

Producto 2: Análisis de riesgo climático para el sector Asentamientos Humanos, mediante la aplicación de modelos de impactos biofísicos, Santo Domingo y Alluriquín.



Ministerio del
Ambiente, Agua y
Transición Ecológica



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.

Índice

1. Antecedentes	1
2. Objetivos y actividades	5
2.1 objetivos del producto 2.....	5
2.2 actividades realizadas.....	5
3. Introducción.....	6
3.1 clima.....	7
3.1.1 influencia del fenómeno de el niño.....	9
4. Susceptibilidad a inundaciones	12
4.1 amenazas a inundaciones por anegamiento en el interior de la ciudad de santo domingo	12
4.1.1 metodología para la estimación de inundaciones por anegamiento urbano 15	
4.1.2 resultados	20
4.1.3 análisis de los resultados por sector priorizado.....	24
4.2 amenazas a inundaciones por desbordamiento del rio toachi	84
4.2.1 introducción.....	84
4.2.2 metodología.....	84
4.2.3 caracterización pluviométrica en la cuenca.....	88
4.2.4 caracterización pluviométrica	89
4.2.5 tendencia de la precipitación	90
4.2.6 caracterización hidrológica	91
4.2.7 balance hídrico a nivel de estaciones hidrológicas.....	93
4.2.8 modelo hydrologic engineering center - hydrologic modeling system (hec- hms) 97	
4.2.9 resultados modelación hidrológica en la cuenca del rio toachi bajo escenario histórico periodo 1985-2015	99
4.2.10 modelación hidrológica en la cuenca del rio toachi bajo escenario de clima futuro en el periodo 2020-2050.....	110
4.2.11 resultados modelación hidrológica escenario de clima futuro periodo 2020-2050	112
4.2.12 modelado hydrologic engineering center's river analysis system (hec- ras). 118	

4.2.13 modelación hidráulica en la cuenca del rio toachi bajo escenario histórico periodo 1985-2015.....	125
4.2.14 modelación hidráulica en la cuenca del rio toachi bajo escenario de clima futuro periodo 2020-2050	139
4.3 susceptibilidad a deslizamientos.....	146
4.3.1 marco conceptual.....	146
4.3.2 factores físicos, bióticos y antrópicos que intervienen en potenciales deslizamientos	147
4.4 modelos biofisico machine learning (parroquia).....	149
4.5 modelo heurístico para deslizamientos en la zona urbana de santo domingo 151	
4.5.1 introducción.....	151
4.5.2 metodología.....	151
4.6 susceptibilidad de deslizamientos de tipo rotacional	152
4.6.1 resultados	157
4.6.2 análisis por sector priorizado.....	158
4.7 ciudad de alluriquín.	165
4.8 contexto geográfico	165
4.9 forma del relieve donde se asienta alluriquín y su relación con un torrente. 166	
4.10 desastres ocurridos en los últimos años.....	167
4.11 analisis de datos climaticos	169
4.12 resultados machien learning.....	170
4.13 modelo hidrológico para el punto de entrada en el asentamiento de alluriquín.	170
4.14 conclusiones y recomendaciones	177
4.15 bibliografía	179
4.16 anexos.....	182

Índice de Tablas

Tabla 1 Información climática disponible para el modelado de amenazas climáticas	9
Tabla 2 Precipitaciones observadas y periodos de retorno de El Niño de 1982-1983.....	11
Tabla 3 Coeficiente de escurrimiento.....	18
Tabla 4 Intensidades Máximas y Períodos de Retorno de la Estación M0027 de Santo Domingo	22
Tabla 5 Profundidad del espejo de agua	26
Tabla 6 Volumen de agua en un periodo de retorno de 2 años.....	27
Tabla 7 Caudal del río Chinope en función de la intensidad de precipitación y diferentes periodos de retorno	28
Tabla 8 Profundidad del espejo de agua	31
Tabla 9 Volumen de agua en un periodo de retorno de 2 años.....	31
Tabla 10 Caudal del estero Penipe en función de la intensidad de precipitación y diferentes periodos de retorno	33
Tabla 11 Profundidad del espejo de agua	35
Tabla 12 Volumen de agua en un periodo de retorno de 2 años.....	36
Tabla 13 Caudal del río Nila en función de la intensidad de precipitación y diferentes periodos de retorno	37
Tabla 14 Profundidad del espejo de agua	39
Tabla 15 Volumen de agua en un periodo de retorno de 2 años.....	40
Tabla 16 Caudal del río El Poste en función de la intensidad de precipitación y diferentes periodos de retorno	41
Tabla 17 Profundidad del espejo de agua	44
Tabla 18 Volumen de agua en un periodo de retorno de 2 años.....	44
Tabla 19 Caudal del río Code 1 en función de la intensidad de precipitación y diferentes periodos de retorno	46
Tabla 20 Profundidad del espejo de agua	48
Tabla 21 Volumen de agua en un periodo de retorno de 2 años.....	49
Tabla 22 Caudal del río Verde 1 en función de la intensidad de precipitación y diferentes periodos de retorno	50
Tabla 23 Profundidad del espejo de agua	53
Tabla 24 Volumen de agua en un periodo de retorno de 2 años.....	54
Tabla 25 Caudal del río Pove en función de la intensidad de precipitación y diferentes periodos de retorno	55
Tabla 26 Profundidad del espejo de agua	58
Tabla 27 Volumen de agua en un periodo de retorno de 2 años.....	59
Tabla 28 Caudal del río Code 2 en función de la intensidad de precipitación y diferentes periodos de retorno	60
Tabla 29 Profundidad del espejo de agua	63
Tabla 30 Volumen de agua en un periodo de retorno de 2 años.....	63

Tabla 31 Caudal del río Verde 2 en función de la intensidad de precipitación y diferentes períodos de retorno	65
Tabla 32 Profundidad del espejo de agua	67
Tabla 33 Volumen de agua en un periodo de retorno de 2 años.....	68
Tabla 34 Caudal del río Code 3 en función de la intensidad de precipitación y diferentes períodos de retorno	69
Tabla 35 Profundidad del espejo de agua	72
Tabla 36 Volumen de agua en un periodo de retorno de 2 años.....	73
Tabla 37 Caudal del río Code 4 en función de la intensidad de precipitación y diferentes períodos de retorno	74
Tabla 38 Profundidad del espejo de agua	77
Tabla 39 Volumen de agua en un periodo de retorno de 2 años.....	78
Tabla 40 Caudal del río Code 5 en función de la intensidad de precipitación y diferentes períodos de retorno	79
Tabla 41 Profundidad del espejo de agua	81
Tabla 42 Volumen de agua en un periodo de retorno de 2 años.....	82
Tabla 43 Caudal del río Verde 3 en función de la intensidad de precipitación y diferentes períodos de retorno	83
Tabla 44 Coordenadas de las Secciones de Control, río Toachi, ciudad de Santo Domingo	85
Tabla 45 Características fisiográficas de la cuenca del Toachi	86
Tabla 46 Usos principales de suelo en la cuenca del Toachi.....	88
Tabla 47 Estaciones meteorológicas en la zona de estudio.....	88
Tabla 48 Precipitación media del periodo 1981 – 2010	90
Tabla 49 Estaciones hidrológicas en la zona de estudio.....	92
Tabla 50 Caudales medios anuales en las estaciones hidrológicas	93
Tabla 51 Balance hídrico, cuenca del río Toachi en cuatro estaciones	93
Tabla 52 Caudales mínimos	96
Tabla 53 Caudales máximos para diferentes periodos de retorno (Tr)	96
Tabla 54 Grupo Hidrológico en la cuenca del río Esmeraldas	97
Tabla 55 Intensidad-Duración-Frecuencia, Estación M0362 Las Pampas.....	100
Tabla 56 Características de la cuenca del río Toachi	102
Tabla 57 Resultados para Tr=100 años	103
Tabla 58 Intensidad-Duración-Frecuencia, Estación M0362 Las Pampas.....	103
Tabla 59 Caudal máximo para Tr=25 años	105
Tabla 60 Tabla de resultados para Tr = 25 años	106
Tabla 61 Intensidad-Duración-Frecuencia, Estación M0362 Las Pampas.....	106
Tabla 62 Caudal máximo para Tr=5 años	107
Tabla 63 Resultados para Tr = 5 años	108
Tabla 64 Caudales máximos en función del Periodo de Retorno	109
Tabla 65 Caudal máximo para Tr=100 años	113

Tabla 66 Caudal máximo para Tr=25 años	115
Tabla 67 Caudal máximo para Tr=5 años	117
Tabla 68 Caudales máximos en función del Periodo de Retorno	118
Tabla 69 Coordenadas de las Secciones de Control, río Toachi, ciudad de Santo Domingo	119
Tabla 70 Caudales en el río Toachi, ciudad de Santo Domingo	124
Tabla 71 . Resultados de la simulación de HEC RAS para Tr = 100 años	126
Tabla 72 Resultados de la simulación de HEC RAS para Tr = 25 años	129
Tabla 73 Resultados de la simulación de HEC RAS para Tr = 5 años	133
Tabla 74 Resultados en los sitios de interés	137
Tabla 75 Caudales en el río Toachi, ciudad de Santo Domingo, escenario de clima futuro	139
Tabla 76 Resultados de la simulación de HEC RAS para Tr = 100 años, bajo escenario de Cambio Climático	140
Tabla 77 Resultados de la simulación de HEC RAS para Tr = 25 años, bajo escenario de Clima Futuro.....	141
Tabla 78 Resultados de la simulación de HEC RAS para Tr = 5 años, bajo escenario de Clima Futuro.....	142
Tabla 79 Variable Litología	153
Tabla 80 Variable Forma del relieve.....	153
Tabla 81 Variable pendiente	154
Tabla 82 Variable Suelos.....	154
Tabla 83 Variable fisonomía de la cobertura vegetal	154
Tabla 84 Valores de importancia – Escala Saaty.....	154
Tabla 85 Calificación según importancia	155
Tabla 86 Valores de cada variable	155
Tabla 87 Matriz de normalización.....	155
Tabla 88 Índice de Consistencia Aleatorio	156
Tabla 89 Rangos y Grado de susceptibilidad	156
Tabla 90 Interpretación de los resultados.....	158
Tabla 91 Precipitación media por día (mm.) de los años tipo de Alluriquín.	170
Tabla 92 Caudales máximos calculados utilizando diferentes metodologías	171
Tabla 93 Caudales máximos de diseño para el período de retorno de 100 años	172
Tabla 94 Parámetros obtenidos como resultado de las modelaciones hidrodinámicas. ..	174
Tabla 95 Características fisiográficas de la microcuenca del rio Damas.....	175

Índice de Figuras

Figura 1 Descripción gráfica de la metodología empleada en la selección de años típicos periodo 2020-2050.....	8
Figura 2 Eventos registrados por la SGR (Inundaciones)	14
Figura 3 Influencia de la urbanización sobre la respuesta hidrológica	16

Figura 4 Explicación gráfica de la dinámica entre la intensidad de lluvia y medio urbano	23
Figura 5 Unidad hidrográfica del río Chinope	24
Figura 6 Susceptibilidad a inundación, unidad hidrográfica Río Chinope.....	25
Figura 7 Amenaza por inundación, unidad hidrográfica Río Chinope	26
Figura 8 Sector donde potencialmente podría acumularse el agua en la garganta del río Chinope	27
Figura 9 Evolución del potencial volumen de agua que podría acumularse en la garganta del río Chinope	28
Figura 10 Unidad hidrográfica del estero Penipe	29
Figura 11 Susceptibilidad a inundación, unidad hidrográfica del estero Penipe	30
Figura 12 Amenaza por inundación, unidad hidrográfica estero Penipe.....	31
Figura 13 Sector donde potencialmente podría acumularse el agua en la garganta del estero Penipe	32
Figura 14 Evolución del potencial volumen de agua que podría acumularse en la garganta del estero Penipe, Tramo 1	32
Figura 15 Evolución del potencial volumen de agua que podría acumularse en la garganta del estero Penipe, Tramo 2	33
Figura 16 Unidad hidrográfica del río Nila.....	34
Figura 17 Susceptibilidad a inundación, unidad hidrográfica del río Nila.....	34
Figura 18 Amenaza por inundación, unidad hidrográfica del río Nila	35
Figura 19 Sector donde potencialmente podría acumularse el agua en la garganta del río Nila	36
Figura 20 Evolución del potencial volumen de agua que podría acumularse en la garganta del río Nila.....	37
Figura 21 Unidad hidrográfica del río El Poste	38
Figura 22 Susceptibilidad a inundación, unidad hidrográfica del río El Poste	38
Figura 23 Amenaza por inundación, unidad hidrográfica del río El Poste	39
Figura 24 Sector donde potencialmente podría acumularse el agua en la garganta del río El Poste	40
Figura 25 Evolución del potencial volumen de agua que podría acumularse en la garganta	41
Figura 26 Unidad hidrográfica del río Code 1	42
Figura 27 Susceptibilidad a inundación, unidad hidrográfica del río Code 1	42
Figura 28 Amenaza por inundación, unidad hidrográfica del río Code 1.....	43
Figura 29 Sector donde potencialmente podría acumularse el agua en la garganta del río El Poste	45
Figura 30 Evolución del potencial volumen de agua que podría acumularse en la garganta del río Code 1	45
Figura 31 Unidad hidrográfica del río Verde	46
Figura 32 Susceptibilidad a inundación, unidad hidrográfica del río Verde 1	47
Figura 33 Amenaza por inundación, unidad hidrográfica del río Verde 1.....	48

Figura 34 Sector donde potencialmente podría acumularse el agua en la garganta del río Verde 1	49
Figura 35 Evolución del potencial volumen de agua que podría acumularse en la garganta del río Verde 1.....	50
Figura 36 Unidad hidrográfica del río Pove.....	51
Figura 37 Susceptibilidad a inundación, unidad hidrográfica del río Pove	52
Figura 38 Amenaza por inundación, unidad hidrográfica del río Pove	53
Figura 39 Sector donde potencialmente podría acumularse el agua en la garganta del río Pove	54
Figura 40 Evolución del potencial volumen de agua que podría acumularse en la garganta del río Pove.....	55
Figura 41 Unidad hidrográfica del río Code 2	56
Figura 42 Susceptibilidad a inundación, unidad hidrográfica del río Code 2	57
Figura 43 Amenaza por inundación, unidad hidrográfica del río Code 2.....	58
Figura 44 Sector donde potencialmente podría acumularse el agua en la garganta del río Code 2.....	59
Figura 45 Evolución del potencial volumen de agua que podría acumularse en la garganta del río Code 2.....	60
Figura 46 Unidad hidrográfica del río Verde 2	61
Figura 47 Susceptibilidad a inundación, unidad hidrográfica del río Verde 2	62
Figura 48 Susceptibilidad a inundación, unidad hidrográfica del río Verde 2	63
Figura 49 Sector donde potencialmente podría acumularse el agua en la garganta del río Verde 2	64
Figura 50 Evolución del potencial volumen de agua que podría acumularse en la garganta del río Verde 2.....	64
Figura 51 Unidad hidrográfica del río Code 3	65
Figura 52 Susceptibilidad a inundación, unidad hidrográfica del río Code 3	66
Figura 53 Susceptibilidad a inundación, unidad hidrográfica del río Code 3	67
Figura 54 Sector donde potencialmente podría acumularse el agua en la garganta del río Code 3.....	68
Figura 55 Evolución del potencial volumen de agua que podría acumularse en la garganta del río Code 3.....	69
Figura 56 Unidad hidrográfica del río Code 4	70
Figura 57 Susceptibilidad a inundación, unidad hidrográfica del río Code 4	71
Figura 58 Susceptibilidad a inundación, unidad hidrográfica del río Code 4	72
Figura 59 Sector donde potencialmente podría acumularse el agua en la garganta del río Code 4.....	73
Figura 60 Evolución del potencial volumen de agua que podría acumularse en la garganta del río Code 4.....	74
Figura 61 Unidad hidrográfica del río Code 5	75
Figura 62 Susceptibilidad a inundación, unidad hidrográfica del río Code 5	76
Figura 63 Amenaza por inundación, unidad hidrográfica del río Code 5.....	77

Figura 64 Sector donde potencialmente podría acumularse el agua en la garganta del río Code 5.....	78
Figura 65 Evolución del potencial volumen de agua que podría acumularse en la garganta del río Code 5.....	79
Figura 66 Susceptibilidad a inundación, unidad hidrográfica del río Verde 3	80
Figura 67 Amenaza por inundación, unidad hidrográfica del río Verde.....	81
Figura 68 Sector donde potencialmente podría acumularse el agua en la garganta del río Verde 3	82
Figura 69 Evolución del potencial volumen de agua que podría acumularse en la garganta del río Verde 3.....	83
Figura 70 Ubicación de las secciones/puntos de control	85
Figura 71 Esquema de la cuenca del río Toachi.....	87
Figura 72 Ubicación de la cuenca del Toachi (Unidad Hidrográfica 1529).....	87
Figura 73 Mapa de uso de suelos	88
Figura 74 Ubicación de las estaciones meteorológicas	89
Figura 75 Mapa de isoyetas.....	90
Figura 76 Tendencia de la precipitación en la estación M0025 La Concordia (en la costa).....	91
Figura 77 Tendencia de la precipitación en la estación M003 Izobamba (en la sierra).....	91
Figura 78 Ubicación de las secciones/puntos de control y las estaciones hidrológicas ...	92
Figura 79 Curva de Duración General para la estación H161 Toachi AJ Pilatón.....	94
Figura 80 Curva de Duración General para la estación H166 Toachi Las Pampas	95
Figura 81 Curva de Duración General para la estación H167 Toachi en Santo Domingo .	95
Figura 82 Interfaz gráfica de HEC-HMS para la entrada de datos.....	98
Figura 83 Ubicación de la estación representativa M0362 Las Pampas	101
Figura 84 Precipitación (Hietograma) Tr=100 años	101
Figura 85 Caudal máximo para Tr=100 años	102
Figura 86 Precipitación y Caudal para Tr=100 años	102
Figura 87 Precipitación (Hietograma) Tr=25 años	104
Figura 88 Precipitación y Caudal para Tr=25 años	105
Figura 89 Precipitación (Hietograma) Tr= 5 años	107
Figura 90 Precipitación y Caudal para Tr=5 años	108
Figura 91 Extremos de precipitación esperados para el periodo 2020-2050 para los percentiles 95vo (primera fila), 90vo (segunda fila), 10mo (tercera fila) y 5to(cuarta fila), y para cada patrón de circulación	112
Figura 92 Precipitación (hietograma) Tr=100 años.....	113
Figura 93	114
Figura 94 Precipitación (hietograma) Tr=25 años	115
Figura 95 Precipitación y Caudal para Tr=25 años	116
Figura 96 Precipitación (hietograma) Tr=5 años	117
Figura 97 Precipitación y Caudal para Tr=5 años.....	118
Figura 98 Ubicación de las secciones de control en el tramo de modelación	119

Figura 99 Fotografía - Puente visto desde aguas arriba en la margen derecha.....	120
Figura 100 Fotografía - Brasilia del Toachi, puente visto desde aguas abajo en la margen derecha	120
Figura 101 Fotografía - Río Toachi hacia aguas arriba en la margen izquierda	121
Figura 102 Fotografía - Río Toachi en la margen izquierda	121
Figura 103 Fotografía Río Toachi en la margen izquierda	122
Figura 104 Fotografía No. 6: Río Toachi en la margen izquierda	122
Figura 105 Esquema del tramo de modelación generado	123
Figura 106. Ubicación de las secciones de control en el tramo de modelación	124
Figura 107 Altura del nivel de agua en el Paraíso	126
Figura 108 Zonas inundadas en el Paraíso con profundidades de inundación.....	127
Figura 109 Altura de nivel de agua en Brasilia del Toachi	127
Figura 110 Zonas inundadas en Brasilia del Toachi y profundidades de inundación.....	128
Figura 111 Altura de nivel de agua en Sueño de Bolívar.....	128
Figura 112 Zonas inundadas en Sueño de Bolívar y profundidades de inundación	129
Figura 113 Altura del nivel de agua en el Paraíso	130
Figura 114 Zonas inundadas en el Paraíso y profundidades de inundación.....	130
Figura 115 Altura de nivel de agua en Brasilia del Toachi	131
Figura 116 Zonas inundadas en Brasilia del Toachi y profundidades de inundación.....	131
Figura 117 Altura de nivel de agua en Sueño de Bolívar.....	132
Figura 118 Zonas inundadas en Sueño de Bolívar y profundidades de inundación	132
Figura 119 Altura del nivel de agua en el Paraíso	134
Figura 120 Zonas inundadas en el Paraíso y profundidades de inundación.....	134
Figura 121 Altura de nivel de agua en Brasilia del Toachi	135
Figura 122 Zonas inundadas en Brasilia del Toachi y profundidades de inundación.....	135
Figura 123 Altura de nivel de agua en Sueño de Bolívar.....	136
Figura 124 Zonas inundadas en Sueño de Bolívar y profundidades de inundación	136
Figura 125 Área de inundación para $Tr = 100$ años, $Q = 1271$ m ³ /s.....	138
Figura 126 Área de inundación para $Tr = 25$ años, $Q = 798$ m ³ /s.....	138
Figura 127 Área de inundación para $Tr = 5$ años, $Q = 474$ m ³ /s.....	139
Figura 128 Mapa de inundación para $Tr = 100$ años, bajo escenario de Clima Futuro..	141
Figura 129 Mapa de inundación para $Tr = 25$ años, bajo escenario de Clima Futuro....	142
Figura 130 Mapa de inundación para $Tr = 5$ años, bajo escenario de Clima Futuro.....	143
Figura 131 Área de inundación para los tres Periodos de Retorno, escenario de clima futuro	143
Figura 132 Elementos de una masa deslizada.....	146
Figura 133 Perfil idealizado de la garganta del río Pove	147
Figura 134 Susceptibilidad a deslizamientos en la ciudad de Santo Domingo	157
Figura 135 Unidad hidrográfica río Chinope.....	158
Figura 136 Unidad hidrográfica del estero Penipe	159
Figura 137 Unidad hidrográfica del río Nila.....	159

Figura 138 Unidad hidrográfica del río El Poste	160
Figura 139 Unidad hidrográfica del río Code 1	160
Figura 140 Unidad hidrográfica del río Verde	161
Figura 141 Unidad hidrográfica del río Pove	161
Figura 142 Sector priorizado 8, Río Code 2	162
Figura 143 Unidad hidrográfica del río Verde 2	162
Figura 144 Unidad hidrográfica del río Code 3	163
Figura 145 Unidad hidrográfica del río Code 4	163
Figura 146 Unidad hidrográfica del río Code 5	164
Figura 147 Unidad hidrográfica del río Verde 5	164
Figura 148 Eventos registrados por la SGR (Deslizamientos)	165
Figura 149 Fases de la formación del cono de deyección de Alluriquín; vista de sur a norte.	167
Figura 150 Precipitación diaria (mm.) del período 1985-2015 y Año tipo de Vinces Alluriquín.	169
Figura 151 Modelo digital de elevación utilizada para las simulaciones hidráulicas.....	172
Figura 152 Áreas y cotas de inundación en el río Toachi	173
Figura 153 Áreas y profundidad de inundación en el río Toachi	173
Figura 154 Áreas y velocidad del agua en el río Toachi.....	174
Figura 155 Microcuenca del río Damas	176
Figura 156 Sistema hidrográfico del río Damas	176

1. Antecedentes

En las últimas décadas, los fenómenos climáticos relacionados con lluvias extremas o excepcionales han causado severos impactos 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 detritos, 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 Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático 2023 2027 (PNA. 2023) es un instrumento para la operatividad de la ENCC¹. En este instrumento de política pública relacionado con la adaptación al cambio climático, se han priorizado seis sectores considerados de importancia para el desarrollo del país (Asentamientos Humanos; Patrimonio Hídrico; Patrimonio Natural; Soberanía Alimentaria,

¹ ENCC. Estrategia Nacional de Cambio Climático 2012–2025.

Agricultura, Ganadería, Acuicultura y Pesca; Salud; y, Sectores Productivos y Estratégicos)

El MAATE. (2023) en el Plan Nacional de Adaptación, uno de sus capítulos importantes es el análisis del riesgo climático, estos procesos fueron desarrollados a partir de modelos conceptuales y metodologías robustas y documentadas, que permitan comprender como se presentarán los cambios del clima futuro y cuales serán los posibles impactos esperados en los sectores analizados. Para el caso del Sector Asentamientos Humanos, en el cual, constituyó el Grupo Sectorial de Trabajo (GST), conformado por expertos nacionales del sector y cambio climático, se utilizó modelos de impactos biofísicos, para la modelización hidrológica la herramienta es 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).

Por otro lado, en el Sexto Informe de Evaluación (AR6) del IPCC² 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

² 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.

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 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. (2021).

Por otro lado, el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente – PNUMA, se encuentra implementando un proyecto denominado Nature4Cities³, 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), protegiendo, manteniendo y rehabilitando ecosistemas prioritarios en zonas urbanas. 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+.

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 con el apoyo del PNUMA, y acogiendo las buenas prácticas perfeccionadas en el PNA, es el análisis del riesgo climático a niveles de detalle de las ciudades.

En este contexto, el PNUMA ha contratado servicios de consultoría para llevar a cabo el análisis de riesgo climático basado en modelos biofísicos de las ciudades de Santo Domingo y Alluriquín, así como la identificación de medidas de adaptación al cambio climático para el sector de Asentamientos Humanos. Este informe constituye el segundo de tres productos del estudio, cuyo propósito es generar un análisis exhaustivo de los riesgos climáticos en el sector de Asentamientos Humanos mediante la aplicación de modelos de impacto biofísico.

³ Nature4Cities. 2023. <https://cityadapt.com/n4c/>

2. Objetivos y actividades

El objetivo general de la presente investigación es generar un análisis de riesgo climático para el sector Asentamientos Humanos, mediante la aplicación de modelos de impactos biofísicos, para lo cual se han planteado cuatro objetivos específicos y actividades que se detallan según el siguiente detalle.

2.1 Objetivos del producto 2

Se esperan los siguientes resultados, los cuales deberán ser presentados durante una reunión a los equipos regionales, nacionales y locales y actores involucrados:

- a) Mapa y estadísticas espaciales de las áreas susceptibles a deslizamientos resultantes del Modelo de Deslizamiento basado en Machine Learning para Santo Domingo y Alluriquín.
- b) Mapa y estadísticas espaciales del área susceptible de inundación en base a Modelos Hidrológicos e Hidráulicos en 3 puntos de desagüe distribuidos en el territorio de análisis.
- c) Mapa y estadística espacial del área susceptible de inundación según el modelo Hidrológico para el punto de entrada en el asentamiento de Alluriquín.
- d) Estadísticas cartográficas y espaciales de áreas susceptibles de inundación según análisis DTM interorretativo y modelado no físico hasta para 13 localidades.

2.2 Actividades realizadas

- Se preparó y analizó la información temática primaria y secundaria, para determinar los impactos biofísicos del cambio climático.
- Se efectuaron las corridas iniciales de los modelos de impactos biofísicos (inundaciones y deslizamientos), para las ciudades de Santo Domingo y Alluriquín, para el período presente y para el período futuro (años típicos), cuidando que los niveles de incertidumbre de los resultados obtenidos sean aceptables.
- Se generó el reporte de corridas preliminares de la modelación de impactos biofísicos.
- Estructuración de los datos e información, documentos, tablas, figuras y mapas para la entrega del producto 2.

3. Introducción

Ciudad de Santo Domingo

Descripción geográfica

A nivel regional la ciudad de Santo Domingo se encuentra al interior del piedemonte andino que presenta características especiales en cuanto al clima, vegetación, hidrografía, suelos y más que todo, su geomorfología típica de un gran cono de esparcimiento, con una leve inclinación hacia el oeste; Santo Domingo está prácticamente cerca del ápice de este gran cono.

Es así como, esta ciudad ha ido creciendo en este entorno, transformándolo y modelando el paisaje que en la mayoría de los casos presenta una aptitud constructiva desde el punto de vista físico, en referencia a la topografía y morfología. Pero, paralelamente, este crecimiento ha ido modificando el flujo de las aguas de escorrentía y fluviales que normalmente discurren por los ríos y quebradas que atraviesan la ciudad (aproximadamente son 39), lo cual está repercutiendo en la ocurrencia de inundaciones por anegamiento. En esta línea, al sellar los suelos con pavimento y hormigón, se está afectando a la escorrentía natural de las aguas de lluvia que normalmente se infiltran en los suelos para alimentar los acuíferos y regular el nivel freático, provocando así, que el escurrimiento modificado (a través de calles y avenidas), aumente considerablemente el caudal de los ríos y quebradas.

En este contexto, el conocimiento de la morfología, clima, hidrografía y vegetación de los espacios donde se asienta y crece la ciudad, son de vital importancia para futuras planificaciones y ordenación de la ciudad de Santo Domingo. Entre los elementos morfológicos que están siendo modificados se citan:

- Superficie de cono de esparcimiento; desde el punto de vista físico como ya se ha mencionado, presenta una aptitud urbanística debido a su pendiente y topografía plana a ondulada.
- Gargantas o encañonamientos; son el producto de la dinámica fluvial, en este caso, específicamente relacionado con la erosión fluvial que ha dado como resultado relieves negativos con laderas escarpadas, no aptas para fines constructivos; si se altera este paisaje, se altera los servicios ambientales de la vegetación y el flujo de las aguas fluviales.
- Cerros testigo; corresponde a relieves aislados con una morfología, morfometría, morfodinámica y litología diferente a la de su entorno, es el caso del cerro Bombolí.
- Terrazas fluviales del río Toachi; son niveles relativamente planos, resultado de la dinámica fluvial que inicia en los flancos exteriores de la cordillera

Occidental, donde se desarrollan procesos de erosión y transporte de materiales rocosos que luego son depositados a lo largo del río Toachi; existen dos niveles de terrazas, la que está más cerca al río es la más susceptible a inundaciones por desbordamiento.

- Escarpes con pendientes casi verticales; están localizadas en el área de influencia del río Toachi; son verdaderas paredes donde afloran materiales del cono de esparcimiento cubiertos con cenizas volcánicas antiguas y recientes.

3.1 Clima

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).

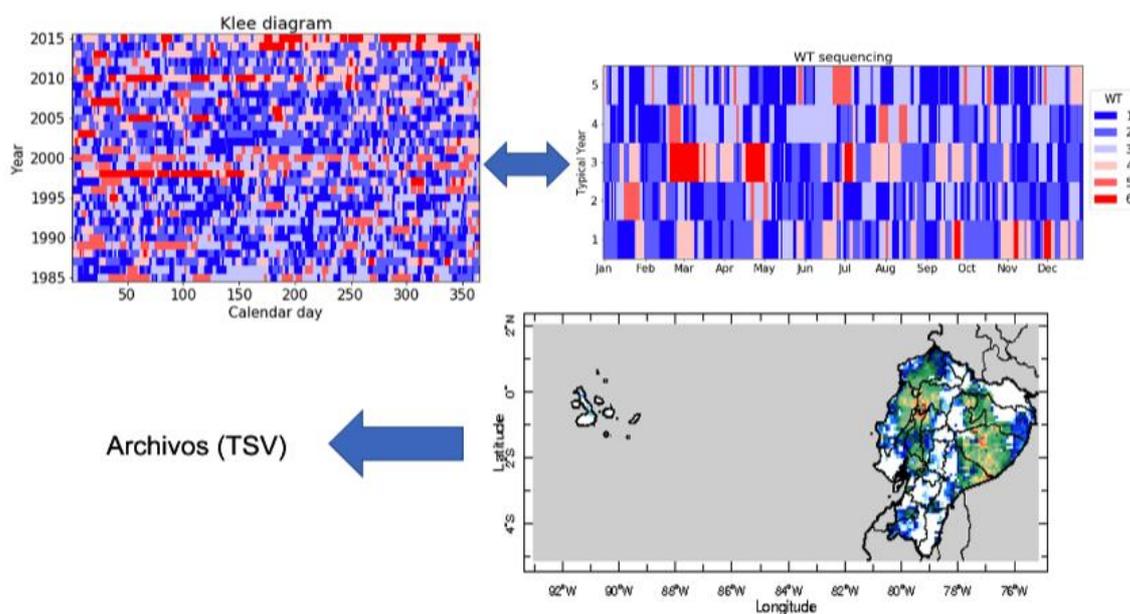
Las variables meteorológicas simuladas corresponden a datos diarios de temperatura media, máxima y mínima (datos en °C) así como datos diarios de precipitación (datos en mm) para una rejilla de 10x10 Km cuya extensión abarca todo el territorio nacional. Estas variables se generan para cada uno de los 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 1 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 2023⁴. Todas las series (históricas y proyecciones) están completas tanto a nivel espacial como temporal.

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

Tabla 1 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.

Cabe indicar que en esta fase se utilizaron los datos climáticos y se revisó 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.

3.1.1 Influencia del Fenómeno de El niño

Los fenómenos oceánico-atmosféricos que se producen en el Océano Pacífico intertropical son determinantes en el comportamiento del clima en el Ecuador; su posición geográfica en la parte noroeste del continente, donde confluyen las corrientes frías de Humboldt y cálida del Niño, lo ubica en una zona donde se expresa con mayor fuerza el Fenómeno de El Niño. La CAF (2000), señala que se ha demostrado a través de diferentes estudios, que este fenómeno es el causante de la mayor variabilidad climática en la región costa y de la irregularidad de la

⁴ Sistema de información de Proyecciones y Riesgo Climático, Medidas de Adaptación al Cambio Climático e Indicador de Vulnerabilidad del Ecuador (SPRACC)

pluviometría, lo que se traduce en una secuencia significativa de déficits y excesos de lluvias en diferentes años⁵.

La Corporación Andina de Fomento, CAF (2000), indica que existieron eventos históricos y los describen de la siguiente manera “A grandes rasgos, cuatro eventos (1931, 1932, 1973, 1976) generaron anomalías de temperatura acumulada entre 3° y 5°C y excesos pluviométricos en Ecuador comprendidos entre 100 y 390 mm, por lo que se les ha denominado débiles. Los eventos 1926, 1932, 1951, 1953, 1958 y 1972 son considerados como medios o moderados con anomalías comprendidas entre 5 y 12°C y excesos pluviométricos entre 400 y 790 mm. Los episodios de 1957 y 1965 son Niños fuertes con anomalías entre 12 y 20°C y excesos pluviométricos entre 1.100 y 1.500 mm. Los eventos calificados como extremadamente fuertes en el presente siglo, de acuerdo con los estudios efectuados por el INAMHI y en concordancia con los criterios técnico-científicos internacionales, corresponden a los años 1983 y 1998, alcanzando temperaturas superiores a 35°C y excesos pluviométricos mayores a 2.630 mm. En general, los eventos Niño no ocurren con una periodicidad determinada, pudiendo tener una amplitud de ocurrencia de 1 año y máximo 6, como se presentó en la década de 1931-1940. Eventos Niño ocurridos en ocho décadas consecutivas (1900-1980) se han presentado en ciclos de cada 3-2-3 años, lo que se interrumpe en el período 1991-1998 donde se registran cuatro eventos Niño, situación significativa que indica que las fases cálidas se están manifestando con mayor frecuencia”

El Niño 1982-83; la CAF (2000), destaca que en el Océano Pacífico se produjo un evento excepcional que se expresó en Ecuador con precipitaciones también 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 que superaron significativamente los 100 años para los totales anuales registrados.

El Niño 1997-98, según la misma fuente (CAF, 2000), ha sido el más fuerte del siglo anterior. Su duración aproximada desde febrero de 1997 hasta agosto de 1998 (19 meses), supera ampliamente el de 1982-83 que fue de 11 meses, lo que significó una acumulación de las precipitaciones para ese último año de más de 1.090 mm respecto al del 82 en algunas zonas. Estas precipitaciones continuas, considerables y de larga duración, tuvieron efectos devastadores sin precedentes en la historia registrada de este fenómeno en el Ecuador.

En el mes de noviembre de 1997 se generalizaron las precipitaciones con fuertes intensidades en la Región Litoral. Sus máximos valores se presentaron en las zonas

⁵ Nouvelot, J.y Pourrut, P. (1984)

de la vertiente occidental de la cordillera de Los Andes. También se presentaron fuertes precipitaciones que ocasionaron inundaciones en la ciudad de Santo Domingo 874,8 mm. El día 23 de noviembre de 1997 se presentaron las máximas precipitaciones en 24h00, las cuales registraron valores superiores a los normales del mes en Santo Domingo. En febrero de 1998, se registró la mayor frecuencia de días con precipitaciones se registró en la ciudad de Santo Domingo de los Colorados con 27 días. En marzo del mismo año, se presentaron récords en: La Concordia 966,5 mm. y Santo Domingo 904,6 mm.

De acuerdo a la CAF (2000), las anomalías que presentaron los indicados Niños, tuvieron influencia directa en la región costa y específicamente en la zona de Santo Domingo, con cantidades de precipitación e intensidad que se incrementaron 3 o 4 veces, por lo que, debe tenerse en cuenta que la ocurrencia de este fenómeno tiene alta probabilidad de que se presente en el futuro, así como también el impacto que este fenómeno puede tener sobre la población, viviendas u otro tipo de infraestructura que se encuentra en las terrazas fluviales del río Toachi, principalmente⁶.

Tabla 2 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. CAF 2000.

Elaboración: ECONOMICA CIC 2023.

⁶ Nouvelot y Pourrut, 1084

4. Susceptibilidad a inundaciones

4.1 Amenazas a inundaciones por anegamiento en el interior de la ciudad de Santo Domingo

El Sexto Informe de Evaluación (AR6) del IPCC⁷ 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 e inundaciones por desbordamiento. 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.

En este contexto, el constante crecimiento de la ciudad de Santo Domingo 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

⁷ 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.

escurrimiento de aguas pluviales y que al final y de forma rápida llegan a los drenajes, provocando inundaciones y embalses temporales.

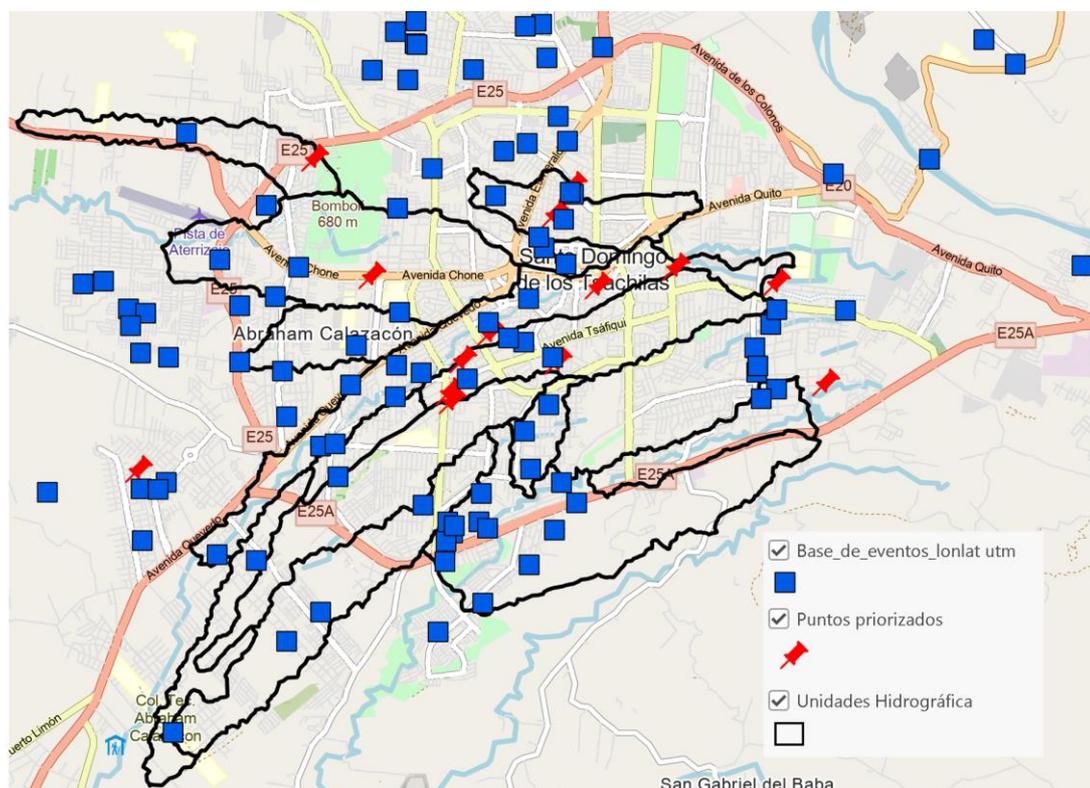
Lo mencionado, se ratifica con los datos de prensa que se presentan a continuación y que señalan los impactos negativos provocados por lluvias extremas que han precipitado sobre la ciudad.

- ❖ El 17 de diciembre de 2014 se produjeron inundaciones que afectaron la calle Ejército Ecuatoriano; existe una pendiente que hace que toda el agua lluvia se acumule y entre a los domicilios de la zona.
- ❖ Dato del 8 de mayo de 2016; intensa lluvia provoca el desbordamiento del río Pove, quedando anegadas casas de cooperativas de vivienda como la Rumiñahui y algunas vías como Tulcán y Río Toachi; la urbanización Las Islas, cerca de las avenidas Abraham Calazacón y Quevedo, fue afectada; la lluvia duró alrededor de tres horas.
- ❖ El dato de prensa del 10 de febrero de 2017, señala que la tarde del día anterior la fuerte lluvia acompañada de tormentas, ocasionó inconvenientes en las calles de la ciudad. Dor de los sectores afectados fueron un tramo de la avenida Esmeraldas y el sector del redondel Sueño de Bolívar, donde las inundaciones interrumpieron el tráfico. Los días 1 y 5, en Santo Domingo los registros de las precipitaciones fueron de 40 y 46 mm.
- ❖ El 22 de marzo de 2019, las fuertes lluvias provocaron inundaciones en la urbanización Los Rosales, donde el agua llegó a cubrir vehículos.
- ❖ El 17 de abril de 2020, el Cuerpo de Bomberos de Santo Domingo reportó inundaciones en la cooperativa Ciudad Nueva, a la altura de la vía Chone y Baypas Chone-Esmeraldas, donde las aguas afectaron una Unidad Educativa, debido a la falta de un desfogue de las precipitaciones; también la ciudadela El Portón, ubicada en el Bypas Chone-Santo Domingo, cerca del cerro Bombolí fue impactada por las inundaciones, en este caso por taponamiento de alcantarillas.
- ❖ El 14 de octubre de 2020, cayó un torrencial aguacero sobre la ciudad, afectando directamente a las familias de los barrios Libertador, Che Guevara 2, Juan Eulogio y Alborada, entre otros, que debieron evacuar las pertenencias de sus hogares; el agua ingresó a las viviendas.
- ❖ El 17 de febrero de 2021, las lluvias provocaron daños en la zona urbana y rural de santo Domingo; en la zona urbana 17 familias perdieron sus pertenencias luego de las inundaciones. En los sectores Nueva Aurora y Plan de Vivienda los habitantes quedaron bajo el agua, lo propio con sus electrodomésticos, ropa, camas y colchones.

- ❖ El dato de prensa del 5 de mayo de 2021 señala que más de dos horas ha llovido en Santo Domingo y que varios sectores del centro de la ciudad están afectados, reportándose inundaciones en calles y avenidas; según ciudadanos hay sectores donde las alcantarillas han colapsado.
- ❖ Torrenciales aguaceros registrados el 5 de noviembre de 2022, causaron serios impactos en la ciudad, viviendas inundadas y decenas de vehículos bajo el agua.
- ❖ La madrugada del 13 de julio de 2023, intensas lluvias afectaron al sector El Vergel, donde se produjo el desbordamiento del río Pove; varios ciudadanos quedaron atrapados en sus viviendas. Según los afectados, las lluvias fueron tan fuertes que el desbordamiento del río ocurrió súbitamente. Varios ciudadanos atribuyen las inundaciones a la falta de alcantarillado.

Los eventos relacionados con inundaciones que han sido registrados por la secretaria de gestión de riesgos, entre los años 2010 – 2022, en la ciudad y su entorno, sumas 47; de lo cuales 101 viviendas se registras que fueron afectadas por este fenómeno. Ver siguiente figura.

Figura 2 Eventos registrados por la SGR (Inundaciones)



Fuente: Datos proporcionados por el GAD Municipal de Santo Domingo; IGM 2023
Elaboración: Económica CIC. 2023

4.1.1 Metodología para la Estimación de Inundaciones por Anegamiento Urbano

Consideraciones generales

Análisis geomorfológico – Histórico de inundaciones

Si se parte del concepto de inundación divulgado por el IPCC (2021) y expuesto en un anterior párrafo, que señala que los riesgos de inundación en los asentamientos surgen de eventos hidrometeorológicos que interactúan con el sistema urbano, generando inundaciones repentinas, pluviales (impulsadas por precipitaciones), se colige que en estos ambientes los eventos se producen en terrenos de topografía plana donde el agua tiene dificultades para drenar con facilidad debido fundamentalmente a que los suelos se encuentran completamente sellados. Lo contrario ocurre en áreas urbanas donde todavía existen remanentes de vegetación natural, donde el agua pluvial se infiltra en los suelos de textura franco arenosos sobre los que se ha edificado la ciudad de Santo Domingo.

En este contexto, el método utilizado para el análisis de la susceptibilidad y amenaza por inundaciones al interior de cada una de las unidades hidrográficas consideradas como críticas, es el geomorfológico-histórico, considerado como parte del método heurístico⁸ que se basa en la aplicación del conocimiento de expertos como son: hidrólogo, geólogo-geomorfólogo y geógrafo especialista en modelamientos con sistemas de información geográfica. En esta línea, la recopilación y uso de los datos de inundaciones producidas en la ciudad, como son los de prensa y los eventos registrados por la Secretaría de Gestión de Riesgos, han sido de gran valía durante el desarrollo del estudio, remarcando siempre que el factor antrópico es el principal causante de las inundaciones por anegamiento en la superficie donde se asienta la ciudad y la acumulación de agua a lo largo de los ejes fluviales, en el interior de las gargantas.

Influencia de la urbanización en el proceso de escorrentía.

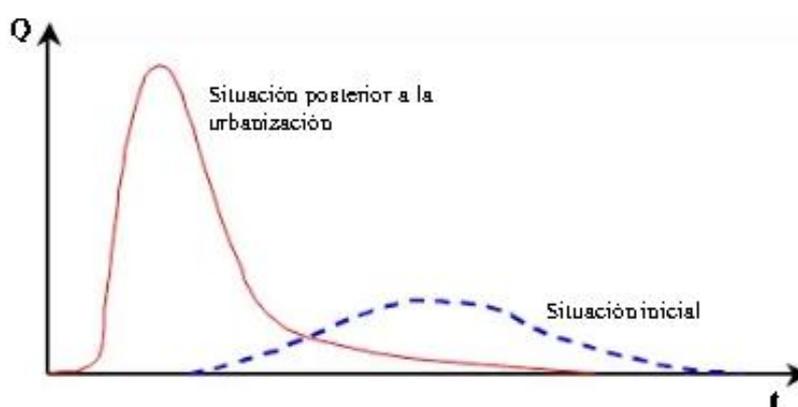
Dolz, J. (2007), señala “La urbanización conlleva la alteración de las redes de drenaje natural (construcción de colectores y encauzamientos que aumentan la velocidad del agua hacia aguas debajo de la cuenca) y un incremento de las zonas

⁸ Método Heurístico. <https:// analisisheurísticos.wordpress.com/metodo-heuristico/>

impermeables en superficie, todo ello con el criterio de drenar lo más eficiente y rápido posible el área urbanizada”⁹.

En este sentido, la dinámica que se desarrolla en el medio urbano afecta a la hidrología de la cuenca y más específicamente a las zonas situadas aguas abajo. Por ejemplo, es menor el tiempo que transcurre entre el inicio de la escorrentía provocada por la lluvia y el máximo caudal (disminuye el tiempo de concentración). Todo esto conlleva a que los terrenos urbanos situados aguas abajo estén afectados con mayor frecuencia por caudales que pueden provocar problemas de inundación (Dolz, J., 2007).

Figura 3 Influencia de la urbanización sobre la respuesta hidrológica



Fuente: Gómez, M., Lluvia neta. Pérdidas de precipitación. Tiempo de concentración en zona urbana.

Elaboración: Económica CIC 2023

Con base en lo señalado y a lo visualizado en la figura anterior, la misma fuente señala que, el hidrograma de la situación post-desarrollo difiere de la situación previa o inicial en varios puntos como:

- ❖ El volumen total de escorrentía es mayor
- ❖ El proceso de concentración de caudal ocurre con mayor rapidez
- ❖ La caudal punta es mayor

⁹ Problemática General del Drenaje de Aguas Pluviales en Zonas Urbanas. Barcelona. Gómez, M., (2007), en el artículo titulado “Lluvia neta. Pérdidas de precipitación. Tiempo de concentración en zona urbana”, señala que, el proceso de transformación lluvia-escorrentía en la zona urbana presenta una serie de particularidades en relación con el mismo proceso en un medio natural, una de ellas es la elevada generación de escorrentía reflejada en términos de caudal específico (Caudal punta / superficie de la cuenca) de la zona urbana. La figura , permite comparar una situación natural (inicial) con una situación derivada del proceso de urbanización, respecto a la relación Caudal (Q) y Tiempo (t)

- ❖ El tiempo de concentración se acorta
- ❖ La calidad del agua de escorrentía se deteriora

En este contexto, el aumento del volumen de agua pluvial y de escorrentía se origina por la impermeabilización de los suelos y con esto, la reducción de la infiltración; la reducción en el tiempo base del hidrograma se explica por las mayores velocidades del agua por una red de drenaje menos rugosa o directamente a través del pavimento de calles y avenidas (Gómez, M., 2007)

Análisis de variables que intervienen en la amenaza por inundación

El crecimiento de la frontera urbana y el desarrollo que esto conlleva ha generado una notable alteración en cuanto a la infiltración de las aguas pluviales y de escorrentía, lo que ha perturbado las funciones hidrológicas de los ríos y quebradas que cruzan la ciudad. Sin lugar a duda, los problemas de inundaciones que se han dado en la ciudad son la consecuencia de estas acciones antrópicas, principalmente de las barreras u obstáculos (calles, avenidas, viviendas, rellenos, ductos pequeños), dispuestos de forma perpendicular a la dirección de las aguas de los principales ejes fluviales.

Pendiente

En función de la disposición y rangos del grado de inclinación de los terrenos que conforman una UH, se producirá la acumulación de agua pluvial, que en principio cae sobre los techos de las casas, edificios, áreas verdes, calles y avenidas, para luego concentrarse en las arterias viales. Con ello, se puede delimitar los sectores susceptibles a inundación por anegamiento.

Así, terrenos con pendientes entre 0 y 2 grados serán los más susceptibles y donde el agua permanecerá más tiempo almacenada. Según datos de prensa, cuando se producen fuerte tormentas un denominador común lo constituye el colapso de alcantarillas. En cambio, en terrenos con pendientes entre 2 y 5 grados, el agua acumulada en las arterias viales comienza a escurrirse hacia las partes más bajas; pero, si la pendiente es mayor a los 5 grados, la escorrentía se efectuará con mayor rapidez hasta llegar al drenaje natural, sea a través del sistema de alcantarillado o directamente.

Cobertura urbana

Uno de los factores antrópicos que más influye en los problemas de inundabilidad de algunos sectores de la ciudad de Santo Domingo, lo constituye la impermeabilización de los suelos con pavimento y hormigón, esto, porque impide la infiltración de aguas pluviales y con ello, su permanencia en superficie y por supuesto, aumentando la velocidad del escurrimiento de las aguas. Si bien el

desarrollo urbano es un proceso irreversible, también una agresiva deforestación para cambiar el uso del suelo de conservación a urbano, sin un debido análisis de la capacidad de acogida, aumentará significativamente las áreas susceptibles a inundación por anegamiento.

Para el presente estudio, hemos definido y especializado dos tipos de cobertura urbana, una relacionada con el medio construido, que incluye a viviendas, edificios, calles, avenidas y otro tipo de infraestructuras y, otra que tiene que ver con la vegetación, que contiene las áreas verdes, remanentes de vegetación natural y áreas con pastos y cultivos.

Esguerrimiento superficial

La Organización Meteorológica Mundial (1992), define el esguerrimiento superficial como la precipitación que se desplaza por la superficie del terreno.

Chiarito, E., Zimmermann, E., Méndez, S., (2018), señalan que “El coeficiente de esguerrencia varía con la pendiente, condiciones de la superficie y de la cubierta vegetal y el tipo de suelo hidrológico. Las superficies que son relativamente impermeables como las calles y plazas de aparcamiento tienen coeficientes de esguerrencia que se aproximan a uno. Las superficies con vegetación para interceptar la esguerrencia superficial y las que permiten la infiltración de las precipitaciones tienen coeficientes de esguerrencia más bajas (cerca de 0)”

Bajo esta perspectiva y en concordancia con lo indicado en el punto anterior, es importante resaltar que, mientras más impermeabilicemos el suelo en la ciudad de Santo Domingo, mayor será la esguerrencia, potenciando los problemas a futuro, relacionados con las inundaciones, tomando en cuenta que el volumen total de esguerrencia será mayor, así como el proceso de concentración del caudal en los ríos y quebradas ocurrirá con mayor rapidez, y que el tiempo de concentración se acortará. Ver siguiente tabla.

Tabla 3 Coeficiente de esguerrimiento

Características del área	Valor de k
Residencial Urbano - Casas unifamiliares	0.3
Residencial Urbano - Apartamentos con jardines	0.5
Comercial e industrial	0.9
Forestada (dependiendo del suelo)	0.05 - 0.20
Parques, prados, terrenos cultivados	0.05 - 0.30
Pavimentadas con asfalto u hormigón	0.85 - 1.00
Terrenos saturados por lluvias prolongadas	1

Fuente: <https://es.scribd.com/document/283491498/Coeficiente-de-Esguerrimiento>

Elaboración: Económica CIC 2023.

Intensidad de precipitación

INAMHI (2019), define a la Intensidad como “La cantidad de agua que cae en un punto, por unidad de tiempo y ésta es inversamente proporcional a la duración de la tormenta. La intensidad es la tasa temporal de precipitación, es decir, la cantidad de agua que precipitó medida en milímetros por unidad de tiempo, esta intensidad puede ser instantánea o promedio, sobre la duración de la lluvia. Generalmente se utiliza la intensidad promedio, que puede expresarse como:

$$I = \frac{P}{T}$$

Donde:

I: Intensidad (mm/h)
P: Precipitación
t: Duración (h)

Duración (minutos)

“La duración de la tormenta es el tiempo que transcurre desde que inicia la precipitación hasta que ésta cesa. Se considera a la duración de la lluvia de diseño igual al tiempo de concentración del área de estudio, debido que al cabo de dicho tiempo la escorrentía alcanza su valor máximo, al contribuir toda el área aportante al flujo de salida” INAMHI (2019).

Períodos de retorno

INAMHI (2019), lo conceptualiza como “El número de años que en promedio se presenta un evento determinado de igual o mayor intensidad se llama período de retorno, intervalo de recurrencia o simplemente frecuencia. El período de retorno es un parámetro muy importante al momento de diseñar una obra hidráulica destinada a soportar avenidas”

$$TR = \frac{1}{1 - P}$$

Donde:

P: es la probabilidad de que el valor no sea igualado o no excedido. Viviendas en estado de precariedad

Viviendas en estado de precariedad

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 utilizó el catastro de la ciudad de Santo Domingo. Con esta información, fue posible determinar de forma georreferenciada el uso urbano y al interior de este campo conocer las viviendas con disponibilidad o no disponibilidad de: agua potable, alcantarillado y electricidad. Si la vivienda no cumple con una de estas condiciones, es considerada como precaria.

El proceso consistirá en enlazar esta información con la amenaza a inundación por anegamiento para conocer las viviendas y población que serían potencialmente afectadas por este fenómeno socio-natural. Si en el transcurso del tiempo de esta consultoría se dispone del catastro actualizado, se actualizarán los resultados.

4.1.2 Resultados

En adelante se presentan los resultados del estudio de las áreas que se encuentran bajo la amenaza de inundación por anegamiento, al interior de las 13 unidades hidrográficas consideradas para el efecto.

Se ha considerado el análisis solamente para la parte construida, donde las inundaciones pueden ser catalogadas como inducidas, fundamentalmente por encontrarse en áreas con una topografía muy baja, con pendientes entre 0 - 2° y 2 - 5° e incluso depresiones formadas por las calles o avenidas que cruzan drenajes.

Otro factor que interviene en este fenómeno, lo constituye el sellado de los suelos (IPCC, 2021), con hormigón y pavimento, principalmente, que impide la filtración de del agua pluvial y con ello la acumulación en este medio antrópico. Unido con esta acción del ser humano (producto del desarrollo urbano), está el aumento considerable de la escorrentía, que, como se indicó anteriormente, el proceso de concentración de caudal ocurre con mayor rapidez, acortándose el tiempo de concentración y disminuyendo la calidad del agua por las basuras, escombros u otro tipo de sólido o contaminante (aceites). Entonces, la acumulación de agua en la ciudad siempre dependerá del buen funcionamiento del sistema de alcantarillado y de la acumulación de basuras en las vías, que muchas veces taponan las alcantarillas.

Susceptibilidad a inundación

La correlación de los factores indicados dará como resultado una mayor o menor acumulación de las aguas en las áreas más vulnerables de cada una de las unidades hidrográficas, es decir una alta o media susceptibilidad a inundaciones. Al respecto, el término susceptibilidad el IPCC (2018), incluye dentro del concepto de

vulnerabilidad, así, “Propensión o predisposición a ser afectado negativamente. La vulnerabilidad comprende una variedad de conceptos que incluyen la sensibilidad o susceptibilidad al daño y la falta de capacidad de respuesta y adaptación”¹⁰

En cambio, la Secretaría de Gestión de Riesgos (2018), señala que la “Susceptibilidad: Es el grado de fragilidad interna de un sujeto, objeto o sistema para enfrentar una amenaza y recibir un posible impacto debido a la ocurrencia de un evento peligroso”.

Amenaza por inundación

En el contexto de lo indicado, para determinar la amenaza de inundación por anegamiento, se relacionará la susceptibilidad de los espacios urbanos a ser inundados con el detonante que vendría a ser la Intensidad de Lluvia, en un determinado Período de Retorno. Para este estudio utilizaremos los datos del INAMHI (2019), relacionados con la Intensidad en 5 minutos (cantidad de lluvia consecutiva caída en ese tiempo) y un Período de Retorno de 2 años.

Revisados y comparados los registros históricos de la estación meteorológica M0027 de Santo Domingo, del INAMHI y los datos de precipitación entregados por el MAATE, se llegó a determinar que los datos del Ministerio, en el área de influencia de la ciudad, son menores que los del INAMHI; asimismo, los datos del MAATE son para 24 horas y no se dispone de la Intensidad de lluvias, de interés para el presente estudio.

Cabe anotar que, tanto la cartografía urbana para el análisis de la susceptibilidad, como los datos de intensidad y períodos de retorno, se encuentran almacenados en una Base de Datos, que puede ser utilizada para trabajar en función de diferentes escenarios, útiles para un planeamiento urbano.

La cobertura vegetal urbana, representada por remanentes de vegetación arbórea, arbustiva o herbácea e incluso las áreas verdes (parques de recreación), no ha sido considerada en esta fase del estudio, debido fundamentalmente a que el agua de lluvia impacta directamente en la vegetación para luego llegar a los suelos de textura franca, derivados de proyecciones piroclásticas, que presentan una buena permeabilidad, por lo que, la susceptibilidad a ser inundados es muy baja.

Profundidad del espejo de agua

Para determinar la altura del espejo de agua del área considerada de alta amenaza a inundación por anegamiento, se ha utilizado la información de estación

¹⁰ IPCC 2018. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/10/SR15_Glossary_spanish.pdf

Meteorológica de Santo Domingo y específicamente la información de Intensidades Máximas (mm/hora) y períodos de Retorno a 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años, como se detalla en la siguiente tabla. Toda esta información se encuentra estructurada en la base de datos del proyecto.

