

Estudio Hidráulico y Análisis Climático

**Construcción de Galeras: A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, K, L, M, N, Filial 1, Filial 2,
Filial 3, Filial 4, Mantenimiento de Furgones, Servicios Generales 1, Servicios
Generales 2, y de Edificio de Oficinas de Administrativas dentro del Proyecto**

Parque Logístico CEDI GRUPO REY

Inmobiliaria Don Antonio

ESTUDIO HIDRÁULICO Y ANÁLISIS CLIMÁTICO:
PARQUE LOGÍSTICO CEDI GRUPO REY – RÍO CABRA

Contenido

Contenido.....	2
Índice de Ilustraciones	3
Índice de Tablas	6
1. Introducción	7
2. Localización Regional.....	7
3. Cuenca de Drenaje	8
4. Régimen Hidrológico.....	9
4.1 Precipitación	9
4.2 Precipitaciones Máximas Estimadas	12
4.3 Histogramas Sintéticos	12
5. Modelación Hidráulica – Condición Sin Proyecto.....	14
6. Modelación Hidráulica – Condición Con Proyecto	24
7. Cambio Climático – Año 2050	30
7.1 Riesgo y Vulnerabilidad por Cambio Climático Futuro	30
7.1.1 Análisis de Sensibilidad	34
7.1.2 Análisis de Exposición.....	35
7.1.2.1 Precipitación	36
7.1.2.2 Viento.....	38
7.1.2.3 Sismo.....	41
7.1.3 Análisis de Capacidad Adaptativa	44
7.1.4 Análisis de Identificación de Peligros o Amenazas	45
7.2 Vulnerabilidad por Factores Naturales en la Cuenca.....	49
7.3 Cambio Climático – Año 2070	54
8. Conclusiones.....	55
9. Bibliografía	56

ESTUDIO HIDRÁULICO Y ANÁLISIS CLIMÁTICO:
PARQUE LOGÍSTICO CEDI GRUPO REY – RÍO CABRA

Índice de Ilustraciones

Ilustración 1: Localización regional del área de estudio. Imagen de Openstreet Contributor.	7
Ilustración 2: Cuenca de drenaje generada en QGIS con información satelital y superpuesta sobre los mapas del Instituto Geográfico Nacional “Tommy Guardia” con escala 1:25000.	8
Ilustración 3: Precipitaciones diarias para la cuenca de estudio.	9
Ilustración 4: Precipitación acumulada anual en la cuenca de estudio.	10
Ilustración 5: Precipitación media mensual para la cuenca de estudio.	11
Ilustración 6: Eventos de precipitación mensual promedio estimados en la cuenca de estudio.	11
Ilustración 7: Análisis de probabilidad en término del periodo de retorno utilizando las funciones de Weibull (puntos azules) y Gumbel Valor Extremo Max (línea azul oscura).	12
Ilustración 8: Hietogramas sintéticos generados a partir de las curvas IDF de Panamá para diferentes periodos de retorno utilizando el método de bloques alternos simétrico.	13
Ilustración 9: Mapa de uso de suelo obtenido de Sentinel-2 10-Meter Land Use/Land Cover (ESRI).	15
Ilustración 10: Mapa de tipo de suelo hidrológico de Global Hydrologic Soil Groups (EARTHDATA)..	16
Ilustración 11: Hidrogramas generados a la entrada de la cuenca para diferentes periodos de retorno.....	19
Ilustración 12: Cuatro secciones transversales en condición sin proyecto del río Cabra en la zona colindante al proyecto.....	21
Ilustración 13: Desbordamiento del río Cabra hacia el polígono en condición sin proyecto. Datos de nivel de la superficie del agua en metros.	22
Ilustración 14: Mapas de escorrentía en condición sin proyecto con profundidades máximas generadas en el modelo hidráulico de HEC-RAS en función de la profundidad del agua. Izquierda: periodo de retorno de 50 años, derecha: periodo de retorno de 100 años.	23
Ilustración 15: Hidrogramas generados a la salida de la cuenca para diferentes periodos de retorno en condición con proyecto.	25
Ilustración 16: Cuatro secciones transversales en condición con proyecto del río Cabra en la zona colindante al proyecto.....	27
Ilustración 17: Cauce del río Cabra no inunda el polígono en condición con proyecto. Datos de nivel de la superficie del agua en metros.....	28

**ESTUDIO HIDRÁULICO Y ANÁLISIS CLIMÁTICO:
PARQUE LOGÍSTICO CEDI GRUPO REY – RÍO CABRA**

Ilustración 18: Mapas de escorrentía en condición con proyecto con profundidades máximas generadas en el modelo hidráulico de HEC-RAS en función de la profundidad del agua. Izquierda: periodo de retorno de 50 años, derecha: periodo de retorno de 100 años.....	29
Ilustración 19: Mapa de impacto de cambio climático en Panamá presentado por el Ministerio de Ambiente.	36
Ilustración 20: Modelaciones de cambio climático en Panamá para las regiones de Panamá, Panamá Oeste y Mandugandí. Digitalizado del documento Estrategia Nacional de Cambio Climático de la República de Panamá a través del Ministerio de Ambiente.....	37
Ilustración 21: Análisis estadístico con el programa Hydrognomon utilizando la data AgERA5 para el sitio de estudio. Eje vertical es velocidad media diaria (m/s) y eje horizontal es el periodo de retorno (años)..	40
Ilustración 22: Mapa de aceleración del máximo sismo considerado. Aceleración espectral de 1.0 segundo con 5% de amortiguamiento.	42
Ilustración 23: Epicentros soluciones del ISC en el Istmo de Panamá de 1960 a 2007 de magnitud mayor a 4 (Ho, Mojica, Toral, & Bernal).	43
Ilustración 24: Mapa de capacidad adaptativa al cambio climático presentado por el Ministerio de Ambiente.....	45
Ilustración 25: Hietogramas sintéticos incluyendo cambio climático.....	46
Ilustración 26: Mapas de escorrentía con profundidades máximas generadas en el modelo hidráulico de HEC-RAS en función de la profundidad del agua incluyendo escenario de cambio climático.....	47
Ilustración 27: Hidrogramas generados a la entrada del polígono del proyecto para diferentes periodos de retorno incluyendo escenario de cambio climático.....	48
Ilustración 28: Cauce del río Cabra no inunda el polígono en condición con proyecto con cambio climático. Datos de nivel de la superficie del agua en metros.	49
Ilustración 29: Mapa de índice de vulnerabilidad al cambio climático presentado por el Ministerio de Ambiente.....	50
Ilustración 30: Cuatro secciones transversales del río Cabra en la zona colindante con el proyecto con mayor potencial de inundación. Color rojo es el terreno natural, azul es nivel de agua en condición con proyecto y cambio climático para un periodo de retorno de 50 años y verde con proyecto y cambio climático para un periodo de retorno de 100 años.....	53

**ESTUDIO HIDRÁULICO Y ANÁLISIS CLIMÁTICO:
PARQUE LOGÍSTICO CEDI GRUPO REY – RÍO CABRA**

Ilustración 31: Precipitación acumulada anual. Tendencias de cambio climático de Panamá para la región Pacífico Oriental según el Ministerio de Ambiente, 2022 55

Índice de Tablas

Tabla 1: Precipitaciones estimadas con Gumbel Valor Extremo Max y con las curvas IDF para diferentes periodos de retorno.	14
Tabla 2: Valores de número de curva, abstracción inicial e infiltración mínima utilizadas en el modelo de HEC-RAS.	17
Tabla 3: Valores de coeficientes de Manning y porcentaje impermeable.....	18
Tabla 4: Variables importantes para la modelación de la condición sin proyecto.	24
Tabla 5: Parámetros importantes resultantes de la modelación de la condición con proyecto.	30
Tabla 6: Caracterización de probabilidad cualitativa según el Consell de Mallorca.	32
Tabla 7: Caracterización de consecuencia cualitativa según el Consell de Mallorca.	33
Tabla 8: Índice de riesgo cualitativo según el Consell de Mallorca.....	33
Tabla 9: Grados de capacidad adaptativa según el Consell de Mallorca.	34
Tabla 10: Matriz de sensibilidad del proyecto.	35
Tabla 11: Análisis de la variación de precipitación acumulada anual mediante inclusión de cambio climático según proyecciones a 2050.	38
Tabla 12: Matriz de riesgo para el proyecto según clasificación del Consell de Mallorca, 2018.	44
Tabla 13: Matriz de vulnerabilidad para el proyecto según clasificación del Consell de Mallorca, 2018..	50
Tabla 14: Parámetros importantes resultantes de la modelación de la condición con proyecto.	54

ESTUDIO HIDRÁULICO Y ANÁLISIS CLIMÁTICO: PARQUE LOGÍSTICO CEDI GRUPO REY – RÍO CABRA

1. Introducción

El presente informe corresponde a un estudio hidráulico para el análisis de inundación de una cuenca donde se localiza el proyecto “Construcción de Galeras: A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, K, L, M, N, Filial1, Filial 2, Filial 3, Filial 4, Mantenimiento de Furgones, Servicios Generales 1, Servicios Generales 2, y de Edificio de Oficinas de Administrativas dentro del Proyecto Parque Logístico CEDI GRUPO REY” en Pacora, Panamá. Se analizó la precipitación histórica de la zona, transformando la precipitación estimada en caudales esperados y se evaluó el potencial de inundación de la zona del proyecto. Adicionalmente, se incluyó una proyección de incremento en la precipitación debido a cambio climático y la respuesta de la cuenca ante ese posible escenario.

2. Localización Regional

El área de estudio se encuentra localizada en el corregimiento de Pacora, distrito de Panamá, provincia de Panamá, República de Panamá (Ilustración 1). Tiene coordenadas UTM 685000E y 1003050N, aproximadamente. Se encuentra a 4.5 km de la Carretera Panamericana.



Ilustración 1: Localización regional del área de estudio. Imagen de Openstreet Contributor.

ESTUDIO HIDRÁULICO Y ANÁLISIS CLIMÁTICO:
PARQUE LOGÍSTICO CEDI GRUPO REY – RÍO CABRA

3. Cuenca de Drenaje

Por medio del programa QGIS versión 3.28 se delimitó la cuenca hidrográfica del área de estudio. Se utilizó la información del modelo de elevación digital proveniente del Advanced Land Observation Satellite (ALOS) de la NASA y JAXA con una resolución de píxel de 12.5 x 12.5 metros. La parte más alta de la cuenca de drenaje tiene una elevación aproximada de 807 msnm. La cuenca de drenaje propuesta tiene un área aproximada de 38.1 km² y una pendiente media de 25 m/km. La red hídrica de la cuenca está la cuenca 144, compuesta por drenaje superficial de diferentes fuentes hídricas que se acumulan hacia el río Cabra el cual es de tipo permanente y desemboca en el Océano Pacífico con una longitud estimada de 25 km hasta que pasa por el proyecto.

