

Proyecto Circunvalación Gaspar Hernández. Estudio de Impacto Ambiental de PCA Consultores Ambientales. Componente cambio climático y adaptación¹

Alejandro Herrera-Moreno

INTRODUCCIÓN

El incremento de la temperatura, los cambios en las precipitaciones, el ascenso del nivel del mar y la intensificación de los eventos meteorológicos extremos, como consecuencias del cambio climático, son ya una realidad en todo el territorio dominicano (CATHALAC, 2015). En este contexto, los impactos sobre la infraestructura vial, que constituye la columna vertebral de la economía pueden tener implicaciones negativas de largo alcance en todas las actividades productivas y sociales (ICF/IRG, 2013). El presente capítulo del Estudio de Impacto Ambiental del proyecto Circunvalación Gaspar Hernández aborda la vulnerabilidad del proyecto ante las amenazas e impactos del clima (presente y futuro) con una propuesta de medidas de adaptación a ser incorporada al Plan de manejo y adecuación ambiental. Este capítulo está en línea con la Resolución 02-2014 del Ministerio de Medio Ambiente que exige la incorporación de consideraciones de adaptación a la gestión ambiental en el proceso de EIA.

Objetivo del proyecto

El proyecto consiste en la construcción de una carretera de 1.703 km, carriles de 3.65 m, paseos de 2 m y berma de 0.5 m, con una extensión superficial de 12,431.90 m². Contará con los siguientes componentes de construcción/ampliación: i) puente de 120 m de longitud; ii) muro de gaviones de 90 m de longitud para proteger aproches del puente; iii) alcantarilla de cajón de 3.5 x 3.5 (triple), iv) alcantarilla de cajón 3 X 2 (doble), v) alcantarillas tubulares y vi) cajón vial. Esta obra garantiza una conexión Río San-Juan-Gaspar Hernández-Cabarete, evitando que los vehículos ingresen innecesariamente al centro urbano, reduciendo el tráfico local y agilizando el de carretera.

ASPECTOS METODOLOGICOS

Área de estudio y fuentes de datos climáticos

El área de estudio comprende la región del proyecto Circunvalación Gaspar Hernández en el municipio Gaspar Hernández en la provincia Espaillat (Figura 1). Se manejaron los datos de temperatura y precipitación de la estación meteorológica de Gaspar Hernández (coordenadas 366826 E y 2169927 N, 15 msnm) de la Oficina Nacional de Meteorología (ONAMET, 2020), el *Atlas climático de la República Dominicana* para el período 1971-2000 (JICA/ONANET, 2004) y los datos del Centro de Datos Climáticos de la NOAA (Word Climate, 2020) para el período 1961-1990.

Escenarios climáticos, vulnerabilidad y adaptación climática

Se consultaron los escenarios climáticos de temperatura y precipitaciones nacionales (CATHALAC, 2015), y globales (McSweeney *et al.*, 2007); los de intensidad de huracanes (Knutson *et al.*, 2010) y ascenso del nivel del mar (IPCC, 2013; Bamber *et al.*, 2019). Se analizó el contexto físico-natural de la región del proyecto que condiciona la vulnerabilidad en sus aspectos básicos de clima, geología, geomorfología e hidrología. El análisis de la incidencia de eventos meteorológicos extremos, se efectuó a partir de datos del portal de eventos meteorológicos extremos (NOAA, 2020) seleccionado

¹ Herrera-Moreno, A. (2020). Vulnerabilidad y adaptación climática, 21 pp. En: Estudio de Impacto Ambiental del proyecto Circunvalación Gaspar Hernández (Código 17551). PCA Consultores Ambientales.

todos los eventos que cruzaron en un radio de 50 km de un punto en el centro del trazado de la carretera (coordenadas UTM 365851 E y 2171695 N). La información de desastres se complementó con los datos históricos de prensa.

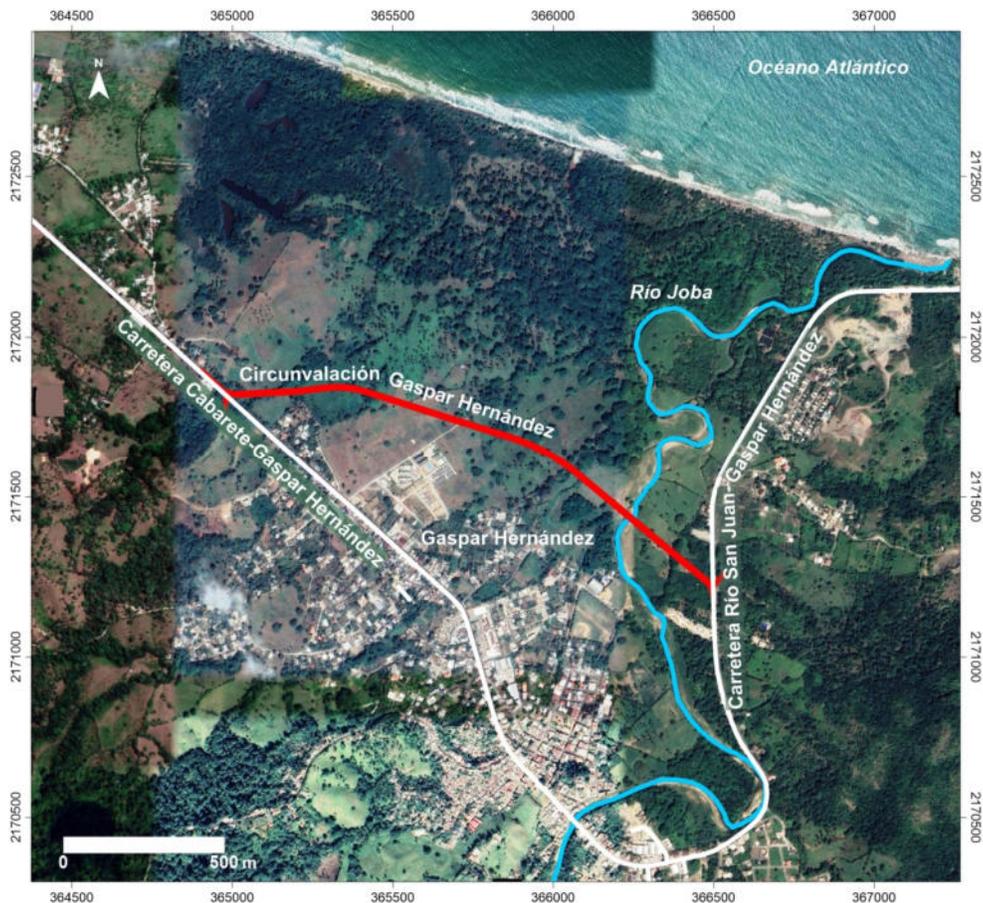


Figura 1. Región del proyecto Circunvalación Gaspar Hernández. Fuente: Imagen de Google Earth Pro.

Se analizó la vulnerabilidad del proyecto ante las amenazas e impactos climáticos (aumento de temperatura, reducción de precipitaciones, sequía, precipitaciones extremas, eventos meteorológicos extremos más intensos y ascenso del nivel del mar) A partir de este análisis se derivaron las medidas de adaptación correspondientes previa consulta del *Plan Estratégico de la Oficina Técnica de Transporte Terrestre* (OTTT, 2013), las normas y reglamentos de construcción de carreteras del Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones (MOPC, 2020), las estrategias de adaptación de los municipios dominicanos (Herrera-Moreno, 2018), la *Guía metodológica para la elaboración del Plan Municipal de Adaptación Climática* (Herrera-Moreno, 2018a) y la Política Nacional de Cambio Climático (MEPyD/CNCCMDL, 2016).

Asimismo, se revisaron varias herramientas, manuales y guías internacionales sobre transporte y gestión ambiental (NRA, 2006), amenazas del cambio climático (Barbero y Rodríguez, 2012), vulnerabilidad (Felio, 2015) y adaptación del sector transporte (ICF/IRG, 2013; ICF, 2016; World Bank, 2016); de manera especial la *Guía de buenas prácticas para la adaptación de las carreteras al clima* (CAF, 2018). La literatura consultada se encuentra en el portal de cambio climático de Herrera-Moreno (2020) Se empleó toda la cartografía temática (inundaciones, pendientes, cuencas y subcuencas, riesgos y otras) *en línea* del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Ministerio Ambiente, 2020) y la disponible en el SIG del Programa EcoMar, Inc.

CONTEXTO FÍSICO-NATURAL DE LA VULNERABILIDAD

El municipio Gaspar Hernández aparece comúnmente en los reportes de las instituciones del sistema de gestión de riesgos, entre los territorios donde los desbordamientos de ríos, los derrumbes o las penetraciones del mar son recurrentes ante situaciones climáticas extremas (desde vaguadas hasta huracanes). Dentro de los factores que inciden en la vulnerabilidad climática del municipio hay algunas características físico-naturales que son condicionantes como la geología, geomorfología e hidrología. Estas componentes, muy relacionadas entre sí, juegan un papel fundamental en el riesgo de inundaciones (fluviales y costeras) y deslizamientos.

Geomorfología

El área del proyecto se ubica en el contexto de dos regiones geomórficas: la llanura costera del Atlántico al frente, y la cordillera Septentrional que la flanquea por el sur y el este (Figura 2). La llanura costera del Atlántico es una franja angosta intermitente que bordea la cordillera Septentrional, al noroeste de República Dominicana. Se extiende desde cerca de Monte Cristi hasta las tierras pantanosas del Gran Estero, al este de Nagua. Se presenta como una planicie dispuesta a cotas inferiores a +20 m, de anchura variable (1 km a más de 5 km) y su litoral posee un carácter predominante de costa baja, con desarrollo de manglares, áreas pantanosas, ciénagas, lagunas, cordones litorales y playas. Estos llanos no se presentan en sucesión continua, sino que están separados por cerros y promontorios. La zona del proyecto se encuentra en la subregión del Llano del río Yásica que incluye a la ciudad de Gaspar Hernández.



