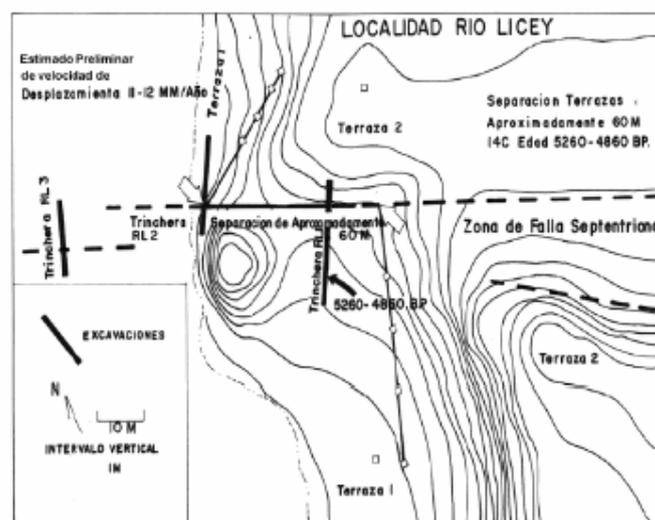


Fig. 6.8. Desplazamiento de terrazas fluviales en la parte central del Valle del Cibao en el emplazamiento de Río Licey, Tamboril, Santiago (Modificado de Prentice et al 1997, Datos preliminares presentados en la reunión anual de la Sociedad Geológica de América. Utah, 1997)

6.2.2 Falla Septentrional (SFZ), traza activa actual.

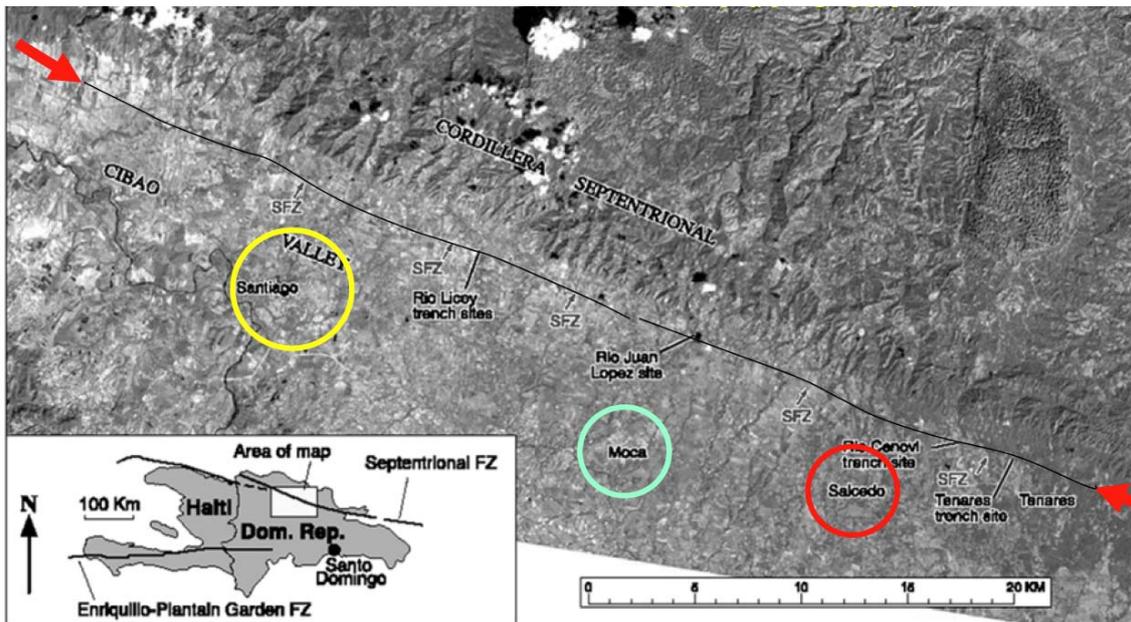


Fig. 6.9. Falla septentrional SFZ – Situación del ramal activo de la Falla Septentrional. (modofocada de Mann et al., 1998)

Este tramo activo de la Falla Septentrional si bien no tiene una representación espectacular en la topografía presenta características morfológicas significativas.

En la Ermita, al Sur de Tamboril, un escarpe de falla buzando hacia el norte presenta el lado Sur elevado de 10 m.