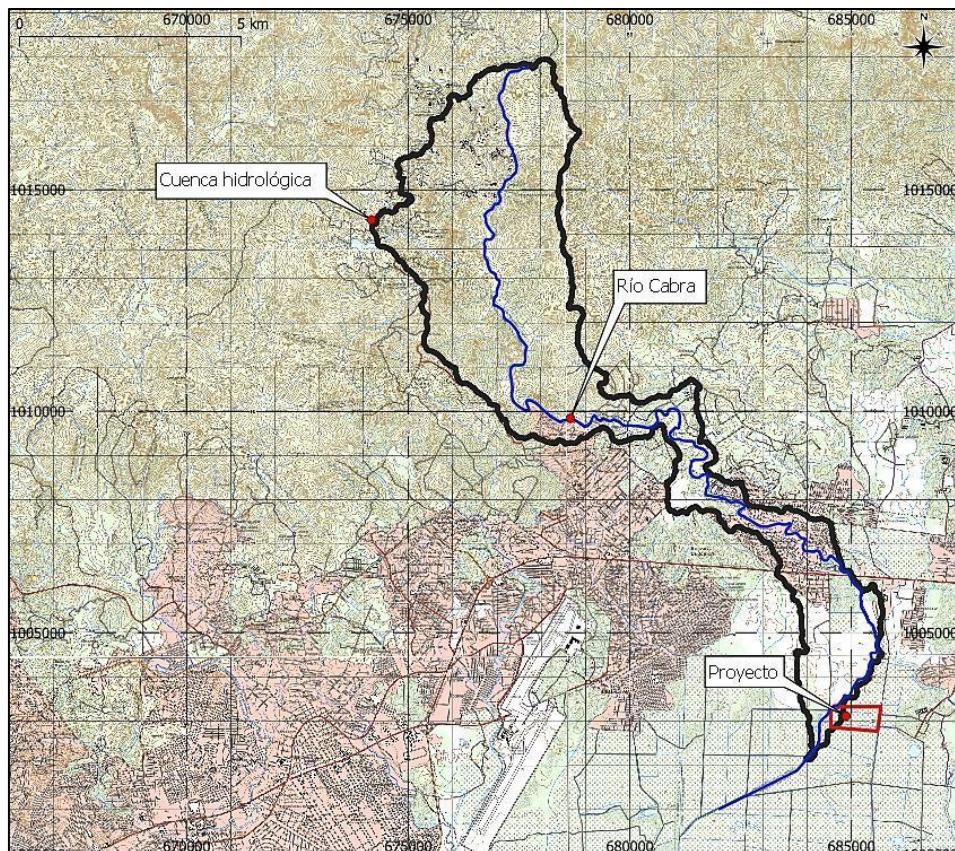


Ilustración 2: Cuenca de drenaje generada en QGIS con información satelital y superpuesta sobre los mapas del Instituto Geográfico Nacional "Tommy Guardia" con escala 1:25000.

ESTUDIO HIDRÁULICO Y ANÁLISIS CLIMÁTICO:
PARQUE LOGÍSTICO CEDI GRUPO REY – RÍO CABRA

4. Régimen Hidrológico

La información de precipitación diaria de la cuenca de estudio fue extraída del sitio web climateengine.org utilizando la data satelital ECMWF ERA5 referida como AgERA5 después de complejos preprocesamientos de información. Actualmente se tienen 45 años de información diaria registrada, entre los años 1979 y 2023, con lo cual se pueden estimar la precipitación máxima diaria, acumulada mensual y media anual. El análisis de las precipitaciones fue realizado en conjunto con distribuciones Weibull y Gumbel Valor Extremo Max. Adicionalmente se utilizó un promedio de las curvas IDF aprobadas para las cuencas del río entre Caimito y Juan Díaz y la cuenca del río Pacora para generar los hietogramas de las simulaciones.

4.1 Precipitación

La información registrada por el climate engine muestra la variabilidad de las precipitaciones diarias en la cuenca de estudio. La información cuenta con 16432 registros diarios los cuales fueron procesados con una hoja electrónica para extraer la precipitación máxima diaria, la media mensual, media anual y eventos de precipitación mensual promedio.

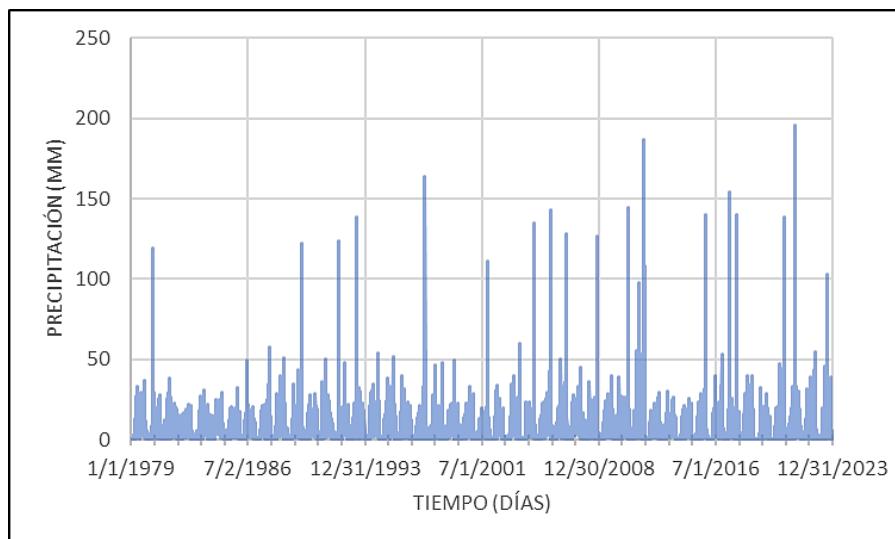


Ilustración 3: Precipitaciones diarias para la cuenca de estudio.

ESTUDIO HIDRÁULICO Y ANÁLISIS CLIMÁTICO: PARQUE LOGÍSTICO CEDI GRUPO REY – RÍO CABRA

La precipitación diaria máxima registrada es de 196 mm (Ilustración 3). La precipitación acumulada media anual es de 2186 mm, variando entre los 1786 mm y 2763 mm. Se puede observar que la precipitación acumulada anual es bastante constante (Ilustración 4). La precipitación acumulada mensual observada varía principalmente entre 100 mm y 550 mm para los meses de mayo a diciembre, en donde los meses de mayo a noviembre se registra la mayor acumulación mensual de precipitación (Ilustración 5). Para los meses de diciembre a abril se registran los meses de menor precipitación, con valores menores a los 100 mm, siendo febrero el mes de menor precipitación. Se puede observar también las precipitaciones mensual promedios (Ilustración 6) las cuales tienen una ocurrencia de 27 días aproximadamente durante los meses de mayo a octubre y en promedio menos de 9 eventos por mes entre diciembre y abril.

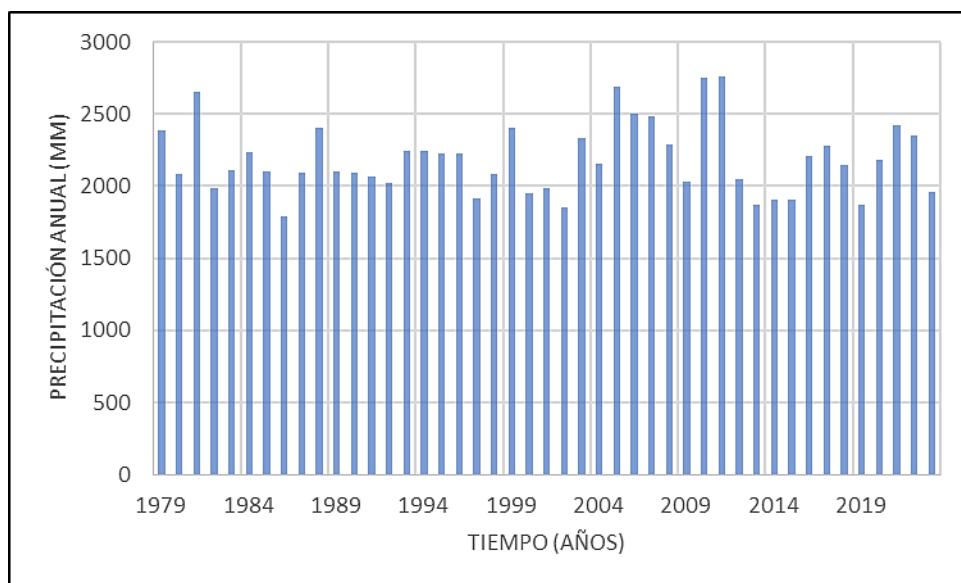


Ilustración 4: Precipitación acumulada anual en la cuenca de estudio.

ESTUDIO HIDRÁULICO Y ANÁLISIS CLIMÁTICO:
PARQUE LOGÍSTICO CEDI GRUPO REY – RÍO CABRA

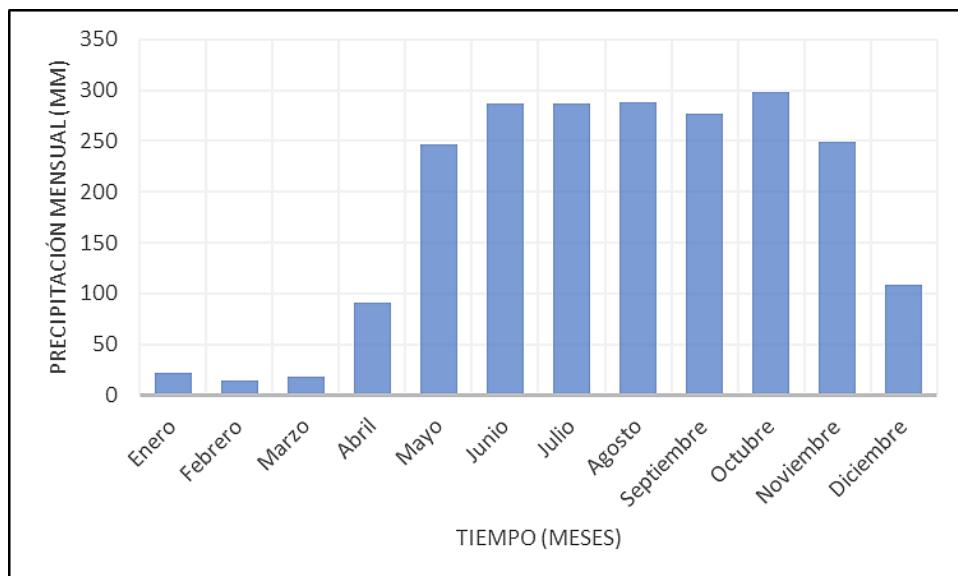


Ilustración 5: Precipitación media mensual para la cuenca de estudio.

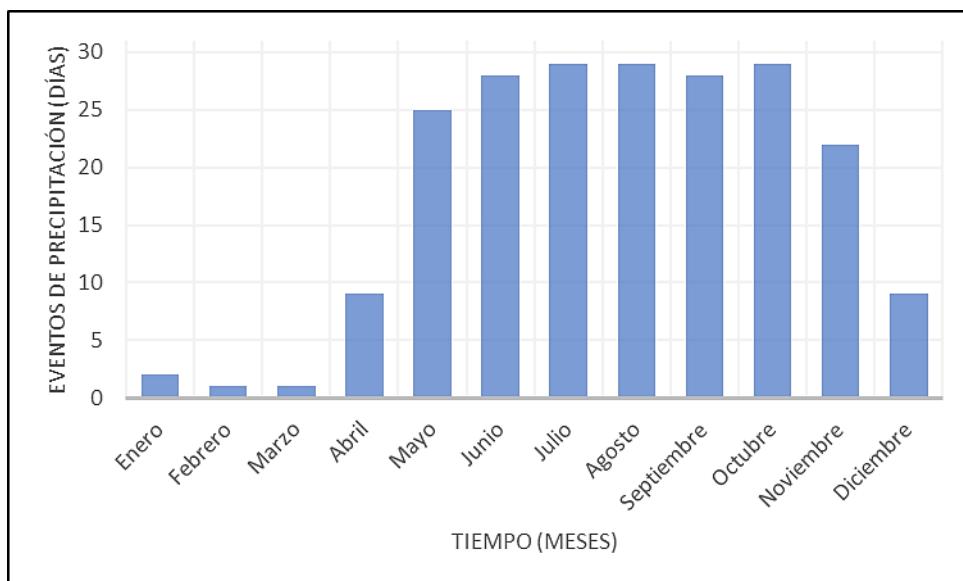


Ilustración 6: Eventos de precipitación mensual promedio estimados en la cuenca de estudio.