Figura 2. Fragmento del mapa de regiones geomórficas de República Dominicana. Se indica con un círculo rojo el área de 500 m de radio alrededor de un punto en el centro de la carretera del proyecto Circunvalación Gaspar Hernández. Fuente: Elaborado a partir del mapa de OEA (1967).

La cordillera Septentrional es el sistema montañoso que ocupa la parte noroeste de República Dominicana. Se extiende desde las vecindades de la ciudad Monte Cristi al oeste, hasta Nagua al este, y se orienta con dirección noroeste a sureste bordeando la costa del Atlántico, del que la separa la angosta llanura costera ya mencionada. El flanco norte de esta cordillera está expuesto a los vientos alisios del noreste lo cual causa abundante precipitación orográfica. El modelo topográfico digital de la Figura 3 resume las características geomorfológicas del área del proyecto.

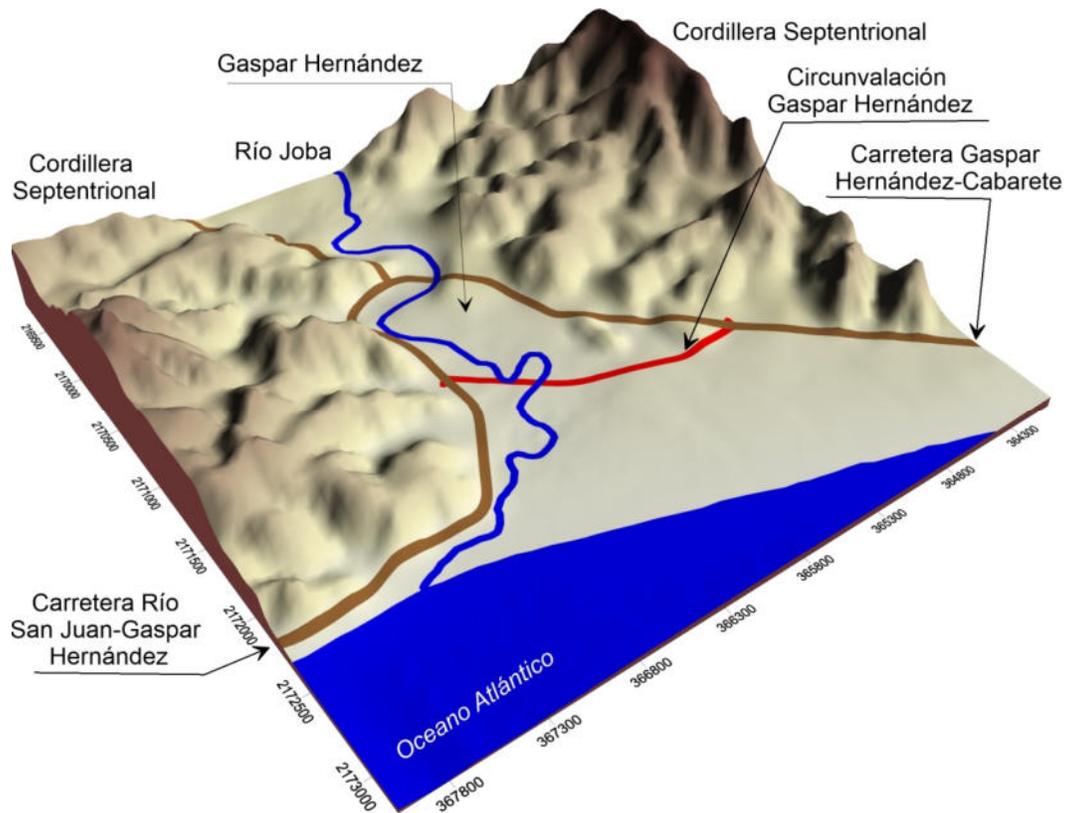


Figura 3. Modelo topográfico digital del área del proyecto. Fuente: Modelación del autor a partir de datos de la hoja topográfica de Gaspar Hernández.

Hidrología

El área del proyecto se ubica en el distrito hidrográfico de la zona de la costa norte, en la cuenca de 86.5 km² del río Joba. Este río es el más importante de los cauces de la región. Nace en las proximidades del poblado de Sabaneta (coordenadas 2159342 N y 372188 E) a 610 msnm y tiene una longitud de 25.4 km hasta su desembocadura en el océano Atlántico, al este de la ciénaga Boca Vieja (Figura 4). A lo largo de su recorrido recibe los aportes de los arroyos Blanco, Higüero, Lejía, Los Limones, La Peña, San Lázaro, El Naranja y Henequén, además de varios cauces sin nombre. Cerca de su desembocadura recibe los aportes de las cañadas Borinchen y las Canas que atraviesan la ciudad de Gaspar Hernández con descargas de aguas residuales de los barrios.

El río Joba tiene un doble interés. Por una parte es la fuente de agua de Joba Arriba, incluyendo Gaspar Hernández y cuenta con balnearios de valor turístico. Por otra parte, todos los reportes de inundaciones en el municipio están asociados a desbordamientos de este río o sus afluentes. El comportamiento de la pendiente del río es bastante diferenciado. Tiene un primer tramo de fuerte pendiente (13.8%) en una distancia de 3.5 km en la que cae de 610 msnm a 120 msnm, seguido de un tramo de pendiente baja 0.81%, a otro de pendiente muy baja de 0.21% con el que llega a la desembocadura (Figura 5). Estos cambios provocan, además de grandes depósitos de sedimentos en su último tramo y su desembocadura, una alta vulnerabilidad a inundaciones en la cuenca baja. Al disminuir bruscamente la pendiente hay una disminución drástica de la velocidad del flujo, se necesita una mayor sección de escurrimiento para conducir el mismo caudal, lo que se traduce en desbordamiento del cauce, cuya capacidad de conducción se ve limitada frente a los caudales en las crecidas.

Geología

En esta componente nos enfocamos en aquellas particularidades geológicas que guardan relación con los riesgos climáticos, donde identificamos tres zonas de interés en el mapa geológico de Gaspar Hernández (SGN, 2010). Nos referimos a las llanuras intermareales abandonadas, las áreas pantanosas y las llanuras de inundación, presentes a lo largo del trazado del proyecto y su área de influencia directa (Figura 6).

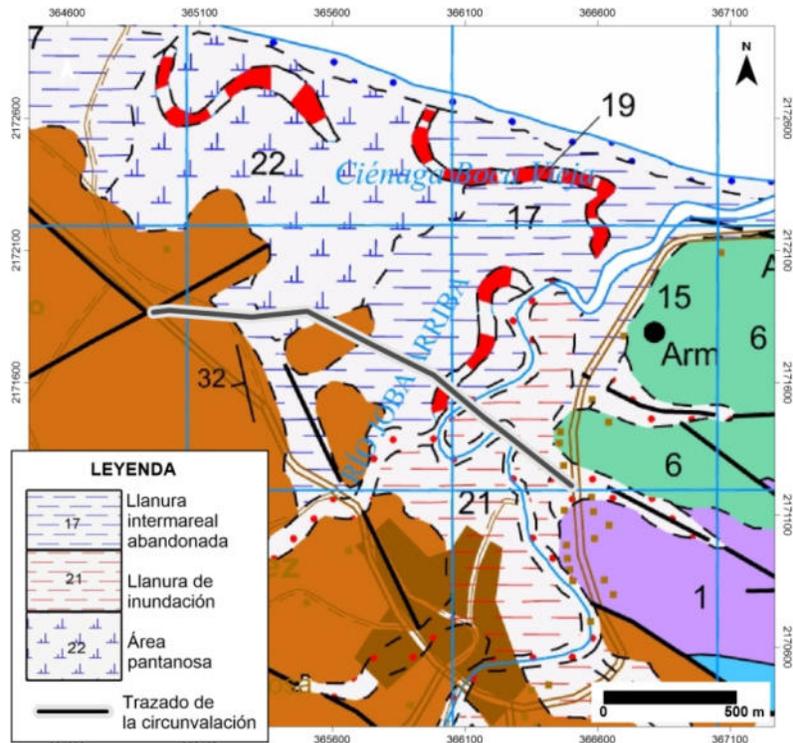


Figura 6. Fragmento del mapa geológico de Gaspar Hernández con el trazado de la carretera (línea blanca y negra). Fuente: Elaborado a partir del mapa del SGN (2010).

La llanura intermareal abandonada corresponde a antiguas marismas, actualmente ajenas a la influencia marina, excepto en el caso de eventos catastróficos, de ahí su relación con los procesos de inundación de la zona costera por penetración del mar. Sus depósitos están relacionados con los procesos mareales, mostrando un carácter eminentemente lutítico², con cierto contenido arenoso y de materia orgánica. Las áreas pantanosas se encuentran en la llanura costera, a espaldas de los cordones litorales. Se trata de lutitas oscuras depositadas en áreas de tendencias endorreicas, es decir sin salida al mar, por lo que se encharcan estacionalmente jugando un papel en las inundaciones, bien sea por penetración del mar (según su distancia al borde costero) como tierra adentro al recoger el agua que baja de la cordillera. Son el resultado de la evolución de antiguas lagunas costeras en proceso de colmatación-deseccación. Por su parte la llanura de inundación se relaciona directamente con los cursos de agua, en nuestro caso el río Joba, cuya llanura aluvial bordea la parte este y sur de la circunvalación con numerosos cauces o meandros abandonados que poseen una morfología más o menos curvilínea. Los depósitos de esta llanura están constituidos por gravas y arenas, con intercalación de niveles lutíticos. GEOCONSULT (2018) reporta la presencia de suelos aluviales y fluviales, producto del arrastre de las aguas superficiales, en su estudio en el área de construcción del puente sobre el río Joba.

² Se refiere a la presencia de lutita, un tipo de roca sedimentaria clástica de grano muy fino.

