

Análisis de Riesgo Climático a partir de modelos biofísicos de la ciudad de Santo Domingo y Alluriquín e Identificación de medidas de adaptación al cambio climático para el sector Asentamientos Humanos.

Producto 1: Metodología propuesta, síntesis y disponibilidad de la información.

Listado de siglas y acrónimos

CPV:	Censo de Población y Vivienda
CMIP6:	Modelos climáticos
DPA:	División Política Administrativa.
DGGM:	Dirección General de Geología y Minas
ECONÓMICA CIC:	Centro de Investigación, Análisis y Desarrollo de Sistemas Informáticos para las Ciencias Sociales y Administración.
GAD:	Gobierno Autónomo Descentralizado.
GEF:	Fondo para el Medio Ambiente Mundial
HEC – RAS:	Modelado hidráulico bajo el “Hydrologic Engineering Center’s River Analysis System.
HEC – HMS:	Modelo Hidrológico “Hydrologic Engineering Center’s Hydrologic Modeling System.
INEC:	Instituto Nacional de Estadística y Censos del Ecuador.
IEE:	Instituto Espacial Ecuatoriano.
IGM:	Instituto Geográfico Militar.
INAMHI:	Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología.
IPCC:	Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático.
MAATE:	Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica.
MAG:	Ministerio de Agricultura y Ganadería.
MIES:	Ministerio de Inclusión Social y Económica.
MDE:	Modelo Digital de Elevaciones.
MDT:	Modelo Digital del Terreno (SRTM).
MSP:	Ministerio de Salud Pública.
NBI:	Necesidades Básicas Insatisfechas.
PLANACC:	Proyecto Plan Nacional de Adaptación en Ecuador.
PNUD:	Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo.
PNUMA:	Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente
ONG:	Organizaciones No Gubernamentales.
SENPLADES	Secretaría Nacional de Planificación.
SGR:	Secretaría de Gestión de Riesgos.
SIG:	Sistema de Información Geográfica.
SNGRE:	Servicio Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencias.
SPRACC:	Sistema de información de Proyecciones y Riesgo Climático, Medidas de Adaptación al Cambio Climático e Indicador de Vulnerabilidad del Ecuador

Listado de figuras

Figura 1: Diagrama de flujo metodológico para la modelización de inundaciones.	23
Figura 2: Flujograma del modelado hidrológico.	24
Figura 3: Flujograma del modelado hidráulico.	25
Figura 4: Factores y variables para la selección de sitios y sectores críticos.	29
Figura 5: Unidades Hidrográficas rio Baba y Daule.	30

Listado de tablas

Tabla 1. Información cartográfica disponible para aplicar el modelo de impacto biofísico.	18
Tabla 2. Variables antrópicas utilizadas para la priorización de los sectores críticos.	27
Tabla 3. Variables geomorfológicas utilizadas para la priorización de los sectores críticos.	27
Tabla 4. Variables hidrologías utilizadas para la priorización de los sectores críticos.	28
Tabla 5. Variable de la cobertura vegetal utilizada para la priorización de los sectores críticos.	28
Tabla 6. Variable eventos registrados para la priorización de los sectores críticos.	29
Tabla 7. Matriz preliminar de priorización de sitios y sectores críticos.	9
Tabla 8. Listado de sitios críticos propuesto por el Municipio de Santo Domingo.	9
Tabla 9. Información climática disponible para el modelado de amenazas climáticas.	11
Tabla 10. Precipitación media por día (mm.) de los años tipo de Santo Domingo.	20
Tabla 11. Precipitaciones observadas y periodos de retorno de El Niño de 1982-1983.	21
Tabla 12. Cantidad de habitantes y superficies de las parroquias urbanas de Santo Domingo.	27
Tabla 13. Cobertura de servicios básicos.	28
Tabla 14. Precipitación media por día (mm.) de los años tipo de Alluriquín.	36
Tabla 15. Relieve, litología, depósitos superficiales, influencia antrópica en la microcuena.	39

ÍNDICE

1. Antecedentes	14
2. Objetivos y actividades.....	16
2.1 Objetivos del producto	16
2.2 Actividades Realizadas	17
3. Metodología propuesta.....	18
3.1 Disponibilidad de información.	18
3.2 Deslizamientos	19
3.3 Inundaciones por desbordamiento.....	22
3.4 Inundaciones por anegamiento.....	25
3.4.1 Selección y priorización de sitios y sectores críticos por inundaciones – embalses y deslizamientos.....	26
3.5 Información Climática Oficial para los datos históricos y escenarios futuros propuestos para la AND.....	10
4. Ciudad de Santo Domingo.	12
4.1 Descripción geográfica	12
4.2 Revisión de literatura de línea base local y metodologías aplicables para riesgo climático y adaptación.....	14
4.3 Análisis de datos climáticos	19
4.4 Datos históricos relacionados con desastres.	21
4.5 Generación de información de la ciudad de Santo Domingo.....	22
4.1.5 Información geomorfológica, suelos y litología, escala 1:5.000.....	22
4.6 Información de la cobertura urbana escala 1:5.000.....	25
4.7 Información de población y vivienda en condiciones precarias, con foco en el grupo sectorial del PAN.....	26
4.10 Información de la Infraestructura social y local.....	28
5. Ciudad de Alluriquín.	29
5.1 Contexto geográfico.....	29
5.2 Forma del relieve donde se asienta Alluriquín y su relación con un torrente.	30
5.3 Revisión de literatura de línea base local y metodologías aplicables para riesgo climático y adaptación Descripción geográfica.....	30
5.4 Desastres ocurridos en los últimos años.....	34
5.5 Analisis de datos climaticos	35
5.6 Generación de información de la ciudad de Alluriquín.	37
5.6.1 Cobertura de geomorfología de Alluriquín.....	37

5.6.2	Litología y depósitos superficiales.....	38
5.6.3	Mapa del uso del suelo y cobertura vegetal natural.	42
5.7	Información de población y vivienda en condiciones precarias, con foco en el grupo sectorial del PAN.....	43
5.8	Información de la Infraestructura social y local.....	43
5.9	Alluriquín y su relación con las formas del relieve	44
5.10	Amenazas relacionadas con fenómenos climáticos extremos.....	45
6	CONCLUSIONES.....	48
7	RECOMENDACIONES	51
8	BIBLIOGRAFIA	52
9	ANEXOS.....	54

1. Antecedentes

En las últimas décadas, los fenómenos climáticos relacionados con lluvias extremas o excepcionales han causado severos impactos¹ en las dimensiones social, económica, infraestructural y ambiental. Estos impactos se han ido incrementando debido al aumento de la población, la expansión de los asentamientos humanos y la continua degradación de los recursos naturales. Es indudable que la exposición de la población y sus bienes también está en aumento, lo que conlleva a una mayor fragilidad, falta de resiliencia y vulnerabilidad frente a fenómenos climáticos como inundaciones, sequías, deslizamientos, flujos de tierras, flujos de detritos², erosión hídrica, incendios forestales, avenidas y crecidas torrenciales. Estos fenómenos están estrechamente relacionados con los diversos paisajes que existen en las regiones naturales de nuestro territorio.

Bajo esta perspectiva, es fácil comprender que tanto la explotación de los recursos naturales en el medio rural como la expansión de las ciudades se llevan a cabo sin tener en cuenta la vocación o capacidad de acogida de las tierras y suelos. Esto genera verdaderos conflictos de uso y, como consecuencia, aumenta la susceptibilidad de los territorios a fenómenos climáticos extremos. Estos fenómenos desencadenan una serie de impactos, como lluvias extremas, escorrentía en cuencas hidrográficas, aumento del caudal de los ríos, anegamiento, inundaciones, deslizamientos y afectación a ciudades, viviendas, servicios básicos, servicios sociales, vías, así como pérdidas de vidas, enfermedades y migración.

Con una mirada prospectiva sustentada en el conocimiento del medio natural y antrópico y de la interdependencia que existe entre el sustrato rocoso, relieve, suelos, vegetación, clima y actividades antrópicas; el conocimiento de los impactos de los fenómenos climáticos extremos, considerados como amenaza; la exposición y vulnerabilidad, al interior de los asentamientos humanos, será clave para corregir los problemas y conflictos, que a futuro pueden converger a una crisis.

El MAATE. (2023) el Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático, uno de sus capítulos importantes es el estudio “Generación de Insumos Técnicos Clave para la Realización de Análisis de Riesgo Climático en el Sector Asentamientos Humanos”, en el cual, constituyó el Grupo Sectorial de Trabajo (GST), conformado por expertos nacionales del sector y cambio climático. Mediante este proceso los expertos sectoriales validan que el análisis de riesgo climático para el sector de Asentamientos Humanos se realice mediante la aplicación de modelos de impactos, para la modelización hidrológica el Hydrologic Modeling System HEC-HMS, inundaciones el River Analysis System HEC-RAS y movimientos en masa (deslizamientos) el modelo propuesto es la aplicación de técnicas de Aprendizaje Automático (Machine Learning).

¹ El Fenómeno el Niño 1997 – 1998, Memorias, reto y soluciones. Capítulo 3. Impactos socioeconómicos del fenómeno el niño 1997-98 en Ecuador. Pág. 57

² Flujo de tierras: Es un movimiento intermitente, rápido o lento, de suelo arcilloso plástico (Hungr et al., 2001). Los flujos de tierra desarrollan velocidades moderadas, con frecuencia de centímetros por año, sin embargo, pueden alcanzar valores hasta de metros por minuto (Hutchinson, 1998). Flujo de detritos (Debris flows): Es un flujo muy rápido a extremadamente rápido de detritos saturados, no plásticos (Índice de plasticidad menor al 5%), que transcurre principalmente confinado a lo largo de un canal o cauce con pendiente pronunciada. Deslizamiento rotacional (Rotational slide, Slump) Es un tipo de deslizamiento en el cual la masa se mueve a lo largo de una superficie de falla curva y cóncava. Los movimientos en masa rotacionales muestran una morfología distintiva caracterizada por un escarpe principal pronunciado y una contrapendiente de la superficie de la cabeza del deslizamiento hacia el escarpe principal. La deformación interna de la masa desplazada es usualmente muy poca. Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas. 2007. Movimientos en Masa en la Región Andina: Una guía para la evaluación de amenazas. Servicio Nacional de Geología y Minería, Publicación Geológica Multinacional, No. 4, 432 p., 1 CD-ROM.

Por otro lado, en el Sexto Informe de Evaluación (AR6) del IPCC³ en su capítulo 6: Ciudades, Asentamientos e Infraestructura clave (IPCC, 2021), identifica a las inundaciones y los movimientos en masa, entre otros, como amenazas claves exacerbadas por los procesos de cambio climático:

- Inundaciones. Los riesgos de inundación en los asentamientos surgen de eventos hidrometeorológicos que interactúan con el sistema urbano, lo que expone los asentamientos a inundaciones fluviales, inundaciones repentinas, inundaciones pluviales (impulsadas por precipitaciones), inundaciones de alcantarillado, inundaciones costeras e inundaciones por desbordamiento de lagos glaciares. A nivel mundial, es probable que el aumento de la frecuencia y la intensidad de las precipitaciones extremas provocadas por el calentamiento global amplíe la superficie terrestre mundial afectada por peligros de inundaciones. En el futuro, hay evidencia de que los cambios en las precipitaciones de alta intensidad y corta duración (subsidiarias) en las áreas urbanas aumentarán provocando una mayor posibilidad de inundaciones.
- Los riesgos de inundaciones urbanas también aumentan por la expansión urbana, uso del suelo y el cambio de la cobertura del suelo, que amplía las superficies impermeables a través del sellado del suelo, lo que afecta el drenaje de las aguas de inundación con los consiguientes desbordamientos de alcantarillado. Estos riesgos también están impulsados por la creciente complejidad de la sociedad, la política de desarrollo urbano para el control de inundaciones y el crecimiento económico a largo plazo, incluso en megaciudades
- Según estudios incorporados en el AR6 en su Capítulo 12 enfocado en Latino América, el sector Nor-Occidental de América del Sur (Ecuador, parte de Colombia y Perú) se verá expuesto a un aumento en la frecuencia de los desastres relacionados con el clima. Se espera un aumento del riesgo de inundaciones durante el siglo XXI, consistente con inundaciones más frecuentes. Las poblaciones ubicadas a lo largo de las riberas de los ríos y barrios marginales asentados en laderas empinadas se encuentran entre los más afectados por inundaciones y movimientos en masa (Castellanos, et al. 2022). Los riesgos también se ven agravados por la ubicación de los asentamientos, con mayores riesgos dentro de las ciudades ubicadas en zonas costeras de baja elevación sujetas al aumento del nivel del mar, posible hundimiento de la tierra y exposición a ciclones tropicales y dentro de los asentamientos informales, donde generalmente existe poca inversión en soluciones de drenaje y las inundaciones perturban regularmente los medios de vida y socavan desproporcionadamente la seguridad alimentaria local para los pobres urbanos.
- Deslizamientos de tierra. Si bien los eventos geomorfológicos y los factores asociados con el entorno construido (p. ej., la ubicación de los asentamientos en pendientes pronunciadas y la falta de reglamentación para la construcción) son factores importantes que determinan el riesgo de deslizamientos de tierra urbanos, estos también pueden verse influenciados por una variedad de variables climáticas, a saber, la precipitación (frecuencia, intensidad y duración), el derretimiento de la nieve y el cambio de temperatura. Se proyecta un aumento en el número de personas expuestas a riesgos de deslizamientos en áreas urbanas y que se encuentran en las regiones proyectadas con precipitaciones extremas. Además, los factores humanos, como la expansión de las ciudades en tierras inestables y los cambios en el uso de la tierra dentro de los asentamientos (p. ej., construcción de carreteras, deforestación) están aumentando la exposición humana a los deslizamientos de tierra y la probabilidad de que

³ El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) fue creado en 1988 para facilitar evaluaciones integrales del estado de los conocimientos científicos, técnicos y socioeconómicos sobre el cambio climático, sus causas, posibles repercusiones y estrategias de respuesta.

ocurran. Los deslizamientos de tierra provocados por lluvias matan al menos a 5.000 personas por año, y al menos el 11,7% de estos deslizamientos de tierra ocurrieron en las redes viales. Aunque la huella espacial de un deslizamiento de tierra individual puede ser pequeña (es decir, <1 km²), la “sombra de vulnerabilidad” proyectada sobre un área en términos de interrupciones de la red de transporte regional puede ser una proporción significativa de una región y repercutir en cascada en otras infraestructuras IPCC. (2021).

En este sentido, el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente – PNUMA, se encuentra implementando un proyecto denominado Nature4Cities⁴ en conjunto con el MAATE, cuyo objetivo es apoyar a los gobiernos nacionales y locales a acelerar la acción climática desde las ciudades protegiendo y/o restaurando los servicios ecosistémicos a través de Soluciones basadas en la Naturaleza (SbN). El proyecto es financiado por el Fondo para el Medio Ambiente Mundial (GEF, por sus siglas en inglés), ejecutado por la oficina para América Latina y el Caribe del Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) con el apoyo de Euroclima+. La duración del proyecto es 2018 a 2023 y se desarrolla actualmente el proyecto CityAdapt JEM en Xalapa (México), San Salvador (El Salvador) y Kingston (Jamaica) y Nature4Cities en Cuba (Manzanillo y Camaguey), Ecuador (Santo Domingo), Guatemala (Ciudad de Guatemala), Honduras (La Lima y El Progreso), Panamá (Arraiján, Colón, área metropolitana de Chiriquí y Bocas del Toro), República Dominicana (Santiago de los Caballeros), Uruguay (Rivera y Durazno).

En este sentido, el Gobierno del Ecuador a través del Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAATE) como Autoridad Ambiental Nacional con el apoyo del PNUMA, se encuentran trabajando con el Municipio de Santo Domingo y sus entidades adscritas como las empresas públicas y direcciones municipales. Una de las actividades que se están desarrollando es la generación de información del riesgo climático a partir de modelos biofísicos. Las ciudades que serán analizadas y estudiadas son Santo Domingo y Alluriquín.

El presente informe, es el producto 1 de 3, del estudio para generar un análisis de riesgo climático para el sector Asentamientos Humanos, mediante la aplicación de modelos de impactos biofísicos.

2. Objetivos y actividades

El objetivo general de la presente investigación es generar un análisis de riesgo climático para el sector Asentamientos Humanos, utilizando modelos de impactos biofísicos que serán estudiados en las ciudades de Santo Domingo y Alluriquín. Para lo cual se han planteado cuatro objetivos específicos y actividades que se detallan a continuación.

2.1 Objetivos del producto

- Generar una propuesta metodología, en función de la disponibilidad de la información y la aplicación de los modelos de impactos biofísicos.
- Recopilación y análisis de la información Climática Oficial para los datos históricos y escenarios futuros (datos diarios, mensuales y anuales, así como periodos de retorno), propuestos para la Autoridad Ambiental Nacional AAN⁵.
- Revisar la literatura de línea base local y metodologías aplicables para riesgo climático y adaptación.

⁴ Nature4Cities. 2023. <https://cityadapt.com/n4c/>

⁵ Autoridad Ambiental Nacional AAN, en el caso del Ecuador, es el Ministerio de Ambiente, Agua y Transición Ecológica.

- Generación de información geomorfológica a partir de la interpretación de los modelos digitales del terreno, imágenes satelitales y la fotografía aérea.
- Recopilación y análisis de datos de la población y vivienda en condiciones precarias, con foco en el grupo sectorial del PAN.
- Recopilación y análisis de la información de la infraestructura social y local.

2.2 Actividades Realizadas

- Se recopiló, preparó y analizó la información secundaria y complementaria para determinar los impactos biofísicos del cambio climático. Incluye información temática generada por el IEE ⁶ y el modelo digital del terreno proporcionado por el GAD Municipal de Santo Domingo.
- Se generó información primaria relacionada con pendientes, geomorfología, hidrografía y cobertura urbana, a partir del modelo digital del terreno, imágenes satelitales y fotografías aéreas.
- Se participó en talleres convocados por PNUMA, para tratar temas relacionados con las amenazas que pueden afectar a Santo Domingo y Alluriquín. Así mismo, se facilitó una sesión en el Taller, para presentación del alcance de esta consultoría, y la validación de criterios para proponer puntos o sectores críticos.
- Se efectuaron recorridos al interior de la ciudad de Santo Domingo, en sitios o sectores considerados como críticos, principalmente debido a los obstáculos que interrumpen el normal flujo de las aguas de los ríos y quebradas.
- Se determinaron los sitios críticos para el análisis de inundaciones por desbordamientos y deslizamientos en conjunto con el PNUMA y el Municipios de Santo Domingo.
- Se procesaron los datos climáticos para la ciudad de Santo Domingo y Alluriquín, entregados por el MAATE, información histórica y los años tipo (AT1 a AT5).
- Estructuración de los datos e información, documentos, tablas, gráficos y mapas para la entrega definitiva.

⁶ Instituto Espacial Ecuatoriano (Ex Centro de Levantamiento Integrados de Recursos Naturales por Sensores Remotos – CLIRSEN)

3. Metodología propuesta

Las inundaciones y deslizamientos son fenómenos naturales más habituales y catastróficos en el territorio ecuatoriano. Muchas zonas urbanizadas del Ecuador son atravesadas por cuencas hidrográficas que son responsables de muchas inundaciones y deslizamientos, causando pérdidas y daños. En los últimos tiempos, estos fenómenos en las zonas urbanas se están produciendo con mayor frecuencia debido a la urbanización incontrolada y el cambio climático, y seguirá creciendo en los próximos años. La prevención de tales eventos no es posible, pero con el avance de la tecnología, las áreas vulnerables a las inundaciones se pueden identificar a través del modelado 2-D⁷ de eventos críticos de lluvia.

En cuanto a los deslizamientos de tierras, la evidencia empírica muestra que la urbanización poco controlada y la vivienda informal puede aumentar la ocurrencia de deslizamientos de tierra provocados por la lluvia. Después de una revisión bibliográfica y un análisis de la información disponible en el contexto ecuatoriano, se ha propuesto una metodología probabilística para la valoración cuantitativa de susceptibilidad a deslizamientos. Lo interesante de esta metodología es la inclusión de factores de predisposición relacionados con la actividad antrópica, importante en contextos urbanos, o en general, en entornos poblados. Este tipo de factores, a pesar de su demostrada importancia, rara vez se tiene en cuenta en las evaluaciones del peligro de deslizamiento de tierra a escala comunitaria. Además, se propone la inclusión del factor climático de la amenaza mediante el análisis pluviométrico a partir de umbrales de lluvia crítica detonante de deslizamientos, con lo cual se llega a un modelo de amenaza a escalas urbanas en términos probabilísticos.

En el caso de las inundaciones por desbordamiento, el enfoque metodológico adoptado se centra en el modelado hidrológico a través del “Hydrologic Engineering Center’s Hydrologic Modeling System” (HEC - HMS) y el modelado hidráulico bajo el “Hydrologic Engineering Center’s River Analysis System” (HEC – RAS), con la combinación del modelo del Sistema de Modelado de Cuencas Hidrográficas y de los Sistemas de Información Geográfica (SIG). El objetivo de esta metodología es analizar el comportamiento de inundación para las ciudades seleccionadas.

Finalmente, para las inundaciones por anegamiento o repentinas, un proceso novedoso que se está realizando como parte de esta consultoría y es un problema permanente de la ciudad de Santo Domingo. Este tipo de inundaciones conocidas como *flash food*, y son consecuencia de episodios muy intensos de lluvias, afectando zonas concretas de las ciudades⁸.

3.1 Disponibilidad de información.

En la siguiente tabla, podemos observar un inventario de la información cartográfica disponible para el estudio de acuerdo a las necesidades de los modelos propuestos.

Tabla 1. Información cartográfica disponible para aplicar el modelo de impacto biofísico.

Recurso	Formato	Fuente	Detalle	Alcance
Geología	shp	Instituto de Investigación Geológico y Energético – Instituto Geográfico Militar	100.000	Parcial
Edafología			50.000	Parcial
Geomorfología			25.000	Nacional de referencia
			5.000	A generar
Uso y cobertura del suelo			25.000	Nacional de referencia

⁷ Modelo HEC RAS 2D permite una modelación hidráulica en dos dimensiones, con el software HEC RAS (Hydrological Engineering Center River Analysis System), modelando y analizando los caudales y niveles de inundación en un cauce.

⁸ <https://www.iagua.es/respuestas/que-es-inundacion>

Recurso	Formato	Fuente	Detalle	Alcance
			5.000	A generar
Datos censales: Viviendas en estado de precariedad, datos poblacionales.	csv	INEC	Manzanas	Nacional
MDT	tiff	ALOS PALSAR	12,5 x 12,5 m.	Nacional
		DTM municipio	5 x 5 m	Ciudad Santo Domingo
		DTM municipio	1 x 1 m	Ciudad Santo Domingo
Isla, lagos, laguna, pantano, río, puente	shp	IGM	5.000	Referencia ciudad
Edificios, muros, poblados, zona edificada		IGM	5.000	Referencia ciudad
Vías ruta, vía rural, sendero		IGM	5.000	Referencia ciudad
Infraestructura social: establecimientos educativos, de salud y de inclusión económica y social.		MINEDUC, MSP, MIES	Coordenadas puntos	Ecuador continental
Parroquias, cantones, provincias.		CONALI	50.000	Ecuador continental
Clima: Serie histórica diaria rellenada 1985 – 2015: Precipitación, tmax, tmin, tmed.	tsv	PNUD - MAATE	Grid 10x10Km	Nacional
Clima: Proyección diaria 5 años típicos: Precipitación, tmax, tmin, tmed.	tsv	PNUD - MAATE	Grid 10x10Km	Nacional
Caudales: Series de caudal rellenas con modelo GR4J, para 50 unidades hidrográficas período 1985 – 2015	xls	NAMHI - PLANACC - MAATE	67 estaciones hidrológicas	Solo cuenca del río Toachi.
Parámetros de cuenca	shp	MAATE	68 cuencas	Solo cuenca del río Toachi.

Fuente: Elaboración propia

Elaboración: ECONOMICA CIC

Las columnas de la tabla anterior representan:

- **Recurso:** Dato analizado o variable específica necesaria.
- **Formato:** Especificación de la codificación del archivo
- **Fuente:** Institución responsable de la información. De acuerdo con documento Estándares de Información Geográfica Tomo I del CONAGE. Las instituciones y organismos públicos titulares de los derechos de propiedad de productos o aplicaciones, desarrolladas por sus servicios o cuyo desarrollo haya sido objeto de contratación, deben ponerlas a disposición de cualquier organismo del sector público sin contraprestación y sin necesidad de convenio, guardando las restricciones de uso que se establezcan por parte del propietario de la información.⁹
- **Detalle:** nivel de detalle al que se encuentra la información.
- **Alcance:** Se refiere al área de la cobertura de la información analizada en este caso las ciudades de Santo Domingo y Alluriquín.

3.2 Deslizamientos

Con el propósito de identificar aquellas áreas bajo peligro a deslizamientos al interior de la ciudad de Santo Domingo y Alluriquín, tomando en cuenta no solo sus características climáticas como la precipitación, sino también aquellas relacionadas a las formas del relieve, uso del suelo, pendiente, desnivel relativo, litología, entre otros; se aplican técnicas de Aprendizaje Automático (Machine Learning¹⁰) siguiendo una ruta similar a (Wang H. et. al., 2021).

El aprendizaje automático, es la rama de la Inteligencia Artificial centrada principalmente en predicciones basadas en métodos estadísticos (Boden, 2018). El área de Aprendizaje Automático se

⁹ Estándares de información geográfica SENPLADES / 1a edición – Quito, 2013. CONEGE Consejo Nacional de Geo informática.

¹⁰ Modelos de Aprendizaje Automático (Machine Learning)

divide en aprendizaje supervisado y no supervisado. Esta división referencia a la existencia o no de una variable de interés a ser analizada.

En términos estadísticos, las técnicas de aprendizaje supervisado son equivalentes a los principios de la regresión, y por lo tanto siguiendo a Hastie, Tibshirani, y Friedman (2001) se puede expresar lo siguiente:

$$Y = f(X_1, X_2, \dots, X_p) + \epsilon$$

En donde Y es una variable que toma el valor unitario en caso de registrarse un evento de deslizamiento, X son las variables que predicen el evento y ϵ es un término de error, con media cero y varianza finita. Por lo que, tomando esperanza a la ecuación anterior y conociendo que $E[\epsilon|X = 0] = 0$, se obtiene lo que sigue.

$$E[Y|X] = f(X_1, X_2, \dots, X_p)$$

Por lo que, la esperanza condicional f representa una función que mapea los predictores X_1, X_2, \dots, X_p con los valores esperados de la variable Y . Es decir, dadas las características del terreno analizado, incluyendo la precipitación, es posible a través de esta función, estimar la probabilidad de ocurrencia de un evento.