Tabla 4 Intensidades Máximas y Períodos de Retorno de la Estación M0027 de Santo Domingo

t (min)	Período de Retorno T (años)					
	2	5	10	25	50	100
5	123.5	149.2	172.0	207.7	239.6	276.3
10	94.8	114.4	132.0	159.4	183.8	212.0
15	81.2	98.0	113.0	136.5	157.4	181.5
20	72.7	87.8	101.2	122.3	141.0	162.6
30	62.3	75.2	86.7	104.7	120.7	139.3
60	47.8	57.7	66.5	80.3	92.6	106.8
120	37.3	44.1	50.1	59.3	67.3	76.4
360	15.6	18.4	20.9	24.8	28.1	31.9
1440	5.2	6.1	7.0	8.2	9.3	10.6

Fuente: INAMHI, 2019

Elaborado: Económica CIC., 2023

Para el presente análisis se ha considerado la Intensidad Máxima en 5 minutos y un Período de Retorno de 2 años, siempre tomando en cuenta que este escenario es el más probable lo cual se confirma con los datos históricos de lluvias, indicados anteriormente. De acuerdo con la tabla anterior, la cantidad máxima de precipitación en 5 minutos y para un Período de Retorno de 2 años, es de 123,5 (mm/hora)

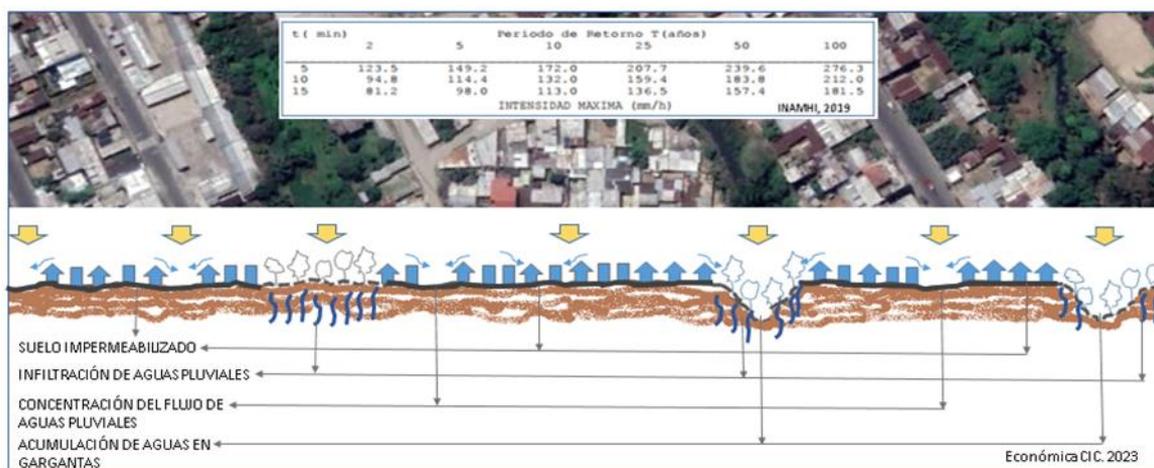
Para determinar la precipitación en (mm/min), para el mismo Período de Retorno, se estandariza la intensidad de (mm/hora), obteniéndose una altura del espejo de agua de 10.29 mm, en un minuto y en un metro cuadrado; si la precipitación se extiende por 10 minutos, se tendría una altura de 102,9 mm; para 20 minutos de lluvia, se tendría 205,8 mm.

Ahora, idealmente se tendrían las alturas del espejo de agua indicadas, distribuidas en toda la ciudad y específicamente en el área construida que es la que más interesa, pero, la lluvia que precipita sobre los techos de las viviendas, terrazas, patios de las casas, entre otros, una parte fluiría hacia las alcantarillas o directamente hacia los drenajes naturales y otra se concentrará en las calles y avenidas, aumentando considerablemente la altura del agua, lo cual estará en función del tiempo de lluvia e intensidad.

Sin lugar a duda, el agua inundará las calles y avenidas, plantas bajas de las viviendas, negocios y otras actividades, que se encuentren en terrenos con pendientes menores a 2° , topografía plana y lugares deprimidos.

En cambio, el agua pluvial que cae en áreas con pendientes de 2 a 5° , comenzará a fluir hacia las alcantarillas o directamente los drenajes naturales. En la siguiente figura se visualiza lo expuesto en párrafos anteriores.

Figura 4 Explicación gráfica de la dinámica entre la intensidad de lluvia y medio urbano



Fuente: Google Earth 2023. Económica CIC, 2023

Elaboración: Económica CIC, 2023

En el anexo de resultados se encuentra todo el detalle de los datos y análisis efectuado.

Volumen de agua en la garganta

Conocido el espesor de la capa de agua, la baja infiltración y alta escorrentía, se realizó el siguiente proceso para obtener el volumen de agua que se acumulará a lo largo de los drenajes (de cada unidad hidrográfica), bajo un escenario de taponamiento del ducto construido para el cruce de calles o avenidas.

Se utilizó el cálculo del volumen que es igual al espesor de agua que cae en un minuto con una intensidad de 5 minutos y un periodo de retorno de 2 años. Este valor es multiplicado por la superficie impermeabilizada en metros cuadrados, para luego obtener el volumen en metros cúbicos.

Caudal en el sitio de desfogue

Se realiza un cálculo aproximado del caudal de los ríos o esteros (m^3/s), preferentemente en el sitio de desfogue, tomando en consideración la intensidad de la precipitación en 5 minutos y diferentes periodos de retorno.

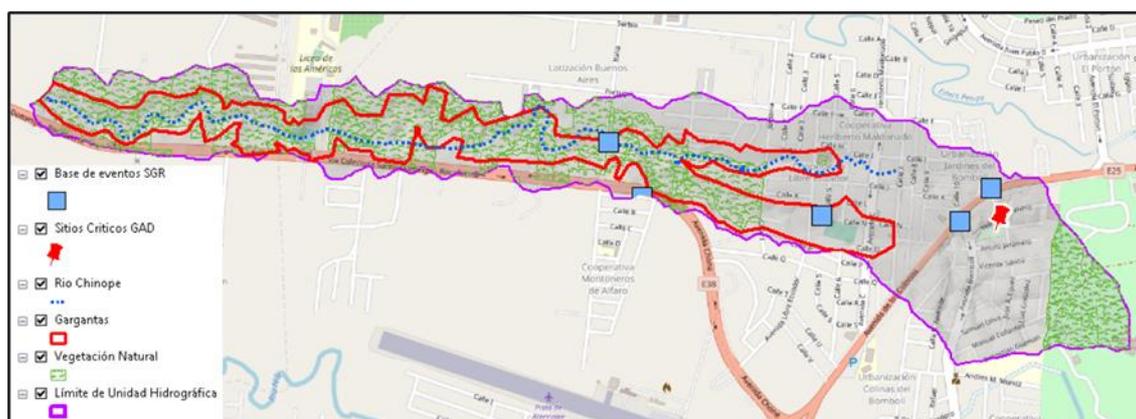
4.1.3 Análisis de los resultados por sector priorizado.

Sector priorizado 1, Río Chinope

Ubicación: Parte occidental de la ciudad; Cooperativa Heriberto Maldonado y Lotización Jardines de Bombolí

- ❖ Superficie de la UH: 116,98 Has.
- ❖ Superficie impermeabilizada: 35,09 Has.

Figura 5 Unidad hidrográfica del río Chinope



Fuente: Datos proporcionados por el GAD Municipal de Santo Domingo; IGM 2023

Elaboración: Económica CIC. 2023

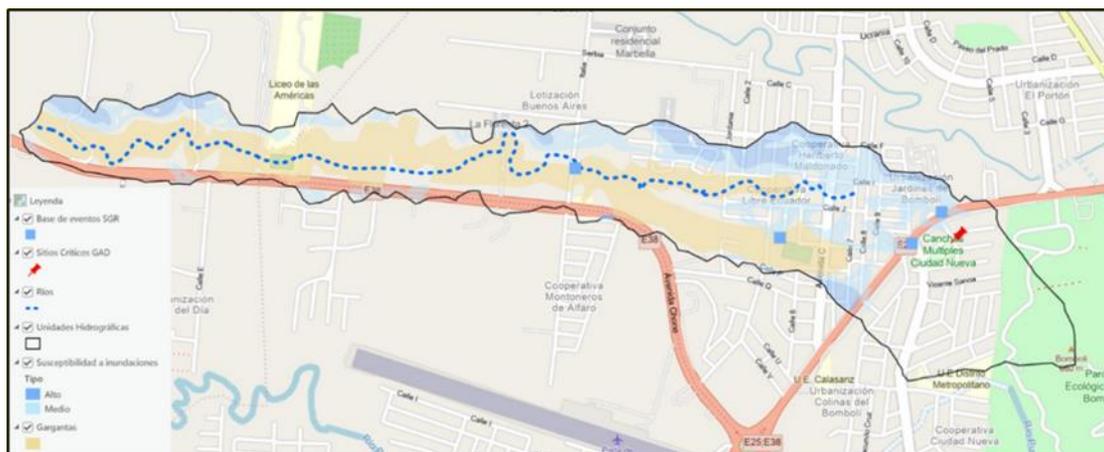
Susceptibilidad a inundación

Las áreas que presentan una alta susceptibilidad se hallan en los sectores noroeste y noreste, con una pendiente de los terrenos de 0 a 2 ° y donde existen viviendas, calles y otro tipo de infraestructura que se encuentra al interior de la Cooperativa Heriberto Maldonado y Lotización Jardines de Bombolí y Lotización Buenos Aires, principalmente.

Los sectores que presentan una media susceptibilidad se encuentran distribuidos en casi toda la superficie construida, donde las pendientes están entre 2 y 5 °; también se verían afectadas las viviendas de la Cooperativa Heriberto Maldonado y Lotización Jardines de Bombolí y Lotización Buenos Aires, principalmente.

Estas áreas pueden ser visualizadas en la siguiente figura, que es una representación de los niveles de susceptibilidad a inundación; con color azul oscuro, alta susceptibilidad y azul claro, media susceptibilidad.

Figura 6 Susceptibilidad a inundación, unidad hidrográfica Río Chinope



Fuente: Base de datos del proyecto

Elaboración: Económica CIC, 2023

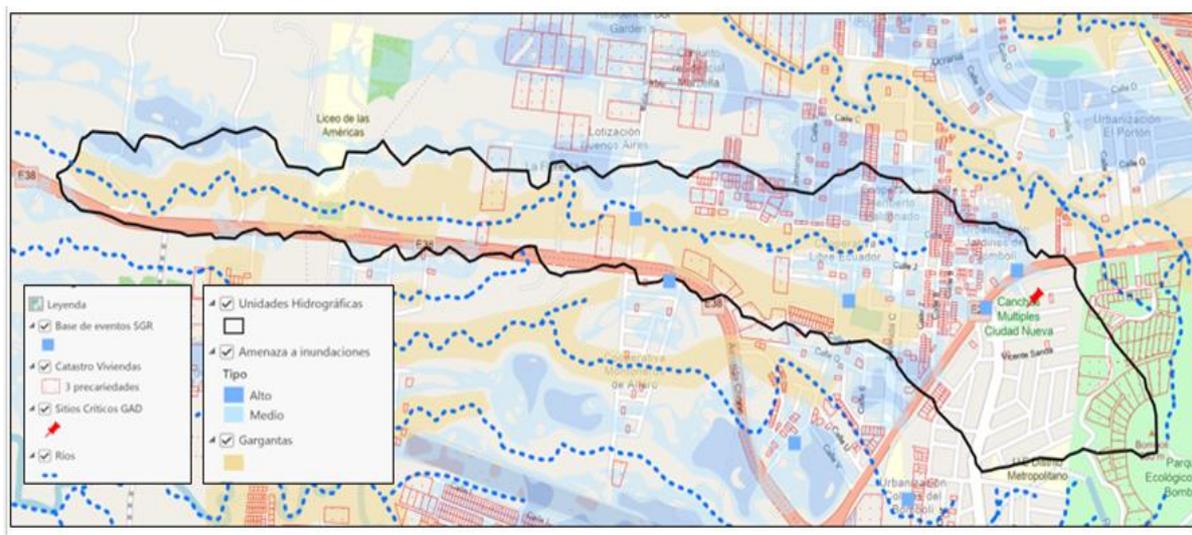
Amenaza por inundación

Considerando que la intensidad de precipitación es uniforme para toda la ciudad, las áreas que presentan una alta amenaza a inundación por anegamiento se hallan en los sectores noroeste y noreste. En esta categoría de amenaza se encuentran las viviendas en estado de precariedad, las mismas que podrían ser afectadas por un espesor de capa de agua.

De igual forma, los sectores que presentan una media amenaza están distribuidos en todo el nivel levemente inclinado de la ciudad (2 a 5 grados de pendiente), abarcando las viviendas e infraestructura de la Cooperativa Heriberto Maldonado, Cooperativa Libre Ecuador, Urbanización Jardines del Bombolí y Lotización Buenos Aires. En esta categoría de amenaza se encuentra un mayor número de viviendas en estado de precariedad.

Estas áreas pueden ser visualizadas en la siguiente figura, donde la categoría de inundación de alta amenaza está representada con color azul oscuro, la de media amenaza con azul claro y las viviendas en estado de precariedad, con polígonos y puntos de color rojo. Además, se encuentran georreferenciados los eventos registrados por la SGR (2022) y un punto crítico identificado por el Gad Municipal.

Figura 7 Amenaza por inundación, unidad hidrográfica Río Chinope



Fuente: Base de datos del proyecto

Elaboración: Económica CIC, 2023

En la siguiente tabla, se puede apreciar el espesor del potencial espejo de agua, tomando en consideración una precipitación en un período de 5 minutos y un período de retorno de 2 años. Con anterioridad se explicó el efecto de la precipitación sobre los techos, terrazas, patios de casas y edificios y la concentración de agua en las calles y avenidas.

Tabla 5 Profundidad del espejo de agua

Precipitación en periodo de 5 minutos de intensidad y 2 años de periodo de retorno (cm)	
1 minuto	1.03
20 minutos	4.12
30 minutos	6.18
60 minutos	12.35
120 minutos	24.70

Fuente: Base de datos del proyecto

Elaboración: Económica CIC, 2023

Volumen de agua en la garganta

Un cálculo aproximado del volumen de agua que se acumularía en la garganta del río Chinope, considerando que, a un mayor volumen de escorrentía en la superficie construida, viene una concentración de caudal en el drenaje con mayor rapidez y en un tiempo relativamente corto (Gómez, M., 2007), proporcionó los datos que se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 6 Volumen de agua en un periodo de retorno de 2 años

Tiempo en minutos	5	20	30
Volumen de agua acumulada en la garganta (m3)	6.567,77	26.271,10	64.940,40

Fuente: Base de datos del proyecto

Elaboración: Económica CIC, 2023

Solo para tener un criterio de referencia en cuanto a los volúmenes que constan en la siguiente tabla, una piscina olímpica almacena 3.375 m³ o 3'375000 litros.

En la siguiente figura, se aprecia el potencial embalse que se formaría cerca del desfogue del río Chinope, bajo un escenario de taponamiento del ducto construido en este sitio y su referencia respecto a toda la unidad hidrográfica, mientras que en la figura de la evolución del potencial volumen de agua, se presenta una ampliación del potencial embalse sobre una imagen satelital (Google Earth, 2023), donde se identifican tres columnas; un código, las cotas (se toma como base la cota 455 metros) y el volumen de agua referido para cada rango de alturas absolutas. Como ejemplo, para una altura de 1 metro, entre 455 y 456 msnm., se tendría un volumen de 9.133 m³; para una altura de 2 metros, entre 455 y 457 msnm., el volumen sería de 22.880 m³.

Bajo este escenario y si tomamos el dato calculado de la siguiente tabla, de que en 30 minutos el volumen de agua acumulada en la garganta es de 64940,40 m³, este volumen prácticamente correspondería a una altura de 4 metros, entre 455 y 459 msnm., que como se detalla en la figura de la evolución del potencial volumen de agua es de 63.300 m³., y siendo así, el agua no se desbordaría. Las viviendas en estado de precariedad, como se visualiza en la figura de la evolución del potencial volumen no se verían afectadas por este potencial embalse.

Figura 8 Sector donde potencialmente podría acumularse el agua en la garganta del río Chinope



Fuente: Base de datos del proyecto

Elaboración: Económica CIC, 2023

Figura 9 Evolución del potencial volumen de agua que podría acumularse en la garganta del río Chinope



Fuente: Imagen satelital (Google Earth, 2023); Base de datos del proyecto

Elaboración: Económica CIC, 2023

Caudal del río Chinope en el sitio de desfogue

En la siguiente tabla, se presenta un cálculo aproximado del caudal del río Chinope, en el sitio de desfogue, tomando en consideración la intensidad de la precipitación en 5 minutos y diferentes períodos de retorno. Es importante destacar que, a lo largo del citado río, existen barreras que obstaculizan el normal flujo de las aguas fluviales, lo cual debería tomarse muy en cuenta a efectos de la ejecución de obras civiles.

Tabla 7 Caudal del río Chinope en función de la intensidad de precipitación y diferentes períodos de retorno

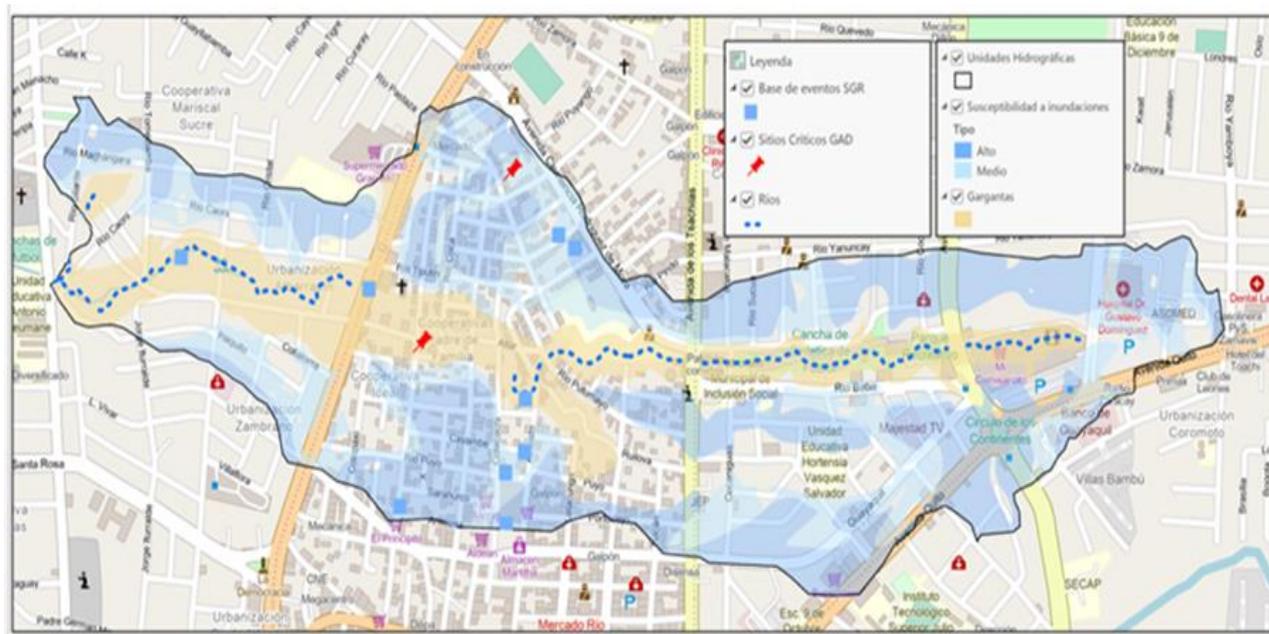
Intensidad de precipitación tiempo 5 minutos mm/h	123.5	149.2	172	207.7	239.6	276.3
Periodo de retorno	2 años	5 años	10 años	25 años	50 años	100 años
Caudal m ³ /s	20.43	24.68	28.45	34.36	39.63	45.70

Fuente: Base de datos del proyecto

Elaboración: Económica CIC, 2023

En este contexto, vale la pena recordar que el tiempo que transcurre entre el inicio de la escorrentía provocada por la lluvia y el máximo caudal disminuye de forma considerable (disminuye el tiempo de concentración), por lo que, los sectores localizados aguas abajo del río Chinope serán los más afectados por caudales que pueden provocar problemas de inundación (Dolz, J., 2007).

Figura 11 Susceptibilidad a inundación, unidad hidrográfica del estero Penipe



Fuente: GAD Municipal de Santo Domingo; MDT 1m 2022. Google Maps 2023.

Elaboración: Económica CIC., 2023

Amenaza por inundación

Los espacios geográficos considerados con una alta amenaza se hallan distribuidos en toda la unidad hidrográfica donde las pendientes de los terrenos son menores a 2 grados. En su interior existen viviendas, calles y avenidas, principalmente entre las avenidas Esmeraldas y De Los Tsáchilas.

Asimismo, los sectores que presentan una media amenaza están distribuidos en toda la unidad hidrográfica, en superficies levemente inclinadas de la ciudad, con pendientes entre 2 y 5 grados, en cuyo interior también existe una gran cantidad de viviendas y otro tipo de infraestructuras.

En la siguiente figura, se presentan las dos categorías de inundación, con color azul oscuro la de alta amenaza y color azul claro, la de media amenaza. Además, se encuentran georreferenciados los eventos registrados por la SGR (2010-2022) y dos puntos críticos identificados por el Gad Municipal.

Figura 12 Amenaza por inundación, unidad hidrográfica estero Penipe



Fuente: GAD Municipal de Santo Domingo; MDT 1m 2022. Google Maps 2023.

Elaboración: Económica CIC., 2023

En la siguiente tabla, se puede apreciar el espesor del potencial espejo de agua, tomando en consideración una precipitación en un período de 5 minutos y un período de retorno de 2 años. Con anterioridad se explicó el efecto de la precipitación sobre los techos, terrazas, patios de casas y edificios y la concentración de agua en las calles y avenidas.

Tabla 8 Profundidad del espejo de agua

Precipitación en periodo de 5 minutos de intensidad y 2 años de periodo de retorno (cm)	
1 minuto	1.03
20 minutos	4.12
30 minutos	6.18
60 minutos	12.35
120 minutos	24.70

Fuente: Base de datos del proyecto

Elaboración: Económica CIC, 2023

Volumen de agua en la garganta

Un cálculo aproximado del volumen de agua que se acumularía en la garganta del estero Penipe, considerando que el volumen de escorrentía es mayor en la superficie impermeabilizada y que las aguas se concentran con mayor rapidez en la garganta y en un tiempo relativamente corto (Gómez, M., 2007), proporcionó los datos que se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 9 Volumen de agua en un periodo de retorno de 2 años

Tiempo en minutos	5	20	30
Volumen de agua acumulada en la garganta (m3)	11.220,91	44.883,63	70.105,72

Fuente: Base de datos del proyecto

Elaboración: Económica CIC, 2023

Figura 15 Evolución del potencial volumen de agua que podría acumularse en la garganta del estero Penipe, Tramo 2



Fuente: Imagen satelital (Google Earth, 2023); Base de datos del proyecto
Elaboración: Económica CIC, 2023

Caudal del estero Penipe en el sitio de desfogue

En la siguiente tabla, se presenta un cálculo aproximado del caudal del estero Penipe, tomando en consideración la intensidad de la precipitación en 5 minutos y diferentes períodos de retorno. Es importante destacar que, a lo largo del citado río, existen calles y avenidas con sus respectivos ductos que obstaculizan el normal flujo de las aguas fluviales.

Tabla 10 Caudal del estero Penipe en función de la intensidad de precipitación y diferentes períodos de retorno

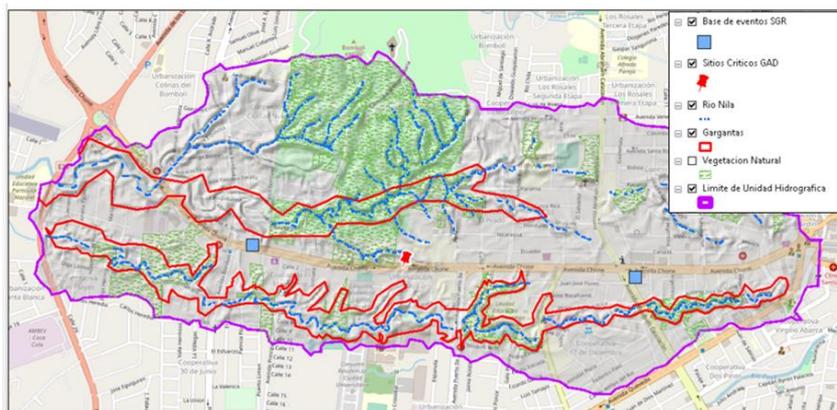
Intensidad de precipitación tiempo 5 minutos mm/h	123.5	149.2	172	207.7	239.6	276.3
Periodo de retorno años	2 años	5 años	10 años	25 años	50 años	100 años
Caudal m ³ /s	33.77	40.79	47.03	56.79	65.51	75.54

Fuente: Base de datos del proyecto
Elaboración: Económica CIC, 2023

Sector priorizado 3, Río Nila

- ❖ **Ubicación:** Centro Occidental de la ciudad; Coop. Las Playas, Coop. Ciudad Nueva, Urbanización Maya, Coop. Víctor López, Coop. 17 de Diciembre y Coop. Las Palmas.
- ❖ Superficie de la UH: 300 Has.
- ❖ Superficie impermeabilizada: 240 Has.

Figura 16 Unidad hidrográfica del río Nila



Fuente: GAD Municipal de Santo Domingo; MDT 1m 2022. Google Maps 2023.

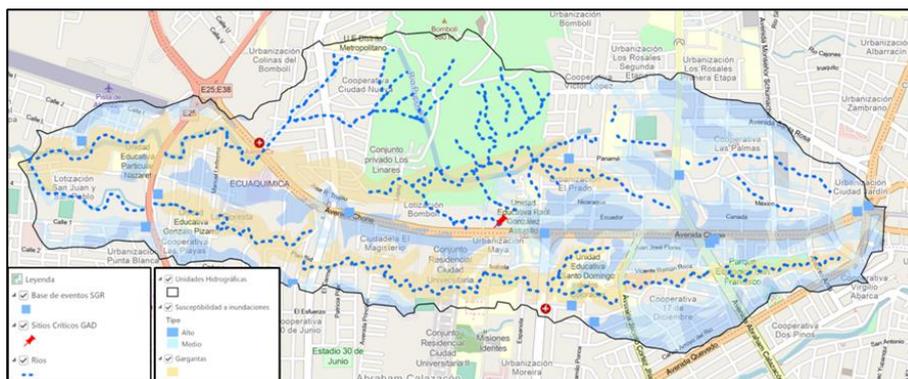
Elaboración: Económica CIC., 2023

Susceptibilidad a inundación

Las áreas que presentan una alta susceptibilidad se encuentran distribuidos en la parte centro Sur y este de la unidad hidrográfica, principalmente en el área de influencia de la avenida Chone; la pendiente en estos terrenos es de 0 a 2 ° y cabe destacar que la cobertura vegetal es prácticamente inexistente.

Los sectores que presentan una media susceptibilidad también se encuentran distribuidos en casi toda la unidad hidrográfica, donde las pendientes están entre 2 y 5 °. En la siguiente figura, se visualizan las áreas con las dos categorías de susceptibilidad; color azul oscuro, alta susceptibilidad y azul claro, media susceptibilidad.

Figura 17 Susceptibilidad a inundación, unidad hidrográfica del río Nila



Fuente: GAD Municipal de Santo Domingo; MDT 1m 2022. Google Maps 2023.

Elaboración: Económica CIC., 2023

Amenaza por inundación

Los sectores que han sido clasificados con una alta amenaza se hallan distribuidos en toda la unidad hidrográfica donde las pendientes de los terrenos son

menores a 2 grados. Como se indicó anteriormente, en el área de influencia de la avenida Chone, se concentran las áreas con esta categoría de amenaza.

Los sectores que presentan una media amenaza también están distribuidos en toda la unidad hidrográfica, en superficies levemente inclinadas de la ciudad, con pendientes entre 2 y 5 grados, en cuyo interior también existe una gran cantidad de viviendas, calles y avenidas. En el extremo oeste de esta unidad, existen viviendas en estado de precariedad bajo una potencial influencia de esta amenaza.

En la siguiente figura, se presentan las dos categorías de inundación, con color azul oscuro la de alta amenaza y color azul claro, la de media amenaza. Además, se encuentran georreferenciados 13 eventos registrados por la SGR (2010-2022) y un punto crítico identificado por el Gad Municipal.

Figura 18 Amenaza por inundación, unidad hidrográfica del río Nila



Fuente: GAD Municipal de Santo Domingo; MDT 1m 2022. Google Maps 2023.

Elaboración: Económica CIC., 2023

En la siguiente tabla, se presenta el resultado de un análisis para determinar el espesor de capa de agua, tomando como referencia las variables de precipitación y período de retorno utilizados en este estudio.

Tabla 11 Profundidad del espejo de agua

Precipitación en periodo de 5 minutos de intensidad y 2 años de periodo de retorno (cm)	
1 minuto	1.03
20 minutos	4.12
30 minutos	6.18
60 minutos	12.35
120 minutos	24.70

Fuente: Base de datos del proyecto

Elaboración: Económica CIC, 2023

Volumen de agua en la garganta

Un cálculo aproximado del volumen de agua que se acumularía en la garganta del río Nila, tomando en cuenta que el volumen de escorrentía es mayor en la superficie impermeabilizada y que las aguas se concentran con mayor rapidez en la garganta y en un tiempo relativamente corto (Gómez, M., 2007), proporcionó los datos que se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 12 Volumen de agua en un periodo de retorno de 2 años

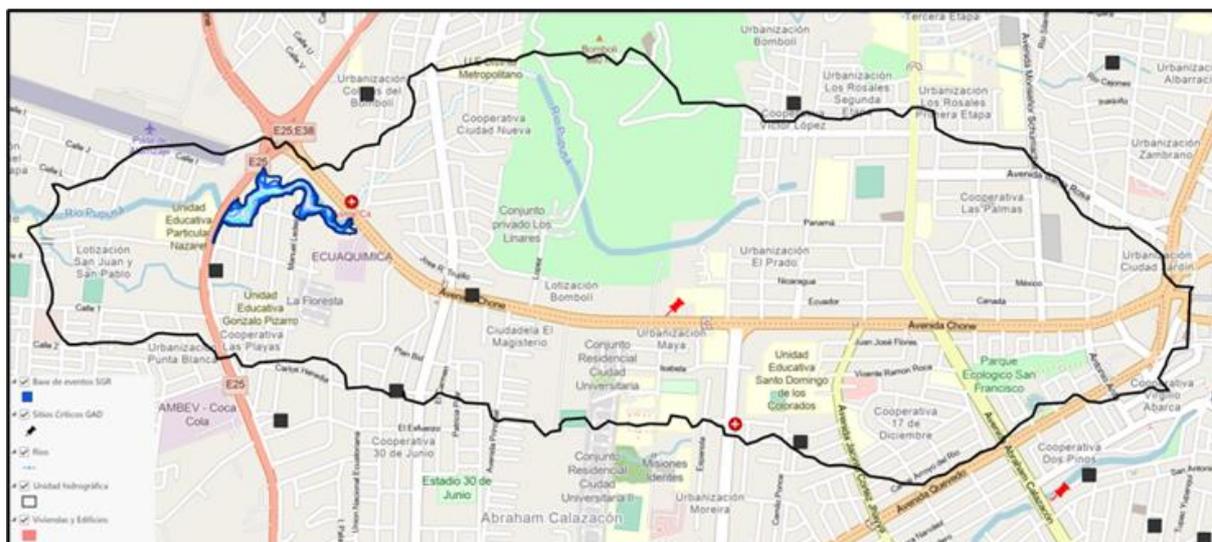
Tiempo en minutos	5	20	30
Volumen de agua acumulada en la garganta (m3)	25,718	102,872	204,767

Fuente: Base de datos del proyecto

Elaboración: Económica CIC, 2023

En la siguiente figura, se aprecia el potencial embalse que se formaría cerca del desfogue del río Nila, cerca de la Unidad Educativa particular Nazaret, bajo un escenario de taponamiento del ducto construido en la vía E25, mientras que en la figura de evolución del potencial volumen de agua, se presenta una ampliación del potencial embalse sobre una imagen satelital (Google Earth, 2023), donde se identifican tres columnas; un código, las cotas y el volumen de agua referido para cada rango de alturas absolutas.

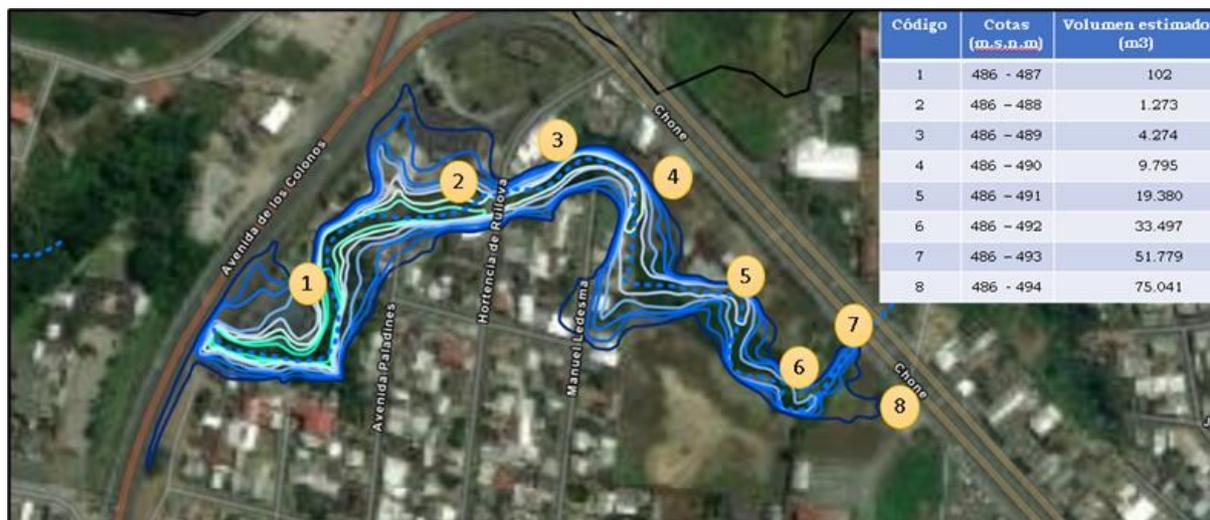
Figura 19 Sector donde potencialmente podría acumularse el agua en la garganta del río Nila



Fuente: GAD Municipal de Santo Domingo; MDT 1m 2022. Google Maps 2023.

Elaboración: Económica CIC., 2023

Figura 20 Evolución del potencial volumen de agua que podría acumularse en la garganta del río Nila



Fuente: Imagen satelital (Google Earth, 2023); Base de datos del proyecto
Elaboración: Económica CIC, 2023

Caudal del río Nila en el sitio de desfogue

En la siguiente tabla, se presenta un cálculo aproximado del caudal del río Nila, tomando en consideración la intensidad de la precipitación en 5 minutos y diferentes períodos de retorno. Es importante destacar que, a lo largo del citado río, existen calles y avenidas con sus respectivos ductos que obstaculizan el normal flujo de las aguas fluviales.

Tabla 13 Caudal del río Nila en función de la intensidad de precipitación y diferentes períodos de retorno

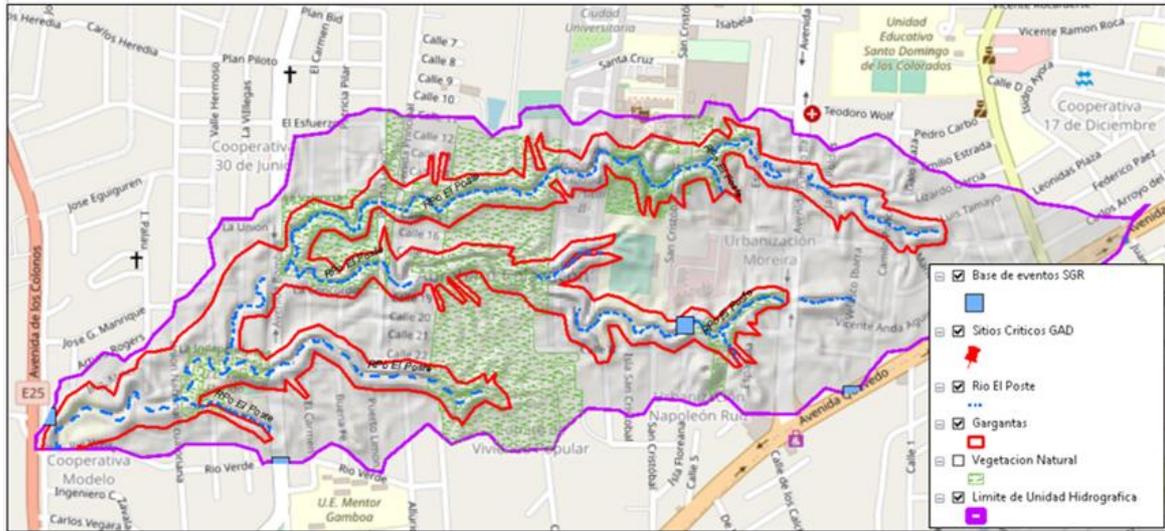
Intensidad de precipitación tiempo 5 minutos mm/h	123.5	149.2	172	207.7	239.6	276.3
Periodo de retorno	2 años	5 años	10 años	25 años	50 años	100 años
Caudal m3/s	78.62	94.98	109.49	132.22	152.53	175.89

Fuente: Base de datos del proyecto
Elaboración: Económica CIC, 2023

Sector priorizado 4, Río El Poste

- ❖ **Ubicación:** Centro occidental de la ciudad; Cooperativa Modelo y Urbanización Moreira
- ❖ Superficie de la UH: 93 Has.
- ❖ Superficie impermeabilizada: 55,8 Has.

Figura 21 Unidad hidrográfica del río El Poste



Fuente: GAD Municipal de Santo Domingo; MDT 1m 2022. Google Maps 2023.

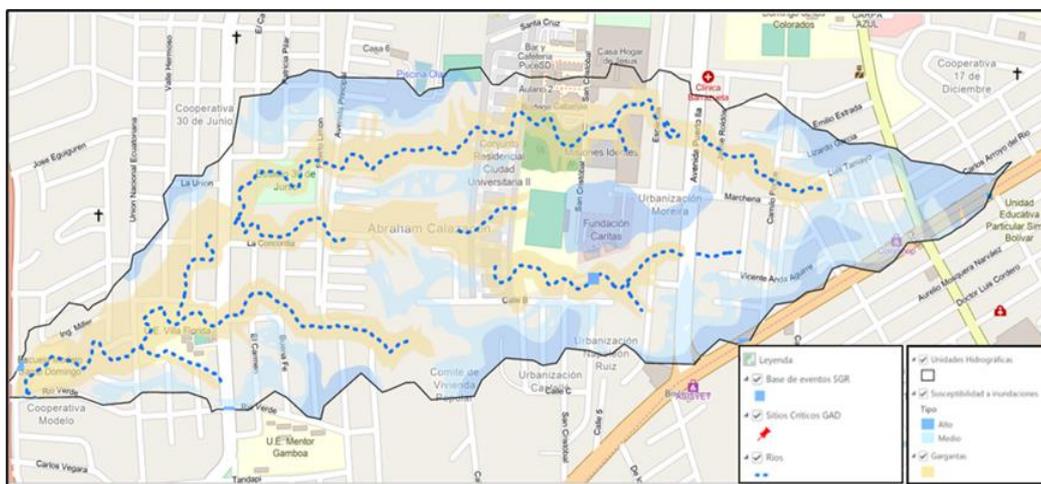
Elaboración: Económica CIC., 2023

Susceptibilidad

Los sectores que presentan una alta susceptibilidad se hallan distribuidos en la parte periférica de la unidad hidrográfica y en la parte central donde está la Urbanización Moreira; en estos terrenos domina la topografía plana, con pendientes menores a 2 ° y donde la cobertura vegetal es prácticamente inexistente.

En cambio, los sectores que presentan una media susceptibilidad están localizados en toda la unidad hidrográfica, a uno y otro lado de las tres gargantas que existen en esta unidad; las pendientes están entre 2 y 5 °. En la siguiente figura, se visualizan las áreas con las dos categorías de susceptibilidad; color azul oscuro, alta susceptibilidad y azul claro, media susceptibilidad.

Figura 22 Susceptibilidad a inundación, unidad hidrográfica del río El Poste



Fuente: GAD Municipal de Santo Domingo; MDT 1m 2022. Google Maps 2023.

Elaboración: Económica CIC., 2023

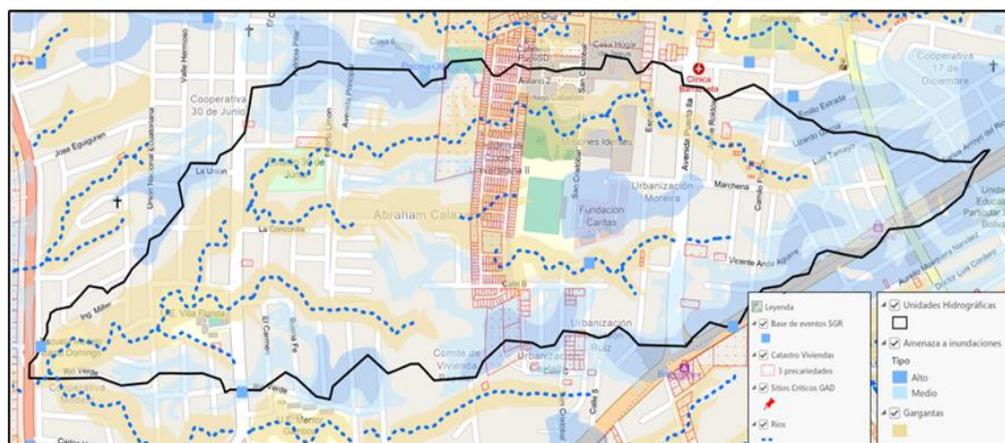
Amenaza por inundación

Los terrenos que han sido identificados con una alta amenaza se localizan en los alrededores de la unidad hidrográfica.

Los sectores que presentan una media amenaza están distribuidos en toda la unidad hidrográfica, en superficies levemente inclinadas de la ciudad, con pendientes entre 2 y 5 grados, en cuyo interior existen viviendas, calles y avenidas. En la parte central de la unidad y formado una franja con dirección norte-sur, se han identificado viviendas en estado de precariedad que estarían bajo una potencial influencia de esta amenaza.

En la siguiente figura, con color azul oscuro está representada la alta amenaza y color azul claro, la media amenaza. Además, se encuentran georreferenciados 4 eventos registrados por la SGR (2010-2022).

Figura 23 Amenaza por inundación, unidad hidrográfica del río El Poste



Fuente: GAD Municipal de Santo Domingo; MDT 1m 2022. Google Maps 2023.

Elaboración: Económica CIC., 2023

En la siguiente tabla, se presenta el resultado de un análisis para determinar el espesor del espejo de agua, tomando como referencia las variables de precipitación y período de retorno utilizados en este estudio.

Tabla 14 Profundidad del espejo de agua

Precipitación en periodo de 5 minutos de intensidad y 2 años de periodo de retorno (cm)	
1 minuto	1.03
20 minutos	4.12
30 minutos	6.18
60 minutos	12.35
120 minutos	24.70

Fuente: Base de datos del proyecto

Elaboración: Económica CIC., 2023

Volumen de agua en la garganta

Un cálculo aproximado del volumen de agua que se acumularía en la garganta del río El Poste, tomando en cuenta que el volumen de escorrentía es mayor en la superficie impermeabilizada y que las aguas se concentran con mayor rapidez en la garganta (Gómez, M., 2007), proporcionó los datos que se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 15 Volumen de agua en un periodo de retorno de 2 años

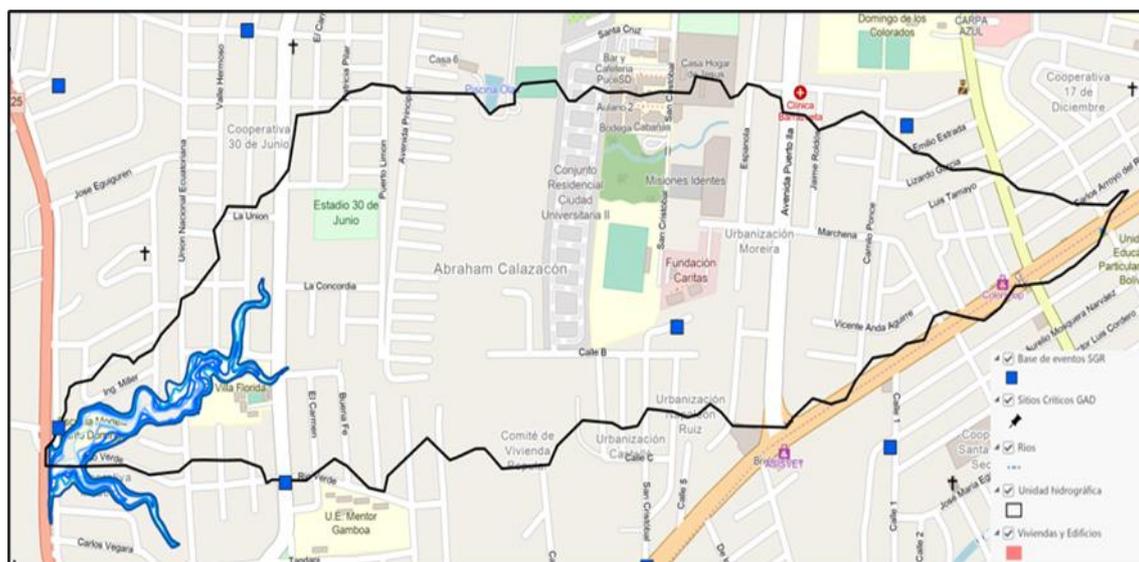
Tiempo en minutos	5	20	30
Volumen de agua acumulada en la garganta (m3)	7,319	29,277	57,883

Fuente: Base de datos del proyecto

Elaboración: Económica CIC, 2023

En la siguiente figura, se observa el potencial embalse que se formaría cerca del desfogue del río El Poste, cerca de la Escuela Modelo Santo Domingo, bajo un escenario de taponamiento del ducto construido en la vía E25, mientras que en la figura de evolución del potencial volumen de agua, se presenta una ampliación del potencial embalse sobre una imagen satelital (Google Earth, 2023), donde se identifican tres columnas; un código, las cotas y el volumen de agua referido para cada rango de alturas absolutas.

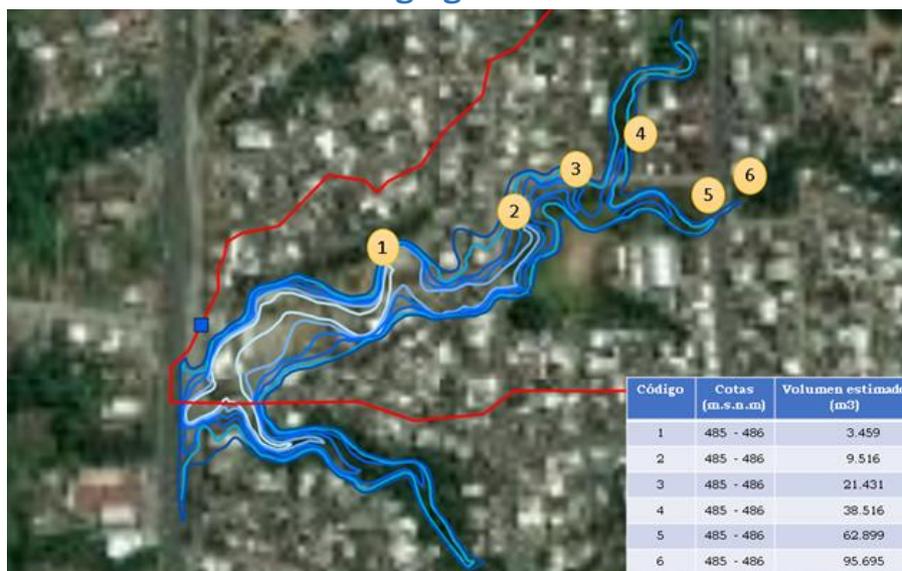
Figura 24 Sector donde potencialmente podría acumularse el agua en la garganta del río El Poste



Fuente: GAD Municipal de Santo Domingo; MDT 1m 2022. Google Maps 2023.

Elaboración: Económica CIC., 2023

Figura 25 Evolución del potencial volumen de agua que podría acumularse en la garganta



Fuente: Imagen satelital (Google Earth, 2023); Base de datos del proyecto

Elaboración: Económica CIC, 2023

Caudal del río El Poste en el sitio de desfogue

En la siguiente tabla, se presenta un cálculo aproximado del caudal del río El Poste, tomando en consideración la intensidad de la precipitación en 5 minutos y diferentes períodos de retorno. Es importante destacar que, a lo largo del citado río, existen calles y avenidas con sus respectivos ductos que obstaculizan el normal flujo de las aguas fluviales.

Tabla 16 Caudal del río El Poste en función de la intensidad de precipitación y diferentes períodos de retorno

Intensidad de precipitación tiempo 5 minutos mm/h	123.5	149.2	172	207.7	239.6	276.3
Periodo de retorno	2 años	5 años	10 años	25 años	50 años	100 años
Caudal m3/s	22.36	27.02	31.14	37.61	43.39	50.03

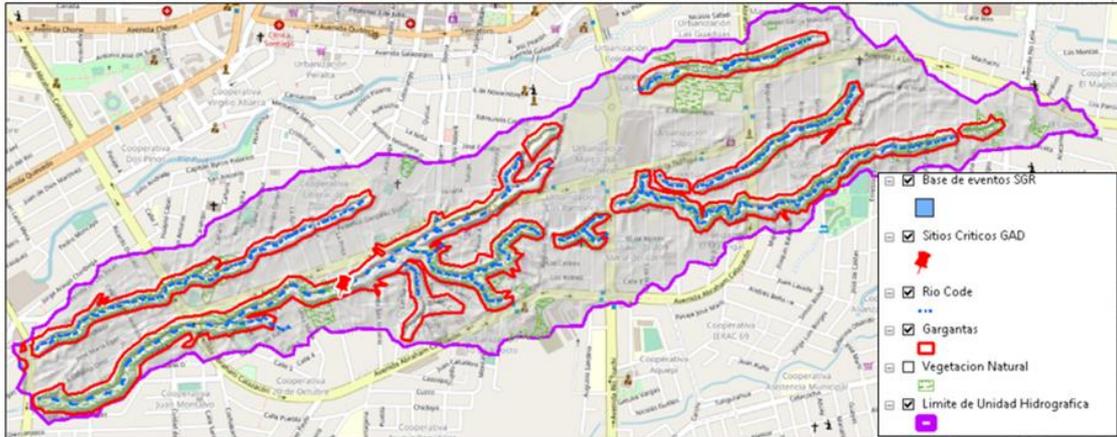
Fuente: Base de datos del proyecto

Elaboración: Económica CIC, 2023

Sector priorizado 5, Río Code 1

- ❖ **Ubicación:** Parte central de la ciudad; Cooperativas: Liberación Popular y 11 de Abril; Urbanizaciones: Marco Tulio Pacheco, Los Pambiles, María del Carmen, El Madrigal y Dilpo, entre otras.
- ❖ Superficie de la UH: 191 Has.
- ❖ **Superficie impermeabilizada:** 175,72 Has.

Figura 26 Unidad hidrográfica del río Code 1



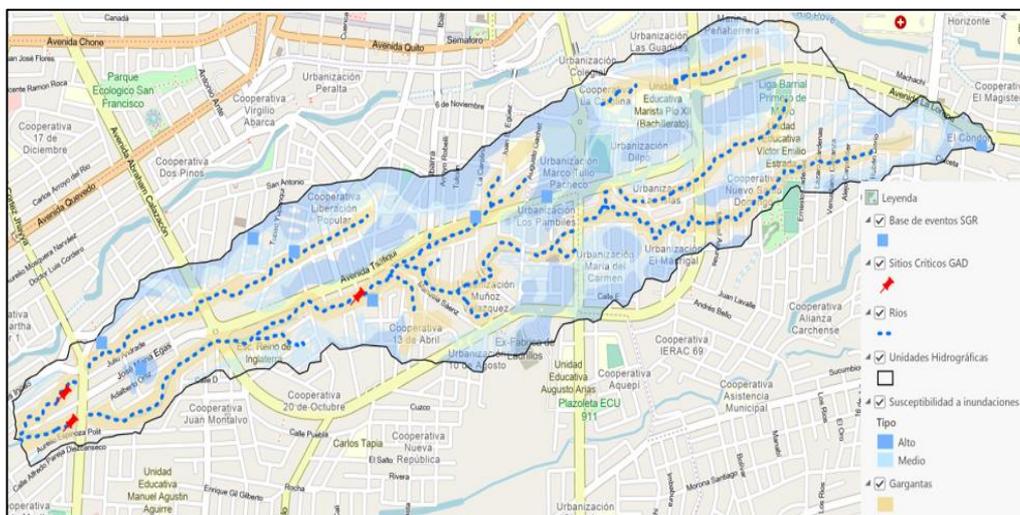
Fuente: GAD Municipal de Santo Domingo; MDT 1m 2022. Google Maps 2023.
Elaboración: Económica CIC., 2023

Susceptibilidad a inundación

Los terrenos que presentan una alta susceptibilidad se hallan distribuidos en la parte central y este de la unidad hidrográfica donde se encuentran las urbanizaciones: Marco Tulio Pacheco, Dilpo, María del Carmen y El Madrigal, principalmente; en estos sectores domina la topografía plana, con pendientes menores a 2 grados.

En cambio, los sectores que presentan una media susceptibilidad están localizados en toda la unidad hidrográfica y donde las pendientes varían entre 2 y 5 °. En la siguiente figura, se visualizan las áreas con las dos categorías de susceptibilidad; color azul oscuro, alta susceptibilidad y azul claro, media susceptibilidad.

Figura 27 Susceptibilidad a inundación, unidad hidrográfica del río Code 1



Fuente: GAD Municipal de Santo Domingo; MDT 1m 2022. Google Maps 2023.
Elaboración: Económica CIC., 2023

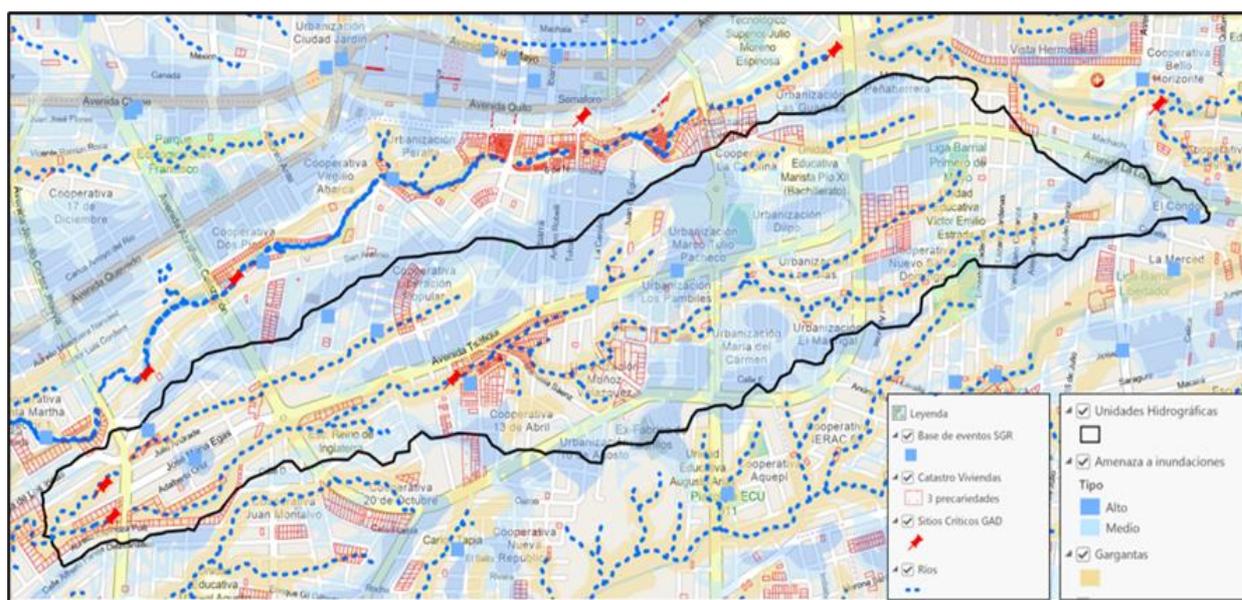
Amenaza por inundación

Los terrenos que han sido identificados con una alta amenaza se localizan en la parte central y este de la unidad hidrográfica. Las viviendas en estado de precariedad asociadas con esta categoría de amenaza están en la cooperativa Liberación Popular.

Asimismo, los terrenos que presentan una media amenaza están distribuidos en toda la unidad hidrográfica, en superficies levemente inclinadas de la ciudad, con pendientes entre 2 y 5 grados, en cuyo interior existen viviendas en estado de precariedad, como es el caso de las que se encuentran en las urbanizaciones: Marco Tulio Pacheco, María del Carmen, Muñoz Velásquez, cooperativas: 13 de Abril y Nuevo Santo Domingo y Liga Barrial Primero de Mayo.

En la siguiente figura, con color azul oscuro está representada la alta amenaza y color azul claro, la media amenaza. Además, se encuentran georreferenciados 8 eventos registrados por la SGR (2010-2022) y 3 sitios considerados como críticos por parte del Gad Municipal.

Figura 28 Amenaza por inundación, unidad hidrográfica del río Code 1



Fuente: GAD Municipal de Santo Domingo; MDT 1m 2022. Google Maps 2023.

Elaboración: Económica CIC., 2023

En la siguiente tabla, se presenta el resultado de un análisis para determinar el espesor del espejo de agua, tomando como referencia las variables de precipitación y período de retorno utilizados en este estudio, recordando siempre que estos valores pueden aumentar significativamente, como ya se ha explicado con anterioridad.

Tabla 17 Profundidad del espejo de agua

Precipitación en periodo de 5 minutos de intensidad y 2 años de periodo de retorno (cm)	
1 minuto	1.03
20 minutos	4.12
30 minutos	6.18
60 minutos	12.35
120 minutos	24.70

Fuente: Base de datos del proyecto

Elaboración: Económica CIC, 2023

Volumen de agua en la garganta

Un cálculo aproximado del volumen de agua que se acumularía en la garganta del río Code 1, tomando en cuenta que el volumen de escorrentía es mayor en la superficie impermeabilizada y que las aguas se concentran con mayor rapidez en la garganta (Gómez, M., 2007), proporcionó los datos que se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 18 Volumen de agua en un periodo de retorno de 2 años

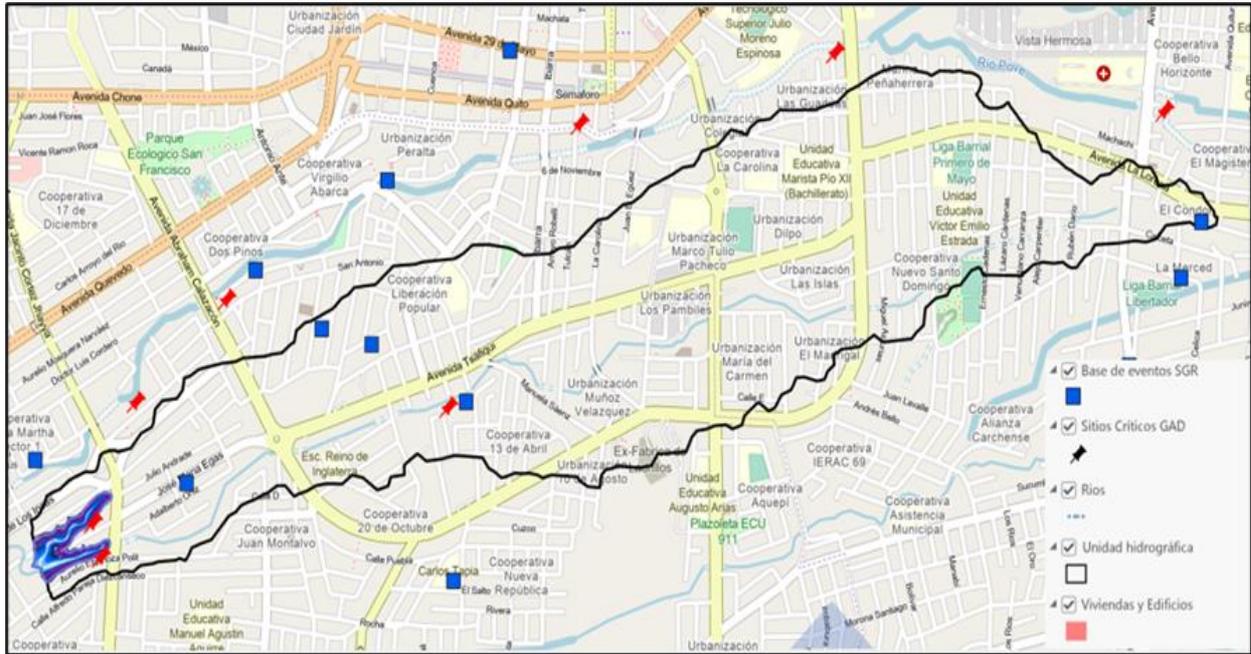
Tiempo en minutos	5	20	30
Volumen de agua acumulada en la garganta (m3)	18,284	73,137	124,202

Fuente: Base de datos del proyecto

Elaboración: Económica CIC, 2023

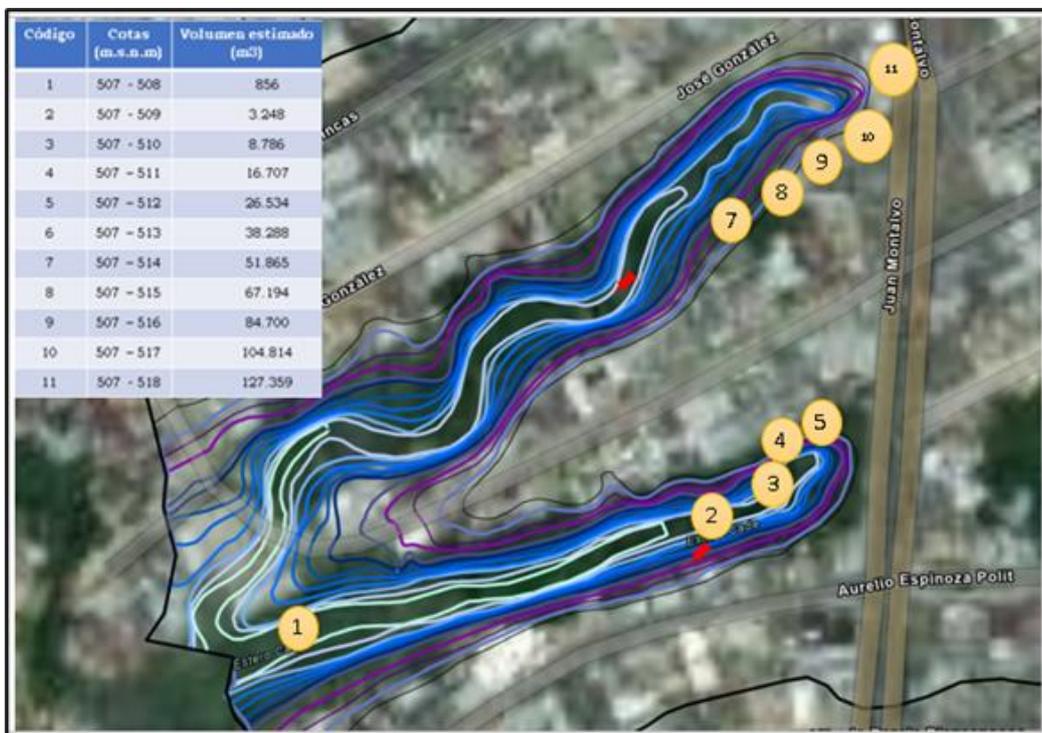
En la siguiente figura, se observa el potencial embalse que se formaría entre el sitio de desfogue del río Code 1 y la avenida Jacinto Cortez Jhayra, bajo un escenario de taponamiento del ducto construido en sitio de desfogue, mientras que en la figura de evolución del potencial volumen de agua, se presenta una ampliación del potencial embalse sobre una imagen satelital (Google Earth, 2023), donde se identifican tres columnas; un código, las cotas y el volumen de agua referido para cada rango de alturas absolutas.