ASPECTOS DEL CLIMA

Temperatura y precipitación

Según el mapa regional de distribución de la temperatura anual del Atlas Climático de la República Dominicana (JICA/ONAMET, 2004) en el municipio Gaspar Hernández la temperatura promedio se mantiene bastante uniforme en todo el territorio variando entre 22 a 24°C. Por su parte, la precipitación varía entre 1,750 a 2,500 mm, con algunas zonas más lluviosas dispersas por el municipio (Figura 7). Los datos de la estación meteorológica de la Oficina Nacional de Meteorología indican un valor promedio de temperatura de 23.4°C y un promedio de lluvias de 2,036 mm.

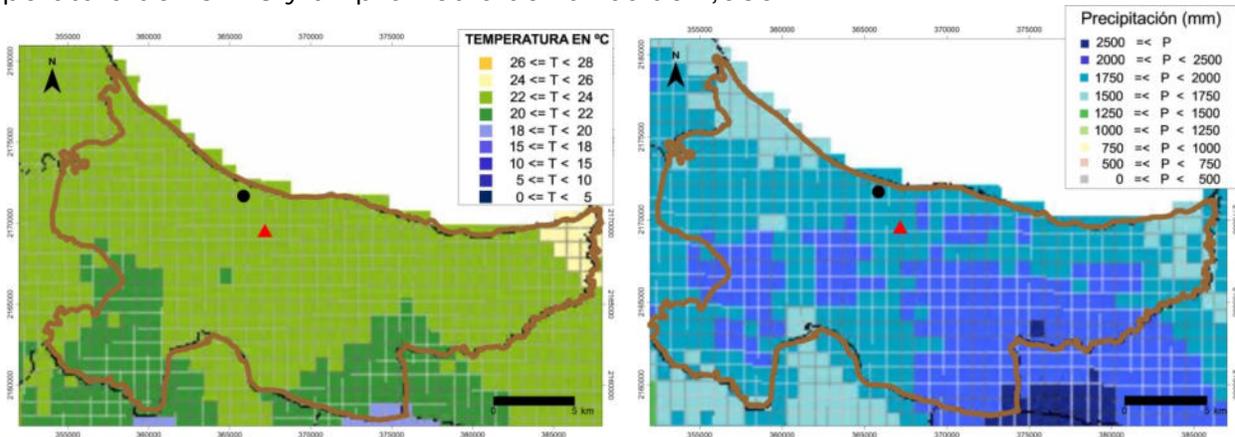


Figura 7. Distribución de la temperatura anual promedio (izquierda) y la precipitación anual promedio (derecha) en el municipio Gaspar Hernández. Se indica el punto central de la carretera (círculo negro) y la estación meteorológica de la Oficina Nacional de Meteorología (triángulo rojo). Fuente: Elaborado a partir de datos de JICA/ONAMET (2004).

Estacionalmente, se observa un valor mínimo de la temperatura en el mes enero con 23.2°C y un valor máximo en junio de 27.2°C que se mantienen altos hasta septiembre donde los valores comienzan a descender hasta valores mínimos nuevamente en diciembre. La variación estacional de la precipitación muestra valores bajos en los tres primeros trimestres del año con mínimos en septiembre (99.4 mm) y junio (106.9 mm), y un valor máximo en noviembre con 310.5 mm. (Figura 8). Este patrón de variación estacional también se observa en los mapas climáticos municipales de distribución de la temperatura (Figura 9) y las precipitaciones (Figura 10).

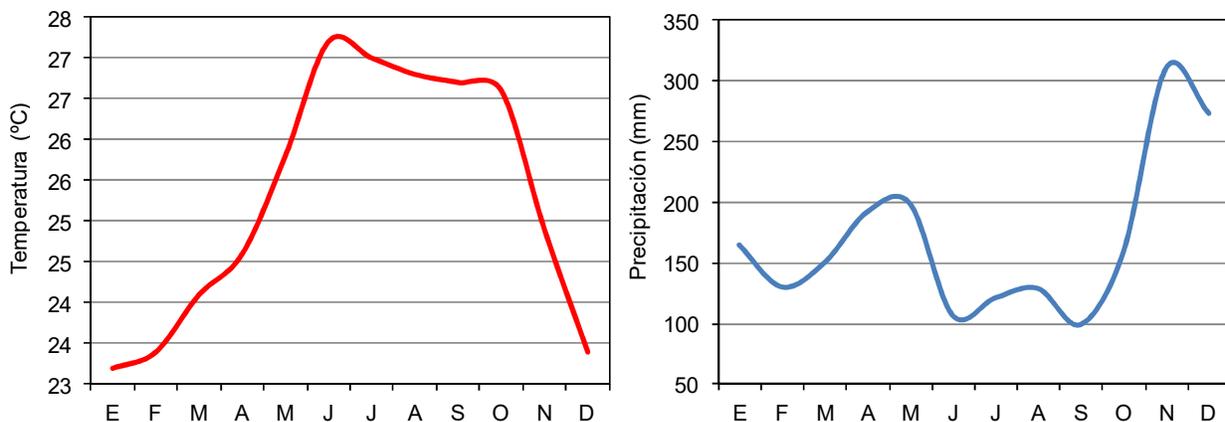


Figura 8. Variaciones estacionales de la temperatura (izquierda) y la precipitación (derecha) en la estación meteorológica de Gaspar Hernández en el período 1961-1990. Fuente: Word Climate (2020).

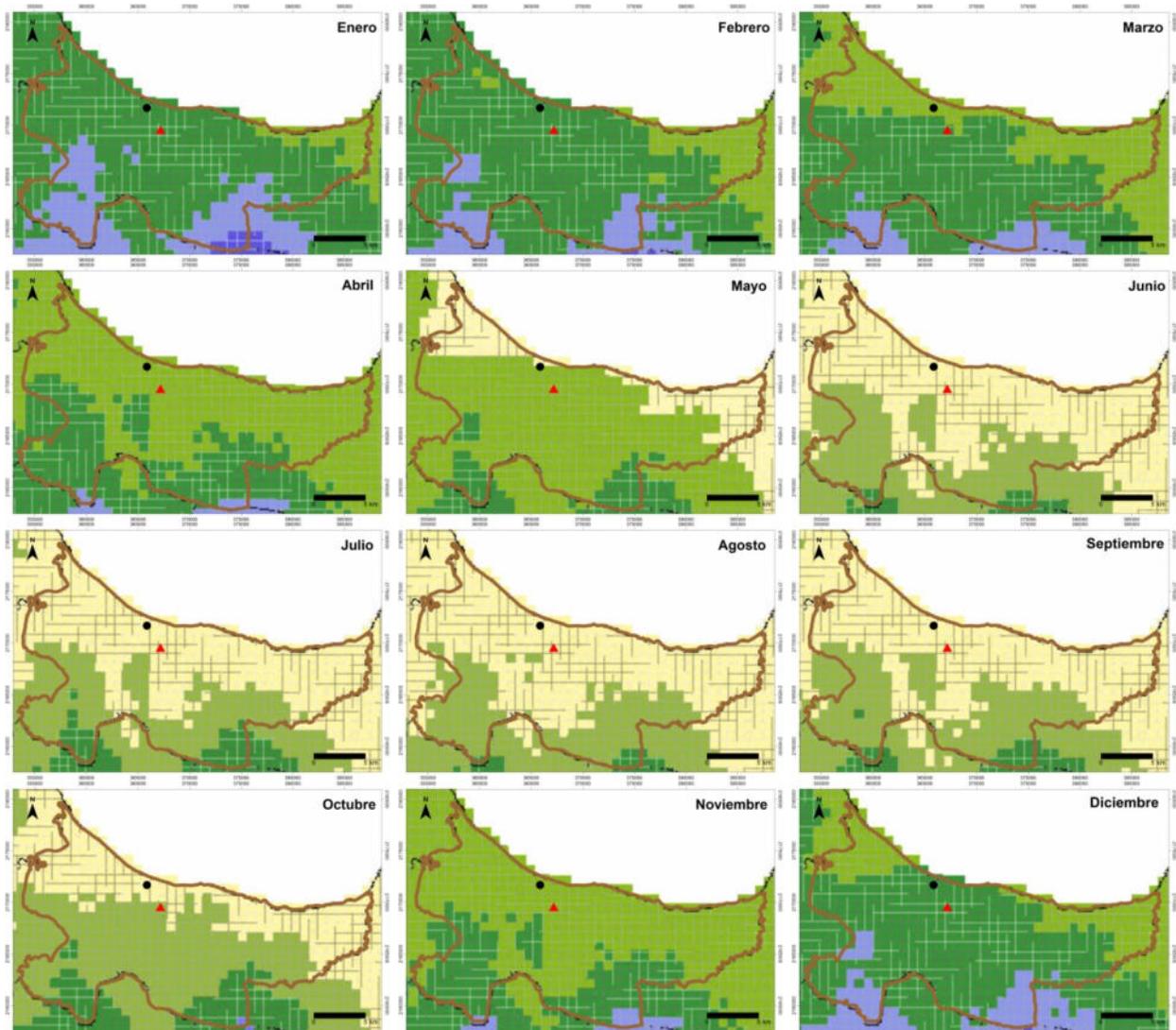


Figura 9. Variación estacional de la temperatura (°C) en el municipio Gaspar Hernández. La escala de colores y la simbología es la misma de la Figura 4. Fuente: Datos de JICA/ONAMET (2004).

Eventos meteorológicos extremos

Entre 1878 al presente, en un radio de 50 km del centro del proyecto, han pasado 29 eventos meteorológicos extremos (Figura 11): una depresión tropical, siete tormentas tropicales y 21 huracanes (nueve de categoría 1, tres de 2, cuatro de 3, cuatro de 4 y uno de 5). Entre los huracanes más devastadores se recuerda a Jeanne en el 2004, que alcanzó la categoría 3 y cruzó el municipio de este a oeste. Además de los eventos considerados en el radio de 50 km que hemos indicado (Tabla 1) hay que considerar otros que pasaron más lejos por la costa norte pero que por su intensidad tuvieron un impacto importante como los recientes huracanes Irma y María. El saldo negativo de todos estos eventos en Gaspar Hernández abarca todos los sectores económicos y sociales: interrupción del tránsito por las carreteras desde Río San Juan y hacia Sosúa-Cabarete, desbordamientos de ríos y cañadas, inundaciones costeras por penetración del mar ante el oleaje de tormenta, afectaciones a la población (muertos, heridos, desaparecidos o evacuados) con cuantiosas pérdidas materiales y económicas que también afectan sectores claves como la agricultura o el turismo.

