



MEMORIA DE LOS TRABAJOS DE CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA

PROYECTO: ESTUDIO DE LA AMENAZA SÍSMICA Y LA VULNERABILIDAD FÍSICA DEL GRAN SANTO DOMINGO

Santiago de Compostela, 15 de diciembre de 2015

Jefe del Proyecto designado por el IGME: Miguel Llorente Isidro

CORREO ELECTRÓNICO

igme@igme.es

RÍOS ROSAS, 23
28003 - MADRID
TELÉFONO: 91 349 57 00
FAX: 91 442 62 16



ÍNDICE

Antecedentes.....	3
Experiencias previas	4
Marco legal e Instrumentos de la República Dominicana.....	6
Definición del problema	6
Objetivos del proyecto.....	8
Zona de estudio.....	8
Descripción técnica de la campaña.....	10
Memoria geológica.....	15
Estratigrafía	15
Cenozoico (Plioceno-Pleistoceno).....	15
Cuaternario (Holoceno)	25
Tectónica	32
Geomorfología.....	34
Referencias	41
ANEXO I – Afloramientos.....	43
ANEXO II – Modelos digitales del terreno.....	44
ANEXO III – Cartografía geológica	45

Antecedentes

La Española es una isla que se encuentra ubicada en el borde de la interacción entre las placas tectónicas de Norte América y del Caribe, provocando que toda ella, y particularmente las zonas situadas en las regiones afectadas por las fallas Septentrional y Enriquillo (Figura 1), se encuentre expuesta a un elevado peligro sísmico. En la República Dominicana, la historia registra movimientos sísmicos de importancia y con afectación a las poblaciones en los años 1562, 1615, 1673, 1691, 1775, 1842, 1843, 1887, 1946, 1953 y 2003; siendo el más significativo el ocurrido en 1946. Este sismo, cuya magnitud fue de 8.1 grados, generó un tsunami con oleajes de hasta 5 metros, el cual se propagó de este a oeste, afectando toda la costa norte y dejando alrededor de 500 muertos. Otros desastres relevantes como consecuencia de estos eventos fueron la destrucción de las ciudades de La Vega, Santiago, y en gran medida, Santo Domingo, Azua, entre otras más.

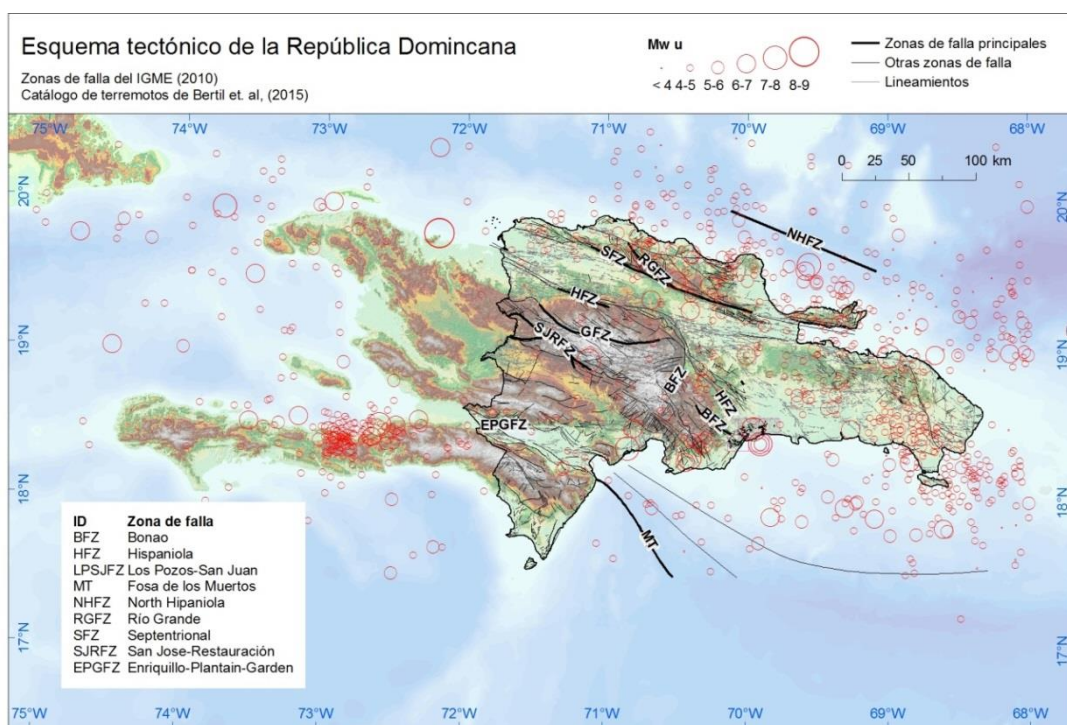


Figura 1. Principales zonas de fallas en República Dominicana.

A lo largo de los últimos años, las principales ciudades de la República Dominicana han experimentado un crecimiento urbano acelerado e incontrolable con tendencia a la construcción de edificaciones sin normas técnicas adecuadas. Esto se hace más evidente en los distritos más pobres, donde la edificación de vivienda nueva o ampliación de viviendas ya construidas es realizada por maestros constructores que, en la mayoría de los casos, no adoptan códigos de sismo-resistencia ni aplican las consideraciones mínimas de seguridad para este tipo de estructuras. Hasta marzo de 2011, el sector de la

construcción ha estado regulado por un código creado en el año 1979, cuyas recomendaciones no fueron elaboradas con todos los requerimientos mínimos que necesitan las edificaciones para resistirlos movimientos sísmicos.

Dada la necesidad de conocer en mayor profundidad la amenaza que representa la sismicidad en el territorio y de abordar la situación sobre la alta concentración de vulnerabilidades sociales y urbanas de las principales ciudades, es preciso promover iniciativas que incrementen el conocimiento y la evaluación del riesgo sísmico, así como también, medidas y/o mecanismos que garanticen el cumplimiento de las normas sismorresistentes y un adecuado proceso de planificación urbana y ordenamiento territorial. En tal sentido, y con arreglo al contexto de riesgo sísmico en la República Dominicana, se pueden mencionar cuatro importantes medidas a tomar en consideración:

1. La elaboración de estudios de microzonificación sísmica en las áreas geográficas donde residen las principales ciudades del país. Estos instrumentos asisten a autoridades locales, ingenieros y arquitectos, y expertos en el ordenamiento del territorio, en la identificación de las zonas expuestas a la amenaza sísmica, promoviendo la disposición de medidas para reducir la vulnerabilidad de los elementos sometidos a riesgo: personas, viviendas y edificaciones, estructuras críticas, y el medio natural.
2. La elaboración de estudios de vulnerabilidad física dentro de las áreas urbanas más expuestas a la amenaza sísmica. El propósito es contar con un inventario de elementos de riesgo a partir del cual se realicen estimaciones de daños y pérdidas en base a sismos tipo, para así poder planificar medidas de rediseño y reforzamiento de estructuras en base al código de sismo resistencia vigente.
3. El fortalecimiento de capacidades de los gobiernos locales y las instituciones nacionales involucradas en la generación del conocimiento geocientífico, la reducción de la vulnerabilidad física, la regulación del sector de la construcción, el ordenamiento del territorio, y la respuesta a emergencias y/o desastres.
4. La promoción de medidas de sensibilización dirigidas al sector público y privado, especialmente al sector de la construcción, y a la población en general, en pos de generar una cultura de prevención frente al riesgo sísmico. Sumado a esto, es importante incorporar acciones de formación en cuanto al diseño y construcción de estructuras en base al actual código de sismo resistencia.

Experiencias previas

Como consecuencia del terremoto de Haití en enero de 2010, la reducción del riesgo sísmico cobró una mayor relevancia en la agenda del gobierno dominicano. Una



iniciativa importante en la generación de conocimiento geocientífico fue el estudio de microzonificación sísmica de la ciudad de Santiago de los Caballeros en 2010. Este estudio fue llevado a cabo dentro de uno de los componentes del SYSMIN II (Cartografía Geotemática), y financiado por la Unión Europea en el marco del 9º Fondo Europeo de Desarrollo (FED), cuyo periodo de ejecución fue de 2005 a 2010.

Otros de los resultados importantes que se lograron a través del SYSMIN II fueron la constitución y organización del Servicio Geológico Nacional (SGN), creado de acuerdo a la Ley 50-2010 y adscrito al Ministerio de Economía, Planificación y Desarrollo (MEPYD); la instalación de una red geocientífica accesible desde Internet; y la elaboración del mapa geológico nacional, el cual tiene como cobertura todo el territorio de República Dominicana a escala 1/50.000.

Entre las acciones realizadas para conocer la vulnerabilidad física de las edificaciones del país, la Oficina Nacional de Evaluación Sísmica y Vulnerabilidad de Infraestructura y Edificaciones (ONESVIE) registra un total de 5,000 escuelas y 220 hospitales evaluados hasta el año 2009, ampliando para el periodo 2010-2012 sus evaluaciones a complejos municipales, provinciales y regionales, edificios gubernamentales y privados, e instituciones policiales y de respuesta de emergencia (Defensa Civil, Cuerpo de Bomberos, entre otros) .

Recientemente, en el marco de las actividades del “Programa Hospitales Seguros Ante Desastres” se han logrado evaluar 33 hospitales priorizados de importancia a nivel nacional. Estas acciones han sido coordinadas por el Ministerio de Salud Pública y la Organización Panamericana de la Salud (OPS/OMS). Sumado a estas iniciativas, existen avances en la realización de actividades de capacitación para ingenieros y arquitectos en acciones antisísmicas, especialmente orientadas a la formación de evaluadores de estructuras y edificaciones.

La obligatoriedad del nuevo código de sismo resistencia en el país, “Reglamento para el Análisis y Diseño Sísmico de Estructuras” vigente desde marzo de 2011, bajo el Decreto No. 201-11, representa un importante avance normativo y técnico que garantiza la seguridad humana a través del diseño y construcción de nuevas edificaciones según los criterios propios basados en las condiciones geológicas y sismogénicas del país. Emitido por la Dirección General de Reglamentos y Sistemas (DGRS), Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones (MOPC), este reglamento sustituye y actualiza las recomendaciones mencionadas en el instrumento “Recomendaciones Provisionales para el Análisis Sísmico de Estructuras” de 1979.

Otros considerables aportes que han promovido la reducción del riesgo sísmico en el país son las distintas iniciativas llevadas a cabo en el marco del VIII Plan de Acción DIPECHO Caribe 2011-2012, las cuales tuvieron como beneficiarios un número



importante de municipios y comunidades ubicadas en las provincias de Barahona, San Pedro de Macorís, Santiago y Puerto Plata. Estas acciones tuvieron como propósito, principalmente, el fortalecimiento de capacidades locales a nivel institucional y comunitario para la adopción de medidas de preparación y respuesta frente a eventos sísmicos.