En la literatura actual, existen varios métodos para obtener la mejor función f . Todas estas, intentan disminuir el error de predicción $e = Y - \hat{f}(X)$ donde $\hat{f}(\cdot)$ indica algún método particular. No obstante, cuando el objetivo de uso de estas técnicas es realizar un procedimiento de clasificación, entonces deben considerarse algunas métricas relacionadas a la precisión, exactitud y presencia errores de predicción en la clasificación. Por lo tanto, siguiendo la misma ruta de (Wang H. et. al., 2021), se estiman siete índices que evalúan el desempeño del modelo en varias dimensiones, para después crear un índice sintético que apoye la identificación del mejor modelo.

$$Accuracy = \frac{TP + TN}{TP + FP + TN + FN}$$

$$Specificity = \frac{TN}{TN + FP}$$

$$FPR = \frac{FP}{TN + FP}$$

$$Precision = \frac{TP}{TP + FP}$$

$$Recall = \frac{TP}{TP + FN}$$

$$F_1 \text{ score} = \frac{2 \cdot \frac{TP}{TP + FP} \cdot \frac{TP}{TP + FN}}{\frac{TP}{TP + FP} + \frac{TP}{TP + FN}}$$

$$MCC = \frac{TP \cdot TN - FP \cdot FN}{\sqrt{(TP + FP)(TP + FN)(TN + FP)(TN + FN)}}$$

Donde TP es la cantidad de observaciones con $Y = \hat{Y} = 1$, es decir los casos positivos correctamente clasificados. Mientras que FP representa la cantidad de observaciones en donde el modelo predice que habrá un evento $\hat{Y} = 1$, mientras que su valor observado es $Y = 0$. Es decir, un falso positivo.

De forma equivalente, TN representa la cantidad de observaciones que $Y = \hat{Y} = 0$, mientras que FN representa a aquellas observaciones en donde hubo eventos, cuando el modelo predice lo contrario, es decir un falso negativo

De forma particular, *Accuracy* mide el porcentaje de observaciones que son clasificadas de forma correcta. Mientras que *Specificity* mide la proporción de negativos reales que se identifican

correctamente. Por lo que, una especificidad de -por ejemplo, 92% equivale a una tasa de falsos positivos del 8%, lo que justamente mide *FPR*.

Por otro lado, *Precision* evalúa la fracción de las observaciones con evento correctamente clasificadas, con relación a la cantidad total de predicciones positivas (valores predichos). Mientras que *Recall*, evalúa todas las observaciones en donde se registró un evento (valores observados). Complementariamente, F_1 score combina la *Precision* y *Recall*, a través de una media armónica cuyo rango se encuentra entre cero y uno. Valores altos, equivalen a una mejor *Precision* y *Recall* de forma combinada.

También se considera al coeficiente de correlación de Matthews *MCC*, el mismo que se encuentra entre -1 y 1, en donde 1 equivale a una predicción perfecta. El indicador sintético previsto en la ruta metodológica, combina a través de una suma el *Accuracy*, F_1 score y el *MCC*. Por lo que, el mejor modelo de predicción sería aquel que logre el valor más alto entre los distintos candidatos, siempre y cuando el *FPR* sea similar entre ellos. Caso contrario, es mejor seleccionar un modelo que también tenga una *FPR* menor.

Los modelos evaluados a través de los índices mencionados son aquellos que se encuentran dentro de la literatura actual (ver Raschka S., 2015), (Géron A., 2019), y son los siguientes:

- ❖ *Classification tree*
- ❖ *Regularized multinomial*
- ❖ *Naive Bayes*
- ❖ *Random forests*
- ❖ *Nearest Neighbor*
- ❖ *Support vector machine*
- ❖ *Boosting*
- ❖ *Neural network*
- ❖ *Standard multinomial*

Las fuentes de información necesaria para la implementación de estos modelos son principalmente 3 grupos de datos: i) registro de deslizamientos en Ecuador, ii) características del suelo y subsuelo y iii) precipitaciones. Sobre esto, el primero, está relacionado a identificar los deslizamientos en una escala espaciotemporal. Para esto se utiliza la información del registro de eventos adversos y peligrosos a nivel nacional del periodo 2010-2022 del Secretaria de Gestión de Riesgos-SGR. Este conjunto de datos contiene información de la localización (latitud y longitud), así como también la fecha del deslizamiento.

El segundo conjunto de datos está relacionado a las características físicas, bióticas y antrópicas, las mismas que pueden aumentar o disminuir la probabilidad de un deslizamiento. En este sentido, la identificación y selección de la información que debe considerarse para este conjunto de datos estaría relacionada a su disponibilidad y relevancia teórica conceptual.

Sobre esto último, la identificación de los factores de influencia de los deslizamientos constituye la base de muchos métodos para determinar la evaluación de la susceptibilidad. Estos factores, que desencadenan o activan el fenómeno, pueden separarse en categorías 1) topográficas, 2) geológicas y 3) ambientales (Crozier & Glade, 2005).

Los factores que influyen en el lugar donde se producen los deslizamientos pueden dividirse en dos conjuntos: permanentes y variables (Sharpe, 1938). Los factores permanentes son características del paisaje que permanecen inalteradas o varían poco desde la perspectiva humana. La inclinación de una ladera o el tipo de roca, por ejemplo, presentan cambios sólo con el paso de largos periodos de tiempo. Los factores permanentes, como el tipo de roca y la inclinación de la pendiente, pueden reconocerse e identificarse para determinados deslizamientos mucho tiempo después de que se produzcan (DeGraff, 1978). Examinando las formas de relieve resultantes de los deslizamientos en una zona, es posible reconocer cómo los factores permanentes contribuyeron a estos fallos de las laderas. La

identificación de las condiciones y los procesos que promovieron la inestabilidad en el pasado permite utilizar estos factores para estimar futuros deslizamientos (Varnes, 1985).

Los factores variables son características del paisaje que cambian rápidamente como resultado de algún evento desencadenante. La vibración del suelo debida a los terremotos, el rápido aumento del nivel de las aguas subterráneas y el aumento de la humedad del suelo debido a las intensas precipitaciones son ejemplos de factores variables.

En consecuencia, el peligro de deslizamiento suele representarse mediante la susceptibilidad al mismo (Brabb, 1985). Al igual que el concepto de zonas propensas a las inundaciones, la susceptibilidad a los deslizamientos sólo identifica las zonas potencialmente afectadas y no implica un marco temporal en el que pueda producirse un deslizamiento.

3.3 Inundaciones por desbordamiento.

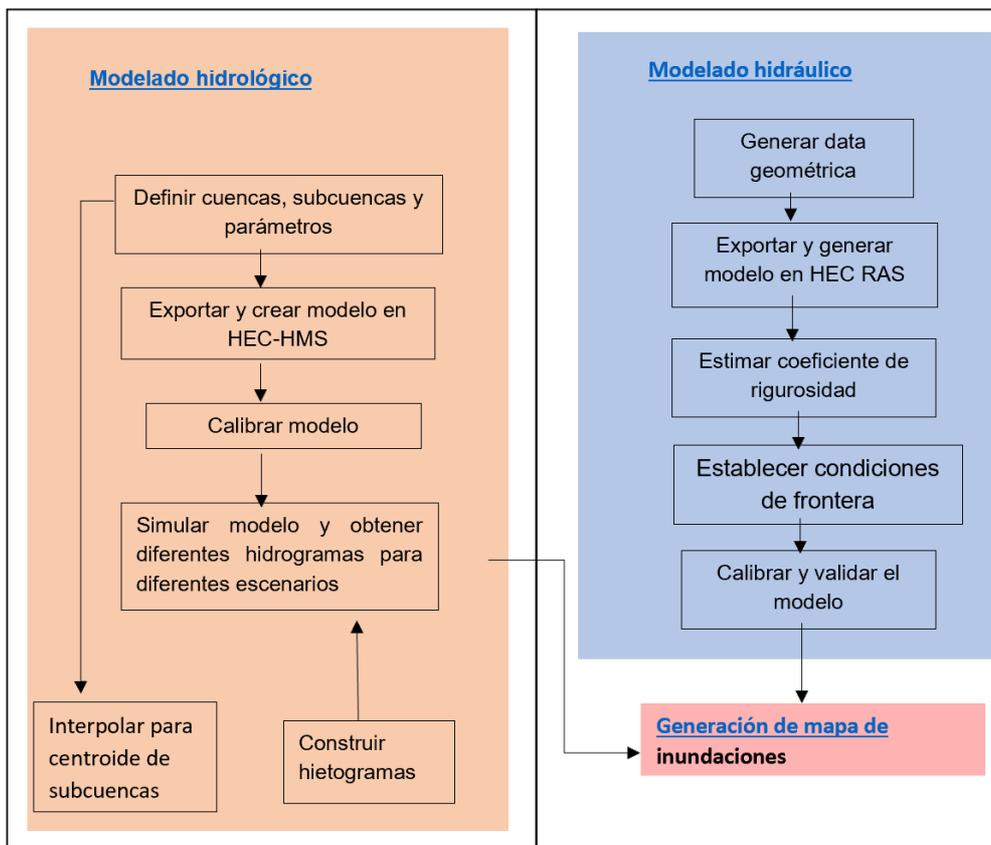
Con el propósito de identificar las áreas que están en riesgo de inundación en las terrazas fluviales del río Toachi, en el área de influencia de la ciudad de Santo Domingo, se ha llevado a cabo una combinación de tres metodologías. Estas metodologías incluyen a i) un procedimiento estadístico para el procesamiento de las series históricas de precipitaciones, ii) un análisis hidrológico con la utilización del software HEC-HMS y iii) un análisis hidráulico con el software HEC-RAS. Por lo cual, se parte del análisis de la información pluviométrica y el procesamiento estadístico para el cálculo de las tormentas de diseño, posteriormente se implementa el modelamiento hidrológico para la transformación de la precipitación en escorrentía y la obtención de caudales máximos con el software HEC-HMS, y finalmente se realiza el modelamiento hidráulico con el software HEC-RAS para la simulación de láminas de inundación, velocidad y la delimitación de las áreas inundables.

En tal sentido, para el procesamiento de las precipitaciones se ha utilizado la serie histórica completa para el período 1985 – 2015 y de cinco Años Tipo, que consisten en información de precipitación diaria (mm) para cada pixel de una grilla de 10 x 10 km del territorio ecuatoriano. Estos cinco años tipo han sido seleccionados con un ensemble de 4 modelos de alta resolución pertenecientes al sexto informe del IPCC para el periodo 2020-2050, tal y como se documenta en el producto denominado Generación de información de clima futuro a nivel nacional para el periodo 2020 –2050 a partir de un análisis de circulación atmosférica y el empleo de modelos climáticos del CMIP6 ¹¹. PNUD-MAATE (2021).

A partir de esto se han calculado valores medios de precipitación en la cuenca del río Toachi analizada. En el caso de las series históricas, este insumo fue usado para la estimación de las curvas Intensidad, Duración y Frecuencia (IDF) y los hietogramas de diseño por el método de los bloques alternos según (Paoli & Malinow, 2010).

¹¹ CMIP6: HighResMIP del Coupled Model Intercomparison Project fase 6. Proyecto de inter comparación de modelos acoplados versión 6. En el informe de generación de series de tiempo diaria para aplicaciones sectoriales, incluyendo series para 5 años tipo en el periodo 2020 a 2050, se realizó la Generación de información de clima futuro a nivel nacional para el periodo 2020 –2050 a partir de un análisis de circulación atmosférica y el empleo de modelos climáticos del CMIP6. PLANACC. Octubre 2021.

Figura 1: Diagrama de flujo metodológico para la modelización de inundaciones.



Fuente: Hydrologic Engineering Center de los Estados Unidos.

Elaboración: ECONOMICA CIC

Los hidrogramas deben tener una duración igual o superior al tiempo de concentración de la cuenca, es decir, el tiempo necesario para que el agua fluya desde el punto más remoto de la cuenca hasta la salida de esta. Para cuencas con un tiempo de concentración menor de un día se utilizan hidrogramas de 24 horas y para las grandes cuencas con grandes planicies y con tiempos de concentración de varios días se utilizarán hidrogramas de una semana.

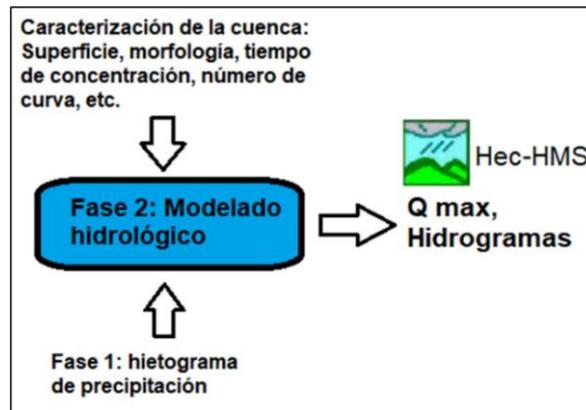
En la evaluación de eventos extremos es importante tener en cuenta la incertidumbre asociada a la ocurrencia de eventos. Esta incertidumbre es muy sensible al periodo de retorno que se utilice, especialmente en aquellos casos en los que se utilicen pequeñas muestras para estimar eventos de muy baja frecuencia. Por lo tanto, dado que la incertidumbre crece con el aumento del periodo de retorno, en esta investigación se consideran 4 periodos de retorno de hasta 50 años.

Modelo hidrológico HEC-HMS

Este modelo tiene como objetivo predecir las salidas del sistema; es decir, determinar los hidrogramas de avenida (aproximados al sistema real) en cualquier punto de la cuenca en estudio.

La metodología propuesta utiliza el software HEC-HMS (Hydrologic Modelling System) perteneciente al Hydrologic Engineering Center de los Estados Unidos. Este software libre está diseñado para simular los procesos de precipitación-escorrentía comprendidos en las cuencas hidrográficas.

Figura 2: Flujograma del modelado hidrológico.



Fuente: Manual del HEC HMS
Elaboración: ECONOMICA CIC

Con estos insumos, es posible implementar el Modelo hidrológico HEC-HMS, que tiene como objetivo predecir las salidas del sistema en donde se simula los procesos de precipitación-escorrentía comprendido en la cuenca hidrográfica. Es decir, determinar los hidrogramas de avenida (aproximados al sistema real) en cualquier punto de la cuenca estudiada.

Para la implementación de este modelo se han elaborado modelos de las cuencas que afectan a la ciudad de Santo Domingo. Esto consiste en, dado un punto de desfogue en el cauce principal ubicado al final de la ciudad, calcular la red hídrica, los límites de la cuenca y sus parámetros asociados tales como el centroide, área, longitud del cauce más largo, tiempo de concentración y tiempo de retardo.

Para la estimación del proceso de infiltración se ha utilizado el método de Numero de Curva (NC) desarrollado por el Servicio de Conservación de Suelos de Estados Unidos¹² (Natural Resources Conservation Service, 2004) que determina un umbral de escorrentía a través de un número hidrológico o número de curva agregado de la cuenca, mismo que se encuentra determinado a partir de las características físicas del territorio y el grupo hidrológico del suelo. Valores pequeños equivalen a muy alta permeabilidad.

Para la generación del mapa temático de Número de Curva – NC de Ecuador se combina información disponible relacionada a la cobertura y uso del suelo y modelos digitales de elevación. Los mapas temáticos se obtienen mediante la aplicación de tablas de reclasificación y operaciones de superposición de las distintas capas de información de las que depende, obteniendo como resultado el mapa ráster de “Número de Curva” (Cho, 2020). Con este insumo, se estima el valor medio NC para las cuencas analizadas, el mismo que posteriormente será optimizado en la calibración del modelo.

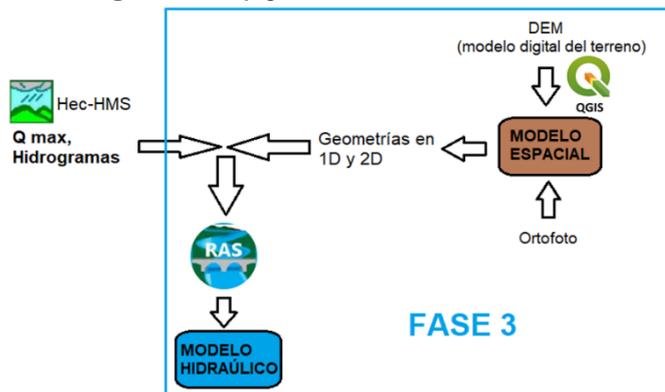
Para esto, el proceso de optimización de parámetros hidrológicos consiste en comparar los valores obtenidos de un hidrograma calculado en un momento dado con los valores reales de caudales medidos en una estación hidrológica. Una vez comparados se calculan los valores optimizados del número de curva, el tiempo de retardo y el flujo base, de tal manera que los dos hidrogramas se aproximen lo máximo posible.

¹² El Servicio de Conservación de Suelos de Estados Unidos es una agencia del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA, por sus siglas en inglés) encargada de proporcionar liderazgo en la conservación de suelos, agua, aire y otros recursos naturales.

Modelo hidráulico HEC-RAS

HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center-River Analysis System) es un software libre de modelado hidráulico cuya principal función es calcular perfiles de flujo, considerando flujo unidimensional. Los resultados de una simulación de inundación permiten observar la altura y velocidad de la lámina de agua en una gráfica de perfil de todo el tramo modelado, además de la extensión de la inundación a través de un ploteo de las secciones en 3D.

Figura 3: Flujograma del modelado hidráulico.



Fuente: Manual del HEC RAS
Elaboración: ECONOMICA CIC

Una vez finalizado este procedimiento, se puede implementar el Modelo hidráulico HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center-River Analysis System), cuya principal función es calcular perfiles de flujo, considerando flujo unidimensional en las ciudades analizadas. El resultado de la simulación de inundación permite estimar la altura y velocidad de la lámina de agua en una gráfica de perfil de todo el tramo modelado al interno de una ciudad, además de la extensión de la inundación a través de un ploteo de las secciones en tres dimensiones.

Para esto, se utiliza un Modelo Digital de Elevación de mayor resolución posible al interno de las ciudades, (5 metros de resolución en el caso de la ciudad de Santo Domingo) mientras que se utilizan ortofotos o imágenes satelitales de alta resolución para la digitalización de los ejes y los márgenes. Con estos elementos se construye el modelo topográfico para poder ser exportado a Hec-Ras con sus secciones respectivas para crear un modelo geométrico unidimensional.

3.4 Inundaciones por anegamiento.

Una parte fundamental de la dinámica urbana es la funcionalidad espacial que tiene que ver con la movilidad humana y motorizada y, de otra parte la provisión de servicios básicos y comunitarios, pero, estas acciones han conllevado a que el trazado urbano y otro tipo de infraestructuras, se hayan construido de forma transversal a los ríos, quebradas y gargantas, consiguiendo con esto, interrumpir total o parcialmente el flujo de las aguas fluviales, alterando la dinámica del sistema fluvial, que bajo las nuevas condiciones de impermeabilización de los suelos y lluvias intensas, será mayor la escorrentía y un aumento considerable de los caudales en todos los ejes fluviales que atraviesan la ciudad y que son alrededor de 34, aproximadamente.

La vegetación natural que había sobre la superficie del cono de esparcimiento ha sido completamente eliminada, quedando unos pocos relictos a lo largo de las gargantas que atraviesan la ciudad en sentido preferencial este – oeste y noreste – suroeste. Igual que el sistema fluvial, la flora y fauna también ha sido fuertemente alterada, influenciando notablemente en el microclima de la ciudad.

Asimismo, la expansión urbana se está produciendo al interior de la ciudad, invadiendo las laderas de las gargantas, consideradas como terrenos inestables debido a su pendiente, suelos saturados con agua y desprovistos de vegetación secundaria.

3.4.1 Selección y priorización de sitios y sectores críticos por inundaciones – embalses y deslizamientos.

El constante crecimiento de la ciudad y con ello la ampliación de la malla urbana a efectos de mejorar la funcionalidad espacial, ha provocado que calles y avenidas crucen las gargantas (producto de la erosión fluvial) y drenajes, disminuyendo notablemente el normal flujo de las aguas de los ríos y quebradas, esto, debido a que han sido rellenadas o en su defecto, los ductos presentan un diámetro reducido que en la actualidad no abastece el caudal de los drenajes, especialmente cuando se presentan lluvias extremas como las que se presentan cuando viene el Fenómeno de El Niño. Los ductos, rellenos e incluso viviendas que se hallan al interior de las gargantas, son considerados como obstáculos o barreras que impiden el flujo de las aguas, provenientes de las precipitaciones que ocurren en las unidades hidrográficas que han sido impermeabilizadas (viviendas, edificios, pavimento), donde se genera un fuerte escurrimiento de aguas pluviales y que al final y de forma rápida llegan a los drenajes, provocando inundaciones y embalses temporales. De este análisis viene el concepto de sitios o sectores considerados como críticos, los mismos que luego de ser seleccionados conjuntamente con los profesionales del GAD Municipal, serán estudiados a detalle, ver figura 6.

Los objetivos específicos para la selección y priorización de los sitios críticos son: prevenir potenciales inundaciones o deslizamientos, debido a cambios en los regímenes de pluviosidad y aumento del caudal de los ríos o quebradas, provocados por el cambio climático; proponer medidas de adaptación ante potenciales inundaciones o deslizamientos que servirán de apoyo para el planeamiento urbano; generar un instrumento para la toma de decisiones por parte de las autoridades municipales a efectos de reducir el peligro por inundación y deslizamientos.

El procedimiento empleado en su primera fase es la selección de factores, variables, indicadores y ponderaciones para sugerir la selección de los sectores críticos. En la propuesta se propone trabajar con variables antrópicas, geomorfológicas, hidrográficas, de cobertura vegetal y eventos registrados por la Secretaría de Gestión de Riesgos.

Determinadas las variables y sus indicadores, se procede a la asignación de la ponderación o valores numéricos, que para el presente caso será entre 0.2 y 0.8, para discriminar mejor los indicadores que califican cada variable, así, el valor mínimo considera una unidad o elemento con un nivel de muy baja criticidad o nivel de importancia dentro de cada variable (0.2), mientras que el valor máximo refleja un valor de muy alta criticidad o importancia (0.8)¹³; procedimientos utilizados en varios de los análisis de síntesis dentro del proyectos Generación de Geo información para la Gestión del Territorio a Nivel Nacional escala 1:25.000. Otro documento que puede ser observado es Análisis de Vulnerabilidad del Cantón Chone. Perfil territorial 2013 elaborado por el PNUD.

A continuación, se realiza una descripción de cada factor y su respectiva tabla con las variables, indicadores, ponderación y el criterio utilizado.

¹³ Ejemplos de escalas de valoración, pueden ser observadas en los sitios web: observadas en los sitios web: https://www.ana.gob.pe/sites/default/files/publication/files/priorizacion_de_cuencas_para_la_gestion_de_los_recursos_hidricos_ana.pdf y https://www.corantioquia.gov.co/ciadoc/AGUA/AIRNN_CN_5051_2003.pdf

Factor Antrópico

Indudablemente el ser humano es el principal transformador del paisaje natural a urbano, como es el caso de la ciudad de Santo Domingo, donde continuamente se cambia drásticamente el uso del suelo de agrícola a residencial, comercial, industrial. Pero lo más crítico es la construcción de obstáculos transversales a los ejes fluviales, como calles, avenidas, rellenos, alcantarillas y embaulados, que interrumpen total o parcialmente el flujo de aguas fluviales, que provocan encharcamientos, inundaciones y deslizamientos.

Tabla 2. Variables antrópicas utilizadas para la priorización de los sectores críticos.

Factor: Antrópico			
Variables	Indicadores	Ponderación	Criterio
Altura de obstáculos (metros)	0 a 2	0.2	A mayor altura del obstáculo o barrera, mayor será la probabilidad de que aumente el volumen de agua represada
	2 a 5	0.5	
	> a 5	0.8	
Viviendas en laderas	< a 5	0.2	Mientras más viviendas existan en las laderas de las gargantas, existirá un mayor peso sobre los suelos, incrementando la susceptibilidad a deslizamientos
	5 a 15	0.5	
	> a 15	0.8	

Fuente: ECONOMICA CIC , 2023

Elaboración: ECONOMICA CIC

Factor Geomorfológico

El estudio de este factor al interior de la ciudad de Santo Domingo, permite no solamente conocer el origen del relieve donde se asienta la ciudad, sino también, determinar las áreas susceptibles a deslizamientos o inundaciones, a través del estudio y cartografía de las formas del relieve caracterizadas por la morfología (superficie de cono de esparcimiento, terrazas fluviales, cerros testigo, gargantas), el desnivel relativo y pendiente de las laderas.

Tabla 3. Variables geomorfológicas utilizadas para la priorización de los sectores críticos.

Factor: Geomorfológico			
Variables	Indicadores	Ponderación	Criterio
Pendiente de laderas (°)	5 a 18 °	0.2	A mayor pendiente de laderas, mayor susceptibilidad a deslizamientos y menor pendiente al interior de la ciudad, mayor susceptibilidad a anegamientos
	19 a 45 °	0.5	
	46 a 56 °	0.8	
Desnivel relativo (metros)	Menor a 10	0.2	Mientras más altos son los valores del desnivel relativo, más susceptibles serán a desprendimientos de materiales
	10 a 20	0.5	
	Mayor de 20	0.8	

Fuente: ECONOMICA CIC , 2023

Elaboración: ECONOMICA CIC

Factor Hidrográfico

La cartografía de unidades hidrográficas generadas al interior de la ciudad de Santo Domingo, tomando como partida las aguas que drenan hacia las cuencas de los ríos Daule y Vinges, permite conocer que gran parte de la ciudad, está impermeabilizada (cobertura con pavimento y cemento) y con ello alterando las funciones hidrológicas de los ríos, quebradas y esteros, así como también, modificando la infiltración de las aguas pluviales y de escorrentía en los suelos, mismas que regulan el nivel freático y aguas subterráneas. Este cambio en el uso de los suelos está creando conflictos irreversibles y propiciando un aumento de la susceptibilidad a inundaciones repentinas, pluviales o fluviales, encharcamientos, contaminación, así como también deslizamientos.