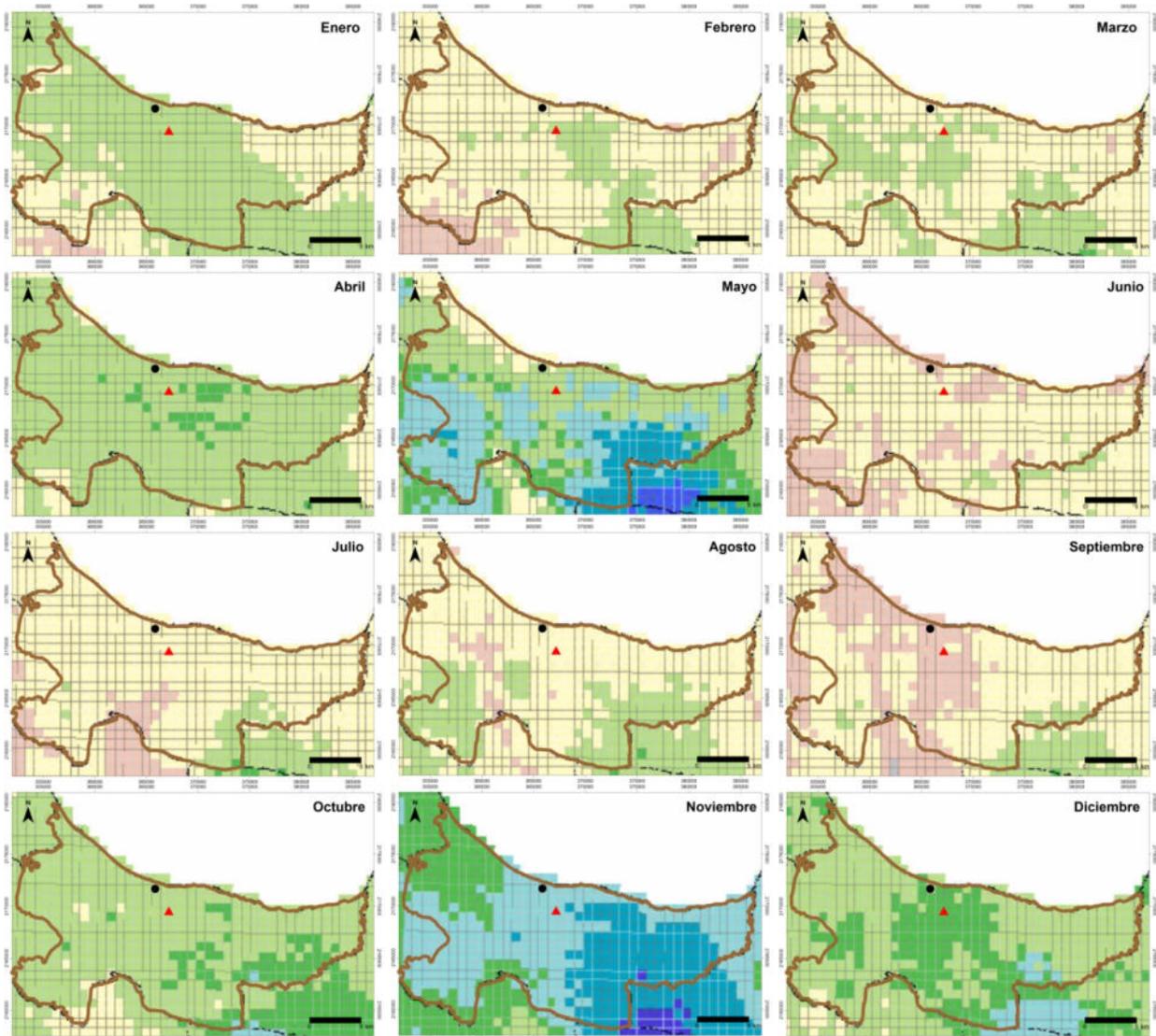


Figura 10. Variación estacional de de la precipitación (mm) [en el municipio Gaspar Hernández. La escala de colores y la simbología es la misma de la Figura 4.](#) Fuente: Datos de JICA/ONAMET (2004).

AMENAZAS CLIMÁTICAS EN LA REGION DEL PROYECTO

Las amenazas climáticas y sus consecuencias a las que se enfrenta el municipio Gaspar Hernández y que pueden incidir en el proyecto de circunvalación, se resumen en: 1) aumento de la temperatura; 2) cambios en el patrón de precipitaciones con lluvias extremas que causan inundaciones y deslizamientos, o disminución de las lluvias provocando sequía; 3) huracanes más intensos que igualmente acarrear lluvias torrenciales junto a los fuertes vientos y 4) ascenso del nivel del mar con sumersión de costas y mayores marejadas ante la mayor intensidad de las tormentas, causando inundaciones y erosión costera (Herrera-Moreno, 2018a).

A la luz de las particularidades del contexto físico-natural que ya hemos discutido, la Tabla 2 ofrece un resumen sobre la situación histórica/actual y futura del clima para Gaspar Hernández y el área del proyecto de circunvalación, bajo las amenazas del cambio climático, que ampliaremos seguidamente en sus impactos más relevantes, para los cuales identificaremos medidas de adaptación en el apartado final.

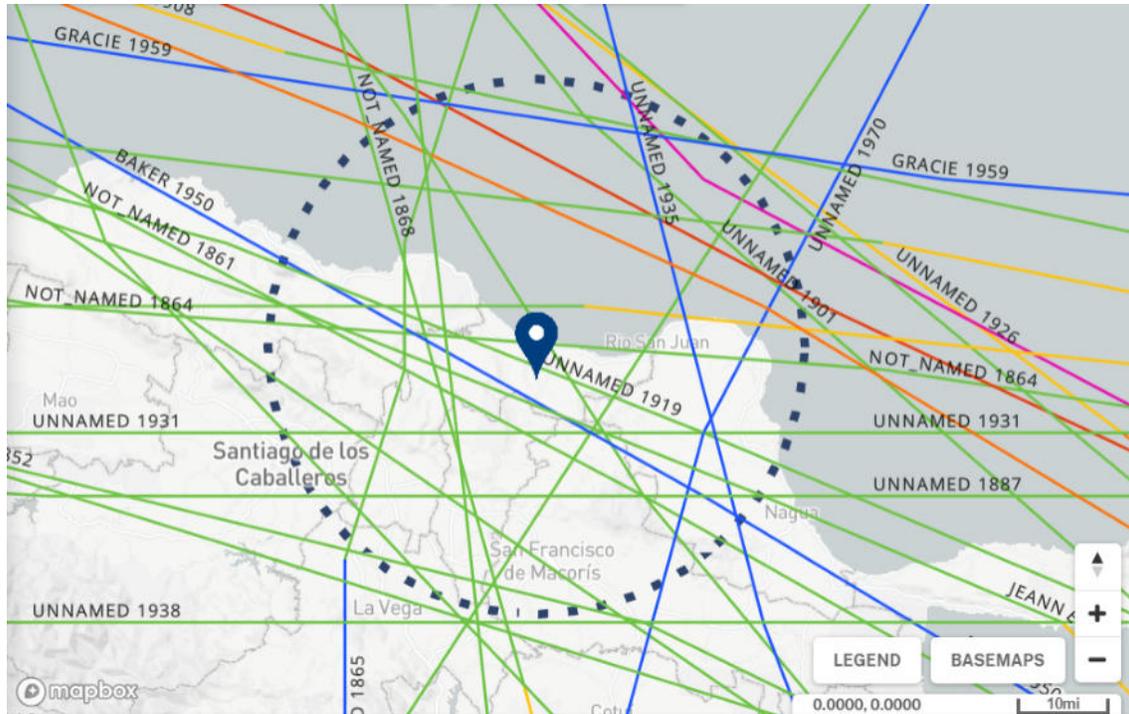


Figura 11. Trayectorias de los eventos meteorológicos extremos que han cruzado en un radio de 50 km (círculo punteado azul) del centro de la carretera entre 1878 a 2020. Fuente: NOAA (2020).

Tabla 1. Datos de los eventos meteorológicos extremos que han cruzado en un radio de 50 km del centro de la carretera (coordenadas 19.636, -70.279) en el período 1878-2020. TD. Depresión tropical, TS. Tormenta tropical, H. Huracán y categoría. Fuente: NOAA (2020).

Nombre	Año	Período	Categoría
Sin nombre	1852	Septiembre 05-06	H1
Sin nombre	1861	Agosto 09-18	H1
Sin nombre	1864	Septiembre 02-13	TS
Sin nombre	1864	Octubre 08-14	TS
Sin nombre	1865	Octubre 08-15	TS
Sin nombre	1868	Octubre 14-19	H1
Sin nombre	1872	Octubre 05-12	H1
Sin nombre	1887	Octubre 9-22	H1
Sin nombre	1896	Agosto 30-Septiembre 11	H3
Sin nombre	1899	Agosto 03-Septiembre 04	H4
Sin nombre	1901	Julio 04-13	H1
Sin nombre	1908	Septiembre 07-19	H3
Sin nombre	1916	Agosto 21-26	H2
Sin nombre	1919	Septiembre 02-16	H4
Sin nombre	1926	Julio 22-Agosto 02	H4
Sin nombre	1928	Septiembre 06-21	H5
Sin nombre	1931	Septiembre 01-04	TS
Sin nombre	1935	Mayo 15-19	TS
Sin nombre	1938	Agosto 08-09	TS
Baker	1950	Agosto 18- Septiembre 01	H2
Gracie	1959	Septiembre 20-October 02	H4
Edith	1963	Septiembre 23-29	H2
Sin nombre	1970	Septiembre 23-October 11	TD
Eloise	1975	Septiembre 13-24	H3
Debbie	2000	Agosto 19-24	H1
Odette	2003	Diciembre 04-09	TS
Jeanne	2004	Septiembre 13-29	H3
Bertha	2014	Julio 29-Agosto 09	H1
Isaías	2020	Julio 23-Agosto 05	H1

Tabla 2. Resumen comparativo de la información sobre la situación histórica, actual y futura del clima en la región del proyecto Circunvalación Gaspar Hernández.