Marco legal e Instrumentos de la República Dominicana

Bajo el marco normativo de la Ley 147-02 sobre Gestión de Riesgos, promulgado en el año 2002, el país cuenta como una Política de Gestión de Riesgos cuyo instrumento principal es el Sistema Nacional de Prevención, Mitigación y Respuesta ante Desastres (SN-PMR). Sumado a esto, el Reglamento No 874-09 de aplicación de la Ley 147-02 establece la conformación de los comités provinciales y municipales de prevención, mitigación y respuesta, así como su funcionamiento y responsabilidades dentro del SN-PMR.

Otro de los instrumentos de la Política de Gestión de Riesgos definida en la Ley 147-02 es el Plan Nacional de Gestión de Riesgos cuya versión actualizada fue presentada en febrero de 2012. El proceso de actualización fue liderado por el Comité Técnico Nacional de Prevención y Mitigación de Riesgos (CTNPMR) y financiado por la AECID, contando con la participación de distintos actores institucionales y de la sociedad civil. Adicionalmente, el Plan Nacional de Contingencia para Terremotos representa una importante herramienta orientada a la prevención de daños ante la ocurrencia de un eventual fenómeno sísmico. Este Plan fue elaborado por el Centro de Operaciones de Emergencias (COE) en conjunto con el Comando Sur de los Estados Unidos en el año 2009.

Dada la situación de riesgo sísmico a la que se enfrenta la República Dominicana, por iniciativa del gobierno nacional y con la asistencia técnica del PNUD se formuló y presentó el Plan Nacional para la Reducción del Riesgo Sísmico (PNRSS) en febrero de 2012. Este Plan se incorpora dentro de los procesos institucionales ya iniciados en el marco de la aplicación de la Política de Gestión de Riesgos. Así mismo, se vincula con el Plan Nacional de Gestión de Riesgos y el Plan Nacional de Emergencias debido a su carácter complementario y articulador respecto a los procesos de reducción integral del riesgo en el territorio.

Definición del problema

El Gran Santo Domingo está conformado por los municipios de las provincias de Santo Domingo y San Cristóbal, incluido el Distrito Nacional, concentra más de la tercera parte de la población de República Dominicana, un total de 3.909.340 habitantes según el censo del año 2010, de los cuales 48.85% son hombres (1.910.057) y 51.15% mujeres



(1.999.283). Este número importante de personas se encuentran en riesgo de ser afectadas por la ocurrencia de cualquier evento sísmico considerable, principalmente por el estado y calidad de las construcciones, las cuales en su gran mayoría no han sido construidas según el código de sismo resistencia vigente y fueron diseñadas sin contar con estudios geotécnicos que determinan las zonas aptas para el desarrollo urbano y ordenamiento del territorio.

El Distrito Nacional alberga la mayor parte de las edificaciones gubernamentales tales como la sede de la Presidencia de la República, las sedes ministeriales y oficinas de gobierno. Así mismo, dentro de su área geográfica se encuentran la mayoría de hospitales, universidades, escuelas, infraestructuras, líneas vitales, y centros de decisión de organismos de Defensa Civil y militar. Un considerable agravante es que gran parte de estas edificaciones fueron construidas entre los años 60 y 70, antes del instrumento “Recomendaciones Provisionales para el Análisis Sísmico de Estructuras” de 1979, y son pocas las estructuras que han pasado por un proceso de evaluación, rediseño y reforzamiento.

En base a la experiencia de Puerto Príncipe tras el terremoto de Haití en 2010, se ha puesto de manifiesto que el colapso físico de las estructuras de gobierno incide directamente en los procesos de gobernabilidad, respuesta y recuperación de desastres a nivel de país. Dado esto, es necesario considerar prioritario el conocimiento de las características, condiciones y capacidades estructurales de las edificaciones gubernamentales más fundamentales, así como de otras instalaciones estratégicas, y de los edificios que afecten potencialmente a muchos ciudadanos. Sumado a esto, las instituciones que orientan y regulan el tema de la construcción, cuentan con escasos mecanismos y capacidades para el control y supervisión de los proyectos.

Ante los posibles escenarios de pérdidas que afrontaría la ciudad de Santo Domingo, dada la situación de riesgo que posee, es prioritario fortalecer las capacidades de los ayuntamientos en cuanto a la regulación y gestión del planeamiento urbano, uso del suelo, y edificación de su territorio a través de la apropiación de instrumentos geotécnicos y normativos. Así mismo, es preciso fortalecer las estructuras locales de preparación y respuesta, las cuales están representadas por los comités municipales de prevención, mitigación y respuesta (CM-PMR), en coordinación con las instancias nacionales de respuesta.

Por otro lado, es imperante mejorar las capacidades y sinergias de las instituciones a nivel nacional a través de la creación de instrumentos y metodologías, formación de recursos humanos y técnicos, equipamiento y coordinación, orientadas a la generación de conocimiento geocientífico, evaluación y reducción de la vulnerabilidad de estructuras, regulación del sector de la construcción formal e informal, procesos de gestión de riesgos y respuesta, y la planificación urbana y ordenamiento del territorio.

Finalmente, en base al escaso conocimiento de la población dominicana sobre el riesgo sísmico y a una débil cultura de prevención a nivel institucional y social, es necesario promover acciones de formación y sensibilización en el sector público y privado, (particularmente en el sector de la construcción) y a la población en general.

Objetivos del proyecto

El objetivo general del proyecto es responder a las necesidades del gobierno dominicano en materia de peligrosidad sísmica en el ámbito del área metropolitana del Gran Santo Domingo. Para lograrlo, es necesario realizar algunas tareas previas, entre ellas, la cartografía geológica, de la que es objeto de esta memoria.

Zona de estudio

El área de interés para el proyecto es de aproximadamente 261 km², de los cuales, 100 km² han sido priorizados y los 161 km² restantes han sido tratados como secundarios.

En particular, las superficies a estudiar cubren la siguiente extensión por municipios:

1. Distrito Nacional: 87 km²
2. San Cristóbal: 12 km²
3. Bajos de Haina: 10 km²
4. San Gregorio de Nigua: 2 km²
5. Santo Domingo Este: 68 km²
6. Santo Domingo Oeste 33 km²
7. Santo Domingo Norte 33 km²
8. Los Alcarrizos: 16 km²

Estas extensiones aproximadas están calculadas sobre la base cartográfica NAD27 UTM19N en ArcGIS 9.3.

Se ha realizado un trabajo de síntesis geológica a escala 1/50.000 (unión de las cuatro hojas geológicas correspondientes), y sobre esta cartografía se ha señalado como zona de trabajo un área preliminar de unos 380 km², que se ha utilizado como referencia para establecer los distritos estudiados (Figura 2).

Del ámbito de estudio señalado se dispone de unos 417 sondeos geotécnicos de investigación previos y se han realizado 63 sondeos nuevos para el proyecto cuya documentación se recoge en otro documento del proyecto.

REPÚBLICA DOMINICANA. GEOLOGÍA DEL ÁREA DE SANTO DOMINGO
 ESCALA 1:50.000

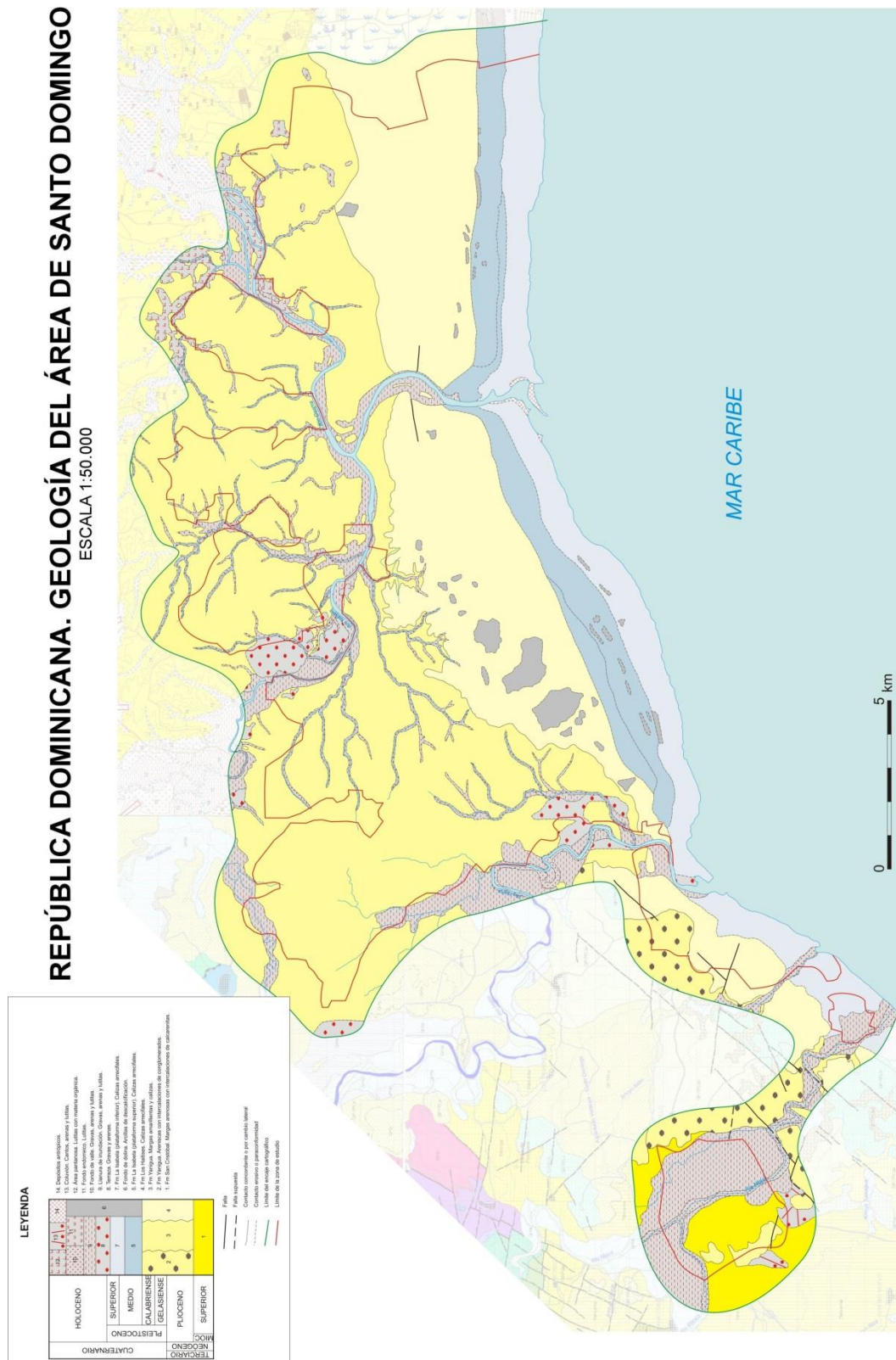


Figura 2. Mapa Geológico síntesis de la zona de estudio.



Figura 3. Leyenda del mapa geológico.

Descripción técnica de la campaña

En este apartado se incluye la descripción de la campaña realizada, las características técnicas y otra información relevante para la obtención de la cartografía geológica.