Tabla 4. Variables hidrologías utilizadas para la priorización de los sectores críticos.

Factor: Hidrográfico			
Variabes	Indicadores	Ponderación	Criterio
Área de la unidad hidrográfica (ha)	Menor a 110 ha	0.2	A mayor superficie de la unidad hidrográfica, mayor será la capacidad de receptor aguas pluviales
	110 a 220	0.5	
	Mayor a 220	0.8	
Área impermeabilizada (ha)	0 a 10	0.2	Mientras más impermeabilizada se encuentre la unidad hidrográfica, menor será la capacidad de infiltración de aguas pluviales y mayor será el escurrimiento
	10 a 40	0.5	
	> a 40	0.8	

Fuente: ECONOMICA CIC , 2023

Elaboración: ECONOMICA CIC

Factor Cobertura vegetal

La influencia de este factor en el análisis de los deslizamientos como de las inundaciones por anegamiento al interior de la ciudad, es de extrema importancia debido a que, por un lado, las raíces de una cobertura arbórea, además de absorber una parte del agua subterránea, actúan como anclas reteniendo el suelo ante potenciales movimientos en masa; y por otro lado, una cobertura arbórea, arbustiva o herbácea, al interior de la ciudad, permitirá regular la infiltración de agua, disminuyendo la escorrentía y así minimizando la susceptibilidad a inundaciones por anegamiento.

Para las ponderaciones de la variable utilizada fisionomía de la cobertura vegetal, las raíces profundas que presenta la vegetación arbórea tienen la particularidad de cohesionar al suelo, evitando así desprendimientos de materiales. Por otro lado, esta misma vegetación genera una alta evapotranspiración regulando la humedad del suelo, subsuelo y su entorno, nuevamente evitando los desprendimientos de suelos. En este caso la valoración de la susceptibilidad es menor por ello la ponderación es de 0.2.

En el caso de la vegetación arbustiva, las raíces son menos profundas, haciendo que el suelo sea más susceptible a deslizamientos. Finalmente, en el caso de la vegetación herbácea, las raíces son superficiales mucho más susceptibles a deslizamientos. Para estos dos tipos de vegetación los valores mayores como de 0.5 y 0.8 por su criticidad.

Tabla 5. Variable de la cobertura vegetal utilizada para la priorización de los sectores críticos.

Factor: Cobertura vegetal			
Variable	Indicadores	Ponderación	Criterio
Fisionomía de la cobertura vegetal	Arbórea	0.2	Una mayor cobertura vegetal permitirá disminuir la susceptibilidad a deslizamientos y aumentar la infiltración de aguas pluviales evitando anegamientos
	Arbustiva	0.5	
	Herbácea	0.8	

Fuente: ECONOMICA CIC , 2023

Elaboración: ECONOMICA CIC

Factor eventos registrados por la Secretaria de Gestión de Riesgos

Este último factor permite conocer de forma espacializada los sitios donde han sucedido eventos, especialmente de inundaciones al interior de la ciudad, lo cual ayuda a determinar los sitios donde el fenómeno indicado, es más recurrente.

Tabla 6. Variable eventos registrados para la priorización de los sectores críticos.

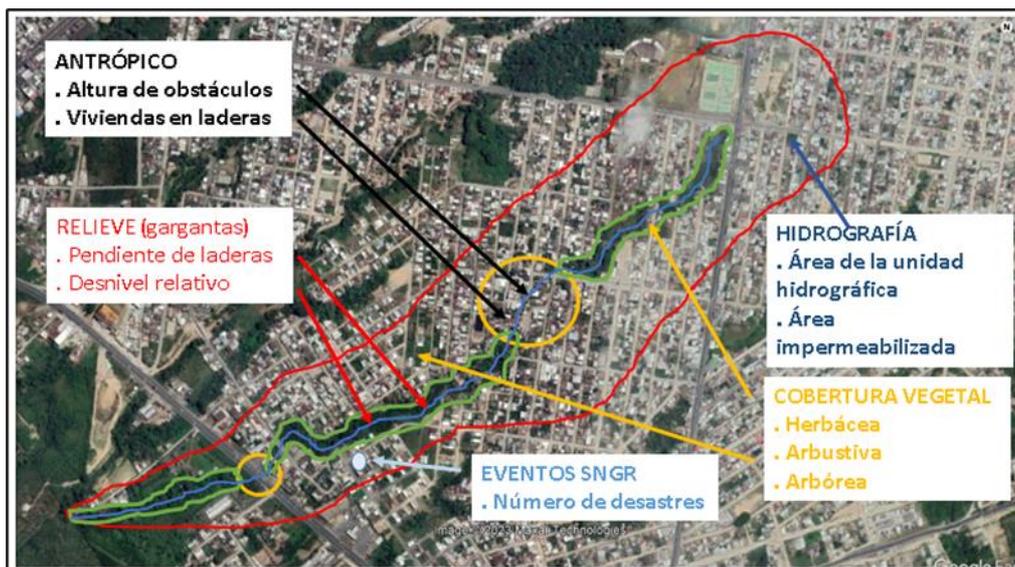
Factor: Eventos registrados por la SGR			
Variable	Indicadores	Ponderación	Criterio
Número de eventos registrados	< a 2	0.2	Mientras más eventos existen en un espacio geográfico, existirá una mayor probabilidad de que en esos mismos espacios se produzcan deslizamientos.
	3 a 5	0.5	
	> a 6	0.8	

Fuente: ECONOMICA CIC , 2023

Elaboración: ECONOMICA CIC

Lo expuesto puede ser observado de forma gráfica en la siguiente figura, donde se analiza los factores y variables para la selección de sitios y sectores críticos.

Figura 4: Factores y variables para la selección de sitios y sectores críticos

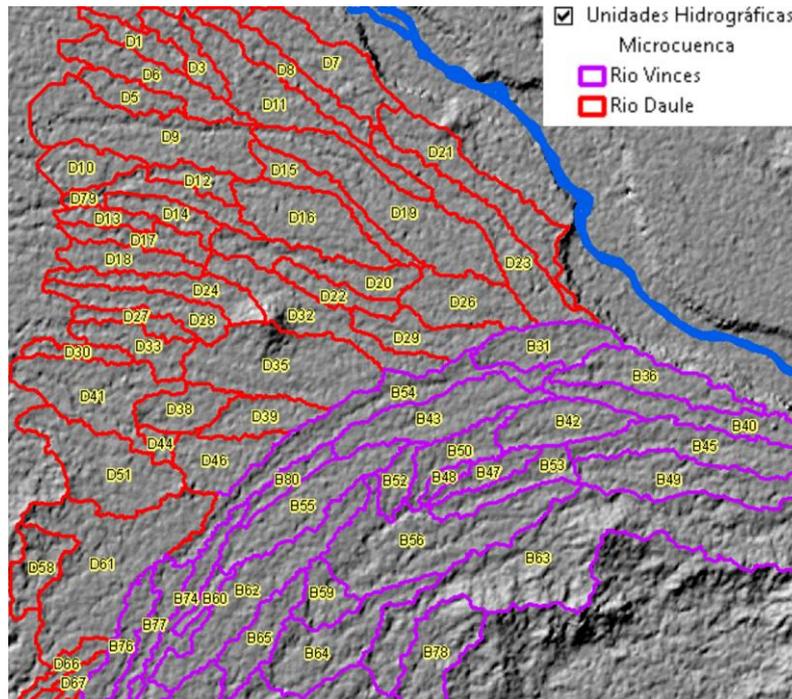


Fuente: ECONOMICA CIC , 2023

Elaboración: ECONOMICA CIC

En una segunda fase, se define la unidad de análisis espacial que, para este estudio lo constituyen las unidades hidrográficas de los ríos y quebradas que forman parte de las microcuencas de los ríos Daule y Vinces que nacen en la parte oriental de la ciudad de Santo Domingo, en cotas localizadas entre 580 y 690 msnm., como se aprecia en la siguiente figura.

Figura 5: Unidades Hidrográficas río Vinces y Daule.



Fuente: IGM (varios años), DTM Alos Palsar 2020, ECONOMICA CIC, 2023. (Equipo consultor)
Elaboración: ECONOMICA CIC

La última fase consiste en estructurar una matriz en Excel, donde, en el eje de las Y se encuentra la identificación de cada unidad hidrográfica, mientras que en el eje de las X se hallan las variables e indicadores. Luego, se procede a calificar a cada indicador de cada variable y factor, con respecto a la unidad hidrográfica seleccionada, este proceso que se realizó con la ayuda de un sistema de información geográfico.

Tabla 7. Matriz preliminar de priorización de sitios y sectores críticos.

Código	Obstáculo	Factores					Cob. Vegetal	Sitios SGR	Observación
		Antrópico	Geomorfológico	Hidrográfico	Impermeabilizado				
Número	Texto (m)	%	Tipo	ha	ha				
1								No aplicable	
15		40	Garganta y superficie	87.5	35	40	5	Revisión	
16	calle, 6m	70	Gargantas y superficie	198.1	138.67	20	14	Priorizado	
17	no	8	Gargantas y superficie	75.7	6.056	90	0		
18	no	6	Superficie	89.6	5.376	92	0		
19	no	15	Gargantas y superficie	306.3	45.945	85	8	Priorizado	
2								No aplicable	
20	calle, 7m	60	Gargantas y superficie	137.9	82.74	40	7	Priorizado	
21	no	15	Garganta y superficie	192.1	28.815	85	2		
22	calle 12m	70	Garganta y superficie	64.6	45.22	30	0	Priorizado	
23	Avenida 10 m	20	Gargantas y superficie	198.6	39.72	80	0	Priorizado	
24	Calle 6m	30	Garganta y superficie	116.98	35.094	70	2	Priorizado	
25								No aplicable	
26	Avenida 8m	85	Gargantas y superficie	143.5	121.975	15	8		
27								Protección	
28		20	Garganta y superficie	112.1	22.42	80	5	Anegamiento	
29	Calle 6m	95	Garganta y superficie	110.1	104.595	5	10	Anegamiento	
3								No aplicable	
30	Sin obstáculo	70	Superficie	39.8	27.86	30	0	No aplicable	

Fuente: ECONOMICA CIC , 2023
 Elaboración: ECONOMICA CIC

A continuación, se enlista los sitios prioritarios entregados por el municipio de Santo Domingo. Este ejercicio de identificación se propone como una herramienta común de validación de puntos críticos, para el análisis de inundaciones por anegamiento o desborde en barrios de la ciudad; en seguimiento al Taller del 07 de julio y en acompañamiento del equipo consultor de Económica.

Esta actividad es parte del Análisis de Riesgo de Cambio Climático mediante modelos de Impactos Biofísicos, que, en uno de sus 4 productos de mapas y estadísticas espaciales, cuantificará más de una docena de puntos críticos de inundación en un escenario de lluvias extremas.

Tabla 8. Listado de sitios críticos propuesto por el Municipio de Santo Domingo.

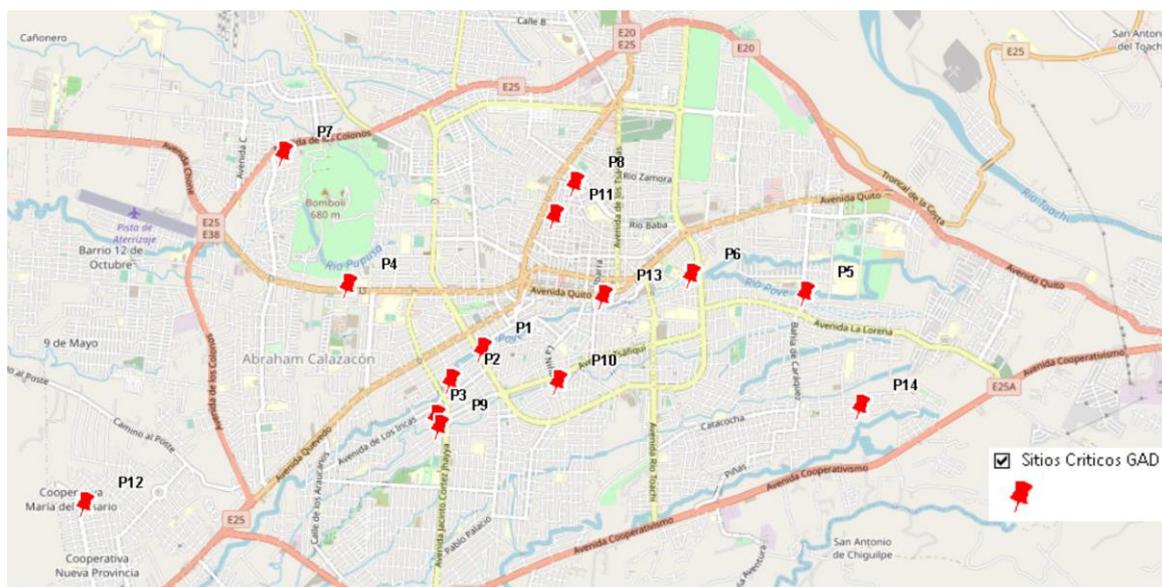
Punto	Lugar, calle, intersección.
Punto 1	Intersección río Pove y Anillo Vial.
Punto 2	Río Pove - Sector EU PCI - Santa Martha, Sector 1
Punto 3	Río Pove y Calle José M. Egas - Asentamiento Inmaculada
Punto 4	EPMAPA - CIUDAD NUEVA
Punto 5	EPMAPA-IESS
Punto 6	EPMAPA- Col. Julio Moreno
Punto 7	Ciudad Nueva - Calle Romero, Canchas.
Punto 8	Inundación. Calle Río Chambira y Av. Clemencia de Mora
Punto 9	Inundación. Sector Santa Martha. Calle José María Egas
Punto 10	Inundación. Barrio 14 de Febrero. Av. Tasiqi. y Manuelita Sáenz
Punto 11	Cooperativa Padres de Familia y 10 de agosto. Calle Río Coca y Altar.
Punto 12	Inundación. Sector El Proletariado. Calle Los Pinos.
Punto 13	Inundación. Calle Galápagos y Tulcán. Ex Lavanderías.
Punto 14	Calle Biblián y Gonzanamá

Nota: 14 son los puntos envíos por el GAD, pero el punto 12, esta fuera del área de estudio.

Fuente: Municipio de Santo Domingo, unidad de gestión de riesgos 2023.

Elaboración: ECONOMICA CIC

Figura 6. Listado de sitios críticos propuesto por el Municipio de Santo Domingo.



Nota: Los numero de los puntos tiene referencia con el listado de la tabla 8.

Fuente: Municipio de Santo Domingo, unidad de gestión de riesgos 2023.

Elaboración: ECONOMICA CIC

3.5 Información Climática Oficial para los datos históricos y escenarios futuros propuestos para la AND

Los modelos climáticos son una representación cualitativa o cuantitativa del sistema climático basada en las propiedades físicas, químicas y biológicas de sus componentes, sus interacciones y procesos de retroalimentación y que explica algunas de sus propiedades conocidas. El sistema climático puede representarse mediante modelos de diversa complejidad; es decir, para cualquier componente o combinación de componentes, se puede identificar un espectro o jerarquía de modelos, que difieren en aspectos tales como el número de dimensiones espaciales, la medida en que se representan explícitamente los procesos físicos, químicos o biológicos, o el nivel en el que intervienen parametrizaciones empíricas. Hay una evolución hacia modelos más complejos con química y biología interactivas. Los modelos climáticos se aplican como herramienta de investigación para estudiar y simular el clima y con fines operativos, incluidas las predicciones climáticas mensuales, estacionales e interanuales (IPCC, 2022).

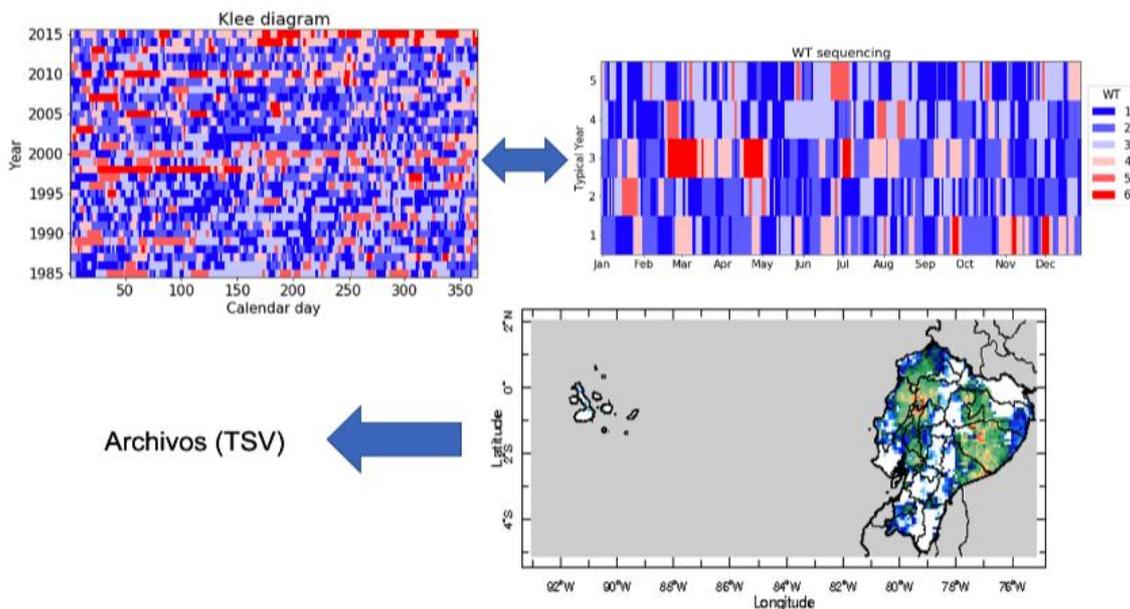
Las variables meteorológicas simuladas corresponden a datos diarios de temperatura media, máxima y mínima (datos en °C) así como datos diarios de precipitación (datos en mm) para una rejilla de 10x10 Km cuya extensión abarca todo el territorio nacional. Estas variables se generan para cada uno de los cinco años típicos seleccionados con un ensemble de 4 modelos de alta resolución pertenecientes al sexto informe del IPCC para el periodo 2020-2050, tal y como se documenta en el Informe de generación de series de tiempo diarias para aplicaciones sectoriales incluyendo series para 5 años tipo en el período 2020-2050, generado por el MAATE en octubre de 2021.

Los 5 años típicos definidos tienen un parecido con determinados años del pasado, lo que permite su contextualización en función de umbrales y disparadores claves de acciones concretas realizadas con anterioridad. Como se aprecia en la figura de patrones asociados a cada año típico, hay ciertos patrones que se repiten con más frecuencia que otros en determinadas épocas del año. De manera que se puede establecer una similitud entre años típicos con años del pasado. De manera que se tendrá:

- **Año típico 1:** similar a los años 1987, 1997, 2004, 2006, 2009, 2012 y 2015. Lo que supone un 22.58% de los años del periodo pasado.
- **Año típico 2:** similar a los años 1990, 1991, 1993, 1995 y 2003. Lo que supone un 16.12% de los años.
- **Año típico 3:** similar a los años 1998, 2005, 2010, 2011, 2013 y 2014. Lo que supone un 19.35% de los años.
- **Año típico 4:** similar a los años 1985, 1986, 1992, 1996, 2000 y 2008. Lo que supone un 19.35% de los años.
- **Año típico 5:** similar a los años 1988, 1989, 1994, 1999, 2001, 2002 y 2007. Lo que supone un 22.58% de los años.

De acuerdo al diagrama siguiente, en el panel superior izquierda se puede observar las secuencias diarias para 5 años típicos de patrones de circulación atmosférica (panel superior derecha) que permiten generar información a escala diaria de precipitación y temperatura (panel inferior derecho) para esos 5 años típicos.

Figura 7. Descripción gráfica de la metodología empleada en la selección de años típicos periodo 2020-2050.



Fuente: Informe de generación de series de tiempo diarias para aplicaciones sectoriales incluyendo series para 5 años tipo en el periodo 2020-2050. Consultoría del Plan de Adaptación al Cambio Climático (PLANACC).

Elaboración: ECONOMICA CIC, 2023.

Son datos multidimensionales con formatos netcdf y tsv. La resolución del grid es de 10 x 10 km.

Las series históricas van desde el año 1985 a 2015. Las proyecciones climáticas representan 5 años típicos como años físicamente plausibles en el periodo 2020 – 2050. Son proyecciones climáticas generadas en el marco del PNA utilizando las recientes salidas (HighResMIP experiments) de la fase 6 del Coupled Model Intercomparison Project datos que se encuentran disponibles en la página web de SPRACC 2023¹⁴.

Todas las series (históricas y proyecciones) están completas tanto a nivel espacial como temporal.

En la siguiente tabla 6 recoge la información climática proporcionada por el PNUD-MAATE para el modelado de las amenazas.

Tabla 9. Información climática disponible para el modelado de amenazas climáticas.

Recurso	Formato	Fuente	Detalle	Alcance
Serie histórica diaria rellenada 1985 – 2015: Precipitación, tmax, tmin, tmed.	tsv	PNUD - MAATE	Grid 10x10Km	Nacional
Proyección diaria 5 años típicos: Precipitación, tmax, tmin, tmed.				

Fuente: ECONOMICA CIC, 2023. (Equipo consultor)

Elaboración: ECONOMICA CIC, 2023.

¹⁴ Sistema de información de Proyecciones y Riesgo Climático, Medidas de Adaptación al Cambio Climático e Indicador de Vulnerabilidad del Ecuador (SPRACC)

Cabe indicar que en esta fase se revisaron los datos climáticos y el informe denominado: Generación de información de clima futuro a nivel nacional para el periodo 2020 –2050 a partir de un análisis de circulación atmosférica y el empleo de modelos climáticos del CMIP6, así como también, la información contenida en proyectos anteriores como la generación del Riesgo Climático a partir de Modelos Biofísico para el Sector Asentamientos Humano. MAATE 2022., cumpliendo con lo solicitado por el MAATE en los talleres efectuados en Santo Domingo.

4. Ciudad de Santo Domingo.

4.1 Descripción geográfica

La ciudad se encuentra ubicada sobre un extenso cono de esparcimiento que presenta una ligera inclinación hacia el oeste y sur. Esta característica se puede atribuir a períodos de deshielo de los glaciares andinos, una intensa dinámica fluvial y la actividad de los volcanes que se encuentran en la parte alta de la cordillera Occidental. En la superficie, los relieves son mayormente planos a ondulados, intercalados con pequeñas gargantas formadas por la erosión fluvial y deslizamientos de tierra (Winckell, 1997).

Desde el punto de vista litológico, este gran cono se compone de bancos gruesos de conglomerados con bloques de mayor tamaño en una matriz arenosa y guijarrosa. También se encuentran flujos de lodo, capas de tobas aglomeradas y cenizas de color café amarillento (según la Hoja geológica de Santo Domingo, DGGM, 1984).

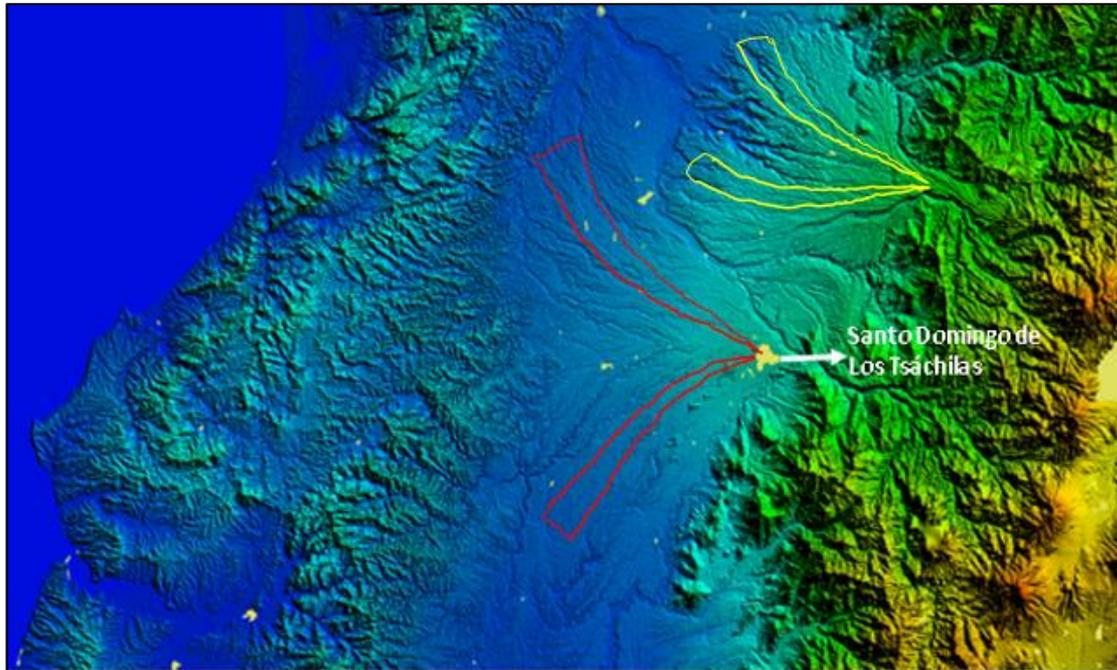
En las proximidades de la ciudad, se produce una superposición de materiales piroclásticos con un espesor de aproximadamente 6 metros. Se pueden distinguir dos conjuntos de materiales que corresponden a dos grandes períodos de erupciones de los volcanes andinos. La capa inferior presenta un color pardo-amarillento intenso, una textura limo arcillosa y no muestra signos de estratificación. Se estima que tiene una antigüedad de 42.000 años (Winckell, 1997). Por otro lado, la capa superior presenta una textura ligeramente más gruesa, con una textura limoarenosa de color pardo a gris amarillento. Esta capa corresponde a emisiones volcánicas más recientes que comenzaron hace aproximadamente 8.200 años (Winckell, 1997).

En superficie, donde todavía existen suelos cubiertos con cobertura vegetal, éstos, son pardos, francos, con una potencia aproximada de 1,5 metros, con una retención de agua de 50 a 100% (cenizas recientes) y en profundidad los suelos son limosos con una retención de agua mayor a 100% (cenizas antiguas). Datos que se incluyen en el mapa morfopedológico de Santo Domingo del primer inventario nacional de recursos naturales renovables MAG -ORSTOM.1983.