Amenazas	Tiempo	Situación
Aumento de la temperatura	Histórico	La temperatura media anual en Gaspar Hernández alcanza 25.3°C (entre 20.7 y 29.9°C) para el período 1961-1990 (World Climate, 2020). En el 2012 ONAMET reporta 38°C, muy por encima de los registros históricos
	Futuro	En República Dominicana la media anual de temperatura aumentó 0.45°C de 1960 a 2003 (McSweeney <i>et al.</i> 2012) Las temperaturas mínimas aumentarán entre 2 a 3°C y las máximas entre 1 a 3°C al 2050 (CATHALAC, 2015)
Cambios en el patrón de las precipitaciones	Histórico	La precipitación media anual en Gaspar Hernández es 2036 mm (entre 99.4 y 31.5 mm) en el período 1961-1990 (World Climate, 2020). En los períodos 1971-2000 y 2018-2019, el acumulado en época lluviosa disminuyó de 729.5 mm a 558.3, y el total de 1944.5 a 1082.2 mm, respectivamente (MA, 2019).
	Futuro	En República Dominicana la precipitación total anual hacia el 2050 disminuirá un 15 % en comparación con los valores históricos (1961-1990) y las provincias del Sur y Oeste serán las más afectadas (CATHALAC, 2015)
Sequía	Histórico	En República Dominicana se han registrado varios ciclos de sequía severa que han afectado sistemáticamente a Gaspar Hernández si bien no de una manera prolongada por encontrarse en las clases climáticas de débilmente a moderadamente húmedo (Izzo <i>et al.</i> (2010). En el presente año ONAMET reporta sequía severa-extrema en mayo-junio 2020.
	Futuro	En República Dominicana la temporada de sequía (diciembre-abril) podrá intensificarse aún más hacia el 2050 (CATHALAC, 2015)
Intensidad de eventos meteorológicos extremos	Histórico	Entre 1878 al 2020, han pasado por el área del proyecto en Gaspar Hernández 29 eventos meteorológicos extremos: una depresión tropical, siete tormentas tropicales y 21 huracanes (categorías de 1 a 5) con precipitaciones extremas, causando inundaciones (costeras y fluviales) y deslizamientos
	Futuro	La frecuencia de los huracanes puede no cambiar, pero su intensidad promedio global puede aumentar de 2 a 11% al 2100 (Knutson <i>et al.</i> , 2010) y se espera un incremento de la tasa de precipitación del 20% dentro de los 100 km de los centros de tormentas (Knutson <i>et al.</i> , 2010)
Ascenso del nivel del mar, oleaje de tormenta y erosión costera	Histórico	No se cuenta con datos del ascenso del nivel del mar para Gaspar Hernández. A nivel global se considera que el nivel medio del mar ha aumentado sustancialmente en los últimos 100 años, en el intervalo de 0.1 a 0.2 m (IPCC, 2013). Por su ubicación en la llanura atlántica la zona costera de Gaspar Hernández está sujeta a inundaciones recurrentes durante las tormentas.
	Futuro	Para escenarios de bajas y altas emisiones, el nivel del mar al 2050 aumentará 0.30 m y 0.34 m, respectivamente, respecto al nivel del año 2000 (Bamber <i>et al.</i> , 2019). Aumentará la altura del oleaje exacerbando la inundación, erosión, salinización y el impacto de tormentas poco severas.

IMPACTOS CLIMÁTICOS Y VULNERABILIDAD DE LA REGIÓN DEL PROYECTO

Aumento de la temperatura

La media anual nacional de temperatura aumentó 0.45°C de 1960 al 2003 (McSweeney *et al.* 2012) y continuó aumentando en la siguiente década con máximas por encima de los récords históricos en varias localidades (ONAMET, 2020). Los escenarios climáticos indican que las máximas aumentarán entre 1 a 3°C al 2050. El aumento de temperatura causa el deterioro acelerado de la capa asfáltica, expansión térmica de las juntas de puentes y pavimentos de hormigón y daños en el pavimento (surcos, ablandamientos y exudación) al punto de que se erosionen o resquebrajen, con implicaciones económicas por mayores gastos de mantenimiento y reparación de vías.

Reducción de las precipitaciones

Los cambios en el patrón de precipitaciones pueden expresarse con una reducción de la lluvia que en casos extremos promueve la sequía. De hecho, los escenarios climáticos indican reducción de las precipitaciones al 2050, donde la precipitación total anual disminuirá en un 15 % o más, y la temporada de sequía podría intensificarse (CATHALAC, 2015). La reducción de las lluvias exagera el impacto térmico sobre la carretera

y tiene un impacto adicional por la pérdida de la vegetación en el entorno de la vía, que juega un papel en el sombreado y conservación del suelo.

Precipitaciones torrenciales y eventos meteorológicos extremos más intensos

El incremento de las lluvias es un fenómeno asociado al cambio climático, bien sea porque los cambios en las precipitaciones se expresan con la aparición de aguaceros torrenciales fuera de la temporada lluviosa o por el incremento de la intensidad de los eventos meteorológicos extremos. Los escenarios de cambio climático indican que la intensidad promedio global de los huracanes puede aumentar de 2 a 11% al 2100 y se espera un incremento de la tasa de precipitación del 20% dentro de los 100 km de los centros de tormentas (Knutson *et al.*, 2010). Considerando la ciclología de la región y sus características físico-naturales, no hay dudas de que el proyecto está amenazado por el impacto de lluvias torrenciales que provocarán inundaciones y desencadenarán deslizamientos. Del mapa de inundaciones del Ministerio de Medio Ambiente puede observarse que el área del proyecto está incluida en un gran polígono de inundación que abarca la zona costera y la ciudad de Gaspar Hernández (Figura 12).

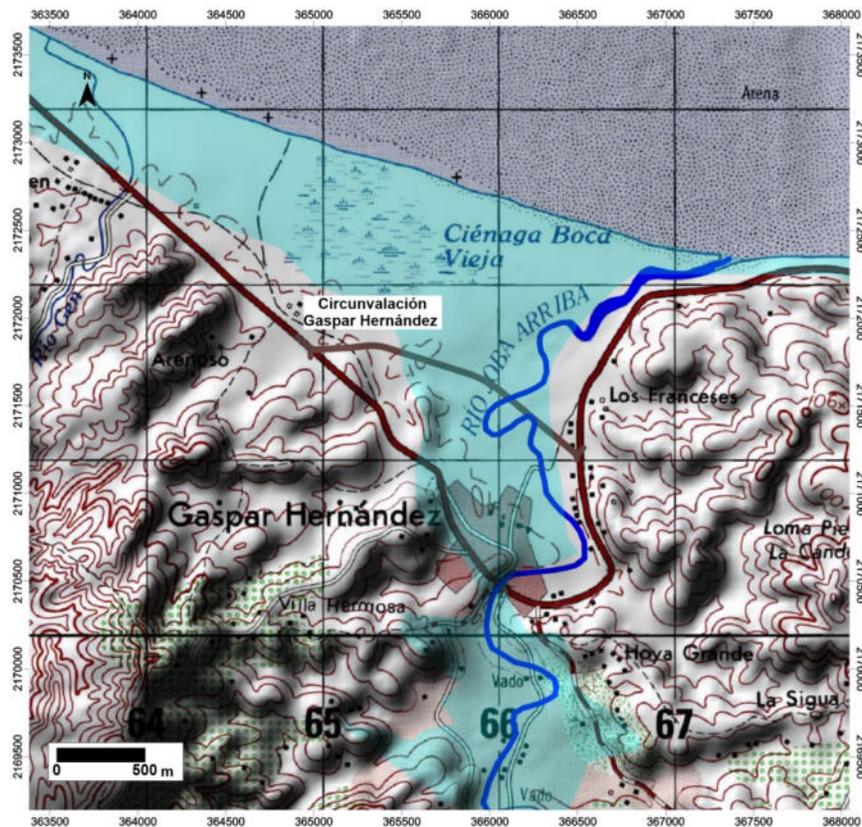


Figura 12. Superposición de las capas de inundación (lámina azul), el modelo geomorfológico tridimensional y la hoja topográfica. Fuente: Capa de inundación del Ministerio de Medio Ambiente (2020).

Esto puede tener un efecto devastador sobre la infraestructura vial por el impacto físico de los vientos y muy especialmente por las inundaciones que pueden provocar daños estructurales en pilares, puentes y estructuras de soporte; daños en las distintas capas del pavimento, sobrecargas de los sistemas de drenaje o deterioro de la integridad estructural de carreteras y puentes debido al incremento de la humedad en las estructuras. La propia construcción puede provocar cambios en los patrones superficiales de escorrentía y generar o extender el área de inundación. Estos daños conllevan

costos de reparación considerables para las autoridades de administración vial, generan dificultades de acceso para los servicios de emergencia e interrupciones para los usuarios de las carreteras. Las consecuencias para los negocios y la economía en general pueden ser considerables (GBM/CAPRA, 2016) Debido al tiempo y el costo requeridos para la reconstrucción, es fundamental prevenir desde la fase constructiva como se establece en el plan de medidas de adaptación.