El equipo de trabajo ha estado formado por los siguientes técnicos: José Alberto Díaz de Neira, cuyo trabajo de unión de la cartografía geológica preliminar y supervisión de la cartografía final ha resultado imprescindible para la consecución de los trabajos; D. Félix Cañadas García-Baquero, geólogo colegiado número 5319, con la interpretación geotécnica, testificación y supervisión de los trabajos de investigación con recuperación continua de testigo por sondeo a rotación con corona de diamantes; D^a Ana M. Plata González, geóloga colegiada número 5698, en el Sistema de Información Geográfica; y con D. José Félix Palomino Cabrero, colegiado número 3679, para la caracterización de afloramientos. En la parte geofísica, marco del BRGM, han participado los siguientes especialistas: D. François Bretaudeau, D^a Myriam Belvaux y D. Julio Bautista.

Desde un punto de vista técnico, la cartografía geológica elaborada tiene una clara orientación al propósito del proyecto, la microzonificación sísmica, por lo que persigue reflejar del modo más riguroso posible los límites de las formaciones geológicas predominantes en sentido estricto, así como identificar claramente aspectos de la geología más propios de la geomorfología o de las formaciones superficiales, cuya significancia sísmica hace que se les preste especial atención.

La zona cartografiada, a escala 1/25.000 y 1/10.000, abarca unos 380 km², en su mayor parte correspondientes al área urbana de Santo Domingo, así como los municipios colindantes de la provincia de San Cristóbal (San Gregorio de Nigua, Bajos de Haina y San Cristóbal), que conforman el denominado Gran Santo Domingo con una superficie total 500 km² y una población aproximada de 3,9 millones de habitantes.

Para la elaboración del mapa geológico se ha tenido en cuenta la cartografía 1/50.000 elaborada en fases previas del proyecto, que a su vez representa una síntesis y homogeneización de las hojas geológicas del proyecto SYSMIN. Al objeto de mejorar la escala de la cartografía para acomodarla a las necesidades del proyecto, se han utilizado las siguientes fuentes de información:

- a) Información gráfica digital (no se incluye en esta memoria por tratarse de información cuya distribución no ha sido expresamente autorizada):
 - 696 fotogramas aéreos verticales estereoscópicos. Esta información procede del Servicio Geográfico Nacional de la República Dominicana. Esta información fue digitalizada y parcialmente georreferenciada por el IGME y el SGN. 643 fotogramas son a escala 1/10.000 aproximadamente, y el resto, 53 fotogramas, a escala 1/30.000 aproximadamente. Las fotografías fueron digitalizadas y posteriormente georreferenciados para facilitar su aprovechamiento.
 - 1.286 ortoimágenes multiespectrales a 10 cm de resolución facilitadas por el Servicio Geológico Nacional (tomadas en el año 2012).
 - 34 ortoimágenes multiespectrales a 50 cm de resolución obtenidas para el proyecto (año 2015).
 - 39 ortoimágenes pancromáticas a 50 cm de resolución obtenidas para el proyecto (año 2015).
- b) Información del subsuelo (no se incluye en esta memoria por tratarse de información ya recogida para el proyecto en otros documentos):
 - 417 sondeos geomecánicos con recuperación de testigo continuo procedente de diversas actuaciones en el Gran Santo Domingo recopilados para el proyecto por el Servicio Geológico Nacional.
 - 63 sondeos geomecánicos con recuperación de testigo continuo realizados para el proyecto.
- c) Información numérica digital (no se incluye en esta memoria por tratarse de información cuya distribución no ha sido expresamente autorizada). Estos

modelos digitales de elevaciones se han obtenido mediante un sensor láser aerotransportado (LIDAR) con diferentes especificaciones técnicas:

- 992 modelos matriciales de elevaciones naturales del terreno a 0,5 m de resolución para las áreas urbanas, facilitado por el SGN (de fecha 2012).
- 332 modelos matriciales de elevaciones naturales del terreno a 1 m de resolución para las áreas rurales, facilitado por el SGN (de fecha 2012).
- Un modelo matricial de elevaciones naturales del terreno a 1m de resolución obtenido para el proyecto de la zona de San Cristóbal (fecha 2015).

La información numérica digital de elevaciones naturales del terreno ha sido procesada para la construcción de un único modelo matricial continuo y homogéneo (MDE) de la zona de estudio a 1m de resolución.

- d) Información de campo (ver Anexo I): 599 afloramientos levantados para el proyecto durante la campaña realizada al efecto. Los afloramientos naturales en esta área no son numerosos, sin embargo, debido a las excavaciones de obras, nivelación de terrenos y actividades urbanísticas en general se han podido identificar un total de 599 afloramientos cuyas fotografías y descripciones se incluyen en Anexo I. La descripción de los afloramientos incluye la ubicación en WGS84 UTM 19N, no obstante, en algunos casos, se trata de observaciones extremadamente efímeras por la intensa actividad constructiva desarrollada de la ciudad, permaneciendo la roca sana visible unos pocos días. En la descripción del afloramiento se identifican las características litológicas del mismo, las unidades geológicas a las que corresponde y otros datos según resulta conveniente.

Para la delineación a la escala del proyecto de las distintas unidades (formaciones geológicas o unidades superficiales o geomorfológicas) se han tomado como referencia las descripciones y los límites de la cartografía geológica de las hojas 6171 II, 6271 III y 6271 IV, obtenidas en el marco de los proyectos de cartografía geotemática desarrollados en los programas SYSMIN ([IGME, 2010](#)). Los límites de las distintas unidades han sido variados en su totalidad para asegurar la coherencia de los mismos con la información morfológica disponible, el modelo numérico del terreno obtenido mediante LIDAR y procesado para formar una única matriz (MDE). Adicionalmente se han generado modelos numéricos derivados del MDE que han contribuido a una delineación más fina, advirtiéndose características que no pudieron haberse detectado con anterioridad debido a la falta de datos del nivel de detalle aquí señalados. En particular se han obtenido los siguientes modelos numéricos:

1. Modelo digital de simulación del relieve o de sombras (MDS). Este modelo se ha utilizado para la interpretación rápida de la morfología de la zona de estudio.
2. Modelo digital del gradiente hipsométrico natural del terreno (o de pendientes naturales, MDP), expresado en grados (g) o en porcentaje (p). Este modelo se ha utilizado para la identificación de regiones texturales, así como para ayudar en la interpretación de la persistencia de resaltos del terreno.
3. Modelo digital de orientación de vertientes (MDO). Este modelo se ha utilizado como elemento preliminar de análisis hidrológico.
4. Modelo digital de elevaciones garantizando continuidad teórica de dirección de flujo hidrológico superficial (MDE_filled). Este modelo se ha utilizado para la obtención de los modelos de áreas endorreicas, modelo de direcciones de flujo y direcciones acumuladas.
5. Modelo digital de isobatas endorreicas (Endorr). Se ha utilizado como referencia para la delineación de dolinas y zonas endorreicas.
6. Modelo digital de dirección de flujo teórico (MDF). Este modelo se ha utilizado como herramienta preliminar para la obtención de una red de drenaje teórica.
7. Modelo digital de flujo acumulado (MDFA). Este modelo se obtiene para la delineación de la red de drenaje teórica mediante operaciones de reclasificación en función del tamaño de la cuenca vertiente teórica.
8. Modelo de red de drenaje teórica a diferentes tamaños de cuenca vertiente (MDNetXha; siendo X la indicación en hectáreas de la cuenca vertiente). Este modelo se ha utilizado para la interpretación del patrón de drenaje y redes de fracturación.
9. Modelo digital de curvatura (MDC). Este modelo se ha utilizado para evaluar la consistencia del modelo.

Adicionalmente se ha contado con información batimétrica de alta resolución de una franja costera (MDB) con 1m de pixel.

La utilización combinada de los distintos modelos numéricos, imágenes, información del terreno (subterránea y de superficie) junto con la documentación de la cartografía preliminar, ha permitido la obtención de la cartografía geológica del proyecto.

A efectos de representación, se ha dividido la zona de estudio en cuatro hojas desalineadas como medida de ahorro, sin que se produzcan solapes, lo que permite una optimización del espacio representable a escala 1/25.000 aunque los datos del sistema



de información geográfica utilizado son válidos a escala 1/10.000. Se ha representado en la cartografía geológica parte de la información geofísica (campanas HV y MSAW), donde se etiquetan algunos puntos con el nombre de la zona (por lo que no todos los puntos llevan etiqueta asociada).

Finalmente, los mapas que acompañan a esta memoria son (divididos en cuatro hojas): mapa geológico, mapa de red hidrográfica teórica, modelo de curvatura, modelo de endorreísmos, modelo de orientación de vertientes, modelo de pendientes, y modelo hipsométrico. En total suman 32 mapas representados a escala 1/25. 000.

Memoria geológica

Estratigrafía

En la zona de trabajo afloran materiales pliocenos y cuaternarios, que constituyen dos conjuntos netamente diferenciados. Los materiales pliocenos y pleistocenos, configuran la morfoestructura de la zona; se trata de rocas sedimentarias de origen marino cuya disposición es el resultado de la acción combinada de la tendencia ascendente de la región y de las pulsaciones eustáticas. Los materiales cuaternarios, holocenos predominantemente, se disponen de manera discontinua sobre los anteriores y responden a un espectro genético variado, que incluye depósitos de origen kárstico, marino-litoral, fluvial y antrópico.

Cenozoico (Plioceno-Pleistoceno)

Los sedimentos pliocenos y pleistocenos son el constituyente fundamental de la “Llanura Costera del Caribe”. Se trata de una gran llanura con una extensión de 240 km y una anchura de 30 a 40 km, con cotas máximas de unos 100 m sobre el nivel del mar. Se asientan sobre un sustrato que no es visible en el Gran Santo Domingo, pero que se observa en afloramientos cercanos a los bordes de la llanura, evidenciando que consiste en un paleorrelieve modelado sobre rocas sedimentarias paleógenas y, especialmente, sobre rocas ígneo-metamórficas integrantes del basamento de las cordilleras Oriental y Central.

Este conjunto plio-pleistoceno presenta una disposición horizontal y su espesor en la zona de trabajo, no se puede precisar al no aflorar su base, aunque probablemente esté comprendido entre los 150 y los 200 m. Incluye tres formaciones con claras implicaciones genéticas, las formaciones Yanigua, Los Haitises y La Isabela.

Formación Yanigua

La formación Yanigua (Figura 4) es una sucesión monótona de margas de tonos ocres, que intercalan niveles de caliza y calcarenitas, extendidos ampliamente por el sector septentrional de la Llanura Costera del Caribe y atribuidos al Plioceno-Pleistoceno Inferior. Debido a la fácil alterabilidad de estos materiales, el terreno se muestra en coloraciones amarillentas típicas.

Estas margas se han correlacionado con los materiales que en la región de Los Haitises fueron descritos por [Brouwer y Brouwer \(1982\)](#) como Fm. Yanigua y precisados posteriormente por [Iturralde \(2001\)](#), [Díaz de Neira y Hernaiz \(2004\)](#), [García-Sanz \(2004\)](#), [Hernaiz \(2004\)](#), [Monthel \(2004\)](#), [Monthel y Capdeville \(2004\)](#) y [Monthel et al. \(2004\)](#).