Antes de que se edificara completamente la ciudad, la erosión fluvial provocada por los ríos y quebradas que atraviesan la misma, generaron relieves negativos denominados gargantas o encañonamientos, que en la actualidad han sido rellenados, embaulados, atravesados por avenidas, calles, que junto a la eliminación de la cobertura vegetal natural que existía a lo largo de estos relieves, se ha modificado y alterado el sistema fluvial y la ecología de estas áreas. Hoy en la actualidad, las actividades antrópicas indicadas, forman verdaderos obstáculos al normal flujo de las aguas fluviales, propiciando un escenario para la ocurrencia de taponamientos de aguas fluviales y pluviales y la posterior inundación por desbordamiento o anegamiento, principalmente cuando ocurren lluvias extremas. Además, en las gargantas donde la cobertura vegetal ha sido eliminada y donde las laderas presentan pendientes superiores a 18° y suelos saturados con agua, hace que estas formas del relieve sean muy susceptibles a deslizamientos.

En la figura siguiente, se observa la ubicación geográfica de la ciudad con relación al gran cono de esparcimiento de Santo Domingo; en la figura siguiente, representa una vista más local de la ciudad, observándose que adopta la forma triangular, típica del ápice de un cono de esparcimiento.

Figura 8. Ciudad de Santo Domingo dentro del contexto regional.



Fuente: Global Mapper, 2022

Nota: Obsérvese la dirección y magnitud del explayamiento de los materiales del cono de esparcimiento de Santo Domingo (color rojo) y la comparación con el cono de esparcimiento de Los Bancos (color amarillo)

Elaboración: ECONOMICA CIC, 2023.

Figura 9. Vista local de la ciudad de Santo Domingo.



Fuente: Google Earth, 2022

Elaboración: ECONOMICA CIC, 2023.

4.2 Revisión de literatura de línea base local y metodologías aplicables para riesgo climático y adaptación.

A continuación, se sistematiza los documentos nacionales e internacionales analizados en relación con el sector priorizado (asentamientos humanos); estudios realizados en relación con el cambio climático y la gestión de riesgos de la ciudad de Santo Domingo; así como los instrumentos de planificación vigentes y las metodologías utilizadas en relación con el riesgo climático estudiado en la misma ciudad.

Literatura, documentos, estudios, otros.	Revisión bibliográfica.
<p>Sexto Informe de Evaluación (AR6) del IPCC</p>	<p>En el capítulo 6, denominado Ciudades, Asentamientos e Infraestructura clave (IPCC, 2021^a), identifica a las inundaciones y los movimientos en masa, entre otros, como amenazas claves exacerbadas por los procesos de cambio climático:</p> <p>Inundaciones. Los riesgos de inundación en los asentamientos surgen de eventos hidrometeorológicos que interactúan con el sistema urbano, lo que expone los asentamientos a inundaciones fluviales, inundaciones repentinas, inundaciones pluviales (impulsadas por precipitaciones), inundaciones de alcantarillado, inundaciones costeras e inundaciones por desbordamiento de lagos glaciares. A nivel mundial, es probable que el aumento de la frecuencia y la intensidad de las precipitaciones extremas provocadas por el calentamiento global amplíe la superficie terrestre mundial afectada por peligros de inundaciones. En el futuro, hay evidencia de que los cambios en las precipitaciones de alta intensidad y corta duración (subsidiarias) en las áreas urbanas aumentarán provocando una mayor posibilidad de inundaciones.</p> <p>Los riesgos de inundaciones urbanas también aumentan por la expansión urbana, uso del suelo y el cambio de la cobertura del suelo, que amplía las superficies impermeables a través del sellado del suelo, lo que afecta el drenaje de las aguas de inundación con los consiguientes desbordamientos de alcantarillado. Estos riesgos también están impulsados por la creciente complejidad de la sociedad, la política de desarrollo urbano para el control de inundaciones y el crecimiento económico a largo plazo, incluso en megaciudades. Según estudios incorporados en el AR6 en su Capítulo 12 enfocado en Latino América, el sector Nor-Occidental de América del Sur (Ecuador, parte de Colombia y Perú) se verá expuesto a un aumento en la frecuencia de los desastres relacionados con el clima. Se espera un aumento del riesgo de inundaciones durante el siglo XXI, consistente con inundaciones más frecuentes. Las poblaciones ubicadas a lo largo de las riberas de los ríos y barrios marginales asentados en laderas empinadas se encuentran entre los más afectados por inundaciones y movimientos en masa. (Castellanos, et al. 2022). Los riesgos también se ven agravados por la ubicación de los asentamientos, con mayores riesgos dentro de las ciudades ubicadas en zonas costeras de baja elevación sujetas al aumento del nivel del mar, posible hundimiento de la tierra y exposición a ciclones tropicales y dentro de los asentamientos informales, donde generalmente existe poca inversión en soluciones de drenaje y las inundaciones perturban regularmente los medios de vida y socavan desproporcionadamente la seguridad alimentaria local para los pobres urbanos.</p> <p>Deslizamientos de tierra. Si bien los eventos geomorfológicos y los factores asociados con el entorno construido (p. ej., la ubicación de los asentamientos en pendientes pronunciadas y la falta de reglamentación para la construcción)</p>

Literatura, documentos, estudios, otros.	Revisión bibliográfica.
	<p>son factores importantes que determinan el riesgo de deslizamientos de tierra urbanos, estos también pueden verse influenciados por una variedad de variables climáticas, a saber, la precipitación (frecuencia, intensidad y duración), el derretimiento de la nieve y el cambio de temperatura. Se proyecta un aumento en el número de personas expuestas a los riesgos de deslizamientos de tierra urbanos para los asentamientos propensos a deslizamientos de tierra que se encuentran dentro de las regiones proyectadas para experimentar el aumento correspondiente de precipitaciones extremas. Además, los factores humanos, como la expansión de las ciudades en tierras inestables y los cambios en el uso de la tierra dentro de los asentamientos (p. ej., construcción de carreteras, deforestación) están aumentando la exposición humana a los deslizamientos de tierra y la probabilidad de que ocurran. Los deslizamientos de tierra provocados por lluvias matan al menos a 5.000 personas por año, y al menos el 11,7% de estos deslizamientos de tierra ocurrieron en las redes viales. Aunque la huella espacial de un deslizamiento de tierra individual puede ser pequeña (es decir, <1 km²), la "sombra de vulnerabilidad" proyectada sobre un área en términos de interrupciones de la red de transporte regional puede ser una proporción significativa de una región y repercutir en cascada en otras infraestructuras IPCC. (2021a).</p>
<p>Sexto Reporte del IPCC (AR6)</p>	<p>El concepto de riesgo ("risk" en inglés) es un aspecto clave de cómo el IPCC evalúa y comunica a los tomadores de decisiones los posibles impactos adversos y las alternativas de respuesta frente al cambio climático.</p> <p>El uso del concepto de riesgo no ha sido totalmente coherente entre los grupos de trabajo entre los ciclos de evaluación, dado que el concepto mismo y su uso por parte del IPCC ha seguido evolucionando (ver Anexo 1: Evolución del Concepto Riesgo a través de los Reportes del IPCC). Desde el Informe Especial sobre el Calentamiento Global de 1,5°C (IPCC, 2018), (documento referido ya en los productos anteriores de este estudio), se han puesto en marcha esfuerzos entre los grupos de trabajo del IPCC para desarrollar un concepto de riesgo consistente a lo largo de los productos de la Sexta Evaluación del IPCC (AR6) y subsiguientes.</p> <p>La definición de riesgo usado por los Grupos de Trabajo del IPCC en el AR6 es el siguiente:</p> <p>Riesgo (risk). "El potencial de consecuencias adversas para los sistemas humanos o ecológicos, reconociendo la diversidad de valores y objetivos asociados con dichos sistemas. En el contexto del cambio climático, los riesgos pueden surgir de los impactos potenciales del cambio climático, así como de las respuestas humanas al cambio climático. Las consecuencias adversas relevantes incluyen aquellas sobre la vida, los medios de subsistencia, la salud y el bienestar, los activos e inversiones económicos, sociales y culturales, la infraestructura, los servicios (incluidos los servicios de los ecosistemas), los ecosistemas y las especies." (IPCC, 2020)</p>
<p>NDC. (2019). Primera contribución determinada a nivel nacional para el acuerdo de París bajo la convención marco de naciones unidas sobre cambio climático.</p>	<p>Los asentamientos humanos y las ciudades del Ecuador son particularmente vulnerables frente a las amenazas climáticas. La infraestructura habitacional con características inadecuadas y localizadas en áreas de riesgo (aspectos típicos de asentamientos informales) incrementa los niveles de vulnerabilidad a los efectos del cambio climático. Ciudades como Quito y Guayaquil y otras ciudades medianas y pequeñas, especialmente en la Costa, presentan este tipo de asentamientos irregulares y en condiciones de riesgo. Ecuador tiene un análisis de viviendas precarias, con carencias de servicios básicos, con</p>

Literatura, documentos, estudios, otros.	Revisión bibliográfica.
	posesión irregular de la propiedad (ausencia de títulos y/o escrituras) y, en algunos casos, ubicadas en zonas de riesgo.
Naciones Unidas - CEPAL, (2004). (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2015)	El sistema sectorial priorizado identificado y validado por los puntos focales sectoriales son las viviendas en situación de precariedad, en el territorio nacional, ubicadas en las zonas susceptibles a la influencia de movimientos en masa ¹⁵ y de inundaciones ¹⁶ .
Sistema Sectorial priorizado para el Sector de Asentamientos Humanos (SSP-AH). (PNUD-MAATE, 2021),	<p>En referencia a las amenazas climáticas y factores exacerbantes no climáticos, se identificaron los siguientes factores/elementos que influyen en la afectación al SSP-AH -viviendas en precariedad: Zonas Susceptibles a Movimientos en Masa, Zonas Susceptibles a Inundaciones.</p> <p>De acuerdo al mismo informe, el tamaño de la población como factor para categorizar las ciudades fue considerado en base a varias metodologías propuestas por instituciones nacionales e internacionales. En síntesis, se propuso como segmento de ciudades intermedias, para el SSP-AH, los municipios/cantones, con poblaciones entre 100.000 a 250.000 habitantes, donde se agrupa alrededor de 18% de la población total del Ecuador.</p>
Plan de Creación de Oportunidades 2021-2025	El análisis de la jerarquización poblacional se establece en función del número de habitantes de cada núcleo poblacional. Por lo que, las jerarquías reflejan el grado de relaciones e influencia que presentan cada uno a nivel país, región y localidad. Esta jerarquización, según la Secretaría de Planificación, permite también identificar y potenciar el rol de los núcleos poblacionales y equilibrar la red de asentamientos humanos. Por lo que, las parroquias son clasificadas según esta jerarquización.
<p>Análisis de riesgo climático para el sector Asentamientos Humanos, mediante la aplicación de modelos de impactos biofísicos.</p> <p>Producto 2: Reporte de calibración y de las corridas iniciales de los modelos de impactos biofísicos.</p>	<p>Las viviendas en situación de precariedad constituyen el Sistema Sectorial Priorizado para el Sector de Asentamientos Humanos para el Análisis de Riesgo Climático de este sector.</p> <p>Operativamente, este tipo de viviendas están representadas en base al cumplimiento de al menos una de las siguientes condiciones: i) acceso inadecuado a agua segura; ii) acceso inadecuado a saneamiento; iii) calidad estructural de la vivienda; y iv) hacinamiento.</p> <p>Con el propósito de caracterizar el bienestar de las ciudades desde un punto de vista multidimensional, en donde se incluye no solamente a la proporción de población que reside en viviendas en condiciones de precariedad, se plantea usar un método que logre sintetizar esta y otras dimensiones relacionadas a los parámetros ambientales y sociodemográficos del territorio.</p>
Censo de Población y Vivienda del año 2010	En el documento analizado de riesgo climático del sector de Asentamientos Humanos, la dimensión sociodemográfica, se han contemplado siete indicadores, relacionados a la dependencia económica y demográfica, la pobreza y la educación de la población residente en las ciudades ¹⁷ .

¹⁵ El movimiento en masa en el contexto de eventos de montaña se refiere a diferentes tipos de procesos de transporte en masa, incluidos deslizamientos de tierra, avalanchas, caída de rocas o flujos de escombros (IPCC, 2012).

¹⁶ El IPCC define inundación como el desbordamiento de los confines normales de un arroyo u otro cuerpo de agua, o la acumulación de agua sobre áreas que normalmente no están sumergidas. Las inundaciones incluyen inundaciones de ríos (fluviales), inundaciones repentinas, inundaciones urbanas inundaciones, inundaciones pluviales, inundaciones de alcantarillado, inundaciones costeras y lago glacial inundaciones repentinas (IPCC, 2012).

¹⁷ Análisis de riesgo climático para el sector Asentamientos Humanos, mediante la aplicación de modelos de impactos biofísicos. Producto 2: Reporte de calibración y de las corridas iniciales de los modelos de impactos biofísicos.

Literatura, documentos, estudios, otros.	Revisión bibliográfica.
	<p>Densidad poblacional. Refiere a cantidad de población residente en la ciudad por cada kilómetro cuadrado.</p> <p>Déficit de agua por red pública. Refiere a la cantidad de población que reside en viviendas cuya fuente de provisión de agua es mediante un pozo, o provisión de agua para el hogar a través de río, acequia, vertiente o canal, incluyendo la provisión de agua por carro repartidor u otros como el agua-lluvia, expresado por cada cien habitantes residentes de la ciudad según el CPV 2010.</p> <p>Déficit de agua entubada. Refiere a la cantidad de población, que reside en viviendas cuya tubería de agua se encuentra fuera de la vivienda, pero dentro del edificio, lote o terreno; o fuera del edificio, lote o terreno, O, no recibe agua por tubería, expresado por cada cien habitantes residentes de la ciudad según el CPV 2010.</p> <p>Déficit alcantarillado. Refiere a la cantidad de población que reside en una vivienda cuyo escusado no está conectado a la red pública de alcantarillado, y por lo tanto utilizan un pozo séptico o ciego, o descargan al mar, río o laguna. Se incluye también aquellos que tienen letrina o no tienen escusado, expresado por cada cien habitantes residentes de la ciudad según el CPV 2010.</p> <p>Déficit de servicios. Refiere a la cantidad de personas que residen en viviendas sin acceso a servicio higiénico o poseen acceso a pozo ciego o letrina y de forma simultánea no tienen acceso a agua por red de tubería interna o externa, expresado por cada cien habitantes residentes de la ciudad según el CPV 2010.</p> <p>Materiales de vivienda inadecuados. Refiere a la cantidad de población que reside en viviendas con piso de tierra u otro material de peor calidad, en las cuales el material predominante de las paredes exteriores es de caña no revestida o materiales de peor calidad en cualquier estado en que se encuentren, expresado por cada cien habitantes residentes de la ciudad según el CPV 2010.</p> <p>Déficit Cualitativo o Cuantitativo. Refiere a la cantidad de población que reside en viviendas cuya combinación de materiales y estado de los mismos califican a las viviendas como deficitarias, que podrían ser recuperables (déficit cualitativo) o incluso irrecuperables (déficit cuantitativo), expresado por cada cien habitantes residentes de la ciudad según el CPV 2010.</p> <p>Deficiente vía de acceso. Refiere a la cantidad de población que reside en viviendas cuya vía de acceso es empedrada, lastrada o de tierra, incluyendo caminos, senderos y chaquiñanes o cualquier otro acceso a la vivienda diferente al adoquín o pavimento, expresado por cada cien habitantes residentes de la ciudad según el CPV 2010.</p> <p>Déficit de servicio de recolección de Basura. Refiere a la cantidad de población que reside en viviendas en donde lo existe el servicio de recolección de residuos y por lo tanto arrojan la basura a terrenos, la queman o la entierran, expresado por cada cien habitantes residentes de la ciudad según el CPV 2010.</p>
<p>Actualización del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial al 2032, territorio incluyente, sostenible, prospero.</p>	<p>Es deseable contar con Planes de Gestión de Riesgos específicos para las áreas anotadas que permitan una gestión permanente de la condición Riesgo. De igual manera una normativa que corrija desajustes de usos de suelo en las partes altas de las subcuencas en el caso de la parroquia Alluriquín. De igual manera para los asentamientos localizados en Valle Hermoso y el Toachi. En el caso de las áreas urbanas, el tratamiento normativo para recuperar el funcionamiento y paisaje natural de las quebradas de la ciudad de Santo Domingo se vuelve imperativo, más aún en la perspectiva de incremento de</p>

Literatura, documentos, estudios, otros.	Revisión bibliográfica.
	precipitaciones y temperaturas ante el Cambio Climático. En estas áreas se debe reconsiderar reubicaciones de vivienda, recuperación paisajística recreativa y termorreguladora urbana de las quebradas existentes.
Actualización del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial al 2032, territorio incluyente, sostenible, prospero.	Para el análisis de riesgo climático se considera los registros de desastres a eventos hidro climáticos, relacionadas con eventos extremos de precipitación y temperatura (MAE, 2019), aquellas que han sido identificadas como las amenazas que afectan al cantón, siendo estas: altas temperaturas; lluvias intensas. A partir de estas amenazas se cruza información con las siguientes vulnerabilidades: uso actual de suelo; ecosistemas. A fin de correlacionar las amenazas con las vulnerabilidades consideradas se evalúa las amenazas de altas temperaturas y lluvias intensas para el escenario actual (1981-2015), escenario referencial (RCP 4.5) y escenario pesimista (RCP 8.5), esto se realiza en base la información generada por el IIGE, IEE y MAE.
Actualización del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial al 2032, territorio incluyente, sostenible, prospero.	En el capítulo de Sector Ambiental, se proponme estrategias y líneas de acción ambiental. La estrategia planteada es: Gestionar de Manera Integrada los Riesgos de Desastres en el Cantón, Originados por Cambios Climáticos, e Impulsar Acciones de Adaptación y Mitigación Frente al Cambio Climático. En las líneas de acción se propone: Monitorear las variables climáticas en posibles impactos en: la producción agrícola y pecuaria del cantón y Asentamientos humanos; implementar sistemas de alertas tempranas para la Gestión de Riesgos; Proteger la Calidad de los Recursos Naturales de la Contaminación Causada; promover una cultura de gestión de riesgos y adaptación a los efectos del cambio climático a nivel institucional, empresarial y de la ciudadanía en general, que incluya el uso sostenible del suelo, procesos adecuados de urbanización y construcción segura, resilientes y apropiada.
Actualización del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial al 2032, territorio incluyente, sostenible, prospero.	En el capítulo de Sector Asentamiento Humanos (Poblamiento), la estrategia planteada es: Implementar Modelos Territoriales en el Nivel Cantonal, Particularmente en la Ciudad de Santo Domingo, los Centros Urbanos de las Parroquias Rurales y Asentamientos de Crecimiento Significativo para el Cantón, Promoviendo un Equilibrio Territorial Cantonal con una Adecuada Relación Urbana Rural. La línea de acción planteadas es: Generar y garantizar por parte del GAD cantonal, normativas y modelos de gestión de asentamientos urbanos que faciliten el desarrollo territorial urbano, que mejore las densidades y vivienda, con la finalidad de dotar equipamientos, recuperar el espacio público y los sistemas de protección natural que circundan los asentamientos. De igual manera completar la normativa de uso y ocupación del suelo en los sectores rurales, especialmente en áreas de riesgos mitigable, así como en áreas de protección, conservación y productivas.
Plan de Uso y Gestión del Suelo 2032 de Santo Domingo y sus parroquias urbanas.	Enel capítulo 1.4. Modelos Urbanos Actuales. Situación específica de los asentamientos con población concentrada o urbanos. En el subcapítulo 14, se analiza los riesgos de la zona urbana, el párrafo descrito es el siguiente: "La vulnerabilidad de la población de Santo Domingo, se asocia con el sistema hídrico que atraviesa la ciudad y la gran depresión geográfica generada por el Río Toachi. En el caso de quebradas ubicadas en la estructura urbana, la vulnerabilidad de la población asentada en los bordes es alta, los edificios están expuestos a posibles colapsos por deslizamientos de laderas inestables. La parroquia Río Verde es la más afectada con un 26,37% de sus lotes en situación de vulnerabilidad; igualmente figura la parroquia Bombolí con el 23,96%." Así mismo en el capítulo de Situación del Asentamiento, se plantea un objetivo en relación con esta temática como: 1. Fomentar el uso adecuado de los suelos

Literatura, documentos, estudios, otros.	Revisión bibliográfica.
	<p>de conformidad con las categorías de ordenamiento, la recuperación y la conservación de bosques y fuentes hídricas y fortalecer las capacidades locales frente a los riesgos naturales; y los proyectos planteados con: Ejecución de talleres participativos, monitoreo y seguimiento del Plan Parroquial de Gestión de Riesgos Naturales.</p> <p>Por otro lado, en el subcapítulo de Clasificación y Subclasificación del Suelo Urbano y Rural, se propone en las zonas de protección hídrica: “Corresponden a todo el sistema hídrico del Cantón Santo Domingo, que deben mantenerse en conservación como franjas de protección con el fin de asegurar que no se generen procesos de contaminación del agua, así como evitar posibles riesgos naturales que afecten a la población y a los sistemas productivos en caso de eventos extremos de lluvias. La protección de los márgenes de los ríos está fundamentada en la LOOTUGS, COA, COOTAD. En este contexto las dimensiones para la protección de los márgenes varían a partir de las diversas topografías que son cruzadas por el sistema.”</p> <p>Por otro lado, en la sección del plan relaciona con Tratamientos Urbanísticos, en la clasificación del suelo Urbano, se propone una subclasificación de protección, en la fase de tratamiento se plantea el Mejoramiento integral – mitigación de riesgos. Este tratamiento tiene relación con aplicar específicamente a zonas que requieran de mejoramiento integral y además presenten algún tipo de riesgo para los asentamientos humanos ocasionado por la naturaleza (deslizamiento, inundación, etc.)</p>

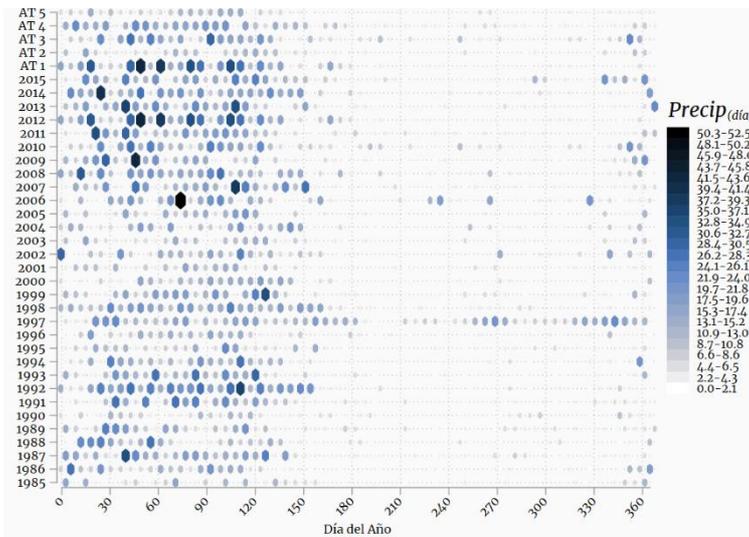
4.3 Análisis de datos climáticos

Para el análisis de los datos climáticos, se ha utilizado la serie histórica completa para el período 1985 – 2015, que consiste en la información de la precipitación diaria (mm) para cada pixel de una grilla de 10 x 10 km del territorio ecuatoriano (PLANACC-MAATE, 2021).

Así mismo se ha trabajado con 5 series anuales de 365 (o 366) días simuladas de precipitación (mm) que corresponden a 5 años típicos en una rejilla de 10x10 Km cuya extensión abarca todo el territorio nacional (PNA 2023). Estos cinco años típicos han sido generados a partir de un ensemble de 4 modelos de circulación global de alta resolución, contemplados en el sexto informe del IPCC para el periodo 2020-2050, tal y como se documenta en el Informe de generación de series de tiempo diarias para aplicaciones sectoriales incluyendo series para 5 años tipo en el período 2020-2050, generado por PNA-MAATE en octubre de 2021.

En la siguiente figura se puede observar la estacionalidad de las precipitaciones a lo largo del período histórico 1985-2015 y de los años tipo. Las precipitaciones, en la ciudad de Santo Domingo, tienen una distribución unimodal concentrándose desde enero hasta abril, seguido por un período de siete meses secos y con un ligero incremento de lluvias a finales del mes de diciembre. En el caso del año 1997y1998, se prolongó el número de meses de precipitación constituyéndose una anomalía climática que podría suceder en cualquier momento.

Figura 10. Precipitación diaria (mm.) del período 1985-2015 y Año tipo de Santo Domingo.



Fuente: Cálculos propios basados en información de precipitaciones (PNUD-MAATE, 2021).
Elaboración: ECONOMICA CIC

Según se puede apreciar en la siguiente tabla, la precipitación diaria promedio durante el período histórico es de 2.8 mm con una máxima de 65.2 mm ocurrida en el año 2002. Mientras que para los años tipo AT1 y AT4 superan ligeramente el promedio diario histórico, los años AT2 y AT5 son ligeramente menores. La precipitación máxima se registra en el AT1 con 59.1mm y el AT4 es el que representan los años más lluviosos en comparación a los otros años tipos.

Tabla 10. Precipitación media por día (mm.) de los años tipo de Santo Domingo.