Figura 29 Sector donde potencialmente podría acumularse el agua en la garganta del río El Poste



Fuente: GAD Municipal de Santo Domingo; MDT 1m 2022. Google Maps 2023.
Elaboración: Económica CIC., 2023

Figura 30 Evolución del potencial volumen de agua que podría acumularse en la garganta del río Code 1



Fuente: GAD Municipal de Santo Domingo; MDT 1m 2022. Google Maps 2023.
Elaboración: Económica CIC., 2023

Caudal del río Code 1 en el sitio de desfogue

En la siguiente tabla, se presenta un cálculo aproximado del caudal del río Code 1, tomando en consideración la intensidad de la precipitación en 5 minutos y diferentes períodos de retorno. Es importante destacar que, a lo largo del citado río, existen calles y avenidas con sus respectivos ductos que obstaculizan el normal flujo de las aguas fluviales.

Tabla 19 Caudal del río Code 1 en función de la intensidad de precipitación y diferentes períodos de retorno

Intensidad de precipitación tiempo 5 minutos mm/h	123.5	149.2	172	207.7	239.6	276.3
Periodo de retorno	2 años	5 años	10 años	25 años	50 años	100 años
Caudal m3/s	55.30	66.81	77.02	93.00	107.29	123.72

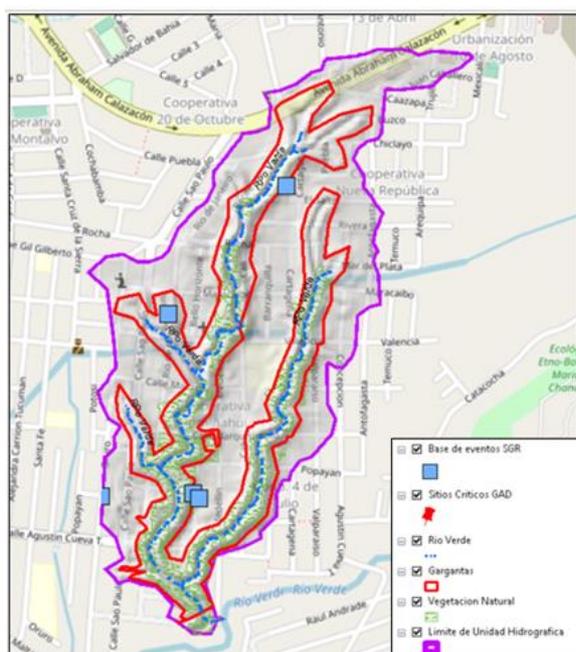
Fuente: Base de datos del proyecto

Elaboración: Económica CIC, 2023

Sector priorizado 6, Río Verde 1

- ❖ **Ubicación:** Centro sur de la ciudad; las Cooperativas son: Rumiñahui y República
- ❖ Superficie de la UH: 48 Has.
- ❖ Superficie impermeabilizada: 43,2 Has.

Figura 31 Unidad hidrográfica del río Verde



Fuente: GAD Municipal de Santo Domingo; MDT 1m 2022. Google Maps 2023.

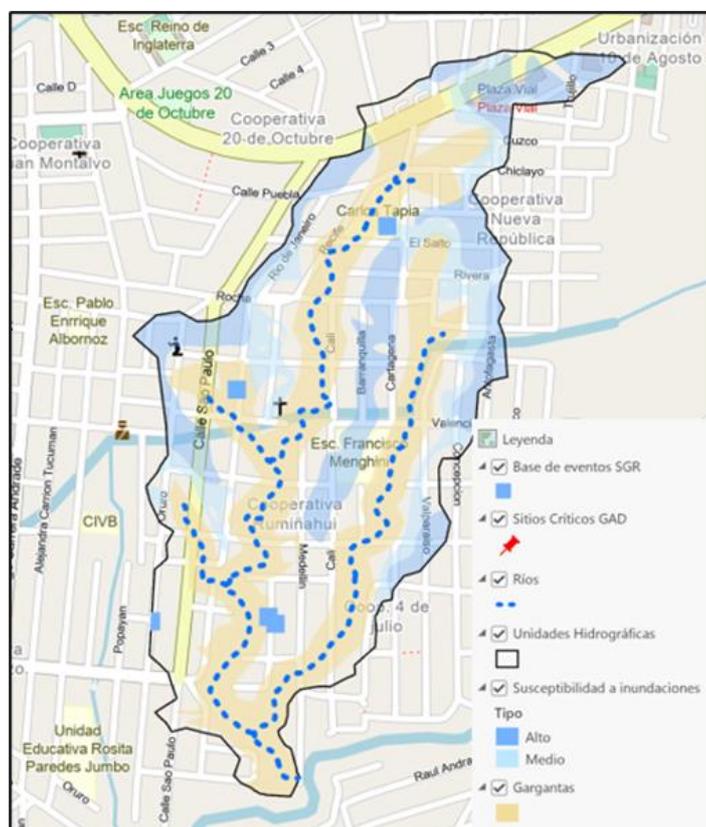
Elaboración: Económica CIC., 2023

Susceptibilidad

Los sectores que presentan una alta susceptibilidad se localizan en la parte oeste, norte y este de la unidad hidrográfica y entre las dos gargantas que existen en su interior. En estos terrenos domina la topografía plana, con pendientes menores a 2 grados.

En cambio, los sectores que presentan una media susceptibilidad se hallan principalmente en la parte norte y este de la unidad hidrográfica y donde las pendientes varían entre 2 y 5 °. En la siguiente figura, se visualizan las áreas con las dos categorías de susceptibilidad; color azul oscuro, alta susceptibilidad y azul claro, media susceptibilidad.

Figura 32 Susceptibilidad a inundación, unidad hidrográfica del río Verde 1



Fuente: GAD Municipal de Santo Domingo; MDT 1m 2022. Google Maps 2023.

Elaboración: Económica CIC., 2023

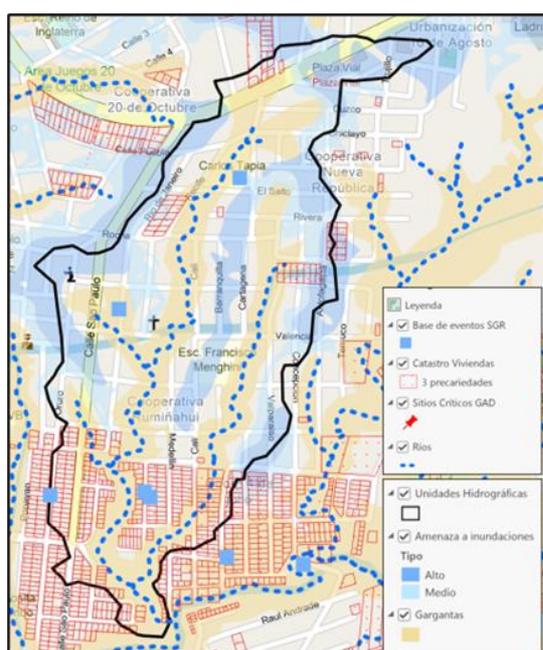
Amenaza

Igual que en el caso de la susceptibilidad, los terrenos que han sido identificados con una alta amenaza se localizan en la parte oeste, norte y este de la unidad hidrográfica. Pocas viviendas en estado de precariedad asociadas con esta categoría de amenaza están en la parte oriental.

Por otro lado, los terrenos que presentan una media amenaza están distribuidos en toda la unidad hidrográfica, en superficies levemente inclinadas de la ciudad, con pendientes entre 2 y 5 grados; también muy pocas viviendas en estado de precariedad (parte oriental) podrían ser afectadas por esta categoría de amenaza.

En la siguiente figura, con color azul oscuro está indicada la alta amenaza y color azul claro, la media amenaza. Además, se encuentran georreferenciados 5 eventos registrados por la SGR (2010-2022).

Figura 33 Amenaza por inundación, unidad hidrográfica del río Verde 1



Fuente: GAD Municipal de Santo Domingo; MDT 1m 2022. Google Maps 2023.

Elaboración: Económica CIC., 2023

En la siguiente tabla, se presenta el resultado de un análisis para determinar el espesor del espejo de agua, tomando como referencia las variables de precipitación y período de retorno utilizados en este estudio y cuyos valores pueden aumentar significativamente, como ya se ha explicado con anterioridad.

Tabla 20 Profundidad del espejo de agua

Precipitación en periodo de 5 minutos de intensidad y 2 años de periodo de retorno (cm)	
1 minuto	1.03
20 minutos	4.12
30 minutos	6.18
60 minutos	12.35
120 minutos	24.70

Fuente: Base de datos del proyecto

Elaboración: Económica CIC, 2023

Volumen de agua en la garganta

Un cálculo aproximado del volumen de agua que se acumularía en la garganta del río Verde 1, tomando en cuenta que el volumen de escorrentía es mayor en la superficie impermeabilizada y que las aguas se concentran con mayor rapidez en la garganta (Gómez, M., 2007), proporcionó los datos que se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 21 Volumen de agua en un periodo de retorno de 2 años

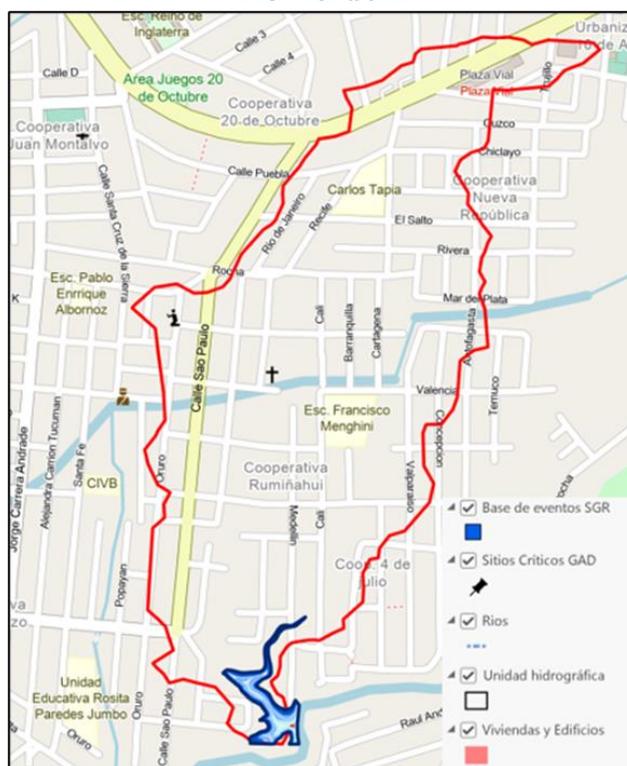
Tiempo en minutos	5	20	30
Volumen de agua acumulada en la garganta (m3)	4,212	16,847	30,105

Fuente: Base de datos del proyecto

Elaboración: Económica CIC, 2023

En la siguiente figura, se observa el potencial embalse que se formaría entre el sitio de desfogue del río Verde 1, bajo un escenario de taponamiento del ducto construido en sitio de desfogue, mientras que en la figura de la evolución del potencial volumen de agua, se presenta una ampliación del potencial embalse sobre una imagen satelital (Google Earth, 2023), donde se identifican tres columnas; un código, las cotas y el volumen de agua referido para cada rango de alturas absolutas.

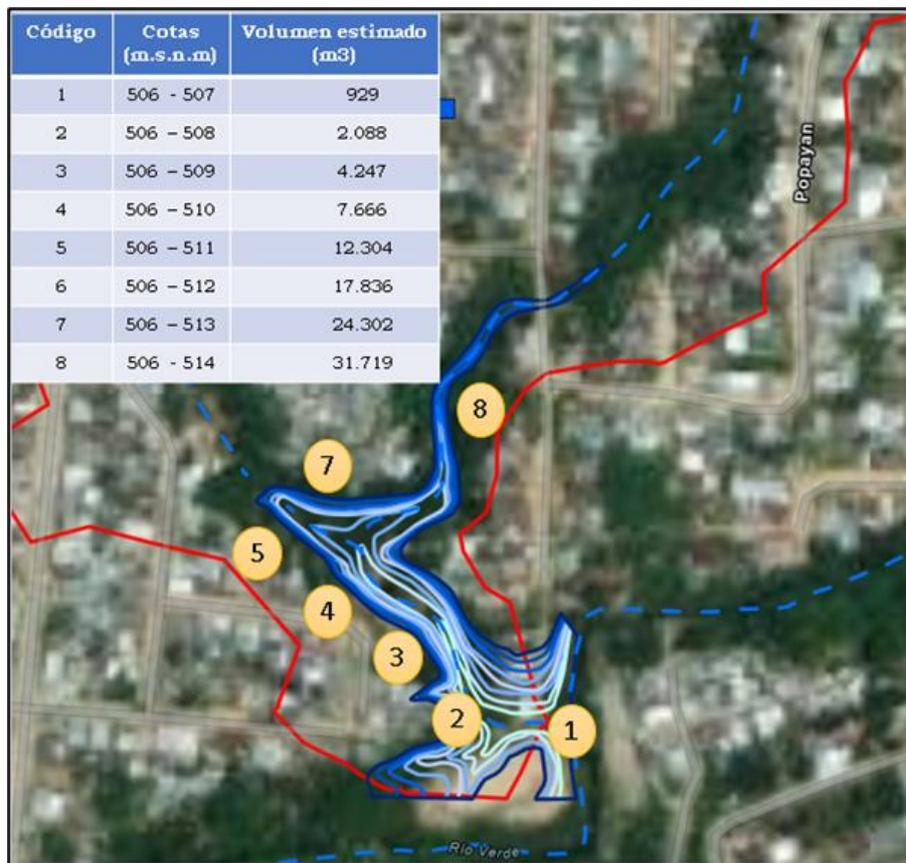
Figura 34 Sector donde potencialmente podría acumularse el agua en la garganta del río Verde 1



Fuente: GAD Municipal de Santo Domingo; MDT 1m 2022. Google Maps 2023.

Elaboración: Económica CIC., 2023

Figura 35 Evolución del potencial volumen de agua que podría acumularse en la garganta del río Verde 1



Fuente: GAD Municipal de Santo Domingo; MDT 1m 2022. Google Maps 2023.

Elaboración: Económica CIC., 2023

Caudal del río Verde 1 en el sitio de desfogue

En la siguiente tabla, se presenta un cálculo aproximado del caudal del río Verde 1, tomando en consideración la intensidad de la precipitación en 5 minutos y diferentes periodos de retorno. Es importante destacar que, a lo largo del citado río, existen calles y avenidas con sus respectivos ductos que obstaculizan el normal flujo de las aguas fluviales.

Tabla 22 Caudal del río Verde 1 en función de la intensidad de precipitación y diferentes periodos de retorno

Intensidad de precipitación tiempo 5 minutos mm/h	123.5	149.2	172	207.7	239.6	276.3
Periodo de retorno	2 años	5 años	10 años	25 años	50 años	100 años
Caudal m3/s	12.78	15.44	17.80	21.49	24.79	28.59

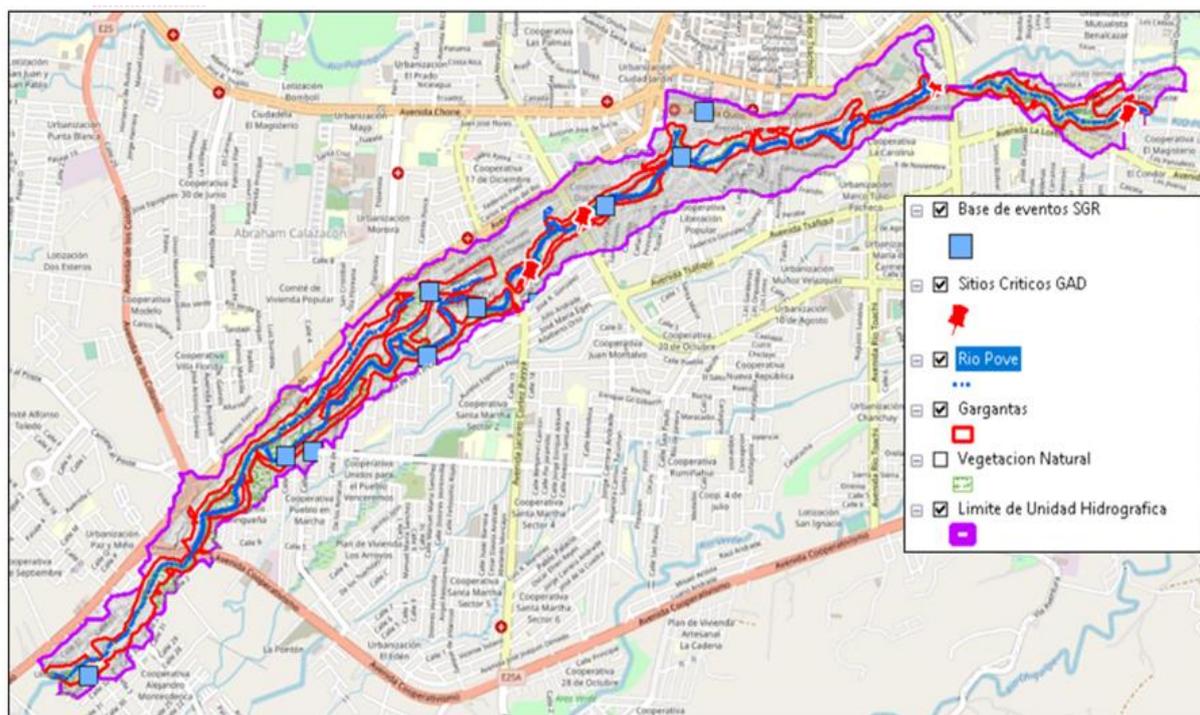
Fuente: Base de datos del proyecto

Elaboración: Económica CIC, 2023

Sector priorizado 7, Río Pove

- ❖ Código de la Unidad Hidrográfica: V 54
- ❖ **Ubicación:** Centro de la ciudad; Cooperativas: Alejandro Montesdeoca, Pueblo en Marcha, Liberación Popular, La Carolina y El magisterio.
- ❖ Superficie de la UH: 258 Has.
- ❖ Superficie impermeabilizada: 245,1 Has.

Figura 36 Unidad hidrográfica del río Pove



Fuente: GAD Municipal de Santo Domingo; MDT 1m 2022. Google Maps 2023.

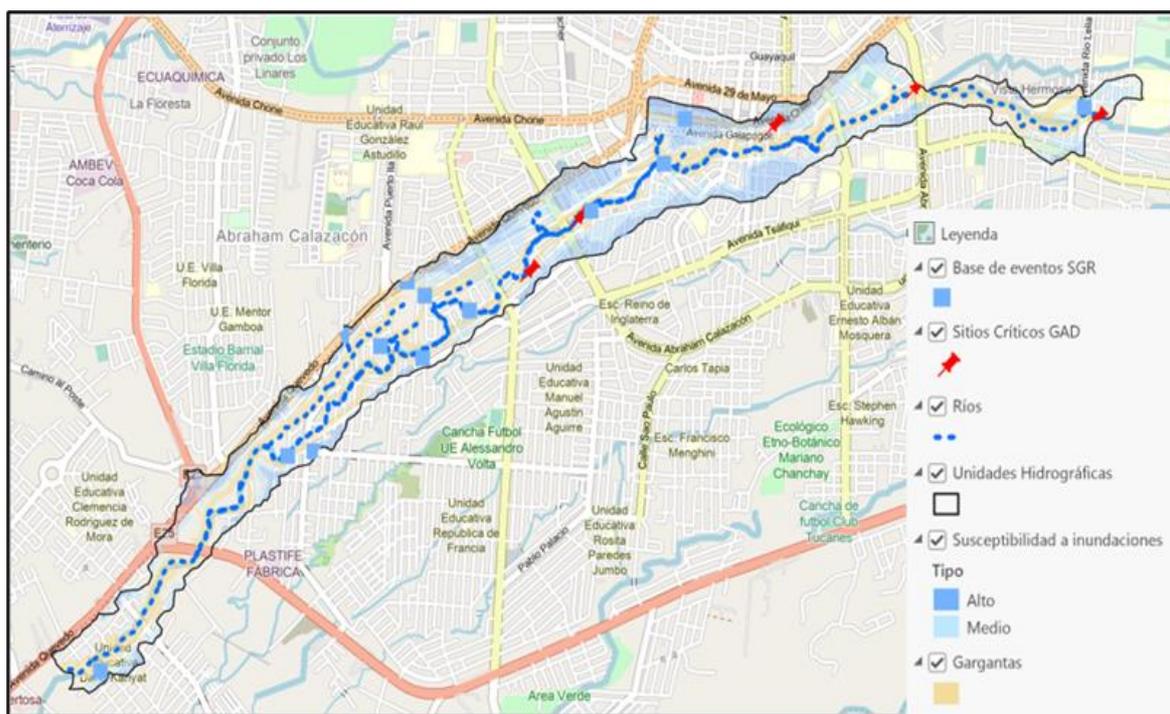
Elaboración: Económica CIC., 2023

Susceptibilidad

Los sectores que presentan una alta susceptibilidad a inundación se encuentran al norte de la avenida Galápagos y al sur de la garganta en esta misma parte de la unidad. En estos terrenos domina la topografía plana, con pendientes menores a 2 grados.

Por otro lado, los terrenos que presentan una media susceptibilidad se hallan distribuidos en toda la unidad, principalmente en la parte central y este, donde las pendientes varían entre 2 y 5 °. En la siguiente figura, se visualizan las áreas con las dos categorías de susceptibilidad; color azul oscuro, alta susceptibilidad y azul claro, media susceptibilidad.

Figura 37 Susceptibilidad a inundación, unidad hidrográfica del río Pove



Fuente: GAD Municipal de Santo Domingo; MDT 1m 2022. Google Maps 2023.

Elaboración: Económica CIC., 2023

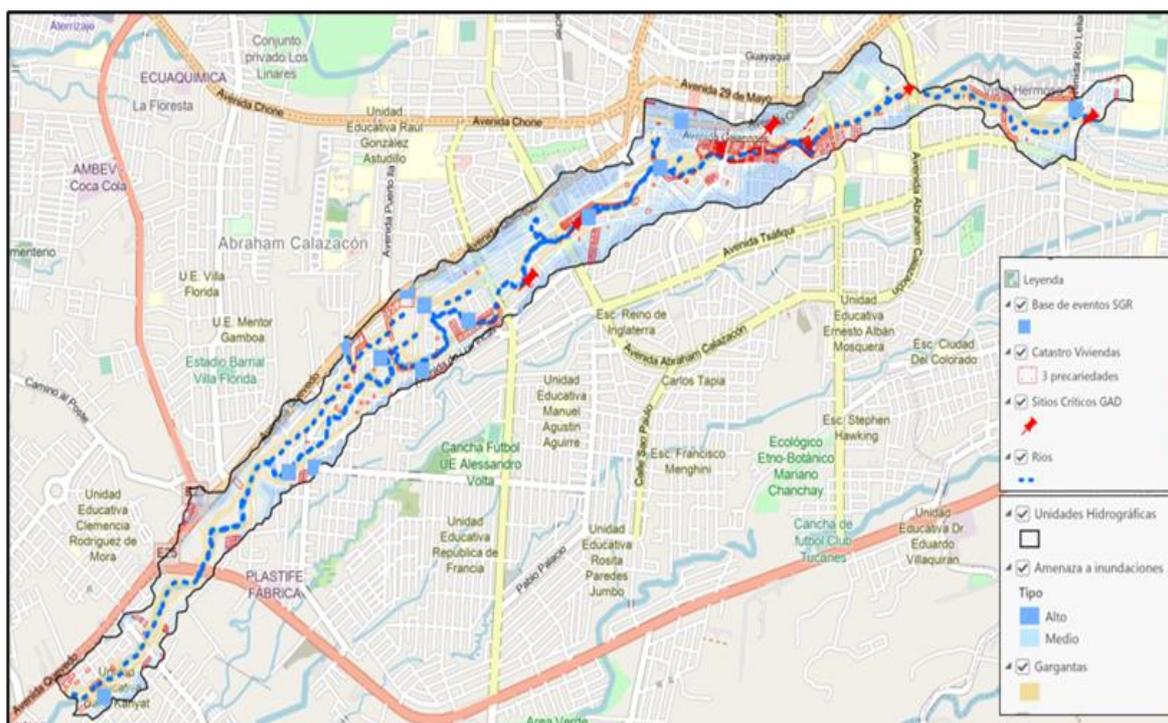
Amenaza por inundación

Los terrenos cartografiados con una alta amenaza se localizan en el sector de la avenida Galápagos. Pocas viviendas en estado de precariedad están asociadas con esta categoría de amenaza.

En cambio, los terrenos que presentan una media amenaza están distribuidos en toda la unidad hidrográfica. Viviendas en estado de precariedad asociadas con esta categoría de amenaza, se hallan de forma dispersa en toda la unidad.

En la siguiente figura, con color azul oscuro está indicada la alta amenaza y color azul claro, la media amenaza. Además, se encuentran georreferenciados 13 eventos registrados por la SGR (2010-2022) y 5 sitios considerados como críticos por parte del Gad Municipal.

Figura 38 Amenaza por inundación, unidad hidrográfica del río Pove



Fuente: GAD Municipal de Santo Domingo; MDT 1m 2022. Google Maps 2023.

Elaboración: Económica CIC., 2023

En la siguiente tabla, se presenta el resultado de un análisis para determinar el espesor del espejo de agua, tomando como referencia las variables de precipitación y período de retorno utilizados en este estudio y cuyos valores pueden aumentar significativamente, como ya se ha explicado con anterioridad.

Tabla 23 Profundidad del espejo de agua

Precipitación en periodo de 5 minutos de intensidad y 2 años de periodo de retorno (cm)	
1 minuto	1.03
20 minutos	4.12
30 minutos	6.18
60 minutos	12.35
120 minutos	24.70

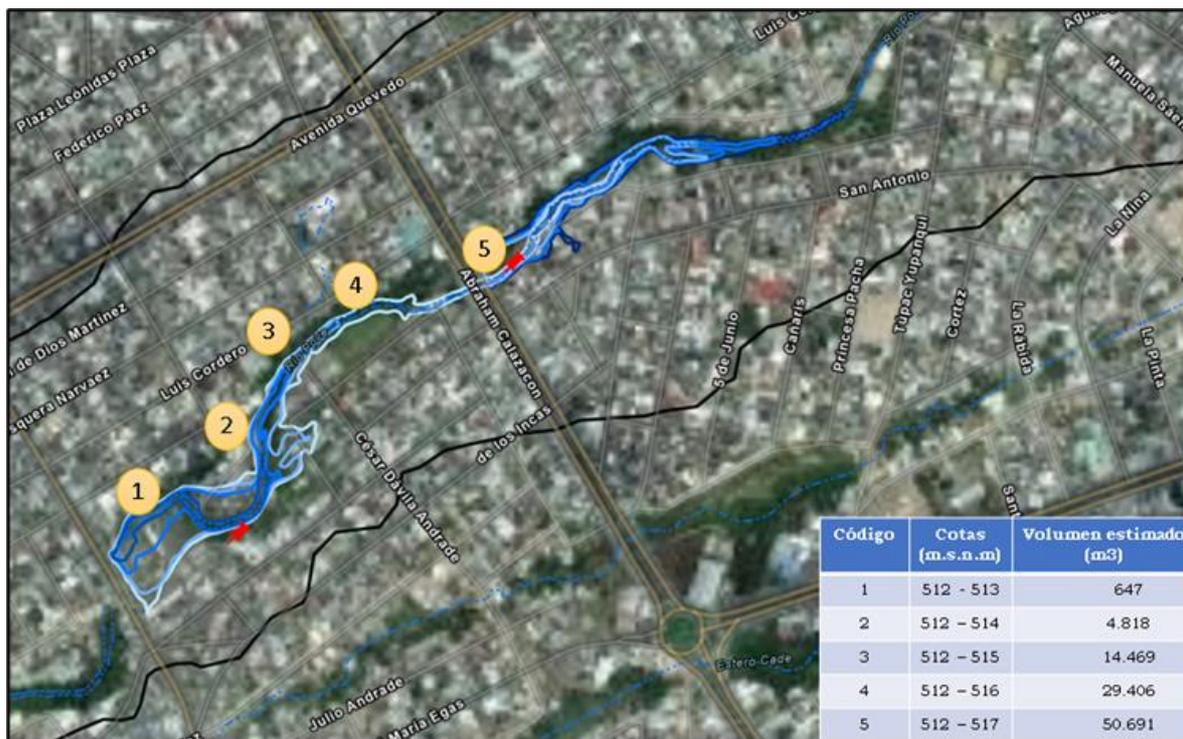
Fuente: Base de datos del proyecto

Elaboración: Económica CIC, 2023

Volumen de agua en la garganta

Un cálculo aproximado del volumen de agua que se acumularía en la garganta del río Pove, tomando en cuenta que el volumen de escorrentía es mayor en la superficie impermeabilizada y que las aguas se concentran con mayor rapidez en la garganta (Gómez, M., 2007), proporcionó los datos que se presentan en la siguiente tabla.

Figura 40 Evolución del potencial volumen de agua que podría acumularse en la garganta del río Pove



Fuente: GAD Municipal de Santo Domingo; MDT 1m 2022. Google Maps 2023.

Elaboración: Económica CIC., 2023

Caudal

En la siguiente tabla, se presenta un cálculo aproximado del caudal del río Pove, en la confluencia con la avenida Jacinto Cortes y Abraham Calazacón, tomando en consideración la intensidad de la precipitación en 5 minutos y diferentes períodos de retorno. Es importante destacar que, a lo largo del citado río, existen calles y avenidas con sus respectivos ductos que obstaculizan el normal flujo de las aguas fluviales.

Tabla 25 Caudal del río Pove en función de la intensidad de precipitación y diferentes períodos de retorno

Intensidad de precipitación tiempo 5 minutos mm/h	123.5	149.2	172	207.7	239.6	276.3
Periodo de retorno	2 años	5 años	10 años	25 años	50 años	100 años
Caudal m3/s	67.85	81.97	94.49	114.10	131.63	151.79

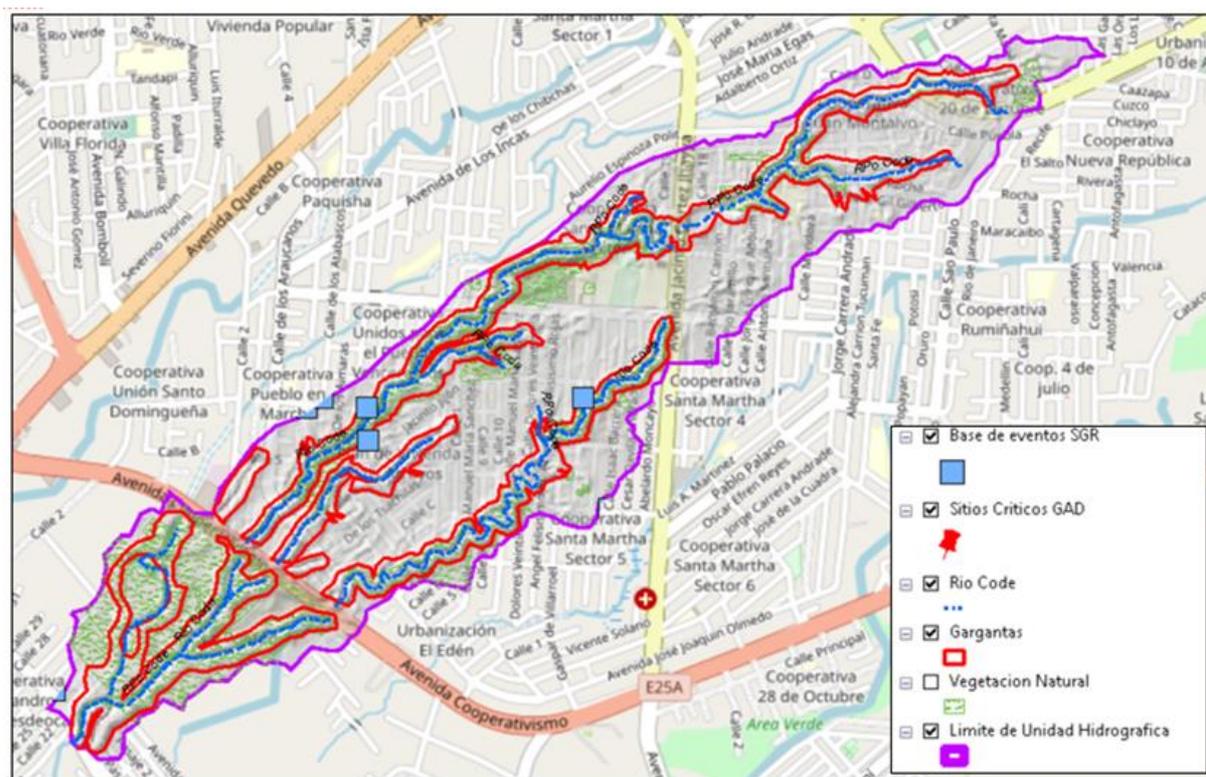
Fuente: Base de datos del proyecto

Elaboración: Económica CIC, 2023

Sector priorizado 8, Río Code 2

- ❖ **Ubicación:** Suroeste de la ciudad; Cooperativas: Unidos por el Pueblo Venceremos y Santa Martha; Urbanización El Edén.
- ❖ Superficie de la UH: 188 Has.
- ❖ Superficie impermeabilizada: 169,2 Has.

Figura 41 Unidad hidrográfica del río Code 2



Fuente: GAD Municipal de Santo Domingo; MDT 1m 2022. Google Maps 2023.

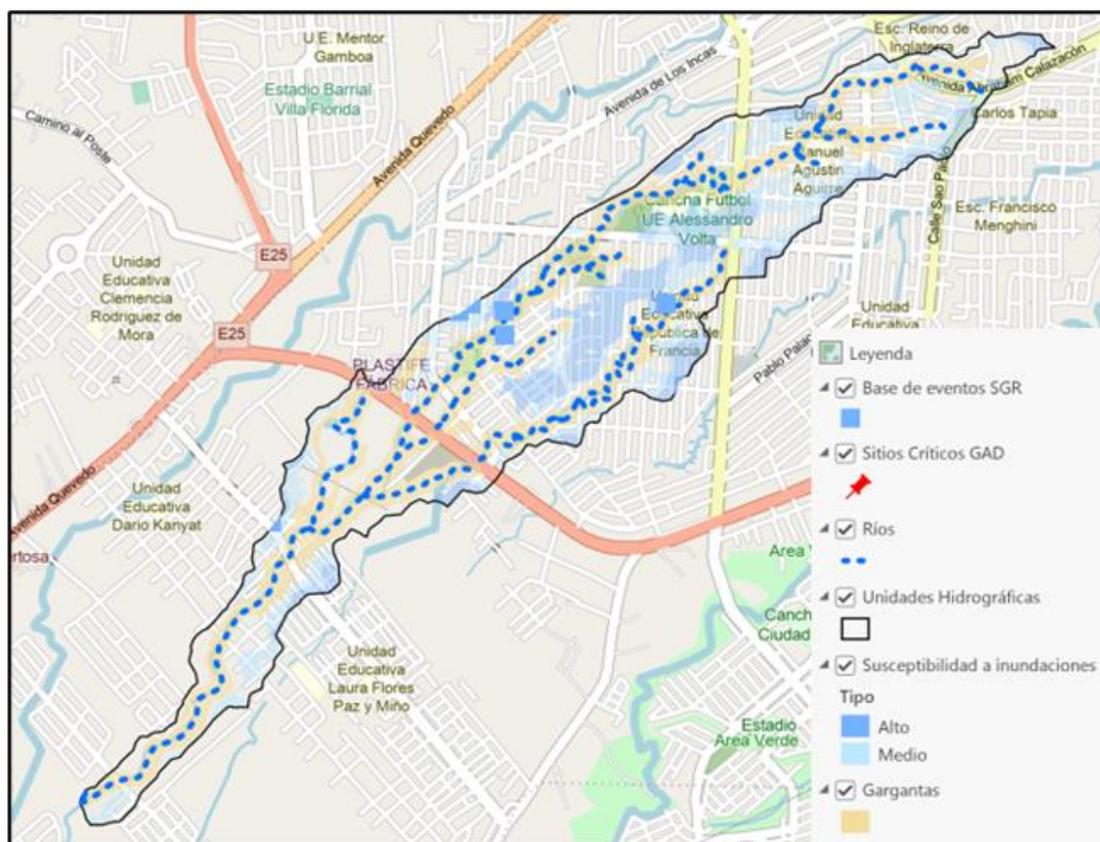
Elaboración: Económica CIC., 2023

Susceptibilidad a inundación

Los terrenos que presentan una alta susceptibilidad a inundación se encuentran en la parte central de la unidad hidrográfica. En estos terrenos domina la topografía plana, con pendientes menores a 2 grados.

Asimismo, los terrenos que presentan una media susceptibilidad se hallan distribuidos en toda la unidad, donde las pendientes varían entre 2 y 5 °. En la siguiente figura, se visualizan las áreas con las dos categorías de susceptibilidad; color azul oscuro, alta susceptibilidad y azul claro, media susceptibilidad.

Figura 42 Susceptibilidad a inundación, unidad hidrográfica del río Code 2



Fuente: GAD Municipal de Santo Domingo; MDT 1m 2022. Google Maps 2023.

Elaboración: Económica CIC., 2023

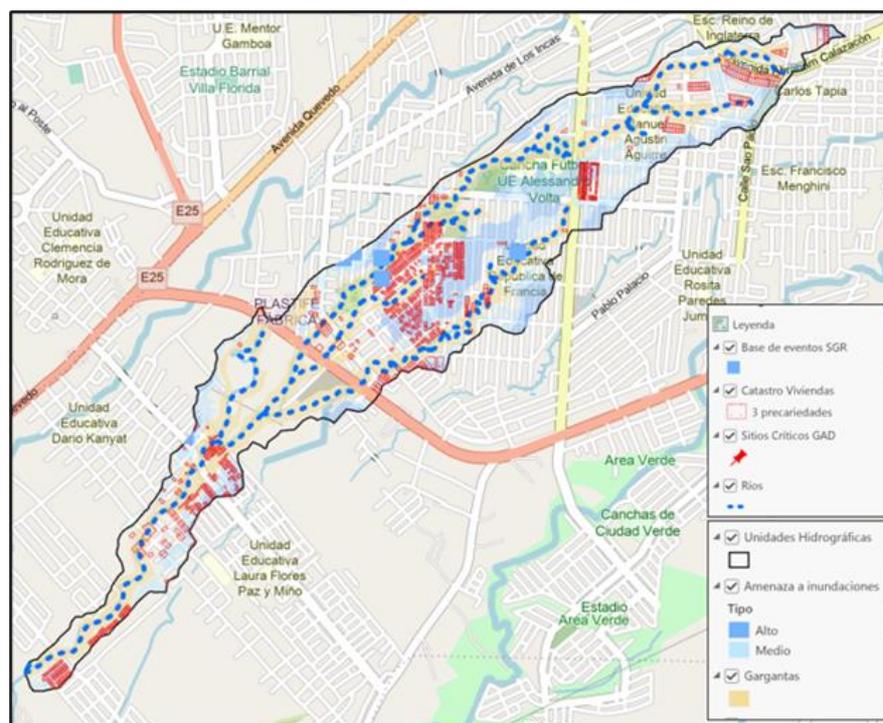
Amenaza por inundación

Los terrenos identificados con una alta amenaza se localizan en la parte central. Varias viviendas en estado de precariedad están asociadas con esta categoría de amenaza, como se puede observar en la siguiente figura.

En cambio, los terrenos que presentan una media amenaza están distribuidos en toda la unidad hidrográfica, en superficies levemente inclinadas de la ciudad, con pendientes entre 2 y 5 grados. También existen viviendas en estado de precariedad asociadas con esta categoría de amenaza.

En la siguiente figura, con color azul oscuro está indicada la alta amenaza y color azul claro, la media amenaza. Además, se encuentran georreferenciados 5 eventos registrados por la SGR (2010-2022).

Figura 43 Amenaza por inundación, unidad hidrográfica del río Code 2



Fuente: GAD Municipal de Santo Domingo; MDT 1m 2022. Google Maps 2023.

Elaboración: Económica CIC., 2023

En la siguiente tabla, se presenta el resultado de un análisis para determinar el espesor del espejo de agua, tomando como referencia las variables de precipitación y período de retorno utilizados en este estudio y cuyos valores pueden aumentar significativamente, como ya se ha explicado con anterioridad.

Tabla 26 Profundidad del espejo de agua

Precipitación en periodo de 5 minutos de intensidad y 2 años de periodo de retorno (cm)	
1 minuto	1.03
20 minutos	4.12
30 minutos	6.18
60 minutos	12.35
120 minutos	24.70

Fuente: Base de datos del proyecto

Elaboración: Económica CIC, 2023

Volumen de agua en la garganta

Un cálculo aproximado del volumen de agua que se acumularía en la garganta del río Code 2, tomando en cuenta que el volumen de escorrentía es mayor en la superficie impermeabilizada y que las aguas se concentran con mayor rapidez en la garganta (Gómez, M., 2007), proporcionó los datos que se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 27 Volumen de agua en un periodo de retorno de 2 años

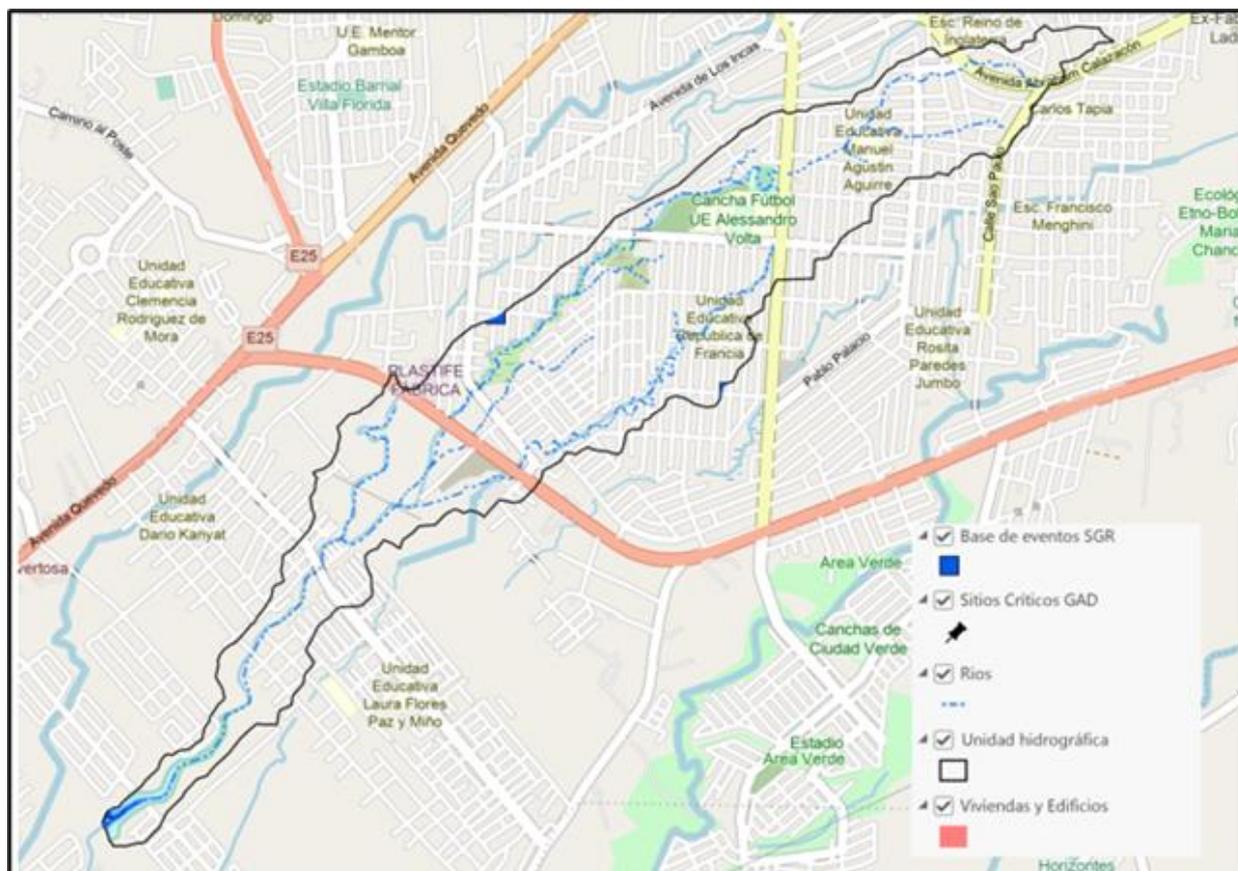
Tiempo en minutos	5	20	30
Volumen de agua acumulada en la garganta (m3)	15,705	62,820	134,136

Fuente: Base de datos del proyecto

Elaboración: Económica CIC, 2023

En la siguiente figura, se observa el potencial embalse que se formaría en el sitio de desfogue del río Code 2, bajo un escenario de taponamiento del ducto construido en este sitio, mientras que en la figura de la evolución del potencial volumen de agua, se presenta una ampliación del potencial embalse sobre una imagen satelital (Google Earth, 2023), donde se identifican tres columnas; un código, las cotas y el volumen de agua referido para cada rango de alturas absolutas.

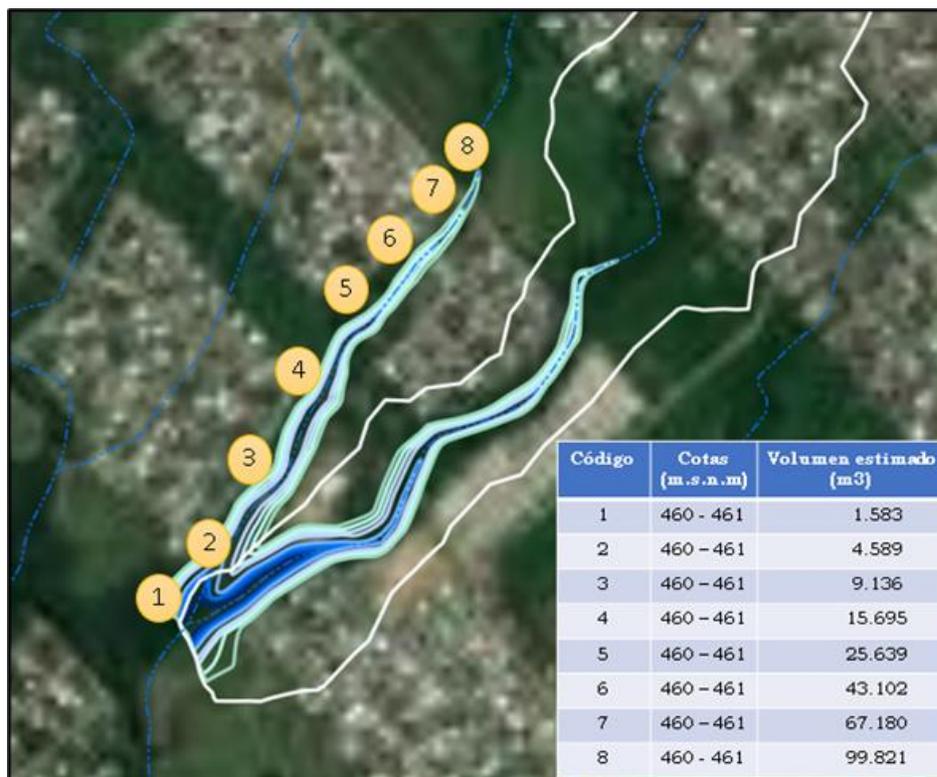
Figura 44 Sector donde potencialmente podría acumularse el agua en la garganta del río Code 2



Fuente: GAD Municipal de Santo Domingo; MDT 1m 2022. Google Maps 2023.

Elaboración: Económica CIC., 2023

Figura 45 Evolución del potencial volumen de agua que podría acumularse en la garganta del río Code 2



Fuente: GAD Municipal de Santo Domingo; MDT 1m 2022. Google Maps 2023.

Elaboración: Económica CIC., 2023

Caudal del río Code 2 en el sitio de desfogue

En la siguiente tabla, se presenta un cálculo aproximado del caudal del río Code 2, tomando en consideración la intensidad de la precipitación en 5 minutos y diferentes períodos de retorno. Es importante destacar que, a lo largo del citado río, existen calles y avenidas con sus respectivos ductos que obstaculizan el normal flujo de las aguas fluviales.

Tabla 28 Caudal del río Code 2 en función de la intensidad de precipitación y diferentes períodos de retorno

Intensidad de precipitación tiempo 5 minutos mm/h	123.5	149.2	172	207.7	239.6	276.3
Periodo de retorno	2 años	5 años	10 años	25 años	50 años	100 años
Caudal m3/s	48.23	58.27	67.17	81.11	93.57	107.90

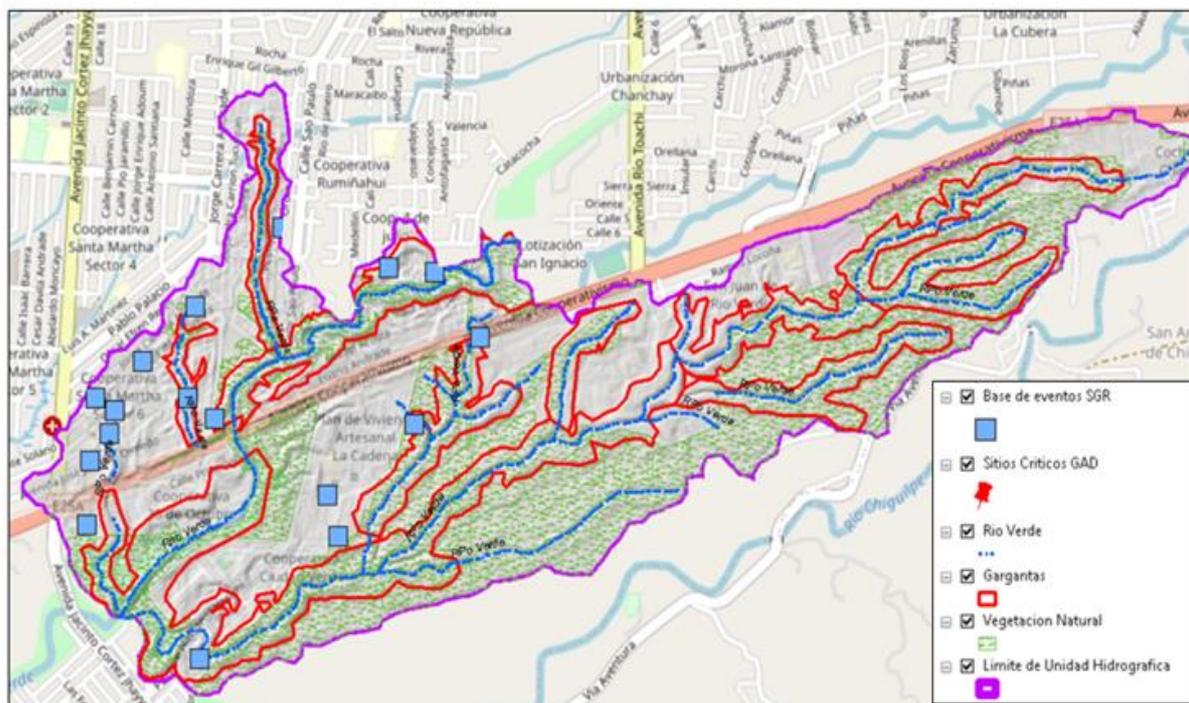
Fuente: Base de datos del proyecto

Elaboración: Económica CIC, 2023

Sector priorizado 9, Río Verde 2

- ❖ Código de la Unidad Hidrográfica: V 56
- ❖ **Ubicación:** Sur de la ciudad; Cooperativas: Santa Martha, Ciudad Verde y 26 de octubre; Plan de Vivienda Artesanal La Cadena.
- ❖ Superficie de la UH: 352 Has.
- ❖ Superficie impermeabilizada: 140,8 Has.

Figura 46 Unidad hidrográfica del río Verde 2



Fuente: GAD Municipal de Santo Domingo; MDT 1m 2022. Google Maps 2023.

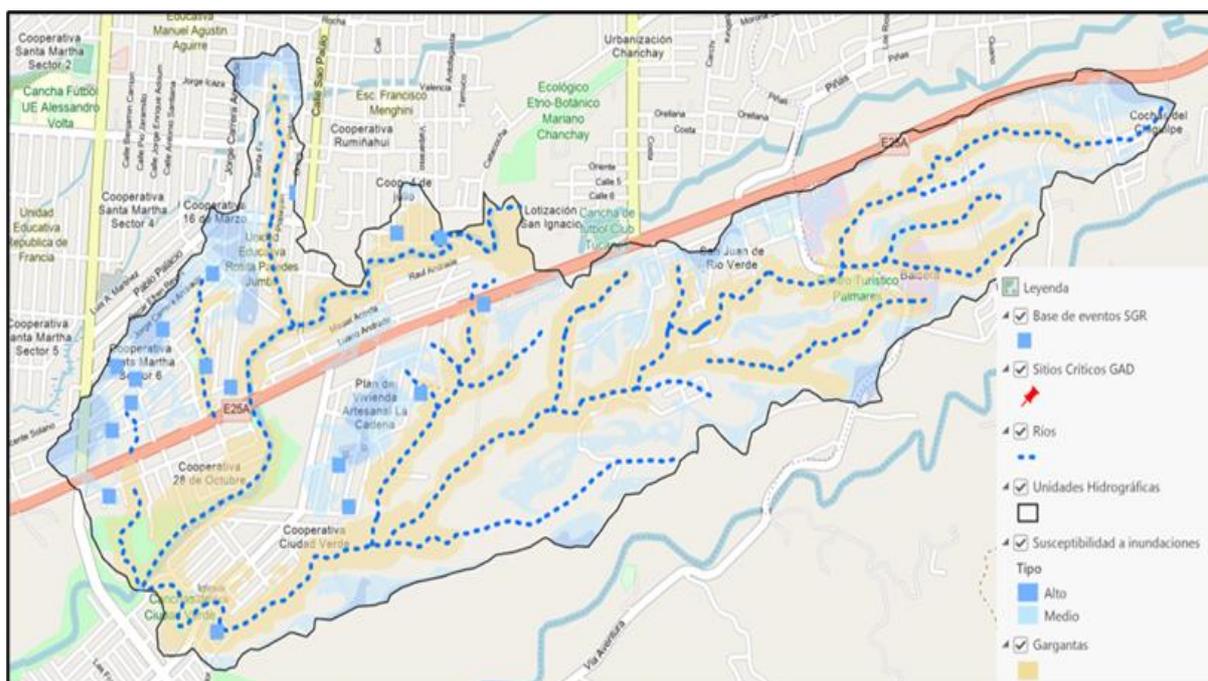
Elaboración: Económica CIC., 2023

Susceptibilidad a inundación

Los sectores que presentan una alta susceptibilidad a inundación se encuentran en la parte noroeste. En estos terrenos domina la topografía plana, con pendientes menores a 2 grados.

Asimismo, los terrenos que presentan una media susceptibilidad se hallan distribuidos en toda la unidad, donde las pendientes varían entre 2 y 5 °. En la siguiente figura, se visualizan las áreas con las dos categorías de susceptibilidad; color azul oscuro, alta susceptibilidad y azul claro, media susceptibilidad.

Figura 47 Susceptibilidad a inundación, unidad hidrográfica del río Verde 2



Fuente: GAD Municipal de Santo Domingo; MDT 1m 2022. Google Maps 2023.

Elaboración: Económica CIC., 2023

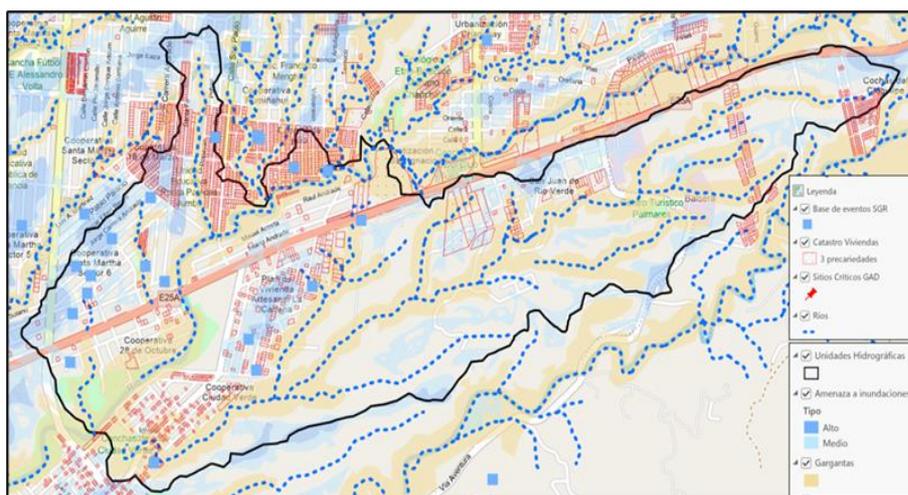
Amenaza por inundación

Los terrenos identificados con una alta amenaza se localizan en la parte noroeste, varias viviendas en estado de precariedad están asociadas con esta categoría de amenaza, principalmente las que se encuentran en la cooperativa 18 de Marzo y Plan de Vivienda Artesanal La Cadena, al sur de la vía E25A, que pueden ser visualizadas en la siguiente figura.

Asimismo, los terrenos que presentan una media amenaza están distribuidos en toda la unidad hidrográfica, en superficies levemente inclinadas de la ciudad, con pendientes entre 2 y 5 grados. También existen de forma localizada viviendas en estado de precariedad asociadas con esta categoría de amenaza.

En la siguiente figura, con color azul oscuro está indicada la alta amenaza y color azul claro, la media amenaza. Además, se encuentran georreferenciados 16 eventos registrados por la SGR (2010-2022).