Figura 4. Fm. Yanigua. Marga de color amarillento, con grado de meteorización (GM) IV con epiclastos de carbonato y cuarzo en especial a muro. Presencia de regolito de arena marrón. Clasificación geotécnica T-1. (Afloramiento AF085).

La base de la Fm. Yanigua no aflora en la zona de estudio, pero es de carácter discordante en otros puntos, donde se apoya sobre materiales paleógenos y mesozoicos de la Cordillera Central, en tanto que su techo ha sido erosionado, siendo probable que se encuentre próximo a los restos de la superficie que constituye la actual divisoria entre las cuencas de los ríos Isabela y Haina, de lo que se deduce un espesor mínimo de 60 m. Siendo las margas su constituyente principal, incluyen niveles de orden decimétrico de arenas, calizas margosas y acumulaciones bioclásticas y de corales.

Su paso hacia el sur a la Fm. Los Haitises se produce mediante un enriquecimiento calcáreo, hasta la total desaparición del contenido margoso. Se trata de un tránsito gradual, por lo que el límite entre ambas unidades no es neto. Siguiendo los criterios del propio programa SYSMIN, se ha optado por considerar como Fm. Haitises a aquellos afloramientos con un contenido calcáreo exclusivo y como Fm. Yanigua a partir de la aparición de contenido margoso, lo que viene a coincidir, aproximadamente, con un cambio en el patrón de drenaje superficial, que es de tipo dendrítico en el dominio de la Fm. Yanigua y ausente o casi ausente en la Fm. Haitises.

Hacia el borde oeste de la Fm. Yanigua (provincia de San Cristóbal) la mayor cercanía de los relieves de la Cordillera Central, hace que las intercalaciones de niveles detríticos

sean cada vez mayores. Así, al oeste del río Haina, los materiales detríticos son los predominantes, estando constituidos por arenas y gravas polimícticas, subredondeadas con diámetros predominantes en el orden de los 2 a los 12 cm. Estos depósitos son ampliamente explotados en la zona de San Cristóbal para la extracción de áridos para construcción.

Petrográficamente, los niveles calizos aparecen como wackestones y packstones bioclásticos, con una proporción muy variable tanto de aloquímicos (30 a 70%) como de matriz (15 a 60%) y cemento (0 a 45%), incluyendo ocasionalmente cuarzo (<7%), glauconita (<4%) y fragmentos de roca (<2%). Entre los componentes texturales predominan con mucho los fósiles, en proporción superior al 95%, pudiendo clasificarse como biomicritas. Ocasionalmente, se reconocen boundstones integrados por corales.

El contenido faunístico descrito en el SYSMIN, reconoce en los niveles margosos fragmentos (escasos) de *Ammonia sp.*, *A. (Rotalia) becarii* (Linneo), *Nonion sp.*, *Bolivina sp.*, *Elphidium sp.*, *Cibicides sp.*, *Criboelphidium sp.*, *Asterigerina sp.*, *Cancris sp.*, *Globigerina sp.* y *Rotalia sp.*, además de Ostrácodos, radiolas de Equínidos y fragmentos de Lamelibranquios, que sugieren una edad pliocena, acorde con la edad Plioceno-Pleistoceno Inferior propuesta para la Fm. Los Haitises y asignada a la presente unidad. En los niveles calcáreos se han encontrado Corales, Algas Rojas, Miliólidos, Nummulítidos, Bivalvos, Gasterópodos, Briozoos, Braquiópodos y placas de Equinodermos, carentes de valor determinativo.

El depósito de la Fm. Yanigua se interpreta en un contexto de plataforma interna protegida por la barrera arrecifal constituida por la Fm. Los Haitises (Fig. 5). La barrera protegía, probablemente, áreas con desarrollo de praderas de corales ramosos que crecían sobre y entre acumulaciones de calcarenitas bioclásticas. Más hacia tierra, estos depósitos darían paso a barros calcáreos con proporciones variables de bioclastos, pequeños cuerpos calcareníticos (en los que proliferaron distintos tipos de moluscos y foraminíferos) y crecimientos parcheados de coral. Donde la influencia de sedimento arcilloso en suspensión fue mayor, los barros calcáreos dejaron paso a margas que albergaron comunidades similares de organismos.

Cabe indicar que la formación Yanigua, localmente y en el sector de la construcción recibe el nombre de *caliche*; aunque de manera genérica en Santo Domingo y en este mismo sector, la palabra “caliche” se aplica también a la formación Haitises e Isabela (en muestreo de profundidad por métodos geotécnicos), haciendo referencia a materiales carbonatados de manera muy inespecífica. Resulta llamativo que no se utilice el nombre de la formación Yanigua cuando está ampliamente reconocido en el sector geológico y que incluso en el Museo del Ámbar de Santo Domingo hay un panel

dedicado a esta formación sin mencionar término local. No se aconseja utilizar el nombre “caliche” para denominar a la formación Yanigua (ni a las rocas carbonatadas de Santo Domingo) pues según el Diccionario Oxford-Complutense de Ciencias de la Tierra ([Oxford, 2000](#)), el término caliche se refiere a *un horizonte carbonatado (horizonte K) formado en suelos de regiones semiáridas, bajo condiciones de precipitación escasa (20 a 60 mm/año) y una temperatura media anual de unos 18°C. Se le atribuye el origen a precipitación de carbonato cálcico transportado en solución. El perfil del suelo se desarrolla en varios miles de años, inicialmente en forma de nódulos (glébulas); mientras que los caliches más maduros adquieren una forma laminar, masiva. Puede llegar a estar cementado y endurecido en afloramiento, dando lugar a paisajes tabulares.* Según este mismo diccionario, son sinónimos de caliche (o términos cercanos): duricreta calcárea, horizonte cálcico o petrocálcico. En general, el término caliche en la literatura científica se refiere a paleosuelos calcáreos en el mismo sentido que el citado diccionario, sin embargo, es utilizado en algunas regiones, en forma de localismo, con otras acepciones. Por ejemplo, puede referirse a depósitos de sales de nitrato en el desierto de Atacama (en algunas regiones de Chile y Perú), o a depósitos arcillosos (en Chile, Perú, Colombia y México). De manera eventual, también se ha usado para describir algunas formas de bauxita, calcedonia, caolinita, cuarcita, laterita, nitratina y ópalo, desvirtuando la raíz latina *calx*, *calis* (cal, CaO) que da origen al término.

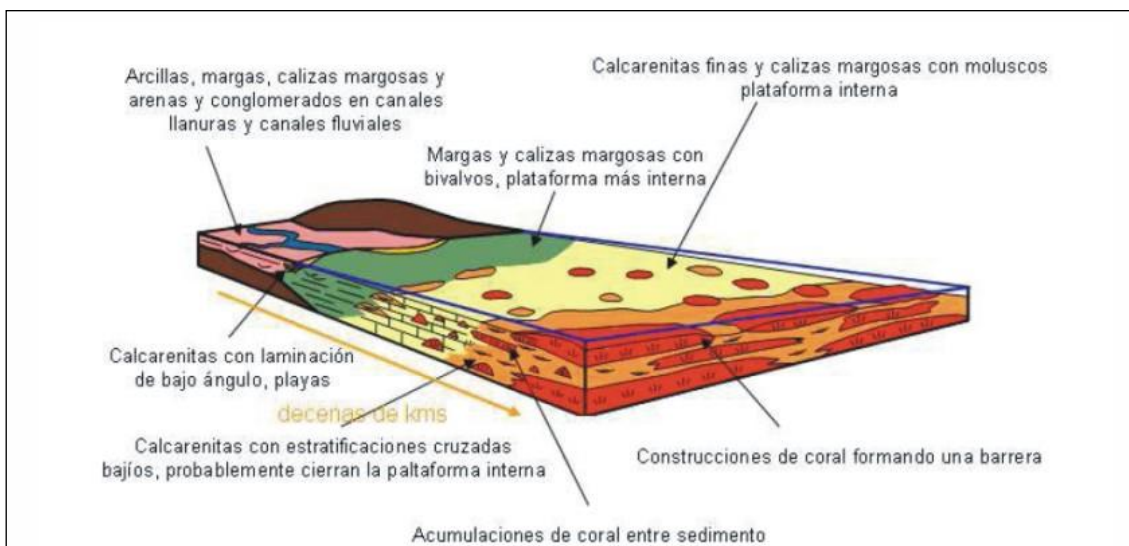


Figura 5. Paleorreconstrucción de los ambientes de depósitos de las Fms. Yanigua y Los Haitises ([Braga, 2010](#)).



Formación Haitises

La formación Los Haitises (Figura 6) constituye una franja de 3 a 4 km de anchura, dispuesta al sur de la unidad anterior, atribuyéndose igualmente al Plioceno-Pleistoceno Inferior. Se trata de un conjunto calcáreo de origen arrecifal, que posee una fisonomía muy característica debido a la evolución eustática y al intenso desarrollo de la meteorización química en la región.

Se trata del conjunto calcáreo que constituye las zonas más elevadas de Santo Domingo (Ensanche la Fe, Avenida 27 de Febrero, Villas Agrícolas), y que actúa a modo de umbral, separando la costa de las zonas deprimidas situadas al norte (Villa Mella, Guaricano). Pese al elevado grado de antropización de la zona, es posible la observación de las principales características de la unidad en las exposiciones puntuales que ofrecen las numerosas obras en ejecución.

Por su semejanza litológica y edad equiparable, la unidad se ha correlacionado con los materiales calcáreos que en la región de Los Haitises fueron descritos por [Brouwer y Brouwer \(1982\)](#) como Fms. Cevicos y Los Haitises y agrupados por [Iturralde \(2001\)](#) como Fm. Los Haitises, criterio seguido y precisado por [Díaz de Neira y Hernaiz \(2004\)](#) y [García-Sanz \(2004\)](#). Las evidentes diferencias morfológicas que muestra el presente conjunto en la Llanura Costera del Caribe con respecto a la región de Los Haitises derivan de su distinta evolución estructural y del diferente grado de meteorización sufrido.

Aparecen como un monótono conjunto de calizas grises a blanquecinas, en las que el elevado contenido fosilífero es observable a simple vista. Generalmente, se agrupan en bancos de espesor métrico a decamétrico, aunque con frecuencia su estratificación no es fácilmente observable, lo que acentúa su aspecto masivo y uniforme, incrementados por la notable karstificación que afecta a la unidad a diversas escalas. Su muro no es visible, y su techo debió aproximarse a su actual superficie topográfica, de lo que se deducen espesores mínimos de 45 m.