Fig. 6.10. Falla septentrional SFZ - Vista panorámica hacia el Este del escarpe de la Falla SFZ en el glacis de baja pendiente de La Ermita en Tamboril. (Original de Pol Urien)

El material desplazado corresponde a un glacis o abanico de baja pendiente. Mann et al. (1998) describen en detalle este sitio integrándolo con otras observaciones a lo largo del ramo activo de la Falla Septentrional. Hacia el Este, el escarpe se extiende en más de 4 km hasta Canca Abajo. Al pie del escarpe, se alargan pantanos

y ciénagas, con acumulación de vegetación y materias orgánicas. Al Oeste de La Ermita, el escarpe desaparece, pero la traza de falla sigue marcada por la zona pantanosa que se extiende hasta la periferia Norte de la ciudad de Santiago. Más al Oeste, el escarpe reaparece al Norte de la hoja, en el sitio de Santiago Viejo en Jacagua.

Las fallas paralelas al tramo principal o ligeramente oblicuas hacen resaltar en superficie las arcillas de Licey al Medio de bajo de los vertisuelos negros y aparecen frecuentemente subrayadas por zonas húmedas o manantiales.

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

Las elevadas pendientes existentes en la Cordillera Septentrional han originado depósitos de origen gravitacional. Se han formado gran cantidad de deslizamientos, quedando marcadas sus cicatrices de despegue. También se han formado, aunque con menor importancia, a los pies de la Cordillera Central, área que queda reducida a una cubierta de coluviones en las inmediaciones de la llanura de inundación de la Cañada de Mena, en el W de la Hoja, así como la presencia de varios deslizamientos. La actividad de carácter gravitacional es mucho menor en la Cordillera Central.

Esta región históricamente ha registrado la ocurrencia de deslizamientos según datos anteriormente conocidos. El caso de la población de Carlos Díaz sirve como ejemplo. El poblado de Carlos Díaz sección del municipio de Tamboril, se ubica a unos 6 km de este, en la provincia de Santiago de los Caballeros. El área afectada comprende el poblado y sus alrededores hasta las proximidades de Los Amaceyes ocupando una superficie aproximada de 5,5 km². Un informe del año 1981 tras la ocurrencia de una vaguada estacionaria se reactivó uno de los deslizamientos provocando daños a la vía que comunica a Carlos Díaz con Los Amaceyes, Posteriormente en el año 2005 se produjeron lluvias intensas que activaron una vez más el deslizamiento.

La oficina ONESVIE de Santiago de los Caballeros habían informado de los daños y afectaciones que estaban sufriendo algunas infraestructuras en el área avisando de esta forma la posible ocurrencia de un evento de esta categoría. Se reportaron daños fundamentalmente en la escuela y en algunas viviendas del área.

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 llanura aluvial del Yaque del Norte, 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 Yaque, va acompañada por frecuentes erosiones laterales del cauce causadas por su geometría meandriforme, no plasmadas cartográficamente por problemas de representación.

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, lacustre, antrópica y, en general, con cualquier tipo de proceso generador de áreas deprimidas susceptibles de ser inundadas o recibir aportes sedimentarios.

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.

También son susceptibles de aparecer como áreas inundadas las depresiones de origen kárstico de la Cordillera Septentrional, en el caso de lluvias extraordinarias en las que la precipitación supera la capacidad de infiltración, hecho más frecuente en aquellas revestidas por un importante depósito de descalcificación.

El Río Yaque del Norte merece una especial atención. La cuenca hidrográfica del río Yaque del Norte es la de mayor extensión (6,964 km²) en la República Dominicana y la segunda en el orden poblacional.

Su caudal máximo medio anual es de 389.87 m³/seg, y el promedio de caudales máximos anuales es de 695.5 m³/seg, 885.22 m³/seg, 951.42 m³/seg, 1175.09 m³/seg, y 1,429.4 m³/seg para periodos de retorno de 10, 20, 25, 50, y 100 años, respectivamente (PNORHI, 1994).

En la cuenca del río Yaque del Norte se han desarrollados varios proyectos hidráulicos (presas y embalses) que permiten la laminación de avenidas hasta cierto periodo de retorno (de 1 en 300 o 500 años), pero no son suficientes para el caso de avenidas como las provocadas por los huracanes David y Georges y la tormenta Federico.

Históricamente, el río Yaque del Norte sufre importantes inundaciones, principalmente en su parte baja, afectando zonas de gran potencial agrícola y comunidades, así como también sus líneas vitales.