Otra amenaza asociada a las fuertes lluvias son los deslizamientos en zonas de alta pendiente, cuando las avalanchas de agua erosionan los taludes. Los deslizamientos causan daño a la infraestructura de transporte y provocan la caída de rocas, escombros y árboles sobre la calzada. Desde hace muchos años se vienen produciendo derrumbes y hundimientos en puntos de la cordillera Septentrional, incluyendo en las zonas de Jamao, Gaspar Hernández y Tenares, donde las vías y caminos vecinales a menudo se deterioran. La circunvalación no está expuesta a este riesgo pues no está circundada por montañas pero sí lo están las vías con las cuales se comunica al este y al oeste. El adecuado funcionamiento del proyecto requerirá de atender, siquiera sea indirectamente, la situación de las vías aledañas para garantizar un flujo seguro.

Ascenso del nivel del mar, oleaje de tormenta y erosión costera

El nivel medio global del mar ha aumentado entre 0.1 a 0.2 m en los últimos 100 años (IPCC, 2013) y aumentará entre 0.30 m y 0.34 m al 2050 (Bamber *et al.*, 2019). El primer impacto del ascenso del nivel del mar es la pérdida de la costa que irá quedando sumergida en la medida que ascienda, particularmente en zonas de poca pendiente. Por otra parte, al estar el nivel del mar más elevado, su penetración tierra adentro por el oleaje de las tormentas (que serán más intensas) será mayor causando daños por inundaciones, anegamientos permanentes en áreas costeras y desgaste de la vías cercanas a la línea de costa por la erosión. Las carreteras costeras se vuelvan inutilizables durante los eventos meteorológicos extremos. El oleaje más fuerte durante tormentas más intensas puede dañar significativamente la infraestructura vial por el impacto físico. En casos extremos de retroceso de la línea de costa la carretera puede perderse completamente como ha ocurrido en otras zonas costeras del país.

La circunvalación no es una carretera costera. Su trazado se mantiene a más de 900 m de la costa por lo que no se esperan impactos por esta amenaza. Sin embargo su objetivo es servir de enlace entre las vías del este y el oeste, y al respecto la vía que la enlaza con Río San Juan sí está afectada entre las coordenadas 367707 E y 2172237 N con 367983 E y 2172288 N, por un fuerte proceso de erosión costera (Figura 13) que de alguna forma debe ser considerada en el presente proyecto.

SÍNTESIS DE VULNERABILIDADES

En síntesis, el proyecto Circunvalación Gaspar Hernández es vulnerable al incremento de la temperatura en todo su recorrido e inundaciones que puedan causar las precipitaciones torrenciales, especialmente las asociadas a los eventos meteorológicos extremos que son recurrentes en esta parte del país. Los deslizamientos con riesgo de desestabilización por las altas pendientes ante precipitaciones extremas (agravado por la deforestación) así como el ascenso del nivel del mar son más relevantes para las vías con las que enlaza, lo cual puede poner en riesgo el objetivo de la circunvalación de ayudar a reducir el tráfico en el centro urbano de Cabarete y agilizar el tráfico de carretera. La Figura 14, tomada de la *Guía de buenas prácticas para la adaptación de las carreteras al clima* (CAF, 2018), resume las amenazas e impactos a la infraestructura de las carreteras por el cambio climático que hemos discutido.



Figura 13. Situación de erosión costera en un tramo de la carretera Río San Juan- Gaspar Hernández.

AMENAZA CLIMÁTICA POTENCIAL	IMPACTOS EN LA INFRAESTRUCTURA DE CARRETERA
Incremento de precipitación y tormentas	<ul style="list-style-type: none"> • Inundaciones en las carreteras • Daños en pilares, puentes y estructuras de soporte • Daños en las distintas capas del pavimento • Daño a la infraestructura de transporte debido al incremento de los deslizamientos • Sobrecargas de los sistemas de drenaje • Cambios en los patrones superficiales de escorrentía • Deterioro de la integridad estructural de carreteras, puentes y túneles debido al incremento de la humedad en las estructuras
Vendavales o vientos fuertes	<ul style="list-style-type: none"> • Caída de árboles, equipamiento u otros elementos sobre la calzada • Inestabilidad de los vehículos en carreteras y puentes • Incremento de la erosión de taludes y terraplenes • Daños estructurales a los puentes • Rotura de la señalización vertical de gran tamaño
Incremento de condiciones de sequía y fuegos en algunas regiones	<ul style="list-style-type: none"> • Pérdida de la cubierta vegetal en los márgenes • Daño de la infraestructura por incremento de fuegos y por aumento de la erosión, y movimientos en masa como consecuencia de la pérdida de la capa vegetal quemada
Incremento de días muy calurosos y olas de calor	<ul style="list-style-type: none"> • Expansión térmica de las juntas de puentes y pavimentos de hormigón • Daños en el pavimento (surcos, ablandamientos y exudación, entre otros)
Incremento del nivel del mar y oleadas	<ul style="list-style-type: none"> • Daño a autopistas, carreteras, túneles subterráneos y puentes debido a inundaciones, anegamientos permanentes en áreas costeras, y erosión costera • Daño a la infraestructura por subsidencia del terreno y deslizamientos

Figura 14. Amenazas climáticas e impactos previsible en carreteras. Fuente: CAF (2018)

PLAN DE MEDIDAS DE ADAPTACIÓN CLIMÁTICA

Como hemos visto, la variabilidad y cambio climáticos tiene consecuencias significativas en las infraestructuras viales. Debido a la duración de la vida útil de las carreteras, que puede superar los 50 años, estas no sólo son sensibles al clima en el momento de su construcción o mantenimiento, sino también a las variaciones del clima décadas después. Para aumentar la resiliencia de la red vial debe gestionarse adecuadamente el impacto que el clima puede producir en ellas a lo largo de su vida útil. De ahí que las obras del presente proyecto deben planificarse, diseñarse, construirse y mantenerse teniendo en cuenta los datos históricos, los condicionantes del clima actual y las previsiones climáticas estimadas hasta el final de su vida útil (CATHALAC, 2015) Por su parte, la red vial existente debe adaptarse a las circunstancias del clima mediante acciones de mejora, aprovechando programas de rehabilitación, mantenimiento o acondicionamiento, con actuaciones específicas de adaptación climática.

La adaptación de la carretera tiene como objetivo prever los efectos adversos del clima y tomar las medidas adecuadas para evitar o minimizar los daños que puedan causar y de reducir costos futuros y maximizar la rentabilidad de las inversiones. Estas medidas de adaptación deben enfocarse tanto a corto como a medio y largo plazo, y complementarse con las herramientas de gestión ambiental, contenidas en los restantes apartados del presente estudio. Bajo estos criterios, seguidamente se ofrece un resumen de medidas de adaptación para el proyecto Circunvalación Gaspar Hernández, tanto de carácter general como específicas para abordar los impactos del clima en los cuatro grandes ámbitos de trabajo de la ingeniería vial: geotecnia y taludes, hidrología y drenaje, estructuras y pavimentos (Figura 15)

Las opciones de adaptación relacionadas al transporte son múltiples pero un principio básico de la planificación vial que puede aplicarse al proyecto Circunvalación Gaspar Hernández es incorporar las consideraciones de cambio climático en todas las decisiones pertinentes a la infraestructura del sector, en lugar de construir sobre estándares más bajos y corregir después (ICF/IRG, 2013) Aquí seguiremos la *Guía de buenas prácticas para la adaptación de las carreteras al clima*, una excelente referencia (CAF, 2018) que debe ser considerada por los promotores. Estas medidas están en línea con las normas y reglamentos de construcción de carreteras del Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones (MOPC, 2020),

Medidas generales

Para las carreteras, existen algunas medidas de adaptación al cambio climático de carácter general, así como medidas particulares que aplican a sus diferentes amenazas. Considerando la síntesis de vulnerabilidades del proyecto Circunvalación Gaspar Hernández que ya hemos discutido, podemos incluir dentro de las medidas de carácter general, las siguientes: (1) incorporar el cambio climático en todas las decisiones pertinentes relativas al proyecto (p.ej. los escenarios nacionales) desde su diseño hasta su construcción y mantenimiento, (2) incorporar nuevos códigos de construcción para vías, estaciones y parqueos, (3) desarrollar servicios viales redundantes para afrontar las interrupciones por causas climáticas (p. ej. incrementar los desvíos), (4) asegurar la flexibilidad de las opciones de transporte de evacuación en casos de emergencia, (5) reducir los períodos de mantenimiento para afrontar los cambios de temperatura y precipitaciones, aumentando los recursos financieros y técnicos para una mayor frecuencia de estas acciones, (6) monitorear los cambios de las condiciones ambientales afectadas por el clima sobre la vía (p.ej. patrones de erosión del suelo o frecuencia y severidad de los eventos de inundaciones) (7) conservar y mantener un sistema de vialidades compatibles con los flujos actuales y futuros de la circulación entre los orígenes y destinos dados.