	Media por día											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Santo Domingo												
AT 1	16.49	23.55	22.82	20.22	11.74	8.05	1.66	0.83	0.64	1.47	1.73	1.81
AT 2	7.67	4.54	8.61	9.06	7.90	2.04	0.90	0.57	1.64	1.53	0.82	5.77
AT 3	9.40	18.81	11.62	17.54	9.21	4.28	4.71	1.34	5.42	1.67	2.97	10.14
AT 4	16.59	13.76	16.74	15.22	10.58	4.59	2.41	1.71	3.59	2.20	1.37	5.44
AT 5	8.48	5.90	9.67	10.35	4.77	0.90	0.88	0.41	2.13	0.87	0.81	3.06
Total	11.73	13.39	13.89	14.48	8.84	3.97	2.11	0.97	2.68	1.55	1.54	5.24

	Desvío Estándar											
	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
Santo Domingo												
AT 1	23.43	18.39	16.20	12.93	10.27	3.99	1.82	1.07	2.57	3.23	3.03	
AT 2	7.98	9.05	10.41	9.38	4.47	3.40	0.98	5.03	3.24	1.41	6.77	
AT 3	20.55	10.88	11.05	12.29	7.61	6.69	4.80	9.66	2.35	5.80	11.26	
AT 4	15.84	13.21	15.85	14.16	8.69	4.07	3.13	5.65	2.44	2.70	8.68	
AT 5	3.86	7.67	8.76	6.40	1.27	3.43	0.68	7.12	1.48	2.43	2.86	
Total	17.57	13.35	13.33	11.49	7.54	4.65	2.75	6.49	2.49	3.49	7.74	

Fuente: Cálculos propios basados en información de precipitaciones (PNUD-MAATE, 2021).
Elaboración: ECONOMICA CIC

4.4 Datos históricos relacionados con desastres.

La historia reciente nos refiere sobre los desastres provocados por lluvias extremas. Es el caso del fenómeno de El Niño 1982-1983, donde algunos estudios del IRD¹⁸, destacan que durante el desarrollo de este fenómeno se produjeron precipitaciones excepcionales sobre la vertiente occidental de la cordillera de Los Andes, cuyos aumentos significaron entre 50 y 1.000% de la media de los años normales. Estas lluvias correspondieron a períodos de retorno también excepcionales que superaron significativamente los 100 años para los totales anuales registrados, como es el caso de la estación Santo Domingo, donde la precipitación media entre los años 1964 y 1978, era de 3.375 mm., mientras que la precipitación observada en el año 1983 en esta misma estación fue de 5.774 mm. (ver la siguiente tabla)

Tabla 11. Precipitaciones observadas y periodos de retorno de El Niño de 1982-1983.

Estación	Precipitación media 1964 - 1978	Precipitación observada 1983	Período de retorno de 1983 (1983 excluido)	Período de retorno de 1983 (1983 incluido)
Guayaquil	1016	4600	T>5000	500<T>1000 años
Portoviejo	228	2204	T>5001	250<T>500 años
Manta	226	1835	T>5002	100<T>250 años
Salina	126	2833	T>5003	30<T>50 años
Machala	471	3184	1000<T>5000 años	100<T>250 años
Milagro	1255	4419	500<T>1000 años	250<T>500 años
Santo Domingo	3375	5774	250<T>500 años	50<T>100 años
Esmeraldas	723	1569	100<T>250 años	50<T>100 años

Fuente: Nouvelot y Pourrut. 1984.

Elaboración: ECONOMICA CIC 2023.

En el mes de noviembre de 1997, se produjeron precipitaciones generalizadas con intensidades fuertes en la Región Litoral. Los valores máximos se registraron en las zonas de la vertiente occidental de la cordillera de Los Andes. Se registraron fuertes precipitaciones que causaron inundaciones en diferentes ciudades y cuencas en Ecuador. En Santo Domingo se registraron 874,8 mm de lluvia (cuenca alta del río Guayas).

El 23 de noviembre de 1997, se registraron las máximas precipitaciones en un período de 24 horas, superando los valores normales del mes; estas lluvias intensas se reportaron en Santo Domingo, con valores superiores a los 100 mm.

En febrero de 1998, las fuertes precipitaciones se extendieron por toda la Región Litoral, pero con mayor intensidad en el Centro y Sur de la región. La ciudad de Santo Domingo registró la mayor frecuencia de días con precipitaciones, con 27 días.

En marzo de 1998, las fuertes precipitaciones aumentaron en toda la zona de influencia, incluyendo las cuencas de los ríos Esmeraldas, Portoviejo, Guayas, Arenillas y Santa Rosa. Se establecieron récords de lluvia en varios lugares, como La Concordia con 966,5 mm. y Santo Domingo con 904,6 mm..

En cuanto a las conclusiones y los impactos causados por los fenómenos de El Niño, las lluvias continuas y prolongadas fueron la principal causa de inundaciones de gran magnitud. El drenaje de las áreas inundadas, así como el de aquellas afectadas por desbordamientos de ríos, se vio obstaculizado por obras o actividades humanas. Un ejemplo de esto fueron las numerosas carreteras que actuaron como barreras, empeorando la problemática de las inundaciones. El agua estancada en el fondo de las gargantas puede constituirse en un problema para la población de los sectores críticos analizados

¹⁸ IRD es un organismo público de investigación francés.

y actividades económicas, no sólo por el efecto natural que generó sobre las condiciones ambientales, sino porque en muchos casos se mezcló con aguas negras, produciéndose enfermedades que deterioraron su calidad y la convirtieron en medio favorable para el crecimiento de microorganismos patógenos, así como de algas y lechuguines que eutrofizaron el agua.

4.5 Generación de información de la ciudad de Santo Domingo.

Al no contar con información que refleje las características físicas, bióticas y del medio construido, que influyen en la dinámica de potenciales deslizamientos al interior de la ciudad de Santo Domingo y teniendo en cuenta que la ciudad se asienta sobre una superficie de un cono de esparcimiento ubicado en el piedemonte andino y que debido a procesos de erosión fluvial se formaron pequeñas gargantas o encañonamientos en esta superficie y que, asimismo, intensos procesos de erosión, transporte y sedimentación ocurridos en la cuenca del río Toachi, generaron las terrazas fluviales a lo largo de este eje fluvial, se escogieron 6 variables que inciden en la potencial ocurrencia de deslizamientos, estos son: pendiente de laderas, suelos, desnivel relativo, litología, cobertura vegetal y edificaciones del medio construido.

A continuación, se presenta el proceso de elaboración de los mapas: geomorfológico, uso del suelo urbano e hidrográfico, que incluyen las variables expuestas.

4.5.1 Información geomorfológica, suelos y litología, escala 1:5.000

Es importante resaltar que el estudio de las formas del relieve al interior de la ciudad y su entorno, permite conocer de forma espacializada elementos físicos del territorio que no han sido incluidos dentro de la planificación urbana y que al ser excluidos de la ordenación del espacio y ocupados por la población para la construcción de viviendas, infraestructura de servicios básicos y sociales, calles, sin tomar en cuenta las funciones hidrológicas de los ríos y quebradas, ni los servicios ambientales que brinda la cobertura vegetal, será a futuro, la causa de problemas ligados con inundaciones y deslizamientos. En este caso, nos referimos a la desaparición de algunos tramos de gargantas o encañonamientos por donde décadas atrás las aguas fluviales discurrían sin obstáculos y evacuando las aguas hacia las partes bajas de las microcuencas de ríos Daule y Vinces.

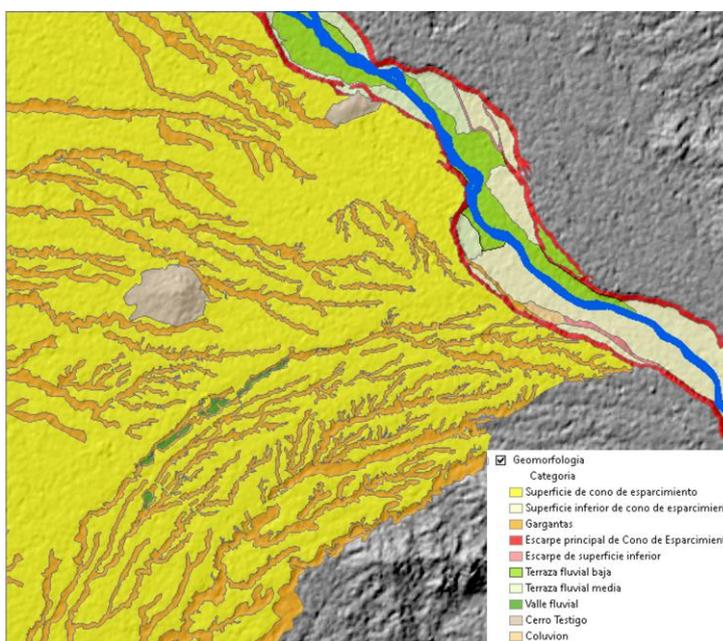
Es esta misma línea, es preciso anotar que el rápido crecimiento de la ciudad y con ello, la construcción de viviendas, calles y avenidas, está impermeabilizando los suelos de origen volcánico y con ello, disminuyendo notablemente la infiltración de las aguas pluviales, modificando por un lado, la dinámica de las aguas subterráneas y el nivel freático y, por otro lado, aumentando la escorrentía y velocidad de las aguas de lluvia hacia los drenajes que se encuentran al interior de las gargantas, que, bajo un escenario de taponamiento de las alcantarillas (ductos), pueden ocurrir inundaciones y la formación de embalses. Otro fenómeno que puede ocurrir es el deslizamiento de los suelos que se encuentran en las laderas de las gargantas, esto, debido a la saturación de los suelos que, como ya se indicó son de origen volcánico, de textura limosa, con una alta saturación de agua.

En el contexto de lo señalado, la información geomorfológica permite conocer las formas del relieve, suelos, litología y depósitos superficiales, que existen al interior de la ciudad de Santo Domingo. Las actividades que se cumplieron para su elaboración fueron las siguientes.

- Análisis y revisión de los modelos digitales del terreno, con una resolución de 5m y 1m; este producto fue proporcionado por municipio de Santo Domingo.
- Elaboración de la leyenda de las formas del relieve; se generó con base a la génesis de estas, como: fluvial, denudativo y poligénico.

- Generación de la cartografía de pendientes de las laderas; utilizando un sistema de información geográfica se logró obtener diferentes rangos de inclinación de las laderas, en grados. Es una de las variables más importantes al momento de analizar la susceptibilidad a deslizamientos e inundaciones.
- Desnivel relativo de las formas del relieve; corresponde a la altura que existe entre un determinado drenaje y la parte más alta del relieve, se mide en metros.
- Las características de los suelos; la textura, humedad y profundidad, fue obtenida del estudio de aptitudes constructivas de la ciudad de Santo Domingo, generado por el Instituto Espacial Ecuatoriano (2018). Esta información será utilizada en las áreas donde no exista cobertura construida, especialmente a lo largo de las gargantas o encañonamientos.
- Tipo de roca (litología); la información del material parental o sustrato rocoso que forma parte de los cerros testigo y del cono de esparcimiento, también fue obtenida en el Instituto Espacial Ecuatoriano (2018).
- Red hidrográfica y delimitación de las unidades hidrográficas; esta información fue obtenida mediante un proceso generado en un sistema de información geográfica y como resultado se tiene, la red hidrográfica, el límite de las unidades hidrográficas, superficies, entre otras variables. En este caso, los drenajes cuyas aguas fluyen hacia los ríos Vinces y Daule, justamente nacen en el área de influencia de la ciudad de Santo Domingo.

Figura 11. Mapa Geomorfológico.



Fuente: MDT 2020 Municipio de Santo Domingo; ECONOMICA CIC
Elaboración: ECONOMICA CIC

En la figura anterior, se observa el mapa geomorfológico de la ciudad de Santo Domingo y sectores aledaños. Casi la totalidad de la ciudad está asentada sobre una superficie de cono de esparcimiento, entre alturas absolutas que van desde los 427.9 a 646.1 msnm; y pendientes entre 0 y 2° y entre 2 y 5°. Justamente, las viviendas, edificios, espacios verdes, servicios básicos y sociales, han sido edificados en esta superficie aprovechando la topografía plana a ondulada que presenta.

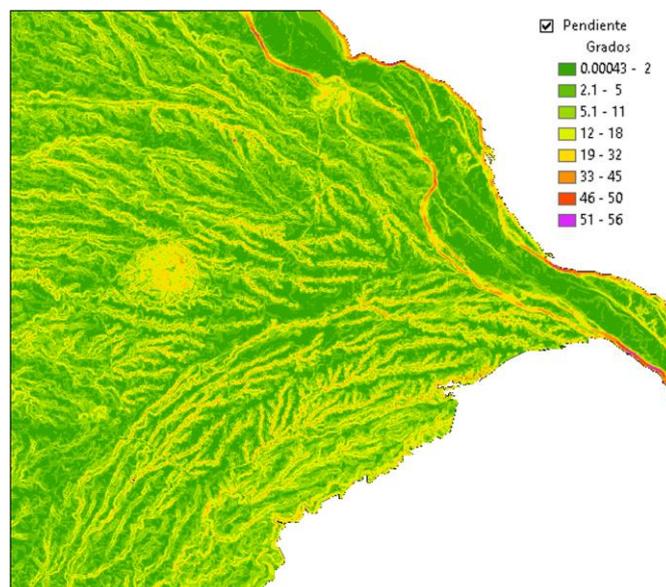
En cambio, procesos fluviales que se han desarrollado sobre la superficie antes expuesta, han formado incisiones o relieves negativos identificados como gargantas o encañonamientos, que debido a las fuertes pendientes que presentan sus laderas, no son aptas para la construcción de viviendas, ni como botaderos de basura, ya que estas actividades influyen notablemente en el flujo de las aguas fluviales. Las pendientes y por otra parte, la eliminación de la vegetación arbórea o arbustiva, también va a incidir en la perturbación de los sistemas ecológicos.

Al interior de la ciudad existen dos morfo estructuras aisladas identificadas como cerros testigos y que sobresalen en medio de las edificaciones; su núcleo está compuesto por material volcánicos de edad Cretácica, pero que también están siendo parte del desarrollo urbano. Un mal aprovechamiento de estos relieves convergirá hacia la generación de deslizamientos, deslaves y aluviones.

Al norte de la ciudad y a lo largo del área de influencia del río Toachi, existen relieves de origen fluvial, como son las terrazas que son el producto de procesos fluviales de erosión y colmatación, que han dado como resultado superficies planas separadas por abruptos o escarpes y dispuestas a lo largo del río. La superficie más cercana al eje fluvial se denomina terraza fluvial baja y es la más susceptible a inundaciones por desbordamiento (como ya ocurrió en el año 1998, con la presencia del fenómeno de El Niño) y, la superficie más alta, corresponde a la terraza fluvial media, menos susceptible a inundaciones por desbordamiento. Es importante anotar que existen edificaciones construidas en estas terrazas.

Las terrazas fluviales descritas, se encuentran enmarcadas entre dos verdaderas paredes con pendientes casi de 90 grados, que son el producto de la erosión fluvial del río Toachi, de hace miles de años atrás y que necesariamente hay que correlacionar con períodos glaciales e interglaciares, sin dejar de lado las erupciones de los volcanes andinos. Estas paredes forman parte del gran cono de esparcimiento de Santo Domingo. La conservación de la cobertura vegetal que actualmente existe en estos relieves está protegiendo de potenciales deslizamientos y caídas de rocas o suelos. Las vías que conectan la ciudad de Santo Domingo con las viviendas e infraestructura que se hallan en las terrazas fluviales, justamente han sido construidas en estos relieves escarpados.

Figura 12. Mapa de pendiente



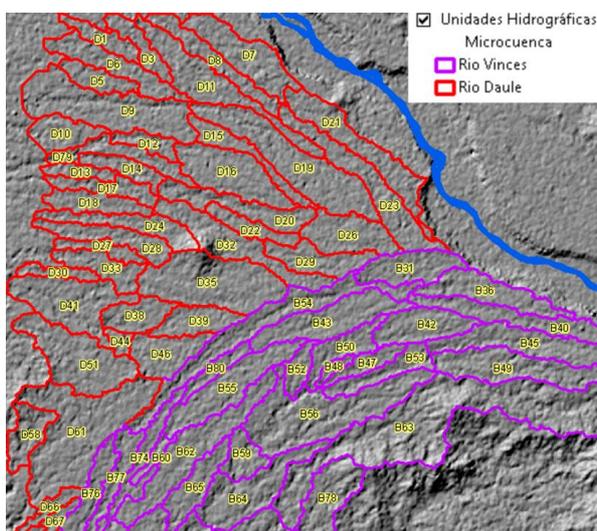
Fuente: MDT 2020 Municipio de Santo Domingo; ECONOMICA CIC
Elaboración: ECONOMICA CIC

El mapa de pendientes, representa la inclinación de las laderas de relieves colinados o montañosos, con respecto a un plano horizontal imaginario; el análisis de esta variable morfométrica permite determinar y correlacionar con las unidades morfológicas, como se aprecia en la figura anterior, donde las unidades con colores verdes representan topografías planas (superficies de cono, terrazas fluviales), mientras que, unidades con colores anaranjados y rojos, laderas de gargantas, cerros testigos o escarpes de cono de esparcimiento.

En relación con la cobertura de suelos, litología y depósitos superficiales, si bien los suelos en gran parte de la ciudad se encuentran tapizados con pavimento y hormigón, en las gargantas todavía están expuestos, presentando una textura franca, con alta retención de agua, susceptibles a deslizamientos, principalmente cuando se hallan desprotegidos de una cobertura arbórea o arbustiva.

En el caso de la litología, rocas volcánicas meteorizadas y fracturadas se encuentran en los dos cerros testigos que hay en la ciudad. De igual forma, depósitos fluviales que son el producto del acarreo y sedimentación de arenas y cantos rodados de orden decimétrico a métrico, se localizan en las terrazas fluviales del río Toachi.

Figura 13. Mapa de unidades hidrográficas.



Fuente: MDT 2020 Municipio de Santo Domingo PDOT2020; ECONOMICA CIC
Elaboración: ECONOMICA CIC

En la figura anterior podemos observar las unidades hidrográficas que cuenta con un código único para el análisis que se realizara posteriormente como parte de esta consultoría. Existen ríos y esteros importante dentro de la ciudad como el Pove y el Cade, los drenajes cuyas aguas fluyen hacia los ríos Vinces y Daule, justamente nacen en el área de influencia de la ciudad de Santo Domingo.

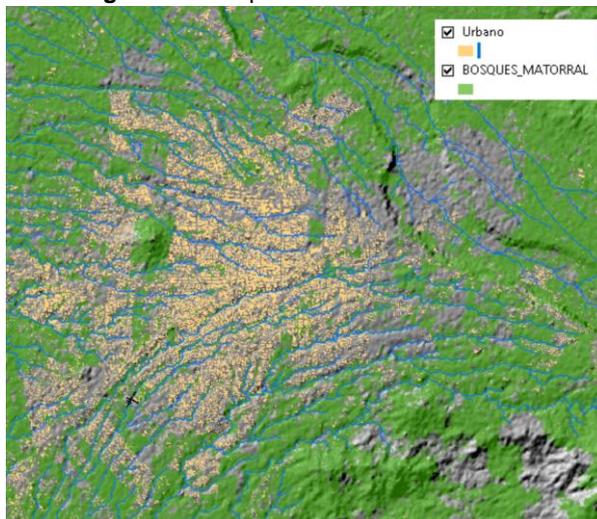
4.6 Información de la cobertura urbana escala 1:5.000.

Esta información fue obtenida a través de un análisis e interpretación supervisada de una imagen satelital del año 2020, obtenida a partir de la información de los servicios web mundiales de ArcGIS.

Dentro del estudio de la susceptibilidad a deslizamientos, la fisonomía de la cobertura vegetal representa un papel muy importante debido a que las raíces de la cobertura arbórea mantienen a los suelos adheridos toda vez que actúan como anclas y por otra parte y de forma general donde existe cobertura vegetal, ésta, permite una mayor infiltración de agua pluvial, minimizando así la susceptibilidad a inundaciones por anegamiento.

Las unidades identificadas y cartografiadas; están relacionadas con la cobertura construida (viviendas, calles, avenidas, infraestructura, otros), áreas con vegetación herbácea, arbustiva y arbórea.

Figura 14. Mapa de la cobertura urbana.



Fuente: Imágenes Satelital 2020, Municipio de Santo Domingo; ECONOMICA CIC 2023.
Elaboración: ECONOMICA CIC

4.7 Información de población y vivienda en condiciones precarias, con foco en el grupo sectorial del PAN.

De acuerdo con el análisis de jerarquización y validación realizada en estudios anteriores con el Grupo Sectorial de Trabajo - GST (PNUD-MAATE, 2021a), las *Viviendas en situación de precariedad* fueron catalogadas como el Sistema Sectorial priorizado para el Sector de Asentamientos Humanos (SSP-AH). Estas viviendas están representadas en base al cumplimiento de al menos una de las siguientes condiciones: i) acceso inadecuado a agua segura; ii) acceso inadecuado a saneamiento; iii) calidad estructural de la vivienda; y iv) hacinamiento.

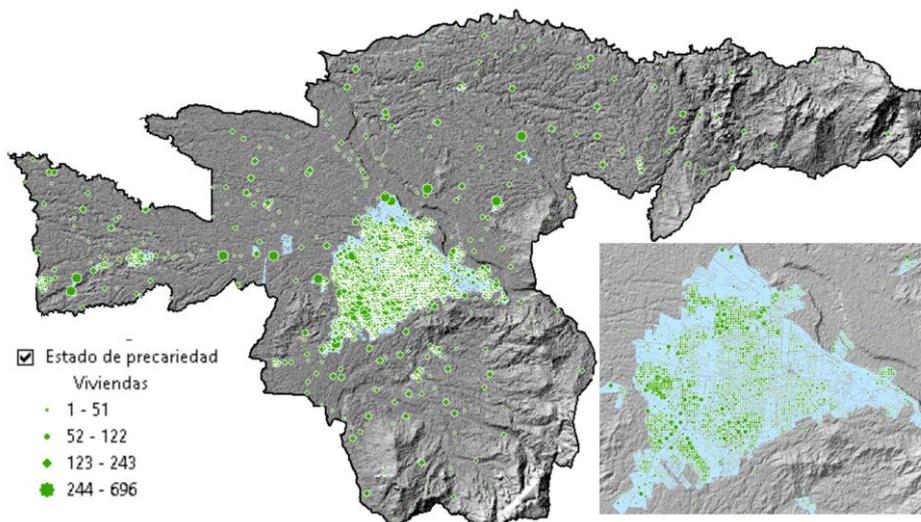
Con el propósito de identificar estas viviendas, se utiliza el Censo de Población y Vivienda del año 2010 a nivel de manzana en el sector amanzanado y a nivel de centro poblado en el sector disperso. Con esta información, es posible estimar la geolocalización de estas unidades territoriales para posteriormente incluirlas en los vectores espaciales de resultados mediante una operación punto a polígono.

Por lo cual, el resultado de los modelos de inundaciones y deslizamientos, incluyen la cantidad de viviendas y población potencialmente afectada, y caracterizada según su condición de precariedad. Asimismo, utilizando la localización de la infraestructura educativa, de salud y de inclusión social, se incluye también la cantidad de establecimientos que pudieran encontrarse en áreas de alto peligro a deslizamientos o inundaciones.

Es importante indicar que, los análisis de las viviendas en estado de precariedad se realizaron en toda la parroquia de Santo Domingo, para el análisis de las amenazas por deslizamientos profundizando el análisis y aun mayor detalle al interior de la ciudad de Santo Domingo e acuerdo a la información del Modelo Digital del Terreno (13 sectores críticos). En el caso de la amenaza por inundaciones por desbordamientos, el análisis de las viviendas en estado de precariedad se realizará a lo largo del río Toachi.

Existe bibliografía de pérdidas de vidas y destrucción de viviendas en Santo Domingo por creciente del río Toachi. Existe también un desconocimiento sobre la relación entre precipitaciones asociadas al Niño y las escorrentías en la ciudad de Santo Domingo que permita precisar las amenazas asociadas y prever un manejo adecuado de las obras existentes o el nivel de requerimientos que éstas tendrían, para mitigar la generación de amenazas secundarias, alcantarillas antiguas que no soportan los volúmenes de aguas importantes en relación con lluvias extremas o peor aún Fenómenos del Niño.

Figura 15. Mapa de distribución de viviendas en estado de precariedad de Santo Domingo.



Fuente: Censo de Población y vivienda 2010. ECONOMICA CIC 2023.

Elaboración: ECONOMICA CIC

De acuerdo con el plan de desarrollo y ordenamiento territorial del cantón de Santo Domingo, la población del cantón de acuerdo al Censo de Población y Vivienda del 2010, INEC2020. Es de 379.378 personas; pero la proyección de la población utilizada en el PDOT al 2020, es de 458.580 habitantes. Por otro lado, el número de viviendas para el 2020 fue de 114.000; mientras la proyección para el 2020 es de 137.800 viviendas.

En el caso de las parroquias urbanas, en la siguiente tabla se puede observar los valores de habitantes y superficie de cada parroquia. En esta tabla podemos resaltar que la parroquia urbana de mayor cantidad de población es Bombolí con 92.255 habitantes.

Tabla 12. Cantidad de habitantes y superficies de las parroquias urbanas de Santo Domingo.

PARROQUIAS	Población		Superficie	
	Habitantes	%	Ha.	%
URBANAS	344.408	75,10	7.919,75	2,29
Abraham Calazacón	79.573	17,35	1.384,86	0,40
Bombolí	92.255	20,12	1.723,04	0,50
Chiguilpe	50.84	11,09	1.307,76	0,38
Río Toachi	8.795	1,92	982,18	0,28
Río Verde	85.768	18,70	2.072,87	0,60
Zaracay	12.482	2,72	335,29	0,10
Santo Domingo	14.695	3,20	113,74	0,03

Fuente: Censo de Población y vivienda 2010. PDOT 2020.

Elaboración: ECONOMICA CIC

Por otro lado, en el PDOT, la cobertura de servicios básicos de agua potable del cantón presenta al año 2010, un porcentaje de 49%; mientras que las proyecciones al año del 2020 son de 84%. Siendo esta cobertura una de las más importantes en relación con el sector priorizado, en relación con las viviendas en estado de precariedad.

Tabla 13. Cobertura de servicios básicos.

Servicios Básicos	2010	2017	2020
Agua Potable	49%	74%	84%
Alcantarillado	61%	67%	65%
Disposición de sólidos	81%	97%	97%
Electricidad	95%	98.7%	99%

Fuente: Censo de Población y vivienda 2010. ECONOMICA CIC 2023. PDOT 2020.