Figura 48 Susceptibilidad a inundación, unidad hidrográfica del río Verde 2



Fuente: GAD Municipal de Santo Domingo; MDT 1m 2022. Google Maps 2023.
Elaboración: Económica CIC., 2023

En la siguiente tabla, se presenta el resultado de un análisis para determinar el espesor del espejo de agua, tomando como referencia las variables de precipitación y período de retorno utilizados en este estudio y cuyos valores pueden aumentar significativamente, como ya se ha explicado con anterioridad.

Tabla 29 Profundidad del espejo de agua

Precipitación en periodo de 5 minutos de intensidad y 2 años de periodo de retorno (cm)	
1 minuto	1.03
20 minutos	4.12
30 minutos	6.18
60 minutos	12.35
120 minutos	24.70

Fuente: Base de datos del proyecto
Elaboración: Económica CIC, 2023

Volumen de agua en la garganta

Un cálculo aproximado del volumen de agua que se acumularía en la garganta del río Verde 2, tomando en cuenta que el volumen de escorrentía es mayor en la superficie impermeabilizada y que las aguas se concentran con mayor rapidez en la garganta (Gómez, M., 2007), proporcionó los datos que se presentan en la siguiente tabla.

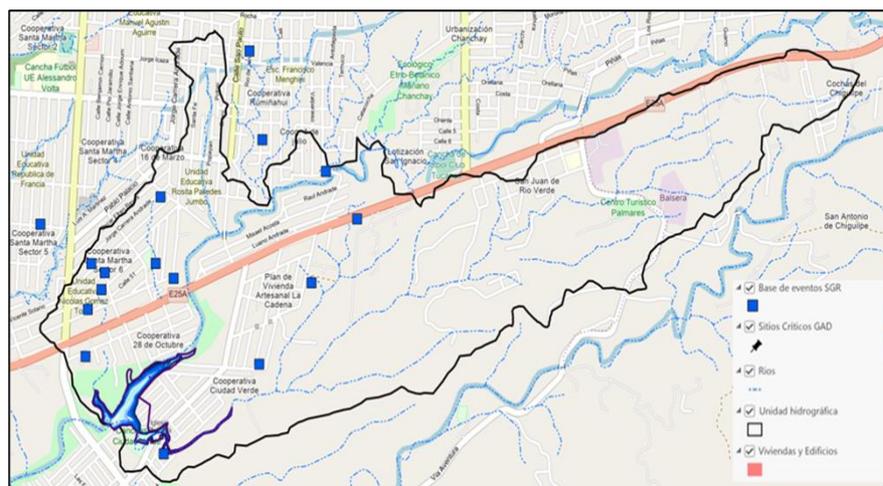
Tabla 30 Volumen de agua en un periodo de retorno de 2 años

Tiempo en minutos	5	20	30
Volumen de agua acumulada en la garganta (m3)	18,803	75,212	220,177

Fuente: Base de datos del proyecto
Elaboración: Económica CIC, 2023

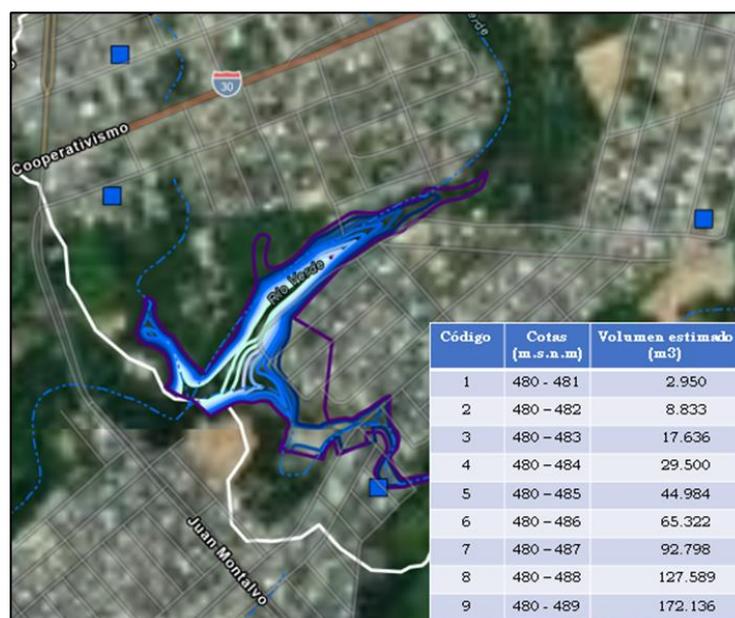
En la siguiente figura, se observa el potencial embalse que se formaría en el sitio de desfogue del río Verde 2, bajo un escenario de taponamiento del ducto construido en este sitio, mientras que en la figura de la evolución del potencial volumen de agua, se presenta una ampliación del potencial embalse sobre una imagen satelital (Google Earth, 2023), donde se identifican tres columnas; un código, las cotas y el volumen de agua referido para cada rango de alturas absolutas.

Figura 49 Sector donde potencialmente podría acumularse el agua en la garganta del río Verde 2



Fuente: GAD Municipal de Santo Domingo; MDT 1m 2022. Google Maps 2023.
Elaboración: Económica CIC., 2023

Figura 50 Evolución del potencial volumen de agua que podría acumularse en la garganta del río Verde 2



Fuente: GAD Municipal de Santo Domingo; MDT 1m 2022. Google Maps 2023.
Elaboración: Económica CIC., 2023

Caudal del río Verde 2 en el sitio de desfogue

En la siguiente tabla, se presenta un cálculo aproximado del caudal del río Verde 2, tomando en consideración la intensidad de la precipitación en 5 minutos y diferentes períodos de retorno. Es importante destacar que, a lo largo del citado río, existen calles y avenidas con sus respectivos ductos que obstaculizan el normal flujo de las aguas fluviales.

Tabla 31 Caudal del río Verde 2 en función de la intensidad de precipitación y diferentes períodos de retorno

Intensidad de precipitación tiempo 5 minutos mm/h	123.5	149.2	172	207.7	239.6	276.3
Periodo de retorno	2 años	5 años	10 años	25 años	50 años	100 años
Caudal m3/s	59.44	71.81	82.78	99.96	115.31	132.98

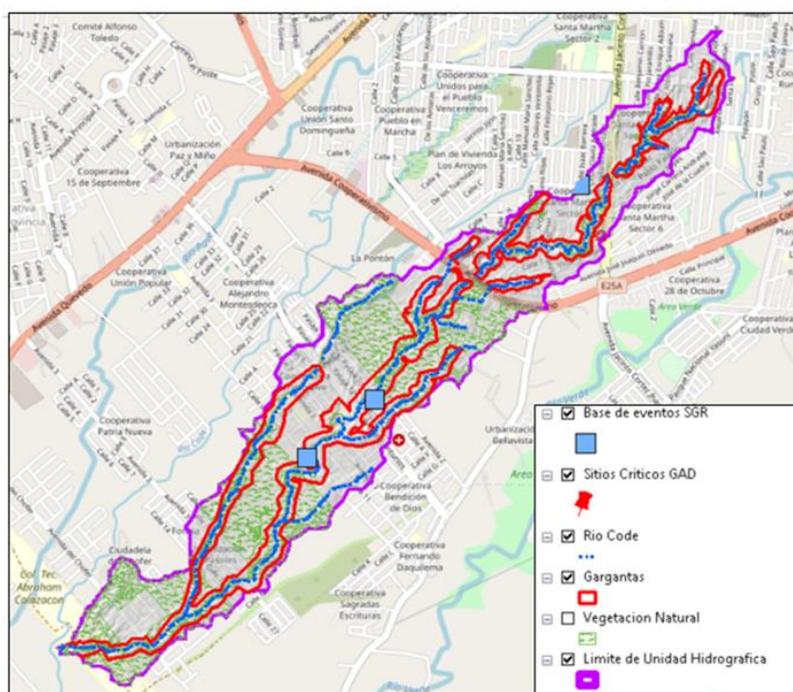
Fuente: Base de datos del proyecto

Elaboración: Económica CIC, 2023

Sector priorizado 10, Río Code 3

- ❖ **Ubicación:** Suroeste de la ciudad; Ciudadela del Chofer, Cooperativa Santa Martha, Urbanización Miraflores.
- ❖ Superficie de la UH: 237 Has.
- ❖ Superficie impermeabilizada: 165,9 Has.

Figura 51 Unidad hidrográfica del río Code 3



Fuente: GAD Municipal de Santo Domingo; MDT 1m 2022. Google Maps 2023.

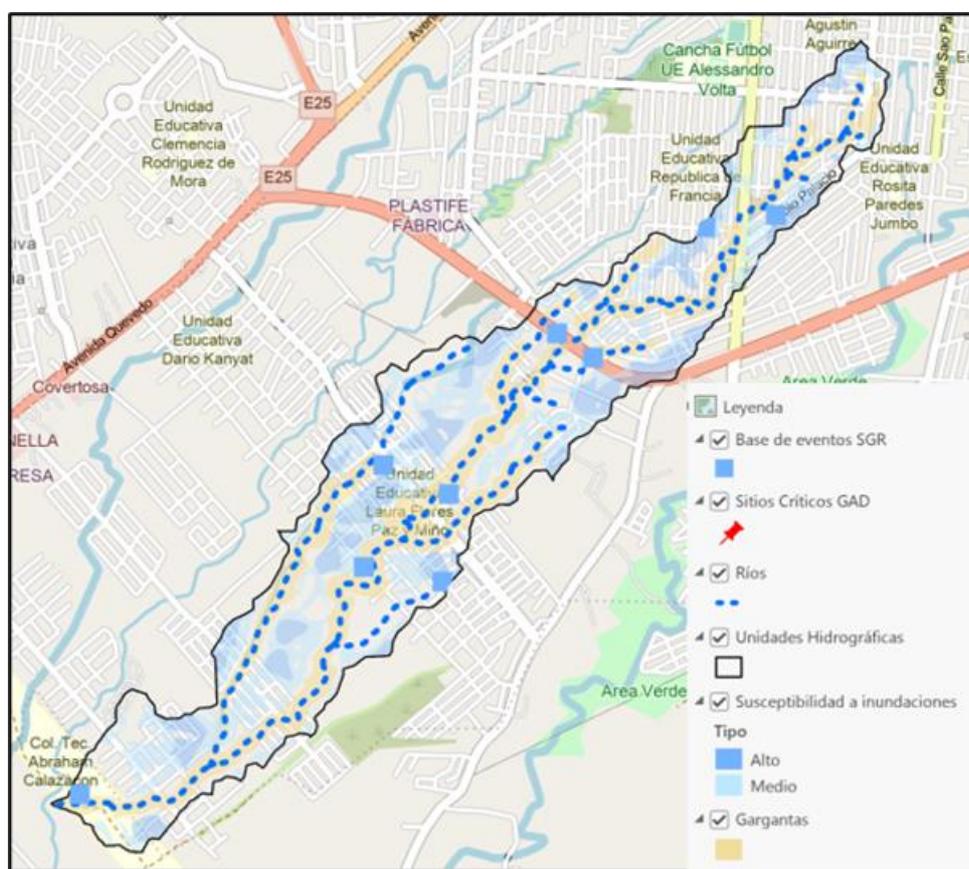
Elaboración: Económica CIC., 2023

Susceptibilidad a inundación

Los terrenos que presentan una alta susceptibilidad a inundación se encuentran distribuidos en toda la unidad hidrográfica. En estos terrenos domina la topografía plana, con pendientes menores a 2 grados.

Asimismo, los terrenos que presentan una media susceptibilidad también se hallan distribuidos en toda la unidad, donde las pendientes varían entre 2 y 5 °. En la siguiente figura, se visualizan las áreas con las dos categorías de susceptibilidad; color azul oscuro, alta susceptibilidad y azul claro, media susceptibilidad.

Figura 52 Susceptibilidad a inundación, unidad hidrográfica del río Code 3



Fuente: GAD Municipal de Santo Domingo; MDT 1m 2022. Google Maps 2023.

Elaboración: Económica CIC., 2023

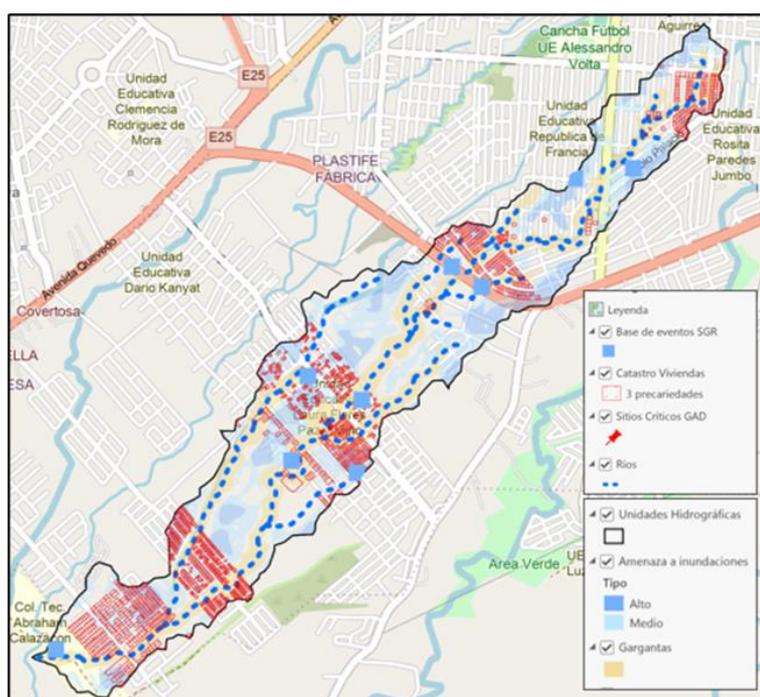
Amenaza por inundación

Los sectores identificados cuentan con viviendas en estado de precariedad localizadas en los alrededores de la Unidad Educativa Laura Flores Paz y Miño y otras localizadas en el extremo suroeste, están asociadas con esta categoría de amenaza, como se puede observar en la siguiente figura.

En cambio, los sectores que presentan una media amenaza están distribuidos en toda la unidad hidrográfica, en superficies levemente inclinadas de la ciudad, con pendientes entre 2 y 5 grados. También existen de forma localizada viviendas en estado de precariedad asociadas con esta categoría de amenaza.

En la siguiente figura, con color azul oscuro está indicada la alta amenaza y color azul claro, la media amenaza. Además, se encuentran georreferenciados 9 eventos registrados por la SGR (2010-2022).

Figura 53 Susceptibilidad a inundación, unidad hidrográfica del río Code 3



Fuente: GAD Municipal de Santo Domingo; MDT 1m 2022. Google Maps 2023.

Elaboración: Económica CIC., 2023

En la siguiente tabla, se presenta el resultado de un análisis para determinar el espesor del espejo de agua, tomando como referencia las variables de precipitación y período de retorno utilizados en este estudio y cuyos valores pueden aumentar significativamente, como ya se ha explicado con anterioridad.

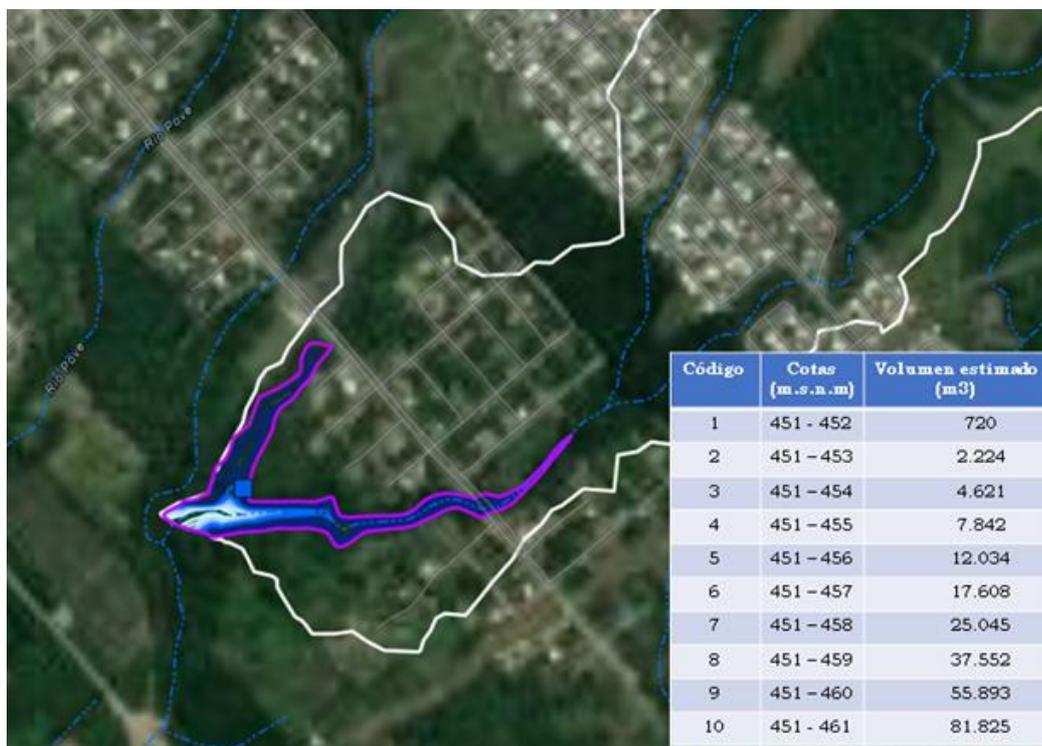
Tabla 32 Profundidad del espejo de agua

Precipitación en periodo de 5 minutos de intensidad y 2 años de periodo de retorno (cm)	
1 minuto	1.03
20 minutos	4.12
30 minutos	6.18
60 minutos	12.35
120 minutos	24.70

Fuente: Base de datos del proyecto

Elaboración: Económica CIC, 2023

Figura 55 Evolución del potencial volumen de agua que podría acumularse en la garganta del río Code 3



Fuente: GAD Municipal de Santo Domingo; MDT 1m 2022. Google Maps 2023.
Elaboración: Económica CIC., 2023

Caudal del río Code 3 en el sitio de desfogue

En la siguiente tabla, se presenta un cálculo aproximado del caudal del río Code 3, tomando en consideración la intensidad de la precipitación en 5 minutos y diferentes períodos de retorno. Es importante destacar que, a lo largo del citado río, existen calles y avenidas con sus respectivos ductos que obstaculizan el normal flujo de las aguas fluviales.

Tabla 34 Caudal del río Code 3 en función de la intensidad de precipitación y diferentes períodos de retorno

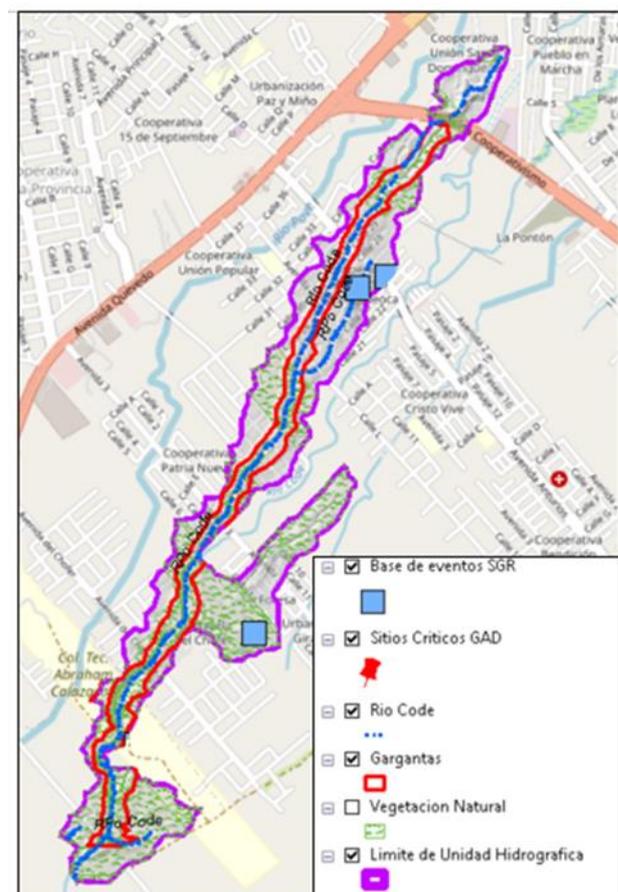
Intensidad de precipitación tiempo 5 minutos mm/h	123.5	149.2	172	207.7	239.6	276.3
Periodo de retorno	2 años	5 años	10 años	25 años	50 años	100 años
Caudal m³/s	42.55	51.41	59.26	71.56	82.55	95.20

Fuente: Base de datos del proyecto
Elaboración: Económica CIC, 2023

Sector priorizado 11, Río Code 4

- **Ubicación:** Extremo suroeste de la ciudad; Urbanización Girasoles, Cooperativas: Patria Nueva, Unión Popular, Unión San Domínguez.
- Superficie de la UH: 105 Has.
- Superficie impermeabilizada: 42 Has.

Figura 56 Unidad hidrográfica del río Code 4



Fuente: GAD Municipal de Santo Domingo; MDT 1m 2022. Google Maps 2023.

Elaboración: Económica CIC., 2023

Susceptibilidad a inundación

Las áreas que presentan una alta susceptibilidad a inundación se encuentran en la parte centro-occidental de la unidad hidrográfica. En estos terrenos domina la topografía plana, con pendientes menores a 2 grados.

En cambio, los sectores que presentan una media susceptibilidad están distribuidos en toda la unidad, donde las pendientes varían entre 2 y 5 °. En la siguiente figura, se visualizan las áreas con las dos categorías de susceptibilidad; color azul oscuro, alta susceptibilidad y azul claro, media susceptibilidad.

Figura 57 Susceptibilidad a inundación, unidad hidrográfica del río Code 4



Fuente: GAD Municipal de Santo Domingo; MDT 1m 2022. Google Maps 2023.

Elaboración: Económica CIC., 2023

Amenaza por inundación

Los sectores identificados con una alta amenaza tienen pocas viviendas en estado de precariedad están asociadas con esta categoría de amenaza, como se puede observar en la siguiente figura.

En cambio, los sectores que presentan una media amenaza están distribuidos en toda la unidad hidrográfica, en superficies levemente inclinadas de la ciudad, con pendientes entre 2 y 5 grados. En este caso existen de forma localizada más viviendas en estado de precariedad asociadas con esta categoría de amenaza.

En la siguiente figura, con color azul oscuro está indicada la alta amenaza y color azul claro, la media amenaza. Además, se encuentran georreferenciados 3 eventos registrados por la SGR (2010-2022).

Figura 58 Susceptibilidad a inundación, unidad hidrográfica del río Code 4



Fuente: GAD Municipal de Santo Domingo; MDT 1m 2022. Google Maps 2023.

Elaboración: Económica CIC., 2023

En la siguiente tabla, se presenta el resultado de un análisis para determinar el espesor del espejo de agua, tomando como referencia las variables de precipitación y período de retorno utilizados en este estudio y cuyos valores pueden aumentar significativamente, como ya se ha explicado con anterioridad.

Tabla 35 Profundidad del espejo de agua

Precipitación en periodo de 5 minutos de intensidad y 2 años de periodo de retorno (cm)	
1 minuto	1.03
20 minutos	4.12
30 minutos	6.18
60 minutos	12.35
120 minutos	24.70

Fuente: Base de datos del proyecto

Elaboración: Económica CIC, 2023

Volumen de agua en la garganta

Un cálculo aproximado del volumen de agua que se acumularía en la garganta del río Code 4, tomando en cuenta que el volumen de escorrentía es mayor en la superficie impermeabilizada y que las aguas se concentran con mayor rapidez en la

garganta (Gómez, M., 2007), proporcionó los datos que se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 36 Volumen de agua en un periodo de retorno de 2 años

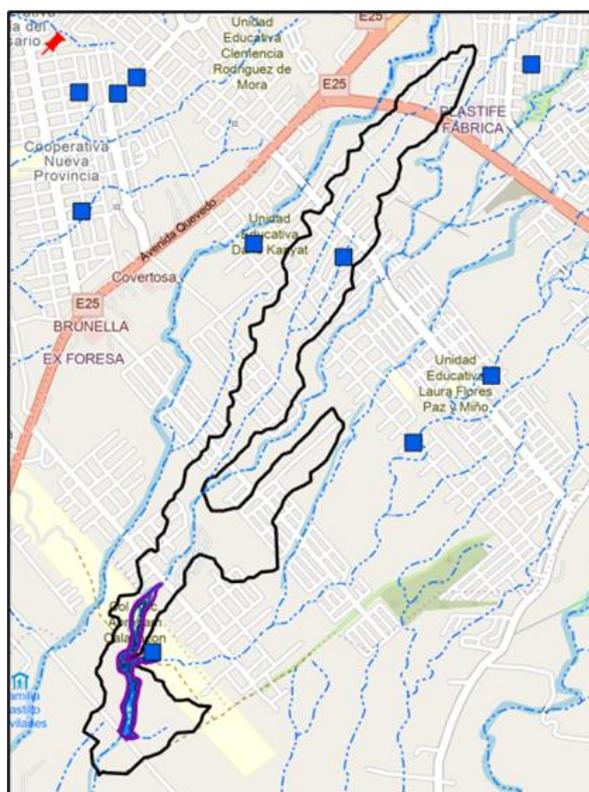
Tiempo en minutos	5	20	30
Volumen de agua acumulada en la garganta (m3)	4,326	17,302	61,289

Fuente: Base de datos del proyecto

Elaboración: Económica CIC, 2023

En la siguiente figura, se observa el potencial embalse que se formaría en el sitio de desfogue del Code 4, bajo un escenario de taponamiento del ducto construido en este sitio, mientras que en la figura de la evolución del potencial volumen de agua, se presenta una ampliación del potencial embalse sobre una imagen satelital (Google Earth, 2023), donde se identifican tres columnas; un código, las cotas y el volumen de agua referido para cada rango de alturas absolutas.

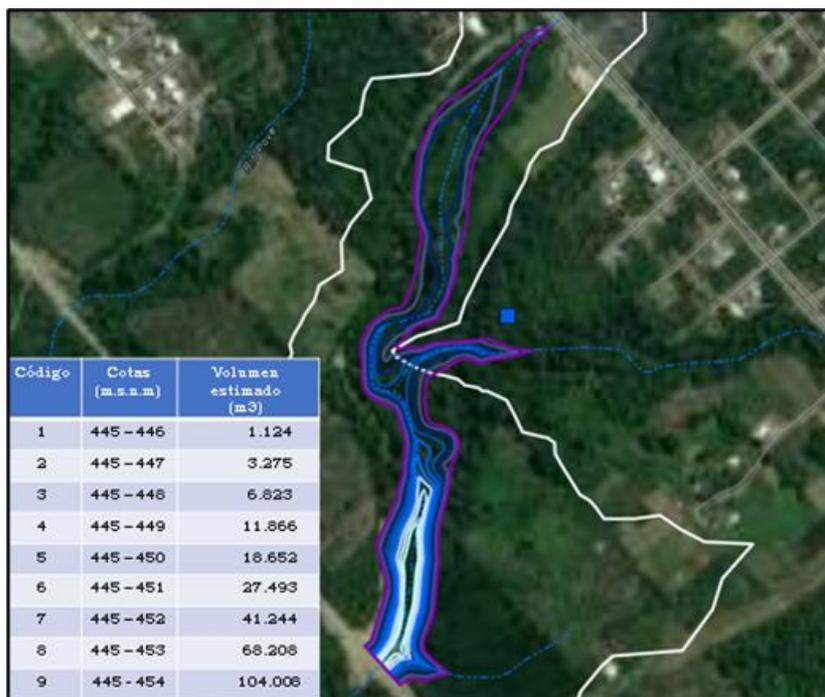
Figura 59 Sector donde potencialmente podría acumularse el agua en la garganta del río Code 4



Fuente: GAD Municipal de Santo Domingo; MDT 1m 2022. Google Maps 2023.

Elaboración: Económica CIC., 2023

Figura 60 Evolución del potencial volumen de agua que podría acumularse en la garganta del río Code 4



Fuente: GAD Municipal de Santo Domingo; MDT 1m 2022. Google Maps 2023.

Elaboración: Económica CIC., 2023

Caudal del río Code 4 cerca del sitio de desfogue

En la siguiente tabla, se presenta un cálculo aproximado del caudal del río Code 4, tomando en consideración la intensidad de la precipitación en 5 minutos y diferentes períodos de retorno. Es importante destacar que, a lo largo del citado río, existen calles y avenidas con sus respectivos ductos que obstaculizan el normal flujo de las aguas fluviales.

Tabla 37 Caudal del río Code 4 en función de la intensidad de precipitación y diferentes períodos de retorno

Intensidad de precipitación tiempo 5 minutos mm/h	123.5	149.2	172	207.7	239.6	276.3
Periodo de retorno	2 años	5 años	10 años	25 años	50 años	100 años
Caudal m³/s	13.95	16.85	19.43	23.46	27.06	31.21

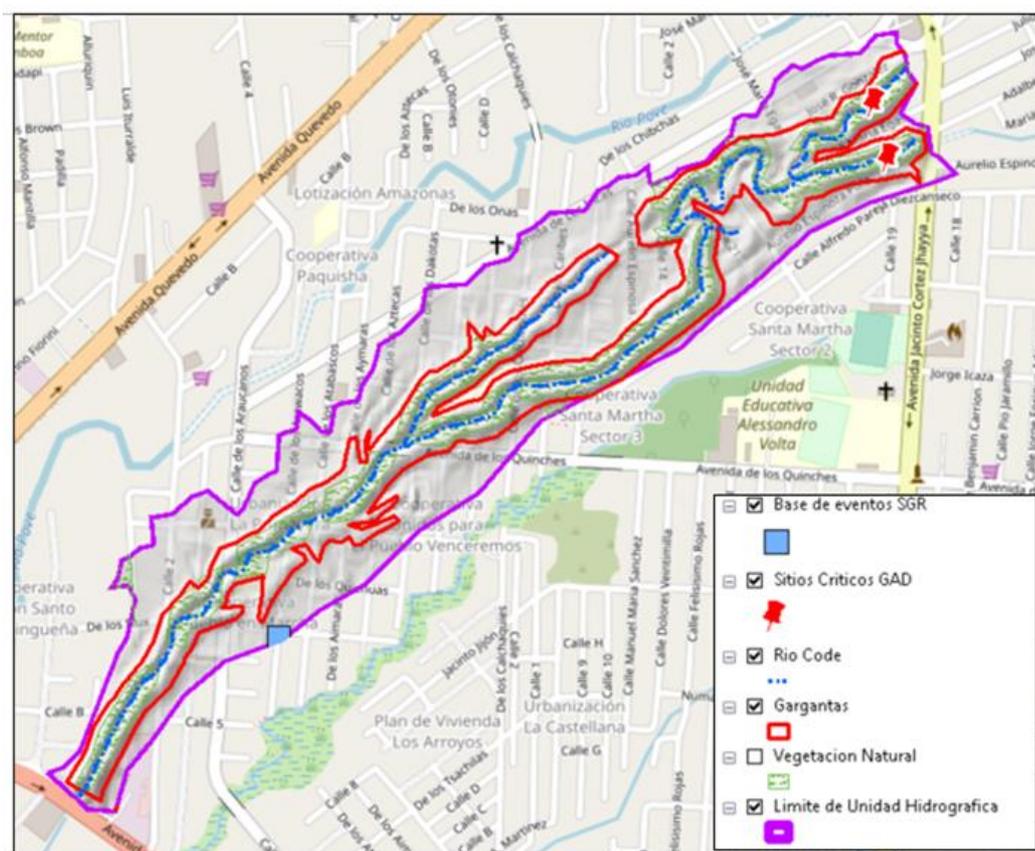
Fuente: Base de datos del proyecto

Elaboración: Económica CIC, 2023

Sector priorizado 12, Río Code 5

- **Ubicación:** Suroeste de la ciudad; Cooperativa Unidos Para El Pueblo Venceremos y Paquisha.
- Superficie de la UH: 49 Has.
- Superficie impermeabilizada: 44,1 Has.

Figura 61 Unidad hidrográfica del río Code 5



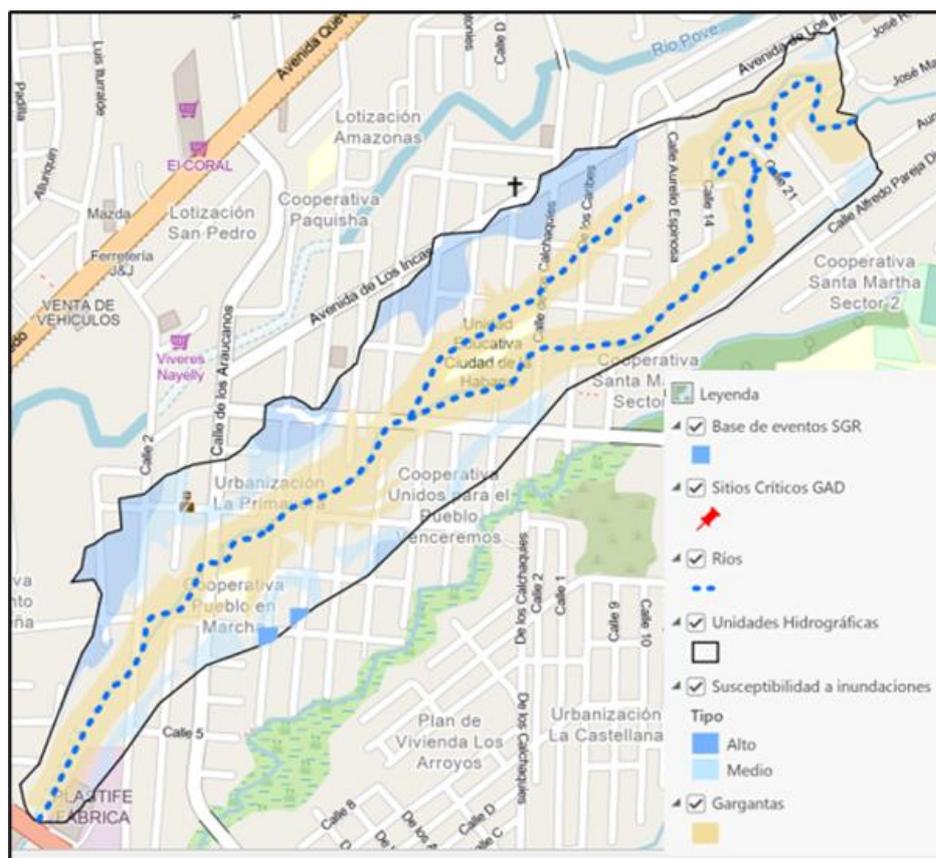
Fuente: GAD Municipal de Santo Domingo; MDT 1m 2022. Google Maps 2023.
Elaboración: Económica CIC., 2023

Susceptibilidad a inundación

Los terrenos que presentan una alta susceptibilidad a inundación se encuentran en la parte norte y noroeste de la unidad hidrográfica. En estos terrenos domina la topografía plana, con pendientes menores a 2 grados.

En cambio, los sectores que presentan una media susceptibilidad están noroeste y sur de la garganta del río Code 5, donde las pendientes varían entre 2 y 5 °. En la siguiente figura, se visualizan las áreas con las dos categorías de susceptibilidad; color azul oscuro, alta susceptibilidad y azul claro, media susceptibilidad.

Figura 62 Susceptibilidad a inundación, unidad hidrográfica del río Code 5



Fuente: GAD Municipal de Santo Domingo; MDT 1m 2022. Google Maps 2023.

Elaboración: Económica CIC., 2023

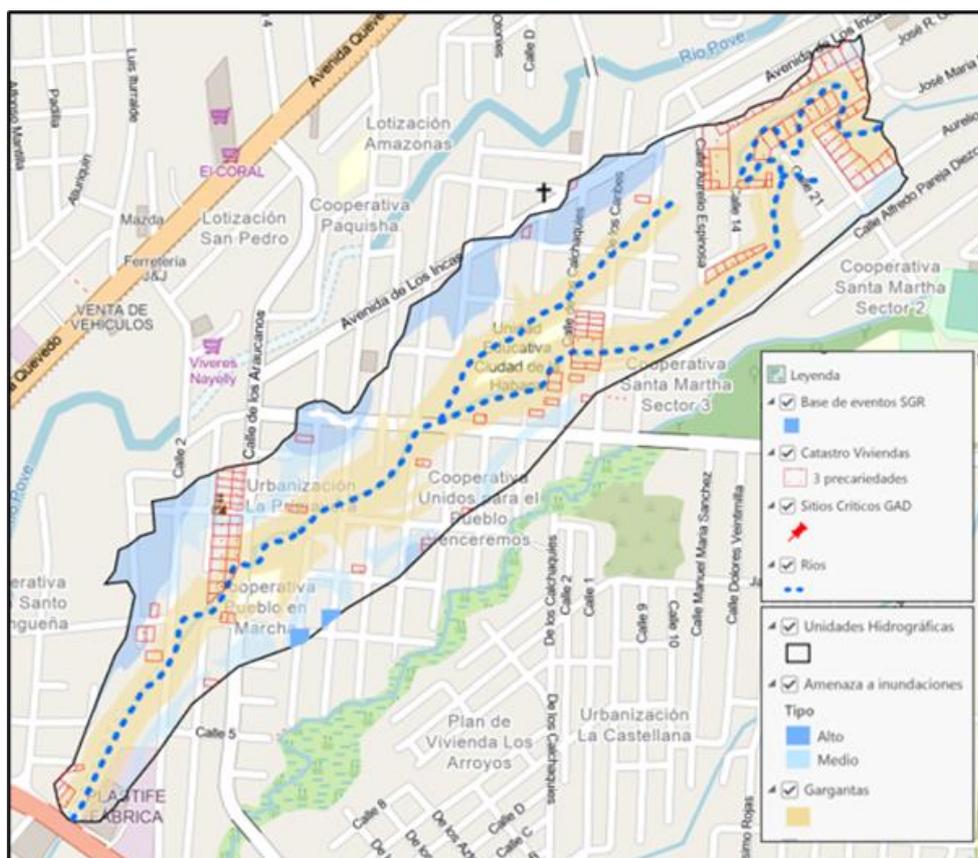
Amenaza por inundación

Los sectores identificados con una alta amenaza cuentan con muy pocas viviendas en estado de precariedad están asociadas con esta categoría de amenaza, como se puede observar en la siguiente figura.

En cambio, los sectores que presentan una media amenaza corresponden a superficies levemente inclinadas, con pendientes entre 2 y 5 grados. En este caso existen de forma localizada viviendas en estado de precariedad, principalmente en la urbanización La Primavera y Cooperativa Santa Martha Sector 3.

En la siguiente figura, con color azul oscuro está indicada la alta amenaza y color azul claro, la media amenaza. Además, se encuentran georreferenciados 2 eventos registrados por la SGR (2010-2022).

Figura 63 Amenaza por inundación, unidad hidrográfica del río Code 5



Fuente: GAD Municipal de Santo Domingo; MDT 1m 2022. Google Maps 2023.

Elaboración: Económica CIC., 2023

En la siguiente tabla, se presenta el resultado de un análisis para determinar el espesor del espejo de agua, tomando como referencia las variables de precipitación y período de retorno utilizados en este estudio y cuyos valores pueden aumentar significativamente, como ya se ha explicado con anterioridad.

Tabla 38 Profundidad del espejo de agua

Precipitación en periodo de 5 minutos de intensidad y 2 años de periodo de retorno (cm)	
1 minuto	1.03
20 minutos	4.12
30 minutos	6.18
60 minutos	12.35
120 minutos	24.70

Fuente: Base de datos del proyecto

Elaboración: Económica CIC, 2023

Volumen de agua en la garganta

Un cálculo aproximado del volumen de agua que se acumularía en la garganta del río Code 5, tomando en cuenta que el volumen de escorrentía es mayor en la

superficie impermeabilizada y que las aguas se concentran con mayor rapidez en la garganta (Gómez, M., 2007), proporcionó los datos que se presentan en la siguiente tabla.

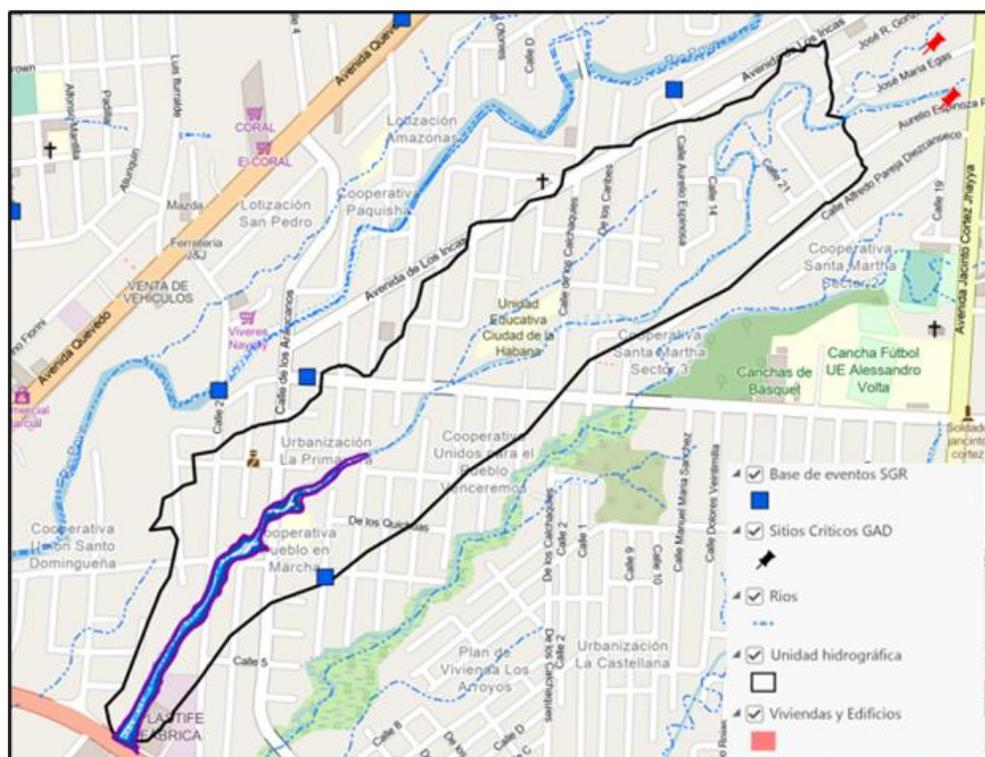
Tabla 39 Volumen de agua en un periodo de retorno de 2 años

Tiempo en minutos	5	20	30
Volumen de agua acumulada en la garganta (m3)	3,434	13,736	26,072

Fuente: Base de datos del proyecto
Elaboración: Económica CIC, 2023

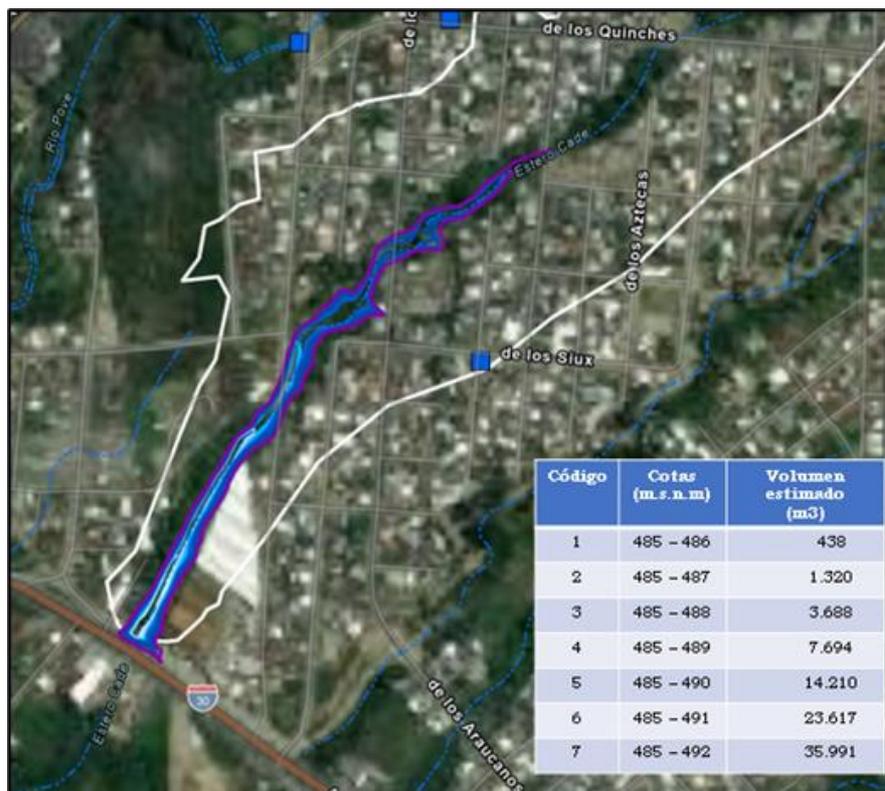
En la siguiente figura, se observa el potencial embalse que se formaría en el sitio de desfogue del Code 5, bajo un escenario de taponamiento del ducto construido en la avenida E25A, mientras que en la figura de la evolución del potencial volumen de agua, se presenta una ampliación del potencial embalse sobre una imagen satelital (Google Earth, 2023), donde se identifican tres columnas; un código, las cotas y el volumen de agua referido para cada rango de alturas absolutas.

Figura 64 Sector donde potencialmente podría acumularse el agua en la garganta del río Code 5



Fuente: GAD Municipal de Santo Domingo; MDT 1m 2022. Google Maps 2023.
Elaboración: Económica CIC., 2023

Figura 65 Evolución del potencial volumen de agua que podría acumularse en la garganta del río Code 5



Fuente: GAD Municipal de Santo Domingo; MDT 1m 2022. Google Maps 2023.

Elaboración: Económica CIC., 2023

Caudal del río Code 5 en el sitio de desfogue

En la siguiente tabla, se presenta un cálculo aproximado del caudal del río Code 5, tomando en consideración la intensidad de la precipitación en 5 minutos y diferentes períodos de retorno. Es importante destacar que, a lo largo del citado río, existen calles y avenidas con sus respectivos ductos que obstaculizan el normal flujo de las aguas fluviales.

Tabla 40 Caudal del río Code 5 en función de la intensidad de precipitación y diferentes períodos de retorno

Intensidad de precipitación tiempo 5 minutos mm/h	123.5	149.2	172	207.7	239.6	276.3
Periodo de retorno	2 años	5 años	10 años	25 años	50 años	100 años
Caudal m3/s	10.46	12.64	14.57	17.60	20.30	23.41

Fuente: Base de datos del proyecto

Elaboración: Económica CIC, 2023

Sector priorizado 13, Río Verde 3

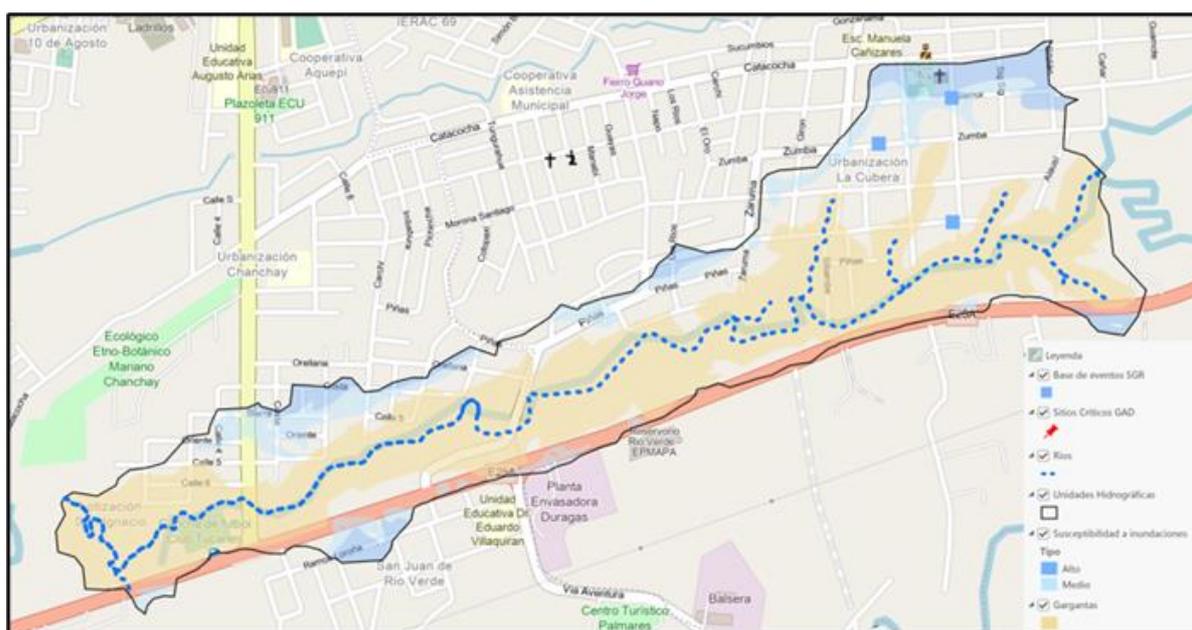
- **Ubicación:** Se encuentra al sureste de la ciudad; lotización San Ignacio y urbanización la Cubera.
- Superficie de la UH: 89.19 Has.

Susceptibilidad a inundación

Los sectores que presentan una alta susceptibilidad a inundación se encuentran el norte de la unidad hidrográfica y localmente al sur de la vía E25A. En estos terrenos domina la topografía plana, con pendientes menores a 2 grados.

Asimismo, los sectores que presentan una media susceptibilidad están al norte de garganta del río Verde 3, donde las pendientes varían entre 2 y 5 °. En la siguiente figura, se visualizan las áreas con las dos categorías de susceptibilidad; color azul oscuro, alta susceptibilidad y azul claro, media susceptibilidad.

Figura 66 Susceptibilidad a inundación, unidad hidrográfica del río Verde 3



Fuente: GAD Municipal de Santo Domingo; MDT 1m 2022. Google Maps 2023.

Elaboración: Económica CIC., 2023

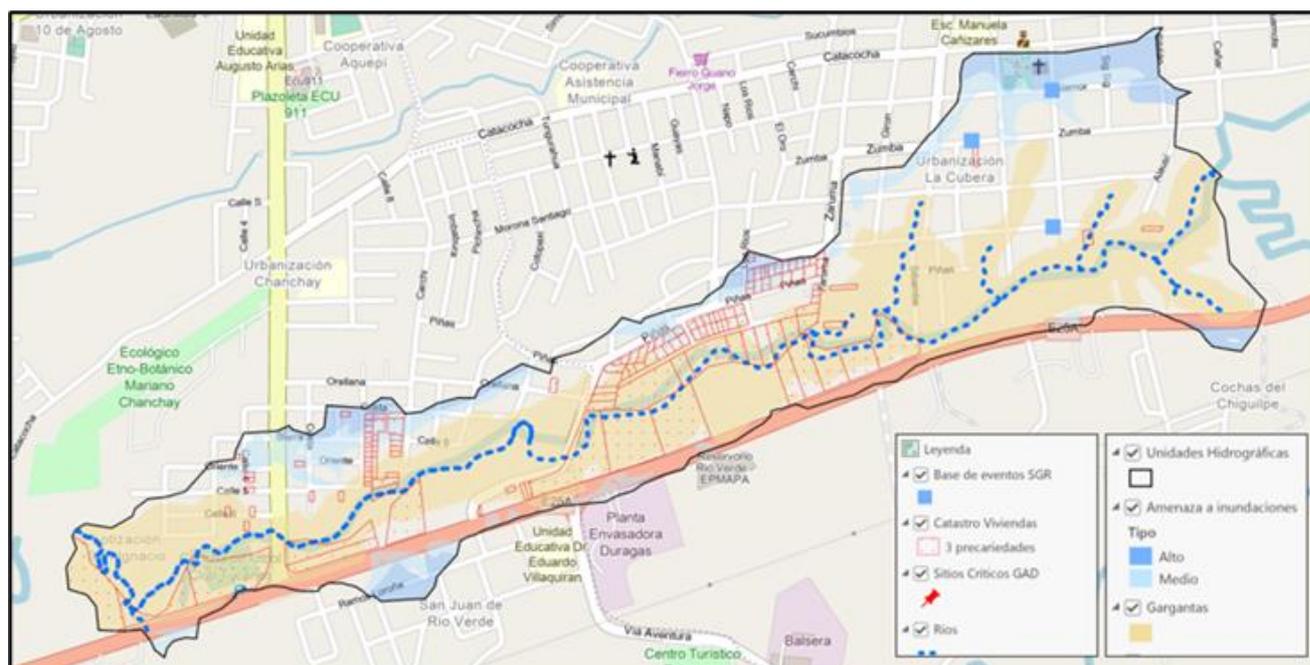
Amenaza por inundación

Los sectores identificados con una alta amenaza con muy pocas viviendas en estado de precariedad están asociados con esta categoría de amenaza, como se puede observar en la siguiente figura.

En cambio, los sectores que presentan una media amenaza corresponden a superficies levemente inclinadas, con pendientes entre 2 y 5 grados. En este caso existen de forma localizada viviendas en estado de precariedad.

En la siguiente figura, con color azul oscuro está indicada la alta amenaza y color azul claro, la media amenaza. Además, se encuentran georreferenciados 3 eventos registrados por la SGR (2010-2022).

Figura 67 Amenaza por inundación, unidad hidrográfica del río Verde



Fuente: GAD Municipal de Santo Domingo; MDT 1m 2022. Google Maps 2023.

Elaboración: Económica CIC., 2023

En la siguiente tabla, se presenta el resultado de un análisis para determinar el espesor del espejo de agua, tomando como referencia las variables de precipitación y período de retorno utilizados en este estudio y cuyos valores pueden aumentar significativamente, como ya se ha explicado con anterioridad.

Tabla 41 Profundidad del espejo de agua

Precipitación en periodo de 5 minutos de intensidad y 2 años de periodo de retorno (cm)	
1 minuto	1.03
20 minutos	4.12
30 minutos	6.18
60 minutos	12.35
120 minutos	24.70

Fuente: Base de datos del proyecto

Elaboración: Económica CIC, 2023

Volumen de agua en la garganta

Un cálculo aproximado del volumen de agua que se acumularía en la garganta del río Verde 3, tomando en cuenta que el volumen de escorrentía es mayor en la superficie impermeabilizada y que las aguas se concentran con mayor rapidez en la garganta (Gómez, M., 2007), proporcionó los datos que se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 42 Volumen de agua en un periodo de retorno de 2 años

Tiempo en minutos	5	20	30
Volumen de agua acumulada en la garganta (m3)	6,431	25,726	55,078

Fuente: Base de datos del proyecto

Elaboración: Económica CIC, 2023

En la siguiente figura, se observa el potencial embalse que se formaría en el río Verde 3, cerca de la intersección de la avenida rio Toachi y la vía E25A, bajo un escenario de taponamiento del ducto construido en la citada avenida, mientras que, en la siguiente figura, se presenta una ampliación del potencial embalse sobre una imagen satelital (Google Earth,2023), donde se identifican tres columnas; un código, las cotas y el volumen de agua referido para cada rango de alturas absolutas.

Figura 68 Sector donde potencialmente podría acumularse el agua en la garganta del río Verde 3



Fuente: GAD Municipal de Santo Domingo; MDT 1m 2022. Google Maps 2023.

Elaboración: Económica CIC., 2023

Figura 69 Evolución del potencial volumen de agua que podría acumularse en la garganta del río Verde 3



Fuente: GAD Municipal de Santo Domingo; MDT 1m 2022. Google Maps 2023.

Elaboración: Económica CIC., 2023

Caudal del río Verde 3 en el cruce con la avenida río Toachi

En la siguiente tabla, se presenta un cálculo aproximado del caudal del río Verde 3, tomando en consideración la intensidad de la precipitación en 5 minutos y diferentes periodos de retorno. Es importante destacar que, a lo largo del citado río, existen calles y avenidas con sus respectivos ductos que obstaculizan el normal flujo de las aguas fluviales.

Tabla 43 Caudal del río Verde 3 en función de la intensidad de precipitación y diferentes periodos de retorno

Intensidad de precipitación tiempo 5 minutos mm/h	123.5	149.2	172	207.7	239.6	276.3
Periodo de retorno	2 años	5 años	10 años	25 años	50 años	100 años
Caudal m3/s	19.77	23.88	27.53	33.25	38.35	44.23

Fuente: Base de datos del proyecto

Elaboración: Económica CIC, 2023

4.2 Amenazas a inundaciones por desbordamiento del río Toachi

4.2.1 Introducción

La ciudad de Santo Domingo, al estar ubicada en la zona de piedemonte andino, muy próxima a la cordillera Occidental de Los Andes, presenta una situación especial no solo desde el punto de vista geológico-geomorfológico, sino también hidrológico. Así, la parte norte de esta ciudad está directamente influenciada por la dinámica fluvial del río Toachi cuyas aguas nacen a 5.897 msnm (Cotopaxi), atravesando diversos ecosistemas, paisajes, climas y donde la erosión pluvial y fluvial, erosionan y transportan materiales edáficos y rocosos, que son depositados a lo largo del cauce del río Toachi, perteneciente a la cuenca del río Esmeraldas. En contraste, justo al este de la ciudad nacen las aguas y los drenajes que son tributarios de los ríos Daule y Vinces, que a su vez forman parte de la cuenca del río Guayas.

En la ciudad de Santo Domingo, provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas, sobre todo en épocas de lluvia intensa, se pueden producir inundaciones junto al río Toachi. En algunas ocasiones, estas inundaciones han afectado a la población y a las viviendas que se ubican en zonas aledañas al río.

Es por ello, que el PNUMA en coordinación con el Municipio de Santo Domingo requiere la elaboración de un estudio hidrológico en la cuenca del río Toachi para conocer la cantidad de precipitación que puede afectar a las áreas mencionadas y un estudio hidráulico que determine las zonas de inundación junto al mencionado río.

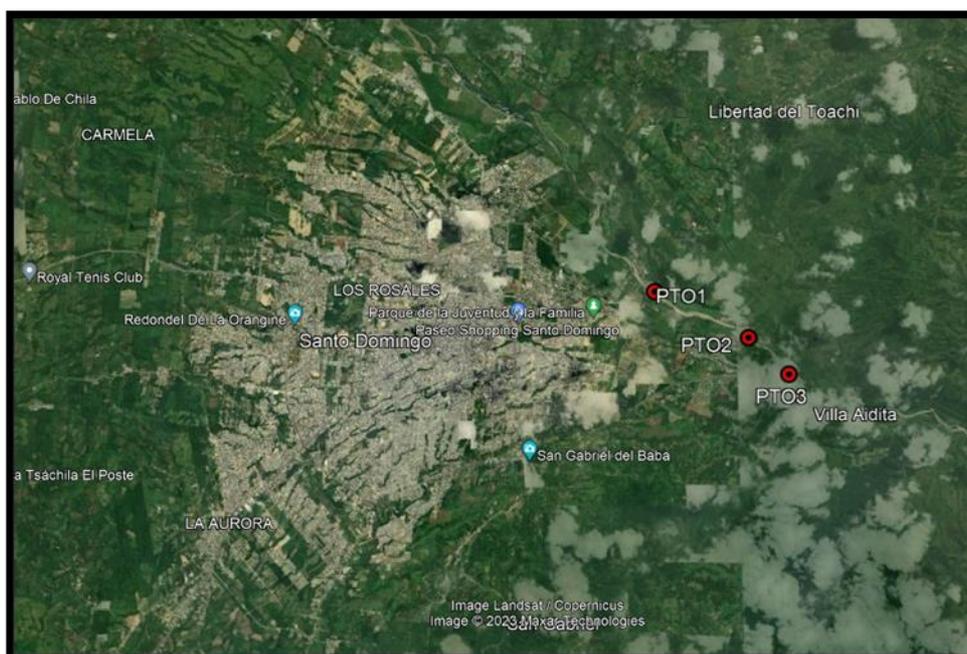
4.2.2 Metodología

La Modelación Hidrológica e Hidráulica en la cuenca del río Toachi tiene los siguientes objetivos: Caracterización de la pluviometría y los caudales en la cuenca; aplicación del modelo hidrológico HEC-HMS, para la transformación de la precipitación en escorrentía y la determinación de caudales máximos y presentar los resultados de la aplicación del modelo hidráulico HEC-RAS (en 3 zonas que son de interés para las autoridades locales) con el propósito de determinar alturas de inundación, velocidades de flujo máximas y mapas de inundación para diferentes periodos de retorno.

Ubicación de las secciones de control

Las secciones de control para el estudio de inundaciones, mediante modelamiento hidráulico, se modelo en un tramo de aproximadamente 7 km a lo largo del río Toachi, como se puede ver en la siguiente figura.

Figura 70 Ubicación de las secciones/puntos de control



Fuente: Mapa base: Google Earth Pro,
Elaboración: Económica CIC 2023.

Sus respectivas coordenadas geográficas se observan en la siguiente tabla.