ESTUDIO HIDRÁULICO Y ANÁLISIS CLIMÁTICO: PARQUE LOGÍSTICO CEDI GRUPO REY – RÍO CABRA

4.2 Precipitaciones Máximas Estimadas

Las precipitaciones máximas estimadas son basadas en los registros AgERA5. Se capturaron las máximas precipitaciones anuales registradas en la cuenca, se utilizó la distribución de Weibull y la de Gumbel Valor Extremo Max (Ilustración 7) con valor de corrección 1.57 para lluvias extremas (Chen, Collet, & Di Luca, 2024) para estimar las precipitaciones esperadas con períodos de retorno de 10, 20, 50 y 100 años. Los resultados indican que la precipitación registrada en julio de 2021 ($P= 196$ mm) fue un evento extremo con periodo de retorno estimado cercano a 35 años.

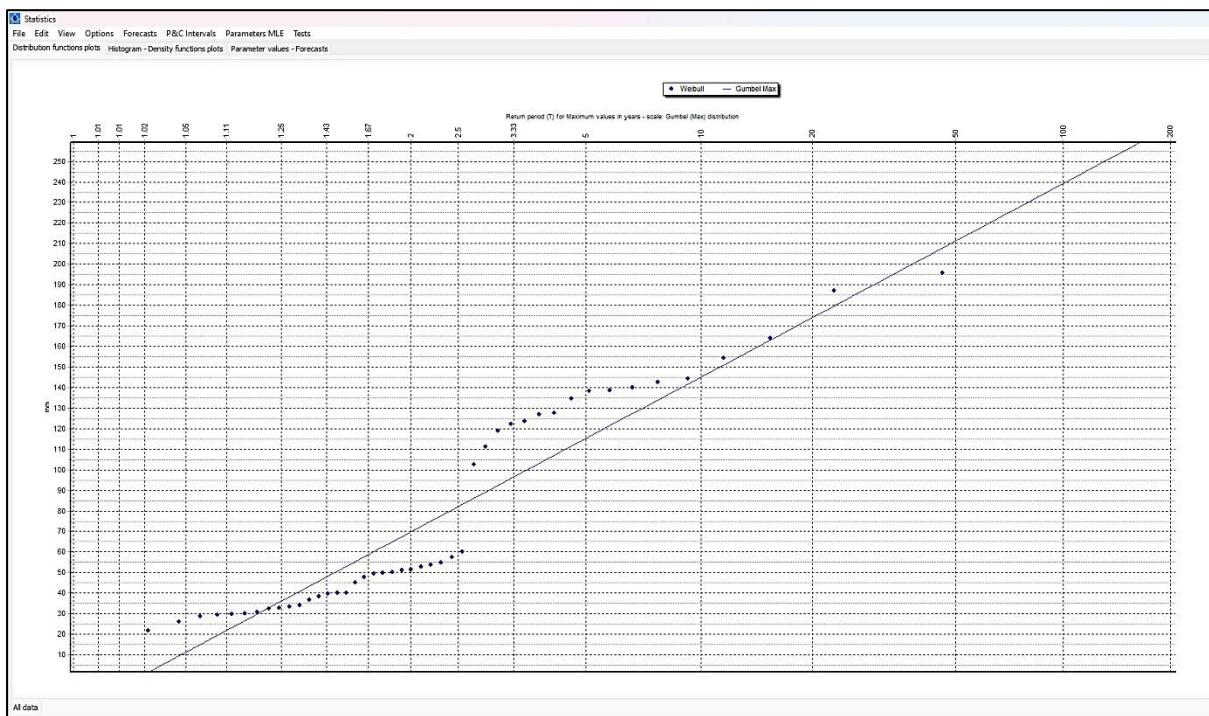


Ilustración 7: Análisis de probabilidad en término del periodo de retorno utilizando las funciones de Weibull (puntos azules) y Gumbel Valor Extremo Max (línea azul oscura).

4.3 Hietogramas Sintéticos

La red de drenaje de la cuenca está compuesta principalmente por el río Cabra. Se realizan diversas modelaciones hidráulicas para estimar los diferentes caudales de descarga de la cuenca de estudio. Los hietogramas sintéticos producen condiciones realistas de la cuenca para estimar su nivel de escorrentía. Las

ESTUDIO HIDRÁULICO Y ANÁLISIS CLIMÁTICO: PARQUE LOGÍSTICO CEDI GRUPO REY – RÍO CABRA

tormentas de diseño provienen de las curvas de intensidad-duración-frecuencia (IDF) del Ministerio de Obras Públicas (MOP) publicado en Gaceta Oficial N° 29308-B para las cuencas del río entre Caimito y Juan Díaz (cuenca 142) y la cuenca del río Pacora (cuenca 146) para generar los hietogramas de las simulaciones. Utilizando el método de bloques alternos simétricos con un promedio de las dos cuencas tal como lo establece la reglamentación, se obtienen los hietogramas sintéticos para los períodos de retorno de 10, 20, 50 y 100 años (Ilustración 8). Los resultados de las precipitaciones acumuladas calculadas con las curvas IDF son similares a las estimadas utilizando la función de probabilidad del Gumbel Valor Extremo Max (Tabla 1) por lo cual se utilizan los hietogramas producidos por las curvas IDF para generar las máximas inundaciones esperadas en la zona del proyecto.

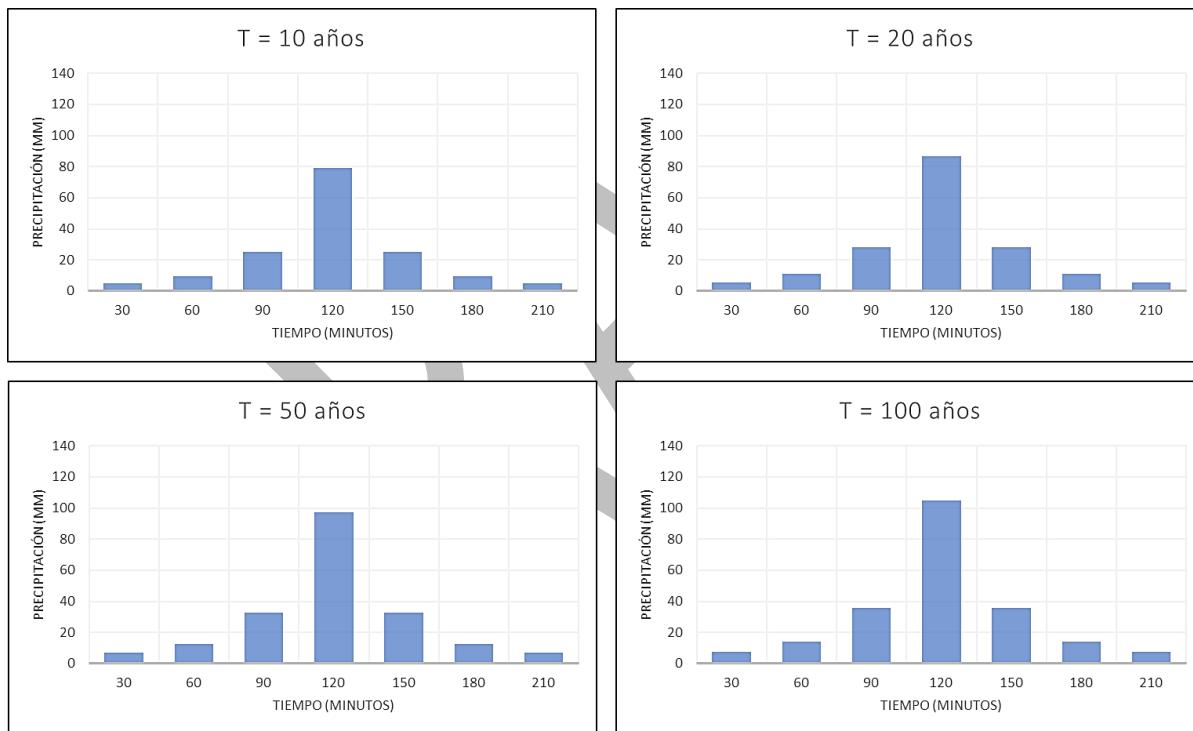


Ilustración 8: Hietogramas sintéticos generados a partir de las curvas IDF de Panamá para diferentes períodos de retorno utilizando el método de bloques alternos simétrico.

**ESTUDIO HIDRÁULICO Y ANÁLISIS CLIMÁTICO:
PARQUE LOGÍSTICO CEDI GRUPO REY – RÍO CABRA**

Tabla 1: Precipitaciones estimadas con Gumbel Valor Extremo Max y con las curvas IDF para diferentes períodos de retorno.

Período de retorno (años)	Método Gumbel Valor Extremo Max – máximo diario por evento (mm)	IDF por bloques alternos promedio – intensidad máxima en 30 minutos (mm)	IDF por bloques alternos promedio – acumulado por evento (mm)
10	149	80	157
20	169	87	176
50	194	97	201
100	211	105	220

5. Modelación Hidráulica – Condición Sin Proyecto

La modelación hidráulica se realizó en el programa Hydrologic Engineering Center's (CEIWR-HEC) River Analysis System (HEC-RAS) del US Army Corps of Engineers. Se utilizó la solución de ecuación de onda difusiva (diffusion wave) con un número de Courant restringido entre 0.4-1.0. Con el programa se estimaron los caudales máximos esperados y los mapas de escorrentía para los períodos de retorno de 50 y 100 años. Se generó un modelo en dos dimensiones con aproximadamente 32488 celdas de 250 m x 250 m con un refinamiento a lo largo del río Cabra de 10 m x 10 m en su ancho. La precipitación se aplicó uniforme espacialmente y la variación temporal está basada en los hietogramas sintéticos para una tormenta de 3 horas con incrementos de 30 minutos.