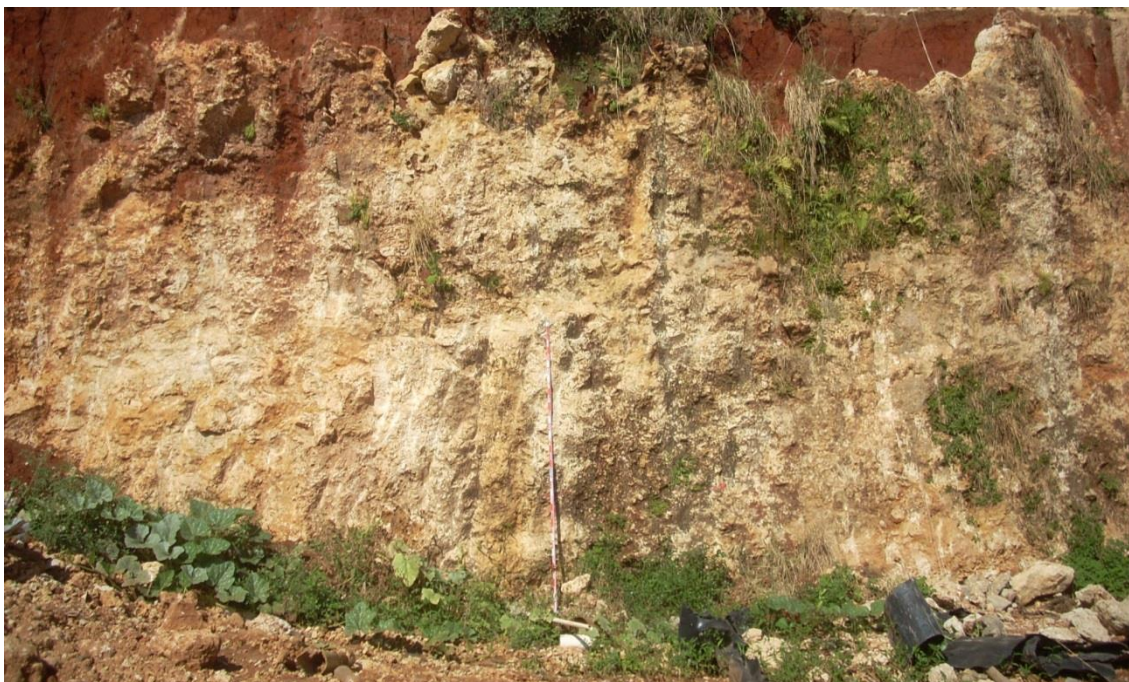


Figura 6. Fm. Haitises. Caliza coralina de color crema, con restos de hermatípicos, esponjas y moluscos. Presenta huecos de tamaño métrico. Gran excavación de obra. Talud de 5 a 6 m de alto. Clasificación geotécnica de grupo del terreno (CG) T-3 (afloramiento AF036).

Hacia el norte pasa a la Fm. Yanigua mediante cambio lateral de facies, habiéndose establecido el contacto a partir de las primeras apariciones de margas, criterio que además coincide con el desarrollo de drenaje superficial, ausente en la presente unidad debido a la eficacia de los procesos kársticos.

Petrográficamente según se describe en el SYSMIN aparecen como calizas fosilíferas (biomicritas) con grado de recristalización variable y porosidad tanto primaria como secundaria. Predominan los boundstones de corales, reconociéndose además packstones y wackestones bioclásticos con proporciones variables de aloquímicos (20 a 50%), matriz (15 a 70%), y cemento (<40%); también se reconocen wackestones bioclásticos cuyo contenido de aloquímicos (15 a 35%) corresponde básicamente a fósiles (>95%), con una elevada proporción de matriz (60 a 85%), superior a la de cemento (<40%).

Las facies más frecuentes corresponden a construcciones de corales especialmente ramosos, que pueden aparecer fragmentadas o dispersas en un sedimento bioclástico con matriz micrítica, o bien como colonias masivas.

Además de los Corales, que constituyen el integrante principal, la unidad alberga un abundante contenido fosilífero que incluye Algas Rojas, Miliólidos, Nummulítidos,

Bivalvos, Gasterópodos, Briozoos, Ostrácodos y espículas de Equinodermos. En cualquier caso, la presencia de *Acroporacervicornis*, *A. palmata* y *Stylophora* en diversos puntos de la presente unidad a lo largo de la Llanura Costera del Caribe, acota la edad de la unidad al Plioceno-Pleistoceno Inferior, sin que deba descartarse que su base se sitúe en el Mioceno Superior ([Braga, 2010](#)).

El depósito de la Fm. Haitises se interpreta en un contexto de plataforma interna protegida por la barrera arrecifal constituida (Figura 5), coetáneo con la Fm. Yanigua. La Fm. Los Haitises representa la barrera arrecifal, con amplio desarrollo de praderas de corales ramosos que crecían sobre y entre acumulaciones de calcarenitas bioclásticas y cuya evolución espacial está íntimamente relacionada con las variaciones eustáticas.

Formación Isabela

La formación La Isabela (Figura 7) se dispone con una orografía escalonada entre la formación Haitises y el mar Caribe, enmarcándose en el Pleistoceno. Está integrada por calizas arrecifales depositadas con motivo de la migración de la línea de costa. Se trata de una formación que en campo es difícil de diferenciar de la Fm. Haitises, pues composicional y texturalmente son muy similares. En la cartografía se ha diferenciado de acuerdo a su posición respecto a los de los distintos escalonamientos topográficos existentes.

Si bien en los programas SYSMIN se reconocieron dos plataformas principales, la información de este proyecto ha permitido diferenciar tres plataformas de gran continuidad lateral, que constituyen sendas planicies en el Distrito Nacional, configurando tres subniveles y que corresponden a las denominadas Isabela Inferior, Media y Superior. Están constituidas fundamentalmente por calizas arrecifales correlacionables con los materiales similares que [Marcano y Tavares \(1982\)](#) definieron como Fm. La Isabela en las proximidades de la localidad homónima.

La diferencia básica entre los niveles estriba en su disposición topográfica. El nivel más antiguo, que además presenta un mayor grado de karstificación, se dispone a cotas de hasta +50 m en el Mirador del Sur, decreciendo ligeramente hacia el este hasta situarse a menos de +30 m al este del río Ozama; está limitado al sur por un pronunciado escarpe, correspondiente a un paleoacantilado que puede alcanzar los 15 a 20 m de desnivel. Por su parte, el nivel Isabela inferior tan sólo sobrepasa +20 m en el extremo occidental, estando limitado al sur por el acantilado actual, de unos 5 a 6 m de desnivel. El nivel Isabela medio, se sitúa entre ambos con cotas que varían entre los +15 y +30.

Pese al elevado grado de urbanización de la zona, son numerosos los puntos que permiten efectuar observaciones de calidad de las características de la unidad, como el malecón, en el caso del nivel inferior, y el talud del Mirador del Sur (calle José Contreras), en el caso del superior. La plataforma media es más difícil observar, pero su resalto topográfico resulta evidente en el modelo numérico de elevaciones naturales del terreno y cuyo escarpe está más afectado por el desarrollo urbano.



Figura 7. Fm. Isabela. Caliza coralina, (boundstone) constituidas por la superposición y acumulación de esqueletos de colonias de hermatípicos, en posición de vida, algas calcáreas y pelecípodos. Clasificación geotécnica T-1. (Afloramiento AF10). Taludes de 15m en la Avenida de Italia.

En general, las tres plataformas están constituidas por la superposición y acumulación de esqueletos de colonias de coral, en posición de vida o más o menos volcadas y con distintos grados de fragmentación, que presentan en muchos casos costras de diverso grosor de algas rojas coralinas. Entre las colonias se observa un sedimento interno de calcirudita-calcarenita bioclástica, compuesta por fragmentos de coral, algas, moluscos, equinodermos y briozoos en una matriz micrítica. El sedimento interno no siempre rellena completamente los espacios entre los corales, lo que unido a los huecos producidos por la disolución de los esqueletos de coral, le confiere una elevada macro porosidad.



Por su calidad y extensión, es preciso señalar el afloramiento ofrecido por los taludes de la avenida Italia bajo el Mirador del Sur (Figura 7) correspondiente al nivel superior, donde se observa el núcleo de la construcción, con abundante *Montastrea*. Igualmente, cabe destacar el afloramiento situado en la margen izquierda del río Ozama, junto al puente flotante (AF431), en el que se observa una ligera estratificación hacia el mar en zonas ricas en *Acroporacervicornis/prolifera* (Braga, 2010). No se ha observado su base en punto alguno, deduciéndose espesores superiores a 20 metros. En los sondeos geomecánicos con recuperación de testigo continuo realizados para este proyecto tampoco se ha identificado un nivel erosivo que permitiera establecer la cota del muro, por lo que la potencia podría ser superior a 30 metros.

Donde la exposición lo permite, se observa una cierta zonación en la composición de los corales constructores principales (Geister, 1982), similar a la observada en otras áreas de la República Dominicana. En la zona del núcleo de la construcción situada hacia tierra predominan las colonias masivas en domos de *Montastrea annularis* y especies de *Diploria*. La construcción se extiende tierra adentro con parches discontinuos de extensión lateral métrica a decamétrica. En la zona del núcleo, que corresponde a la zona de rompiente, el coral de ramas muy gruesas *Acroporapalmata* aparece junto a colonias masivas de *Montastrea annularis*, *Siderastrea*, *Diploria* y *Porites*. Hacia el mar incrementan las proporciones de colonias de ramas finas de *A. prolifera* y *A. cervicornis*, que acaban siendo dominantes. Según Geister (1982), a mayor profundidad pasan a dominar de nuevo las colonias masivas de *Montastrea*, *Diploria* y *Porites*.

Petrográficamente las masas no coralinas aparecen como calizas fosilíferas (biomicritas y bioesparitas) con grado de recristalización variable y porosidad tanto primaria como secundaria. Presentan diversas texturas, pero siempre con carácter bioclástico, mostrando proporciones variables de aloquímicos (10 a 60%), matriz (10 a 80%), y cemento (5 a 60%), correspondiendo los componentes aloquímicos en su totalidad a fósiles.

Estas facies representan los restos conservados *in situ* de arrecifes de coral, muy semejantes, tanto en componentes como en la zonación de la composición, a los arrecifes actuales del Caribe.

Cabe mencionar que la denominación “superior”, “medida” e “inferior” referidas a esta formación responden a su posición morfológica siguiendo los criterios de los proyectos anteriores y no a su disposición estratigráfica, que resultaría al inverso.

Formación San Cristóbal

Al oeste del río Haina aparece una nueva unidad de clara influencia terrígena, denominada Formación San Cristóbal (Figura 8). Está constituida por arcilla verdosa de baja plasticidad en la base, que a techo pasa gradualmente a areniscas y gravas polimícticas redondeadas o subangulosas de gran tamaño (de 10 a 20 cm). La edad corresponde al Mioceno Superior. Se interpreta como una zona de abanicos aluviales distales que desembocan en una plataforma marina somera de ambiente restringido.



Figura 8. Fm. San Cristóbal. Arenas y gravas polimícticas subredondeadas y subangulosas de centil 8-10 cm. Aparecen niveles decimétricos de arena gruesa bien cementados. Dirección de buzamiento 140° buzamiento 8°. Clasificación geotécnica T-1 (afloramiento AF402).