Tabla 44 Coordenadas de las Secciones de Control, río Toachi, ciudad de Santo Domingo

Punto	Cuerpo hídrico	Coordenada Este (m)	Coordenada Sur (m)
1	Río Toachi	707446	9972976
2	Río Toachi	709334	9972063
3	Río Toachi	710141	9971336

Fuente: Municipio 2023, Económica CIC 2023.
Elaboración: Económica CIC 2023

Análisis de la Cuenca del Río Toachi

El río Toachi nace en la Cordillera Occidental a poco menos de 25 km al sureste de la Caldera Quilotoa a una altitud de unos 4.250 m, fluye a través de las montañas en una dirección predominantemente norte. Después de unos 13 km pasa el poblado de Zumbahua y se denomina río Zumbahua en su curso superior hasta la confluencia con el río Tigua en el kilómetro 132.

El río Toachi fluye al este de la caldera Quilotoa. En el kilómetro 105 pasa al oeste por el cantón Sigchos. En el kilómetro 55, el río Sarapullo drenando con dirección

sur este, confluye con el río Toachi. Después de otros 10 kilómetros desemboca en La Unión del Toachi con el río Pilatón, drenando con dirección sur este.

El río Toachi fluye a través de las estribaciones occidentales y pasa por la parroquia San José de Alluriquín. Para posteriormente fluir por el norte de la capital provincial de Santo Domingo de los Tsáchilas a través de las tierras bajas costeras del noroeste de Ecuador.

La cuenca del Toachi (Unidad 1529 según la clasificación de Pfafstetter, nivel 4) pertenece a la gran cuenca del río Esmeraldas (Unidad Hidrográfica 152). El río Toachi drena un área de 2.717,7 km² hasta antes de la junta con el río Blanco. La escorrentía media anual es de 3.308 hm³. En la siguiente tabla, se encuentran las características fisiográficas de la cuenca del río Toachi.

Tabla 45 Características fisiográficas de la cuenca del Toachi

Cota min (msnm)	Cota máx. (msnm)	Área (km²)	P (km)	Lcp (km)	Kc	Kf	Dd	Sc (%)	Sm (%)
320	5160	2717.7	333.0	161.5	1.8	0.1	1.7	48.8	1.82

Fuente: INAMHI (varios años)

Elaboración: Económica CIC 2023

Simbología:

Cota min: Valor de elevación mínimo de la cuenca hidrográfica (msnm)

Cota máx: Valor de elevación máximo de la cuenca hidrográfica (msnm)

P: Perímetro de la cuenca hidrográfica (km)

Lcp: Longitud del cauce principal (km)

Kc: Coeficiente de compacidad

Kf: Coeficiente de forma

Dd: Densidad de drenaje (km/km²)

Sc: Pendiente media de la cuenca (%)

Sm: Pendiente media del cauce principal (%)

En la siguiente figura, se observa un esquema de la cuenca hidrográfica del río Toachi hasta la unión con el río Blanco, la ciudad de Santo Domingo y el área en rojo corresponde a la franja en la cual se efectuará la modelación hidráulica del río Toachi.

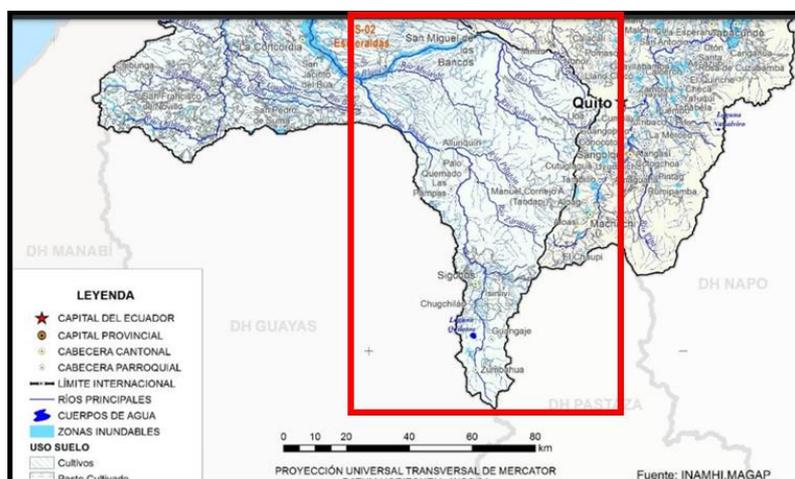
Figura 71 Esquema de la cuenca del río Toachi



Fuente: Mapa base: Google Earth Pro,
Elaboración: Económica CIC 2023.

La cuenca del río Toachi forma parte de la gran cuenca del Río Esmeraldas como lo presenta la siguiente figura. La cuenca se muestra en el rectángulo rojo de esta figura hasta la unión con el río Blanco.

Figura 72 Ubicación de la cuenca del Toachi (Unidad Hidrográfica 1529)



Fuente: Sánchez Andrea, Intriago César, Manual de Hidrología,
Elaboración: EPN, 2013

En relación con el uso de suelo en la cuenca, se observa en la siguiente figura los principales usos del suelo y en la siguiente tabla, se puede apreciar el área y porcentaje de estos.

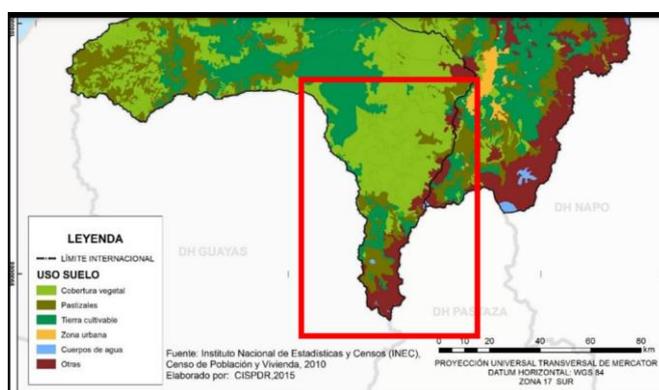
Tabla 46 Usos principales de suelo en la cuenca del Toachi

Uso del suelo	Área (km ²)	Porcentaje (%)
Cobertura vegetal	1087.08	40
Pastizales	407.66	15
Tierra cultivable	815.31	30
Zona urbana	135.89	5
Otras	271.77	10
TOTAL	2717.7	100

Fuente: Sánchez Andrea, Intriago César, Manual de Hidrología,

Elaboración: EPN, 2013

Figura 73 Mapa de uso de suelos



Fuente: MAG 2010.

Elaboración: EPN, 2013

4.2.3 Caracterización pluviométrica en la cuenca

Estaciones meteorológicas

La información pluviométrica para este estudio comprende el periodo de 1981-2010 publicada en los anuarios del INAMHI.

En la siguiente tabla se enlistan las estaciones meteorológicas presentes en la cuenca del río Toachi.

Tabla 47 Estaciones meteorológicas en la zona de estudio

CODIGO	NOMBRE	TIPO	LATITUD	LONGITUD	ELEVACION (msnm)	CLASE DE ESTACION
M0362	Las Pampas	CO	00° 25' 32" S	78° 57' 74" W	1583	A
M0027	Santo Domingo Aeropuerto	CP	00° 14' 44" S	79° 12' 00" W	544	B
M0348	Santa Anita	PV	00° 13' 50" S	79° 14' 54" W	560	A

Fuente: INAMHI (varios años)

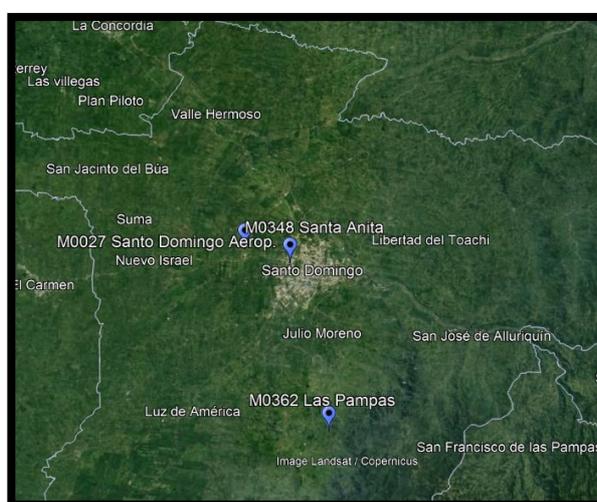
Elaboración: Económica CIC 2023

Simbología:

- CO:** Climatológica Ordinaria
- CP:** Climatológica Principal
- PV:** Pluviométrica
- A:** Estación Base con más de 20 años de información
- B:** Estación de Apoyo, entre 20 y 10 años de información

La siguiente figura, muestra la ubicación de las estaciones meteorológicas en la zona de estudio

Figura 74 Ubicación de las estaciones meteorológicas



Fuente: Mapa base: Google Earth Pro, INAMHI (Varios años)

Elaboración: Económica CIC 2023.

4.2.4 Caracterización Pluviométrica

En el presente estudio nos referiremos a la precipitación como variable climática a analizar y para ello se utilizan los datos del Manual de Hidrología de Sánchez & Intriago César¹¹.

Se utilizaron los datos de los anuarios del INAMHI del periodo 1981 - 2010 y para el relleno de estos se optó por un modelo de regresión y correlación para estaciones vecinas con características similares y cuando el coeficiente de correlación es mayor que 0.7 para el mismo periodo de datos. Las series de precipitación se pudieron rellenar con facilidad porque no había mucha escasez de datos. Para evaluar la

¹¹ INTRIAGO CESAR, SANCHEZ ANDREA. *Manual Hidrológico de las cuencas hidrográficas de la vertiente del Pacífico-Norte*. Proyecto previo a la obtención del título de Ingeniería Civil Quito, Julio 2013.

homogeneidad de los datos se utilizó la curva de doble masa respecto a estaciones similares en el área de estudio.

Tabla 48 Precipitación media del periodo 1981 – 2010

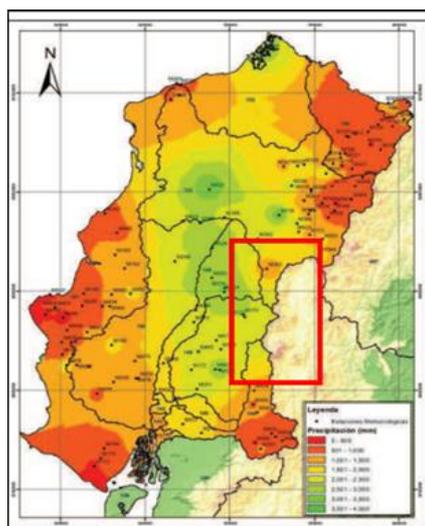
ESTACION	CODIGO	PRECIPITACION MEDIA ANUAL (mm)
Las Pampas	M0362	2208.2
La Concordia	M0025	3887.7
Santa Anita	M0348	2238.1

Fuente: INAMHI (varios años)

Elaboración: Económica CIC 2023

El mapa de isoyetas nos muestra la variación espacial de la precipitación media anual y se puede concluir que la precipitación en la cuenca media y baja es mayor que en la cuenca alta del río Toachi. En la cuenca baja hay una lluvia media anual entre 2.000 y 2.500 mm.

Figura 75 Mapa de isoyetas



Fuente: INMAHI (varios años)

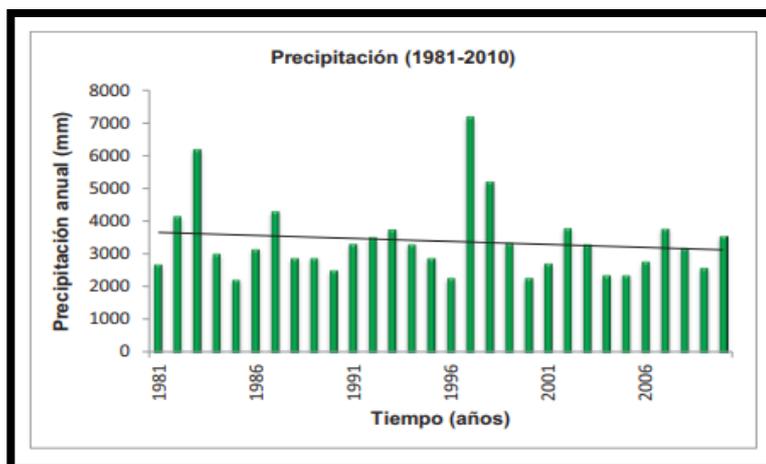
Elaboración: Referencia: Sánchez Andrea, Intriago César, Julio 2013, EPN

4.2.5 Tendencia de la Precipitación

Para el análisis de tendencias en precipitación se utilizaron dos estaciones representativas, una para la sierra y otra la costa. Las estaciones tienen un 98% mínimo de datos de pluviometría. Para la cuenca del Esmeraldas se usaron las estaciones M003 Izobamba, M0025 La Concordia y se observó lo siguiente:

Las gráficas de precipitación para la estación de la costa (M0025) presentaron tres picos importantes en los años 1983, 1997 y 1998, lo cual coincide con el Fenómeno de El Niño que se produjo en esos años, pero la tendencia de precipitación es decreciente en el periodo 1981 – 2010.

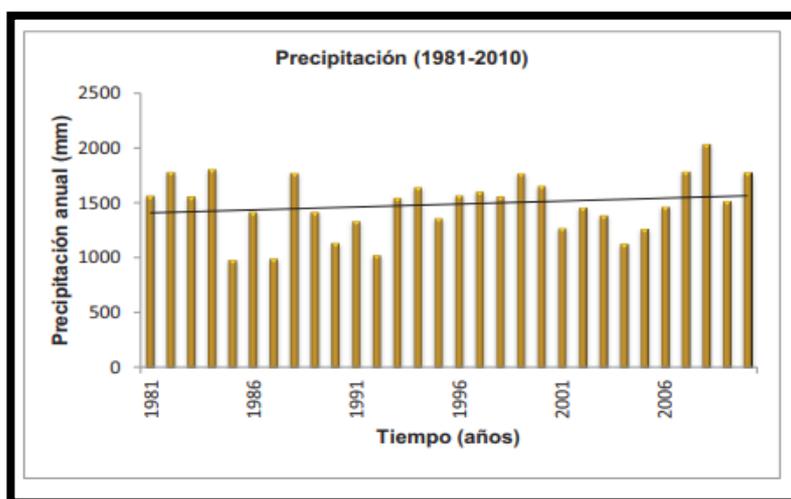
Figura 76 Tendencia de la precipitación en la estación M0025 La Concordia (en la costa)



Fuente: INAMHI (varios años)
Elaboración: Económica CIC 2023

La estación climatológica para la sierra (M003) en cambio demuestra que la tendencia de la precipitación en el mismo periodo es creciente, tal como se muestra en la siguiente figura.

Figura 77 Tendencia de la precipitación en la estación M003 Izobamba (en la sierra)



Fuente: INAMHI (varios años)
Elaboración: Económica CIC 2023

4.2.6 Caracterización Hidrológica

Estaciones hidrológicas

La información hidrológica para este estudio comprende el periodo de 1981-2010 la cual está publicada en los anuarios del INAMHI.

En la siguiente tabla se enlistan las estaciones hidrológicas presentes en la cuenca del río Toachi.

Tabla 49 Estaciones hidrológicas en la zona de estudio

CODIGO	NOMBRE	TIPO	LATITUD	LONGITUD	ELEVACION (msnm)	CLASE
H0167	Toachi en Sto Domingo	LG	00° 14' 23" S	79° 8' 16" W	420	A
H0166	Toachi en las Pampas	LG	00° 26' 12" S	78° 58' 55" W	1110	A
H0156	Pilatón AJ Toachi	LG	00°18' 37" S	78° 55' 52" W	890	A
H0161	Toachi AJ Pilatón	LG	00° 18' 51" S	78° 57' 12" W	820	A
H0165	Toachi AJ Alluriquin	LG	00° 19' 6" S	78° 59' 16" W	756	C

Fuente: INAMHI (varios años)

Elaboración: Económica CIC 2023

Simbología:

LG: Limnigráfica

LM: Limnimétrica

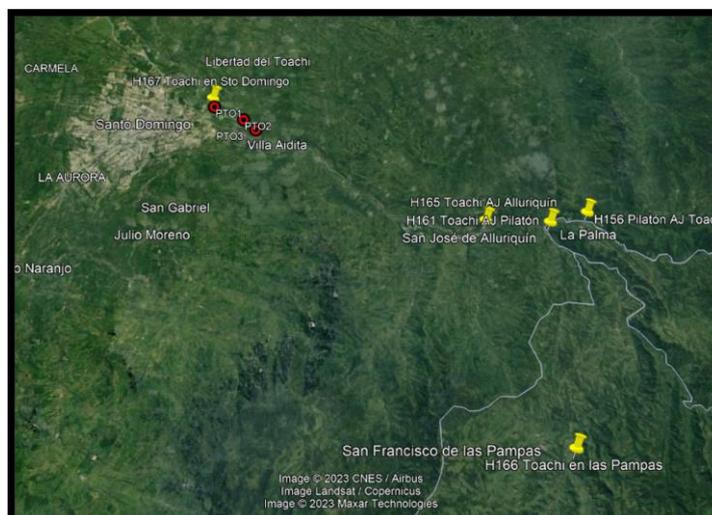
A: Estación Base, con más de 20 años de información

B: Estación apoyo, entre 20 y 10 años de información

C: Estación referencia, menos de 10 años de información

La siguiente figura, muestra la ubicación de las estaciones hidrológicas en la zona de estudio y las 3 secciones de control en la ciudad de Santo Domingo en donde posteriormente se visualizarán las zonas de inundación mediante la aplicación del modelo hidráulico.

Figura 78 Ubicación de las secciones/puntos de control y las estaciones hidrológicas



Fuente: INAMHI (varios años)

Elaboración: Económica CIC 2023

A continuación, en la siguiente tabla se presentan los caudales medios anuales para el periodo 1981 – 2010 en la cuenca del río Toachi.

Tabla 50 Caudales medios anuales en las estaciones hidrológicas

CODIGO	ESTACION	CAUDAL MEDIO (m3/s)
H0156	Pilatón AJ Toachi	37.9
H0161	Toachi AJ Pilatón	36.5
H0166	Toachi en las Pampas	18.4
H0167	Toachi en Sto Domingo	95.1

Fuente: INAMHI (varios años)
Elaboración: Económica CIC 2023

4.2.7 Balance hídrico a nivel de estaciones hidrológicas

El balance hídrico analiza la entrada y salida del agua, es un análisis cuantitativo del recurso agua y sus modificaciones por influencia humana.

En la siguiente tabla, se muestra los resultados del balance hídrico en cuatro estaciones de la cuenca.

Tabla 51 Balance hídrico, cuenca del río Toachi en cuatro estaciones

Cod.	Estación	Área (km2)	Uso de suelo	Qm (m3/s)	ELEV. (msnm)	T MD (°C)	hp (mm)	he (mm)	hQ (mm)	Qm a (m3/s)
H0156	Pilatón AJ Toachi	126.8	Ag.-B.	37.9	890	21.8	1977.9	801.2	1176.7	35.5
H0161	Toachi AJ Pilatón	1522.8	Ag.	36.5	820	22.1	1781.8	794.1	987.7	38.7
H0166	Toachi en las Pampas	1052.1	Ag.-B.	18.4	1110	20.8	1736.2	764.7	971.6	19.3
H0167	Toachi en Sto Domingo	2370.4	Ag.	95.1	420	24.4	1882.8	849.1	1033.6	92.3

Fuente: INAMHI (varios años)
Elaboración: Económica CIC 2023

Simbología:

- Qm:** Caudal medio anual de la serie de datos 1981-2010 (m3/s)
- ELEV:** Elevación de la estación sobre el nivel del mar (msnm)
- T MD:** Temperatura media anual en elevación de la estación hidrológica (°C)
- hp :** Lámina de precipitación anual (mm)

- he:** Lámina de evapotranspiración anual obtenida con el método de Turc (mm)
- hQ:** Lámina de escurrimiento superficial media anual (mm)
- Qm a:** Caudal medio anual calculado mediante balance hídrico y ajustado mediante cálculo de error medio (m³/s)
- Ag.:** Agropecuaria
- Ag.-B.:** Agropecuaria y Bosques

Caudales medios y mínimos

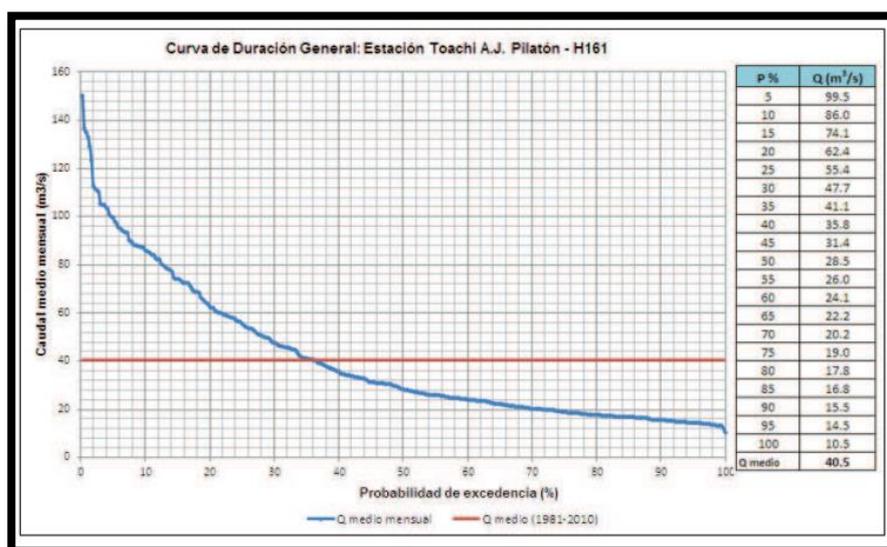
Los caudales medios de la serie de 1981-2010 se encuentran en la tabla anterior, bajo la columna Qm (m³/s).

Los caudales medios y mínimos se pueden definir también mediante las **Curvas de Duración General (CDG)** que son curvas de frecuencias acumuladas. Indican el porcentaje de tiempo durante el cual la medida de un fenómeno ha sido igualado o excedido en un periodo de tiempo y son utilizadas en Hidrología para hacer una estimación razonable de caudales.

También se conocen como Curvas de Permanencia o Persistencia de Caudales, son gráficos que indican la probabilidad de excedencia de caudales anuales, mensuales o diarios.

A continuación, se presentan las CDG de tres estaciones hidrológicas en la cuenca del río Toachi: H161, H166 y H167

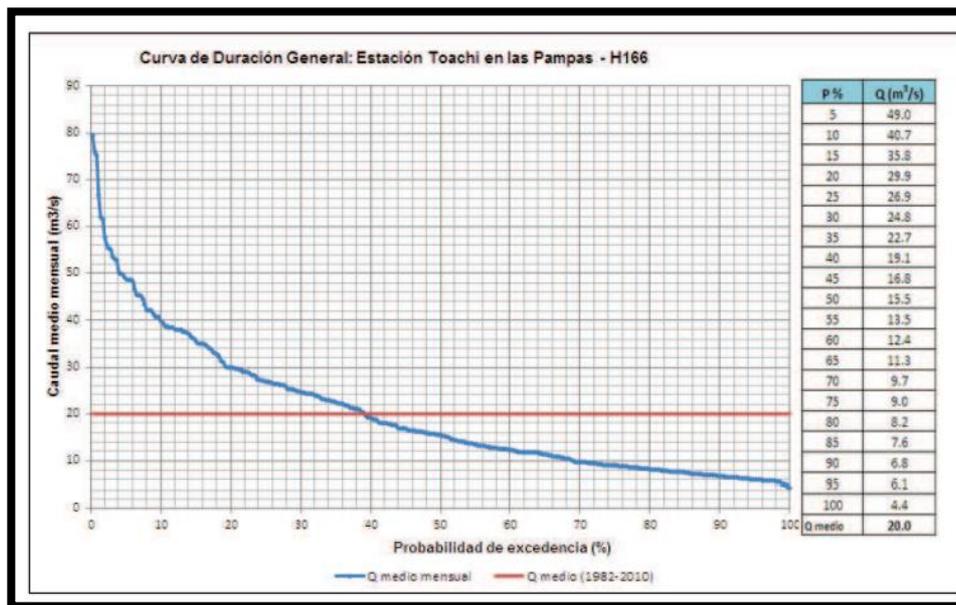
Figura 79 Curva de Duración General para la estación H161 Toachi AJ Pilatón



Fuente: INAMHI (varios años)

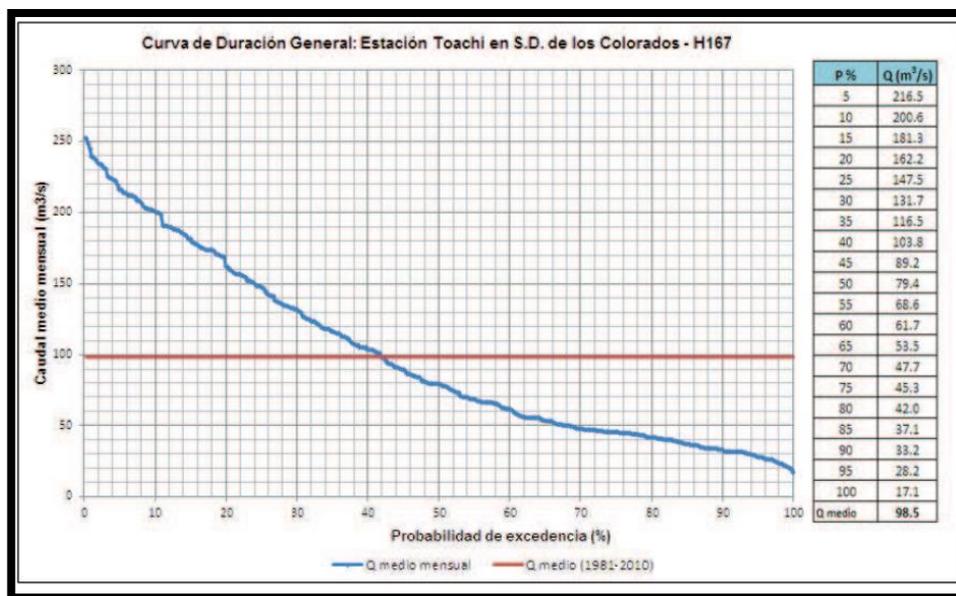
Elaboración: Económica CIC 2023

Figura 80 Curva de Duración General para la estación H166 Toachi Las Pampas



Fuente: INAMHI (varios años)
Elaboración: Económica CIC 2023

Figura 81 Curva de Duración General para la estación H167 Toachi en Santo Domingo



Fuente: INAMHI (varios años)
Elaboración: Económica CIC 2023

Los caudales mínimos son los valores comprendidos en un rango de excedencia del 70 al 99% de la CDG.

En la siguiente tabla se presentan los caudales mínimos en tres estaciones hidrológicas en la cuenca.

Tabla 52 Caudales mínimos

CAUDALES MINIMOS							
CODIGO	ESTACION	70%	75%	80%	85%	90%	95%
H0161	Toachi AJ Pilatón	20.2	19	17.8	16.8	15.5	14.5
H0166	Toachi en las Pampas	9.7	9	8.2	7.6	6.8	6.1
H0167	Toachi en Sto Domingo	47.7	45.3	42	37.1	28.2	28.2

Fuente: INAMHI (varios años)
Elaboración: Económica CIC 2023

Caudales máximos

De los registros del INAMHI, se observa que ninguna de las estaciones se acerca al periodo necesario completo de registro de caudales máximos. El caudal máximo instantáneo es una variable hidrológica no registrada frecuentemente ya que requiere datos continuos debido a la eventualidad con la que se presenta.

Es por ello que, el Manual de Hidrología obtiene los valores de caudales máximos instantáneos anuales con periodo de retorno asignado mediante el uso de estadística-probabilística. (Sánchez Andrea, Intriago César, Manual de Hidrología, EPN, 2013).

La siguiente tabla presenta los valores de caudales máximos que se obtuvieron con Periodo de Retorno asignado para la cuenca en estudio.

Tabla 53 Caudales máximos para diferentes periodos de retorno (Tr)

CODIGO	ESTACION	AREA (km2)	q (l/s/km2)	Tr = 5		Tr =10		Tr =25		Tr =50		Tr = 100	
				Qmax (m3/s)	Qmax sup								
H156	Pilatón AJ Toachi	626.8	60.5	278.9	310.8	306.3	343.5	335.6	379.6	354.5	403.3	371.5	424.8
H161	Toachi AJ Pilatón	1522.8	24	418.8	471.4	472.3	533.4	529.3	601.6	566.2	646.3	599.3	686.8
H0166	Toachi en las Pampas	1052.1	17.5	230.4	325.3	302	430.7	397.5	588.7	470.1	723.8	543	873.5

Fuente: INAMHI (varios años)
Elaboración: Económica CIC 2023

Es importante mencionar que, por la falta de información en los registros del INAMHI para la estación H167 Toachi en Santo Domingo no se pudo obtener caudales máximos, sin embargo, para la modelación hidráulica en los 3 puntos, se procederá a usar los caudales máximos calculados para la estación H156 Pilatón AJ Toachi y H161 Toachi AJ Pilatón. Se realizará un ajuste basado en los caudales medios anuales mostrados en la tabla anterior.

Grupo hidrológico

La siguiente tabla muestra el grupo hidrológico en toda la cuenca del río Esmeraldas. En particular se presenta los resultados para cuenca del Toachi (Unidad Hidrográfica 1529 en el recuadro rojo)

Tabla 54 Grupo Hidrológico en la cuenca del río Esmeraldas

Grupo Hidrológico	Textura de Suelo	Unidad Hidrográfica 152 (Km2)- Cuenca del río Esmeraldas									Total	%
		1521	1522	1523	1524	1525	1526	1527	1528	1529		
A	Arenoso	-	-	-	487.1	-	-	-	-	73.0	560.1	3.1
A	Arenoso Franco	-	-	-	41.1	-	-	-	-	-	41.1	0.2
A	Franco Arenoso	2.3	229.6	18.4	1477.5	52.6	212.3	57.8	54.9	12.4	2117.8	11.6
B	Franco Limoso	-	59.1	17.5	184.5	11.9	366.9	36.8	27.5	3.9	708.2	3.9
B	Franco	-	445.2	-	4787.0	25.4	1565.9	1147.9	1561.9	2486.3	12019.4	66.7
C	Franco Arcilloso	47.1	1.5	-	3.2	1.8	937.8	16.5	1.1	0.5	1009.6	5.5
C	Franco Arcillo Arenoso	-	-	-	541.2	-	-	-	-	9.5	550.7	3.0
C	Franco Arcillo Limoso	71.3	31.4	6.3	-	1.6	151.4	4.7	-	-	266.7	1.5
D	Arcillo Arenoso	-	-	-	245.7	-	-	-	-	-	245.7	1.3
D	Arcilloso	66.3	55.7	1.4	37.5	46.5	91.8	-	-	-	299.3	1.6
	Nieve	-	-	-	53.3	-	-	-	-	3.4	56.8	0.3
	Ciudades	6.2	-	-	147.2	-	2.3	2.4	-	-	158.2	0.9
	Cuerpo de Agua	0.4	-	-	7.6	-	-	-	0.2	3.3	11.5	0.1
	Afloramiento Rocoso	-	-	-	213.2	-	-	-	11.2	18.7	243.1	1.3
	Total	193.6	822.7	43.6	8226.2	139.7	3328.4	1266.0	1656.7	2611.0	18288.1	100.0

Fuente: INAMHI (varios años)

Elaboración: Económica CIC 2023

En el presente informe se presentan los datos y resultados provenientes del Manual de Hidrología de Sánchez & Intriago, principalmente porque sus autores tuvieron a disposición toda la información proveniente de las estaciones hidrometeorológicas INAMHI en la cuenca del Esmeraldas y se realizaron análisis estadísticos rigurosos de dichos datos.

La falta de información actual tanto meteorológica como hidrológica por parte del INAMHI es preocupante, sobre todo porque la futura modelación en el río Toachi requiere información actualizada y que incluya eventos críticos, por ejemplo, Fenómenos como el Niño y la Niña.

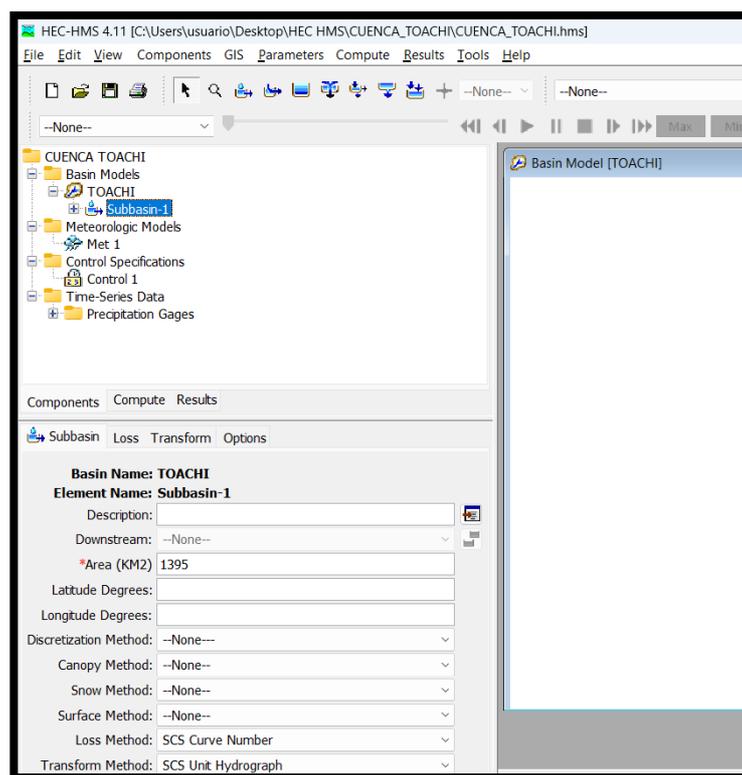
4.2.8 Modelo Hydrologic Engineering Center - Hydrologic Modeling System (HEC-HMS)

El HEC-HMS (Hydrologic Engineering Center - Hydrologic Modeling System) es un programa de modelado hidrológico desarrollado por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos (USACE), específicamente por el Centro de Ingeniería Hidrológica (Hidrológica Engineering Center, HEC). Este software se utiliza para llevar a cabo estudios hidrológicos y simular el comportamiento de cuencas hidrográficas en respuesta a eventos de lluvia.

Las funciones principales de HEC-HMS versión 4.11 que se utilizarán en el presente estudio son:¹²

- **Modelado de precipitación:** mediante el ingreso de datos pluviométricos HEC-HMS simula eventos de lluvia en la cuenca
- **Modelado de escorrentía:** calcula la escorrentía superficial y subterránea en función de la precipitación, la infiltración y otros valores hidrológicos.
- **Ruteo de Flujo:** simula el movimiento del agua a través de la cuenca considerando la topografía, el drenaje y las características del suelo.
- **Generación de Hidrogramas:** produce hidrogramas o gráficos de escorrentía que representan la respuesta de la cuenca a la precipitación ingresada.
- **Interfaz gráfica:** facilita la entrada de datos y la presentación de resultados en forma de tablas y gráficos de acuerdo a la siguiente figura.

Figura 82 Interfaz gráfica de HEC-HMS para la entrada de datos



Fuente: Herramienta HEC-HMS

Elaboración: Económica CIC 2023

¹² <https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/>

Los datos necesarios son:

- a) Parámetros morfométricos de la cuenca
 - Área (km²)
 - Longitud del río principal (km)
 - Diferencia de elevación entre el punto más alto donde nace el cauce hasta el sitio de interés (m)
- b) Hietograma de diseño: dato de entrada de la precipitación en forma de gráfico de barras, calculado en base al Método de Bloques Alternos ya que no se tiene registros de tormentas in situ.
 - Se utiliza la curva IDF (Intensidad-Duración-Frecuencia) de una estación representativa para obtener la Precipitación como una función del tiempo
- c) Número de Curva CN
 - Este número refleja el tipo de suelo y cobertura vegetal de la cuenca: para ello se utilizarán los datos de los trabajos de investigación de Pullupaxi y Villareal (enero 2013) y Ojeda (julio de 2017)

Para ingresar los datos en el aplicativo HEC-HMS se requieren cuatro pasos o modos (que en el programa se les conoce como Managers)

- a) **Basin Model Manager:** en el cual se ingresa el esquema de la cuenca, se escoge el cálculo de pérdida basado en el número de curva SCS, el método de transformación se basa en el hidrograma unitario del SCS, el número de curva ponderado CN de acuerdo a la bibliografía utilizada es de 70, tiempo de concentración de la cuenca de 521 min, tiempo de retardo de la cuenca es de 312 min. Estos tiempos fueron calculados con las formuladas desarrolladas por el SCS (Servicio de Conservación de Suelos de los EEUU).
- b) **Time-Series Data Manager:** datos de precipitación provenientes de la curva IDF de la estación M0362 Las Pampas y que fueron calculados a través del método de Bloques Alternos.
- c) **Meteorologic Model Manager:** ingreso del hietograma desarrollado en el paso anterior
- d) **Control Especifications Manager:** ingreso de especificaciones para el cálculo de los hidrogramas de crecida.

4.2.9 Resultados modelación hidrológica en la cuenca del río Toachi bajo escenario histórico periodo 1985-2015

La primera modelación se realizó con la precipitación en toda la cuenca correspondiente a un periodo de retorno de 100 años. Para ello se utilizó la curva

IDF de la estación M0362 Las Pampas, del Estudio de Lluvias de Intensidad desarrollado por el INAMHI (Instituto Ecuatoriano de Meteorología e Hidrología 2015), que se observa en la siguiente tabla.

Tabla 55 Intensidad-Duración-Frecuencia, Estación M0362 Las Pampas

ESTACIÓN		INTERVALOS DE TIEMPO (minutos)	ECUACIONES	R	R ²
CÓDIGO	NOMBRE				
M0362	LAS PAMPAS	5<20	$i = 114.6595 * T^{0.1981} * t^{-0.3201}$	0.9849	0.9700
		20<120	$i = 331.9360 * T^{0.1853} * t^{-0.6496}$	0.9894	0.9789
		120<1440	$i = 664.6047 * T^{0.1394} * t^{-0.7684}$	0.9971	0.9942

Fuente: Estudio de Lluvias Intensas, INAMHI, 2015

Elaboración: Económica CIC 2023

Simbología:

i = intensidad de la lluvia (mm/h)

T= periodo de retorno (años)

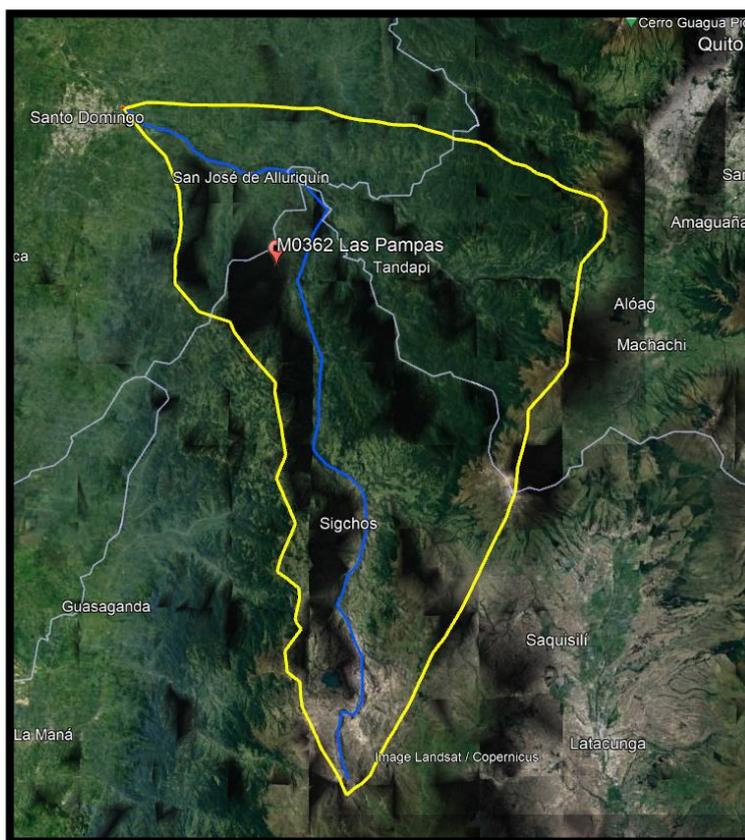
t = tiempo de duración de la lluvia

Para el cálculo de la intensidad máxima con esta ecuación T será de 100 años y el tiempo de duración de la lluvia t será igual al tiempo de concentración de la cuenca.

Se aplicó la fórmula sugerida por el SCS – Servicio de Conservación de Suelos de los EEUU- para la determinación del tiempo de concentración de la cuenca el cual es de 521 min. Mediante la aplicación del método de Bloques Alternos¹³ se obtiene el Hietograma o gráfico de lluvia que será el dato de entrada para la simulación y que se aprecia en la siguiente figura.

¹³ <https://www.hidrojing.com/como-obtener-hietogramas-a-partir-de-curvas-idf-para-hec-hms-y-swmm/>

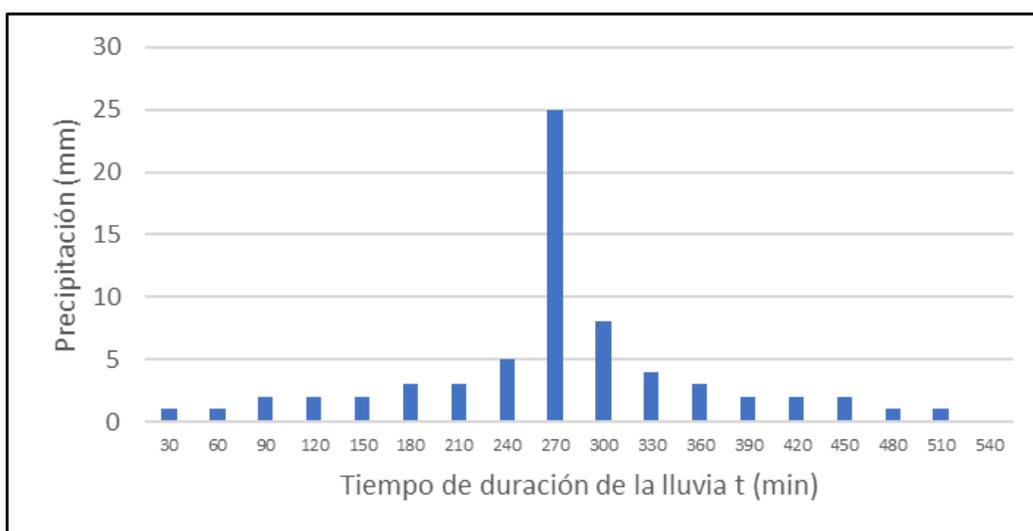
Figura 83 Ubicación de la estación representativa M0362 Las Pampas



Fuente: Google Earth 2023, Económica CIC 2023

Elaboración: Económica CIC 2023

Figura 84 Precipitación (Hietograma) Tr=100 años



Fuente: INAMHI 2023. Económica CIC 2023

Elaboración: Económica CIC 2023

Las características de la cuenca que serán utilizadas en el programa son las siguientes:

Tabla 56 Características de la cuenca del río Toachi

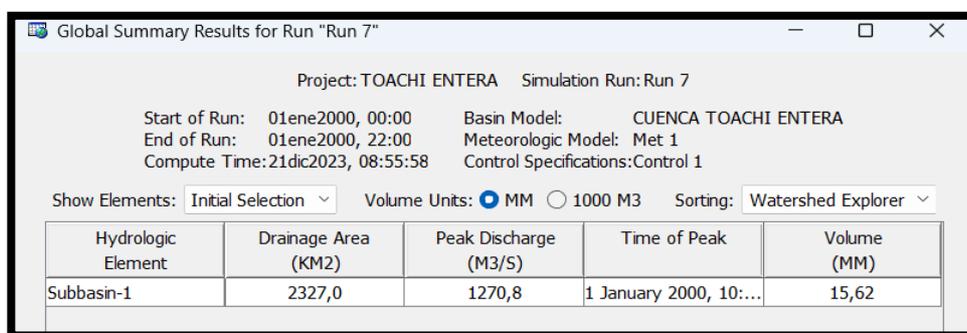
Características	Cuenca río Toachi
A = Área	2327 km ²
L = Longitud del cauce principal	107 km
H = Diferencia de elevación desde el inicio del cauce al punto estudiado	3919 m
T_c = Tiempo de concentración	521 min
Lag = Tiempo de retardo	312 min

Fuente: INAMHI 2023.

Elaboración: Económica CIC 2023

En la siguiente tabla se muestra el resultado para el caudal máximo que HEC-HMS calcula a partir de los datos de entrada y éste es de 1270.8 m³/s.

Figura 85 Caudal máximo para Tr=100 años

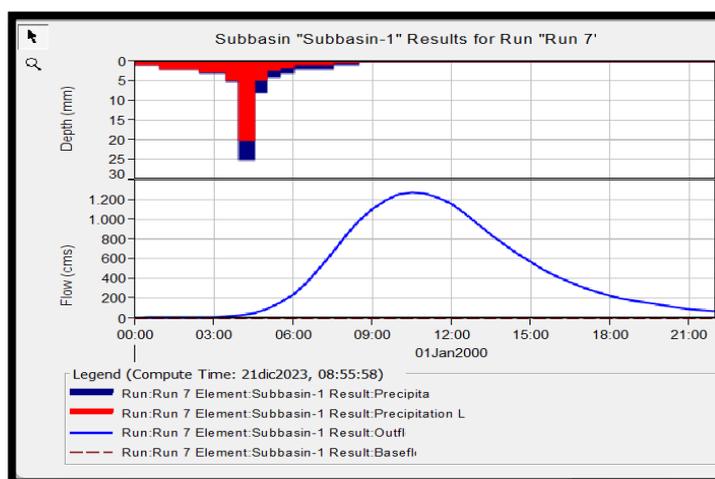


Fuente: INAMHI 2023. Económica CIC 2023

Elaboración: Económica CIC 2023

En la siguiente figura, se observa que en la parte superior aparece el Hietograma de precipitación total sobre la cuenca y en rojo se señala la precipitación efectiva que da lugar a la crecida. En la parte inferior la línea azul representa el hidrograma de crecida o caudal en el punto de interés, siendo el caudal máximo de 1270.8 m³/s.

Figura 86 Precipitación y Caudal para Tr=100 años



Fuente: INAMHI 2023. Económica CIC 2023

Elaboración: Económica CIC 2023

Nótese que el tiempo de respuesta de la cuenca, es decir el tiempo que transcurre entre el valor pico de la precipitación y el valor pico de la escorrentía es de 6 horas.

Un resumen completo de los resultados se presenta en la siguiente tabla, en donde se aprecia el caudal pico o máximo en m³/s (Peak Discharge), el volumen de la precipitación en mm (Precipitation Volume), el volumen de pérdidas en mm (Loss Volume), el volumen excedente en mm (Excess Volume), la hora de la descarga máxima (Date/Time of Peak Discharge), el volumen de escorrentía directa en mm (Direct Runoff Volume), el flujo base en mm (Baseflow Volume) y el volumen de la descarga en mm (Discharge Volume).

Tabla 57 Resultados para Tr=100 años

Project: TOACHI ENTERA		Simulation Run: Run 7	
Subbasin: Subbasin-1			
Start of Run: 01ene2000, 00:00	Basin Model: CUENCA TOACHI ENTERA		
End of Run: 01ene2000, 22:00	Meteorologic Model: Met 1		
Compute Time: 21dic2023, 08:55:58	Control Specifications: Control 1		
Volume Units: <input checked="" type="radio"/> MM <input type="radio"/> 1000 M3			
Computed Results			
Peak Discharge: 1270,8 (M3/S)	Date/Time of Peak Discharge: 01ene2000, 10:30		
Precipitation Volume: 67,00 (MM)	Direct Runoff Volume: 15,62 (MM)		
Loss Volume: 51,04 (MM)	Baseflow Volume: 0,00 (MM)		
Excess Volume: 15,96 (MM)	Discharge Volume: 15,62 (MM)		

Fuente: INAMHI 2023. Económica CIC 2023

Elaboración: Económica CIC 2023

La segunda modelación se realizó con la precipitación en toda la cuenca correspondiente a un periodo de retorno de 25 años. Para ello se utilizó la curva IDF de la estación M0362 Las Pampas, del Estudio de Lluvias Intensas desarrollado por el INAMHI (Instituto Ecuatoriano de Meteorología e Hidrología del Ecuador), que se observa en la siguiente tabla.

Tabla 58 Intensidad-Duración-Frecuencia, Estación M0362 Las Pampas

ESTACIÓN		INTERVALOS DE TIEMPO (minutos)	ECUACIONES	R	R ²
CÓDIGO	NOMBRE				
M0362	LAS PAMPAS	5<20	$i = 114.6595 * T^{0.1981} * t^{-0.2201}$	0.9849	0.9700
		20<120	$i = 331.9360 * T^{0.1853} * t^{-0.6496}$	0.9894	0.9789
		120<1440	$i = 664.6047 * T^{0.1394} * t^{-0.7684}$	0.9971	0.9942

Fuente: Estudio de Lluvias Intensas, INAMHI. Económica CIC 2023

Elaboración: Económica CIC 2023

Simbología:

i = intensidad de la lluvia (mm/h)

T = periodo de retorno (años)

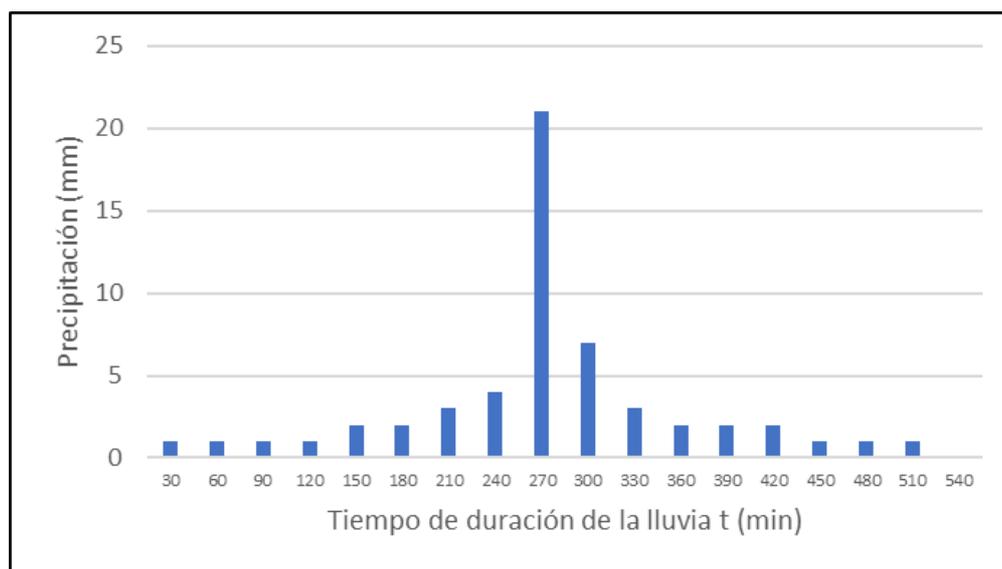
t = tiempo de duración de la lluvia

Para el cálculo de la intensidad máxima, T en esta ecuación será 25 años y el tiempo de duración de la lluvia t será igual al tiempo de concentración de la cuenca.

Se aplicó la fórmula sugerida por el SCS – Servicio de Conservación de Suelos de los EEUU- para la determinación del tiempo de concentración de la cuenca el cual es de 521 min.

Mediante la aplicación del método de Bloques Alternos se obtiene el Hietograma o gráfico de lluvia que será el dato de entrada para la simulación y que se aprecia en la siguiente figura.

Figura 87 Precipitación (Hietograma) $T_r=25$ años



Fuente: INAMHI 2023. Económica CIC 2023

Elaboración: Económica CIC 2023

Las características de la cuenca que serán utilizadas como datos de entrada son las mismas que se presentan en esa sección.

En la siguiente tabla se muestra el resultado para el caudal máximo que HEC-HMS calcula a partir de los datos de entrada y éste es de 798 m³/s.

Tabla 59 Caudal máximo para Tr=25 años

Project: TOACHI ENTERA Simulation Run: Run 8

Start of Run: 01ene2000, 00:00 Basin Model: CUENCA TOACHI ENTERA
End of Run: 01ene2000, 22:00 Meteorologic Model: Met 1
Compute Time: 21dic2023, 11:31:54 Control Specifications: Control 1

Show Elements: All Elements Volume Units: MM 1000 M3 Sorting: Watershed Explorer

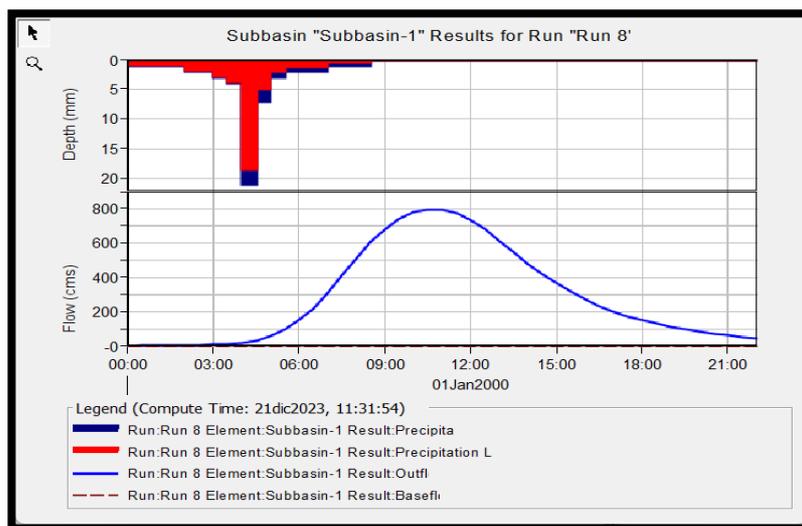
Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (MM)
Subbasin-1	2327,0	798,0	1 January 2000, 10:...	9,91

Fuente: INAMHI 2023. Económica CIC 2023

Elaboración: Económica CIC 2023

En la siguiente figura, que se presenta a continuación se observa que en la parte superior aparece el Hietograma de precipitación total sobre la cuenca y en rojo se señala la precipitación efectiva que da lugar a la crecida. En la parte inferior la línea azul representa el hidrograma de crecida o caudal en el punto de interés, siendo el caudal máximo de 798 m³/s.

Figura 88 Precipitación y Caudal para Tr=25 años



Fuente: INAMHI 2023. Económica CIC 2023

Elaboración: Económica CIC 2023

El tiempo de respuesta de la cuenca, es decir el tiempo que transcurre entre el valor pico de la precipitación y el valor pico de la escorrentía es de 6 horas.

Un resumen completo de los resultados se presenta en la tabla anterior, en donde se aprecia el caudal pico o máximo en m³/s (Peak Discharge), el volumen de la precipitación en mm (Precipitation Volume), el volumen de pérdidas en mm (Loss Volume), el volumen excedente en mm (Excess Volume), la hora de la descarga

máxima (Date/Time of Peak Discharge), el volumen de escorrentía directa en mm (Direct Runoff Volume), el flujo base en mm (Baseflow Volume) y el volumen de la descarga en mm (Discharge Volume).

Tabla 60 Tabla de resultados para Tr = 25 años

Computed Results	
Peak Discharge:	798,0 (M3/S)
Precipitation Volume:	55,00 (MM)
Loss Volume:	44,87 (MM)
Excess Volume:	10,13 (MM)
Date/Time of Peak Discharge:	01ene2000, 10:30
Direct Runoff Volume:	9,91 (MM)
Baseflow Volume:	0,00 (MM)
Discharge Volume:	9,91 (MM)
	Simulated Baseflow Volume

Fuente: INAMHI 2023. Económica CIC 2023

Elaboración: Económica CIC 2023

La tercera simulación se realizó con la precipitación en toda la cuenca correspondiente a un periodo de retorno de 5 años. Para ello se utilizó la curva IDF de la estación M0362 Las Pampas, del Estudio de Lluvias Intensas desarrollado por el INAMHI (Instituto Ecuatoriano de Meteorología e Hidrología del Ecuador), que se observa en la siguiente tabla.

Tabla 61 Intensidad-Duración-Frecuencia, Estación M0362 Las Pampas

ESTACIÓN		INTERVALOS DE TIEMPO (minutos)	ECUACIONES	R	R ²
CÓDIGO	NOMBRE				
M0362	LAS PAMPAS	5<20	$i = 114,6595 * T^{0,1981} * t^{-0,3201}$	0,9849	0,9700
		20<120	$i = 331,9360 * T^{0,1858} * t^{-0,6496}$	0,9894	0,9789
		120<1440	$i = 664,6047 * T^{0,1894} * t^{-0,7684}$	0,9971	0,9942

Fuente: INAMHI 2015. Económica CIC 2023

Elaboración: Económica CIC 2023

Simbología:

i = intensidad de la lluvia (mm/h)

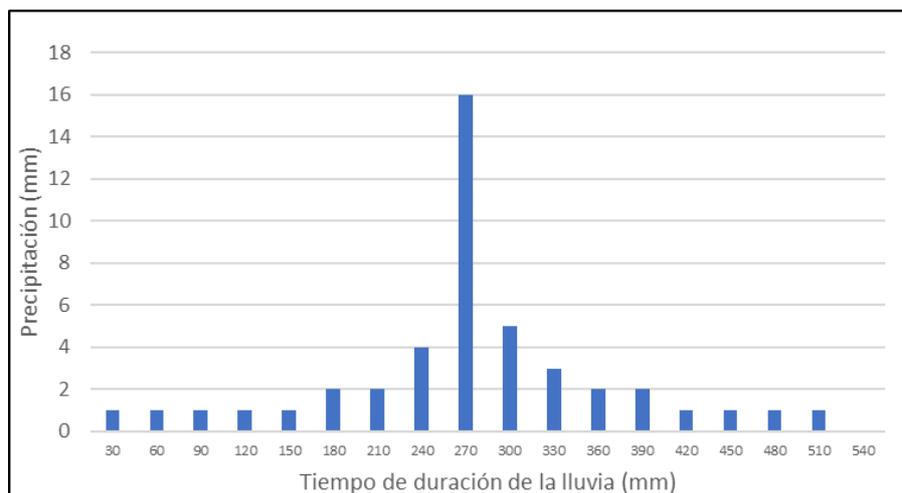
T= periodo de retorno (años)

T = tiempo de duración de la lluvia

T en esta ecuación será 5 años para el cálculo de la intensidad máxima y el tiempo de duración de la lluvia t será igual al tiempo de concentración de la cuenca.

Para este proceso, se aplicó la fórmula sugerida por el SCS – Servicio de Conservación de Suelos de los EEUU- para la determinación del tiempo de concentración de la cuenca el cual es de 521 min. Mediante la aplicación del método de Bloques Alternos se obtiene el Hietograma o gráfico de lluvia que será el dato de entrada para la simulación y que se aprecia en la siguiente figura.

Figura 89 Precipitación (Hietograma) Tr= 5 años



Fuente: INAMHI 2023. Económica CIC 2023

Elaboración: Económica CIC 2023

Las características de la cuenca que serán utilizadas como datos de entrada son las mismas que se presentan en la sección correspondiente.

Para la modelación del periodo de retorno de 5 años. En la siguiente tabla se muestra el resultado para el caudal máximo que HEC-HMS calcula a partir de los datos de entrada y éste es de 473.6 m³/s.

Tabla 62 Caudal máximo para Tr=5 años

Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (MM)
Subbasin-1	2327,0	473,6	1 January 2000, 11:...	5,99

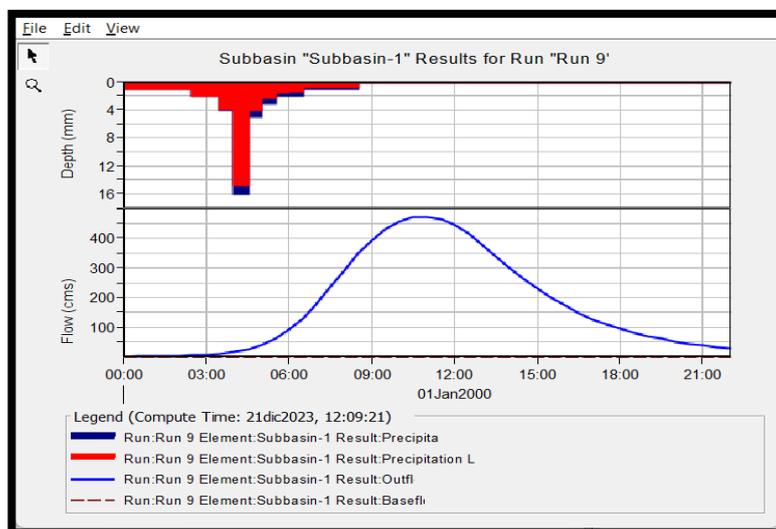
Fuente: INAMHI 2023. Económica CIC 2023

Elaboración: Económica CIC 2023

En la siguiente figura, que se presenta a continuación se observa que en la parte superior aparece el Hietograma de precipitación total sobre la cuenca y en rojo se señala la precipitación efectiva que da lugar a la crecida. En la parte inferior la línea

azul representa el hidrograma de crecida o caudal en el punto de interés, siendo el caudal máximo de 473.6 m³/s.