ESTUDIO HIDRÁULICO Y ANÁLISIS CLIMÁTICO:
PARQUE LOGÍSTICO CEDI GRUPO REY – RÍO CABRA

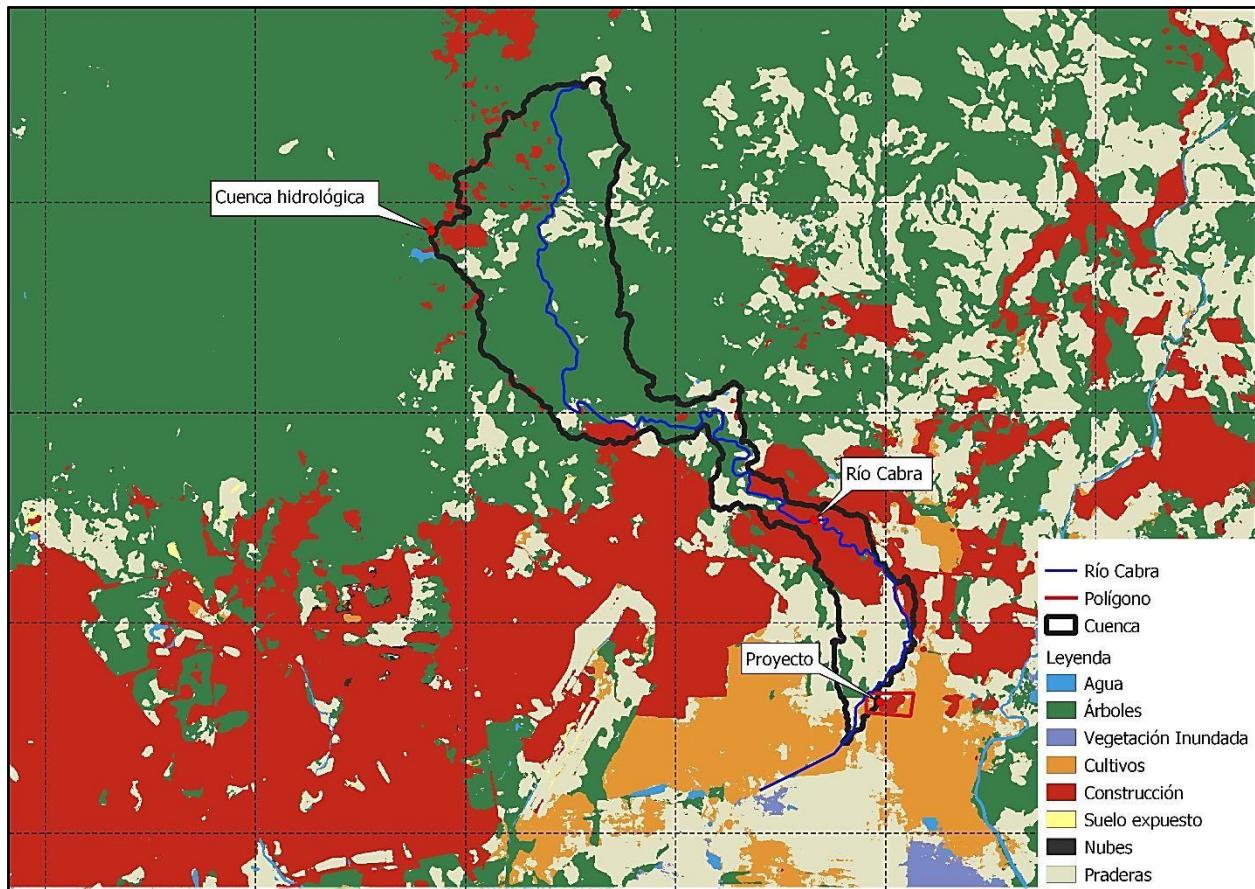


Ilustración 9: Mapa de uso de suelo obtenido de Sentinel-2 10-Meter Land Use/Land Cover (ESRI).

La estimación de tiempo de concentración se basó en la ecuación de Bransby Williams. El cálculo se presenta a continuación:

$$t_c = \frac{14.6 L}{A^{0.1} S^{0.2}} = \frac{14.6 \cdot (25)}{38.02^{0.1} \cdot 0.025^{0.2}}$$

$$t_c = 528.8 \text{ min} = 8.8 \text{ horas}$$

La estimación del tiempo de concentración resulta en un tiempo de concentración mayor a las 3 horas.

Dado que el tiempo de concentración es de 8.8 horas, se modela para una duración total de 9 horas.

ESTUDIO HIDRÁULICO Y ANÁLISIS CLIMÁTICO:
PARQUE LOGÍSTICO CEDI GRUPO REY – RÍO CABRA

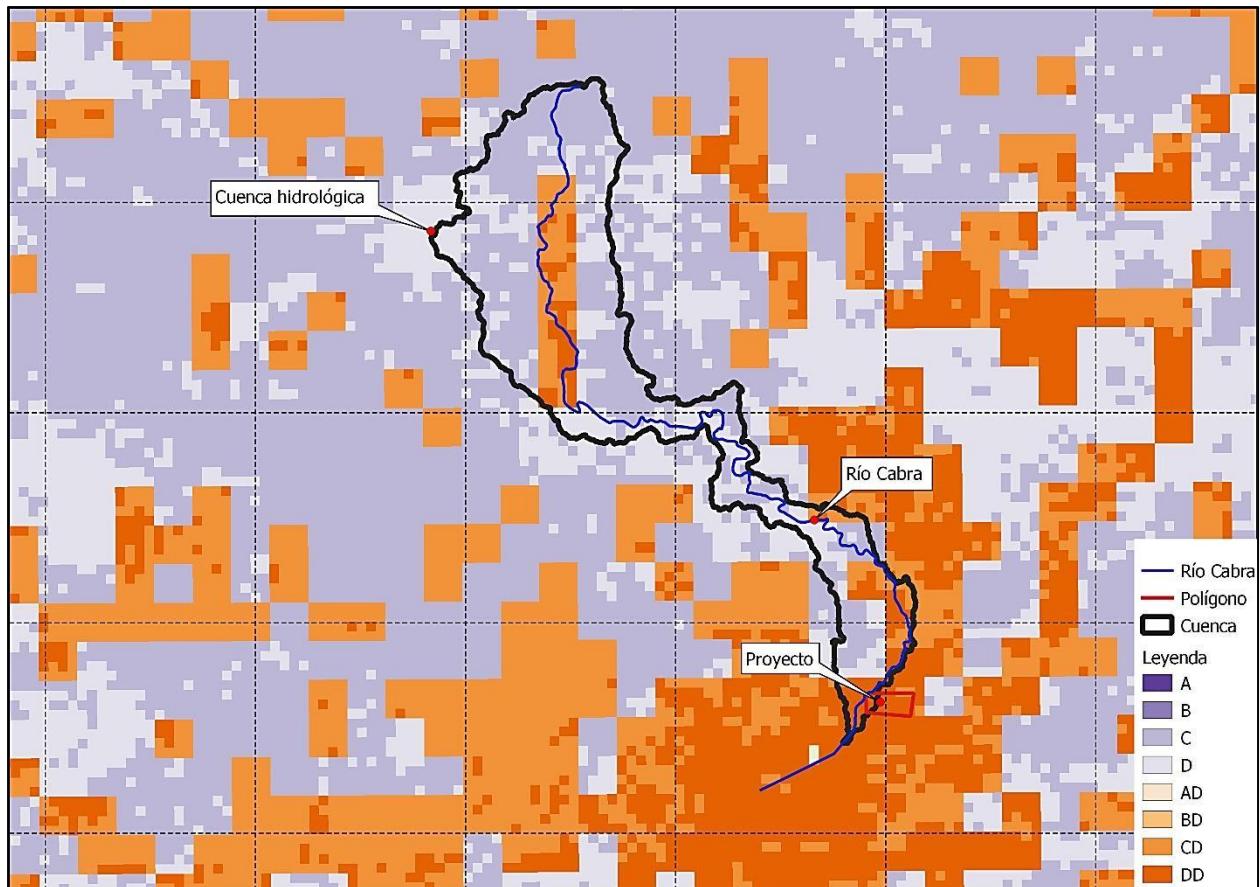


Ilustración 10: Mapa de tipo de suelo hidrológico de Global Hydrologic Soil Groups (EARTHDATA).

Por otra parte, la estimación de la razón de infiltración y el número de curva se utilizaron los mapas de uso de suelo Sentinel-2 10-Meter Land Use/Land Cover descargado del sitio web de ESRI (Ilustración 9) y el mapa de tipo de suelo hidrológico descargado del sitio web de EARTHDATA (Ilustración 10). Los valores utilizados por combinación de mapa se presentan en la Tabla 2 y Tabla 3.

ESTUDIO HIDRÁULICO Y ANÁLISIS CLIMÁTICO:
PARQUE LOGÍSTICO CEDI GRUPO REY – RÍO CABRA

Tabla 2: Valores de número de curva, abstracción inicial e infiltración mínima utilizadas en el modelo de HEC-RAS.

Tipo de suelo + Cobertura	CN	Ia	F
Pasture-Hay : NoData	84	0.1	3.3
Pasture-Hay : C	79	0.1	3.3
Pasture-Hay : CD	82	0.1	3.3
Pasture-Hay : DD	86	0.1	3.3
Pasture-Hay : D	94	0.1	3.3
Mixed Forest : NoData	79	0.2	3.3
Mixed Forest : C	73	0.2	3.3
Mixed Forest : CD	78	0.2	3.3
Mixed Forest : DD	83	0.2	3.3
Mixed Forest : D	79	0.2	3.3
Flooded-Area : NoData	90	0.2	3.3
Flooded-Area : C	85	0.2	3.3
Flooded-Area : CD	85	0.2	3.3
Flooded-Area : DD	90	0.2	3.3
Flooded-Area : D	90	0.2	3.3
Crops : NoData	90	0.2	3.3
Crops : C	85	0.2	3.3
Crops : CD	85	0.2	3.3
Crops : DD	90	0.2	3.3
Crops : D	90	0.2	3.3
Grassland-Herbaceous : NoData	78	0.1	3.3
Grassland-Herbaceous : C	71	0.1	3.3
Grassland-Herbaceous : CD	75	0.1	3.3
Grassland-Herbaceous : DD	82	0.1	3.3
Grassland-Herbaceous : D	78	0.1	3.3
Evergreen Forest : NoData	79	0.2	3.3
Evergreen Forest : C	73	0.2	3.3
Evergreen Forest : CD	78	0.2	3.3
Evergreen Forest : DD	84	0.2	3.3
Evergreen Forest : D	79	0.2	3.3
Developed - High Intensity : NoData	84	0.1	3.3
Developed - High Intensity : C	79	0.1	3.3
Developed - High Intensity : CD	79	0.1	3.3
Developed - High Intensity : DD	84	0.1	3.3
Developed - High Intensity : D	84	0.1	3.3
Main Channel: NoData	100	0	0
Main Channel : C	100	0	0
Main Channel : D	100	0	0
Main Channel : DD	100	0	0
Main Channel : CD	100	0	0

ESTUDIO HIDRÁULICO Y ANÁLISIS CLIMÁTICO:
PARQUE LOGÍSTICO CEDI GRUPO REY – RÍO CABRA

Tabla 3: Valores de coeficientes de Manning y porcentaje impermeable.

Clasificación	Manning N	Impermeabilidad (%)
NoData	0.035	0
Pasture-Hay	0.045	0
Mixed Forest	0.12	0
Grassland-Herbaceous	0.04	0
Evergreen Forest	0.15	0
Developed - High Intensity	0.15	60
Crops	0.05	0
Flooded-Area	0.07	100
Lecho Quebrada	0.04	100

La transformación de la precipitación en escorrentía se realizó utilizando un modelo 2D con precipitación uniforme de los hietogramas con el método SCS combinando los diferentes usos de suelo con el tipo de suelo hidrológico y diferentes números de curva basados en las combinaciones resultantes de estos dos mapas para describir la superficie de la cuenca de estudio con una tasa de infiltración mínima de 3.3 mm/hr. Se utilizó esta tasa de infiltración dado que los tipos de suelo hidrológicos encontrados en la zona tienen un componente importante de arcillas las cuales tienen las infiltraciones muy bajas. La buena práctica de la ingeniería y un modelo conservador sugieren el valor de infiltración utilizado. Se colocó una sección transversal en la entrada con lo cual se generó dos hidrogramas para los diferentes períodos de retorno (Ilustración 11), variando sus valores máximos de 307.8 m³/s para el periodo de retorno de 50 años hasta 313.7 m³/s para el periodo de retorno de 100 años.