Cuaternario (Holoceno)

Nueva Isabela

Bajo este nombre se propone en este trabajo una formación geológica inexplorada hasta la fecha. Si bien en la cartografía geológica del proyecto no se ha representado, los trabajos de batimetría realizados para la evaluación de tsunamis en el marco del presente proyecto, han puesto de relieve la existencia de una plataforma sumergida a unos -20 metros de profundidad máxima con unos 400 a 600 metros de ancho, a lo largo de toda la costa de Santo Domingo y con un escarpe hacia el mar en el orden de los 100 metros en el extremo Este de la costa de la zona de estudio, acuñándose suavemente hacia el Oeste hasta dar lugar a un salto de unos 50 metros en la costa estudiada en el proyecto. Podría tratarse de un resalto asociado al desarrollo coralino actual y a un paleoacantilado. Dadas las dimensiones de esta plataforma, su geometría y la relación topológica con el resto de unidades, podría tratarse de una formación semejante a La Isabela, pero actualmente en desarrollo, o bien podría tratarse de una plataforma aún más antigua de la propia formación La Isabela.

Terrazas aluviales medias y bajas

Bajo este epígrafe se han agrupado varios niveles de terrazas separados verticalmente del cauce en los ríos Ozama, Isabela, Nigua y Haina.

Se trata de conglomerados polimícticos de cantos pseudoesféricos redondeados de rocas carbonatadas con algunos clastos ígneos y metamórficos de la Cordillera Central, heterométricos, matriz-soportados en arenas sueltas. Volumétricamente son más importantes los tramos de arenas y limos, aunque en superficie suelen encontrarse cubiertos por vegetación y los afloramientos son escasos.

Entre el río Haina y el Nigua, el relieve es consistente con la continuidad de la Fm. Isabela en profundidad. Sin embargo, en superficie se observan arenas, grava y material alterado, como se confirma en el sondeo SGN-01. Por tanto, se le ha asignado como una nueva unidad denominada "terrazza indiferenciada", con clasificación geotécnica T-3. Las arenas y gravas de esta unidad han sido objeto explotación para su aprovechamiento como áridos en pequeñas canteras en las proximidades de San Gregorio de Nigua.



Figura 9. Terraza baja río Haina. Arena limosa con gravas calcáreas y metamórficas redondeadas de centil de 2 a 10 cm(afloramiento AF598).



Figura 10. Terraza media río Isabela. Limos con niveles arcillosos y gravas dispersas (afloramiento AF320).

Llanura de inundación y canales abandonados

Las facies de llanura de inundación se concentran en las orillas de las partes anchas del curso del Río Ozama y Haina. Los depósitos están formados fundamentalmente por cantos redondeados y subangulosos de tamaño centimétrico, flotando en una matriz limo-arenosa.

El mayor desarrollo de estos depósitos se concentra en el sector de confluencia del río Isabela con el Ozama, donde el río, después de dibujar un fuerte meandro (barrio de los Tres Brazos) cambia de la dirección Noreste-Suroeste que tiene aguas arriba, a la Norte-Sur que mantiene hasta su desembocadura.

La parte septentrional de la zona de trabajo corresponde con el Parque Nacional Humedales del Ozama, donde la llanura de inundación y los diversos canales abandonados presentan un relleno de materiales finos, con abundante materia orgánica, coincidiendo con aéreas pantanosas de drenaje deficiente (Figura 11).



Figura 11. Zona pantanosa en el parque nacional Humedales del Ozama, donde aparecen niveles arcillosos con materia orgánica y gravas dispersas.

Materiales en fondo dolina y dominios kársticos

Las formaciones calcáreas aparecen karstificadas en distinto grado a lo largo de toda la zona de estudio, habiéndose identificado dos regiones (a las que se ha denominado genéricamente “dominios kársticos”), donde el grado de disolución es mayor y su expresión morfológica y litológica se hace evidente. En estas zonas, así como en las depresiones de tipo dolina o uvala, aparecen arcillas de descalcificación de color rojizo y ocre (con diferente grado de continuidad), situadas sobre las formaciones carbonatadas, producto de la meteorización química de la caliza.

Los llamados “dominios kársticos” se han delineado sobre la formación Haitises en los barrios de *Los Prados*, por un lado, y *Villas Agrícolas* y *Villa Juana* por otro, en el Distrito Nacional. Si bien el dominio kárstico de *Los Prados* presenta grandes depresiones de colapso (dolinias) muy claramente identificables en la cartografía (pero difíciles de observar en campo por la intensa urbanización), el dominio kárstico de *Villas Agrícolas* y *Villa Juana* se manifiesta más sutilmente en el relieve, pero con la presencia del mismo tipo de materiales de fondo de dolina y de degradación kárstica (Figura 12), presentando resaltes sólo perceptibles gracias a los modelos numéricos del terreno del proyecto.



Figura 12. Relleno de dolina sobre la formación Haitises, donde aparecen niveles arcillosos ocre y gravas carbonatadas dispersas, de compacidad firme. Excavación de cemento. Afloramiento AF 232.

Aluviones de fondo de valle

Los aluviones de fondo de valle (Figura 13) están presentes en los principales arroyos, estando constituidos en general por depósitos irregulares, fundamentalmente fangosos y arenosos de colores pardos oscuros, con gravas sin estructura y con presencia de materia orgánica. Su potencia es reducida, en general de poco más de un metro. En ocasiones se pueden confundir con rellenos antrópico, pues su posición en el fondo de pequeños cauces y cañadas hace que los vertidos de aguas negras y basuras los recubran fácilmente.



Figura 13. Fondo de valle sobre la Fm. Yanigua, donde aparecen niveles de gravas carbonatadas y fango con materia orgánica.

Coluviales

Bajo el nombre genérico de “coluviales” se han agrupado a los depósitos que ocupan el pie de las zonas de mayor relieve en el área de San Cristóbal y parecen corresponder a un retrabajamiento de materiales sueltos superficiales por escorrentía difusa. Tienen una potencia muy escasa, por lo general menos de dos metros y están constituidos principalmente por limos y arcillas con cantos dispersos angulosos y en los que no se aprecia ningún tipo de ordenación (Figura 14).



Figura 14. Arena y gravas angulosas de composición carbonatada, de centil 3-12 cm. Aspecto suelto y con un espesor escaso de 1 a 3 m. Edad Cuaternario. Clasificación geotécnica T-3. (afloramiento AF404).

Depósitos antrópicos

Tratándose la zona cartografiada de un área fuertemente urbanizada, los depósitos de origen antrópico son prácticamente omnipresentes en toda la zona urbana y periurbana, y en la cartografía se han representado únicamente los de mayor volumen o importancia de cara a la evaluación del peligro sísmico.

Destaca por su volumen el vertedero de la excavación de la Línea 1 del metro sobre la Fm. Yanigua situado junto a la carretera Sánchez en el municipio de los Bajos de Haina, así como en otros numerosos puntos repartidos fundamentalmente por Santo Domingo Norte y Santo Domingo Este, (Figura 15).

En general se trata de materiales naturales removilizados con mayor o menor cantidad de escombros, basura y residuos sólidos urbanos (RSUs), aunque en algunos casos están formados exclusivamente por RSUs.



Figura 15. Relleno antrópico. Escombros y gravas. Clasificación geotécnica T-3 (afloramiento AF550).

Tectónica

El área cartografiada se sitúa en su práctica totalidad en el dominio tectoestratigráfico de la Llanura Costero-Caribeña, con la única excepción de su extremo suroeste donde afloran materiales del dominio de la Cordillera Central (Fm. San Cristóbal). Estos dominios están separados por la prolongación en dirección sur de la Zona de Falla de Hatillo, correspondiente a una falla regional transcurrentes de dirección NO-SE.

La tectónica representada en la zona se caracteriza por carecer de elementos bien desarrollados (pliegues, planos de falla, etc.). En general la serie estratigráfica presente una disposición horizontal o con ligero buzamiento hacia el sureste con ángulos bajos (desde 5 hasta 10°).

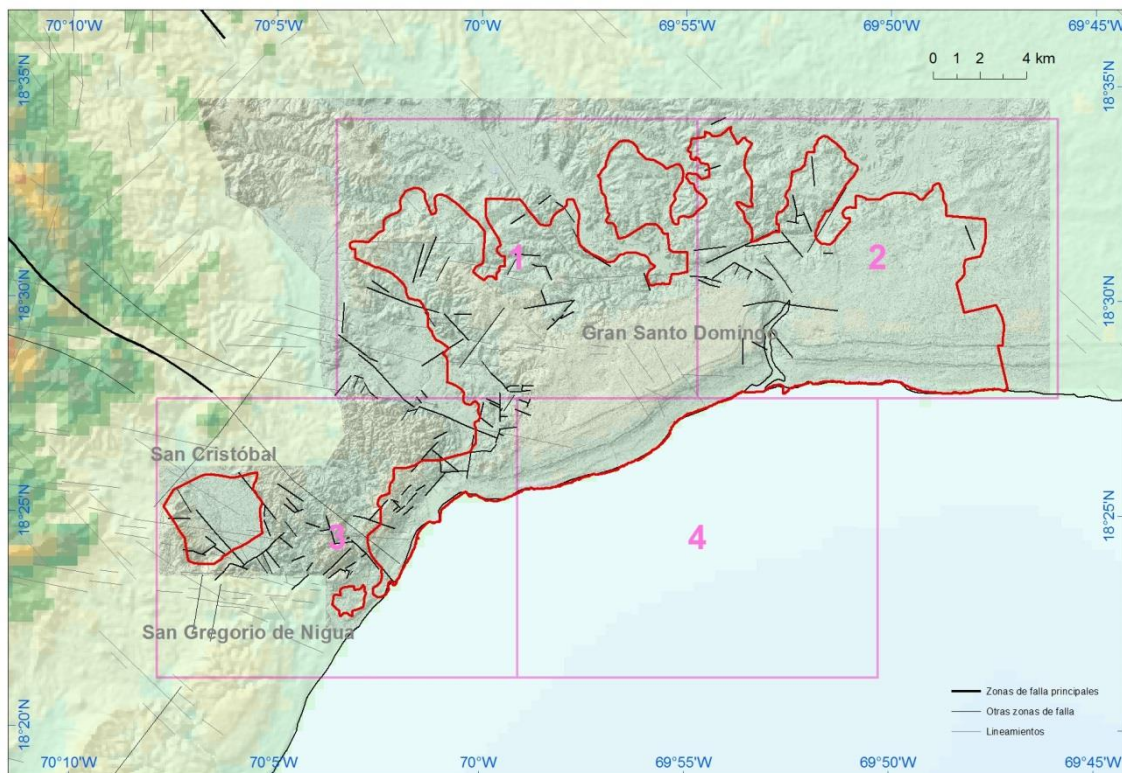


Figura 16. Esquema tectónico del área cartografiada (interior del polígono rojo), incluyendo lineamientos, zonas de falla generales y división por hojas de la zona de estudio (en rosa).