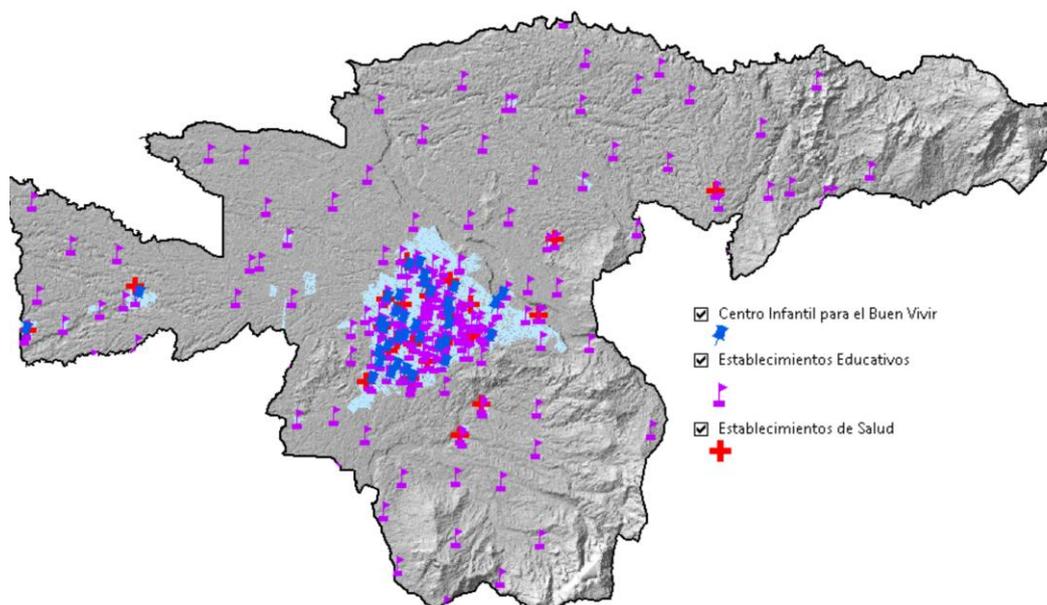
Elaboración: ECONOMICA CIC

4.10 Información de la Infraestructura social y local.

En relación con la infraestructura social de la parroquia de Santo Domingo, se cuenta con 35 Centros infantiles para el buen vivir de responsabilidad del Ministerio de Inclusión Económica y Social; 194 Establecimientos educativos del Ministerio de Educación y 23 Centros de establecimientos de salud de responsabilidad del Ministerio de Salud Pública; todos esta se dispone en toda la parroquia. En el producto 2, se realizará el análisis de las posibles afectaciones en relación con las amenazas de inundaciones y deslizamientos.

Por otro lado, se requiere la entrega de manera formal los otros datos e información para analizar las amenazas y exposición de la infraestructura que podría ser afectada. Esta infraestructura podría ser Puentes, centros comerciales, unidades de policía comunitaria, entre otras.

Figura 16. Mapa de distribución de infraestructura social y local de Santo Domingo.



Fuente: Ministerio de educación 2015, Ministerio de Inclusión Económica y Social 2019, Ministerio de Salud 2020.

Elaboración: ECONOMICA CIC

5. Ciudad de Alluriquín.

5.1 Contexto geográfico

A diferencia de la ciudad de Santo Domingo, la dinámica social y económica que se desarrolla en la ciudad de Alluriquín, depende en gran medida del manejo de los recursos suelo y vegetación que se produce en la parte media y alta de la micro cuenca torrencial del río Damas, así, mientras más degradados se encuentren los recursos, mayores serán los riesgos para la población, viviendas e infraestructura que existe en la ciudad, más aún, si se presentan lluvias extremas relacionadas con el fenómeno El Niño. En el caso del poblado de Alluriquín, que es atravesado por el Panamericana de importancia nacional (Quito – Santo Domingo -Guayaquil), las actividades comerciales al interior de este centro poblado se han desarrollado a uno y otro lado de este eje vial.

Bajo esta perspectiva, una parte del estudio se centrará en el conocimiento de los factores que pueden ocasionar movimientos en masa (deslizamientos) y que bajo la ocurrencia de fuertes precipitaciones estos materiales pueden ser removidos hacia la salida del río Damas en forma de corrientes lodosas cargadas con gran cantidad de bloques, cantos rodados y palizada, que afectarían al medio construido localizado en la confluencia de los ríos Damas y Toachi.

En este sentido, la citada microcuenca forma parte de los flancos exteriores de la cordillera occidental, donde las formas del relieve son predominantemente montañosas, heterogéneas, con pendientes moderadas a escarpadas, cubiertas con suelos francos con intercalaciones de lápilli y cenizas poco meteorizadas y una retención de agua menor al 100 %¹⁹

Los relieves indicados han sido desarrollados sobre rocas volcanoclásticas de grano grueso y lavas de la Formación Macuchi de edad Cretácica. Pequeños cuerpos de cauarzo-diorita han sido intruidos²⁰ dentro de la Formación Macuchi. Estos intrusivos se encuentran en la parte alta de la microcuenca torrencial del río Damas²¹.

Un análisis de los datos satelitales (Gogle Earth, 2019), permite evidenciar que un alto porcentaje de la superficie de la microcuenca está cubierta con pastos plantados, localizados en su mayor parte sobre laderas de relieves montañosos, notándose una sobre utilización del recurso suelo, esto, por los signos de erosión hídrica, la presencia del fenómeno pie de vaca²² y los procesos de tipo gravitacional que han generado deslizamientos rotacionales y de suelos. Dentro de este mosaico de parcelas de diverso tamaño de pastos, quedan pequeñas manchas o relictos de bosque intervenido, muchos ubicados de forma dispersa, solo en la parte alta de la microcuenca se notan unidades de cobertura natural más representativas. Pequeñas áreas con carácter de insignificantes están cubiertas por cultivos de ciclo corto y plantas de cítricos.

¹⁹ Mapa morfo – pedológico de Santo Domingo, elaborado por Pronareg - Orstom, escala 200.000, año 1983.

²⁰ Intruidos. En geología, una intrusión es un cuerpo de roca ígnea que ha cristalizado a partir de magma fundido bajo la superficie terrestre. Los cuerpos de magma que se solidifican antes de que emerjan a la superficie se llaman plutones. Las rocas de este tipo son también conocidas como rocas plutónicas o rocas intrusivas, en contraste con las rocas extrusivas. La roca en la que intruyen las masas ígneas se denomina roca encajante.

²¹ Mapa geológico de Machachi, escala 1:100.000, elaborado por la Dirección de Geología y Minas, año 1978.

²² Pie de vaca. - Son terracetas que siguen aproximadamente las líneas imaginarias de las curvas de nivel, ocasionadas en este caso por el pisoteo y sobre pisoteo del ganado vacuno.

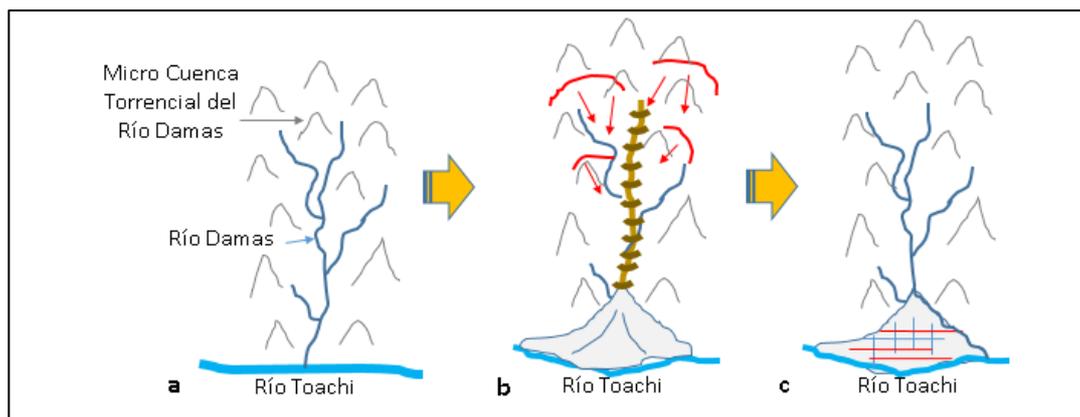
5.2 Forma del relieve donde se asienta Alluriquín y su relación con un torrente.

La observación de imágenes satelitales y la interpretación de fotografías aéreas, permitió determinar una forma cónica o de un abanico justo donde se encuentra la ciudad de Alluriquín. Asimismo, el río Damas en su recorrido de sur a norte, antes de llegar a la ciudad de Alluriquín, hace un quiebre de casi 90 grados hacia oeste hasta la confluencia con el río Toachi.

Estos datos permiten aseverar que el origen del relieve donde se asienta la ciudad es el resultado de la formación de un torrente, producto de la generación de grandes movimientos en masa en la parte alta de la micro cuenca del río Damas (cuenca de recepción), el transporte de este material lodoso, con rocas y palizada por el cauce del mismo río (canal de desagüe) y la formación del cono de deyección sobre un área plana (terrazza del río Toachi), debido a la disminución de la velocidad del torrente.

Lo planteado permite formular la siguiente hipótesis “La forma del relieve donde se asienta la ciudad de Alluriquín es un cono de deyección, asociado con un torrente”. El proceso morfogenético que explicaría esta hipótesis comienza indicando que el río Damas, al ser un río de montaña, torrentoso, discurría directamente hasta llegar a unirse con el río Toachi, como se observa en la siguiente figura (a); posteriormente y debido a la ocurrencia de lluvias extremas que precipitaron sobre materiales volcánicos, meteorizados, fracturados y suelos también de origen volcánico, localizados en laderas de relieves montañosos, dieron lugar al desarrollo de grandes movimientos en masa, cuyos materiales descendieron por el río Damas (b), para luego depositarse en la confluencia con el río Toachi, formando un cono de deyección (c). Debe resaltarse que este proceso morfogenético, con toda seguridad ocurrió cuando existía una buena cobertura arbórea. La pregunta que ameritaría formular es *¿Qué ocurriría en la micro cuenca torrencial del río Damas, donde la deforestación ha sido agresiva, cambiando el uso del suelo a pastizales y bajo un escenario de lluvias extremas? ¿La construcción de un muro de contención de hormigón, en el quiebre que hace el río Damas en el límite con la ciudad de Alluriquín, será suficiente para contener una avenida torrencial?*

Figura 17. Fases de la formación del cono de deyección de Alluriquín; vista de sur a norte.



Fuente: ECONOMICA CIC 2023 (Equipo consultor)

Elaboración: ECONOMICA CIC 2023

5.3 Revisión de literatura de línea base local y metodologías aplicables para riesgo climático y adaptación Descripción geográfica

A continuación, se sistematiza los documentos nacionales e internacionales analizados en relación con el sector priorizado (asentamientos humanos); estudios realizados en relación con el cambio climático y la gestión de riesgos en Alluriquín; así como los instrumentos de planificación vigentes y las metodologías utilizadas en relación con el riesgo climático estudiado en la misma ciudad.

Literatura, documentos, estudios, otros.	Revisión bibliográfica.
<p>Sistema Sectorial priorizado para el Sector de Asentamientos Humanos (SSP-AH). (PNUD-MAATE, 2021),</p>	<p>En referencia a las amenazas climáticas y factores exacerbantes no climáticos, se identificaron los siguientes factores/elementos que influyen en la afectación al SSP-AH -viviendas en precariedad: Zonas Susceptibles a Movimientos en Masa, Zonas Susceptibles a Inundaciones.</p> <p>De acuerdo al mismo informe, el tamaño de la población como factor para categorizar las ciudades fue considerado en base a varias metodologías propuestas por instituciones nacionales e internacionales. En síntesis, se propuso como segmento de ciudades intermedias, para el SSP-AH, los municipios/cantones, con poblaciones entre 100.000 a 250.000 habitantes, donde se agrupa alrededor de 18% de la población total del Ecuador.</p>
<p>Análisis de riesgo climático para el sector Asentamientos Humanos, mediante la aplicación de modelos de impactos biofísicos.</p> <p>Producto 2: Reporte de calibración y de las corridas iniciales de los modelos de impactos biofísicos.</p>	<p>Las viviendas en situación de precariedad constituyen el Sistema Sectorial Priorizado para el Sector de Asentamientos Humanos para el Análisis de Riesgo Climático de este sector.</p> <p>Operativamente, este tipo de viviendas están representadas en base al cumplimiento de al menos una de las siguientes condiciones: i) acceso inadecuado a agua segura; ii) acceso inadecuado a saneamiento; iii) calidad estructural de la vivienda; y iv) hacinamiento.</p> <p>Con el propósito de caracterizar el bienestar de las ciudades desde un punto de vista multidimensional, en donde se incluye no solamente a la proporción de población que reside en viviendas en condiciones de precariedad, se plantea usar un método que logre sintetizar esta y otras dimensiones relacionadas a los parámetros ambientales y sociodemográficos del territorio.</p>
<p>Actualización del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial al 2032, territorio incluyente, sostenible, prospero.</p>	<p>En el capítulo d. Diagnostico Territorial, se menciona que en “En todos los componentes analizados se levantan estadísticas que visibilizan la situación cantonal. Se destacan varios aspectos relevantes, relacionados con la vulnerabilidad de la población frente a las amenazas registradas en el territorio.</p> <p>En situación de riesgo por inundaciones, se encuentran poblaciones como Valle Hermoso, Alluriquín, Brasilia del Toachi, Julio Moreno y San Gabriel del Baba; y amenazados con posibles movimientos de masa, Alluriquín y las poblaciones ubicadas en la zona montañosa del cantón Santo Domingo.”</p>
<p>Actualización del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial al 2032, territorio incluyente, sostenible, prospero.</p>	<p>En la sección de riesgos de desastres y riesgos climáticos, en el plan de desarrollo menciona “En las áreas urbanas de algunas parroquias rurales como Alluriquín y del valle del Río Toachi y Valle Hermoso las condiciones son más complicadas. En el caso Alluriquín las condiciones se acrecientan, en el área urbana por la ubicación de viviendas y actividades urbanas en las márgenes del río Damas; y en las áreas rurales en las subcuencas medias y altas de la parroquia, por usos agrícolas inadecuados y deforestación. Se suma, la implantación del área urbana al pie de la montaña que, ante el volumen y velocidad del flujo hídrico en momentos de alta precipitación, ha dado lugar a escenarios de desastre.” En este párrafo existe una nota al pie que considera: “Recordemos que las áreas mayormente deforestadas en el cantón se encuentran en la parroquia Alluriquín y la de Santo Domingo con un 44% y 28% respectivamente. En el caso de Alluriquín, esta deforestación se da en áreas que tienen vocación de conservación y protección, generando doble impacto: ambiental y de aumento a la vulnerabilidad de los asentamientos humanos en Alluriquín.”</p>

Literatura, documentos, estudios, otros.	Revisión bibliográfica.
<p>Actualización del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial al 2032, territorio incluyente, sostenible, prospero.</p>	<p>En la sección de los Riesgos de Desastres: Las Amenazas y las Vulnerabilidades en el Cantón. Desastres por Avalanchas, Inundaciones y Deslizamientos, se menciona que las amenazas naturales y antrópicas en Alluriquín, “Los deslizamientos, y la susceptibilidad a fenómenos de remoción en masa se presentan en varias partes del cantón. Este fenómeno se da de manera sinérgica con las inundaciones y avalanchas. En el caso de Santo Domingo, en el periodo del 2008 al 2016 según Desinventar, se registraron alrededor de 79 eventos en todo el cantón, siendo la parroquia Alluriquín la de mayor significación (30% del total de los eventos) y Santa María del Toachi 13% y la parroquia urbana de Santo Domingo con el 11%. El restante porcentaje se expresan en otras parroquias urbanas y rurales del cantón.” Es importante mencionar que la Secretaria de Gestión de Riesgos, “con fecha 25 de marzo del 2015 declara Zona de “alto riesgo” por multi amenazas, un polígono de 185 Km2 que va desde el sector de la Palma hasta las cercanías de la Villa Aidita (incluye los recintos de la Unión del Toachi y El Paraíso, ubicados en los Km 78 de la vía Alóag-Santo Domingo, respectivamente). Esta resolución (vigente a la fecha) prioriza medidas urgentes de reducción de riesgos, reubicación y la prohibición explícita de asentamientos humanos en esta zona.”</p>
<p>Actualización del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial al 2032, territorio incluyente, sostenible, prospero.</p>	<p>En el análisis de los problemas y potencialidades del plan de desarrollo, en el caso de Alluriquín, se menciona “En las áreas urbanas de la parroquia Alluriquín y del valle del Río Toachi y Valle Hermoso las condiciones son más complicadas. En el caso Alluriquín las condiciones se acrecientan, en el área urbana por la ubicación de viviendas y actividades urbanas en las márgenes del río Damas; y en las áreas rurales en las subcuencas medias y altas de la parroquia, por usos agrícolas inadecuados y deforestación. Se suma, la implantación del área urbana al pie de la montaña que ante el volumen y velocidad del flujo hídrico que presenta en momentos de alta precipitación, ha dado lugar a escenarios de desastre. Sin embargo; como fortaleza podemos mencionar que, esta parte del territorio cuenta con un instrumento de declaratoria de área de Riesgo por el Servicio Nacional de Gestión de Riesgo y Emergencias, SNGRE- organismo rector nacional; lo que facilitaría su gestión a partir de la formulación de un Plan permanente de Gestión de Riesgo siempre y cuando se replanteen las condiciones normativas para los asentamientos y el desarrollo sostenible de la zona.”</p>
<p>Actualización del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial al 2032, territorio incluyente, sostenible, prospero.</p>	<p>En el capítulo de áreas de riesgo de desastres con aumento del riesgo climático, se menciona como otros puntos críticos de este tipo, las que se encuentran en el poblado de Alluriquín y del valle del Rio Toachi y Valle hermoso. En el caso de Alluriquín, se menciona que “..las condiciones se acrecientan, en el área urbana por la ubicación de viviendas y actividades urbanas en las márgenes del río Damas; y en las áreas rurales en las subcuencas medias y altas de la parroquia, por usos agrícolas inadecuados y deforestación. Se suma, la implantación del área urbana al pie de la montaña que ante el volumen y velocidad del flujo hídrico que presenta en momentos de alta precipitación, ha dado lugar a escenarios de desastre”</p> <p>Finalmente, como parte del plan, en la sección de Programa de Gestión Integrada del Riesgo, se plantea un subprograma de gestión de riesgos de desastres, como el estudios y ejecución del plan de mitigación, remediación y reasentamientos de la población ubicada en zonas de riesgo no mitigable en la parroquia de Alluriquín.</p>
<p>Plan de Uso y Gestión del Suelo 2032 de Santo Domingo y sus parroquias urbanas.</p>	<p>En el capítulo del modelo actual urbano, existe una clasificación propuesta por el quipo consultor del plan, donde se menciona las vulnerabilidades externas, está la definen de la siguiente manera: “Esta zona se localiza en el costado oriental de la ciudad.</p>

Literatura, documentos, estudios, otros.	Revisión bibliográfica.
	Está definida por el área de influencia de los sectores de alta vulnerabilidad geomorfológica ubicados en el sector de Alluriquín.”
Plan de Uso y Gestión del Suelo 2032 de Santo Domingo y sus parroquias urbanas.	En la sección de riesgos de Origen Natural y Antrópico, se caracteriza el poblado como un “territorio en constante situación de riesgo frente a deslizamientos, sobre todo, en temporada de lluvias (diciembre a mayo) debido a las condiciones biofísicas naturales de su relieve. Adicionalmente, la deforestación, el uso inadecuado del suelo con cultivos en terrenos con pendientes muy fuertes aumentas la susceptibilidad de la zona a deslizamientos. Los desbordamientos de ríos han sido poco frecuentes, sin embargo, esto no disminuye la vulnerabilidad en que la cabecera parroquial y otros poblados cercanos poseen. Son necesarios planes de contingencia y mitigación de riesgos para evitar una catástrofe, no solamente en estos centros poblados sino en la infraestructura vial, el oleoducto transecuatoriano y equipamientos.”
Plan de Uso y Gestión del Suelo 2032 de Santo Domingo y sus parroquias urbanas.	En el apartado de propuesta del plan, se define como áreas de riesgos bajo planificación de la SGR y el Gad municipal, para ello, una propuesta concreta está relacionada con la definición y elaboración de un plan específico para la gestión de riesgos en la parroquia Alluriquín. La propuesta concreta es “que prioriza medidas urgentes de reducción de riesgos, reubicación y la prohibición explícita de asentamientos humanos en esta zona, también corresponden a todas las áreas identificadas por el GAD Municipal, como lo son todos los asentamientos de Valle Hermoso que están afectados especialmente por el río Blanco y río Toachi, que ameritan la formulación de instrumentos específicos como Planes de Gestión de Riesgos.”
Plan de Uso y Gestión del Suelo 2032 de Santo Domingo y sus parroquias urbanas.	En la sección del modelo territorial deseado en Alluriquín, se plantea una propuesta de expansión urbana, para ello, se propone como acciones a implementar el Desarrollo del Plan Parcial para la reubicación del poblado, que incluye los planes de vivienda para el Nuevo Alluriquín. Así mismo, en el plan se plantean acciones como el analizar la opción de renovar los equipamientos del actual territorio, pues al estar en una zona de riesgo será conveniente construir unos nuevos en el caso de que el poblado se reubique con la misma población en la zona especificada como expansión urbana. Se propone integrar ambos lados, el poblado actual y el nuevo, para facilitar la comunicación entre los equipamientos y la población. Esta integración se lo puede realizar a través de intervenciones viales de bajo costo como la señalización de calzada, cruces seguros y mejoras geométricas; y estarán ubicadas en cruces estratégicos como frente a la escuela, al mercado, cercano a la iglesia y la zona del puente sobre el río Damas.
Resolución Nro. SNGRE-006-2018, la SNGRE, el 17 de octubre de 2018, zona de riesgo debido a múltiples deslizamientos y desbordamientos del Río Damas y del Río Toachi.	la SNGRE modifica la alerta de naranja a amarilla, el riesgo sigue presente en la zona, afectando a cualquier tipo de inversión pública o privada que se planifique realizar en el sector. Pero el plan de uso propone una zonificación SUAGR (Suspensión de Usos Urbanos, Área de Gestión de Riesgos), lo que implica que no será posible construir más edificaciones, pero sí son permitidos los usos comerciales. Se debe implementar medidas que fomenten la reubicación de los habitantes a las zonas de expansión señaladas como seguras para desarrollar un nuevo asentamiento.
Informe técnico de la SGR, análisis de las inundaciones por desbordamiento de los ríos Toachi y damas para los	El objetivo general del informe es Identificar el área de inundación por desbordamiento de los ríos Toachi y Damas a través de un análisis hidrológico e hidráulico.

Literatura, documentos, estudios, otros.	Revisión bibliográfica.
<p>poblados ribereños en los sectores Alluriquín y Pizotanti, cantón Santo Domingo de los colorados, provincia Santo Domingo de los Tsáchilas; INFORME N°. SGR-IASR-08-0073.</p>	<p>Entre los resultados, “De las modelaciones hidrodinámicas se obtuvieron los siguientes resultados, las cotas máximas de inundación alcanzadas por el agua para lluvias y caudales con períodos de retorno de 100 años son de 840 msnm para el poblado Alluriquín y 700 msnm para el sector de Pizotanti. Esto permite a las autoridades locales hacer las regulaciones pertinentes para impedir las construcciones por debajo de las mencionadas cotas inundables en los sitios mencionados. Las velocidades máximas alcanzadas por el agua para lluvias y caudales con períodos de retorno de 100 años son de 7.6 m/s para el poblado Alluriquín y 8 m/s para el sector de Pizotanti, las cuales son velocidades muy erosivas para los taludes fluviales.”</p> <p>Entre las conclusiones más importantes del informe tenemos: “En caso de continuar las lluvias en la zona, así como la secuencia y presencia de los temblores, continuarán ocurriendo deslizamientos en cascada, con la consecuente obstrucción, elevación de los niveles del agua y posibles inundaciones-aluviones en la cuenca media y baja del río Toachi y sus afluentes.” Y “según informe técnico del 07 de mayo de 2016 emitido por la SGR, el volumen del deslizamiento potencial de material hacia el río Toachi, en el recinto la Florida será de 105.000 m³, lo cual podría producir represamiento del río, rotura del dique natural e inundaciones en los poblados ubicados aguas abajo del mismo.”</p>

5.4 Desastres ocurridos en los últimos años.

A continuación, se transcribe en unos casos y en otros se sintetizan las noticias que tienen que ver con desastres ocurridos en los últimos años y que afectaron el normal desarrollo de las actividades sociales y económicas en la ciudad de Alluriquín y que en muchos casos son recurrentes y que reflejan la exposición y vulnerabilidad frente a potenciales fenómenos climáticos extremos.

El 10 de febrero de 2021 a las 14:44 de la tarde, se produjo un aluvión afectó a 13 familias y 5 viviendas en Alluriquín de Santo Domingo. En respuesta al desastre provocado por el desbordamiento del río en la parroquia de Alluriquín, ubicada en Santo Domingo de los Tsáchilas, los organismos de socorro se encuentran trabajando arduamente en la zona afectada para remover los escombros acumulados. Los habitantes de Alluriquín despertaron en medio de un desastre, con calles invadidas por rocas, árboles y escombros debido a las intensas lluvias registradas durante la noche y madrugada en esta zona rural. El aluvión y las inundaciones interrumpieron la tranquilidad de la localidad en la noche del martes 9 de febrero de 2021. El barrio San Miguel es el más afectado, situado en una loma donde solía descender una pequeña cascada que nunca había alcanzado las dimensiones actuales. Un torrente proveniente de esa quebrada arrastró corrales con animales, zonas de acceso y paredes de viviendas. Según el informe emitido por el ECU-911, todo comenzó con el desbordamiento de un estero que tiene su origen en el sector Selva Alegre y se conecta con el río Damas. La oscuridad de la noche del martes 9 de febrero de 2021 dificultaba evaluar la magnitud de los daños, pero con la llegada del amanecer se observaron arbustos gigantes que se desprendieron de raíz. Algunos de ellos actuaron como barreras de contención para evitar un mayor impacto en otras propiedades. Una vivienda ubicada en la parte baja de la cuesta resultó parcialmente destruida, con las paredes frontales arrasadas por el deslizamiento de tierra. Todas las pertenencias de la familia quedaron sepultadas bajo una gran masa de lodo. Según el Servicio Nacional de Gestión de Riesgos, durante febrero de 2021, un total de 5 inmuebles resultaron afectados y 13 personas tuvieron que ser evacuadas.