Para tener un conocimiento preciso y veraz de las inundaciones que se producen en la cuenca del río Yaque del Norte se ha elaborado recientemente un catálogo con todas las acontecidas entre los años 1968 y 2008 en el marco del proyecto *“Mapa de riesgo hidrogeológico en la cuenca del río Yaque del Norte”* (2008). Aunque conscientes de la importancia histórica de las mismas, el proyecto centra el período de análisis en un período de 40 años, al existir una mejor y más detallada información. Sólo se han analizado las inundaciones producidas por factores climáticos. Aquellas otras ocasionadas por factores geomorfológicos (obstrucción de cauces por procesos de vertiente, características litológicas de la cuenca), factores

hidrológicos (rotura de márgenes por dinámica fluvial, morfología del sector inundable), o humanos (incorrecto manejo o rotura de presas, deforestación, obstrucción de cauces por vertederos u obras de infraestructura, falta de limpieza...), no se han computado ante una generalizada falta de información a este respecto. Dicho catálogo se ha realizado a partir del análisis de todas las publicaciones ya existentes que han recopilado información referente a inundaciones y otros desastres naturales en la República Dominicana, si bien sólo se han computado aquellos casos de inundación en los que se ha visto afectada la cuenca del río Yaque, bien de forma exclusiva o bien de forma conjunta con otros territorios de la isla. Situaciones meteorológicas extremas que han podido ocasionar graves daños en otras regiones del país, no se han incluido en el catálogo.

El catálogo considera un total de 149 episodios para la totalidad de la cuenca del Yaque lo que da una media aproximada (3,72) de 4 eventos de inundación al año.

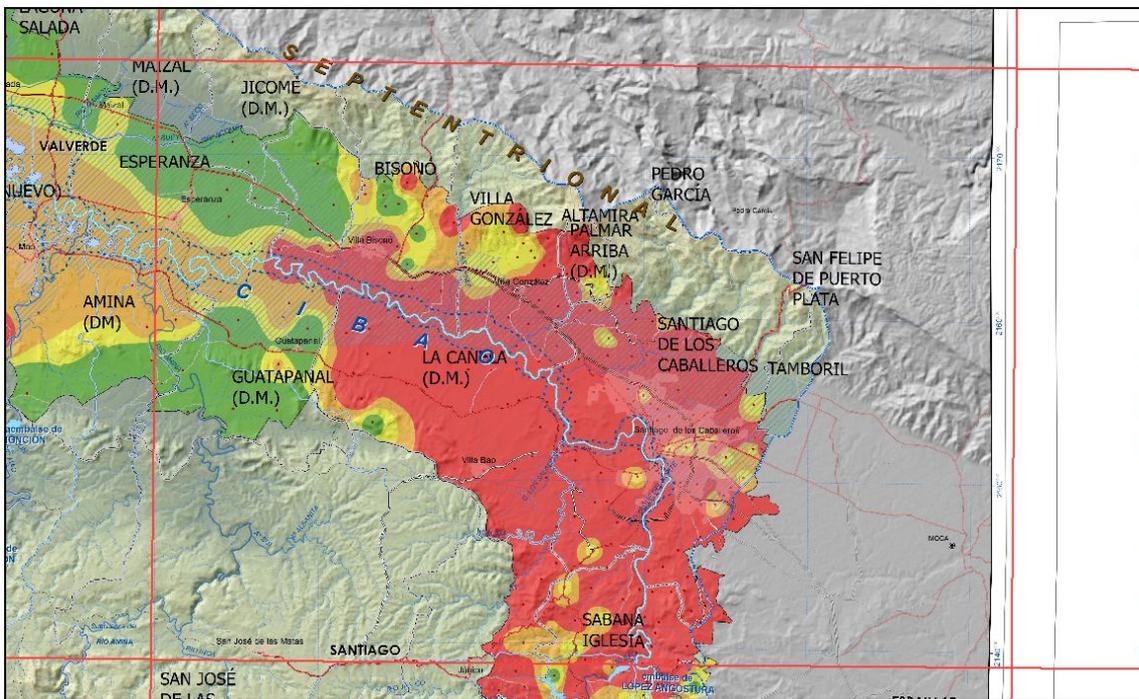


Fig. 6.11. Fragmento del Mapa de Peligrosidad o Amenaza de inundación en la cuenca del Yaque Norte en el ámbito del Cuadrante 1:100.000 (6074) Santiago de los Caballeros (Fuente: NATRISK, 2009)