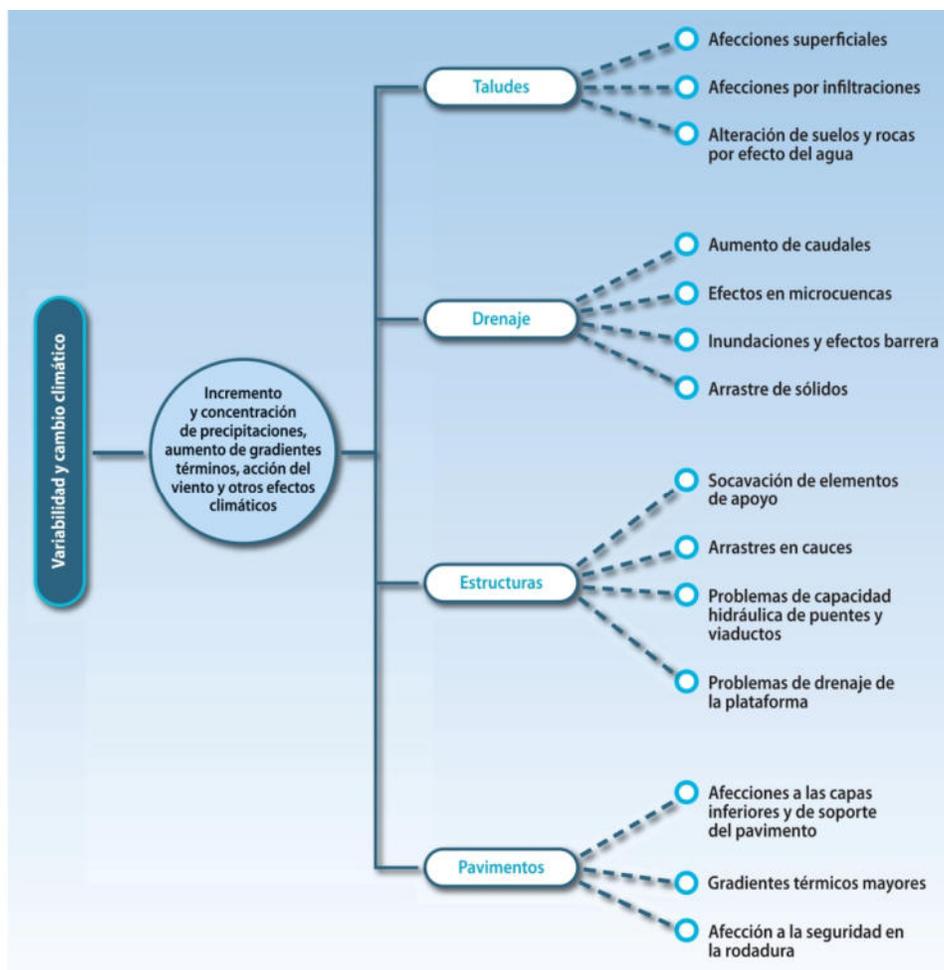


Figura 15. Impactos de la variabilidad y cambio climáticos en las carreteras. Fuente: CAF (2018).

Medidas ante el incremento de la temperatura

Entre las medidas encaminadas a reducir los impactos del en todo el trazado de la carretera, tenemos: (1) construcciones viales resistentes a la temperatura con modificación de la composición de las capas asfálticas para tolerar/reducir valores extremos (de acuerdo a los estándares establecidos), (2) empleo de combinaciones mejoradas (p. ej. de asfalto/concreto mejorado) para la carretera, (3) incremento del arbolado en el entorno de las vías con mayor infraestructura verde en parqueos, estacionamientos y vías de tránsito, (4) incremento de los espacios peatonales sombreados en sitios de movimiento de transeúntes o espera de pasajeros del transporte público, (5) incorporación de materiales reflectantes en el diseño de vías y (6) reducir los períodos de mantenimiento de las vías para garantizar que no haya daños permanentes o intensos por el aumento de temperatura.

Medidas ante eventos extremos más intensos y precipitaciones extremas

Entre las medidas encaminadas a reducir los impactos de los eventos extremos más intensos y con mayores precipitaciones en todo el trazado de la carretera de circunvalación Gaspar Hernández, tenemos en primer lugar seguir los resultados del estudio hidrológico (IDC, 2019) en cuanto a las obras de drenaje que deben ser colocadas y en particular: (1) La construcción de un puente sobre el río Joba con H: 5.00 m para

garantizar la transitividad, evitando el socavamiento del tramo de carretera en caso de que ocurran avenidas extremas³ (2) la construcción de un cajón 3.5x3.5 triple para evitar la socavación de la vía e interrupción del tránsito en caso de que ocurran lluvias extraordinarias (periodo de retorno de 50 años) en el punto donde la vía recibe un aporte significativo de la ciénaga Boca Vieja (unos 103 m³/segundo).

Otras medidas generales para reducir el impacto de precipitaciones extremas y evitar inundaciones comprenden: (1) evitar en lo posible las zonas de inundación en la trama vial, (2) aumento de espacios libres de puentes para dar cabida a mayores niveles de agua, (3) aumento de las especificaciones de diseño para diámetros de alcantarillas, (4) reconsiderar el diseño de pasos inferiores de carreteras considerando fuertes lluvias e inundaciones, (5) fomentar pavimentos permeables para disminuir el encharcamiento y escorrentía ante tormentas, (6) empleo de materiales resistentes a la anegación, (7) ubicación de estaciones/parqueos fuera de áreas propensas a inundación y (8) manejo de la infraestructura verde para crear espacios de sombra e infiltración.

Medidas ante la reducción de precipitaciones

Entre las medidas encaminadas a reducir los impactos de la reducción de precipitaciones en todo el trazado de la carretera, tenemos: (1) estructuras de captación y almacenamiento de agua en instalaciones de peajes, parqueos, estacionamientos y talleres, (2) regado de vías en áreas y horas térmicamente críticas, (3) cubierta vegetal en los márgenes con especies arbóreas y arbustivas (preferiblemente autóctonas) de poca demanda de agua y (4) coordinaciones con el Ministerio de Medio Ambiente en el tema de fuegos que eventualmente puedan dañar la carretera construida.

Medidas para taludes

La estabilidad de los cortes y rellenos de las carreteras se ve afectada directamente por las características de los materiales en los que se construyen; a su vez, las características mecánicas de estos materiales están influenciadas por su grado de saturación, las presiones intersticiales (debidas a las infiltraciones), la temperatura y otros agentes relacionados con el clima, siendo el agua el que mayores riesgos puede generar. Este efecto higrométrico (cambios de humedad) sobre las características de los materiales hace necesario aumentar el control sobre el agua superficial e infiltrada en las carreteras y prever medidas para el seguimiento en las carreteras en operación.

(1) Garantizar la estabilidad de cortes, rellenos, muros, cimentaciones de estructuras y otros elementos, particularmente en los cuatro tramos inundables de la carretera, para lo cual se debe tener en cuenta los siguientes aspectos clave:

(a) Considerar los parámetros geotécnicos para el diseño de cortes, rellenos, muros, cimentaciones y otros elementos a partir de estudios geológicos iniciales, que permitan prever las situaciones que pueden producirse durante la vida útil de la carretera y las necesidades a considerar en su diseño o construcción, especialmente en lo que se refiere a la evolución de su comportamiento por la variación de la humedad.

(b) Armonizar el drenaje (que se ampliará más adelante) y los comportamientos geotécnicos, habida cuenta de que una mala definición de los primeros implica, necesariamente, un empeoramiento del comportamiento de los segundos.

³ Tomando en cuenta que para el periodo de retorno de 100 años se ha obtenido un caudal máximo de 397.7 m³/segundo y que la sección de diseño propuesta es capaz de conducir unos 558.9 m³/segundo, se ha recomendado la construcción de un puente con H: 5.00 m, ya que dicha sección garantiza la transitividad y evita el socavamiento del tramo de carretera en caso de avenidas extremas.

(c) Establecer elementos de control y vigilancia basados en: la evolución de la geometría de la sección de la vía, la aparición de grietas sobre elementos de la sección, desplazamientos de pequeñas obras de fábrica y la modificación de los flujos de agua del entorno de la carretera. Tales cambios, que pueden observarse en caminos, cortes, cunetas y obras de fábrica, pueden ser un indicador de la variación higrométrica de los materiales que puede tener consecuencias sobre la estabilidad de los mismos.

Medidas para el drenaje

La variación de las precipitaciones originada por la variabilidad y cambio climáticos se traduce tanto en una mayor dispersión de los períodos de lluvia, como en episodios de mayor precipitación en períodos más cortos (duración de la tormenta) Estos escenarios requieren de una serie de consideraciones en el diseño de la carretera, así como un conjunto de medidas durante el período de construcción y una corrección de los protocolos de actuación durante la operación.

(1) Establecer una colaboración con ONAMET a fin de contar con estadísticas y previsiones actualizadas de las precipitaciones y, a partir de éstas, seleccionar de forma adecuada los períodos de retorno, duración de la tormenta y tiempos de concentración, que permitan asegurar que los caudales de diseño de las obras de drenaje de la carretera tienen un dimensionamiento adecuado y éste es suficiente para episodios de lluvia excepcionales.

(2) Considerar que los caudales punta se acompañan de arrastres de material, que o bien se sedimentan en tramos de menor velocidad del flujo hidráulico o bien pueden quedar retenidos ante un insuficiente dimensionamiento del drenaje, ocasionando obstrucciones en el sistema, por lo que se debe prever estas situaciones, disponiendo los medios necesarios para la protección de elementos ante los arrastres y evitando zonas de sedimentación no controlada, que, en caso de existir, deben ser consideradas en los protocolos de mantenimiento.

(3) Considerar que las dispersiones pueden ser mucho mayores en los períodos de lluvias extremas por lo que elementos, como cunetas de protección de cortes y relleños, deben mantenerse siempre como opciones en previsión de condiciones climáticas extremas que podrían aparecer de forma repentina durante los trabajos de mantenimiento incrementando los posibles aterramientos de cunetas, canales y conducciones, así como la alteración de las condiciones de la entrada y salida a las obras de fábrica, que afectan al funcionamiento general del sistema de drenaje.

(4) Las aguas infiltradas deben ser extraídas, siempre que se detecten, por los diversos medios que estén al alcance del gestor de la infraestructura, requiriendo, como en el resto de casos, de un estudio y diseño previos detallados.

Medidas estructurales

En los nuevos proyectos es recomendable considerar factores como los gradientes térmicos más elevados, la protección de las cimentaciones y elementos verticales frente a arrastres de sólidos durante eventos de precipitación extraordinaria, las socavaciones y un eficiente tratamiento de las escorrentías en los elementos horizontales. Entre estos criterios de diseño, se pueden destacar:

(1) Revisión de los caudales de diseño para el dimensionamiento (nuevos criterios de precipitaciones punta, coeficientes de seguridad, períodos de retorno, etc.)

(2) Medidas adicionales de protección frente a grandes avenidas y procesos de socavación y arrastre en cimentaciones así como otras medidas como el drenaje superficial de tableros.