Como puede apreciarse en el esquema tectónico de la Figura 16, la densidad de fracturación en la cartografía es bastante desigual, con mucha mayor concentración de fracturas en la zona septentrional y occidental. Esta zona coincide en parte con la mayor representación cartográfica de materiales de la Fm. Yanigua, así como con la zona menos densamente urbanizada. Esto último probablemente falsea la distribución de las fracturas, siendo mucho más difícil su detección en áreas más urbanizadas correspondientes al Distrito Nacional. En la mayor parte de los casos las fallas representadas en el mapa corresponden a lineaciones NO-SE y su conjugada NE-SW que es consecuente con la fracturación observada a nivel regional.

La falla de Hatillo es una falla transpresiva de carácter siniestro que aparece desplazada por otras fallas de orientación NE-SO, una de las cuales está presente en el área cartografiada en la zona del río Ozama.

La desigual distribución de las fallas afecta no solo a su densidad, sino también a las direcciones predominantes, de modo que en la zona NO del mapa predomina claramente la dirección NO-SE relacionada con el movimiento transcurrente de la Cordillera Septentrional, mientras que en el área SE la fracturación es menos densa y con una



distribución más irregular. Esto estaría en relación con las diferencias observadas en los perfiles sísmicos realizados sobre la Fm. Yanigua en estas áreas.

El ascenso de la plataforma carbonatada pliocena no es justificable únicamente por variaciones del nivel del mar, sino que debe enmarcarse en un proceso de envergadura geodinámica que se refleja en el ascenso de La Española y el consiguiente incremento de su superficie.

Este ascenso se ha producido con tasas de elevación diferentes en los distintos dominios de la isla. En este sentido, pese a la escasez de dataciones existentes en materiales cuaternarios, los datos aportados por los aterrazamientos marinos asociados a las formaciones La Isabela y Los Haitises, permiten establecer al menos pautas generales y tasas de elevación aproximada. Así, en el sector occidental de la Llanura Costera del Caribe, la terraza datada como MIS 5e (121 ± 9 ka) por [Schubert y Cowart \(1982\)](#) entre Punta Caucedo y San Pedro de Macorís y que constituye la Superficie Inferior de la Llanura Costera del Caribe (Hoja Geomorfológica a escala 1:100.000 de Santo Domingo, hoja n. 6271), alcanza 10 m de altitud máxima en dicha zona. Esto implica un levantamiento de 0,050 a 0,083 mm/año si se considera la altura en que la muestra fue tomada (entre 6 y 7 m) o la máxima de la terraza, respectivamente ([Braga, 2010](#)). Esta misma terraza alcanza 20 m de altitud al pie del paleocantilado que limita el parque Mirador Sur (Distrito Nacional), lo que implica una tasa de levantamiento doble, de 0,165 mm/año. Por tanto, desde el MIS 5e (117-128 ka) la zona occidental de la Llanura Costera del Caribe ha estado elevándose con una velocidad media bastante moderada de entre 0,050 y 0,165 mm/año.

Geomorfología

Llanura Costera del Caribe, es la más destacada de las llanuras costeras de la República Dominicana, tanto por sus dimensiones como por albergar varios de sus principales núcleos de población, como Santo Domingo, La Romana y San Pedro de Macorís. Posee una dirección E-O, situándose al sur y al este de la Cordillera Oriental, manifestándose como una extraordinaria planicie tan sólo trastocada por moderados escalonamientos y esporádicos, pero importantes, cursos fluviales. A pesar de ello, se trata de una región con drenajes deficientes, especialmente en su franja costera, donde los procesos de karstificación provocan numerosas pérdidas de drenaje.

Una vez cartografiada la zona de trabajo, se procedió a su descripción tanto desde el punto de vista morfoestructural (en el que se analiza el relieve como consecuencia del sustrato geológico y su disposición estructural) y desde el punto de vista morfogenético, (que considera en modelado en función de la actuación de procesos externos).

El relieve de la zona está condicionado por los materiales sedimentarios plio-pleistocenos de plataforma carbonatada (isla barrera-lagoon que ocupaba la región desde hace al menos 3 millones de años), con consecutivos desplazamientos de las barreras arrecifales hacia el sur, ocasionados por la paulatina retirada del mar.

Sobre la morfología impuesta por los materiales carbonatados, han actuado con mayor o menor eficacia la morfogénesis fluvial, lacustre-endorreica, poligénica, marina-litoral y antrópica.

Formas estructurales

Están condicionadas por la distinta resistencia ofrecida a la erosión de los materiales. Consisten en superficies estructurales degradadas generadas a techo de niveles calcáreos de la Fm. Yanigua y con mucha mayor extensión, de la Fm. Los Haitises. En este caso, se trata de la Superficie Superior de la Llanura Costera del Caribe que alberga las cotas más elevadas de la llanura en la región, llegando a alcanzar puntualmente +100 m, si bien son más frecuentes valores de +60 a +80 m. Aunque parece evidente su carácter estructural, es probable que también haya sufrido la acción de la morfogénesis marina-litoral durante su formación.

Dinámica de ladera.

En el área estudiada los procesos gravitacionales poseen escasa relevancia, debido al predominio de las grandes planicies. En éstas, tan sólo cabe mencionar las caídas de bloques a favor de los escarpes de los farallones (paleoacantilados) que aparecen en la Fm. Isabela y Fm. Haitises en su migración hacia el sur, no representables en cualquier caso por sus reducidas dimensiones.

Se han observado formas cuyas dimensiones (aunque reducidas) permiten su representación en el sector de San Cristóbal que es el que presenta mayor desnivel, con cotas del orden de 130 m. No obstante, la urbanización de la zona, la meteorización, y la vegetación actúan con celeridad a la hora de enmascarar este tipo de formas, haciéndolas prácticamente imperceptibles.

Formas fluviales y de escorrentía superficial

Están ampliamente representadas en la zona y poseen una cierta variedad, tanto de formas erosivas como sedimentarias.

Los fondos de valle son el principal testimonio de la actividad sedimentaria de la red fluvial actual. Se trata de formas estrechas y alargadas coincidentes con el canal de estiaje de los arroyos afluentes, con una red marcadamente dendrítica.

Otra morfología destacada corresponde a la llanura de inundación que frecuentemente alcanza 1 km de anchura en los cauces principales (ríos Ozama, Isabela, Haina y Nigua). En estas llanuras de inundación se reconocen numerosos cauces y meandros abandonados, que denotan una continua deriva de los cauces. En el borde NE, se observa una acusada tendencia endorreica, siendo posible que algunos fondos endorreicos y lagunillas también correspondan a antiguas redes de drenaje abandonadas.

La actividad pretérita de la red fluvial se manifiesta por la existencia de terrazas, a las que se asocian escarpes más o menos marcados, relacionadas con los ríos Haina, Nigua y especialmente Isabela, en el que se reconocen dos niveles encajados entre sí y con respecto al sistema de piedemontes que orlan la Cordillera Central. Los niveles más bajos se disponen a cotas inferiores a +10 m sobre el cauce del río, en tanto que los superiores alcanzan cotas cercanas a +25 m.

Mucha menor representación poseen los abanicos aluviales, habiéndose reconocido tan sólo una pequeña forma, de orden hectométrico, dispuesta sobre la llanura de inundación del río Ozama, en el ámbito de Santo Domingo Norte.

Entre las formas erosivas se han reconocido: incisión lineal, desarrollada principalmente en el sector septentrional, a favor de los niveles de margas de la formación Yanigua, destacando las zonas de Villa Mella, Viejo Arroyo Hondo y Altos de Arroyo Hondo. La incisión que afecta a las zonas más elevadas de la llanura (Superficie Superior de la Llanura Costera del Caribe), ha provocado la formación de escarpes, marcados en el caso del río Ozama a su paso por Santo Domingo, como los existentes en los barrios de La Zurza, El Capotillo y Simón Bolívar. El catálogo de las formas erosivas de carácter fluvial se completa con la erosión lateral del cauce, que afecta a los meandros de los principales ríos.

La litología es el principal condicionante de la geometría de la red de drenaje, en la banda de 4 km de anchura desde la línea de costa actual, mientras que la fracturación condiciona el drenaje en el resto del área. Esta banda costera, coincide con los afloramientos de las formaciones Los Haitises y La Isabela, donde la red de drenaje está prácticamente ausente. En este sector meridional, ningún curso fluvial ha conseguido desarrollarse sobre las construcciones arrecifales, donde la escorrentía superficial se resuelve por infiltración, dado su carácter calcáreo y su intensa karstificación. Esta fuerte infiltración es aprovechada en la ciudad para la evacuación de gran parte de las aguas pluviales. Por el contrario, en el sector septentrional y occidental, tras un periodo endorreico inicial, la llegada del río Ozama al litoral desencadena una enérgica incisión de la red de drenaje, hasta configurar el patrón dendrítico observable hoy día.

En toda la zona de San Cristóbal, la red de drenaje está marcada por la fracturación preexistente, tiene una densidad alta y su morfología muestra una tendencia ortogonal.



Así los cauces predominantes son de arroyos de tipo estacional, rectos o con una sinuosidad baja y muestran un fuerte encajamiento, discurriendo por valles estrechos y con ausencia de depósitos fluviales importantes. Los cauces de los ríos principales son permanentes, ríos Nigua y Haina, que están muy contaminados por vertidos de aguas residuales y abundantes flotantes de residuos urbanos. Los ríos Nigua y Haina se disponen en dirección NO-SE principalmente y siguiendo líneas de fracturación de gran entidad, mientras que los cauces menores se orientan de preferencia en sentido NE-SO.

Los ríos principales tienen un claro carácter consecuente, discurriendo a favor de la máxima pendiente regional. En la vertiente septentrional de la Superficie Superior de la Llanura Costera del Caribe, entre Arroyo Hondo y la Base de San Isidro, son frecuentes los elementos de la red secundaria de carácter obsecuente, discurriendo en sentido contrario a la pendiente regional.

Formas lacustres y endorreicas

Se trata de lagunas, charcas y áreas pantanosas, ampliamente extendidas al norte de Santo Domingo Este, desarrolladas sobre la formación Yanigua. Por su extensión y abundancia destacan las áreas endorreicas del sector nororiental, llegando a alcanzar 6 km de eje mayor, y que corresponden al Parque Nacional Humedales del Ozama. La forma alargada y la distribución alineada de algunas áreas pantanosas, lagunas y charcas, sugiere su génesis a partir de antiguos cursos fluviales, mínimamente encajados y prácticamente irreconocibles hoy día. Son zonas de drenaje deficiente debido a las bajas pendientes y por tanto, generalmente encharcadas, y colonizadas por abundante vegetación.

Formas marinas-litorales

Sus elementos más destacados son las construcciones arrecifales pertenecientes a la formación La Isabela, sobre las que se han desarrollado plataformas de abrasión que con disposición escalonada de sur a norte y dispuestas en paralelo al litoral, se reconocen por toda la zona cartografiada. Se han identificado en el mapa geológico al menos tres niveles a cotas aproximadas de +12, +25 m y +35 m, (denominadas Isabela inferior, media y superior). No obstante, la superficie superior de la Llanura Costera del Caribe (+70), esculpida sobre la formación Los Haitises, puede constituir realmente la plataforma de abrasión más antigua.