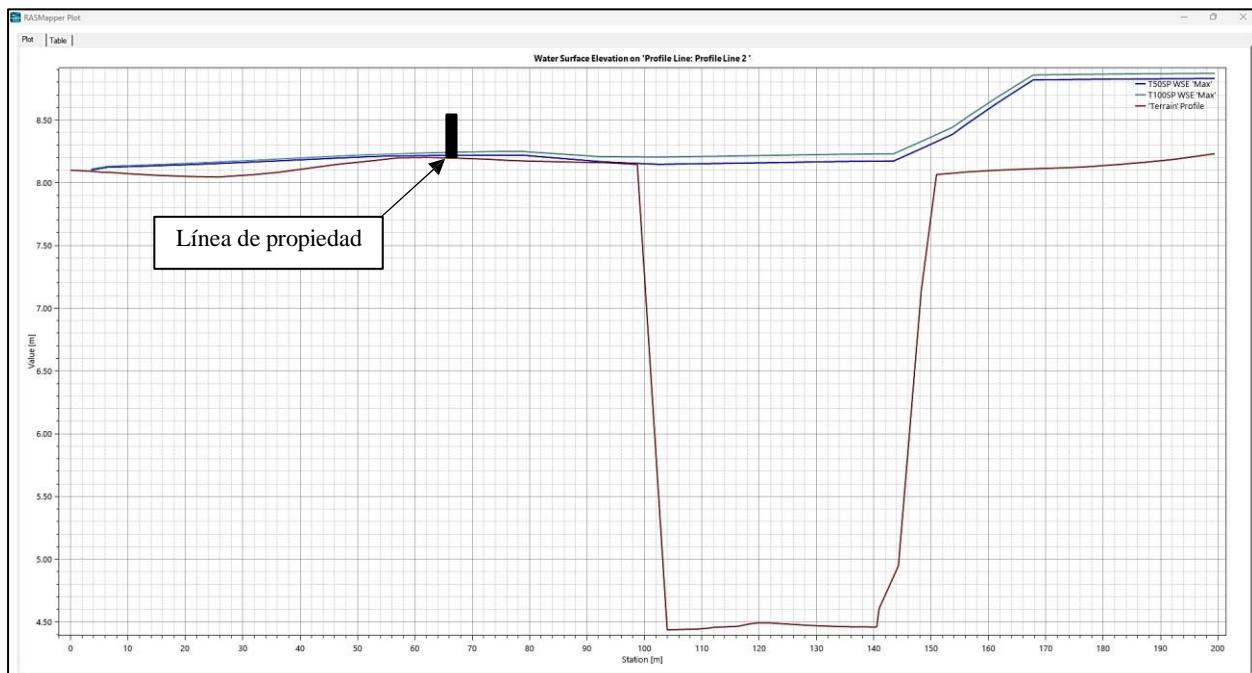
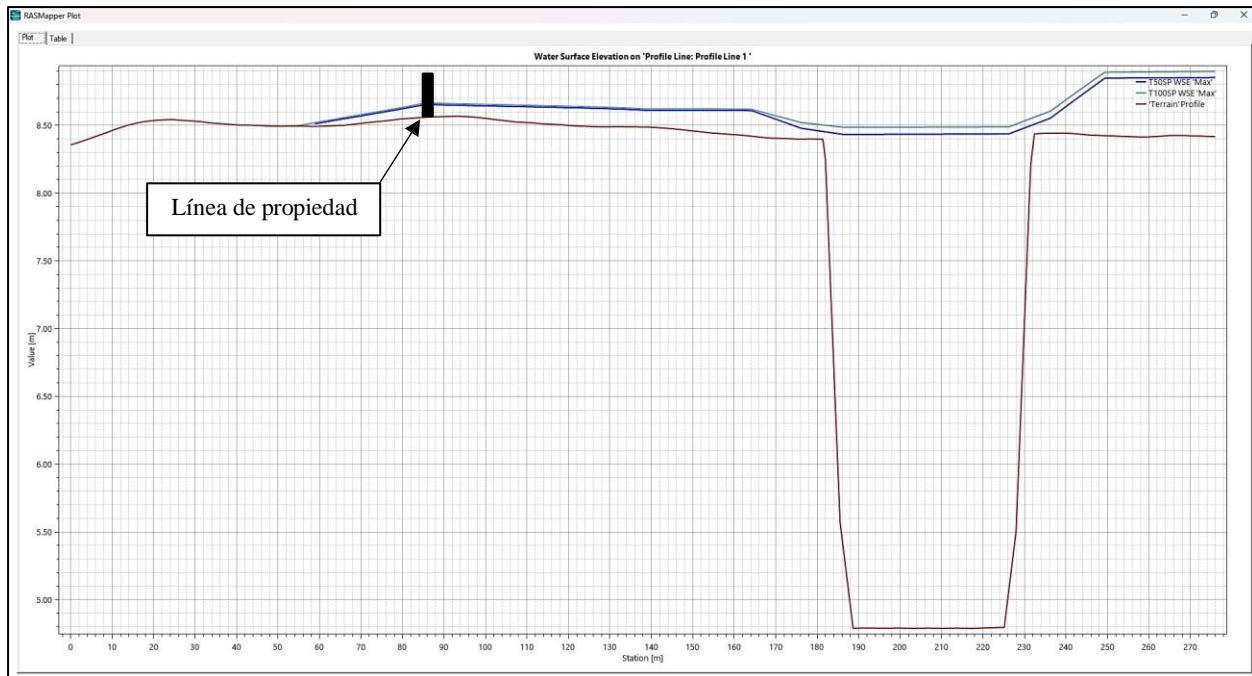
ESTUDIO HIDRÁULICO Y ANÁLISIS CLIMÁTICO: PARQUE LOGÍSTICO CEDI GRUPO REY – RÍO CABRA



Ilustración 11: Hidrogramas generados a la entrada de la cuenca para diferentes períodos de retorno.

El modelo hidráulico generó los mapas de escorrentía para la cuenca de estudio en condiciones sin proyecto. Los niveles registrados representan las profundidades del agua a lo largo de la red hídrica, comenzando por el flujo superficial de capa, continuando por el río Cabra hasta la zona próxima al proyecto. Se extrajeron 4 secciones transversales del río Cabra (Ilustración 12) cercana con los puntos del polígono con coordenadas 684739E 10033407N para el perfil 1, 684601E 1003336N para el perfil 2, 684496E 1003227N para el perfil 3 y 684423E 1003104N para el perfil 4.

ESTUDIO HIDRÁULICO Y ANÁLISIS CLIMÁTICO: PARQUE LOGÍSTICO CEDI GRUPO REY – RÍO CABRA



**ESTUDIO HIDRÁULICO Y ANÁLISIS CLIMÁTICO:
PARQUE LOGÍSTICO CEDI GRUPO REY – RÍO CABRA**

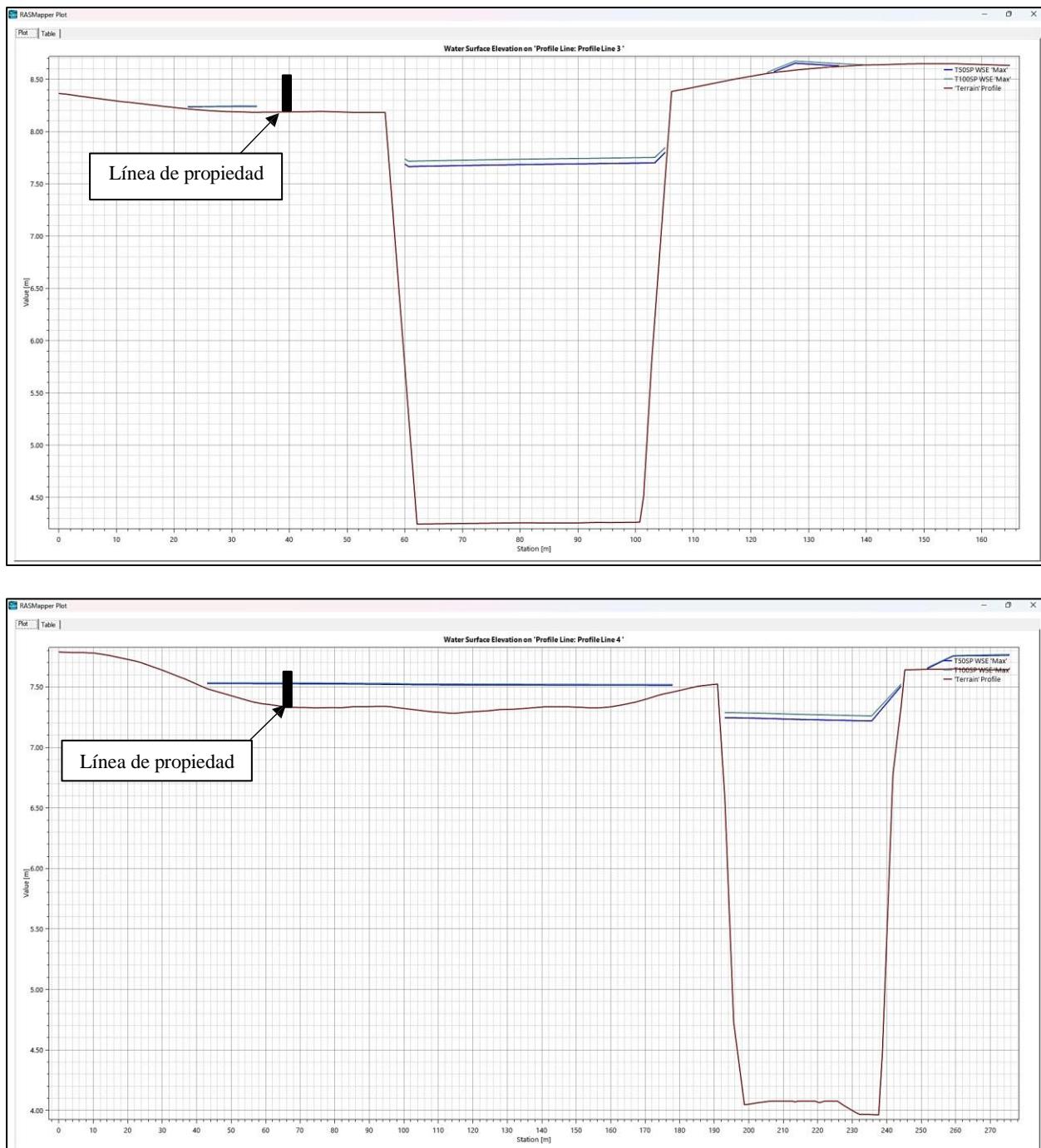


Ilustración 12: Cuatro secciones transversales en condición sin proyecto del río Cabra en la zona colindante al proyecto.

ESTUDIO HIDRÁULICO Y ANÁLISIS CLIMÁTICO: PARQUE LOGÍSTICO CEDI GRUPO REY – RÍO CABRA

Se puede observar que el espejo del río Cabra alcanza la línea de propiedad con una profundidad que varían entre 0.15 m y 0.30 m en la zona delimitada por los perfiles 1, 2 y el polígono del proyecto (Ilustración 13). De forma completa se presenta el mapa de profundidades de escorrentía para la zona media-sur de la cuenca de estudio.