(3) Seguir los procedimientos constructivos propuestos con las medidas de protección necesarias para hacer frente a los fenómenos climatológicos y analizar la aparición de condiciones de contorno no previstas en el diseño, para redefinir las estructuras o incorporar nuevas medidas de protección.

(4) Establecer un control eficiente de aquellos elementos que pueden verse afectados por los agentes atmosféricos, como son el estado de los apoyos, el estado de la fisuración de superficies y las condiciones del drenaje superficial de los elementos horizontales.

(5) Vigilar los efectos de arrastres y socavaciones producidas por caudales extremos sobre los elementos de apoyo, y, en caso de que existan indicios sobre posibles afecciones futuras, se deben analizar y diseñar las protecciones necesarias y revisar periódicamente los estados de fisuración de las superficies de los diferentes elementos de las estructuras a ver si existen indicios de deterioros excesivos que puedan requerir reparaciones o tratamientos de las mismas.

Medidas para pavimentos

En el caso de los pavimentos, las afecciones ocasionadas por la variabilidad y cambio climáticos vienen en su mayoría originadas por el aumento de las precipitaciones y por la exposición a un mayor gradiente térmico. El correcto dimensionamiento del pavimento redundará en una mejora de la seguridad vial, en una mejor adaptación a las condiciones climáticas y, en consecuencia, en menores costos durante la vida útil de la carretera por disminución sensible de las inversiones en las grandes reposiciones y un menor costo del mantenimiento ordinario. Al igual que se ha indicado para los sistemas anteriores, los incrementos en las precipitaciones y la mayor concentración de la lluvia en períodos más cortos hacen necesario afrontar las consecuencias que se derivan de la mayor abundancia de agua en el pavimento, tanto en superficie como en las capas inferiores o de soporte. Asimismo, se constata la mayor variación de la temperatura, que implica que las soluciones que se definan deben considerar un rango térmico mayor, con propuestas menos sensibles a un gradiente térmico más amplio. Las soluciones de pavimentos frente a un clima cambiante pasan por:

(1) La disposición de un sistema drenante que garantice que las capas de soporte del pavimento funcionan en las condiciones de humedad máxima para las que fueron diseñadas, facilitando que aumente la durabilidad de las capas de pavimento, ya sean mezclas de concreto asfáltico o hidráulico.

(2) El empleo de soluciones que mejoren el comportamiento de las carpetas de pavimento (hidráulicas o asfálticas), mediante el empleo de ligantes menos sensibles a estas variaciones térmicas (ligante asfáltico) y cementos de menor calor de hidratación, junto con sistemas que faciliten las transferencias de cargas entre losas en condiciones térmicas diferentes (conglomerantes hidráulicos), reducen sensiblemente los deterioros que se producen en la vida del pavimento.

(3) La calidad del sistema de drenaje del pavimento y la precipitación media de la región donde se reconstruirá la circunvalación Gaspar Hernández, son parámetros relevantes en la determinación de la estructura del pavimento por lo que es importante seguir las recomendaciones del estudio del pavimento que ofrece especificaciones sobre el coeficiente de drenaje, la calidad de los materiales a emplearse, los materiales

constituyentes del pavimento (coeficientes estructurales), el diseño estructural (pavimentos flexible, rígido y mixto), el dimensionamiento de barras de unión, pasadores y armadura distribuida (LESIMSA, 2017).

REFERENCIAS

- Bamber, L. Jonathan; Oppenheimer, Michael; E. Kopp, Robert; P. Aspinall, Willy; M. Cooke, Roger (2019) Ice sheet contributions to future sea-level rise from structured expert judgment. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 116 (23): 11195-11200.
- Barbero, José A y Rodríguez Tornquist, Rodrigo (2012) Transporte y cambio climático: hacia un desarrollo sostenible y de bajo carbono. *Revista Transporte y Territorio*, Buenos Aires, Argentina, 6, pp. 8-26.
- BID (2010) Banco Interamericano de Desarrollo en República Dominicana Programa de Reconstrucción Prevención de Desastres. http://www6.iadb.org/dominicana/articulos/PrevencionDesastres_02.htm.
- CAF (2018) Guía de buenas prácticas para la adaptación de las carreteras al clima. Corporación Andina de Fomento, 133 pp.
- CATHALAC (2015) Informe Final Simulación Escenarios Climáticos Proyecto Tercera Comunicación Nacional de la República Dominicana, Centro del Agua del Trópico Húmedo para América Latina y el Caribe, 37 pp.
- Felio, G. (2015) Vulnerability and adaptation of transportation infrastructure to climate change. Canadian Network of Asset Managers - Vancouver.
- GBM/CAPRA (2016) Notas Técnicas. Riesgo de inundaciones en redes viales. Grupo Banco Mundial, Programa de evaluación probabilista del riesgo de desastres para América Latina y el Caribe, 38 pp.
- GEOCONSULT (2018) Estudio de suelos Puente Río Joba Carretera Gaspar Hernández Provincia Espaillat, 241 pp.
- Herrera-Moreno, A. (Coordinación técnica) (2018a) *Guía metodológica para la elaboración del Plan Municipal de Adaptación Climática*. Consultoría para el Desarrollo de Capacidades Municipales en Cambio Climático con énfasis en Planificación Local para la Adaptación. Segunda Fase del Programa Regional de Cambio Climático América Latina y el Caribe, PNUD, Santo Domingo, 57 pp.
- Herrera-Moreno, A. (2018) Estrategias de adaptación de los municipios dominicanos para el ordenamiento territorial. Reporte de investigación del Programa EcoMar, Santo Domingo, 4, 1-10.
- Herrera-Moreno, A. (2020) Portal de cambio climático del Programa EcoMar. Disponible en el Sitio Web: <http://programaecomar.com/cambioclimatico.htm>
- ICF/IRG (2013) Medidas para abordar el impacto del cambio climático en la infraestructura, preparándose para el cambio. International Resources Group, Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional, 44 pp.
- IDC (2019) Diseño hidrológico. Construcción Circunvalación Gaspar Hernandez, Provincia Espaillat. IDC Construcción, S.R.L., 30 pp.
- IPCC (2001) *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability*. Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, 1031 pp.
- IPCC (2007) Contribución de los Grupos de Trabajo I, II and III al Cuarto Informe de Evaluación del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático. [Pachauri, R.K. and Reisinger, A. (Eds.)] Génova, Suiza.
- IPCC (2013) Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, United Kingdom and New York, NY, USA.
- IPCC (2014) Cambio climático 2014: Impactos, adaptación y vulnerabilidad - Resumen para responsables de políticas. Contribución del Grupo de trabajo II al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Organización Meteorológica Mundial, Ginebra, Suiza, 34 pp.
- IPCC (2019) Panel Intergubernamental de Cambio Climático. Sitio web: <http://www.ipcc.ch/>
- Izzo, M., Aucelli, P. P. C., Maratea, A., Méndez, R., Pérez, C., Roskopf, C. M., Segura, H. (2010) A new climatic map of the Dominican Republic based on the Thornthwaite classification. *Physical Geography*, 32(5), 455-472.
- JICA/ONAMET (2004) Atlas Climático de la República Dominicana. Agencia de Cooperación Japonesa y Oficina Nacional de Meteorología.
- Knutson, T.R., J.L. McBride, J. Chan, K. Emanuel, G. Holland, C. Landsea, I. Held, J.P. Kossin, A. K. Srivastava y M. Sugi (2010) Tropical cyclones and climate change. *Nature Geoscience*, 3: 157-163.
- LESIMSA (2017) Diseño del pavimento. Proyecto Ejecutivo Construcción Circunvalación Gaspar Hernández, LESIMSA, S.R.L., 273 pp.
- MA (2019) Factores que inciden en la sequía 2018/19 de la Línea Noroeste. Reporte del Ministerio de Agricultura, 55 pp.
- McSweeney, C., New, M. y G. Lizcano (2008) UNDP Climate Change Country Profiles: Dominican Republic. Disponible en el Sitio: <https://environmentalmigration.iom.int/undp-climate-change-country-profiles-dominican-republic>

MEPyD/CNCCMDL (2016) Política Nacional de Cambio Climático de la República Dominicana. Ministerio de Economía, Planificación y Desarrollo y Consejo Nacional para el Cambio Climático y el Mecanismo de Desarrollo Limpio, Santo Domingo, República Dominicana, 146 pp.

Ministerio Ambiente (2020) Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales de la República Dominicana. <https://ambiente.gob.do/informacion-ambiental/>

MOPC (2020) Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones. Sitio web: <https://www.mopc.gob.do/>

NOAA (2020) NOAA Coastal Services Center, Historical Hurricane Track, National Oceanic & Atmospheric Administration. Disponible en: <http://hurricane.csc.noaa.gov/hurricanes/>

NRA 2006. Guidelines for Assessment of Ecological Impacts of National Road Schemes, National Road Authority, 54 pp.

ONAMET (2020) Oficina Nacional de Meteorología. Sitio Web: <http://www.onamet.gov.do/>.

OTTT (2013) Plan Estratégico de la Oficina Técnica de Transporte Terrestre, Santo Domingo, República Dominicana, 68 pp.

SEMARENA (2004) Primera Comunicación Nacional de la República Dominicana a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático. Secretaría de Estado de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), Editora Búho, 163 pp.

SEMARENA (2009) Segunda Comunicación Nacional de la República Dominicana bajo la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático. Secretaría de Estado de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), 318 pp.

SGN (2010) Mapa Geológico de la República Dominicana Escala 1:50.000 Gaspar Hernández (6174-IV). Santo Domingo, R.D., Enero 2007-Diciembre 2010. Servicio Geológico Nacional, 128 pp.

World Bank (2016) Guide to climate change adaptation in cities. Web Toolkit. Transportation. Disponible en: <http://www-esd.worldbank.org/citiesccadaptation/index.html>

World Climate (2020) The largest collection of climate data accessible on the web. Disponible en: <http://www.climate-charts.com>.