Figura 90 Precipitación y Caudal para Tr=5 años



Fuente: INAMHI 2023. Económica CIC 2023

Elaboración: Económica CIC 2023

El tiempo de respuesta de la cuenca, es decir el tiempo que transcurre entre el valor pico de la precipitación y el valor pico de la escorrentía es de 6.5 horas.

Un resumen completo de los resultados se presenta en la siguiente tabla, en donde se aprecia el caudal pico o máximo en m³/s (Peak Discharge), el volumen de la precipitación en mm (Precipitation Volume), el volumen de pérdidas en mm (Loss Volume), el volumen excedente en mm (Excess Volume), la hora de la descarga máxima (Date/Time of Peak Discharge), el volumen de escorrentía directa en mm (Direct Runoff Volume), el flujo base en mm (Baseflow Volume) y el volumen de la descarga en mm (Discharge Volume).

Tabla 63 Resultados para Tr = 5 años

Summary Results for Subbasin "Subbasin-1"	
Project: TOACHI ENTERA Simulation Run: Run 9	
Subbasin: Subbasin-1	
Start of Run: 01ene2000, 00:00	Basin Model: CUENCA TOACHI ENTERA
End of Run: 01ene2000, 22:00	Meteorologic Model: Met 1
Compute Time: 21dic2023, 12:09:21	Control Specifications: Control 1
Volume Units: <input checked="" type="radio"/> MM <input type="radio"/> 1000 M3	
Computed Results	
Peak Discharge: 473,6 (M3/S)	Date/Time of Peak Discharge: 01ene2000, 11:00
Precipitation Volume: 45,00 (MM)	Direct Runoff Volume: 5,99 (MM)
Loss Volume: 38,87 (MM)	Baseflow Volume: 0,00 (MM)
Excess Volume: 6,13 (MM)	Discharge Volume: 5,99 (MM)

Fuente: INAMHI 2023. Económica CIC 2023

Elaboración: Económica CIC 2023

En la siguiente tabla, se observa de una manera comparativa los caudales máximos en función del Periodo de Retorno que se utilizarán como datos de entrada para la modelación hidráulica en el tramo localizado en la ciudad de Santo Domingo.

Para la modelación hidráulica se aplicará el modelo HEC-RAS, con el propósito de determinar alturas, velocidades y áreas de inundación en sitios de interés en el tramo del río.

Tabla 64 Caudales máximos en función del Periodo de Retorno

Periodo de retorno (años)	CAUDAL (m ³ /s)
100	1271.0
25	798.0
5	473.6

Fuente: INAMHI 2023. Económica CIC 2023

Elaboración: Económica CIC 2023

En el caos de la incertidumbre en la modelación, existen varios factores que tienen influencia en los valores a determinar por parte de HEC-HMS, entre los principales podemos determinar los siguientes:

Hietograma de precipitación

En la cuenca del río Toachi no se tienen registros de precipitación que hayan dado lugar a crecidas o avenidas importantes. Es por ello que se recurre a elaborar un hietograma de precipitación utilizando la curva IDF de una estación representativa en la cuenca. La estación escogida es M0362 Las Pampas por su ubicación en la cuenca y porque se tiene la mencionada curva elaborada por el INAMHI. Pudo haberse considerado a la estación M0027 Santo Domingo y su curva IDF como representativa, sin embargo, ésta se localiza en la cuenca baja en donde hay mayor cantidad de precipitación y podría dar valores sobredimensionados.

Numero de curva (CN)

El valor ponderado de CN se obtiene de valores provenientes de investigaciones anteriores. El número de curva CN que se utiliza en la presente simulación es un concepto basado en la teoría de caudales máximos desarrollada por el SCS. El valor de CN puede variar en el tiempo de acuerdo al tipo y al uso de suelo en la cuenca.

La metodología del Servicio de Conservación de Suelos utilizada en HEC-HMS es la más popular en la Hidrología para el cálculo de caudales máximos. El cálculo del tiempo de concentración y de retardo en la cuenca se basa en una fórmula empírica (Fórmula de Kirpich o del SCS) pero sus valores son bastante precisos de acuerdo a investigaciones realizadas especialmente en cuencas hidrográficas en los EEUU.

Se asume que la precipitación es uniforme en toda la cuenca, lo cual no siempre es así, porque los patrones de precipitación a lo largo de la cuenca varían y así lo demuestra el Mapa de Isoyetas (Caracterización Pluviométrica)

En la aplicación del método desarrollado por el SCS se considera que el tiempo de concentración de la cuenca es igual al tiempo de duración de la lluvia para que se presenten los caudales máximos.

4.2.10 Modelación hidrológica en la cuenca del río Toachi bajo escenario de clima futuro en el periodo 2020-2050

Introducción

Como antecedente, los resultados de la modelación hidrológica para la cuenca del río Toachi, se utilizaron los datos del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) para determinar los caudales de inundación para diferentes periodos de retorno. Con los datos de la modelación hidrológica, se realizó la modelación hidráulica en un tramo del río Toachi junto a la ciudad de Santo Domingo con el propósito de calcular alturas de inundación en tres sitios específicos y elaborar mapas de inundación en el tramo para los periodos de retorno escogidos.

Los resultados presentados corresponden a condiciones meteorológicas e hidráulicas actuales, sin embargo, se ha visto que es necesario realizar las mismas modelaciones para el escenario climático futuro entre 2020-2050. Para ello se usarán los datos proporcionados por el documento técnico del Proyecto de Adaptación al Cambio Climático en Ecuador PLANACC sobre “Generación de Series de Tiempo Diarias para Aplicaciones Sectoriales incluyendo Series para cinco años tipo en el periodo 2020-2050”.

Los objetivos de este proceso es determinar cuál es la influencia del clima futuro del periodo 2020-2050 en la modelación hidrológica e hidráulica en la cuenca del río Toachi; realizar la modelación hidrológica en la cuenca del río Toachi bajo condiciones de clima futuro y para tres periodos de retorno de 100, 25 y 5 años; realizar la modelación hidráulica en un tramo del río Toachi, en la ciudad de Santo Domingo, bajo condiciones de clima futuro y para tres periodos de retorno de 100, 25 y 5 años.

En el documento del PLANACC¹⁴ se usaron los patrones de precipitación y temperatura promedios asociados a los patrones atmosféricos de circulación

¹⁴ CMC-INT CONSULTORES MODELACION CIENTÍFICA INTERNACIONAL S.A. *Informe de generación de series de tiempo diarias para aplicaciones sectoriales incluyendo series para 5 años tipo en el periodo 2020-2050*. Proyecto Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático del Ecuador PLANACC. Quito, 2021.

presente (en reanálisis y CMIP6) y futuros (CMIP6) y se calcularon los factores de calibración para poder proyectar extremos de precipitación y temperaturas media, mínima y máxima para el período 2020-2050.

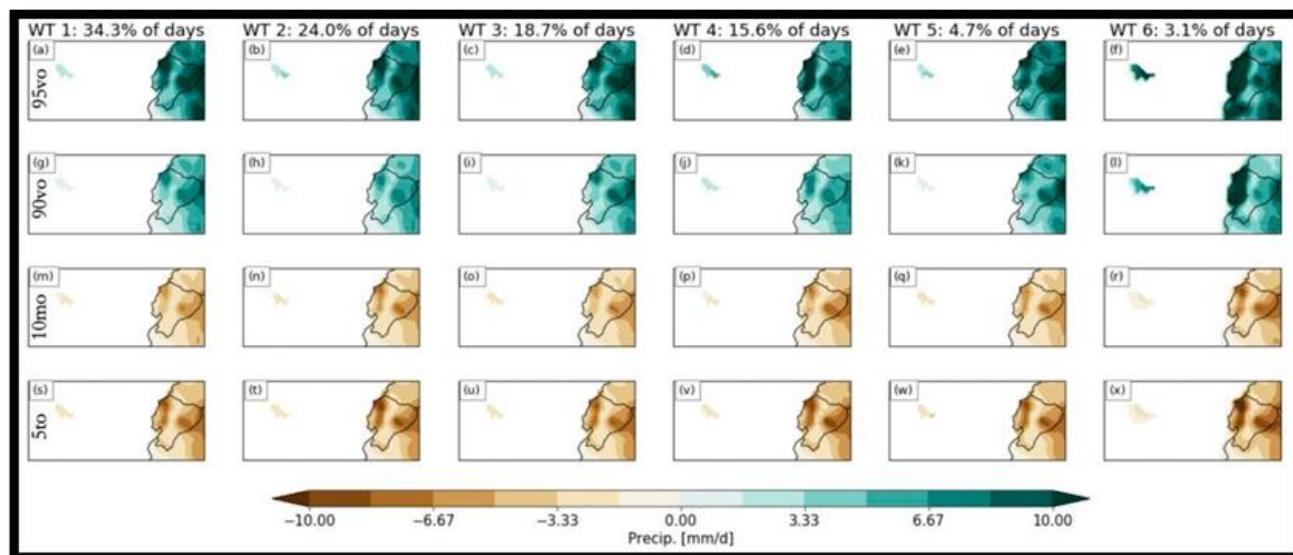
El escenario futuro considerado es el de alta emisión (SSP5-85), indicando el peor de los casos posibles en términos de impactos. Usando los factores de calibración se proyectaron los campos extremos de precipitación y temperaturas media, mínima y máxima para el período 2020-2050, para cada uno de los patrones calculados con anterioridad, y específicamente para los percentiles 5to, 10mo, 90vo y 95vo.

El análisis de las proyecciones calibradas sugiere que el comportamiento esperado de la lluvia y temperaturas máxima, media y mínima para el período 2020-2050 será similar al del presente, aunque con cambios de frecuencia en la ocurrencia y en magnitudes, tanto de los valores medios como de los extremos. En particular, los eventos extremos de lluvia y temperaturas se espera que disminuyan en cuanto a su frecuencia, aunque las magnitudes se espera que sean más extremas, implicando también mayor variabilidad en los valores esperados. El estudio sugiere que los días en el período 2020-2050 pueden dividirse en general en seis tipos distintos, que se han catalogado en el presente documento por medio de sus patrones de circulación, lluvia y temperaturas característicos. Para el presente estudio se escoge el patrón de circulación 6 o WTF6 el cual se asocia a eventos El Niño en la costa ecuatoriana y se caracteriza por condiciones de mucha lluvia (extremos positivos). WTF 6 es el patrón más extremo de todos mostrando precipitaciones extremas en Galápagos y a lo largo de toda la costa ecuatoriana, el Oriente percibe mucha menos lluvia de lo normal, y con temperaturas muy cálidas para todo el Ecuador continental e insular, siendo ligeramente menos cálidas en el Oriente.

En el análisis de los cambios esperados en los extremos de precipitación y temperatura, se realiza un cálculo de los extremos asociados a los percentiles 5, 10, 90 y 95. Los extremos se calibran de acuerdo a una matriz en función del modelo climático establecido y se obtienen valores umbrales para precipitación y temperatura.

En la siguiente figura, se presentan los campos extremos diarios para precipitación en el periodo 2020-2050 y para nuestro análisis escogeremos el valor más extremo del patrón de circulación 6 o WTF 6. Los distintos percentiles dan un contexto sobre qué tanta variabilidad en términos de anomalías puede esperarse en cada caso. El límite o umbral de precipitación que se puede esperar en el futuro cercano está entre 8.34 mm/d y 10 mm/d y ocurrirá el 3.1 % de los días. Para el presente análisis, se escogerá el caso más extremo que es de 10 mm/d.

Figura 91 Extremos de precipitación esperados para el periodo 2020-2050 para los percentiles 95vo (primera fila), 90vo (segunda fila), 10mo (tercera fila) y 5to(cuarta fila), y para cada patrón de circulación



Fuente: PLANACC 2021.

Elaboración: Económica CIC 2023

Referencia: Informe de generación de series de tiempo diarias para aplicaciones sectoriales incluyendo series para 5 años tipo en el periodo 2020-2050. Proyecto Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático del Ecuador PLANACC. Quito, 2021.

4.2.11 Resultados modelación hidrológica escenario de clima futuro periodo 2020-2050

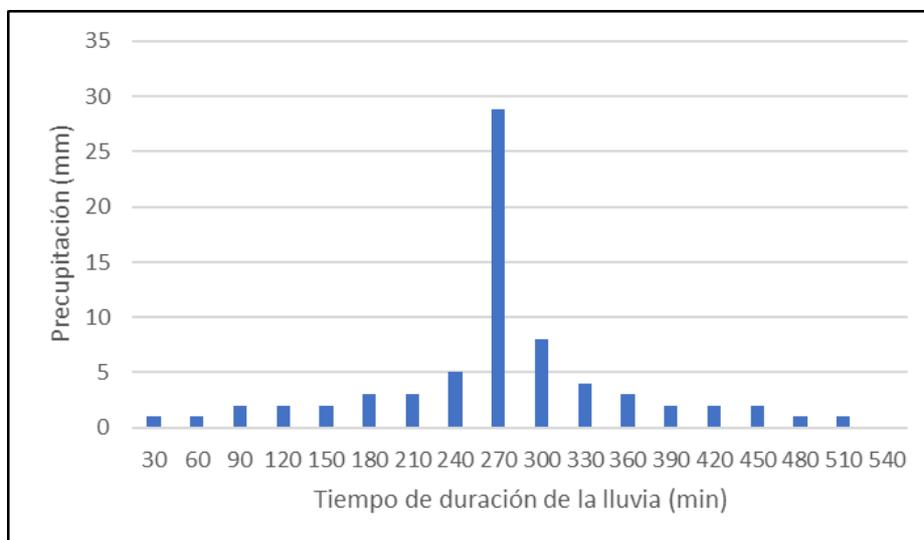
Para la modelación del periodo de retorno de 100 años, se aplicó el mismo procedimiento descrito en la sección anterior del escenario histórico, con la diferencia que el Hietograma debe considerar los 10 mm/d que el patrón de circulación 6 o WTF6 predice que deberán añadirse al extremo de precipitación para el periodo 2020-2050¹⁵

Tomando en cuenta la conclusión del WT6, se procede a distribuir los 10 mm/d en las 9 horas de duración de la tormenta que origina el caudal de inundación para el periodo de retorno. Es decir, se distribuyen 4 mm extra en el pico del Hietograma (caso extremo).

¹⁵ CMC-INT CONSULTORES MODELACION CIENTÍFICA INTERNACIONAL S.A. *Informe de generación de series de tiempo diarias para aplicaciones sectoriales incluyendo series para 5 años tipo en el periodo 2020-2050*. Proyecto Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático del Ecuador PLANACC. Quito, 2021.

En la siguiente figura, se observa el hietograma que será dato de entrada en la simulación.

Figura 92 Precipitación (hietograma) Tr=100 años



Fuente: INAMHI 2023. Económica CIC 2023

Elaboración: Económica CIC 2023

Las características de la cuenca hidrográfica no cambian y se asume que el número CN sigue constante en el periodo 2020-2050 y su valor es de 70.

En la siguiente tabla se muestra el resultado para el caudal máximo que HEC-HMS calcula a partir de los datos de entrada y éste es de 1403.7 m³/s.

Tabla 65 Caudal máximo para Tr=100 años

Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (MM)
Subbasin-1	2327,0	1403,7	1 January 2000, 10:...	17,30

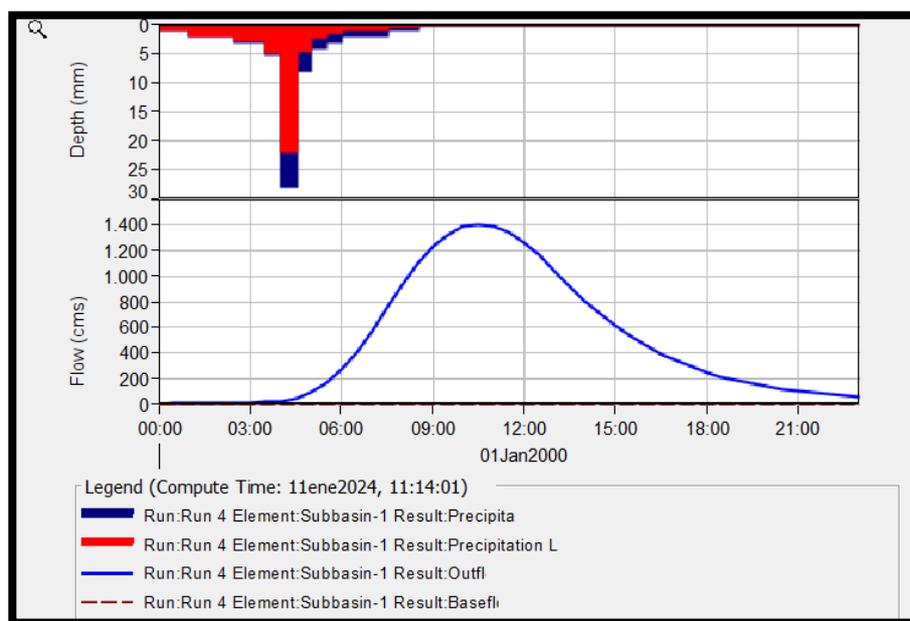
Fuente: INAMHI 2023. Económica CIC 2023

Elaboración: Económica CIC 2023

En la siguiente figura, que se presenta a continuación se observa que en la parte superior aparece el Hietograma de precipitación total sobre la cuenca y en rojo se señala la pérdida de precipitación. En la parte inferior la línea azul representa el

hidrograma de crecida o caudal en el punto de interés, siendo el caudal máximo de 1403.7 m³/s.

Gráfico No. 2: Precipitación y Caudal para Tr=100 años
Figura 93



Fuente: INAMHI 2023. Económica CIC 2023

Elaboración: Económica CIC 2023

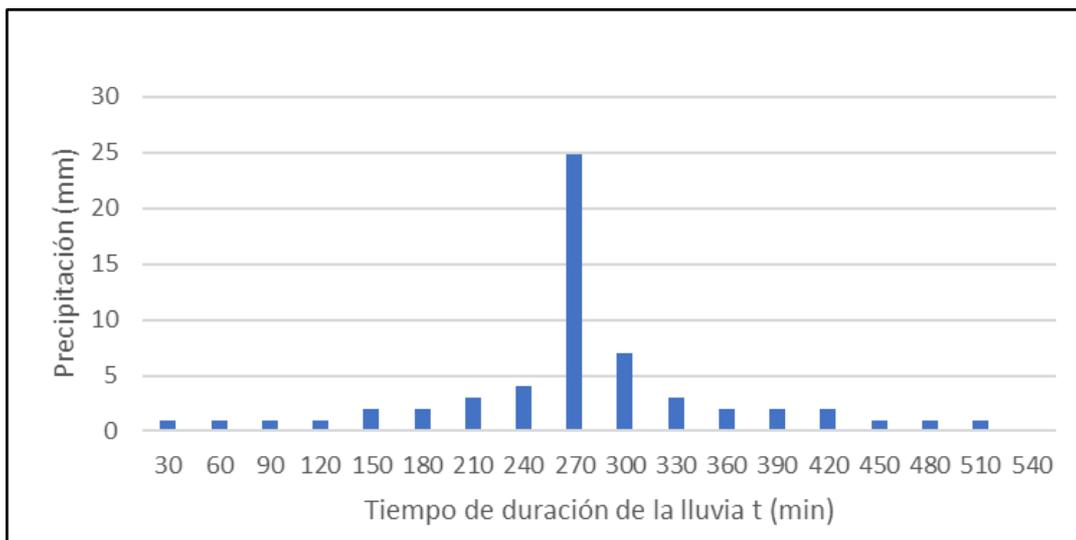
Para la modelación de 25 años con el escenario futuro, se aplica el mismo procedimiento descrito anteriormente, con la diferencia que el Hietograma debe considerar los 10 mm/d que el patrón de circulación 6 o WTF6 predice que deberán añadirse al extremo de precipitación para el periodo 2020-2050. ¹⁶

Tomando en cuenta la conclusión del WT6, se procede a distribuir los 10 mm/d en las 9 horas de duración de la tormenta que origina el caudal de inundación para el periodo de retorno. Es decir, se distribuyen 4 mm extra en el pico del Hietograma (caso extremo).

En la siguiente figura, se observa el hietograma que será dato de entrada en la simulación.

¹⁶ CMC-INT CONSULTORES MODELACION CIENTÍFICA INTERNACIONAL S.A. *Informe de generación de series de tiempo diarias para aplicaciones sectoriales incluyendo series para 5 años tipo en el período 2020-2050.* Proyecto Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático del Ecuador PLANACC. Quito, 2021.

Figura 94 Precipitación (hietograma) Tr=25 años



Fuente: INAMHI 2023. Económica CIC 2023

Elaboración: Económica CIC 2023

Las características de la cuenca hidrográfica no cambian en el periodo 2020-2050 y se asume que el número CN sigue constante en el tiempo y su valor es de 70. En la siguiente tabla se muestra el resultado para el caudal máximo que HEC-HMS calcula a partir de los datos de entrada y éste es de 949.2 m³/s.

Tabla 66 Caudal máximo para Tr=25 años

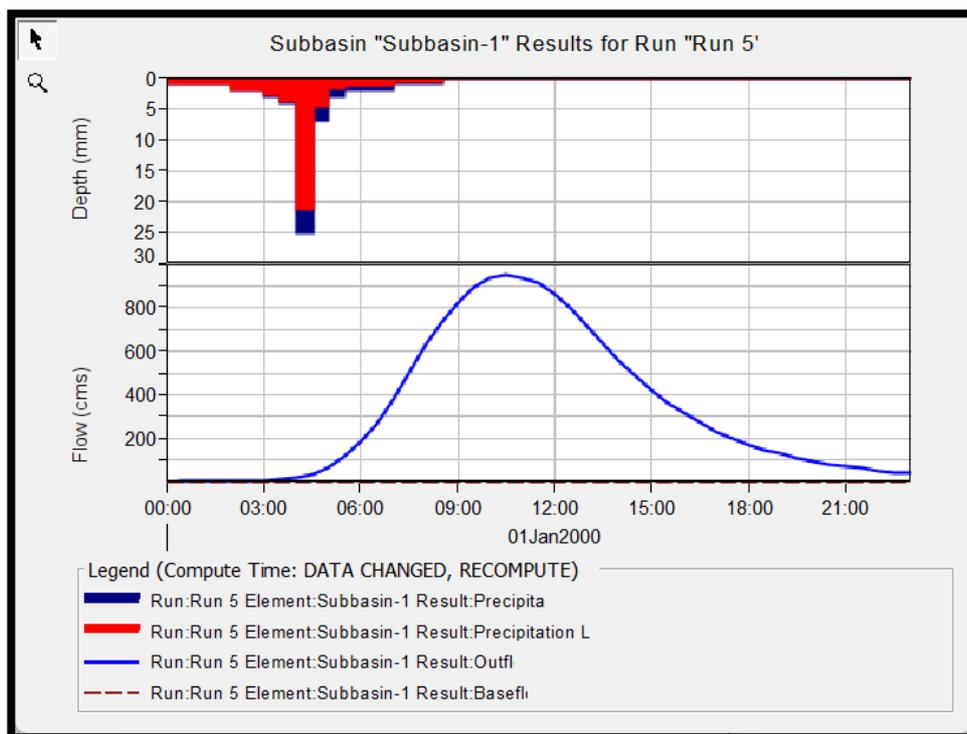
Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (MM)
Subbasin-1	2327,0	949,2	1 January 2000, 10:...	11,78

Fuente: INAMHI 2023. Económica CIC 2023

Elaboración: Económica CIC 2023

En la siguiente figura, se muestra la precipitación y el caudal de inundación resultante para Tr 25 años.

Figura 95 Precipitación y Caudal para Tr=25 años



Fuente: INAMHI 2023. Económica CIC 2023

Elaboración: Económica CIC 2023

Para la modelación de escenario futuro con 5 años de periodo de retorno, se aplica el mismo procedimiento descrito en el capítulo respectivo, con la diferencia que el Hietograma debe considerar los 10 mm/d que el patrón de circulación 6 o WTF6 predice que deberán añadirse al extremo de precipitación para el periodo 2020-2050.

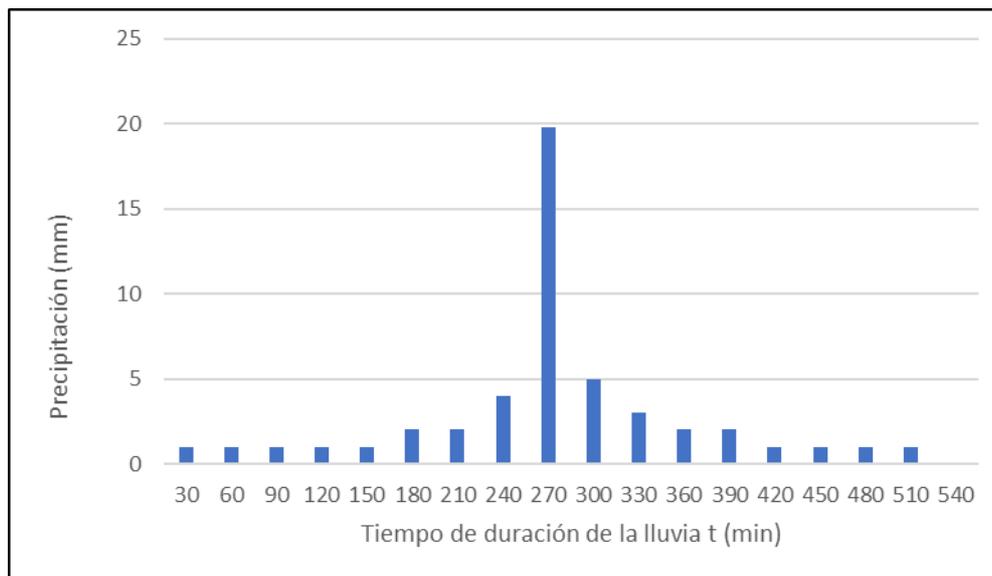
17

Tomando en cuenta la conclusión del WT6, se procede a distribuir los 10 mm/d en las 9 horas de duración de la tormenta que origina el caudal de inundación para el periodo de retorno. Es decir, se distribuyen 4 mm extra en el pico del Hietograma (caso extremo).

En la siguiente figura, se observa el hietograma que será dato de entrada en la simulación.

¹⁷ CMC-INT CONSULTORES MODELACION CIENTÍFICA INTERNACIONAL S.A. **Informe de generación de series de tiempo diarias para aplicaciones sectoriales incluyendo series para 5 años tipo en el periodo 2020-2050.** Proyecto Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático del Ecuador PLANACC. Quito, 2021.

Figura 96 Precipitación (hietograma) Tr=5 años



Fuente: INAMHI 2023. Económica CIC 2023

Elaboración: Económica CIC 2023

Las características de la cuenca hidrográfica no cambian y se asume que el número CN sigue constante en el tiempo y su valor es de 70. En la siguiente tabla se muestra el resultado para el caudal máximo que HEC-HMS calcula a partir de los datos de entrada y éste es de 594.2 m³/s.

Tabla 67 Caudal máximo para Tr=5 años

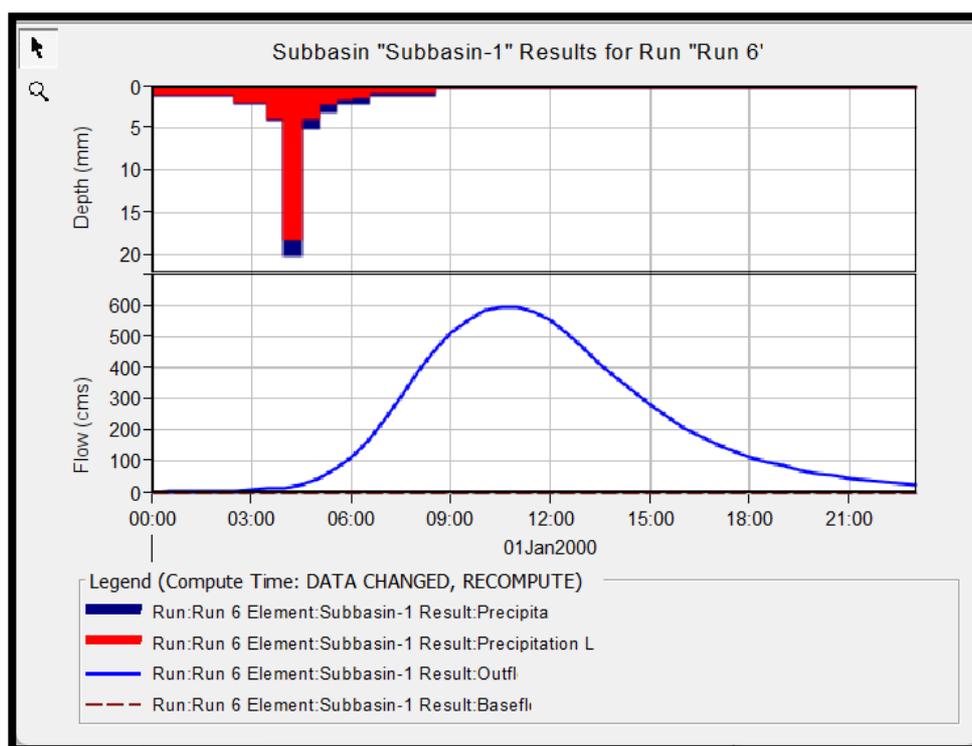
Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (MM)
Subbasin-1	2327,0	594,2	1 January 2000, 10:...	7,50

Fuente: INAMHI 2023. Económica CIC 2023

Elaboración: Económica CIC 2023

En la siguiente figura, se muestra la precipitación y el caudal de inundación resultante para Tr 5 años.

Figura 97 Precipitación y Caudal para Tr=5 años



Fuente: INAMHI 2023. Económica CIC 2023

Elaboración: Económica CIC 2023

Como resumen comparativo de esta sección, en la siguiente tabla, se observa de una manera comparativa los caudales máximos en función del Periodo de Retorno que se utilizarán como datos de entrada para la modelación hidráulica en el tramo localizado en la ciudad de Santo Domingo. Se observan los caudales actuales que no consideran cambio climático y los caudales que consideran cambio climático para el periodo 2020-2050.

Tabla 68 Caudales máximos en función del Periodo de Retorno

Periodo de retorno (años)	Caudal actual sin considerar clima futuro (m3/s)	Caudal considerando clima futuro (m3/s)
100	1271.0	1403.7
25	798.0	949.2
5	473.6	594.2

Fuente: INAMHI 2023. Económica CIC 2023

Elaboración: Económica CIC 2023

4.2.12 Modelado Hydrologic Engineering Center's River Analysis System (HEC-RAS).

La modelación Hidráulica en la cuenca del río Toachi tiene los siguientes objetivos: presentar los resultados de caudales, alturas de inundación, velocidades máximas

de flujo, para Periodos de Retorno (Tr) de 100, 25 y 5 años en secciones transversales a lo largo del tramo de modelación y presentar mapas de inundación para los tres Periodos de Retorno de acuerdo a los resultados del programa HEC RAS, versión 6.4.1.

El área solicitada por la municipalidad están representadas por secciones de control que serán analizadas en el presente modelamiento hidráulico. Estas se aprecian en la siguiente figura, en un tramo de aproximadamente 7.7 km a lo largo del río Toachi. Sus respectivas coordenadas geográficas se observan en la siguiente tabla.

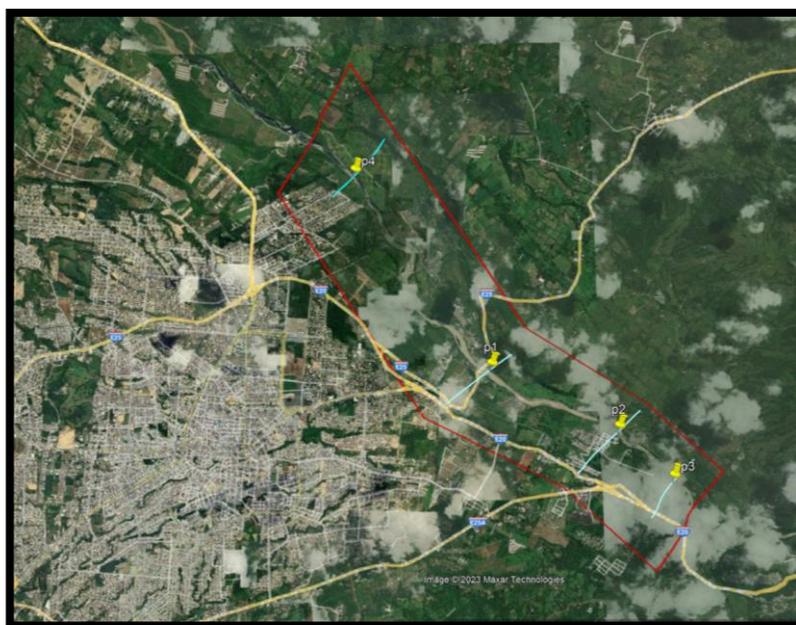
Tabla 69 Coordenadas de las Secciones de Control, río Toachi, ciudad de Santo Domingo

PUNTO	CUERPO HIDRICO	Coordenada Este (m)	Coordenada Sur (m)
p1	Río Toachi, Brasilia y Jardines del Toachi	707446.00	9972976.00
p2	Río Toachi, El Paraíso	709334.00	9972063.00
P3	Río Toachi, Sueño de Bolívar	705403.00	9975872.00

Fuente: Municipio de Santo Domingo 2023. Económica CIC 2023

Elaboración: Económica CIC 2023

Figura 98 Ubicación de las secciones de control en el tramo de modelación



Fuente: Google Earth Pro 2023. Económica CIC 2023

Elaboración: Económica CIC 2023

A continuación, se puede observar las fotografías de las áreas de interés de acuerdo a la visita realizada el 12 de diciembre del 2023 con el propósito de recabar información necesaria para la modelación hidráulica.

Área 1, zona de Brasilia del Toachi.

Figura 99 Fotografía - Puente visto desde aguas arriba en la margen derecha



Figura 100 Fotografía - Brasilia del Toachi, puente visto desde aguas abajo en la margen derecha

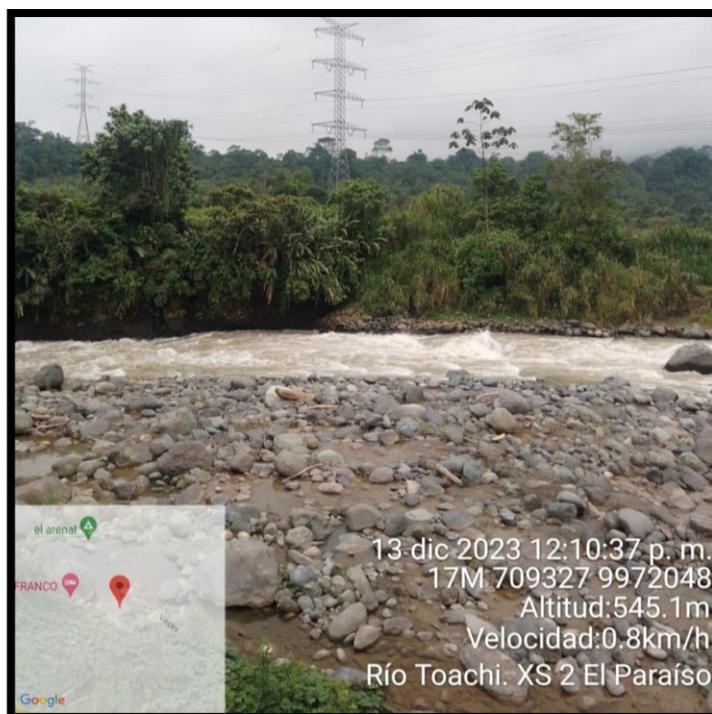


Área 2, zona de El Paraíso

Figura 101 Fotografía - Río Toachi hacia aguas arriba en la margen izquierda



Figura 102 Fotografía - Río Toachi en la margen izquierda

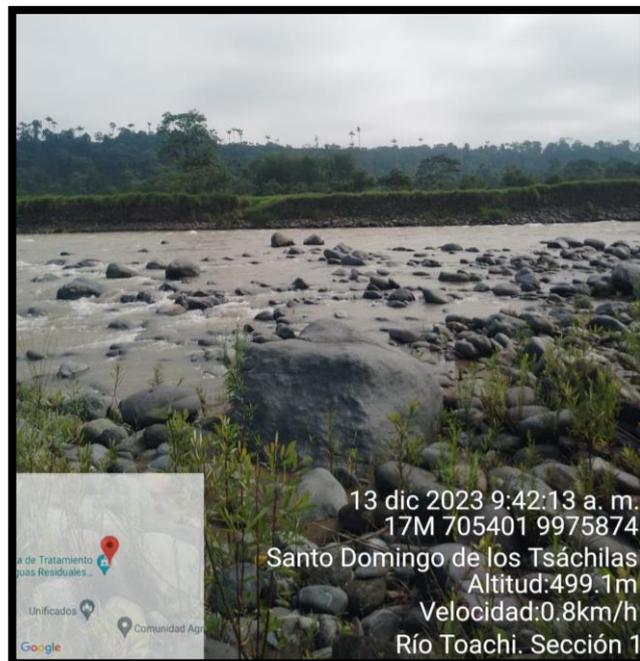


Área 3, zona de El Sueño de Bolívar

Figura 103 Fotografía Río Toachi en la margen izquierda



Figura 104 Fotografía No. 6: Río Toachi en la margen izquierda



Metodología de Simulación con el Programa Hec Ras

HEC-RAS ha sido desarrollado por el US Army Corps of Engineers y es un software gratuito que se utiliza para la modelación hidráulica en cursos superficiales. En el presente estudio se utilizó HEC-RAS 6.4.1, que fue la última versión a la fecha y fue

descargada de la página web: <http://www.hec.usace.army.mil/software/hecras/downloads.aspx>

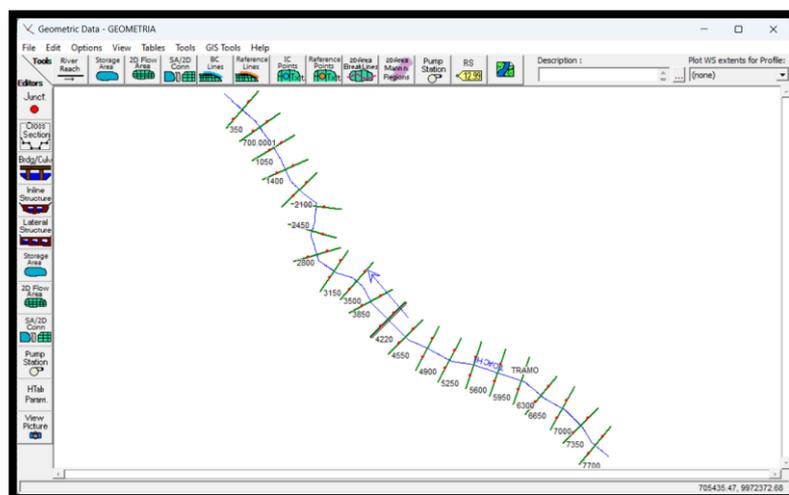
Los insumos necesarios para aplicar el modelo HEC-RAS son los siguientes:

- Datos provenientes del trabajo realizado en campo (puntos con sus respectivas coordenadas en la llanura de inundación y ubicación de secciones transversales de interés)
- Características del cauce principal y de la llanura de inundación (incluidas en el coeficiente de Manning n). Este coeficiente de rugosidad define las pérdidas por fricción entre otros tipos de pérdidas.
- Caudales de máximas crecidas o caudales calculados para diferentes periodos de retorno (T_r)
- Datos geométricos de puentes que atraviesen el río o de otras estructuras hidráulicas presentes.

Las principales etapas en la modelación con HEC-RAS son las siguientes: El ingreso y edición de datos: geometría de las secciones transversales, puentes u otras estructuras, caudales y estado de flujo; la corrida del modelo ingresado y la salida de datos (gráficos, tablas).

En la siguiente figura, muestra el esquema desarrollado por HEC-GeoRAS, en base al Modelo de Elevación Digital o DEM (Digital Elevation Model) que se utilizó.

Figura 105 Esquema del tramo de modelación generado



Fuente: INAMHI 2023. Económica CIC 2023

Elaboración: Económica CIC 2023

Se determina la geometría del canal con la extensión HEC-GeoRAS de ARC Map y se genera un archivo de importación con la información geométrica de las secciones transversales, se modela el flujo con HEC-RAS y se genera un archivo de

modelización de flujo que finalmente se exporta a ARC Map para elaborar la cartografía de inundaciones.

Geometría de las secciones

Para el modelamiento de este tramo se establecieron 10 secciones transversales que incluyen las zonas de interés para el Municipio. La estructura más importante en el tramo analizado es el puente junto al barrio Brasilia del Toachi (Fotografías 1 y 2). En la siguiente figura, el puente está representado por dos líneas paralelas rojas y el tramo a modelar se representa por un polígono en color rojo.

Figura 106. Ubicación de las secciones de control en el tramo de modelación



Fuente: Google Earth Pro 2023. Económica CIC 2023

Elaboración: Económica CIC 2023

Los datos de los caudales máximos para la simulación con los periodos de retorno son los determinados en la secciona anterior relacionados con la Modelación Hidrológica en la Cuenca del río Toachi.

En la siguiente tabla se aprecian los caudales en función del Periodo de Retorno (Tr) con los cuales se simularán las alturas y posteriormente las áreas de inundación en el tramo escogido.

Tabla 70 Caudales en el río Toachi, ciudad de Santo Domingo

	Tr = 5 años	Tr = 25 años	Tr = 100 años
Inicio del tramo	474 m ³ /s	798 m ³ /s	1271 m ³ /s

Fuente: Base de datos del proyecto

Elaboración: Económica CIC, 2023

En relación con las etapas en la simulación hidráulica con el software HEC RAS se procede de la siguiente manera:

- ❖ Se crea el proyecto
- ❖ Se define la geometría: mediante el ingreso de las elevaciones de cada una de las secciones transversales con sus respectivas distancias. Se ingresa la geometría del puente.
- ❖ Se define el caudal de simulación que en nuestro serán los caudales $Tr = 5$, $Tr = 25$ y $Tr = 100$ definidos en la anterior tabla para el tramo a simular en Santo Domingo.
- ❖ Se define un plan de simulación en el cual se modela para flujo permanente, en el cual las características del flujo de agua no cambian con el tiempo, es decir, el flujo es constante y estable en términos de velocidad, presión y otras propiedades a lo largo del tiempo. Cualquier variación en la velocidad o presión es constante en el tiempo.
- ❖ Se aplica el modelo HEC RAS 6.4.1 y se obtienen resultados en forma de gráficos y tablas. En nuestro caso nos concentraremos en la altura del nivel de agua y la velocidad máxima.
- ❖ Se obtienen los mapas de inundación con la ayuda de la extensión HEC GeoRAS, que es una extensión de ArcGIS la cual posee una serie de herramientas para procesar datos georreferenciados y permite realizar la preparación de datos geométricos para importarlos en HEC RAS.

4.2.13 Modelación hidráulica en la cuenca del río Toachi bajo escenario histórico periodo 1985-2015

Resultados

Para cada simulación el programa HEC RAS produce una tabla de resultados en la cual se aprecian: el tramo (Reach), la identificación de cada sección transversal (River Sta), el caudal de diseño (Profile), Caudal Total (Q total), Elevación mínima del canal (Min Ch El), Elevación de la superficie de agua (W.S. Elev) que en nuestro caso es la cota de inundación, Nivel crítico del agua (Crit W.S.), Elevación de la línea de energía (E.G. Elev), Pendiente de la línea de energía (E.G. Slope), Velocidad en el río (Vel Chnl), Area del flujo (Flow Area), Ancho mayor (Top Width) y Numero de Froude (Froude # Chl).

En nuestro caso nos concentraremos en el Nivel del agua (W.S. Elev) y la Velocidad (Vel Chnl) resaltados en rojo en la siguiente tabla.

Resultados para caudal Tr 100 AÑOS

La primera simulación se realizó para el caudal con 100 de retorno ($Q = 1271$ m³/s) y los resultados se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 71 . Resultados de la simulación de HEC RAS para Tr = 100 años

HEC-RAS Plan: 01 River: TOACHI Reach: TRAMO Profile: Tr100												
Reach	River Sta	Profile	Q Total (m ³ /s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m ²)	Top Width (m)	Froude # Chl
TRAMO	7718	Tr 100	1271,00	542,00	544,65	544,65	545,37	0,025023	3,81	339,78	239,14	0,92
TRAMO	7045	Tr 100	1271,00	529,00	532,87	531,94	533,04	0,005296	1,88	713,42	432,61	0,43
TRAMO	6014	Tr 100	1271,00	519,00	521,71	521,71	522,48	0,022503	4,01	328,54	211,13	0,90
TRAMO	4308	Tr 100	1271,00	507,00	515,12	510,10	515,15	0,000183	0,79	1804,31	389,28	0,10
TRAMO	4243	Tr 100	1271,00	507,00	515,11	509,73	515,14	0,000137	0,75	1963,51	365,10	0,09
TRAMO	4220	Bridge										
TRAMO	4197	Tr 100	1271,00	507,00	508,97	510,07	514,28	0,287392	11,53	136,90	163,88	3,04
TRAMO	3308	Tr 100	1271,00	498,00	501,95	501,07	502,23	0,006088	2,41	547,06	276,74	0,48
TRAMO	2196	Tr 100	1271,00	480,00	481,99	481,98	482,62	0,029364	3,56	365,02	285,11	0,96
TRAMO	1096	Tr 100	1271,00	470,00	473,70		473,86	0,003977	1,75	727,31	349,04	0,38
TRAMO	0001	Tr 100	1271,00	464,00	467,27	467,27	468,12	0,029644	4,10	310,56	185,06	1,00

Fuente: Datos procesados Económica CIC, 2023

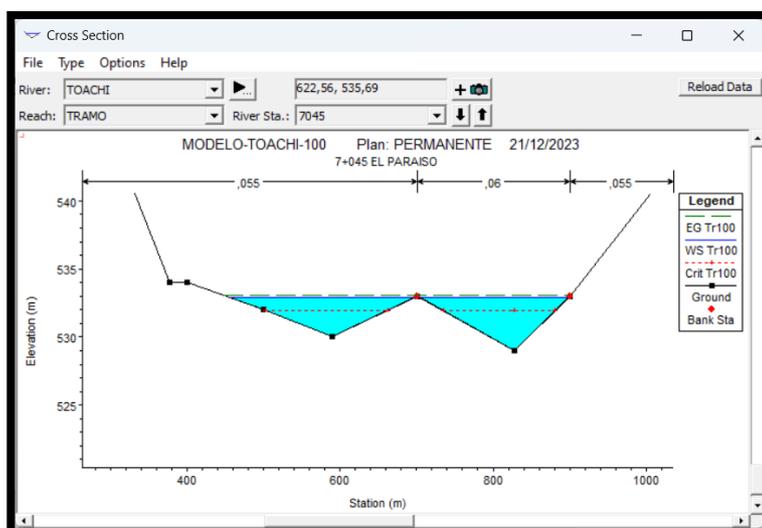
Elaboración: Económica CIC, 2023

A continuación, se presentan las secciones transversales que corresponden a las tres zonas de interés: El Paraíso, Brasilia del Toachi y Sueño de Bolívar.

Zona de El Paraíso

En este sector la cota de inundación se ubica en 532.87 m, lo cual implica que aproximadamente el 50% del barrio El Paraíso en la margen izquierda del río Toachi se inunda. En la Figura No.4 se aprecia las zonas y profundidades de inundación (en metros).

Figura 107 Altura del nivel de agua en el Paraíso



Fuente: Datos procesados Económica CIC, 2023

Elaboración: Económica CIC, 2023

Figura 108 Zonas inundadas en el Paraíso con profundidades de inundación



Fuente: Google Earth Pro 2023. Económica CIC 2023
Elaboración: Económica CIC 2023

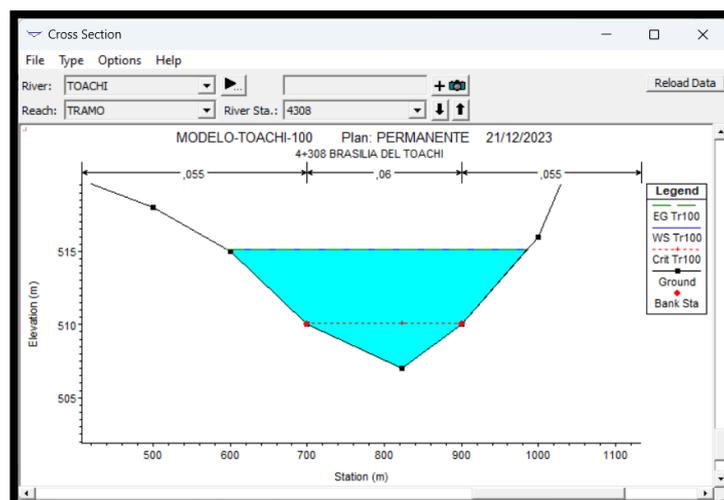
La velocidad de la corriente en el Paraíso es de 1.88 m/s.

Zona de Brasilia del Toachi

En esta zona la cota de inundación se localiza en 515.12 m, lo cual implica que gran parte del barrio Brasilia del Toachi (aproximadamente el 90%) en la margen derecha del río se inunda. En la Figura No.5 se aprecia las zonas que se inundan en Brasilia del Toachi, además la margen izquierda en Jardines del Toachi también se anega.

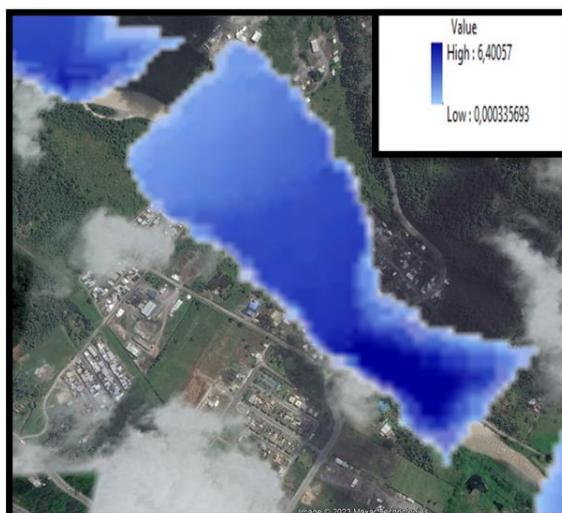
La presencia del puente hace que la cota de inundación crezca ya que ejerce un efecto de represamiento ante las crecidas.

Figura 109 Altura de nivel de agua en Brasilia del Toachi



Fuente: Datos procesados Económica CIC, 2023
Elaboración: Económica CIC, 2023

Figura 110 Zonas inundadas en Brasilia del Toachi y profundidades de inundación



Fuente: Google Earth Pro 2023. Económica CIC 2023

Elaboración: Económica CIC 2023

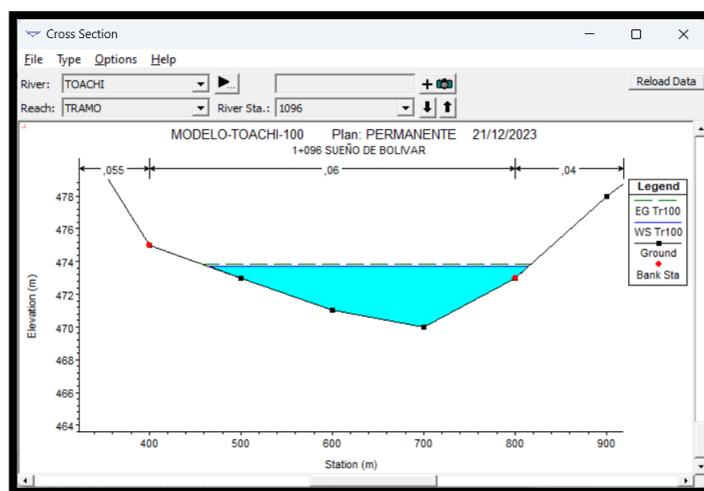
La velocidad de la corriente en Brasilia del Toachi es de 0.79 m/s.

Zona conocida como el Sueño de Bolívar

En este sector la cota de inundación se ubica en 473.70 m, lo cual implica que gran parte de la orilla derecha del río Toachi se inunda. Afortunadamente, en la actualidad no hay zonas habitadas en este sector. En la margen izquierda no hay riesgo de inundaciones.

En la Figura No. 6 se aprecia las zonas que se inundan en Sueño de Bolívar.

Figura 111 Altura de nivel de agua en Sueño de Bolívar



Fuente: Datos procesados Económica CIC, 2023

Elaboración: Económica CIC, 2023

Figura 112 Zonas inundadas en Sueño de Bolívar y profundidades de inundación



Fuente: Google Earth Pro 2023. Económica CIC 2023

Elaboración: Económica CIC 2023

La velocidad de la corriente en Sueño de Bolívar es de 1.75 m/s.

Las velocidades en las tres secciones son medianamente altas si comparamos con otras velocidades que sí son altas como al inicio y al final del tramo de simulación, 3.81 m/s y 4.10 m/s respectivamente.

La velocidad de flujo más alta es de 11.53 m/s en la sección aguas abajo del puente, lo cual puede causar socavación peligrosa en el cauce y en el pilar del puente.

Resultados para caudal Tr 25 AÑOS

La segunda simulación se realizó para el caudal con 25 años de retorno ($Q = 798 \text{ m}^3/\text{s}$) y los resultados se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 72 Resultados de la simulación de HEC RAS para Tr = 25 años

Profile Output Table - Standard Table 1												
HEC-RAS Plan: 01 River: TOACHI Reach: TRAMO Profile: Tr25												
Reach	River Sta	Profile	Q Total (m ³ /s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m ²)	Top Width (m)	Froude # Chi
TRAMO	7718	Tr25	798,00	542,00	544,19	544,19	544,78	0,027953	3,44	236,83	206,20	0,94
TRAMO	7045	Tr25	798,00	529,00	532,36	531,54	532,48	0,005086	1,68	508,17	361,97	0,41
TRAMO	6014	Tr25	798,00	519,00	521,20	521,20	521,83	0,025278	3,61	228,63	180,79	0,91
TRAMO	4308	Tr25	798,00	507,00	513,76	509,59	513,78	0,000176	0,67	1310,80	337,82	0,09
TRAMO	4243	Tr25	798,00	507,00	513,75	509,24	513,77	0,000131	0,65	1473,18	355,38	0,08
TRAMO	4220	Bridge										
TRAMO	4197	Tr25	798,00	507,00	508,71	509,57	512,92	0,277773	9,96	97,41	142,40	2,89
TRAMO	3308	Tr25	798,00	498,00	501,37	500,54	501,58	0,005787	2,08	398,01	236,05	0,46
TRAMO	2196	Tr25	798,00	480,00	481,61	481,59	482,09	0,032287	3,11	260,35	261,87	0,97
TRAMO	1096	Tr25	798,00	470,00	473,10		473,21	0,003914	1,51	529,75	306,87	0,37
TRAMO	0001	Tr25	798,00	464,00	466,73	466,73	467,42	0,032303	3,68	216,78	159,04	1,01

Fuente: Datos procesados Económica CIC, 2023

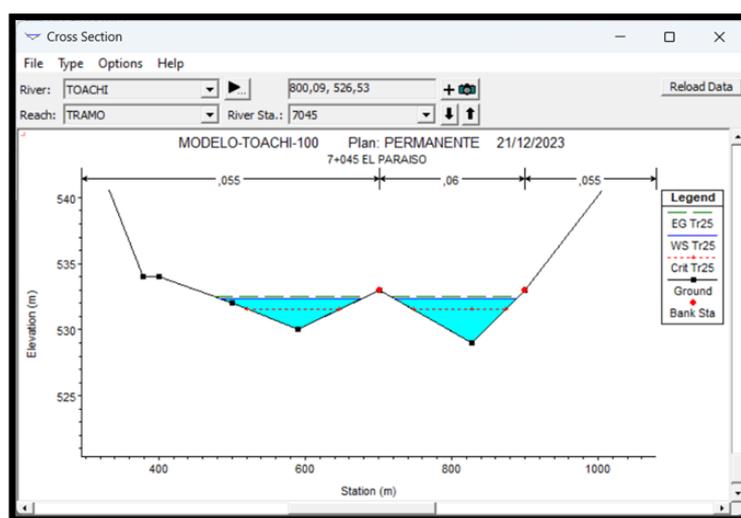
Elaboración: Económica CIC, 2023

A continuación, se presentan las secciones transversales que corresponden a las tres zonas de interés: El Paraíso, Brasilia del Toachi y Jardines del Toachi, Sueño de Bolívar.

Zona de El Paraíso

En este sector la cota de inundación se ubica en 532.36 m, 51 cm menos que para $Tr = 100$ años, lo cual implica que una parte del barrio El Paraíso (aproximadamente un 35%) en la margen izquierda del río Toachi se inunda. En la siguiente figura, se aprecia las zonas que se inundan en el Paraíso.

Figura 113 Altura del nivel de agua en el Paraíso



Fuente: Datos procesados Económica CIC, 2023

Elaboración: Económica CIC, 2023

Figura 114 Zonas inundadas en el Paraíso y profundidades de inundación



Fuente: Google Earth Pro 2023. Económica CIC 2023

Elaboración: Económica CIC 2023

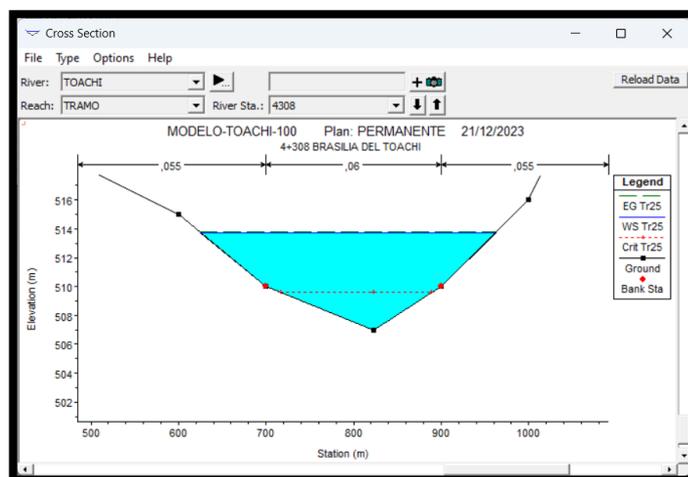
La velocidad de la corriente en el Paraíso es de 1.68 m/s.

Zona de la Brasilia del Toachi

En esta zona la cota de inundación se localiza en 513.76 m, 136 cm menos que para el caso de $Tr = 100$ años, no obstante, gran parte del barrio Brasilia del Toachi (75% aproximadamente) en la margen derecha del río se inunda. En la siguiente figura, como se aprecia las zonas que se inundan en Brasilia del Toachi y también la margen izquierda en Jardines del Toachi.

reLa presencia del puente hace que la cota de inundación crezca ya que ejerce un efecto de represamiento ante las crecidas.

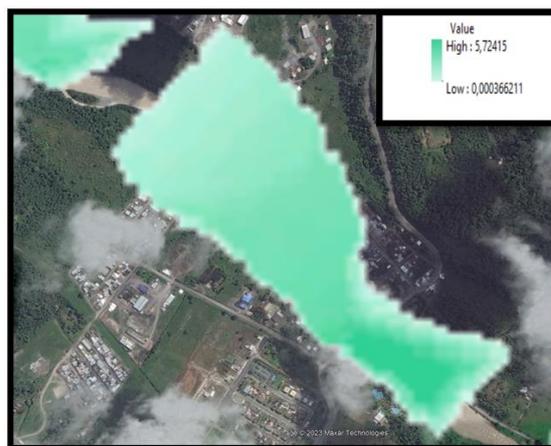
Figura 115 Altura de nivel de agua en Brasilia del Toachi



Fuente: Datos procesados Económica CIC, 2023

Elaboración: Económica CIC, 2023

Figura 116 Zonas inundadas en Brasilia del Toachi y profundidades de inundación



Fuente: Google Earth Pro 2023. Económica CIC 2023

Elaboración: Económica CIC 2023

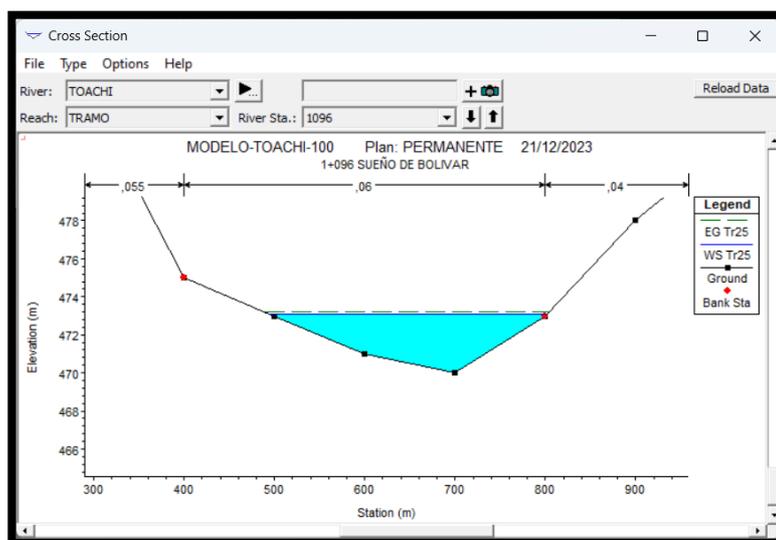
La velocidad de la corriente en Brasilia del Toachi es de 0.67 m/s.