El 27 de abril del 2016 a las 00h07 (noche), se produjo el desbordamiento del río Damas en la parroquia Alluriquín, ubicada en Santo Domingo, resultó en pérdidas humanas y materiales

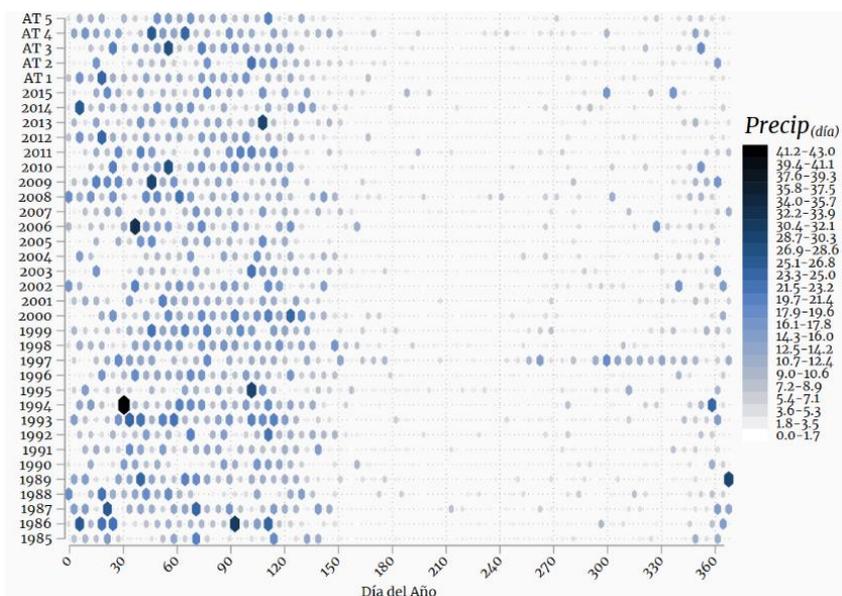
significativas. Según el reporte, cuatro personas perdieron la vida, cuatro se encuentran desaparecidas y aproximadamente 300 individuos quedaron damnificados como consecuencia del represamiento del afluente debido a las intensas lluvias ocurridas durante la noche del lunes y la madrugada de ayer. El evento generó graves impactos en la cuenca hidrográfica, causando daños considerables en la zona afectada. Además de las pérdidas humanas, se registraron daños materiales considerables a lo largo de la parroquia Alluriquín y sus alrededores. Los deslizamientos de tierra y el desbordamiento del río Damas en 2016 causaron pérdidas humanas y graves daños materiales. Debido a su ubicación, Alluriquín ha sido clasificada como una zona de riesgo, con una categoría inicial en color rojo que luego se redujo a naranja y posteriormente a amarilla. Estas circunstancias ponen de manifiesto los desafíos que enfrenta la parroquia y sus habitantes frente a los eventos climáticos adversos en la vía Alóag-Santo Domingo.

El 11 de febrero de 2021 (noticia de prensa), se produjo fuerte lluvias en la parroquia de Alluriquín. Una vez más, la parroquia rural de Alluriquín en Santo Domingo se enfrenta a los estragos del invierno, generando incertidumbre y preocupación en la ciudadanía. Según un boletín de prensa emitido por el Gobierno Parroquial, Alluriquín se encuentra en ALERTA y el Comité de Operaciones de Emergencia (Copae) ha sido activado desde la noche del 9 de febrero. El boletín informa que las intensas lluvias han causado un gran impacto en la localidad. Durante la noche del nueve de febrero, la quebrada del Barrio San Miguel ocasionó daños materiales y de infraestructura, afectando a 7 familias de las 18 que residen en la zona. Asimismo, el Sistema de Alerta Temprana (SAT) se activó la noche del 10 de febrero debido a la creciente del Río Damas. Actualmente, se están registrando daños en diferentes sectores, incluyendo colapso de puentes, deslizamientos de tierra, accidentes, recintos incomunicados, daños materiales y destrucción de espacios públicos, tal como se detalla en el boletín.

5.5 Analisis de datos climaticos

En la siguiente figura se puede observar la estacionalidad de las precipitaciones a lo largo del período histórico 1985-2015 y de los años tipo. Las precipitaciones, en la ciudad de Alluriquín, tienen una distribución unimodal concentrándose desde enero hasta abril, seguido por un período de siete meses secos y con un ligero incremento de lluvias a finales del mes de diciembre. De igual manera en el año 1997 y 1998, la precipitación es permanente en todo el primer año y se mantiene al siguiente, siendo una situación anómala referida al fenómeno de El Niño.

Figura 18. Precipitación diaria (mm.) del período 1985-2015 y Año tipo de Vines Alluriquín.



Fuente: Cálculos propios basados en escenarios de precipitaciones PNUD-MAATE, 2021.

Elaboración: ECONOMICA CIC

Según se puede apreciar en la siguiente tabla, la precipitación media diaria promedio durante el período histórico entre enero, febrero, marzo y abril es de 11.16 mm. de 2.8 mm con una máxima de 65.2 mm ocurrida en el año 2002. Mientras que para los años tipo AT1 y AT4 superan ligeramente el promedio diario histórico, los años AT2 y AT5 son ligeramente menores. La precipitación máxima se registra en el AT1 con 59.1mm y el AT4 es el que representan los años más lluviosos en comparación a los otros años tipos.

Tabla 14. Precipitación media por día (mm.) de los años tipo de Alluriquín.

	Media por día											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Alluriquín												
AT 1	15.08	10.29	11.38	11.44	5.56	3.20	0.95	0.65	0.44	2.11	3.34	2.26
AT 2	6.09	8.13	6.66	13.11	7.05	4.09	0.91	0.49	1.44	3.15	2.03	5.53
AT 3	8.44	14.99	12.95	12.95	4.77	2.04	1.83	0.72	1.67	1.86	3.02	6.38
AT 4	13.27	12.42	13.98	10.82	8.28	2.86	2.26	3.62	3.30	4.31	1.28	6.13
AT 5	8.29	11.43	12.14	9.52	6.15	1.11	1.08	0.23	2.34	0.70	2.83	5.10
Total	10.23	11.45	11.42	11.57	6.36	2.66	1.41	1.14	1.84	2.42	2.50	5.08

	Desvío Estándar											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Alluriquín												
AT 1	13.16	7.60	9.34	11.44	6.21	6.02	1.40	1.48	1.14	4.82	3.95	2.90
AT 2	10.41	5.85	10.71	12.21	4.45	5.40	1.94	0.92	2.56	5.51	2.64	8.87
AT 3	8.93	14.55	10.08	10.34	6.12	4.29	2.47	1.30	2.53	3.47	6.51	11.87
AT 4	10.40	10.19	11.83	6.99	9.45	4.46	3.18	6.24	4.36	6.59	2.67	9.77
AT 5	9.05	10.78	9.22	9.49	6.25	2.16	2.17	0.73	3.35	1.06	6.04	4.68
Total	10.90	10.32	10.46	10.21	6.72	4.71	2.34	3.19	3.09	4.79	4.66	8.33

Fuente: Cálculos propios basados en escenarios de precipitaciones PNUD-MAATE, 2021.

Elaboración: ECONOMICA CIC

5.6 Generación de información de la ciudad de Alluriquín.

La información tendrá dos niveles espaciales, uno a nivel de la microcuenca torrencial del río Damas y otro a nivel de ciudad, esto, debido a la influencia directa de la dinámica natural y antrópica de la micro cuenca sobre la ciudad. Así, las actividades que se cumplieron para su elaboración fueron las siguientes.

- Obtención de un Modelo Digital del Terreno, con una resolución de 12,5 del satélite Alos Palsar japonés²³ y de fotografías aéreas escala 1:60.000 en el Instituto Geográfico Militar.
- Recopilación de información geomorfológica y suelos generada por el Sigtierras – MAG; como parte del proyecto de “Generación de geoinformación para la gestión del territorio a nivel nacional escala 1:25.000”.
- Recopilación de mapas geológicos escala 1:100.000; correspondientes a las cartas de Quito, Machachi, las Delicias de la Ex dirección General de Geología y Minería del Ministerio de Recursos Naturales no renovables.
- Generación de la cartografía geomorfológica, escala 1:10.000, que incluye la obtención de las pendientes de las laderas y desnivel relativo.
- Generación de la cartografía de litología y depósitos superficiales, escala 1:10.000.
- Generación de información del inventario de antiguos deslizamientos, escala 1:10.000, que geomorfológicamente corresponden a coluviones y coluvio fluviales.
- Generación de información relacionada con las características de los suelos en lo que tiene que ver con su textura, humedad y profundidad.
- Generación de información del uso del suelo y cobertura natural, escala 1: 10.000.
- Estructuración y sistematización de la información de viviendas en estado de precariedad de la parroquia Alluriquín. Así como las infraestructura social y local del poblado.

5.6.1 Cobertura de geomorfología de Alluriquín.

Al interior de la microcuenca dominan los relieves colinados altos, muy altos y montañosos, heterogéneos y con pendientes moderadas a escarpadas, lo que les hace muy sensibles frente a la degradación de los recursos agua, vegetación, suelos y ecosistemas naturales. En esta línea, una severa deforestación acompañada de una sobre utilización de los suelos está provocando el apareamiento de rasgos erosivos, deslizamientos y deslaves, cuyos materiales descienden por el río Damas hasta su confluencia en el Toachi.

Una evidencia de la fragilidad de esta microcuenca, lo constituyen los desprendimientos de materiales en laderas escarpadas que han dado lugar a la formación de coluviones, que constituyen masas incoherentes de suelos y fragmentos de rocas, depositados al pie de las vertientes y, coluvio fluviales, que corresponden a depósitos coluviales transportados por corrientes fluviales y depositados a lo largo de los drenajes. En los dos casos, el principal detonante está ligado con lluvias prolongadas más que

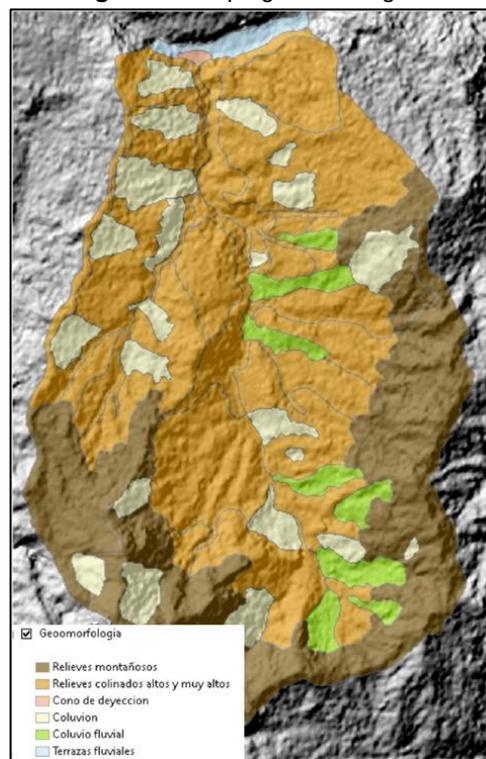
²³ MDT Generado por la Agencia Japonesa del Espacio, denominada Alos Palsar de 12,5 x12,5 metros de resolución que cubre todo el país.

intensas. Tanto los coluviones como los coluvio fluviales se encuentran distribuidos en toda la microcuenca.

Como ya se ha indicado, cerca de la confluencia de los ríos Damas y Toachi, los procesos que forman parte de un torrente, han dado lugar a la formación de un cono de deyección y es donde se asienta la ciudad de Alluriquín.

Asimismo, procesos que tienen que ver con la dinámica fluvial del río Toachi (erosión, transporte y sedimentación) y, más específicamente en la cuenca baja del indicado río, procesos de erosión y colmatación, han formado terrazas fluviales que se hallan a uno y otro lado del eje fluvial. Sobre una de estas terrazas también está una parte de la ciudad de Alluriquín. Ver siguiente figura.

Figura 19. Mapa geomorfológico.



Fuente: Fotografías aéreas, IGM, 2000; Alos Palsar MDT 2020 Municipio de Santo Domingo; ECONOMICA CIC (Equipo consultor)

Elaboración: ECONOMICA CIC

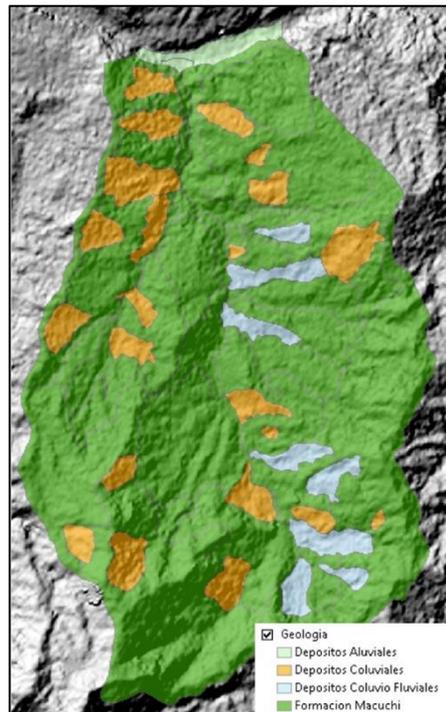
5.6.2 Litología y depósitos superficiales

El sustrato rocoso del área de influencia de la microcuenca está constituido por rocas volcanoclásticas de grano grueso y lavas de la Formación Macuchi de edad Cretácica. Pequeños cuerpos de cuarzo-diorita han sido instruidos dentro de esta formación y que, según el mapa geológico de Machachi, escala 1:100.000, elaborado por la Dirección de Geología y Minas (1978), se localizan en la parte alta de la microcuenca.

Estas rocas al estar expuestas a un clima húmedo y muy húmedo, producto de las lluvias orográficas²⁴, han sido sometidas a una intensa meteorización, que es punto de partida de la dinámica fluvial y un elemento importante al momento de conocer la susceptibilidad de las rocas a remociones en masa. Asimismo, las crecidas del río Damas tiene que ver en mucho con estas lluvias orográficas y el transporte de materiales finos, decimétricos y métricos como son los bloques y cantos rodados, cuya evidencia se observa en el cauce del citado río.

En cuanto a los depósitos superficiales, los de tipo aluvial se encuentran a lo largo del río Toachi, mientras que los depósitos coluviales y coluvio fluviales se encuentran distribuidos en toda la microcuenca, como se aprecia en la siguiente figura.

Figura 20. Mapa litológico y depósitos superficiales



Fuente: Fotografías aéreas, IGM, 2000; Alos Palsar MDT 2020 Municipio de Santo Domingo; ECONOMICA CIC (Equipo consultor)

Elaboración: ECONOMICA CIC 2023.

Como un producto de la interpretación de fotografías aéreas, se presenta la siguiente tabla, donde se puede observar la relación que existe entre las formas del relieve, pendiente, litología, depósitos superficiales, cronología e influencia humana.

Tabla 15. Relieve, litología, depósitos superficiales, influencia antrópica en la microcuenca.

Unidad	Génesis	Relieve	Pendiente	Depós. Sup/Litología	Cronología	Influencia humana
1	Formas denudativas	Coluvión	11 a 18 ° y 18 a 32 °	Material caótico, bloques angulosos en matriz de grano fino	Holoceno	Dominancia de pastizales sobre vegetación arbustiva y arbórea
2		Coluvio-fluvial	11 a 18 °	Bloques sub redondeados, en matriz de grano fino		

²⁴ Concepto de Lluvia orográfica. <https://www.meteorologiaenred.com/lluvia-orografica.html> - Concepto: La lluvia orográfica se produce cuando el aire húmedo que viene desde el mar pasa por una montaña con pendiente ascendente. El aire viene encargado de vapor de agua y se topa con una masa de aire frío en altitud. Es aquí cuando descarga toda la lluvia y luego desciende de la montaña con una temperatura mayor de la que ha ascendido.

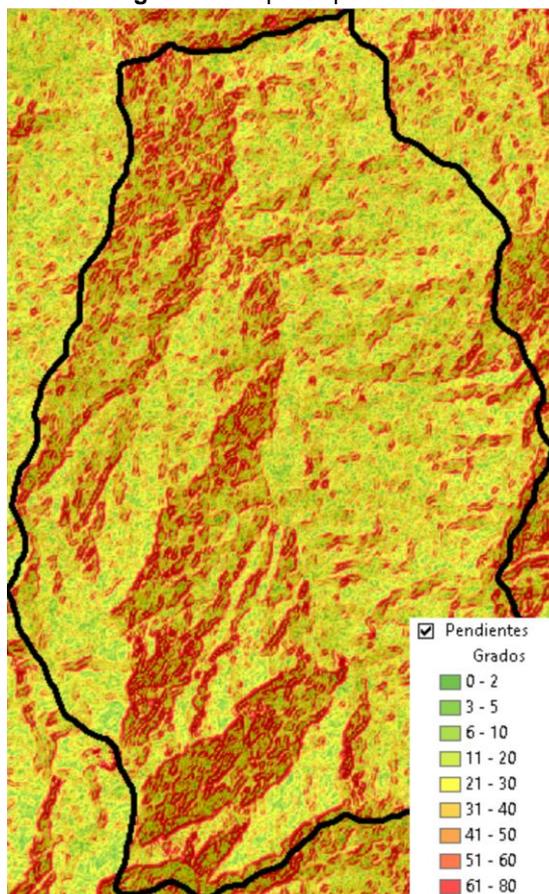
Unidad	Génesis	Relieve	Pendiente	Depós. Sup/Litología	Cronología	Influencia humana
3	Formas fluviales	Cono de deyección	2 a 5 °	Bloques, cantos rodados, guijarros, sedimentos finos		Asentamiento Alluriquín, panamericana, puente, oleoducto
4		Terrazas fluviales	0 a 2 °	Cantos rodados, gravas, guijarros y arenas		Asentamiento Alluriquín, panamericana, oleoducto
5	Formas poligénicas	Relieves colinados altos y muy altos	32 a 45 °	Lavas andesíticas a andesitas basálticas, brechas, pilow lavas, sedimentos finos (Formación Macuchi)	Cretácico	Intensa deforestación, pastizales, sobreutilización
6		Relieves montañosos	45 a 68 °			Deforestación localizada, pastizales, sobreutilización

Fuente: Interpretación de fotografías aéreas (IGM, 2000); Hojas geológicas de Santo Domingo y Quito, escala 1:100.000 (DGGM, 1984)

Elaboración: ECONOMICA CIC, 2023.

En el caso de la cobertura de pendientes, el análisis gráfico de esta variable permite determinar que al interior de la microcuenca la inclinación de las laderas de las colinas y montañas, en su mayor parte varían entre 20 y 30 grados hasta el rango que va desde los 70 a 80 grados, corroborando lo expuesto en el estudio geomorfológico y de la litología y depósitos superficiales. Ver la siguiente figura.

Figura 21. Mapa de pendientes.



Fuente: Alos Palsar MDT 2020; ECONOMICA CIC (Equipo consultor)

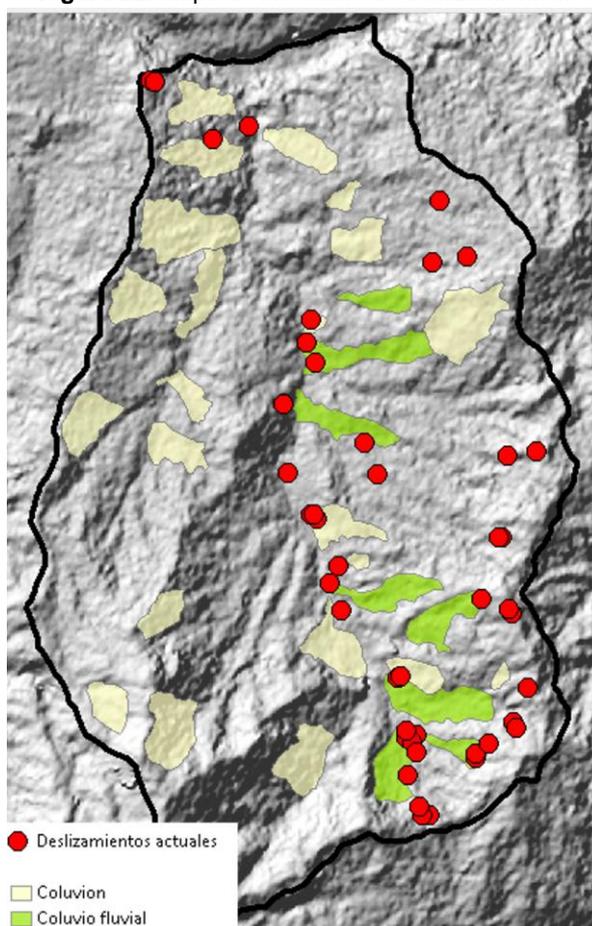
Elaboración: ECONOMICA CIC 2023.

Por otro lado, con la utilización de las imágenes satelitales de acceso libre e interpretación de fotografía aérea IGM2000, se obtuvieron los siguientes resultados:

- Inventario de antiguos deslizamientos.
- Conocer de forma espacial los sitios donde han ocurrido movimientos en masa, los cuales están representados por coluviones y coluvio fluviales.
- Conocer la relación que existe entre el relieve, pendientes y sustrato rocoso.
- Efectuar un control de calidad de la cartografía de susceptibilidad a deslizamientos, tomando en cuenta que, bajo las mismas condiciones morfoclimáticas, litológicas, pendientes y cobertura vegetal, existe la certidumbre de puedan volver a repetirse remociones en masa.

La información que se presenta en el mapa de la figura siguiente, es el resultado de los trabajos de interpretación de fotografías aéreas y están representados por polígonos con su leyenda. En esta misma figura, también están los deslizamientos considerados como recientes, extraídos de las imágenes satelitales contenidas en el Google Earth y los sistemas de información geográfica, los mismos que han sido cartografiados con un símbolo, como se indica en la misma leyenda.

Figura 22. Mapa de inventario de deslizamientos.



Fuente: Alos Palsar MDT 2020; ECONOMICA CIC (Equipo consultor)

Elaboración: ECONOMICA CIC 2023.

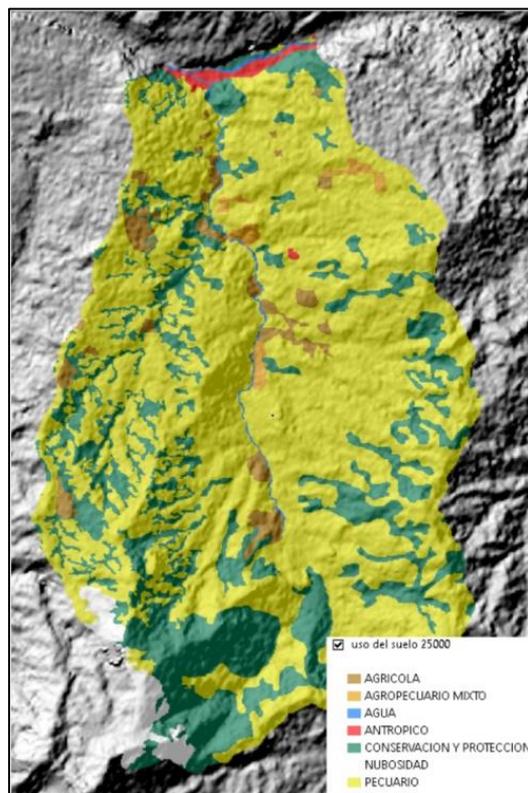
Finalmente, en relación con la cobertura de suelos utilizados para este análisis, se recolectó la información del Ex Instituto Espacial Ecuatoriano (Ahora fusionado con el IGM), donde se puede obtener la información de la cobertura de suelo a nivel nacional²⁵.

5.6.3 Mapa del uso del suelo y cobertura vegetal natural.

Esta cartografía ha sido obtenida de los estudios efectuados por el proyecto generación de geoinformación para la gestión del territorio a nivel nacional (MAG Sig tierras – IEE – Senplades); para el año 2015 y representa la distribución del uso del suelo y de la cobertura vegetal natural. Así, casi un 90 % de la superficie de la microcuenca está cubierta con pastos plantados, dispuestos, como ya se ha mencionado, sobre relieves colinados y montañosos con fuertes pendientes, lo cual significa que se está produciendo una sobre utilización del recurso suelo y con ello, el apareamiento de pastos degradados, el fenómeno de pie de vaca, rasgos de erosión hídrica y, aumentando la susceptibilidad a deslizamientos y deslaves.

La intensa y agresiva deforestación está provocando un cambio en el uso del suelo de bosques a pastos; la notable desaparición de las áreas boscosas, de las cuales apenas existen unos pocos remanentes o bosquetes aislados está alterando las funciones hidrológicas del río Damas y sus afluentes. Asimismo, existen pequeñas áreas dedicadas al uso agrícola y agropecuario mixto, distribuidas principalmente en la parte central y norte de la microcuenca. Ver siguiente figura.

Figura 23. Mapa de uso del suelo y cobertura vegetal natural.



Fuente: MAG Sigtieras 2015; ECONOMICA CIC (Equipo consultor)
Elaboración: ECONOMICA CIC 2023.

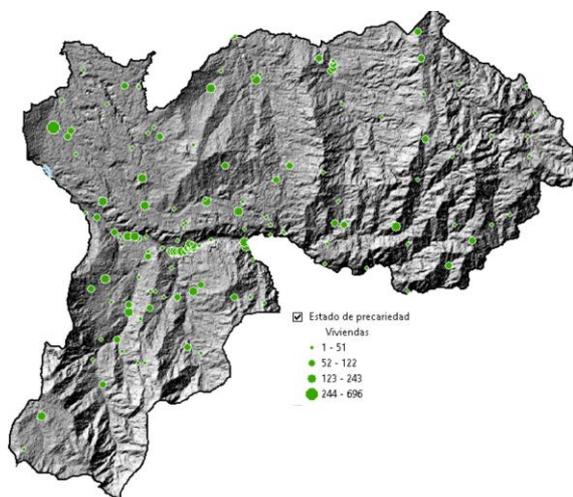
²⁵ Aptitud Física del Territorio. Proyecto Generación de Información GEO - ESPACIAL escala 1:5000 para la determinación de la Aptitud Física del Territorio y Desarrollo Urbano mediante el uso de Geotecnologías. <https://www.geoportaligm.gob.ec/geoinformacion/index-alt7.html>

5.7 Información de población y vivienda en condiciones precarias, con foco en el grupo sectorial del PAN.

La población en la parroquia de Alluriquín de acuerdo al Censo de Población y vivienda del 2010 es de 12.118 habitantes, esto corresponde a 2,64%o de la población del cantón; en el caso de la superficie de 67.773 ha con un 19,61% en relación cona el cantón.

En el caso de las viviendas a nivel de la parroquia corresponde a 675 viviendas. El número de viviendas con agua potable es de 388, 230 viviendas con saneamiento ambiental, 14 viviendas con materiales deficiente; por lo que. Las viviendas en estado de precariedad son de 497, correspondiente a más del 60% de las viviendas.

Figura 24. Mapa de distribución de las viviendas en estado de precariedad.