En el frente de algunos de estos niveles, se reconocen crestas arrecifales paralelas al paleoacantilado, siendo el caso más evidente la cresta existente en el frente de la formación Los Haitises en el parque Mirador Sur de Distrito Nacional y la Avenida Mirador Este, en Santo Domingo Este. Las plataformas están delimitadas por acantilados fósiles, más o menos degradados, que aparecen como escarpes subverticales

del orden de 10 a 20 m. Por lo que respecta a los acantilados actuales, aunque continuos a lo largo de toda la línea de costa, poseen una envergadura más modesta, con valores medios de cinco a ocho metros.

Las formas marino-litorales se completan con las playas, que pese a su carácter ocasional debido al predominio de la costa acantilada, adquieren notable relevancia fuera de la zona de trabajo.

Formas por meteorización química

Poseen una gran representación en el sector meridional, donde se desarrollan sobre las calizas coralinas de las formaciones Los Haitises y La Isabela, pudiendo considerarse en su conjunto un área con intensa karstificación.

Se trata de áreas endorreicas de origen kárstico (dolinas) de tamaño variable, (desde decenas de metros a varios kilómetros), que suelen presentar formas redondeadas o elípticas y responden a procesos de disolución más o menos avanzados de los materiales carbonatados del sustrato y al colapso del techo por la formación de cavidades.

Dichas dolinas están representadas por toda el área cartografiada, alcanzando más de 1,5 km de diámetro entre las avenidas 27 de Febrero y la Kennedy y 1 km en el sector de Julieta Morales. En la banda litoral, donde aparece la caliza coralina de la formación La Isabela, la forma más extendida corresponde al campo de lapiaces sobre la roca desnuda visible (Figura 17).



Figura 17. Morfología de campo de lapiaces desarrollada en la Fm. Isabela (AF433).



En la cartografía geológica se han localizado dos grandes dominios kársticos, que corresponden a grupos de dolinas asociados (uvalas), denominados Los Prados y Villas Agrícolas y Villa Juana.

El Domino Kárstico Los Prados (DKLP) está comprendido entre las calles Avenida Luperón y Avenida Abraham Lincom. Consiste en tres amplias dolinas semicirculares con una profundidad del orden de 10 a 12 m, donde son frecuentes las inundaciones tras fuertes lluvias, así como los hundimientos de calles por disolución y arrastre del material calizo.

El Domino Kárstico Villas Agrícolas y Villa Juana (DKVA) está comprendido entre las calles José Ortega y Gasset y la Avenida Albert Tomas. Engloba dos dolinas de unos 5 a 8 m de profundidad con una extensión de 1,2 km, donde aparece abundante relleno arcilloso.

Existen otras evidencias de un notable desarrollo endokárstico en la zona cartografiada, como son las pérdidas de caudal de los cursos fluviales que alcanzan los afloramientos calcáreos y la presencia de cavidades. Entre estas últimas destacan las del parque Mirador Sur, y especialmente las cuevas de Los Tres Ojos, parque nacional único en República Dominicana y que recibe miles de visitas anuales (Figura 18).

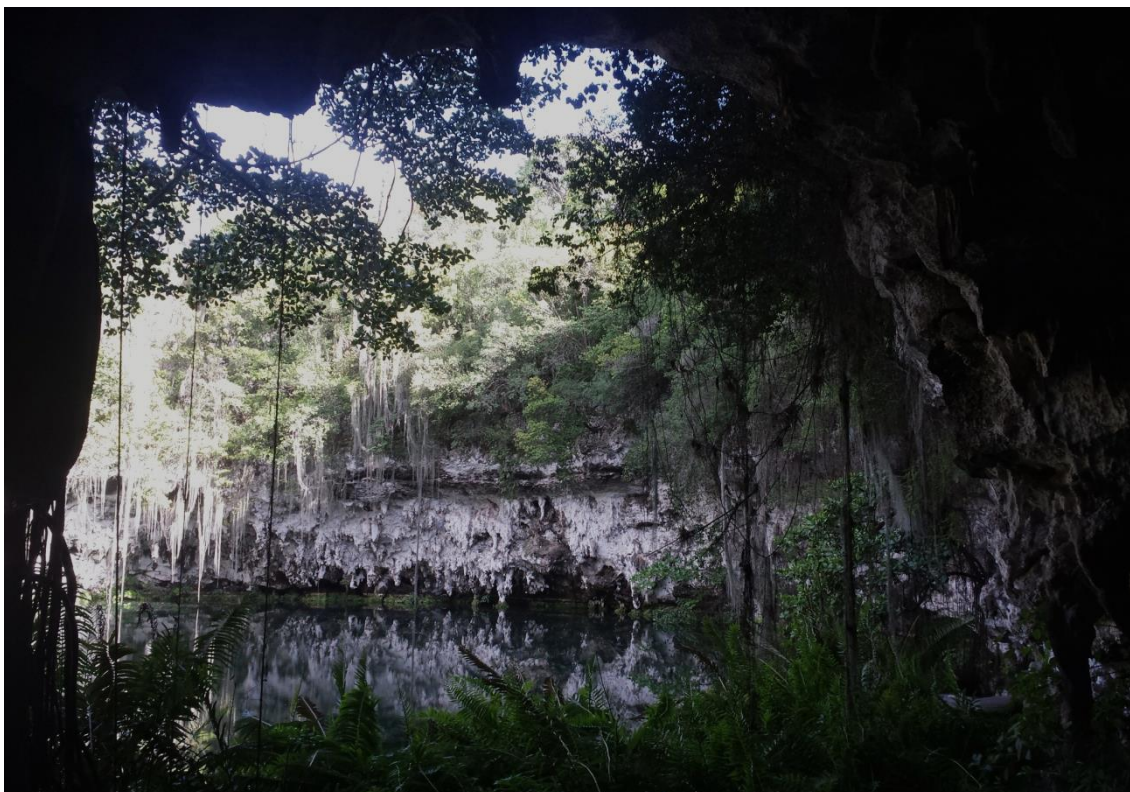


Figura 18. Lago Zaramangullones, en el Parque Nacional de los Tres ojos. Corresponde a un colapso de dolina sobre la Fm. Isabela, datado de hace 250.000 años. Santo Domingo Este.

Formas antrópicas

La actividad antrópica constituye una importante característica en diversas zonas, estando relacionada al intenso uso del suelo para actividades extractivas, redes de transporte y asentamientos urbanos. La remoción de materiales y la modificación de la topografía original son omnipresentes, como corresponde a un área tan fuertemente urbanizada.

Aunque obviamente, este tipo de actividad es máximo en el ámbito de Santo Domingo, no se han representado las modificaciones antrópicas consistentes en obras civiles o urbanísticas, habiéndose reflejado exclusivamente aquellas que han supuesto una modificación sustancial de la topografía o que presentan un volumen de vertido importante. Otros rellenos representativos a escala cartográfica, son los terrenos ganados al mar (espigones y malecones), destacando el de Sans Souci, frente a la desembocadura del río Ozama, el puerto industrial de Haina y la explanada de la plaza Juan Barón.



Referencias

- 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. Dirección General de Minería, Santo Domingo, 73 pp.
- Brouwer, S.B. y Brouwer, P.A. (1982): *Geología de la región ambarífera oriental de la República Dominicana*. 9ª Conferencia Geológica del Caribe, Santo Domingo, República Dominicana. Memorias, 1, 303-322.
- Iturralde, M. (2001): *Geology of the amber-bearing deposits of the Greater Antilles*. Caribbean Journal of Science, 37, 3-4, 141-167.
- Díaz de Neira, J.A. y Hernaiz Huerta, P.P. (2004): *Mapa Geológico de la Hoja a E. 1:50.000 n° 6272-I (Antón Sánchez) y Memoria correspondiente*. Proyecto de Cartografía Geotemática de la República Dominicana. Programa SYSMIN, Proyecto L. Dirección General de Minería, Santo Domingo.
- García-Sanz, J. (2004): *Mapa Geológico de la Hoja a E. 1:50.000 n° 6372-III (Hato Mayor) y Memoria correspondiente*. Proyecto de Cartografía Geotemática de la República Dominicana. Programa SYSMIN, Proyecto L. Dirección General de Minería, Santo Domingo.
- Geister, J. (1982): *Pleistocene reef terraces and coral environments at Santo Domingo and near Boca Chica, southern coast of the Dominican Republic*. 9ª Conferencia Geológica del Caribe (Santo Domingo, 1980), 2, 689-703.
- Hernaiz, P.P. (2004): *Mapa Geológico de la Hoja a E. 1:50.000 n° 6272-III (Monte Plata) y Memoria correspondiente*. Proyecto de Cartografía Geotemática de la República Dominicana. Programa SYSMIN, Proyecto L. Dirección General de Minería, Santo Domingo.
- IGME, BRGM e INYPSA (2010): *Mapa Geológico de las Hojas a E. 1:50.000 n° 6271-I, II, III y IV y Memorias correspondientes (Guerra, Boca Chica, Santo Domingo y Villa Mella)*. Inédito. Programa SYSMIN, Proyecto 1B.
- Marcano, E. y Tavares, I. (1982): *Formación La Isabela, Pleistoceno temprano*. Publicaciones especiales Museo Nacional de Historia Natural, 3, Santo Domingo, 30 pp.
- Monthel, J. (2004): *Mapa Geológico de la Hoja a E. 1:50.000 n° 6372-III (El Valle) y Memoria correspondiente*. Proyecto de Cartografía Geotemática de la República



Dominicana. Programa SYSMIN, Proyecto L. Dirección General de Minería, Santo Domingo.

Monthel, J. y Capdeville, J. (2004): *Mapa Geológico de la Hoja a E. 1:50.000 n° 6272-II (Bayaguana) y Memoria correspondiente*. Proyecto de Cartografía Geotemática de la República Dominicana. Programa SYSMIN, Proyecto L. Dirección General de Minería, Santo Domingo.

Monthel, J.; Nicol, N.; Fondeur, L. y Genna, A. (2004): *Mapa Geológico de la Hoja a E. 1:50.000 n° 6272-IV (Sabana Grande de Boyá) y Memoria correspondiente*. Proyecto de Cartografía Geotemática de la República Dominicana. Programa SYSMIN, Proyecto L. Dirección General de Minería, Santo Domingo.

Oxford (2000): *Diccionario de Ciencias de la Tierra*. Diccionarios Oxford-Complutense ISBN: 848978477-9. DL: M-5712004. Traducido de Oxford University Press. Ed. Complutense. España.

Schubert, C. y Cowart, J.B. (1982): *Terrazas marinas del pleistoceno a lo largo de la costa suroriental de la Rep. Dominicana: cronología preliminar*. 9ª Conferencia Geológica del Caribe (Santo Domingo, 1980), 2, 681-688.



ANEXO I – Afloramientos



ANEXO II – Modelos digitales del terreno



ANEXO III – Cartografía geológica