Las crecidas de Río Yaque y de sus afluentes (Arroyos Pastor, Zalaya, Babosico, Tabique, Hondo, Nibaje, La Noriega, Pontezuela y Nibaje) son peligrosas para la ciudad de Santiago debido al encajamiento del cauce del Río Yaque, sin llanura de inundación al nivel del puente hermanos Patiño en Bella Vista. Las inundaciones ocurren en temporadas de tormentas tropicales de agosto a Noviembre. En 2007 las tormentas Olga y Noel provocaron una pluviosidad importante y continúa desde el 29 de octubre (Noel) al 12 de diciembre (Olga) en todo el Valle del Cibao. El 12 de diciembre el desagüe preventivo de la presa de Tavera en el cauce superior del Río Yaque provocó una inundación de toda la parte baja de cauce del Río Yaque, particularmente arriba del Puente Hermanos Patiño. La urbanización de las cuencas de los tributarios del Río Yaque participa a aumentar la velocidad del flujo de aguas. La explotación intensiva y extensiva de las formaciones arenosas porosas de la Formación Mao en los sectores de Arroyo Hondo y La Noriega contribuyen a disminuir el potencial de retención de agua del substrato y exponen la superficie de las margas y siltitas de la Formación Gurabo que constituyen una pantalla impermeable favoreciendo la escorrentía superficial.

Las inundaciones del Río Licey ocurren en temporada ciclónica, favorecidas por los deslizamientos importantes de las arcillas expansivas saturadas en agua, que tapan el curso del mismo río, provocando inundación y erosión fuerte de las riberas. Las inundaciones son de amplitud reducida, pero frecuentes a lo largo de la red hidrográfica encajonada en las arcillas de Licey al Medio y dañan a varias estructuras, como los puentes.

6.7 Actividad asociada a litologías especiales

Se desarrolla principalmente en relación con los procesos kársticos que afectan a las calizas micríticas y calizas arrecifales de la Fm Villa Trina en las áreas montañosas. Su principal reflejo son las dolinas, en algunas zonas agrupadas como auténticos campos de dolinas, y los campos de lapices. La intensidad de los procesos de disolución en algunas de estas áreas invita a tener en cuenta los posibles procesos de colapso derivados.

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.
- BULL, W.B. (1977)** The alluvial fan environment. *Progress in Physical Geography*, 1, 222-270.
- CALAIS, E. (2008).** Risque Sismique en Haïti: Fondements Scientifiques et Nature du Risque. Conferencia de Puerto Príncipe.
- CALAIS, E., MAZABRAUD, Y, MERCIER DE LÉPINAY, B., MANN, P., MATTIOLI, G. Y JANSMA, P. (2002):** Strain partitioning and fault slip rates in the northeastern Caribbean from GPS measurements. *Geophysical Research Letters*, v.106, 6, 1-8.
- CÁMARA MINERA PETROLERA DE LA REP. DOMINICANA (2005):** Desastres naturales y emergencias. Conferencia presentada en el Seminario Internacional. 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.
- CHALAS-JIMENEZ, J. A., (1989),** Probabilidad de un sismo catastrofico en la Republica Dominicana: Historia sismica, prediccion, y magnitudes esperadas: *Revista Geofisica (Instituto de Geografia e Historia)*, v. 31, p. 185.
- 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 METS, C., JANSMA P., MATTIOLI, G., DIXON, T., FARINA, F., BILHAM, R., CALAIS, E., MANN, P., (2000).** GPS geodetic constraints on Caribbean-North America plate motion, *Geophys. Res. Lett.*, 27, 437-440.
- DOLAN, J.F., MULLINS, H.T. & WALD, D.J., (1998).** Active tectonics of the northcentral Caribbean: oblique collision, strain partitioning, and opposing subducted slabs, in *Active Strike-slip and Collisional Tectonics of the Northern Caribbean Plate Boundary Zone*, Vol. 326, pp. 1–62,