Zona conocida como el Sueño de Bolívar

En este sector la cota de inundación se ubica en 473.10 m, 60 cm menos que para $Tr=100$ años, lo cual implica que gran parte de la orilla derecha del río Toachi se inunda. Afortunadamente, en la actualidad no hay zonas habitadas en este sector. En la margen izquierda no hay riesgo de inundaciones.

En la siguiente figura, se aprecia las zonas que se inundan en Sueño de Bolívar.

Figura 117 Altura de nivel de agua en Sueño de Bolívar



Fuente: Datos procesados Económica CIC, 2023

Elaboración: Económica CIC, 2023

Figura 118 Zonas inundadas en Sueño de Bolívar y profundidades de inundación



Fuente: Google Earth Pro 2023. Económica CIC 2023

Elaboración: Económica CIC 2023

La velocidad de la corriente en Sueño de Bolívar es de 1.51 m/s.

Las velocidades en las tres secciones son medianamente altas si comparamos con otras velocidades que sí son altas como al inicio y al final del tramo de simulación, 3.44 m/s y 3.68 m/s respectivamente.

La velocidad de flujo más alta es de 9.96 m/s en la sección aguas abajo del puente, lo cual puede causar socavación peligrosa en el cauce y en el pilar del puente.

Resultados para caudal Tr 5 AÑOS

La tercera simulación se realizó para el caudal con 5 años de retorno ($Q = 474 \text{ m}^3/\text{s}$) y los resultados se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 73 Resultados de la simulación de HEC RAS para Tr = 5 años

Profile Output Table - Standard Table 1												
HEC-RAS Plan: 01 River: TOACHI Reach: TRAMO Profile: Tr5												
Reach	River Sta	Profile	Q Total (m ³ /s)	Min Ch E (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m ²)	Top Width (m)	Froude # Chl
TRAMO	7718	Tr5	474,00	542,00	543,79	543,79	544,24	0,031341	3,03	159,58	177,51	0,95
TRAMO	7045	Tr5	474,00	529,00	531,87	531,16	531,96	0,004843	1,47	347,37	295,72	0,39
TRAMO	6014	Tr5	474,00	519,00	520,75	520,75	521,25	0,028862	3,18	153,14	153,95	0,93
TRAMO	4308	Tr5	474,00	507,00	512,66	509,10	512,67	0,000150	0,53	960,63	297,40	0,08
TRAMO	4243	Tr5	474,00	507,00	512,65	508,78	512,66	0,000110	0,52	1089,24	326,70	0,07
TRAMO	4220		Bridge									
TRAMO	4197	Tr5	474,00	507,00	508,46	509,16	511,81	0,276687	8,53	64,66	119,13	2,78
TRAMO	3308	Tr5	474,00	498,00	500,83	500,05	500,98	0,005475	1,74	279,45	197,79	0,43
TRAMO	2196	Tr5	474,00	480,00	481,29	481,27	481,65	0,035955	2,65	179,81	242,48	0,97
TRAMO	1096	Tr5	474,00	470,00	472,52		472,60	0,003868	1,30	364,73	259,73	0,35
TRAMO	0001	Tr5	474,00	464,00	466,22	466,22	466,77	0,034197	3,30	143,57	129,43	1,00

Fuente: Datos procesados Económica CIC, 2023

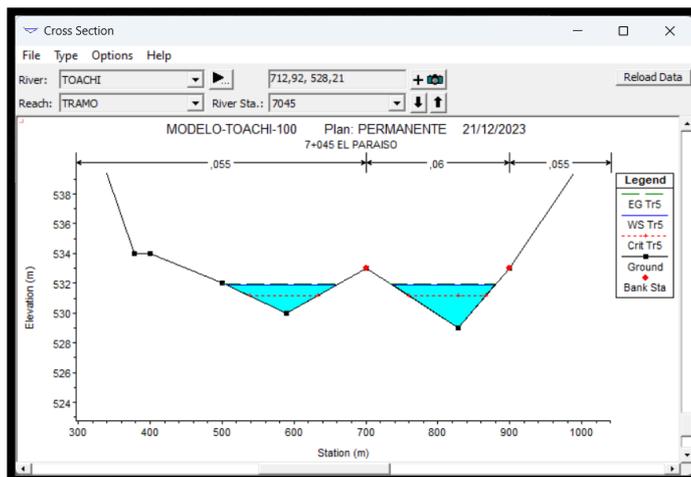
Elaboración: Económica CIC, 2023

A continuación, se presentan las secciones transversales que corresponden a las tres zonas de interés: El Paraíso, Brasilia del Toachi y Sueño de Bolívar.

Zona del El Paraíso

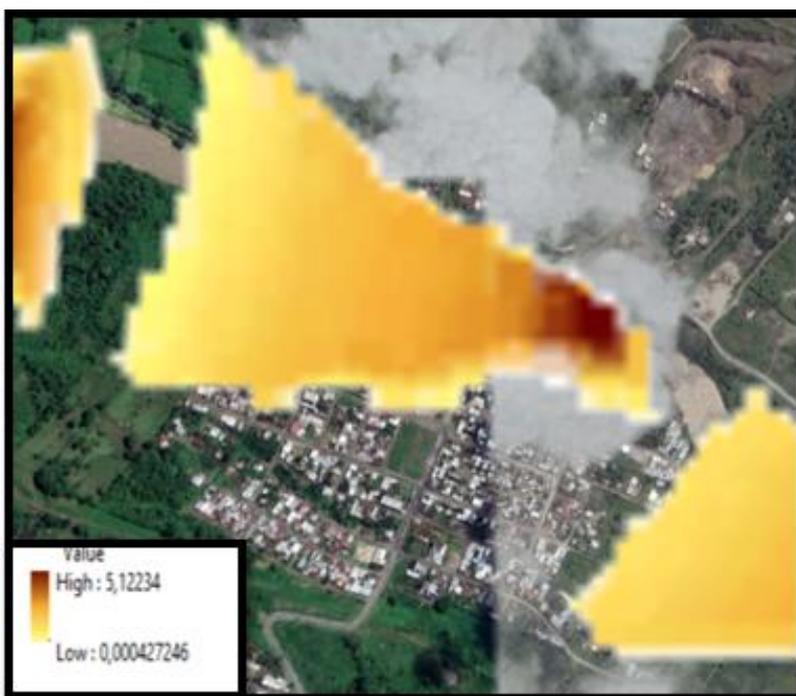
En este sector la cota de inundación se ubica en 531.87 m, 49 cm menos que para Tr=25 años, lo cual implica que aproximadamente un 20 % del barrio El Paraíso en la margen izquierda del río Toachi se inunda. En la Figura No.10 se aprecia las zonas que se inundan en el Paraíso.

Figura 119 Altura del nivel de agua en el Paraíso



Fuente: Datos procesados Económica CIC, 2023
Elaboración: Económica CIC, 2023

Figura 120 Zonas inundadas en el Paraíso y profundidades de inundación



Fuente: Google Earth Pro 2023. Económica CIC 2023
Elaboración: Económica CIC 2023

La velocidad de la corriente en el Paraíso es de 1.47 m/s.

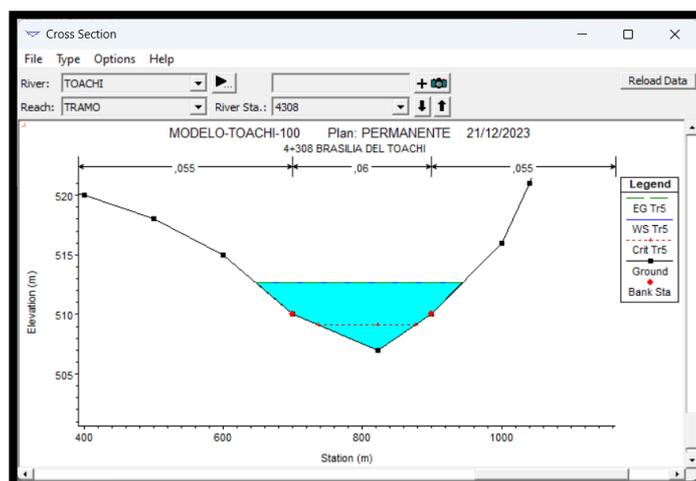
Zona de la Brasilia del Toachi

En esta zona la cota de inundación se localiza en 512.66 m, 110 cm m menos que para el caso de $Tr = 25$ años, no obstante, un 65 % del barrio Brasilia del Toachi en

la margen derecha del río se inunda. En la siguiente figura, se aprecia las zonas que se inundan en Brasilia del Toachi y la margen izquierda en Jardines del Toachi.

La presencia del puente hace que la cota de inundación crezca ya que ejerce un efecto de represamiento ante las crecidas.

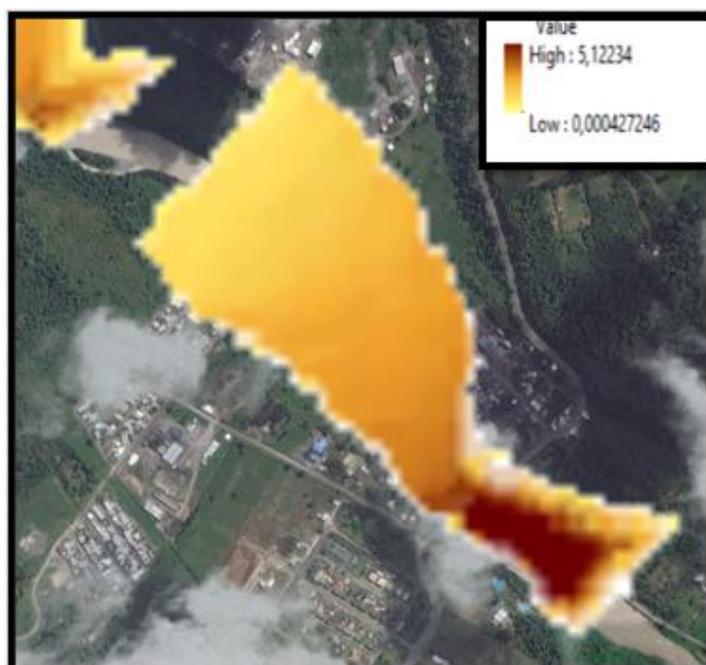
Figura 121 Altura de nivel de agua en Brasilia del Toachi



Fuente: Datos procesados Económica CIC, 2023

Elaboración: Económica CIC, 2023

Figura 122 Zonas inundadas en Brasilia del Toachi y profundidades de inundación



Fuente: Google Earth Pro 2023. Económica CIC 2023

Elaboración: Económica CIC 2023

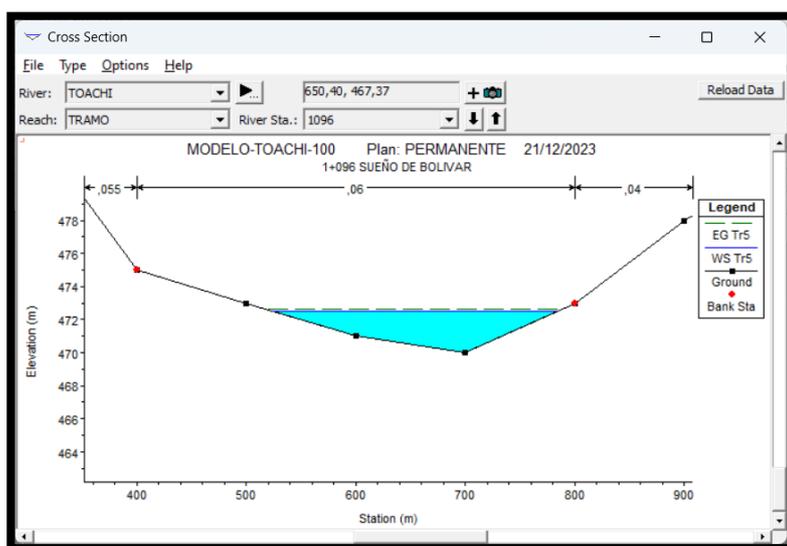
La velocidad de la corriente en Brasilia del Toachi es de 0.53 m/s.

Zona conocida como el Sueño de Bolívar

En este sector la cota de inundación se ubica en 472.52 m, 58 cm menos que para $Tr=25$ años, no obstante, gran parte de la orilla derecha del río Toachi se inunda. Afortunadamente, en la actualidad no hay zonas habitadas en este sector. En la margen izquierda no hay riesgo de inundaciones.

En la siguiente figura, se aprecia las zonas que se inundan en Sueño de Bolívar.

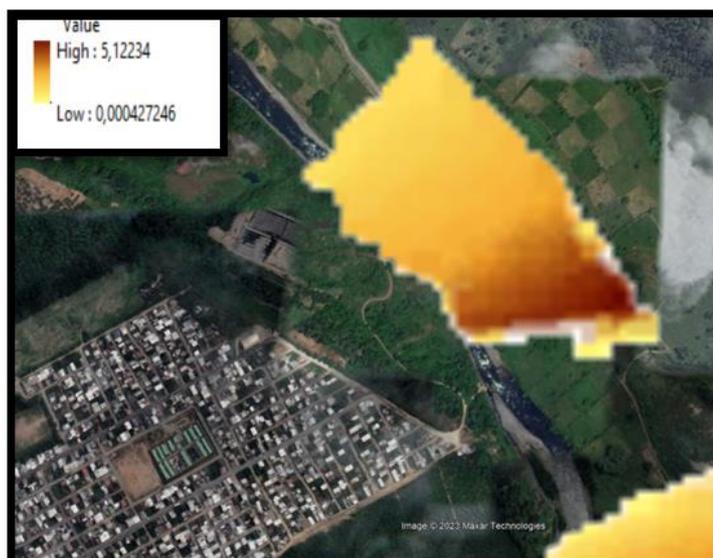
Figura 123 Altura de nivel de agua en Sueño de Bolívar



Fuente: Datos procesados Económica CIC, 2023

Elaboración: Económica CIC, 2023

Figura 124 Zonas inundadas en Sueño de Bolívar y profundidades de inundación



Fuente: Google Earth Pro 2023. Económica CIC 2023

Elaboración: Económica CIC 2023

La velocidad de la corriente en Sueño de Bolívar es de 1.30 m/s.

Las velocidades en las tres secciones son medianamente altas si comparamos con otras velocidades que sí son altas como al inicio y al final del tramo de simulación, 3.03 m/s y 3.30 m/s respectivamente.

La velocidad de flujo más alta es de 8.53 m/s en la sección aguas abajo del puente, lo cual puede causar socavación peligrosa en el cauce y en el pilar del puente.

Resultados de la modelación en sitios de interés

La siguiente tabla presenta los resultados en función del Periodo de Retorno, en cada sector de interés tanto para alturas de inundación como para velocidades del río.

Tabla 74 Resultados en los sitios de interés

LUGAR	Tr	ALTURA DE INUNDACION	VELOCIDAD DEL RIO
	(años)	(msnm)	(m/s)
EL PARAISO	100	532,87	1,88
	25	532,36	1,68
	5	531.87	1,47
BRASILIA DEL TOACHI	100	515,12	0,79
	25	513.76	0,67
	5	512.66	0,53
SUEÑO DE BOLIVAR	100	473,70	1,75
	25	473,10	1,51
	5	472.52	1,30

Fuente: Datos procesados Económica CIC, 2023

Elaboración: Económica CIC, 2023

Se observa que las velocidades en los sitios de interés no son altas y no se pueden dar casos de erosión peligrosa en las orillas. Sin embargo, es imprescindible que se mantenga la vegetación nativa, la rugosidad del cauce y sobre todo que no se permita el asentamiento de viviendas y explotación de materiales de construcción en las orillas.

Mapas de inundación: Mapa de inundación para Tr= 100 años.

El mapa de inundación se obtiene mediante la exportación de los resultados de HEC RAS a ARC GIS y con ayuda de la extensión HEC GeoRAS se determinan los mapas de inundación para cada uno de los periodos de retorno. Las profundidades de inundación están en metros.

Figura 125 Área de inundación para $Tr = 100$ años, $Q = 1271$ m³/s



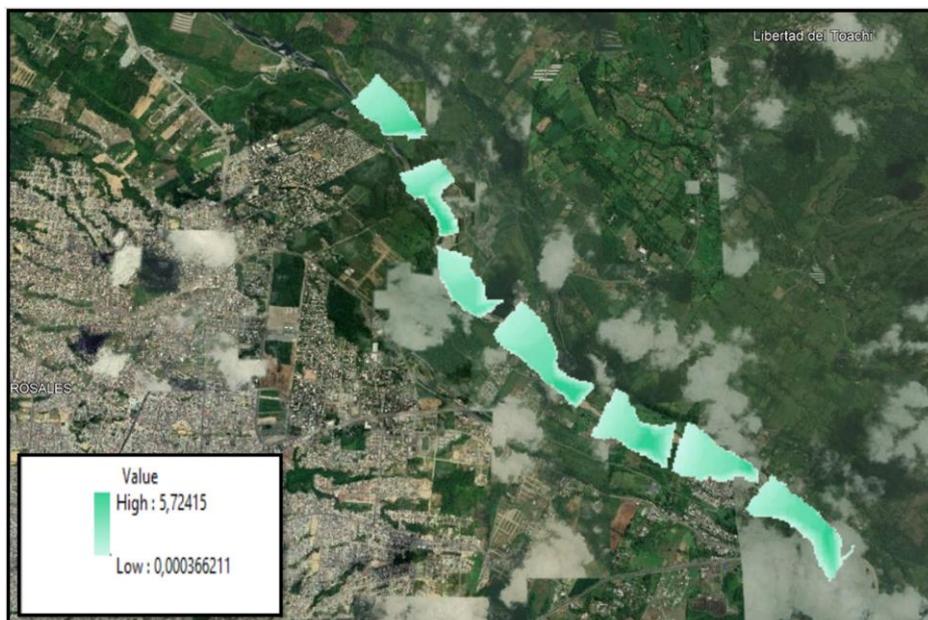
Fuente: Google Earth Pro 2023. Económica CIC 2023

Elaboración: Económica CIC 2023

Mapa de inundación para $Tr = 25$ años.

El mapa de inundación de la siguiente figura, se muestra las áreas de inundación para el periodo de retorno de 25 años. Las profundidades de inundación están en metros.

Figura 126 Área de inundación para $Tr = 25$ años, $Q = 798$ m³/s



Fuente: Google Earth Pro 2023. Económica CIC 2023

Elaboración: Económica CIC 2023

Mapa de inundación para $Tr = 5$ años.

El mapa de inundación de la siguiente figura, se muestra las áreas de inundación para el periodo de retorno de 5 años. Las profundidades de inundación están en metros.

Figura 127 Área de inundación para $Tr = 5$ años, $Q = 474$ m³/s



Fuente: Google Earth Pro 2023. Económica CIC 2023

Elaboración: Económica CIC 2023

4.2.14 Modelación hidráulica en la cuenca del río Toachi bajo escenario de clima futuro periodo 2020-2050

En relación con los caudales máximos para la simulación, periodos de retorno, en la siguiente tabla, se presentan los caudales máximos en función del periodo de retorno (Tr) que se utilizarán en la modelación hidráulica y que fueron determinados en el capítulo anterior con el software HEC-HMS.

Tabla 75 Caudales en el río Toachi, ciudad de Santo Domingo, escenario de clima futuro

Periodo de retorno Tr (años)	Caudal (m ³ /s)
100	1403.7
25	949.2
5	594.2

Fuente: Datos procesados Económica CIC, 2023

Elaboración: Económica CIC, 2023

La primera simulación se realizó para el caudal con 100 de retorno ($Q = 1403.7$ m³/s) y los resultados se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 76 Resultados de la simulación de HEC RAS para Tr = 100 años, bajo escenario de Cambio Climático

Profile Output Table - Standard Table 1												
File Options Std. Tables Locations Help												
IEC-RAS Plan: 02 River: TOACHI Reach: TRAMO Profile: TR100 CC												
Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
TRAMO	7700	TR 100 CC	1403.70	539.93	540.91	540.91	541.45	0.012599	1.75	499.59	431.29	0.59
TRAMO	7350	TR 100 CC	1403.70	530.00	534.26	532.34	534.43	0.002201	1.85	790.84	278.28	0.31
TRAMO	7000	TR 100 CC	1403.70	530.00	533.49		533.64	0.002323	1.82	833.82	304.84	0.31
TRAMO	6650	TR 100 CC	1403.70	530.00	531.03	531.03	531.55	0.032172	2.95	445.65	441.84	0.95
TRAMO	6300	TR 100 CC	1403.70	520.00	523.30	522.37	523.67	0.006866	2.72	545.50	255.23	0.52
TRAMO	5950	TR 100 CC	1403.70	520.00	522.01		522.16	0.002758	1.39	867.81	455.63	0.31
TRAMO	5600	TR 100 CC	1403.70	518.24	519.86	519.86	520.35	0.012280	1.92	531.71	490.56	0.60
TRAMO	5250	TR 100 CC	1403.70	510.00	513.13	511.54	513.27	0.002343	1.60	852.85	319.58	0.31
TRAMO	4900	TR 100 CC	1403.70	510.00	510.92	510.92	511.38	0.021877	2.34	495.50	546.67	0.78
TRAMO	4550	TR 100 CC	1403.70	502.97	507.20	505.18	507.31	0.001563	1.47	955.39	336.32	0.26
TRAMO	4220	Bridge										
TRAMO	4200	TR 100 CC	1403.70	500.00	503.66		503.92	0.004538	2.27	629.31	244.61	0.43
TRAMO	3850	TR 100 CC	1403.70	500.00	502.93		503.02	0.001545	1.25	1095.49	417.99	0.25
TRAMO	3500	TR 100 CC	1403.70	500.00	501.00	501.00	501.49	0.034239	3.09	455.10	473.47	0.99
TRAMO	3150	TR 100 CC	1403.70	490.00	493.68	492.89	493.99	0.008047	2.50	570.02	299.86	0.54
TRAMO	2800	TR 100 CC	1403.70	490.00	492.84		492.96	0.001739	1.30	942.78	391.71	0.26
TRAMO	2450	TR 100 CC	1403.70	490.00	491.22	491.22	491.81	0.022778	2.87	431.25	364.73	0.83
TRAMO	2100	TR 100 CC	1403.70	480.00	485.61	483.54	485.80	0.002762	1.93	738.99	240.43	0.34
TRAMO	1750	TR 100 CC	1403.70	480.00	484.35	483.69	484.55	0.005362	2.16	722.61	400.31	0.45
TRAMO	1400	TR 100 CC	1403.70	480.00	481.15	480.97	481.50	0.018747	2.50	537.63	467.68	0.74
TRAMO	1050	TR 100 CC	1403.70	474.73	474.97	474.97	475.77	0.013646	0.47	354.48	230.58	0.44
TRAMO	700.0001	TR 100 CC	1403.70	470.00	472.68	471.16	472.78	0.001149	1.05	1028.78	393.58	0.21
TRAMO	350	TR 100 CC	1403.70	470.00	471.11	471.11	471.66	0.019535	2.44	453.31	416.47	0.75

Fuente: Datos procesados Económica CIC, 2023

Elaboración: Económica CIC, 2023

Para cada simulación el programa HEC RAS produce una tabla de resultados en la cual se aprecian: el Tramo de Modelación (Reach), la identificación de cada sección transversal (River Sta), el caudal de diseño (Profile), Caudal Total (Q total), Elevación mínima del canal (Min Ch El), Elevación de la superficie de agua (W.S. Elev) que en nuestro caso es la cota de inundación, Nivel crítico del agua (Crit W.S.), Elevación de la línea de energía (E.G. Elev), Pendiente de la línea de energía (E.G. Slope), Velocidad en el río (Vel Chnl), Area del flujo (Flow Area), Ancho mayor (Top Width) y Número de Froude (Froude # Chl).

En nuestro caso nos concentraremos en el Nivel del agua (W.S. Elev) y la Velocidad (Vel Chnl) resaltados en rojo en la tabla anterior

Estos resultados se reflejan en el mapa de inundación que se presenta a continuación.

Figura 128 Mapa de inundación para $Tr = 100$ años, bajo escenario de Clima Futuro



Fuente: Google Earth Pro 2023. Económica CIC 2023
Elaboración: Económica CIC 2023

La segunda simulación se realizó para el caudal con 25 años de retorno ($Q = 949.2$ m³/s) y los resultados se muestran en la siguiente tabla.

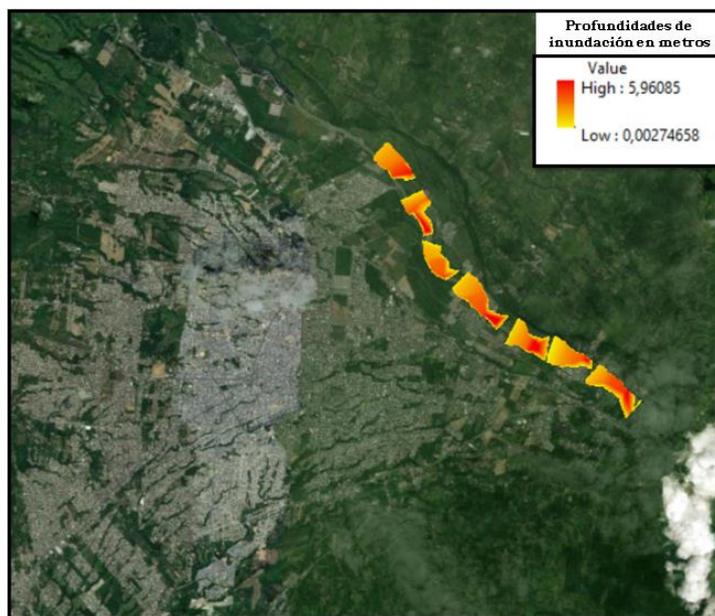
Tabla 77 Resultados de la simulación de HEC RAS para $Tr = 25$ años, bajo escenario de Clima Futuro

Profile Output Table - Standard Table 1												
HEC-RAS Plan: 02 River: TOACHI Reach: TRAMO Profile: TR25 CC												
Reach	River Sta	Profile	Q Total (m ³ /s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m ²)	Top Width (m)	Froude # Chl
TRAMO	7700	TR25 CC	949.20	539.93	540.65	540.64	541.08	0.012115	1.37	387.59	429.22	0.54
TRAMO	7350	TR25 CC	949.20	530.00	533.63	531.88	533.76	0.002007	1.57	624.45	250.67	0.29
TRAMO	7000	TR25 CC	949.20	530.00	532.95		533.06	0.001967	1.50	676.46	284.69	0.28
TRAMO	6650	TR25 CC	949.20	530.00	530.80	530.80	531.20	0.039016	2.61	341.91	436.76	0.95
TRAMO	6300	TR25 CC	949.20	520.00	522.84	521.91	523.09	0.005970	2.26	432.77	226.13	0.47
TRAMO	5950	TR25 CC	949.20	520.00	521.63		521.73	0.002591	1.17	694.52	446.40	0.29
TRAMO	5600	TR25 CC	949.20	518.24	519.59	519.59	520.00	0.012160	1.56	399.34	456.60	0.56
TRAMO	5250	TR25 CC	949.20	510.00	512.65	511.19	512.74	0.001947	1.32	701.05	304.91	0.27
TRAMO	4900	TR25 CC	949.20	510.00	510.71	510.71	511.06	0.023820	2.05	380.82	542.24	0.78
TRAMO	4550	TR25 CC	949.20	502.97	506.59	504.77	506.67	0.001403	1.26	758.53	308.29	0.24
TRAMO	4220											
TRAMO	4200	TR25 CC	949.20	500.00	503.10		503.29	0.004166	1.91	499.14	222.48	0.40
TRAMO	3850	TR25 CC	949.20	500.00	502.45		502.51	0.001313	1.03	896.77	403.38	0.22
TRAMO	3500	TR25 CC	949.20	500.00	500.77	500.77	501.15	0.037407	2.72	347.98	464.30	0.99
TRAMO	3150	TR25 CC	949.20	490.00	493.16	492.44	493.42	0.008637	2.23	427.11	258.06	0.54
TRAMO	2800	TR25 CC	949.20	490.00	492.37		492.45	0.001520	1.09	763.13	373.70	0.24
TRAMO	2450	TR25 CC	949.20	490.00	490.95	490.95	491.41	0.024641	2.52	331.25	359.17	0.83
TRAMO	2100	TR25 CC	949.20	480.00	485.04	482.98	485.16	0.002153	1.59	606.73	219.00	0.30
TRAMO	1750	TR25 CC	949.20	480.00	483.96	483.39	484.12	0.005070	1.90	567.23	394.87	0.43
TRAMO	1400	TR25 CC	949.20	480.00	480.91	480.75	481.17	0.018746	2.14	424.90	467.31	0.72
TRAMO	1050	TR25 CC	949.20	474.73	474.59	474.59	475.22	0.014680		270.08	215.00	0.00
TRAMO	700.0001	TR25 CC	949.20	470.00	472.21	470.89	472.29	0.000988	0.86	847.86	390.45	0.19
TRAMO	350	TR25 CC	949.20	470.00	470.86	470.86	471.28	0.021207	2.15	348.48	413.18	0.75

Fuente: Datos procesados Económica CIC, 2023
Elaboración: Económica CIC, 2023

Estos resultados se reflejan en el mapa de inundación que se presenta a continuación:

Figura 129 Mapa de inundación para $Tr = 25$ años, bajo escenario de Clima Futuro



Fuente: Google Earth Pro 2023. Económica CIC 2023

Elaboración: Económica CIC 2023

La tercera simulación se realizó para el caudal con 5 años de retorno ($Q = 594.2$ m³/s) y los resultados se muestran en la Tabla No.8:

Tabla 78 Resultados de la simulación de HEC RAS para $Tr = 5$ años, bajo escenario de Clima Futuro

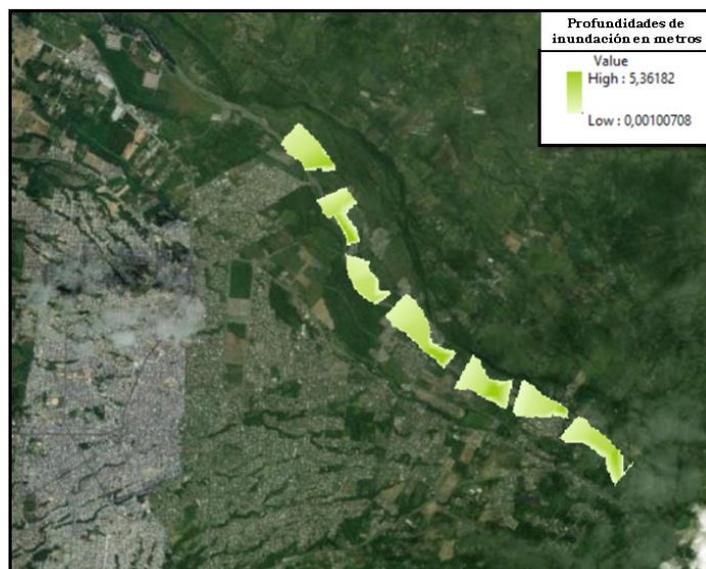
Profile Output Table - Standard Table 1												
HEC-RAS Plan: 02 River: TOACHI Reach: TRAMO Profile: TR5 CC												
Reach	River Sta	Profile	Q Total (m ³ /s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m ²)	Top Width (m)	Froude # Chl
TRAMO	7700	TR5 CC	594.20	539.93	540.40	540.40	540.73	0.011482	0.97	281.41	427.27	0.49
TRAMO	7350	TR5 CC	594.20	530.00	533.00	531.44	533.08	0.001793	1.28	473.40	223.39	0.26
TRAMO	7000	TR5 CC	594.20	530.00	532.42		532.48	0.001610	1.19	528.51	264.35	0.25
TRAMO	6650	TR5 CC	594.20	530.00	530.59	530.59	530.88	0.038671	2.25	249.46	432.18	0.95
TRAMO	6300	TR5 CC	594.20	520.00	522.36	521.44	522.53	0.004999	1.80	334.29	195.24	0.42
TRAMO	5950	TR5 CC	594.20	520.00	521.27		521.34	0.002370	0.95	535.32	438.31	0.27
TRAMO	5600	TR5 CC	594.20	518.24	519.26	519.26	519.64	0.013890	1.25	264.41	371.38	0.56
TRAMO	5250	TR5 CC	594.20	510.00	512.16	510.88	512.22	0.001560	1.04	555.83	290.18	0.24
TRAMO	4900	TR5 CC	594.20	510.00	510.52	510.52	510.78	0.026445	1.76	277.89	538.24	0.78
TRAMO	4550	TR5 CC	594.20	502.97	505.99	504.42	506.04	0.001221	1.03	579.72	281.04	0.21
TRAMO	4220	Bridge										
TRAMO	4200	TR5 CC	594.20	500.00	502.54		502.66	0.003744	1.56	380.16	200.14	0.36
TRAMO	3850	TR5 CC	594.20	500.00	501.97		502.01	0.001079	0.82	707.40	388.48	0.19
TRAMO	3500	TR5 CC	594.20	500.00	500.57	500.57	500.85	0.041324	2.33	253.30	455.94	0.98
TRAMO	3150	TR5 CC	594.20	490.00	492.63	491.98	492.83	0.009023	1.98	299.88	214.03	0.53
TRAMO	2800	TR5 CC	594.20	490.00	491.91		491.96	0.001280	0.87	594.98	354.25	0.21
TRAMO	2450	TR5 CC	594.20	490.00	490.70	490.70	491.04	0.027308	2.16	241.25	354.10	0.83
TRAMO	2100	TR5 CC	594.20	480.00	484.45	482.44	484.53	0.001553	1.25	484.55	197.14	0.25
TRAMO	1750	TR5 CC	594.20	480.00	483.58		483.70	0.004753	1.63	417.63	390.56	0.40
TRAMO	1400	TR5 CC	594.20	480.00	480.69	480.55	480.86	0.018592	1.77	321.41	466.95	0.68
TRAMO	1050	TR5 CC	594.20	474.73	474.16	474.16	474.69	0.015929		185.70	181.16	0.00
TRAMO	700.0001	TR5 CC	594.20	470.00	471.77	470.66	471.81	0.000821	0.68	674.12	387.45	0.17
TRAMO	350	TR5 CC	594.20	470.00	470.63	470.63	470.94	0.023633	1.85	253.84	410.19	0.75

Fuente: Datos procesados Económica CIC, 2023

Elaboración: Económica CIC, 2023

Estos resultados se reflejan en el mapa de inundación que se presenta a continuación:

Figura 130 Mapa de inundación para Tr = 5 años, bajo escenario de Clima Futuro



Fuente: Google Earth Pro 2023. Económica CIC 2023

Elaboración: Económica CIC 2023

Las inundaciones para diferentes periodos de retorno, se realizó un mapa comparativo. En la siguiente figura, se aprecia de una manera comparativa las áreas de inundación correspondientes a Tr = 100 años, Tr = 25 años y Tr = 5 años.

Simbología	Periodo de retorno (años)	Caudal (m ³ /s)
	100	1403.7
	25	949.2
	5	594.2

Figura 131 Área de inundación para los tres Periodos de Retorno, escenario de clima futuro



Fuente: Google Earth Pro 2023. Económica CIC 2023

Como conclusiones y recomendaciones de esta sección, se puede mencionar las siguiente:

- En el presente análisis se utilizó el cambio en el extremo diario de precipitación para el patrón de circulación atmosférica 6 o WTF6 que viene a ser el patrón más extremo, y que representa de una manera precisa al fenómeno El Niño en la costa ecuatoriana.
- El patrón de circulación WTF 6 determina que para el periodo 2020-2050 el valor más extremo de precipitación crecerá en 10 mm/d. Este incremento de precipitación en la cuenca del río Toachi generará un incremento de 25% en los caudales máximos para periodos de retorno de 5 años, de 19% en caudales con periodo de retorno de 25 años y de 10% en caudales con periodo de retorno de 100 años.
- Se observa que el caudal con retorno de 100 años calculado para clima futuro provocará alturas de inundación adicionales de entre 0.10 m en Sueño de Bolívar y 0.15 m en el Paraíso y Brasilia del Toachi. Estos cambios en altura no significan cambios grandes en las áreas de inundación como se puede apreciar en los mapas de resultado de los análisis con el clima futuro.
- En la presente modelación se utilizó la ecuación IDF determinada por el INAMHI, actualización del año 2019. Sin embargo, sería interesante determinar si con el cambio climático se alteraría de alguna manera esta ecuación y cómo afectaría en el cálculo de las intensidades de precipitación.

Incertidumbre de la modelación.

Existen varios factores que tienen influencia en los valores a determinar por parte de HEC RAS, principalmente la rugosidad en el cauce y las orillas, los datos hidrológicos disponibles que provienen de la modelación hidrológica y la geometría de las secciones transversales y del puente. A continuación, se describen las más importantes:

Rugosidad. - Es importante considerar el número de Manning n el cual es un valor que viene de bibliografía y depende de muchos factores tales como rugosidad del perímetro mojado del cauce, vegetación, irregularidad, alineamiento, sedimentación y socavación, obstrucción, nivel y caudal, cambio estacional. (Ven Te Chow, 1959). En nuestro caso, los números de Manning para el cauce principal y las orillas son diferentes entre sí y pueden variar. Para el cauce principal se ha considerado un número de Manning de 0.06 pero podría ser mayor hasta un valor de 0.073 según la bibliografía consultada. Para las orillas, éste varía entre 0.040 y 0.055. En el caso en el que se calibre el modelo con caudal, calado y velocidades conocidos (realizados mediante un aforo), podría determinarse con más precisión los valores de Manning.

Datos hidrológicos disponibles. - Los caudales utilizados en la presente modelación provienen de una simulación hidrológica previa, la cual a su vez depende de factores como la información pluviométrica disponible reflejada en las curvas IDF, el número de curva CN asignado el cual puede variar de acuerdo al tipo de suelo, el tiempo de concentración y de retardo en la cuenca calculados en base a fórmulas del SCS (Servicio de Conservación de Suelos).

Geometría. - El número de secciones transversales es importante ya que a mayor cantidad de secciones transversales mejor es la precisión de los resultados de HEC RAS en cuanto a la definición de las áreas de inundación. En el presente trabajo se usaron 10 secciones con un resultado muy preciso. Es importante tener un mapa actual de la zona de simulación para poder ingresar la geometría de las secciones transversales en HEC RAS a través de una herramienta muy útil como es HECGeoRAS (en ArcGIS). Es necesario tener un DEM – Modelo Digital de Elevación actual o un levantamiento topográfico del tramo a modelar a una buena resolución. En nuestro caso, se utilizó como mapa base el DEM de Santo Domingo de los Colorados de resolución 5m.

Conclusiones y recomendaciones del análisis.

- ❖ De las tres zonas que son de interés para la Municipalidad de Santo Domingo se observa que las más afectadas serán El Paraíso y Brasilia del Toachi para los tres periodos de retorno. En el sector del Sueño de Bolívar se observa inundaciones en la margen derecha que al momento no está poblada.
- ❖ Las áreas de inundación identificadas en el presente estudio nos dan una idea de la extensión que deberán tener las franjas de protección junto al río Toachi, en las cuales se debe prohibir los asentamientos humanos y cualquier tipo de actividad humana (especialmente explotación de materiales para la construcción).
- ❖ Es necesario que se establezca un Sistema de Alerta Temprana para inundaciones basado en una red hidrometeorológica automática básica y óptima que monitoree la precipitación y los niveles de los ríos en las cuencas altas y media.
- ❖ Hay que tomar en cuenta que la morfología de un río es dinámica, cambia en el tiempo, por ello la modelación debe ser un proceso constante en el tiempo.
- ❖ Es importante conservar las cuencas altas y medias del Toachi mediante una planificación integral de los usos de suelo y actividades de reforestación en los suelos degradados.

4.3 Susceptibilidad a deslizamientos

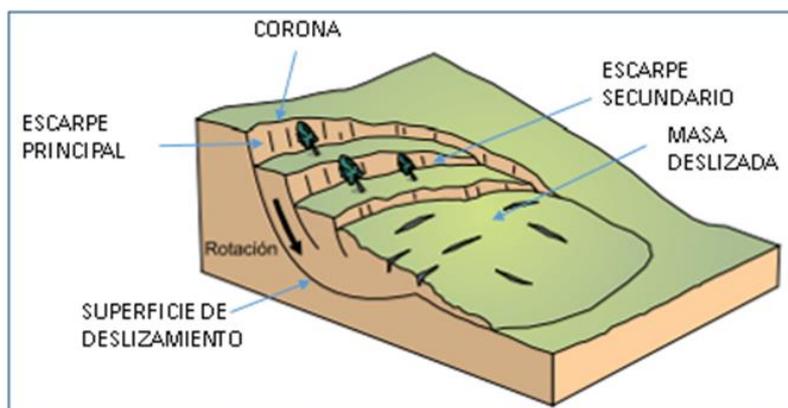
En este capítulo se presentan los resultados derivados de dos enfoques para evaluar la susceptibilidad y la subsiguiente amenaza de deslizamientos, tanto en la parte urbana como en la rural de la ciudad de Santo Domingo. Los modelos empleados son el modelo biofísico basado en machine Learning y el modelo heurístico diseñado para prever deslizamientos en la zona urbana

4.3.1 Marco conceptual

Deslizamiento rotacional

De acuerdo con el documento Movimientos en Masa en la Región Andina: Una Guía para Evaluación de las Amenazas, del Proyecto Regional Andino (2007), un deslizamiento rotacional, “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 siguiente figura, permite observar los principales elementos que forman parte de una masa deslizada y que geomorfológicamente corresponde a un coluvión.

Figura 132 Elementos de una masa deslizada



Fuente: Una Guía para Evaluación de las Amenazas, del Proyecto Regional Andino (2007).

Elaborado: Económica CIC., 2023

Deslizamientos superficiales o de tierra

Son un tipo de corrimiento o movimiento en masa de tierra, provocado por la inestabilidad de las laderas; se producen en las capas superficiales de los terrenos generalmente desprotegidos de vegetación y por la acción de fuerte precipitaciones. En el perfil idealizado de la garganta del río Pove (figura), se han representado los suelos derivados de cenizas volcánicas recientes con un 50 a 100 % de saturación con agua, que sepultan a cenizas antiguas donde la saturación con agua es mayor al 100 %, lo cual puede influir en el desprendimiento de materiales.

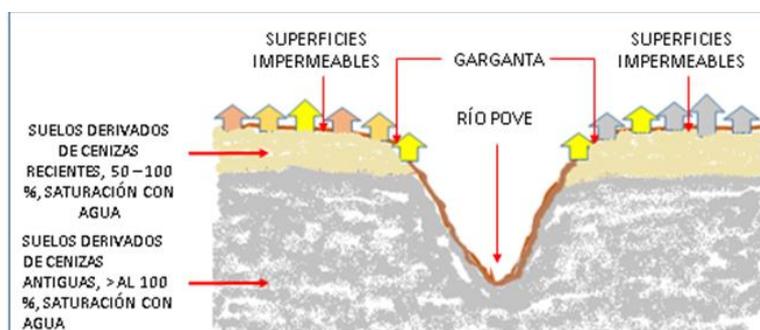
4.3.2 Factores físicos, bióticos y antrópicos que intervienen en potenciales deslizamientos

Suelos: Los suelos que han sido sepultados bajo el pavimento y hormigón en el área de influencia directa de la ciudad, provienen de la superposición de varios conjuntos de materiales piroclásticos provenientes de eventos volcánicos desarrollados en el Holoceno y que, debido a los vientos fueron depositados en la parte central y norte del piedemonte andino¹⁸.

Winckell (1997), señala que en los sectores donde se asienta la ciudad, existen dos conjuntos de piroclastos que corresponden a dos grandes períodos de emisión volcánica, con una potencia aproximada de 6 metros en Santo Domingo. Una capa inferior pardo amarillenta, con textura limo-arcillosa, que corresponde a la primera emisión de cenizas antiguas hoy fuertemente alteradas y una edad de más de 42.000 años. La capa superior, donde se asienta la ciudad y donde se desarrolla la actividad agrícola, presenta una textura limosa a limo-arenosa de color pardo a gris-amarillento, que corresponde a una segunda serie de emisiones más recientes, que empesaron hace aproximadamente 8.500 años. Una de las particularidades que hace que estos suelos sean muy susceptibles a desprendimientos, es la retención de agua; los suelos derivados de cenizas recientes, presentan una retención entre 50 y 100 %, mientras que los suelos de las cenizas antiguas, es mayor al 100 %. (1)

Aparte de los suelos que han sido sellados con pavimento y hormigón y que se encuentran sobre la superficie del cono de esparcimiento, existen todavía afloramientos en las laderas que forman las gargantas y son de interés para el estudio de las amenazas por deslizamientos. Y en este caso, toma un papel más relevante la humedad o contenido de agua almacenada en los suelos, que la textura de los mismos. En esta línea, también juega un papel importante el flujo de las aguas subterráneas y nivel freático. Obsérvese la siguiente figura.

Figura 133 Perfil idealizado de la garganta del río Pove



Fuente: Económica CIC., 2023

Elaborado: Económica CIC., 2023

¹⁸ . Paisajes naturales del Ecuador. Winckell (1997)

Forma del relieve: En este caso, lugares con geoformas de topografía plana como la superficie del cono de esparcimiento donde se ha edificado gran parte de la ciudad, los deslizamientos prácticamente son nulos, pero no se debe descartar que ocurran otros fenómenos como hundimientos y subsidencia, ligados con la impermeabilización de los suelos, cambios en el nivel freático y cambios en el flujo de las aguas subterráneas. De otra parte relieves como las gargantas, cerros testigo (uno de ellos el Bombolí) y los escarpes que se encuentran en el área del río Toachi, son más susceptibles a la inestabilidad de laderas y desprendimiento de grandes masas de tierra, con una mayor energía cinética.

Las laderas o escarpes de las geoformas indicadas, que por muchos años han permanecido estables, pueden transformarse a inestables y susceptibles a deslizamientos, debido principalmente a actividades antrópicas, como cambios en la topografía de la ladera (desbanques), incorporación de pesos en las laderas, como la construcción de viviendas, acumulación de basuras y escombros, mal funcionamiento de alcantarillas (rompimientos), deforestación y cambios de uso del suelo de bosque a urbano. Dentro de los procesos naturales está la erosión en el cauce y erosión lateral que se produce en ríos y quebradas, lo que provoca desprendimientos y desplomes de masas de suelos; esto ocurre cuando se producen incrementos en las lluvias locales y el aumento de los caudales de las redes fluviales.

Pendiente: presenta un carácter determinante dentro de los procesos geomorfológicos gravitacionales, mientras más fuerte es la inclinación de las laderas, mayor será la susceptibilidad a deslizamientos, deslaves y aluviones. Esta variable está definida por el ángulo entre un plano horizontal imaginario y la superficie de la ladera, expresada en grados; los rangos utilizados en el estudio son: 0 a 2 °, 2 a 5 °, 5 a 12 °, 12 a 18 °, 18 a 30 °, 30 a 65 ° y mayor a 65 °.

Litología/depósitos superficiales: el tipo de material aflorante y su grado de meteorización, condicionará la susceptibilidad a movimientos de ladera; pese a que los relieves montañosos, heterogéneos y escarpados, denotan la existencia de rocas muy duras y cohesivas, en ambientes climáticos húmedos y muy húmedos, actúa la meteorización física y química, produciendo alteraciones en la roca, modificando sustancialmente los parámetros de resistencia y permeabilidad, haciéndolas más susceptibles a deslizamientos o flujos de detritos.

En esta línea, los potenciales problemas de inestabilidad se presentan en suelos residuales, por fenómenos relacionados con la presencia de lluvias continuas y extremas, que saturan los materiales sub superficiales, aumentando su peso, para luego ser desprendidos.

Fisonomía de la cobertura vegetal: corresponde a un factor natural que determina la susceptibilidad a movimientos de ladera, por ser un buen protector de

los ecosistemas, de los suelos y del regolito, regulando el agua pluvial, de escorrentía y cohesionando los materiales meteorizados, mediante la acción de sus raíces.

La vegetación arbórea, una planta leñosa con raíces profundas, que además de facilitar el drenaje subterráneo, ofrece una resistencia cohesiva al regolito y suelos, reduciendo la probabilidad de ocurrencia de deslizamientos poco profundos o flujos de detritos; arbustiva, la resistencia cohesiva es menor que el caso anterior, por lo que, en estos paisajes aumenta la probabilidad de deslizamientos superficiales o flujos de detritos; y herbácea, en este caso no ofrece ninguna protección (de las raíces), frente a los fenómenos ya indicados.

Viviendas en laderas: esta variable tiene que ver con el incremento de la carga de las viviendas en las laderas, lo cual aumenta significativamente el peso, que sumado al de los suelos que están saturados, acrecenta la probabilidad de un potencial deslizamiento. En este mismo sentido, el depósito de basuras y escombros en las laderas, también aumenta la susceptibilidad de un movimiento en masa. Existen casos en los cuales, las construcciones ocupan toda la ladera desde la superficie del cono de esparcimiento hasta la base cerca al drenaje, en este caso, no se produciría un deslizamiento, relacionado con las lluvias como detonante, pero sí, ante un eventual sismo con una magnitud moderada a fuerte. También no se descarta una erosión pluvial a uno y otro lado de las casas-terrazas, lo cual debilitaría su estructura.

Precipitación (Lluvias): este factor actúa como desencadenante; tienen mayor importancia las lluvias constantes y prolongadas, más que la intensidad de estas; en el primer caso, las lluvias van saturando los suelos y regolito hasta aumentar el peso de la masa y la posterior generación de los movimientos de laderas.

Según INAMHI (2008), citado en el PDOT de la Provincia de Santo Domingo de Los Tsáchilas 2015-2030, el clima que domina en el área donde se encuentra la ciudad de Santo Domingo, es Tropical Megatérmico Húmedo, con precipitaciones que varían entre 2500 y 3000 y temperaturas de 23 ° a 24 °.

Resultados del modelo de Machine Learning. Esta información se sigue procesando y será entregada en la siguiente versión de este documento.

4.4 Modelos Biofísico Machine Learning (parroquia)

Al interior de la ciudad, existen tres formas del relieve que inciden directamente en la dinámica urbana y que al ser utilizadas sin tomar en cuenta los procesos geodinámicos externos que en ellas se desarrollan, podrían causar problemas y conflictos de uso urbano. Una de ellas son las gargantas, las cuales merecen una especial atención y análisis debido principalmente a que en su interior ocurren procesos geomorfológicos de tipo gravitacional y deluvial; fluviales, especialmente

cuando aumentan los caudales de los ríos y quebradas que generan erosión en sus cauces (aunque no muy significativa) y erosión lateral; y, ecológicos, donde la cobertura vegetal cumple funciones como el control de erosión pluvial, cohesión de los suelos para evitar desprendimientos, evapotranspiración, prevención de olas de calor, refugio de fauna y belleza escénica, entre otras. La otra forma del relieve lo constituyen los cerros testigos (existen dos en la ciudad), que, como el caso anterior, un mal uso de estos relieves sería la causa para la ocurrencia de deslizamientos, deslaves y aluviones. La tercera forma del relieve corresponde a los escarpes o taludes localizados en el área de influencia del río Toachi, caracterizados por presentar pendientes muy escarpadas.

4.5 Modelo heurístico para deslizamientos en la zona urbana de Santo Domingo

4.5.1 Introducción

Los cerros testigo que se encuentran al interior de la ciudad, cuyo núcleo está constituido por rocas volcánicas antiguas de edad Cretácica; las gargantas que se localizan a lo largo de los ríos y esteros que cruzan la ciudad con una dirección casi este-oeste y que son el producto de una intensa erosión fluvial; y los grandes escarpes del cono de esparcimiento, constituyen geoformas susceptibles a la ocurrencia de deslizamientos de tipo rotacional o deslizamientos superficiales, pese a que durante el Holoceno fueron cubiertos por dos generaciones de cenizas volcánicas.

La metodología utilizada, es la propuesta por Mora, S y Vahrson, W.G., que se incluye en el Manual TC4, ISSMFE, 1993. Esta metodología modificada y adaptada a las condiciones físicas de la ciudad de Santo Domingo, permite desarrollar una estimación el grado de susceptibilidad a movimientos de ladera a partir de variables e indicadores que presentan mayor influencia en las condiciones de inestabilidad.

Ayala-Carcedo (2002), definen a la susceptibilidad como la propensión o tendencia de una zona, a ser afectada o hallarse bajo la influencia de un determinado proceso relacionado con remociones en masa. Son materiales edáficos o roca, o la mezcla de los dos, que en algún momento pueden movilizarse a lo largo de las laderas por acción de la gravedad.

Durante el estudio, se utilizaron dos métodos; uno el heurístico, que se basa en el conocimiento previo de los factores que producen inestabilidad de las laderas al interior de la ciudad, como el relieve, pendiente de laderas, litología, suelos y cobertura vegetal y su relación con el ambiente húmedo que domina la zona; el otro, se refiere al método geomorfológico, que mediante las técnicas de interpretación de productos de sensores remotos, modelos digitales del terreno y su cartografía temática entregada como parte del Producto 1, ya se dispone del conocimiento de los espacios geográficos más susceptibles a remociones en masa.

4.5.2 Metodología

Las actividades cumplidas fueron las siguientes:

- Mediante la utilización del software ArcGIS, se identificaron en la base de datos del proyecto los campos (variables), a ser utilizados durante el estudio, como son: litología, formas del relieve, pendiente, desnivel relativo, suelos y fisonomía de la cobertura vegetal.

- Determinadas las variables, la siguiente actividad fue la identificación de los indicadores de cada una de ellas y la asignación de pesos o valores numéricos, que para el presente caso será de 1 a 3, para discriminar mejor los indicadores que califican cada variable, así, el valor mínimo califica a una unidad con nivel de baja susceptibilidad (1) y el valor máximo con nivel de alta susceptibilidad (3).
- Para el cálculo y asignación de coeficientes de cada una de las variables, se ha elegido el método multicriterio de análisis jerárquico propuesto por Thomas Saaty¹⁹; se trata de un procedimiento de comparación por pares de variables, partiendo de una matriz cuadrada en la cual el número de filas y columnas está definido por el número de criterios a ponderar. Así, se establece una matriz de comparación entre pares de variables, comparando la importancia de cada uno de ellos con los demás.
- Es necesario indicar que, no se incluyeron las pendientes suaves, desniveles relativos muy bajos, terrazas aluviales, superficie de cono de esparcimiento, superficie inferior de cono de esparcimiento, debido a que en ellas no pueden ocurrir procesos geomorfológicos de gravedad. Con esto se evita añadir pesos en la evaluación de la susceptibilidad. En las siguientes tablas se indican las variables, indicadores y pesos.
- Proceso cartográfico-temático para determinar y espacializar la susceptibilidad a deslizamientos, al interior de la ciudad de Santo Domingo.

4.6 Susceptibilidad de deslizamientos de tipo rotacional

Con base a la información generada y entregada en el Producto 1, se procede al análisis de la susceptibilidad a deslizamientos de tipo rotacional, tomando como base la siguiente fórmula.

$$SDz = C1xL + C2xFR + C3xP + C4xS + C5xFCV$$

Donde:

SDz: Susceptibilidad a deslizamientos de tipo rotacional

L: Variable litología

FR: Variable forma del relieve

P: Variable pendiente

¹⁹ Toma de decisiones y la teoría de la jerarquía analítica (AHP, por sus siglas en inglés). AHP es un método utilizado para tomar decisiones complejas al descomponer un problema en una jerarquía de criterios y alternativas, asignando valores numéricos a las preferencias y realizando cálculos para determinar la mejor opción. Saaty también desarrolló la teoría de la jerarquía analítica para procesos (AHP/T, por sus siglas en inglés), que extiende los principios de AHP a problemas temporales.

- S:** Variable suelos
- FCV:** Variable fisonomía de la cobertura vegetal
- C:** Coeficiente asignado a cada variable, método Saaty

Variables, indicadores, pesos

Como se indicó en la metodología, determinadas las variables e identificados los indicadores, el siguiente paso consiste en asignar los valores numéricos que califican cada variable; los valores escogidos son 1, 2 y 3. El valor mínimo califica a una unidad con nivel de baja susceptibilidad (1), media susceptibilidad (2) y el valor máximo con nivel de alta susceptibilidad (3).

El análisis no incluye geoformas con pendientes suaves y muy suaves, desniveles relativos bajos y muy bajos, como es el caso de superficie del cono de esparcimiento, terrazas fluviales del río Toachi, por considerarse terrenos estables y donde no pueden ocurrir procesos geomorfológicos de gravedad.

En los siguientes cuadros se detallan las variables, indicadores y pesos. Es importante considerar que

Tabla 79 Variable Litología

	Descripción	Peso
	Cantos y cantos rodados, conglomerados, arena en su mayoría de origen volcánico, areniscas poco cementadas	3
	Diabasas, porfiritas, argilitas silicificadas, grauvacas, lutita (Formación Macachí)	2
	Depósitos Coluviales	1
	Depósitos fluviales arenosos y/o pedregosos	0

Elaborado: Económica CIC., 2023

Tabla 80 Variable Forma del relieve

Indicador, descripción	Peso
Escarpe principal de Cono de Esparcimiento	3
Escarpe de superficie inferior	3
Gargantas	3
Cerro Testigo	2
Coluvión	1
Terraza fluvial baja	0
Terraza fluvial media	0
Valle fluvial	0
Superficie de cono de esparcimiento	0
Valle fluvial	0

Elaborado: Económica CIC., 2023

Tabla 81 Variable pendiente

Indicador, rangos (°)	Peso
45 a 50	3
18 a 32	2
11 a 18	1
5 a 11	0
2 a 5	0
0 a 2	0

Elaborado: Económica CIC., 2023

Tabla 82 Variable Suelos

Indicador, descripción	Peso
Ceniza volcánica	3
Fluvial, aluvial	0

Elaborado: Económica CIC., 2023

Tabla 83 Variable fisonomía de la cobertura vegetal

Indicador, descripción	Peso
Vegetación Herbácea	3
Vegetación Arbustiva	2
Vegetación Arborea	1

Elaborado: Económica CIC., 2023

En los siguientes cuadros se expone la secuencia del análisis jerárquico propuesto por Thomas Saaty, desde las ponderaciones de las variables en función de valores de importancia, la normalización, obtención de coeficientes y determinación de la consistencia de los resultados. En la siguiente tabla, se indica los valores de importancia para calificar a las variables.

Tabla 84 Valores de importancia – Escala Saaty

Escala numérica	Escala conceptual
1	Igualmente, preferida
2	Moderadamente prefería
3	Fuertemente preferida
7	Muy fuertemente preferida
9	Extremadamente preferida

Fuente: EMC_Saaty_2020.pdf (udelar.edu.uy)

Elaboración: Económica CIC 2023.

Tabla 85 Calificación según importancia

	Litología	Forma del Relieve	Pendiente	Fis. Cob. Vegetal	Suelos
Litología	1	3	1	1	3
Forma del Relieve	1/3	1	3	1/7	3
Pendiente	1	1/3	1	1/5	1
Fis. Cob. Vegetal	1	3	1	1	1/5
Suelos	1/3	1/3	1	1	1

Elaboración: Económica CIC 2023.

Tabla 86 Valores de cada variable

	Litología	Forma del Relieve	Pendiente	Fis. Cob. Vegetal	Suelos
Litología	1,00	3,00	1,00	1,00	3,00
Forma del Relieve	0,33	1,00	3,00	0,14	3,00
Pendiente	1,00	0,33	1,00	0,20	1,00
Fis. Cob. Vegetal	1,00	3,00	1,00	1,00	0,20
Suelos	0,33	0,33	1,00	1,00	1,00
Totales	3,67	7,67	7,00	3,34	8,20

Elaboración: Económica CIC 2023.

Tabla 87 Matriz de normalización

Variable	L	FR	P	S	FCV	DR	Wi	Ci	LAMDAi
L	1.00	0.33	0.20	0.14	0.14	0.20	0.25	0.03	0.77
FR	3.00	1.00	0.14	0.14	0.11	0.20	0.33	0.04	1.05
P	5.00	7.00	1.00	0.33	0.14	0.20	0.83	0.09	2.63
S	7.00	7.00	3.00	1.00	0.11	0.33	1.33	0.14	2.33
FCV	7.00	9.00	7.00	9.00	1.00	0.33	3.31	0.36	4.86
DR	5.00	5.00	5.00	3.00	3.00	1.00	3.22	0.35	0.79

Elaboración: Económica CIC 2023.