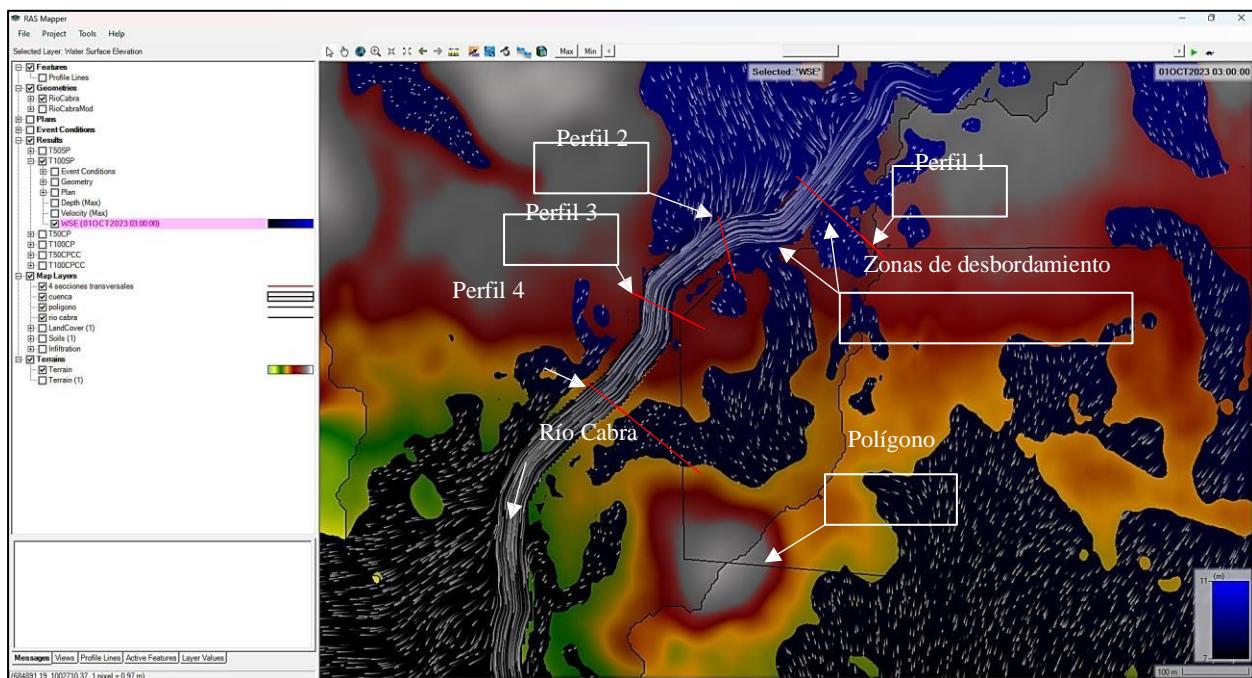


Ilustración 13: Desbordamiento del río Cabra hacia el polígono en condición sin proyecto. Datos de nivel de la superficie del agua en metros.

ESTUDIO HIDRÁULICO Y ANÁLISIS CLIMÁTICO:
PARQUE LOGÍSTICO CEDI GRUPO REY – RÍO CABRA

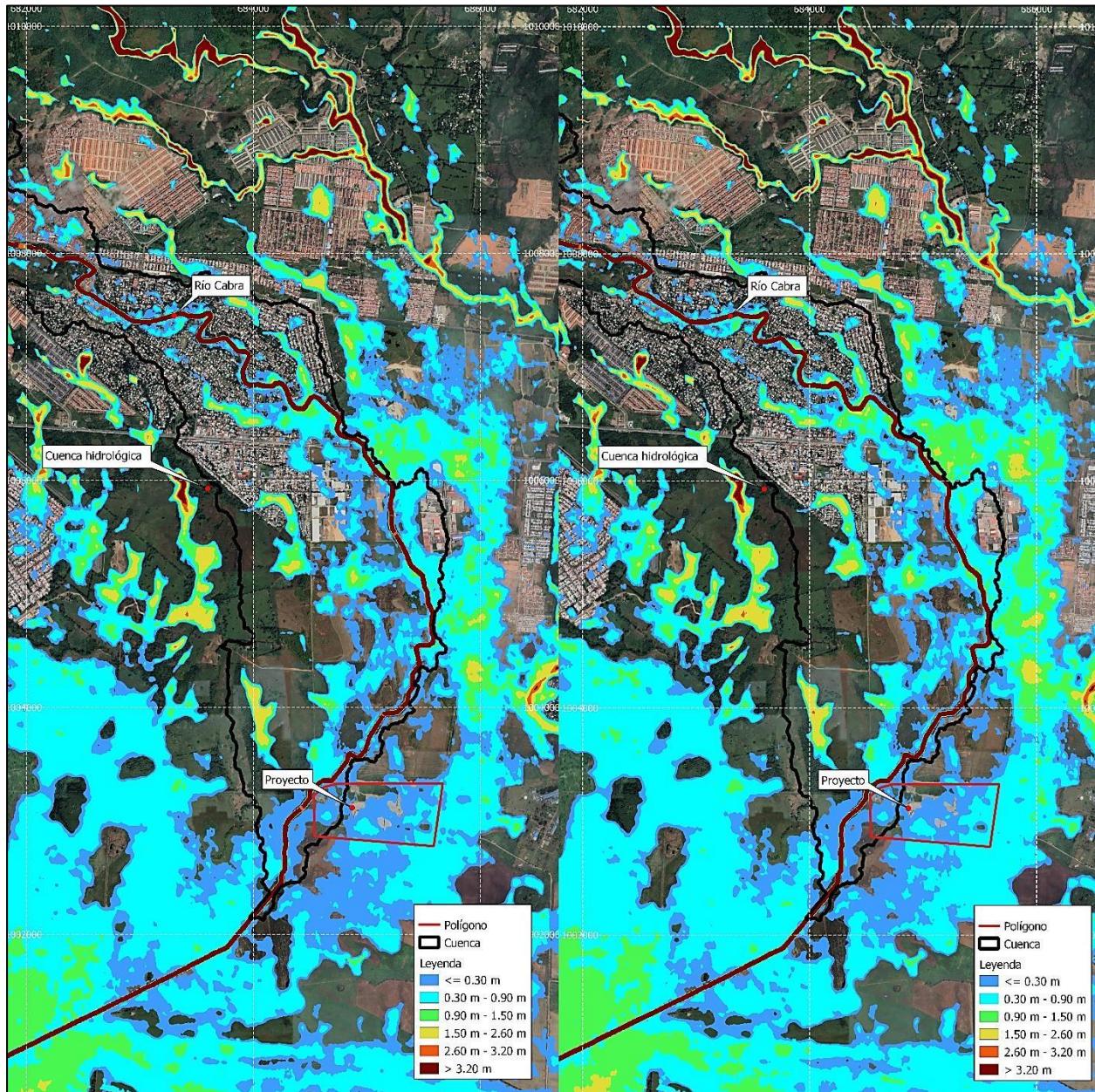


Ilustración 14: Mapas de escorrentía en condición sin proyecto con profundidades máximas generadas en el modelo hidráulico de HEC-RAS en función de la profundidad del agua. Izquierda: periodo de retorno de 50 años, derecha: periodo de retorno de 100 años.

ESTUDIO HIDRÁULICO Y ANÁLISIS CLIMÁTICO:
PARQUE LOGÍSTICO CEDI GRUPO REY – RÍO CABRA

A continuación, se presenta un resumen de los parámetros importantes modelados para la condición sin proyecto (Tabla 4):

Tabla 4: Variables importantes para la modelación de la condición sin proyecto.

Línea Perfil	Estación (m)	T retorno (años)	Qmax (m ³ /s)	Elev fondo (m)	Elev agua (m)	Vmax (m/s)	Espejo (m)	Froude max
1	3+800	50	308.65	4.79	8.43	2.50	173.28	0.42
2	3+960	50	320.98	4.49	8.16	2.95	147.56	0.49
3	4+100	50	326.15	4.26	7.68	2.96	48.08	0.50
4	4+260	50	327.09	4.08	7.23	2.99	52.1	0.61
1	3+800	100	314.42	4.79	8.49	2.53	176.9	0.42
2	3+960	100	324.31	4.49	8.22	3.00	147.56	0.49
3	4+100	100	327.34	4.26	7.74	3.05	48.26	0.50
4	4+260	100	327.82	4.08	7.27	3.05	52.47	0.61

6. Modelación Hidráulica – Condición Con Proyecto

Para la modelación hidráulica con proyecto se modificó el terreno. Las modificaciones incluyeron el ensanchamiento del río cabra en las secciones del río Cabra colindante con el proyecto. Adicionalmente se modificó el modelo digital de terreno con la topografía para reflejar el trabajo de terracería final. También se modificaron los coeficientes de Manning ($n = 0.05$) y el número de curva ($CN = 93$) para simular la nueva condición por los trabajos realizados en el polígono del proyecto.

Los resultados de la modelación indican caudales máximos que ascienden a $308.7 \text{ m}^3/\text{s}$ y $314.4 \text{ m}^3/\text{s}$ para los períodos de 50 y 100 años, respectivamente (Ilustración 15). Al subir el nivel a nivel de terracería máxima 9.90 m y de construcción a 10.70 m, el polígono del proyecto no se ve afectado por el desbordamiento del río Cabra. A modo comparativo, se utilizaron las mismas 4 secciones transversales (perfiles 1 al 4) que en el caso anterior (Ilustración 16).