- DOLAN, J.F. & WALD, D.J., (1998).** The 1943–1953 north-central Caribbean earthquakes: active tectonic setting, seismic hazards, and implications for Caribbean-North America plate motions, in *Active Strike-slip and Collisional Tectonics of the Northern Caribbean Plate Boundary Zone*, Vol. 326, pp. 143–170,
- DOLAN, J.F., MANN, P. (Eds) (1998).** *Active Strike-Slip and Collisional Tectonics of the Northern Caribbean Plate Boundary Zone*. Geological Society of America Special Paper 326, 174 p.
- DOLAN, J.F., MANN, P., De ZOETEN, R., HEUBECK, C., SHIROMA, J., MONECHI, S., (1991).** Sedimentologic, stratigraphic, and tectonic synthesis of Eocene-Miocene sedimentary basins, Hispaniola and Puerto Rico. En P. Mann, G. Draper, J.F. Lewis, (eds.). *Geologic and tectonic development of the North America-Caribbean plate boundary in Hispaniola*. Geological Society of America Special Paper 262, 217-263.
- DRAPER, P., LEWIS J.F., (1991)** *Geologic and tectonic development of the North America-Caribbean plate boundary in Hispaniola*. Boulder, Colorado, Geological Society of America Special Paper 262.
- EBERLE W., HIRDES W., MUFF R., PELAEZ M. (1982)** : The geology of the Cordillera Septentrional (Dominican Republic). 9a Conferencia Geologica Del Caribe. Santo Domingo, República Dominicana. Memorias, vol 2, p. 619-629.
- EDGAR, (1991).** Structure and geologic development of the Cibao Valley, northern Española. *Special Paper Geological Society of America*, 262, p. 281-299.
- ERIKSON, J. P., PINDELL, J. L., KARNER, G. D., SONDER, L. J., FULLER, E. Y. & DENT, L., (1998).** Neogene Sedimentation and Tectonics in the Cibao Basin and Northern Española: An Example of Basin Evolution near a Strike-Slip-Dominated Plate Boundary. *Journal of Geology*, 106, p. 473-494.
- GONZALEZ DE VALLEJO (1980).** Fallas activas y sus implicaciones en la ingeniería. *Bol. Soc. Geol. Perú*.
- GUTIERREZ ELORZA, M. (2001)** Los piedemontes de las regiones áridas: glaciares y abanicos aluviales. En: *Geomorfología Climática*. Ediciones Omega. pp 295-322.
- MANN P., PRENTICE C.S., BURR G., PENA L.R., TAYLOR F.W. (1998)** : Tectonic geomorphology and paleoseismology of the Septentrional fault system,

Dominican Republic. In Dolan J.F. and Mann P., eds., Active strike-slip and collisional tectonics of the Northern Caribbean plate boundary zone, Geological Society of America Special Paper 326, p. 63-124.

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: 311-324.

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

MANN, P., GRINDLAY, N.R. & DOLAN, J.F., (1999). Penrose conference report: subduction to strike-slip transition on plate boundaries, GSA Today, 9, 14–16.

NATRISK (2009) Mapa de riesgo hidrogeológico de la Cuenca del río Yaque. República Dominicana. Natural Risk Research Group. Univ. De Valladolid. PNUD. Proyecto 00050116 “Unidad de Coordinación Técnica del Programa de Prevención y Preparación Ante Desastres”.

PINDELL, J.L. & BARRET, S.F., (1990). Geology of the Caribbean region: a plate tectonic perspective. En: Dengo G. and Case J. E. eds. The Geology of North America, Volumen H, The Caribbean region, Geological Society of America, Boulder, Colorado. p. 404-432.

PNORHI (1994) Plan Nacional de Ordenamiento de los Recursos Hidráulicos. INDRHI. Rep. Dominicana.

PRENTICE , C.S., (2003). Slip rate and earthquake recurrence along the central Septentrional fault, North American-Caribbean plate boundary, Dominican Republic, J. geophys. Res., 108, doi:10.129/ 2001JB000442.

PRENTICE, C.S., MANN, P., TAYLOR, F. W., BURR, G., VALASTRO, S. (1993). Paleoseismicity of the North American-Caribbean plate boundary (Septentrional fault), Dominican Republic, Geology, 21, 49–52.

PROINTEC, (1998). Resumen de estudios paleosísmicos realizados en la zona de la falla septentrional y sugerencias de nuevas excavaciones. Proyecto D: Prevención de Riesgos Geológicos (Riesgos Sísmicos). Programa de Desarrollo Geológico Minero (SYSMIN). Convención LOME IV.

SCHERER, J. (1912). Great Earthquakes in the island of Haiti, Bull. Seism.Soc. Am.2, 161-180.

TUTTLE, M. P.; PRENTICE, C. S. DYER-WILLIAMS, K. ; PEÑA, L. R. ; BURR, G,
(2003) Late Holocene Liquefaction Features in the Dominican Republic A
Powerful Tool for Earthquake Hazard Assessment in the Northeastern
Caribbean. Bull. Seismological. Soc. Of America, Vol. 93, 1, pp. 27-46.

WESSON R.L.; HELLEY E.J.; LAJOIE K.R.; WENTWORTH C.M. (1975) : Faults and
future earthquakes, in. Borchardt, R.D., ed., Studies for seismic zonation of the
San Francisco Bay region.