Para obtener el Índice de Consistencia, se emplea la fórmula:

$$IC = \frac{\text{Lambda max} - n}{n - 1}$$

Lambda tiene un valor de 13,11

N es igual a 5

Por lo que **IC** es igual a 0, 1015

La Relación del Índice de Consistencia (**RIC**), se obtiene:

$$RIC = \frac{IC}{ICA}$$

El Índice de Consistencia Aleatorio (ICA), viene de la matriz de comparaciones pareadas generada de forma aleatoria, el mismo que depende del número de variables utilizadas, en este caso, son 5 y por consiguiente el ICA será 1.11.

Tabla 88 Índice de Consistencia Aleatorio

Número de Variables	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ICA	0	0	0,58	0,89	1.11	1.24	1.32	1.40	1.45	1.49

Fuente: Saaty;

Elaboración: Económica CIC

Por consiguiente,

$$RIC = \frac{0.1015}{1.11} = 0.09$$

Si, la **RIC** es > 0,10 existe inconsistencia y,

Si, la **RIC** es < 0,10 hay consistencia

Una vez definidos los coeficientes para cada variable, la ecuación resultante será:

$$SDz = 0,30xL + 0,20xFR + 0,12xP + 0,12xS + 0,23xFCV$$

Asimismo, en la siguiente tabla, se presentan los rangos y grados de susceptibilidad a deslizamientos en la ciudad de Santo Domingo y mediante la utilización del software ArcGIS, se procede a especializar las respectivas unidades y preparar la cartografía temática.

Tabla 89 Rangos y Grado de susceptibilidad

Rangos	Grado
1,96 - 2,47	Susceptibilidad Baja
2,48 - 2,95	Susceptibilidad Media
2,96 - 3,60	Susceptibilidad Alta

Elaboración: Económica CIC

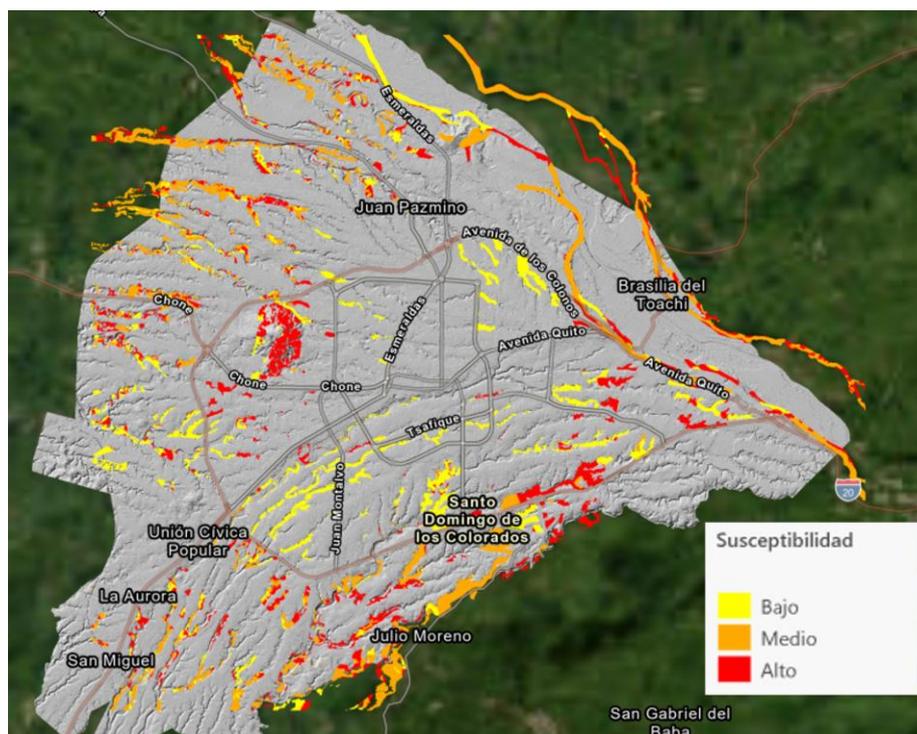
Nota: Leyenda y representatividad, se utilizó el estudio de la zonificación de susceptibilidad y peligros/amenazas por procesos de movimientos en masa, escala 1:50.000 del territorio ecuatoriano, fase 1. Instituto de Investigación Geológico y Energético – Ecuador. 2013.

4.6.1 Resultados

El análisis de las diferentes variables y sus indicadores, mediante un proceso SIG de álgebra de mapas, permitió identificar las categorías de susceptibilidad a deslizamientos, para toda la ciudad de Santo Domingo y cada una de las unidades hidrográficas identificadas como críticas. En la siguiente figura, se presenta la distribución de las áreas con diferentes tipos de susceptibilidad al interior de la ciudad y en la siguiente tabla, la leyenda explicativa donde se detalla la representación cartográfica, el tipo de susceptibilidad, los relieves asociados con la susceptibilidad y la descripción de las mismas. Esta leyenda servirá también para los mapas de cada unidad hidrográfica, como se detalla a continuación.

Es importante remarcar que, la susceptibilidad está determinada por el grado de resistencia de los terrenos a los procesos naturales, específicamente a procesos geomorfológicos, incrementados por la acción de condiciones regionales como son las condiciones climáticas y antrópicas debido fundamentalmente al cambio de uso de las tierras de bosques a urbano.

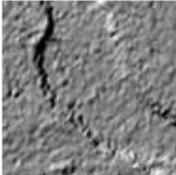
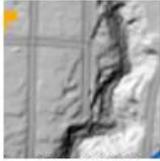
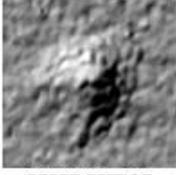
Figura 134 Susceptibilidad a deslizamientos en la ciudad de Santo Domingo



Fuente: Datos proporcionados por el GAD Municipal de Santo Domingo; IGM 2023

Elaboración: Económica CIC. 2023

Tabla 90 Interpretación de los resultados

Representación cartográfica	Tipo de susceptibilidad	Relieves asociados con la susceptibilidad	Descripción y criterios
	Baja	 ESCARPES	Esta categoría de susceptibilidad está asociada en su mayor parte con gargantas y en menor proporción con escarpes de cono de esparcimiento, donde las pendientes de las laderas (11 a 18°), los suelos de origen volcánico y la cobertura vegetal arbórea, presentan indicios de una baja susceptibilidad a deslizamientos.
	Media	 GARGANTAS	Esta categoría de susceptibilidad, cartográficamente se distribuye entre las gargantas y escarpes de cono de esparcimiento, donde las laderas con pendientes de 18 a 32°, desniveles relativos entre 15 y 20 metros, suelos volcánicos y vegetación arbustiva dominante, presentan condiciones para la ocurrencia de deslizamientos.
	Alta	 CERRO TESTIGO	Esta categoría está asociada con cerro testigo (Bomboli), gargantas y escarpes del cono de esparcimiento, donde las laderas con pendientes de 32 a 65°, desniveles relativos entre 50 y 100 metros, suelos volcánicos y vegetación herbácea dominante, presentan una alta probabilidad para la generación de deslizamientos.

Fuente: Datos proporcionados por el GAD Municipal de Santo Domingo; IGM 2023

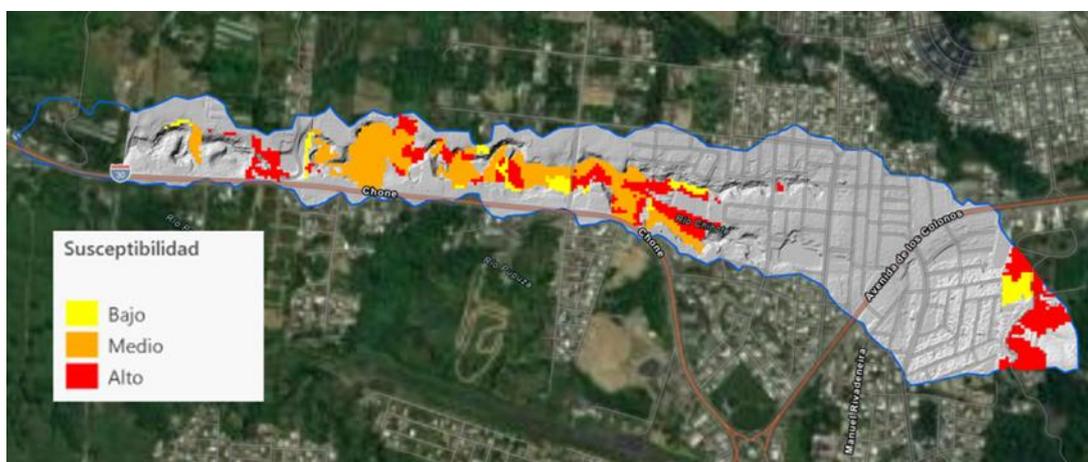
Elaboración: Económica CIC. 2023

4.6.2 Análisis por sector priorizado

Sector priorizado 1, Río Chinope

- **Ubicación:** Parte occidental de la ciudad; Cooperativa Heriberto Maldonado y Lotización Jardines de Bombolí
- **Superficie de la UH:** 116,98 Has.

Figura 135 Unidad hidrográfica río Chinope



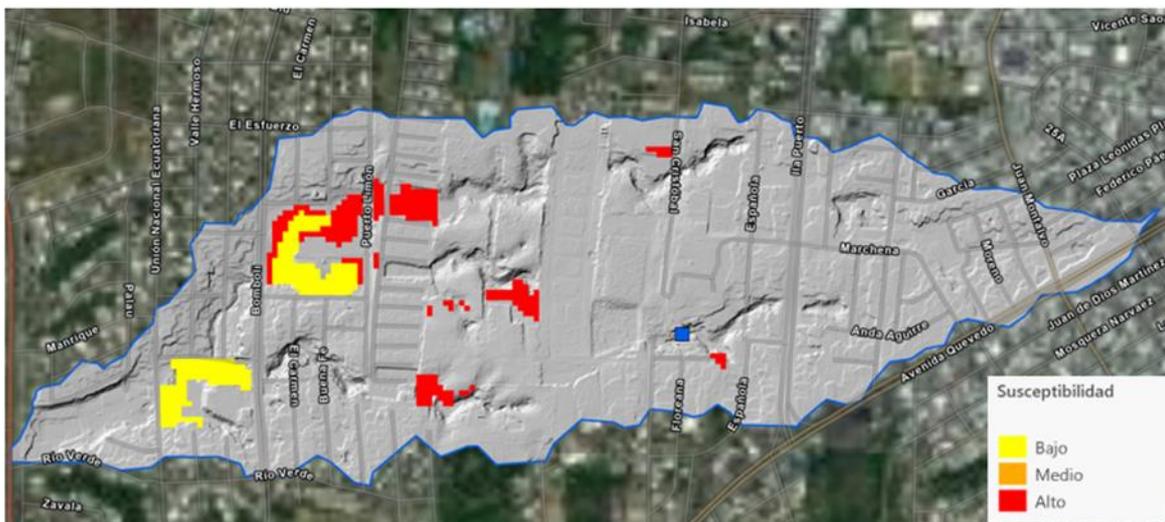
Fuente: Datos proporcionados por el GAD Municipal de Santo Domingo; IGM 2023

Elaboración: Económica CIC. 2023

Sector priorizado 4, Río El Poste

- **Ubicación:** Centro occidental de la ciudad; Cooperativa Modelo y Urbanización Moreira
- **Superficie de la UH:** 93 Has.

Figura 138 Unidad hidrográfica del río El Poste



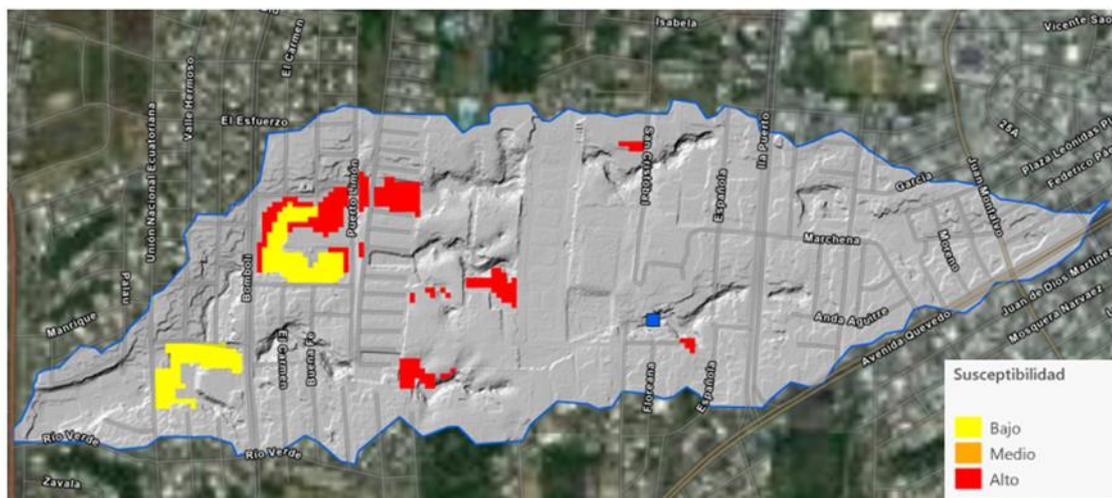
Fuente: Datos proporcionados por el GAD Municipal de Santo Domingo; IGM 2023

Elaboración: Económica CIC. 2023

Sector priorizado 5, Río Code 1

- **Ubicación:** Parte central de la ciudad; Cooperativas: Liberación Popular y 11 de Abril; Urbanizaciones: Marco Tulio Pacheco, Los Pambiles, María del Carmen, El Madrigal y Dilpo, entre otras.
- **Superficie de la UH:** 191 Has.

Figura 139 Unidad hidrográfica del río Code 1



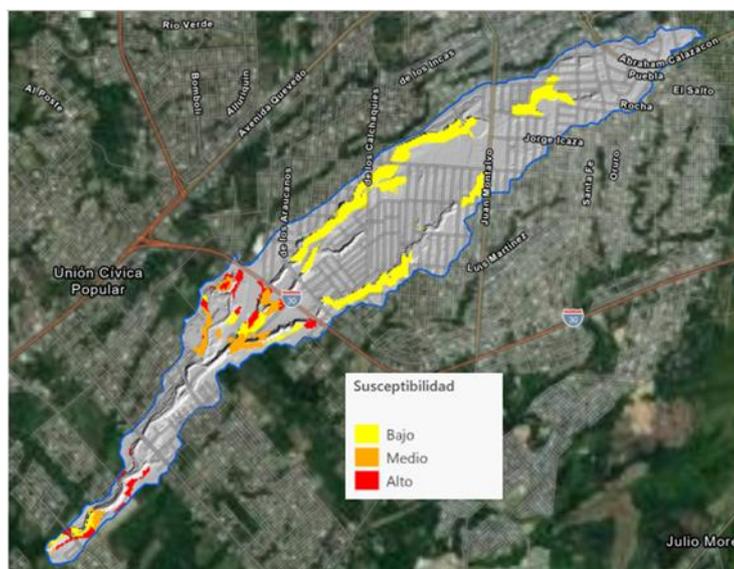
Fuente: Datos proporcionados por el GAD Municipal de Santo Domingo; IGM 2023

Elaboración: Económica CIC. 2023

Sector priorizado 8, Río Code 2

- **Ubicación:** Suroeste de la ciudad; Cooperativas: Unidos por el Pueblo Venceremos y Santa Martha; Urbanización El Edén.
- **Superficie de la UH:** 188 Has.

Figura 142 Sector priorizado 8, Río Code 2

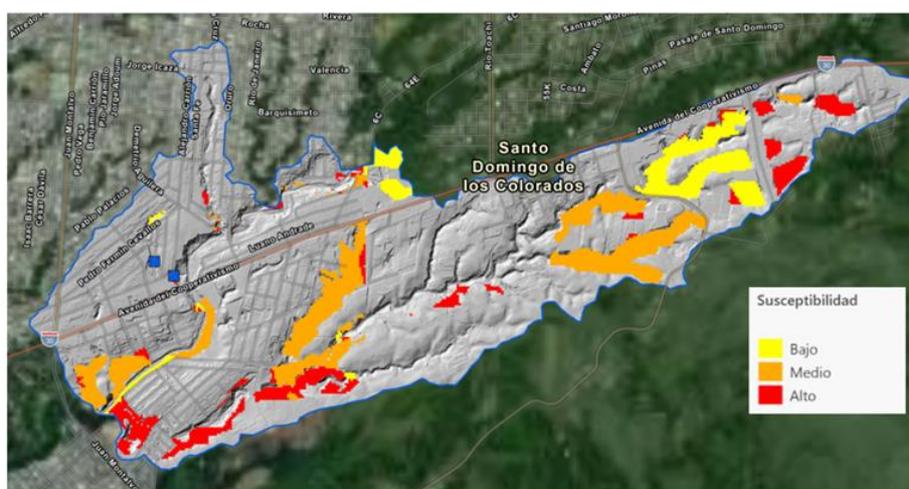


Fuente: Datos proporcionados por el GAD Municipal de Santo Domingo; IGM 2023
Elaboración: Económica CIC. 2023

Sector priorizado 9, Río Verde 2

- **Ubicación:** Sur de la ciudad; Cooperativas: Santa Martha, Ciudad Verde y 26 de Octubre; Plan de Vivienda Artesanal La Cadena.
- **Superficie de la UH:** 352 Has.

Figura 143 Unidad hidrográfica del río Verde 2

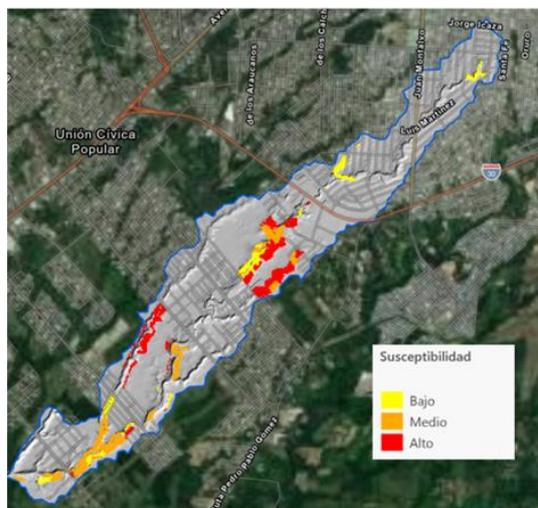


Fuente: Datos proporcionados por el GAD Municipal de Santo Domingo; IGM 2023
Elaboración: Económica CIC. 2023

Sector priorizado 10, Río Code 3

- **Ubicación:** Suroeste de la ciudad; Ciudadela del Chofer, Cooperativa Santa Martha, Urbanización Miraflores.
- **Superficie de la UH:** 237 Has.

Figura 144 Unidad hidrográfica del río Code 3

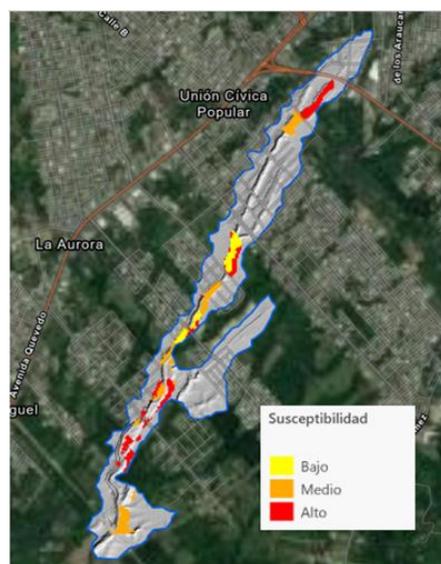


Fuente: Datos proporcionados por el GAD Municipal de Santo Domingo; IGM 2023
Elaboración: Económica CIC. 2023

Sector priorizado 11, Río Code 4

- **Ubicación:** Extremo suroeste de la ciudad; Urbanización Girasoles, Cooperativas: Patria Nueva, Unión Popular, Unión San Domínguez.
- **Superficie de la UH:** 105 Has.

Figura 145 Unidad hidrográfica del río Code 4

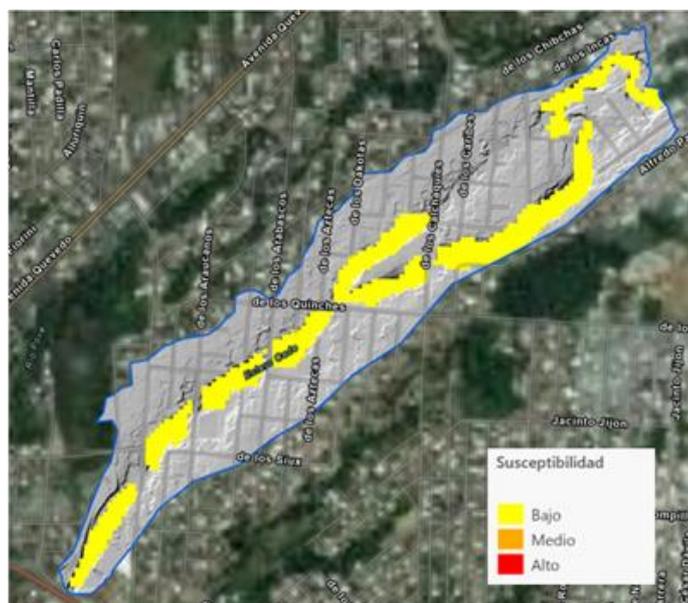


Fuente: Datos proporcionados por el GAD Municipal de Santo Domingo; IGM 2023
Elaboración: Económica CIC. 2023

Sector priorizado 12, Río Code 5

- **Ubicación:** Suroeste de la ciudad; Cooperativa Unidos Para El Pueblo Venceremos y Paquisha.
- **Superficie de la UH:** 49 Has.

Figura 146 Unidad hidrográfica del río Code 5



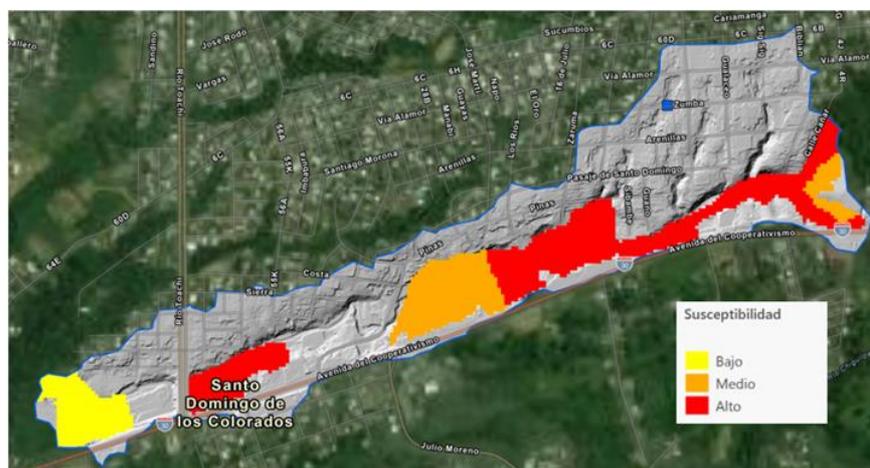
Fuente: Datos proporcionados por el GAD Municipal de Santo Domingo; IGM 2023

Elaboración: Económica CIC. 2023

Sector priorizado 13, Río Verde 3

- **Ubicación:** Se encuentra al sureste de la ciudad; lotización San Ignacio y urbanización la Cubera.
- **Superficie de la UH:** 89.19 Has.

Figura 147 Unidad hidrográfica del río Verde 5

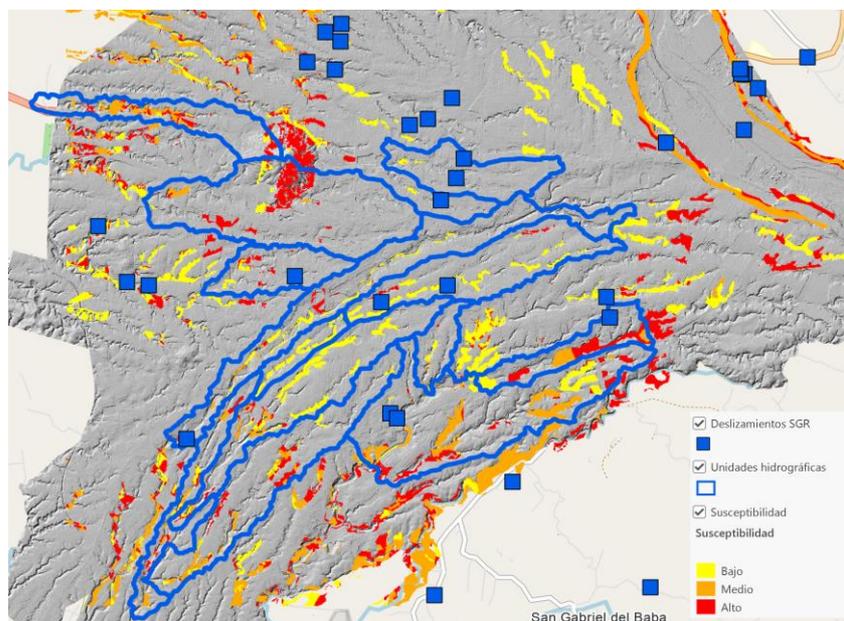


Fuente: Datos proporcionados por el GAD Municipal de Santo Domingo; IGM 2023

Elaboración: Económica CIC. 2023

En relación con los eventos registrados en la base de la secretaria de gestión de Riesgos entre los años 2010 al 2022, a nivel de ciudad han ocurrido 27 fenómenos relacionados con deslizamientos, de los cuales 16 afectado a viviendas y 5 se registran como viviendas destruidas. En la siguiente figura se exponen los eventos registrados en la SGR a nivel de ciudad y a nivel de unidad hidrográfica.

Figura 148 Eventos registrados por la SGR (Deslizamientos)



Fuente: Datos proporcionados por el GAD Municipal de Santo Domingo; IGM 2023

Elaboración: Económica CIC. 2023

4.7 Ciudad de Alluriquín.

4.8 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.

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 %²⁰

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 instruidos 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 (Google 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.

4.9 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

²⁰ Mapa morfo – pedológico de Santo Domingo, elaborado por Pronareg - Orstom, escala 200.000, año 1983.

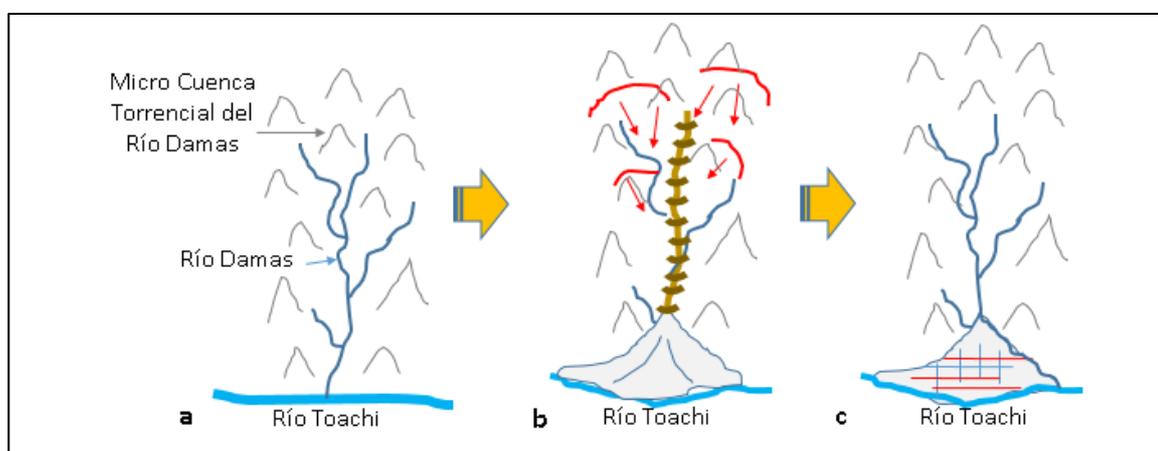
²¹ Mapa geológico de Machachi, escala 1:100.000, elaborado por la Dirección de Geología y Minas, año 1978.

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.

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 cuenta 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 149 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

4.10 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 antes 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.

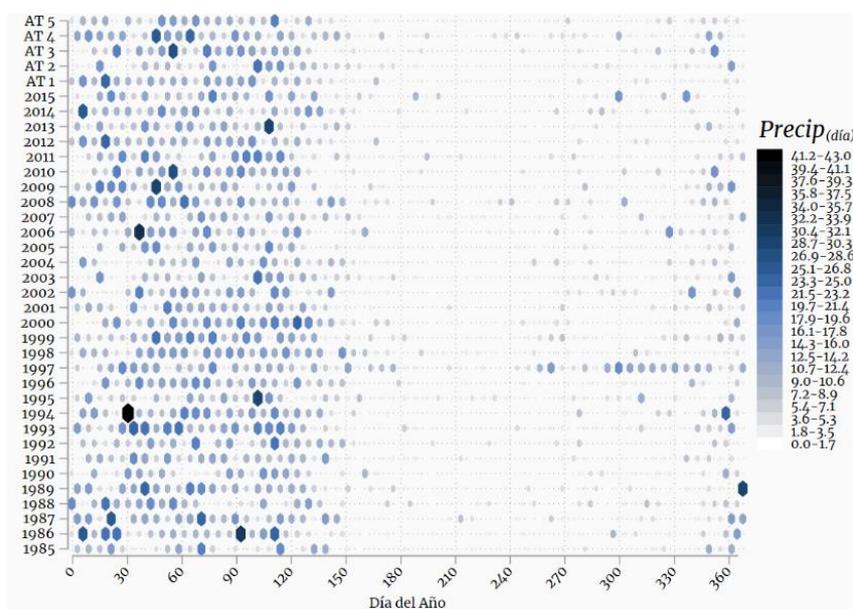
El 11 de febrero de 2021, se produjo fuerte lluvias en la parroquia de Alluriquín. Una vez más, la parroquia rural de Alluriquín en Santo Domingo de los Tsáchilas se

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.

4.11 Análisis de datos climáticos

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 150 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 periodo 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 91 Precipitación media por día (mm.) de los años tipo de Alluriquín.

	Media por día												Desvío Estándar											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Agos	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Agos	Sep	Oct	Nov	Dic
Alluriquín																								
AT1	15.08	10.29	11.38	11.44	5.56	3.20	0.95	0.65	0.44	2.11	3.34	2.26	13.16	7.60	9.34	11.44	6.21	6.02	1.40	1.48	1.14	4.82	3.95	2.90
AT2	6.09	8.13	6.66	13.11	7.05	4.09	0.91	0.49	1.44	3.15	2.03	5.53	10.41	5.85	10.71	12.21	4.45	5.40	1.94	0.92	2.56	5.51	2.64	8.87
AT3	8.44	14.99	12.95	12.95	4.77	2.04	1.83	0.72	1.67	1.86	3.02	6.38	8.93	14.55	10.08	10.34	6.12	4.29	2.47	1.30	2.53	3.47	6.51	11.87
AT4	13.27	12.42	13.98	10.82	8.28	2.86	2.26	3.62	3.30	4.31	1.28	6.13	10.40	10.19	11.83	6.99	9.45	4.46	3.18	6.24	4.36	6.59	2.67	9.77
AT5	8.29	11.43	12.14	9.52	6.15	1.11	1.08	0.23	2.34	0.70	2.83	5.10	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	10.23	11.45	11.42	11.57	6.36	2.66	1.41	1.14	1.84	2.42	2.50	5.08	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

4.12 Resultados Machien Learning

Este análisis está en proceso de realización, se entregará en la siguiente versión de la consultoría.

4.13 Modelo Hidrológico para el punto de entrada en el asentamiento de Alluriquín.

Introducción

El análisis llevado a cabo para el modelado hidrológico del río Toachi en las secciones previas de este documento destaca claramente las características de la cuenca, los caudales y las posibles afectaciones para los periodos de retorno analizados. Estos mismos valores podrían extrapolarse al tramo del río Toachi que atraviesa el poblado de Alluriquín, dado que las estaciones meteorológicas e hidrológicas evaluadas son las mismas. Al no contar con datos adicionales que nos permitan interpretar otros resultados, consideramos que los análisis de los caudales son comparables.

Como antecedente para analizar las posibles afectaciones del desbordamiento del río Toachi en el poblado de Alluriquín, se optó utilizar la información generada por la Secretaría de Gestión de Riesgos en el año 2016. En el documento denominado “Análisis de las inundaciones por desbordamiento de los ríos Toachi y Damas para los poblados ribereños en los sectores Alluriquín y Pizotanti, cantón Santo Domingo de los Colorados, provincia Santo Domingo de los Tsáchilas”, se realiza un análisis de lo ocurrido en la zona de estudio.

En el documento citado, se menciona que luego de las fuertes y constantes precipitaciones ocurridas durante los meses de abril y mayo del indicado año, que causaron verdaderos desastres en Alluriquín y sectores aledaños. El informe en mención, cuyo objetivo principal fue, identificar el área de inundación por desbordamiento de los citados ríos. De este documento se obtuvieron los datos referentes al poblado Alluriquín.

El informe detalla que la metodología utilizada, cumplió las siguientes actividades:

- ❖ Inspección de campo;
- ❖ Definición de los parámetros de modelación hidrodinámica;
- ❖ Encuestas a los pobladores ribereños sobre las alturas alcanzadas por el agua en diferentes tramos fluviales.
- ❖ Determinación de sitios de cálculo para la determinación de los parámetros climáticos y morfométricos.
- ❖ Estimación de caudales base y los caudales máximos para período de retorno de 100 años, calculados con diferentes metodologías y se fijaron los caudales de diseño.
- ❖ Se definió la estrategia de modelación realizando las simulaciones hidráulicas para establecer las cotas inundación para los sitios de estudio en el río Toachi.

Los resultados del estudio de la Hidrología superficial, que conducen a la obtención del caudal máximo (Q), para un período de retorno de 100 años, utilizando diferentes metodologías, se observa en la siguiente tabla.

Tabla 92 Caudales máximos calculados utilizando diferentes metodologías

Tramo	Caudal - Tr 100 años (m3/s)					
	INERHI	Temez	Envolvente Creager-USA	Envolvente España	Envolvente Panamá	Gráfico PerúQtr100=f(Ac)
Toachi-Alluriquín	662,4	254,5	8.366	3.040	1.876	550

Fuente: SGR, 2016

Elaborado: Económica CIC., 2023

Para la Modelación Hidráulica se tomaron los caudales máximos obtenidos para el Período de retorno de 100 años, según la metodología de Témez, por ser la más completa y actualizada conjuntamente con los caudales base, tomados de las mediciones en campo. Bajo esta consideración, se obtuvieron los caudales máximos de diseño para el citado Período de retorno, como se indica en la siguiente tabla.

Tabla 93 Caudales máximos de diseño para el período de retorno de 100 años

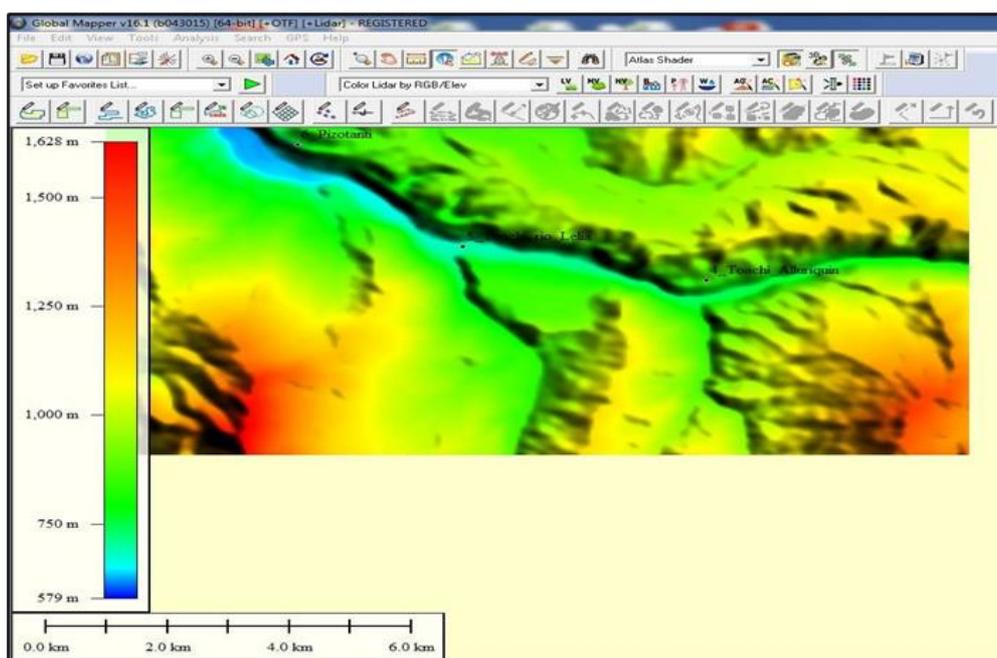
Río Toachi	Caudal dediseño (m3/s)
Toachi-Alluriquín	317.9

Fuente: SGR, 2016

Elaborado: Económica CIC., 2023

En cuanto al tema de Hidráulica Fluvial, las modelaciones hidrodinámicas, la SGR (2016), realizó en el río Toachi, a lo largo del tramo desde Alluriquín hasta Pizotanti, como se detalla en las siguientes figuras.

Figura 151 Modelo digital de elevación utilizada para las simulaciones hidráulicas

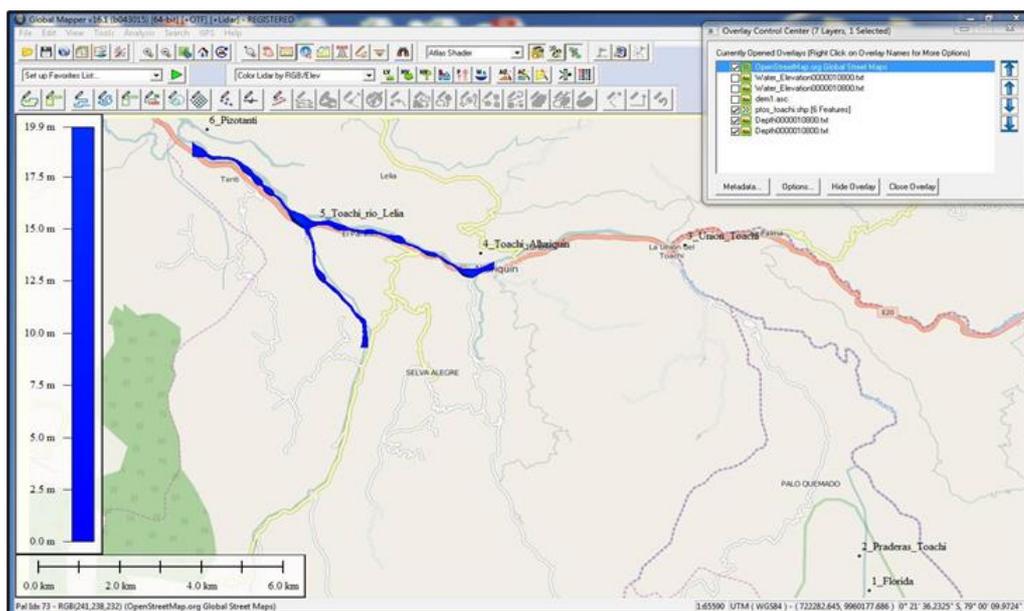


Nota: Modelo digital de elevación utilizada para las simulaciones hidráulicas en el poblado Alluriquín y el sector Pizotanti (DEM50m).

Fuente: SGR, 2016

Elaborado: Económica CIC., 2023

Figura 152 Áreas y cotas de inundación en el río Toachi

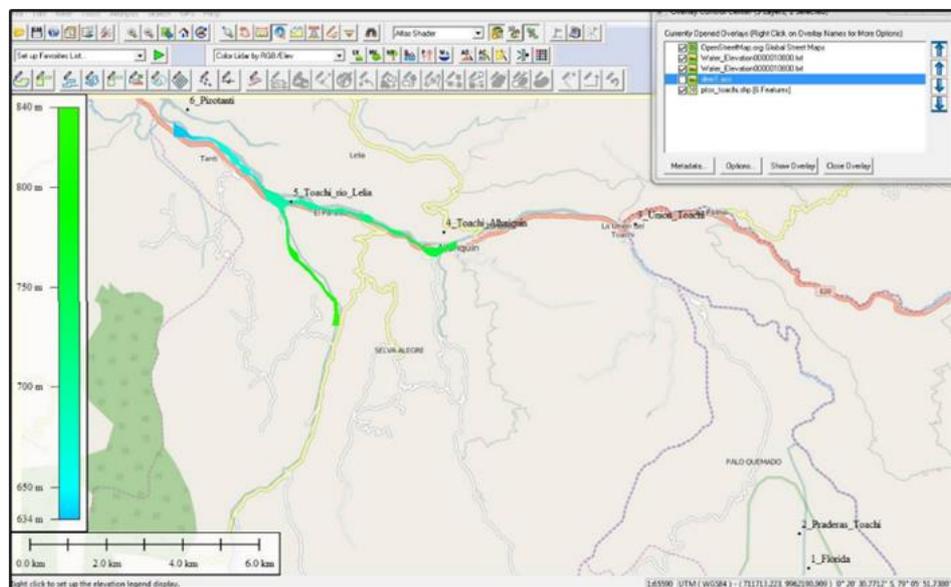


Nota: Áreas y cotas de inundación en el río Toachi, para el poblado Alluriquin y sector Pizotanti

Fuente: SGR, 2016

Elaborado: SGR, 2016

Figura 153 Áreas y profundidad de inundación en el río Toachi

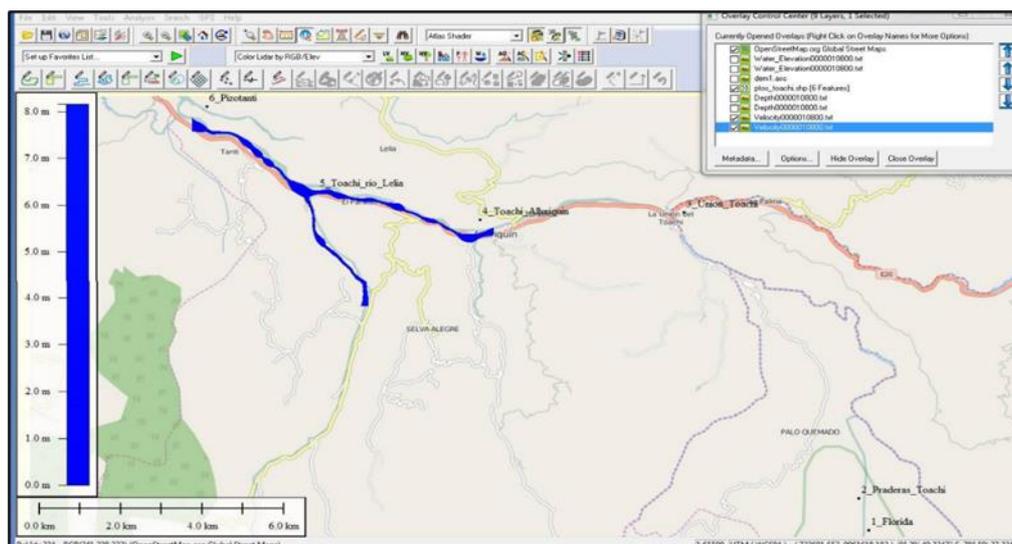


Nota: Áreas y profundidad de inundación en el río Toachi, para el poblado Alluriquin y sector Pizotanti.

Fuente: SGR, 2016

Elaborado: SGR, 2016

Figura 154 Áreas y velocidad del agua en el río Toachi.



Nota: Áreas y velocidad del agua en el río Toachi, para el poblado Alluriquín y sector Pizotanti.

Fuente: SGR, 2016

Elaborado: SGR, 2016

En la siguiente tabla, se presenta el resumen de las simulaciones hidrodinámicas que se efectuaron con el modelo bidimensional IBER, Versión 2.3 y un DEM50m.

Tabla 94 Parámetros obtenidos como resultado de las modelaciones hidrodinámicas.

Tramo	Parámetros			
	Cota máxima de inundación del agua (msnm)	Profundidad máxima alcanzada por el agua desde el fondo del río (m)	Velocidad máxima alcanzada por el agua (m/s)	Cotas del poblado (msnm)
Toachi- poblado Alluriquín	840	17.5	7.6	839.7

Fuente: SGR, 2016

Elaborado: Económica CIC., 2023

Como se puede observar en esta tabla, en el sector de Alluriquín, sitio de interés para este proyecto, la cota máxima de inundación es de 840 msnm., la profundidad máxima alcanzada por el agua desde el fondo del cauce del río Toachi es de 17,5 metros; la velocidad máxima alcanzada por el agua es de 7,6 m/s; y la cota del poblado de Alluriquín es de 899.1 msnm., aproximadamente.

Por otro lado, al no disponer de un modelo digital del terreno, con una buena resolución en el área del poblado Alluriquín y a efectos de conocer las áreas que potencialmente pueden ser afectadas por el desbordamiento del río Toachi, como se menciona anteriormente, se optó por utilizar la información generada por la Secretaría de Gestión de Riesgos en el año 2016.

Análisis de la Cuenca del Damas

La microcuenca del río Damas es parte de la Subcuenca del río Blanco y este parte de la cuenca del río Esmeraldas. Es una cuenca que drena directamente al cauce del río principal en este caso es el río Toachi.

Índice de compacidad: La tendencia a las crecidas en las microcuencas se produce por la acumulación de caudales picos en el punto de cierre de las microcuencas y otros sitios específicos dentro de la misma, que generalmente se presentan por lluvias de mediana y gran intensidad en la zona media y alta de la microcuenca, provocando que la parte baja concentre rápidamente los flujos, sin permitir tener un tiempo de respuesta ante este evento. No siempre se encuentra asociada la tendencia a las crecidas con la susceptibilidad a inundación por desbordamiento del cauce, pues mucho dependerá de la conformación de los taludes del cauce y el tipo de relieve que se presente en el sector.

De acuerdo con los análisis realizados en el proyecto de generación de geo información a nivel nacional, esta unidad hidrográfica de la microcuenca del río Damas, tiene un índice de compacidad entre 1 a 1,25; teniendo una forma de casi redonda a oval redonda y con ello, una tendencia a crecidas con categoría de Alta.

Para el caso de las características fisiográficas de la microcuenca del río Damas se puede observar en la siguiente tabla.

Tabla 95 Características fisiográficas de la microcuenca del río Damas

Cota min (msnm)	Cota máx (msnm)	Área (km²)	P (km)	Lcp (km)	Kc	Kf	Dd	Sc (%)	Sm (%)
760	2120	56	32	17	1.25	0.1	0.91	60	50

Fuente: INAMHI (varios años)

Elaboración: Económica CIC 2023

Simbología:

Cota min: Valor de elevación mínimo de la cuenca hidrográfica (msnm)

Cota máx: Valor de elevación máximo de la cuenca hidrográfica (msnm)

P: Perímetro de la cuenca hidrográfica (km)

Lcp: Longitud del cauce principal (km)

Kc: Coeficiente de compacidad

Kf: Coeficiente de forma

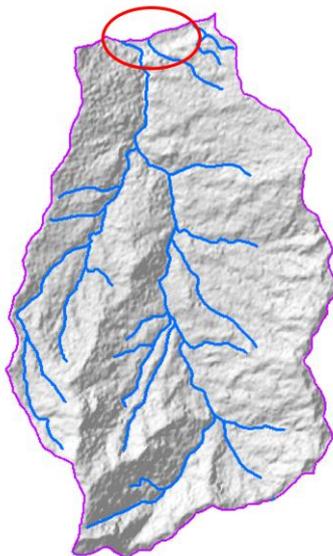
Dd: Densidad de drenaje (km/km²)

Sc: Pendiente media de la cuenca (%)

Sm: Pendiente media del cauce principal (%)

En la siguiente figura, se observa un esquema de la cuenca hidrográfica del río Damas hasta la unión con el río Toachi, en el poblado de Alluriquín.

Figura 155 Microcuenca del río Damas

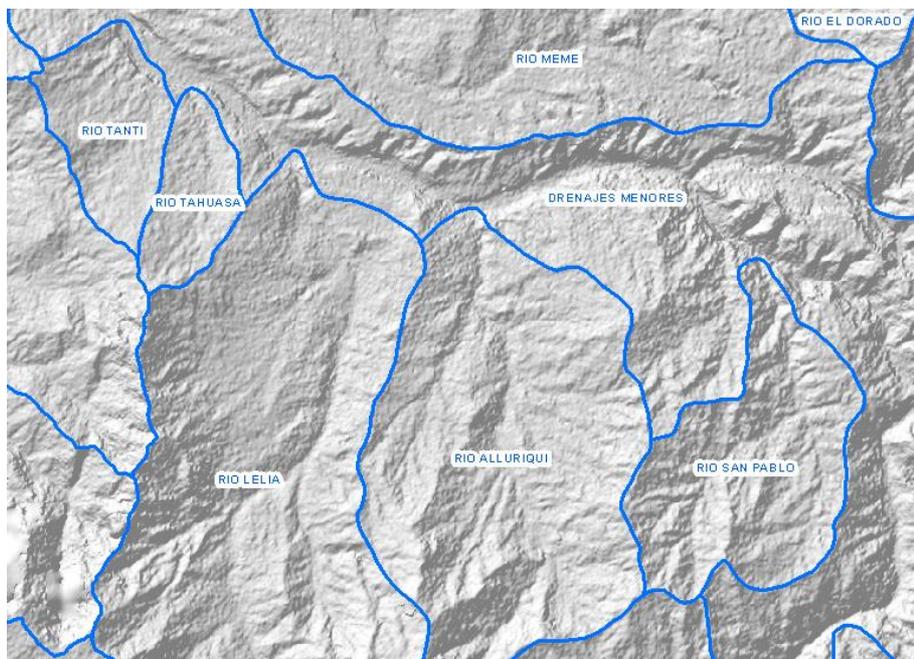


Fuente: Mapa base IGM 2023. MAATE 2023. Raster Alos Palsar 2023.

Elaboración: Económica CIC 2023.

Sistema hidrográfico del río Damas (en el grafico Alluriquín), en relación con el río Toachi (grafico drenajes menores)

Figura 156 Sistema hidrográfico del río Damas



Fuente: Mapa base IGM 2023. MAATE 2023. Raster Alos Palsar 2023.

Elaboración: Económica CIC 2023.

4.14 Conclusiones y recomendaciones

Ciudad de Santo Domingo

- ❖ La historia reciente nos enseña que las súbitas crecidas del río Toachi han causado serios impactos en la población, viviendas y medios de vida, asentados en las terrazas fluviales del indicado río.
- ❖ Con base en lo expuesto, se recomienda revisar la ordenación de estos espacios urbanos susceptibles a inundaciones por desbordamiento y erosión de las orillas del cauce del río Toachi. Esto sustentado en que, los caudales de este río provienen de las cuencas medias y altas de los ríos Toachi y Pilatón, en las cuales la degradación de los recursos naturales es muy importante, principalmente la sobre utilización del recurso suelo que aumenta significativamente la escorrentía, erosión y transporte de materiales.
- ❖ De acuerdo a los resultados del estudio hidrológico de la cuenca del río Toachi y las crecidas de este río a lo largo del cauce en el área de influencia de las terrazas fluviales donde se encuentra una parte de la ciudad en constante crecimiento.
- ❖ Con base a lo detallado y como se mencionó anteriormente, se recomienda tomar en cuenta estas potenciales crecidas que generarían desbordamientos y efectos negativos en la parte urbana, asentada sobre las terrazas fluviales.
- ❖ Las urbanizaciones o espacios construidos sin ningún tipo de permisos, ocasiona incrementar las vulnerables a inundaciones por desbordamientos.
- ❖ Al interior de la ciudad, las gargantas, cerros testigo y escarpes del cono de esparcimiento, son elementos geomorfológicos que se han sido integrados al desarrollo de la ciudad, los mismos que presentan diferente grado de susceptibilidad a deslizamientos, como puede observarse en la cartografía correspondiente.
- ❖ Lo mencionado permite recomendar lo siguiente: mantener la cobertura arbórea y arbustiva que actualmente se halla sobre los relieves indicados; para el caso específico de las gargantas recuperar la cobertura vegetal principalmente en espacios vacíos con el fin de disminuir la susceptibilidad a deslizamientos, por el efecto que producen las raíces en los suelos y por la evapotranspiración que regula la humedad en los mismos; para el caso del cerro Bombolí, se recomienda revertir la cobertura de pastizales a vegetación arbórea en lo posible con especies endémicas, esto, considerando que la cobertura de pastizales incide directamente en una mayor infiltración de aguas de lluvia y escorrentía, aumentando la susceptibilidad a deslizamientos que pueden transformarse en deslaves y

aluviones que afectarían directamente a los barrios ubicados al pie de este cerro.

- ❖ Durante el desarrollo del informe siempre se mencionó de la influencia del sellado de los suelos y posterior impermeabilización, que no permite la infiltración de las aguas pluviales, generándose inundaciones por anegamiento en sitios específicos de la ciudad (temporales por supuesto), y su posterior escurrimiento hacia el sistema de alcantarillado o directamente hacia los drenajes naturales, donde por lo general se producen represamientos.
- ❖ Si bien este fenómeno tiene una mayor incidencia en los interfluvios de la sub cuenca del río Daule (más amplios), en comparación con los interfluvios de la sub cuenca del río Vinces que son más cortos, se recomienda un mantenimiento permanente del sistema de alcantarillado, así como también, una limpieza permanente del cauce de los ríos y esteros, con el fin de evitar taponamientos en los ductos que se encuentran bajo las calles y avenidas.

4.15 Bibliografía

- Boden, M. A. (2018, 08). Index. En Artificial Intelligence: A Very Short Introduction. Oxford University Press. doi: 10.1093/actrade/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>
- 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=tVIjmNS3Ob8C>
- HEC-HMS. Tutorials and Guides: que se puede encontrar en el siguiente link <https://www.hec.usace.army.mil/confluence/hmsdocs/hmsguides>
- IIGE. (varios años) Mapas geológicos escala 1.100000, de Quito, Machachi, Las Delicias y Santo Domingo.
- INAMHI, (2015). Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. Determinación de ecuaciones para el cálculo de intensidades máximas de precipitación. Actualización del Estudio de Lluvias Intensas. Quito, 2015.
- Intriago. Cesar Sánchez Andrea. Manual Hidrológico de las cuencas hidrográficas de la vertiente del Pacífico-Norte. Proyecto previo a la obtención del título de Ingeniería Civil Quito, Julio 2013.

- 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.
- MAGAP. (2015). 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.
- MAGAP - IEE. (2012). Metodología para el proyecto Generación de Geoinformación para la Gestión del Territorio a Nivel Nacional. Componente Clima, Hidrología y Amenazas Hidrometeorológicas. Quito, Pichincha, Ecuador.
- Mora, S y Vahrson, W.& Mora, S. (1992) Determinación de la Amenazas de Deslizamientos sobre Grandes Áreas. Utilizando Indicadores Morfodinámicos.
- NDC. (2019). Primera contribución determinada a nivel nacional para el acuerdo de París bajo la convención marco de naciones unidas sobre cambio climático.
- Nouvelot J.F. y Pourrut P. 1984. El Niño, phénomène océanique et atmosphérique. Importance en 1982-1983 et impact sur le littoral équatorien. Cahier - ORSTOM, série Hydrologie, 21, 1, 39-65.
- 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>

SGR (2016). subsecretaría de gestión de la información y análisis de riesgos / Dirección de análisis de riesgos. Informe n°. SGR-IASR-08-0073. Análisis de las inundaciones por desbordamiento de los ríos Toachi y Damas para los poblados ribereños en los sectores Alluriquín y Pizotanti, cantón santo domingo de los colorados, provincia Santo Domingo de los Tsáchilas.

Ojeda Fanny. (2017). Determinación Experimental del Balance Hídrico y Análisis de las relaciones Precipitación Escorrentia de la microcuenca del río Blanco – provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas. Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniera Ambiental, Quito, Julio 2017.

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

4.16 Anexos

Las coberturas geográficas se encuentran en las carpetas de los anexos del producto 2, a continuación, se presenta el link del acceso del Dropbox.

<https://www.dropbox.com/scl/fo/81mrexvcimhmsidtxjib/h?rlkey=ppxne92gq9681amlymf2038za&dl=0>

Anexos

Los datos se encuentran en un geodatabase denominado: Datos Santodomingo.gdb

Coberturas	Detalle		Fuente
RiosSantoDomingo14112023	Ríos utilizados en los análisis		Municipio
BasedeventosSGR	Base de eventos SGR 2010 -2022		Municipio
Curvassantodomingo14112023	Curvas de nivel utilizados en los análisis		Municipio
EdificiosViviendasSantoDomingo	Viviendas Catastro		Municipio
SitioscriticosGAD18122023	Sitios críticos		Municipio Pnuma
Inundaciones			
Microcuencas14112023	Unidades prioritarias	Hidrográficas	Económica CIC
Polígonos	Archivos shp, de las zonas con volúmenes		Económica CIC
Inundacionesporanegamiento18122023	Datos generados por la empresa Archivo final de Inundaciones por Anegamiento		Económica CIC
Deslizamientos			
Cuadrícula_10m_SusDeslizamientos	Datos generados por la empresa Archivo final de Deslizamientos SAATY		Económica CIC
Gargantas22112023	Datos generados por la empresa		Económica CIC

Observaciones al Producto 2.

Número	Entidad	Fecha	Observación	Comentario
1	PNUMA	16_01_2024	En la página 7, se menciona el proyecto CityAdapt y los países donde se está llevando a cabo, incluyendo Santo Domingo. No obstante, es necesario aclarar que el proyecto que se ejecuta en Santo Domingo es, de hecho, Nature4Cities, no CityAdapt.	De acuerdo con la observación, se retiró todo el párrafo de referencia. Se ajusto parra fo completo.
2	PNUMA	16_01_2024	En la sección 3.1.- Influencia del Fenómeno de El niño. La observación tiene relación con mejorar la redacción de esta sección.	De acuerdo. Se han realizado mejoras en la redacción, y se incorporó los datos y fuentes de los datos climáticos del producto 1.
3	PNUMA	16_01_2024	En la Sección 4 - Modelo Biofísico Hidrológico e Hidráulico, se sugiere reorganizar el orden de presentación del documento. Se propone comenzar con los análisis de las inundaciones por anegamiento, seguidos por los análisis de desbordamiento y, posteriormente, abordar los análisis de deslizamientos antes de entrar en los detalles de los modelos biofísicos.	De acuerdo, se ajustó de acuerdo con la sugerencia.
4	PNUMA	16_01_2024	En la sección de resultados del modelo hidráulico Hec Ras, se sugiere mejorar la redacción. Además, se observa que, en los mapas de resultados finales, los polígonos están separados por secciones en lugar de presentarse de forma continua.	Entendemos la observación realizada. Sin embargo, es importante señalar que este producto está vinculado a los resultados de los modelos biofísicos preliminares, diseñados para revisión y ajustes. Por lo tanto, sugerimos que en el Producto 3, que corresponde a los resultados finales, se realice la entrega de acuerdo con las sugerencias propuestas.
5	PNUMA	16_01_2024	En la sección de las inundaciones por anegamiento, específicamente en la parte de los análisis de álgebra de mapas, se sugiere describir las características de las variables,	Durante la reunión, se señaló que el detalle de las variables y su importancia en el álgebra de mapas se encuentra en la introducción del capítulo,

			resaltando su importancia y rol en la susceptibilidad.	donde se describe de manera detallada.
6	PNUMA	16_01_2024	En la sección de los análisis de Alluriquín, la observación está relacionada con mejorar la redacción e incorporar mapas y descripciones detalladas en el Producto 1. Esto es crucial para comprender a fondo los análisis realizados.	De acuerdo, se ha realizado lo solicitado y se han incorporado las características de la cuenca hidrográfica del río Damas, así como la estimación de caudales y el cálculo de los índices de Duración y Frecuencia del río. Propuesta: Elaborar un nuevo documento que contenga un análisis detallado del riesgo climático en Alluriquín. Este enfoque permitirá una comprensión más completa y clara de los resultados obtenidos.
7	PNUMA	16_01_2024	Se ha realizado una revisión y mejora en la introducción del documento, incorporando los lineamientos establecidos por el MAATE en relación con las ejecuciones de los modelos biofísicos. Estos lineamientos están directamente vinculados con el Plan Nacional de Adaptación.	De acuerdo, se ha ajustado la introducción incorporando dos párrafos clave que reflejan los lineamientos del MAATE y del PNA (Plan Nacional de Adaptación).
8	PNUMA	16_01_2024	Falta el análisis del riesgo climático de la amenaza a deslizamientos de Santo Domingo y Alluriquín.	Los consultores han estado dedicados al desarrollo de esta actividad y ya disponemos de resultados preliminares. Sin embargo, consideramos que es posible optimizar aún más el modelo. La sugerencia es presentar un avance de los resultados antes de la entrega final del producto 3.