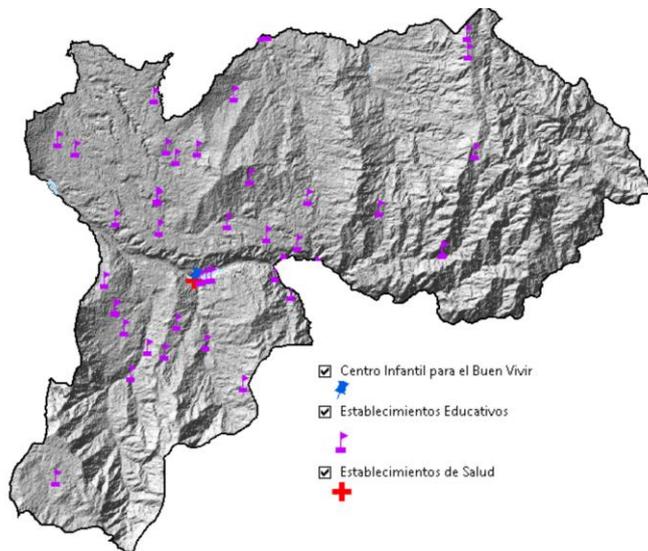
Fuente: CPV 2010, INEC; ECONOMICA CIC (Equipo consultor)
Elaboración: ECONOMICA CIC 2023.

5.8 Información de la Infraestructura social y local.

En relación con la infraestructura social de la parroquia de Alluriquín, se cuenta con 1 Centros infantiles para el buen vivir de responsabilidad del Ministerio de Inclusión Económica y Social; 39 Establecimientos educativos del Ministerio de Educación y 1 Centros de establecimientos de salud de responsabilidad del Ministerio de Salud Pública; todos esta se dispone en toda la parroquia. En el producto 2, se realizará el análisis de las posibles afectaciones en relación con las amenazas de inundaciones y deslizamientos.

Por otro lado, se requiere la entrega de manera formal los otros datos e información para analizar las amenazas y exposición de la infraestructura que podría ser afectada. Esta infraestructura podría ser puentes, centros comerciales, unidades de policía comunitaria, entre otras.

Figura 25. Mapa de distribución de la infraestructura social y local.



Fuente: CPV 2010, INEC; ECONOMICA CIC (Equipo consultor)
Elaboración: ECONOMICA CIC 2023.

5.9 Alluriquín y su relación con las formas del relieve

La parte urbana de esta ciudad está distribuida en tres tipos de relieve, cada uno de ellos con su propia génesis, topografía y dinámica. Así, la mayor concentración de la población y sus actividades económicas, están sobre un cono de deyección, que, como ya se ha indicado es el resultado del desarrollo de un torrente. Otra parte de la ciudad, más hacia el este, está asentada sobre una terraza fluvial del río Toachi, caracterizada por presentar una topografía plana, susceptible a inundaciones por desbordamiento y a la recepción de materiales que pueden desprenderse de las vertientes escarpadas localizadas hacia el sur.

Al sur de la terraza fluvial y al pie de las vertientes escarpadas, existen dos unidades identificadas como coluviones y donde también se ha asentado una parte de la población y sus viviendas.

Por último, al sur del río Damas, en el tramo donde atraviesa la ciudad, existe otro coluvión, donde, un análisis multitemporal permite evidenciar una ampliación de la frontera urbana hacia estos lugares muy susceptibles a la recepción de suelos y bloques de rocas, que podrían descender de las vertientes escarpadas que también existen en este sector, como ya ocurrió el 15 de junio de 2017, como ilustra la siguiente figura.

Figura 26. Imagen de Alluriquín (deslizamiento)



Fuente: Noticias Santo Domingo. <https://www.ciudadcolorada.com/2017/05/15/la-parroquia-alluriquin-existen-dos-opciones-reubicacion/>

En la siguiente figura, en cambio, se visualizan las formas del relieve de la ciudad de Alluriquín. En las imágenes se puede observar la distribución del río Damas y su descarga con el río Toachi. La parte más antigua de la ciudad está ubicada sobre el cono de deyección más antiguo, las partes más nuevas de la ciudad están asentadas sobre lo coluviones más recientes. Es importante considerar que la parte sur de la ciudad tiene una vertiente escarpada bastante considerable.

Figura 27. Ciudad de Alluriquín y sus formas de relieve.



Fuente: Imagen satelital 2020.

Nota: Simbología: Cd: Cono de deyección; Cv: Coluvión; Tf: Terraza fluvial; Ve: Vertientes escarpadas

5.10 Amenazas relacionadas con fenómenos climáticos extremos

Las condiciones litológicas, de relieve, topográficas, suelos, uso del suelo y climáticas hacen que la Microcuenca Torrencial del Río Damas (MCTRD) sea susceptible a procesos de geodinámica externa. Esto se evidencia en una fotointerpretación geomorfológica realizada para este proyecto, donde se observan registros (huellas) de fenómenos como deslizamientos que han dado lugar a la formación de coluviones y coluvios fluviales, así como avenidas y crecidas torrenciales que han contribuido a la formación de un cono de deyección donde se encuentra la ciudad de Alluriquín, y también inundaciones que han formado terrazas fluviales a lo largo del río Toachi.

En el año 2016, se produjeron fuertes lluvias y un notable incremento en el caudal del río Damas, arrastrando una gran cantidad de sólidos, incluyendo bloques y cantos rodados de dimensiones métricas. Esto provocó el desbordamiento del río y causó severos impactos en la infraestructura, viviendas y población.

De acuerdo con el Glosario de Términos de la Secretaria de Gestión de Riesgos, Aluvión²⁶ es el Sedimento transportado por los ríos y depositado en deltas y valles fluviales. Las posibles causas son: Desbordamiento de cuerpos de agua (ríos, canales, quebradas); acumulación de agua en el suelo por fuertes lluvias en la zona; actividad humana (cortes de laderas, construcción en pendientes); fuerte pendiente del terreno.

Se identifican deslizamientos de tipo rotacional y de suelos en el área de estudio. Al examinar las fotografías aéreas capturadas por el IGM²⁷ en 2000, se puede determinar y mapear las diferentes formas del relieve que son resultado de deslizamientos antiguos. Estos incluyen coluviones, los cuales se forman en laderas inestables, generalmente escarpadas, y cuyos materiales se acumulan en las zonas más bajas. También se observan depósitos coluvio-fluviales, los cuales se originan a partir de

²⁶ SGR Ecuador. 2019. Aluvión: Sedimento transportado por los ríos y depositado en deltas y valles fluviales.

²⁷ IGM. Instituto Geográfico Militar del Ecuador, entidad responsable de la generación de la cartografía básica y oficial del territorio ecuatoriano.

los sedimentos de coluviones en pequeñas cuencas receptoras, siendo posteriormente arrastrados por las corrientes fluviales y depositados a lo largo del cauce principal.

Considerando la elevada susceptibilidad geológica y geomorfológica de la microcuenca, y en un escenario donde las condiciones climáticas tienden a volverse más severas, existe una alta probabilidad, e incluso muy alta, de que se produzcan deslizamientos de tipo rotacional, deslizamientos superficiales de suelo y deslaves. Estos eventos podrían ser exacerbados debido a la continua deforestación y al uso inadecuado de los recursos del suelo, como se evidencia en las extensas áreas cubiertas con pastizales en laderas escarpadas e inestables.

Alluriquín se encuentra ubicada en una superficie de cono de deyección, justo en la desembocadura del río Damas en el río Toachi. La formación de esta característica del relieve está relacionada con los movimientos en masa que se han desarrollado en la parte alta de la microcuenca, específicamente identificados en este caso.

La cuenca actúa como una zona receptora, donde los materiales desprendidos son transportados a través de un canal de desagüe, en este caso el río Damas, hasta que la velocidad del flujo disminuye y los sedimentos se depositan cerca del río Toachi, formando el cono de deyección. Este cono está compuesto por bloques sub redondeados, cantos rodados, guijarros y sedimentos finos.

Es importante resaltar que, debido a la interacción entre los depósitos del cono de deyección y el río Damas, se ha producido un cambio en el curso del río, conocido como avulsión, desviándose hacia el lado izquierdo aguas abajo hasta llegar al río Toachi.

En base a lo expuesto, se evidencia la alta susceptibilidad de la microcuenca a deslizamientos, así como la explotación excesiva del recurso suelo y la posibilidad de eventos de lluvias extremas. Estos factores, en conjunto, pueden generar grandes volúmenes de material sólido que serían arrastrados por el río Damas y sus afluentes. Como resultado, existe una alta y muy alta probabilidad de que se produzcan avenidas torrenciales²⁸ que podrían afectar directamente a la ciudad de Alluriquín.

Las inundaciones por desbordamiento en la zona están estrechamente relacionadas con los procesos de erosión, transporte y sedimentación del río Toachi. A lo largo de su historia geológica, el río ha dado lugar a la formación de terrazas fluviales como resultado de dichos procesos de erosión y colmatación.

²⁸ Alcaldía de Bogotá. 2023. Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático – IDIGER. Avenidas torrenciales: son un tipo de riesgo que afecta los territorios establecidos en el entorno de una cuenca de alta pendiente. Se generan, principalmente, por precipitaciones que ocasionan crecidas repentinas y aumentos rápidos del nivel de agua. Lluvias frecuentes, altas pendientes, pérdida de cobertura vegetal, represamientos, acumulación de lodos y otros materiales en los cuerpos de agua y sismos, son algunas de las principales causas de este fenómeno.



Ministerio del
Ambiente, Agua y
Transición Ecológica



6 CONCLUSIONES

- El Sexto Informe de Evaluación (AR6) del IPCC en su capítulo 6: Ciudades, Asentamientos e Infraestructura clave (IPCC, 2021^a), identifica a las inundaciones y los movimientos en masa, entre otros, como amenazas claves exacerbadas por los procesos de cambio climático.
- La vulnerabilidad de los asentamientos humanos a las inundaciones surge de eventos hidrometeorológicos que interactúan con el sistema urbano, lo que expone a los asentamientos a inundaciones fluviales, inundaciones repentinas, inundaciones pluviales (impulsadas por precipitaciones) e inundaciones de alcantarillado.
- La vulnerabilidad a inundaciones de las zonas urbanas aumenta por la expansión urbana y el uso del suelo y el cambio de la cobertura del suelo, que amplía las superficies impermeables a través del sellado del suelo, lo que afecta el drenaje de las aguas de inundación con los consiguientes desbordamientos de alcantarillado.
- En el caso de los eventos geomorfológicos (deslizamientos) y los factores asociados con el entorno construido (p. ej., la ubicación de los asentamientos en pendientes pronunciadas y la falta de reglamentación para la construcción), son factores importantes que determinan el riesgo de deslizamientos de tierra urbanos, estos también pueden verse influenciados por una variedad de variables climáticas, a saber, la precipitación (frecuencia, intensidad y duración) y el cambio de temperatura.
- Para el análisis de amenazas por inundación no existen limitaciones mayores. Sólo algunas limitaciones menores en cuanto a disponibilidad de información topográfica de calidad (MDT) para poder correr el modelo hidráulico (Hec-Ras) con garantía. Esta limitación desaconsejaría la selección de las ciudades que por el momento no dispongan de un MDT de, al menos, una resolución de 5 x 5 m.
- La información más limitante para la corrida de los modelos es: La falta de series de caudales de calidad y en lugares óptimos para poder calibrar con fiabilidad los modelos. Así mismo, en relación con la información, para poder optimizar mejor los parámetros hidrológicos y así optimizar algún parámetro hidráulico sería interesante realizar un esfuerzo de centralización de toda la información que se haya generado en torno a estos aspectos (secciones, batimetrías, caudales, estudios, etc.). Esto ayudará a más consistencia a los modelos.
- En el caso de la información requerida para el modelo Hec – Ras, la falta de datos topográficos de precisión tanto de los cauces como de las zonas aledañas a los mismos en las ciudades, especialmente del modelo digital del terreno (1m o 5m), es un limitante. Esta conclusión se realiza luego de la revisión del Geovisor de la Empresa Pública de Agua Potable.

Conclusiones correspondientes a ciudad de Santo Domingo.

- La expansión de la frontera urbana de la ciudad de Santo Domingo en las últimas décadas ha sido muy notoria y paralelamente con esta dinámica la prestación de servicios básicos, sociales y comunitarios, enmarcados en una malla urbana donde prevalece el pavimento. Este crecimiento urbano ha traído consigo problemas de índole hidrológico y ecológico, que pueden ser palpados en superficie y cuyas consecuencias son también visibles, cuando las lluvias exceden los valores normales causando inundaciones en las gargantas y cuando se

incrementan los valores de temperatura debido a la agresiva deforestación que cambia el uso del suelo de bosques a urbano.

- Pero hay otro problema, no visible, y se refiere a la alteración del flujo de las aguas subterráneas, que debido a la impermeabilización de los suelos con pavimento y hormigón, estas no se infiltran y con ello modificando su dinámica, el nivel freático, con la posibilidad de que se produzca el fenómeno de tubificación o erosión interna. Otra consecuencia de la citada impermeabilización, es el aumento de la velocidad y escorrentía de las aguas pluviales, causando también aumentos repentinos de los caudales de los ríos y quebradas, disminuyendo así, los tiempos para salvar vidas y poner a buen recaudo los enseres de las viviendas.
- Datos históricos recogidos de la prensa escrita y de la Secretaría de Gestión de Riesgos, señalan que, en la mayoría de los casos los desastres están asociados con inundaciones al interior de la ciudad, al interior de las gargantas y más específicamente relacionados con las barreras (calles y avenidas), construidas de forma transversal respecto al flujo de las aguas de los ríos y quebradas, donde (en muchos casos), los ductos no soportan el caudal que se incrementa en épocas de lluvias extremas como las que ocurren durante el fenómeno de El Niño.
- La construcción de viviendas, muchas de ellas en estado de precariedad, en las laderas de fuertes pendientes de las gargantas, aumenta la susceptibilidad de potenciales deslizamientos, por el peso que están ejercen sobre la ladera.
- Por otra parte, la expansión urbana no solo se ha desarrollado en la parte consolidada, sobre la superficie del cono de esparcimiento, sino también, en los niveles planos de las terrazas fluviales del río Toachi, donde los procesos de erosión y colmatación, ligados con pasados cambios climáticos, dieron lugar a la formación de una terraza baja, cercana al río y la más susceptible a inundaciones por desbordamiento y una terraza media (más alta), menos susceptible a inundaciones. En este punto vale la pena recordar que durante el desarrollo del fenómeno de El Niño 1997-98, se reportaron pérdidas de vidas y destrucción de viviendas por la crecida del río Toachi.
- Lo expuesto conduce a identificar 13 sitios y sectores considerados como críticos, donde se efectuará el análisis climático a partir de modelos biofísicos de impacto. Así como el análisis de las zonas de amenazas a deslizamientos e inundaciones por desbordamiento en las márgenes del río Toachi.

Conclusiones correspondientes a la ciudad de Alluriquín.

- El desarrollo social, económico y la ordenación de espacios urbanos en esta ciudad, dependen en gran medida de la dinámica de los procesos hidrológicos y geomorfológicos, al interior de la micro cuenca torrencial del río Damas; entre estos procesos, están, la erosión fluvial y lateral que se produce de forma continua a lo largo del río Damas y sus tributarios; los deslizamientos rotacionales y superficiales que ocurren en las laderas con moderadas y fuertes pendientes; y procesos deluviales que tienen que ver con la erosión de los suelos.
- Los indicados procesos han sido activados por una severa deforestación que han eliminado los bosques nativos, para dar paso a la siembra de pastizales en áreas cuya aptitud siempre ha sido forestal o de conservación. Con este cambio de uso de las tierras, tanto los suelos

como los saprolitos han quedado descubiertos y si las raíces cuya función es la de aglutinar las capas superficiales y subsuperficiales, haciéndolos más susceptibles a deslizamientos, deslaves y avenidas torrenciales. Además, las hojas de los árboles al descomponerse forman materia orgánica que forma parte de los suelos, volviéndolos más resistentes a la erosión hídrica.

- De lo indicado se desprende que, las lluvias extremas pueden ser el detonante o mecanismo de disparo para la reactivación de coluviones y coluvio fluviales (productos de antiguos deslizamientos) o la ocurrencia de nuevos movimientos en masa (evidencias han sido observadas en imágenes recientes del Google Earth), que pueden generar grandes volúmenes de materiales que descenderían a grandes velocidades hasta llegar a su única salida, que es el sitio donde se halla la ciudad de Alluriquín, causando severos impactos en la población y sus bienes.
- La construcción de un muro donde el río Damas gira hacia el oeste puede crear una falsa seguridad a la población, esto es, pensar que una obra civil pueda contener grandes volúmenes de material rocoso, lodo y palizada. En esta línea, no se puede dejar de lado, la posibilidad de que, producto de un deslizamiento, se produzca un taponamiento en el río Damas o en uno de sus tributarios, con la consiguiente formación de un embalse, que al reventar el dique natural se genere una avenida torrencial que chocaría directamente con la obra civil. Bajo este escenario, hay que tomar en cuenta que, el cauce del río Damas cerca de Alluriquín ha perdido su capacidad hidráulica por la continua colmatación de sedimentos finos e incluso bloque y cantos rodados con dimensiones decimétricas y métricas.
- Un suceso que ayuda a entender lo señalado, ocurrió en el mes de abril del año 2016, cuando ocurrió el desbordamiento del río Damas, causando pérdidas humanas y materiales significativas; según el reporte, cuatro personas perdieron la vida, cuatro desaparecidas y aproximadamente 300 individuos quedaron damnificados como consecuencia del represamiento del afluente debido a las intensas lluvias.
- En el sector del colegio Alluriquín, margen de al frente, se evidencia un crecimiento de la ciudad, al pie de una ladera muy escarpada, es muy susceptible a la recepción de materiales que pueden desprenderse de la ladera, como ya ocurrió antes de acuerdo con la información geomorfológica.

7 RECOMENDACIONES

- Para la generación de las amenazas a inundaciones por desbordamientos en las terrazas bajas del río Toachi, se utilizará el modelo digital del terreno de resolución de 5 metros. Lastimosamente, en la zona de Alluriquín o en Santa María del Toachi, no existe un mdt de esa resolución, sino de 12 metros. En este sentido, se deberá hacer un esfuerzo en generar nuevos datos para en un proceso corre uno nuevo modelo para ajustar los resultados.
- Es importante contar con la información catastral actualizada para analizar de menor manera los resultados de los impactos en relación con la población y las viviendas en estado de precariedad. Si no está disponible el catastro, sugerimos acceder a la información geográfica temática que fue utilizada en la elaboración del plan de desarrollo y ordenamiento territorial.
- El equipo consultor, realizara la investigación de 13 sitios críticos para analizar en las inundaciones por anegamiento. Pero es importante considerar que existen más puntos y sectores críticos en la zona urbana de Santo Domingo.

Recomendaciones en el caso de la ciudad de Alluriquín.

- Las fotografías aéreas, imágenes satelitales y el modelo digital del terreno del satélite Alos Palsar, han servido para el estudio de la microcuenca torrencial del río Damas, pero, su resolución es insuficiente para el análisis urbano, por lo que, se recomienda la gestión para la toma de fotografías aéreas con alta resolución que permitan obtener ortofotos y modelos digitales del terreno.
- Se recomienda a la población que debe mantenerse atenta a los pronósticos del tiempo, esto debido a que, de acontecer lluvias intensas por varias horas, existirá la posibilidad de que ocurran grandes desprendimientos de materiales en la microcuenca, mismos que discurrirán por el cauce del río Damas, hasta llegar a la confluencia con el río Toachi.

8 BIBLIOGRAFIA

- Boden, M. A. (2018, 08). Index. En Artificial Intelligence: A Very Short Introduction. Oxford University Press. doi: 10.1093/acrade/9780199602919.001.0001
- Brabb, E. E. (1985). Innovative approaches to landslide hazard and risk mapping.
- Castellanos, E., M.F. Lemos, L. Astigarraga, N. Chacón, N. Cuvi, C. Huggel, L. Miranda, M. Moncassim Vale, J.P. Ometto, P.L. Peri, J.C. Postigo, L. Ramajo, L. Roco, and M. Rusticucci, 2022: Central and South America. In: Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, pp. 1689–1816, doi:10.1017/9781009325844.014.
- Cho, Y. (2020). QGIS Hydro Module: 05. Creating SCS Curve Number Grid.
- Crozier, M. J., y Glade, T. (2005). Landslide hazard and risk: Issues, concepts and approach. En Landslide hazard and risk (p. 1-40). John Wiley and Sons, Ltd. Descargado de <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/9780470012659.ch1> doi: <https://doi.org/10.1002/9780470012659.ch1>
- IIGE. (varios años) Mapas geológicos escala 1:100000, de Quito, Machachi, Las Delicias y Santo Domingo.
- Hastie, T., Tibshirani, R., y Friedman, J. (2009). The elements of statistical learning: Data mining, inference, and prediction, second edition. Springer New York. Descargado de <https://books.google.com.ec/books?id=tVlJmNS3Ob8C>
- IPCC, 2018. Anexo I: Glosario [Matthews J.B.R. (ed.)]. En: Calentamiento global de 1,5 °C, Informe especial del IPCC sobre los impactos del calentamiento global de 1,5 °C con respecto a los niveles preindustriales y las trayectorias correspondientes que deberían seguir las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero, en el contexto del reforzamiento de la respuesta mundial a la amenaza del cambio climático, el desarrollo sostenible y los esfuerzos por erradicar la pobreza [Masson-Delmotte V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor y T. Waterfield (eds.)].
- IPCC. (2021). Summary for policymakers. In V. Masson-Delmotte, et al. (Eds.), Climate change 2021: The physical science basis. Contribution of working group I to the sixth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge University Press.
- PNUD-MAATE (2021). Generación de información de clima futuro a nivel nacional para el periodo 2020 –2050 a partir de un análisis de circulación atmosférica y el empleo de modelos climáticos del CMIP6. CMC-INT CONSULTORES MODELACIÓN CIENTÍFICA INTERNACIONAL S.A.
- MAATE. (2023) Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático del Ecuador (2022-2027). Ministerio del Ambiente, Agua, Transición Ecológica (MAATE). Quito. Ecuador.
- Uso de la Tierra y Sistemas Productivos Agropecuarios del Ecuador Continental, escala 1:25.000. Quito, Ecuador: Ministerio de Agricultura y Ganadería - Coordinación General de Información Nacional Agropecuaria.

- NDC. (2019). Primera contribución determinada a nivel nacional para el acuerdo de París bajo la convención marco de Naciones Unidas sobre cambio climático.
- Sharpe, C. (1938). Landslides and related phenomena: A study of mass-movements of soil and rock. Columbia University Press. Descargado de <https://books.google.com.ec/books?id=34U0AAAAMAAJ>
- Paoli, C., y Malinow, G. (2010). Criterios para la determinación de crecidas de diseño en sistemas climáticos cambiantes. Universidad Nacional del Litoral.
- PNUD -MAATE. (2021a). Reporte del sistema sectorial priorizado (susceptible de ser afectado por cambio climático). generación de insumos técnicos clave para la realización de análisis de riesgo climático en el sector asentamientos humanos. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. Ministerio de Ambiente, Agua y Transición Ecológica. Pág. 40-51.
- PNUD -MAATE. (2021b). Reporte final. consultoría de generación de insumos técnicos clave para la realización de análisis de riesgo climático en el sector asentamientos humanos. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. Ministerio de Ambiente, Agua y Transición ecológica.
- Wang, H., Zhang, L., Yin, K., Luo, H., y Li, J. (2021). Landslide identification using machine learning. *Geoscience Frontiers*, 12 (1), 351-364. Descargado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1674987120300542> doi: <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2020.02.012>
- Winckell. (1997). Alain Winckell, 1997. Los Paisajes Naturales del Ecuador.
- Ministerio de Agricultura y Ganadería. (2020). Metodología unificada del levantamiento de Cobertura y Vegetación a nivel Nacional.
- Ministerio de Agricultura y Ganadería - MAG. instituto francés de investigación científica para el desarrollo en cooperación – ORSTOM. Primer inventario nacional de recursos naturales renovables Mapa morfopedológico de Santo Domingo.1983.

9 ANEXOS

Las coberturas geográficas se encuentran en las carpetas de los anexos del producto 1, a continuación, se presenta el link del acceso del Dropbox:

<https://www.dropbox.com/scl/fo/3704eakzsunmu19v73p67/h?rlkey=t0qfgtrtvcwaxy96w692djhm8&dl=0>

Anexos

Coberturas	Anexo	Formato	Fuente
Fotografías originales adquiridas al Instituto Geográfico Militar.	Anexo 1	tif	Las fotos se compraron de manera analógica y digital del Instituto Geográfico Militar y mdt de ALOS PALSAR
Modelos digitales del terreno	Anexo 1	tif	
Modelos digitales del terreno	Anexo 1	tif	
Relieve	Anexo 1	tif	
Curvas de nivel	Anexo 1	shp	Datos entregados por el municipio de Santo Domingo
Algunas presentaciones del proyecto.	Anexo 2	Ppt	
Establecimientos de Salud	Anexo 3	shp	Cobertura geográfica oficial del Ministerio de Salud, año 2020.
Establecimientos Educativos	Anexo 3	Shp	Cobertura geográfica oficial del Ministerio de Educación, año 2015.
Infraestructura de Servicios Sociales	Anexo 3	Shp	Cobertura geográfica oficial del Ministerio de Inclusión Social e Económica, año 2020.
Datos censales: Viviendas en estado de precariedad, datos poblacionales.	Anexo 4	csv	
Isla, lagos, laguna, pantano, rio, puente	Anexo 4	shp	IGM
Edificios, muros, poblados, zona edificada	Anexo 4	shp	IGM
Vías ruta, vía rural, sendero	Anexo 4	shp	IGM

Coberturas	Anexo	Formato	Fuente
Parroquias, cantones, provincias.	Anexo 4	shp	CONALI
Clima: Serie histórica diaria rellenada 1985 – 2015: Precipitación, tmax, tmin, tmed.	Anexo 4	shp	PNUD - MAATE
Clima: Proyección diaria 5 años típicos: Precipitación, tmax, tmin, tmed.	Anexo 4	shp	PNUD - MAATE
Caudales: Series de caudal rellenas con modelo GR4J, para 50 unidades hidrográficas período 1985 – 2015	Anexo 4	shp	INAMHI - PLANACC - MAATE
Área de estudio	Anexo 5	shp	Económica CIC
Geomorfología	Anexo 5	shp	Económica CIC
Geope	Anexo 5	shp	Económica CIC
Infraestructura	Anexo 5	shp	Económica CIC
Microcuencas	Anexo 5	shp	Económica CIC
Sitios críticos	Anexo 5	shp	Económica CIC
Unidad geomorfológica Danto Domingo	Anexo 5	shp	Económica CIC