ESTUDIO HIDRÁULICO Y ANÁLISIS CLIMÁTICO: PARQUE LOGÍSTICO CEDI GRUPO REY – RÍO CABRA

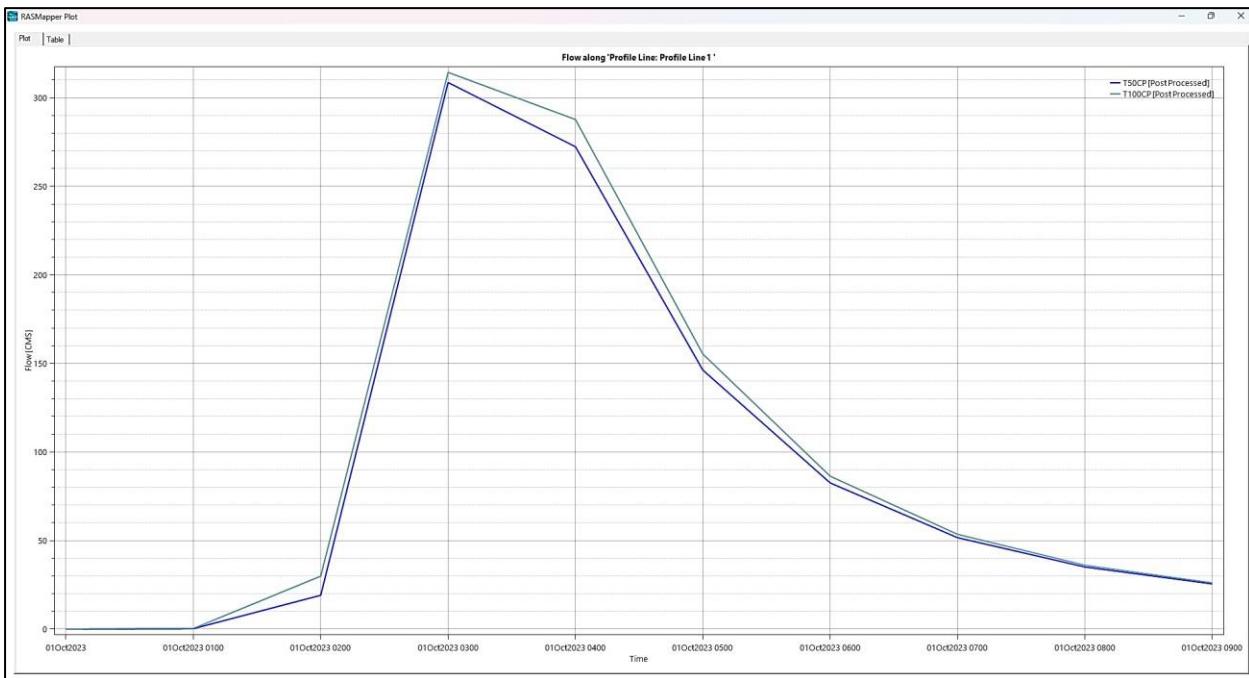
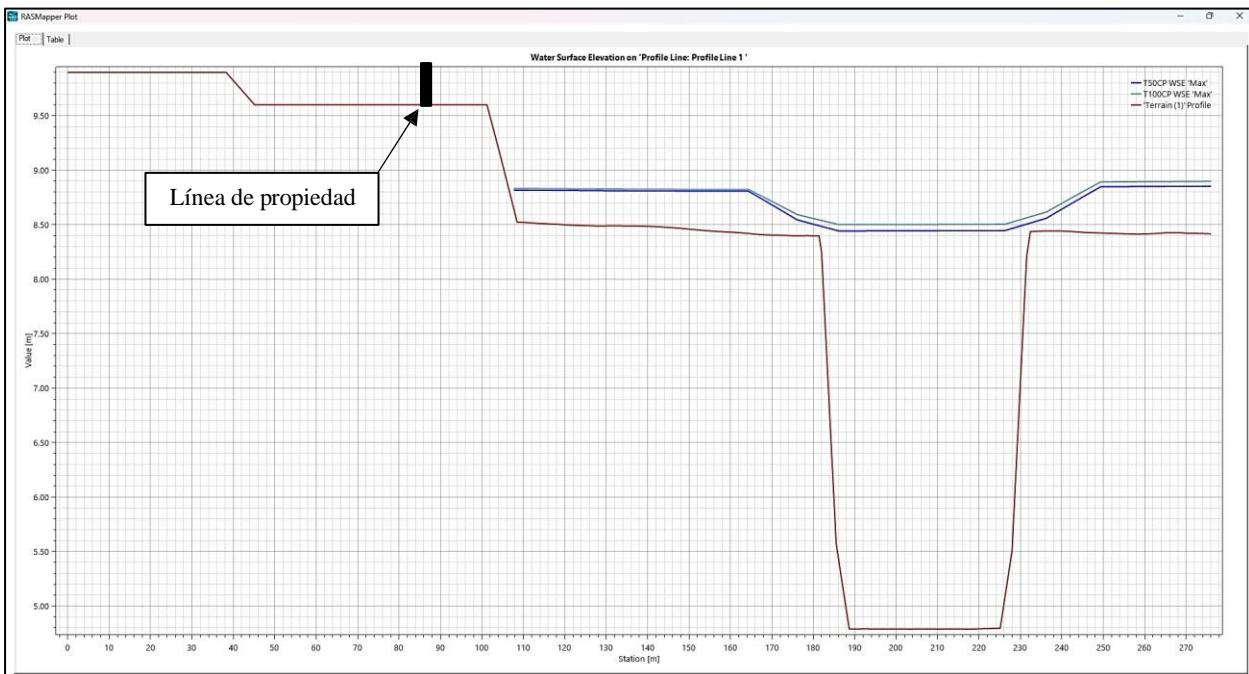
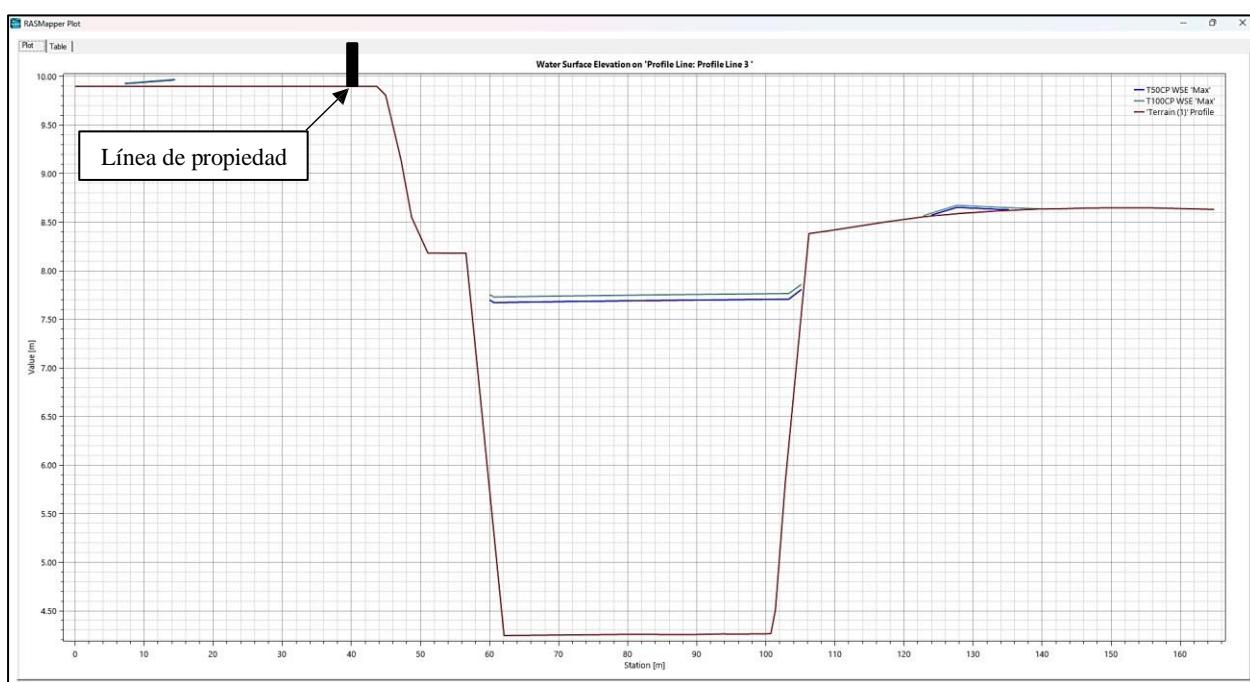
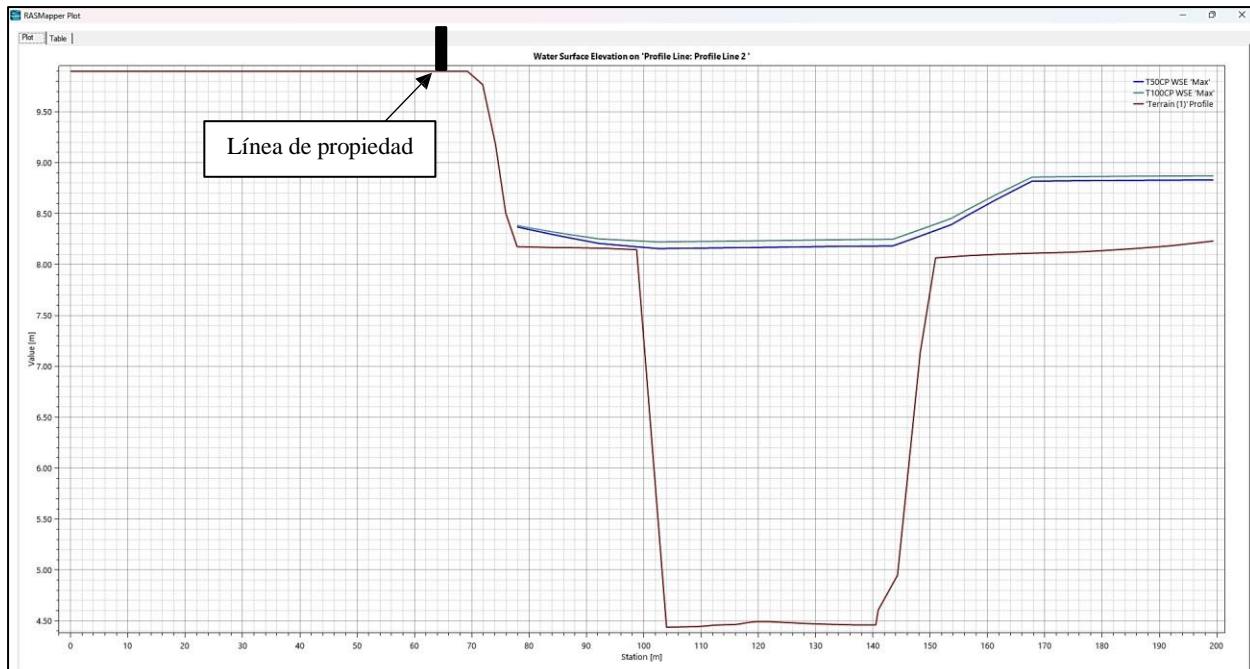


Ilustración 15: Hidrogramas generados a la salida de la cuenca para diferentes períodos de retorno en condición con proyecto.



ESTUDIO HIDRÁULICO Y ANÁLISIS CLIMÁTICO: PARQUE LOGÍSTICO CEDI GRUPO REY – RÍO CABRA



ESTUDIO HIDRÁULICO Y ANÁLISIS CLIMÁTICO: PARQUE LOGÍSTICO CEDI GRUPO REY – RÍO CABRA



Ilustración 16: Cuatro secciones transversales en condición con proyecto del río Cabra en la zona colindante al proyecto.

ESTUDIO HIDRÁULICO Y ANÁLISIS CLIMÁTICO: PARQUE LOGÍSTICO CEDI GRUPO REY – RÍO CABRA

Se puede observar que luego de las adecuaciones del terreno el espejo de agua no alcanza el polígono del proyecto (Ilustración 17). En el área del polígono del proyecto se acumula una capa de agua de menos de 0.25 m de profundidad la cual es drenada hacia el río Cabra (Ilustración 18).

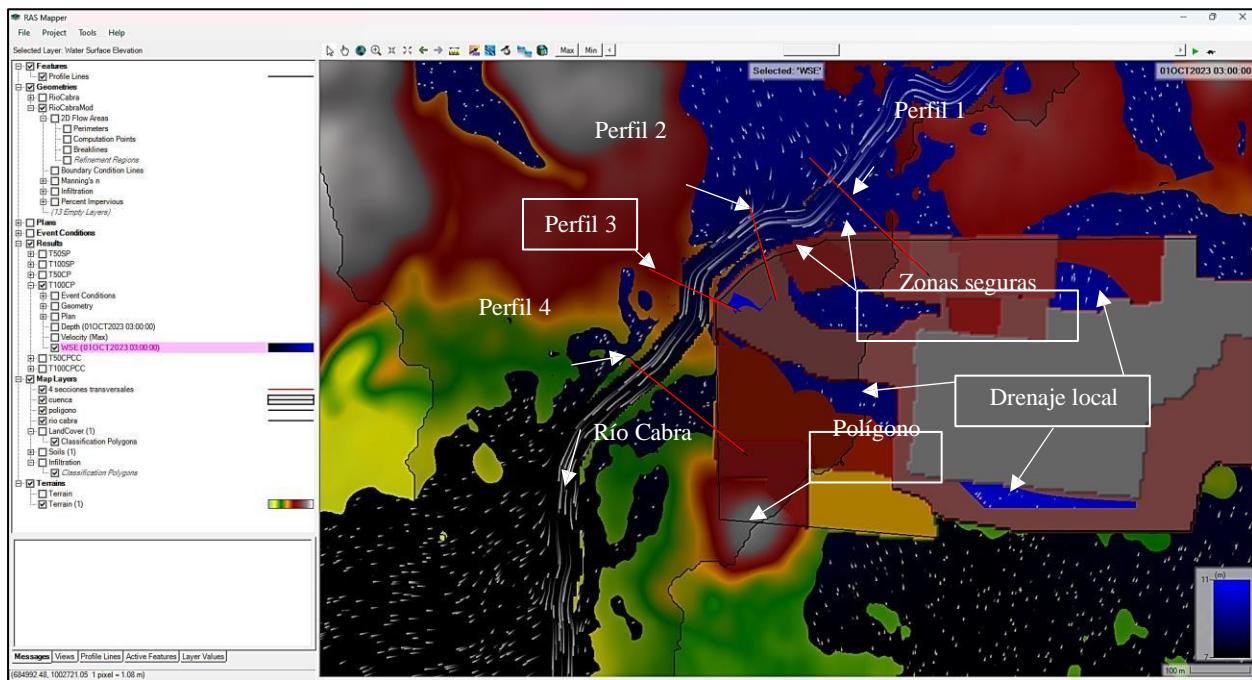


Ilustración 17: Cauce del río Cabra no inunda el polígono en condición con proyecto. Datos de nivel de la superficie del agua en metros.

ESTUDIO HIDRÁULICO Y ANÁLISIS CLIMÁTICO:
PARQUE LOGÍSTICO CEDI GRUPO REY – RÍO CABRA

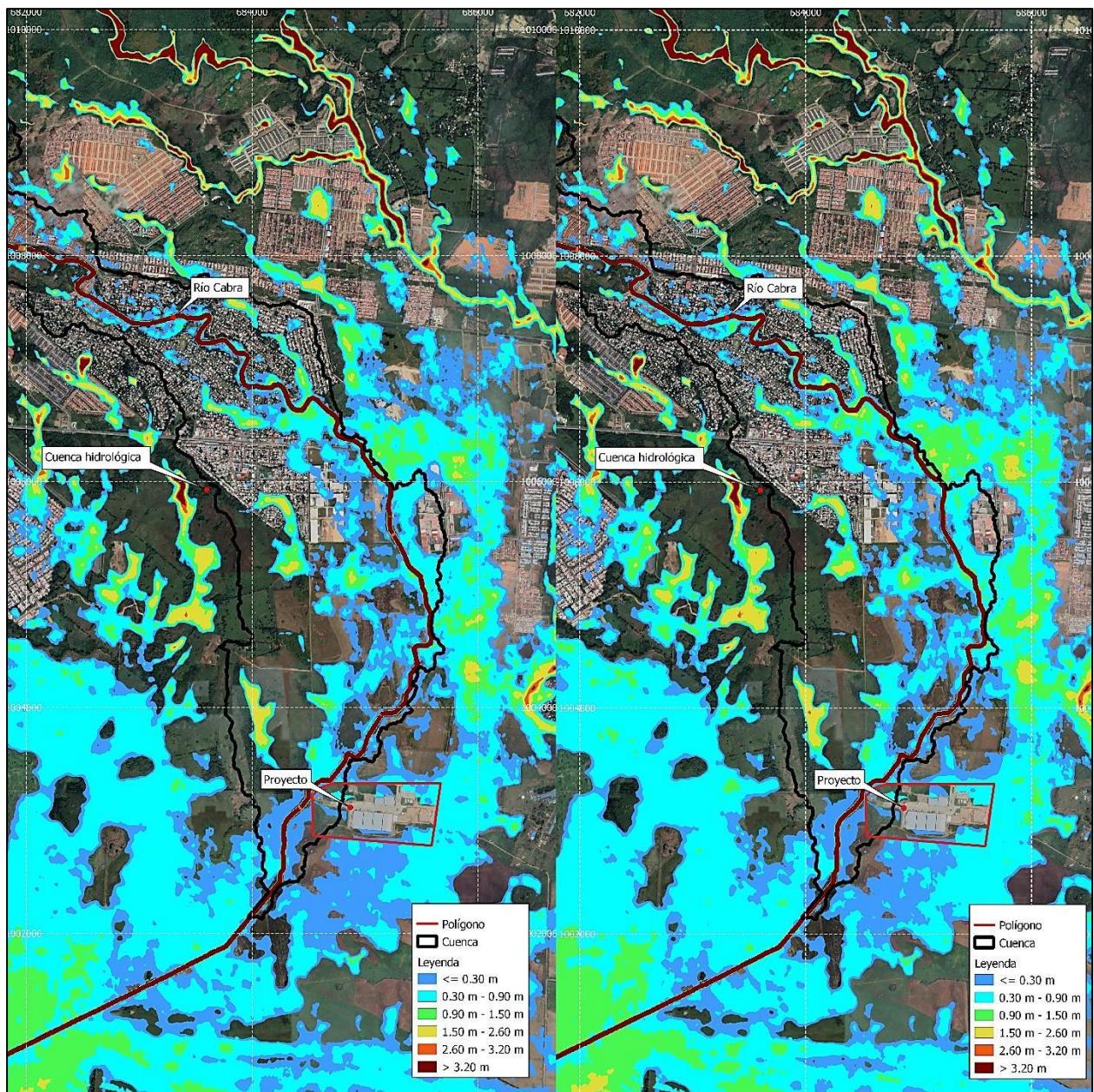


Ilustración 18: Mapas de escorrentía en condición con proyecto con profundidades máximas generadas en el modelo hidráulico de HEC-RAS en función de la profundidad del agua. Izquierda: periodo de retorno de 50 años, derecha: periodo de retorno de 100 años.

ESTUDIO HIDRÁULICO Y ANÁLISIS CLIMÁTICO:
PARQUE LOGÍSTICO CEDI GRUPO REY – RÍO CABRA

A continuación, se presenta un resumen de los parámetros importantes modelados para la condición con proyecto (Tabla 5):

Tabla 5: Parámetros importantes resultantes de la modelación de la condición con proyecto.

Línea Perfil	Estación (m)	T retorno (años)	Qmax (m ³ /s)	Elev fondo (m)	Elev agua (m)	Vmax (m/s)	Espejo (m)	Froude max
1	3+800	50	308.65	4.79	8.81	2.52	125.85	0.42
2	3+960	50	321.49	4.49	8.14	2.99	74.2	0.49
3	4+100	50	326.62	4.26	7.69	2.99	48.04	0.50
4	4+260	50	37.78	4.08	7.24	3.00	52.11	0.61
1	3+800	100	314.38	4.79	8.84	2.53	125.99	0.42
2	3+960	100	325.02	4.49	8.24	3.01	74.37	0.49
3	4+100	100	328.11	4.26	7.75	3.07	48.23	0.50
4	4+260	100	328.72	4.08	7.28	3.08	52.52	0.61

7. Cambio Climático – Año 2050

Los impactos producto del cambio climático es un reto que tiene el hombre de hoy en día. Estos impactos producen variaciones climáticas en cada región del mundo. En Panamá, algunos lugares esperan períodos secos más intensos, mientras que en otros se esperan períodos de lluvias extremos. Debido al aumento esperado en la temperatura global de la tierra, ocurrirá más evaporación lo que hará que más agua se acumule en las nubes y se generen eventos de precipitación con mayor acumulación de agua por evento y mayor frecuencia. El efecto de cambio climático fue evaluado en la cuenca de estudio.

7.1 Riesgo y Vulnerabilidad por Cambio Climático Futuro

El International Panel on Climate Change (IPCC) en su documento Vulnerabilidad, Riesgo y Adaptación: Un Marco Conceptual aporta diferentes definiciones para el concepto de riesgo, incluyendo la probabilidad de que una amenaza específica ocurra multiplicada por la pérdida dada (Smith, 1996), la probabilidad multiplicada por la consecuencia (Jones and Boer), la probabilidad de que ocurra un evento no deseado (Stenchion, 1992) o la propia definición de la IPCC publicada en 2001 como la función de probabilidad y

ESTUDIO HIDRÁULICO Y ANÁLISIS CLIMÁTICO: PARQUE LOGÍSTICO CEDI GRUPO REY – RÍO CABRA

magnitud de diferentes impactos. Se puede concluir para determinar el riesgo de que un evento no deseado cause un impacto negativo hay que cuantificar la probabilidad de ocurrencia.

Por otro lado, la vulnerabilidad tiene diferentes definiciones dependiendo del enfoque ya sea biofísico o social. Para entender el concepto de vulnerabilidad, debemos primero definir otros conceptos. El primero concepto es exposición la cual es definida como el grado al cual es sistema está expuesto a afectaciones climáticas severas. Otro concepto es sensibilidad la cual es el grado en que el sistema es afectado, tanto positivo como negativamente por los efectos de cambio climático ya sea de manera directa o indirecta. Finalmente, la capacidad adaptativa es la habilidad del sistema para ajustarse a los cambios climáticos para mitigar daños o crear oportunidades ante la adversidad. Teniendo en cuenta es conceptos, eL IPCC tiene dos definiciones para vulnerabilidad: primero la define como el grado al cual un sistema es susceptible a no poder superar las adversidades del cambio climático extremo, siendo una función de las características y magnitudes de dicha variación. Adicionalmente lo define como el grado de daño que un sistema puede verse sometido por un evento. Estas dos definiciones no son consistentes ya que la primera ve la vulnerabilidad como una función la sensibilidad del sistema mientras que la otra la ve como que la sensibilidad es solo una parte. Esto da a entender que hay divisiones con respecto a la definición de la vulnerabilidad, sin embargo, es claro que la primera definición se refiere a la vulnerabilidad biofísica mientras que la segunda a la vulnerabilidad social. Vulnerabilidad biofísica es entonces definida por el IPCC en conjunto con el concepto de riesgo ya que la palabra por sí sola no es suficiente. Entonces se habla de vulnerabilidad en términos de probabilidad que actúa como activador de una serie de eventos de desastres con resultados indeseados. Es por esto por lo que acompañado a estos términos se incluye el concepto de amenaza, siendo este término que lo que activa el evento. Por otro lado, si el concepto de vulnerabilidad se utiliza como algo contrario al riesgo, entonces se habla de vulnerabilidad social. Finalmente, Sarewitz et al (2003) profundiza más estas definiciones y presenta que cuando la vulnerabilidad se acompaña del término riesgo, entonces es vulnerabilidad biofísica y cuando es independiente el riesgo, entonces hablamos de vulnerabilidad social. Con esto, la IPCC define de manera simplificada que cuando se habla de riesgo se refiere a vulnerabilidad biofísica y cuando se habla solamente de vulnerabilidad se refiere a la social.

La guía técnica de cambio climático para proyectos de infraestructura de inversión pública del Ministerio de Ambiente define la vulnerabilidad como las características que incrementan la probabilidad de riesgo teniendo presente la resiliencia como parte importante del sistema para poder recuperarse ante posibles

ESTUDIO HIDRÁULICO Y ANÁLISIS CLIMÁTICO: PARQUE LOGÍSTICO CEDI GRUPO REY – RÍO CABRA

eventos que surjan producto del cambio climático. Esta definición en conjunto con las anteriores enfoca el término vulnerabilidad hacia la vulnerabilidad biofísica ya que se combina con los términos riesgo y resiliencia.

Para la evaluación de la sensibilidad se utilizó las definiciones de la guía técnica de cambio climático para proyectos de infraestructura de inversión pública. En esta guía se define la sensibilidad de la siguiente forma:

- Sensibilidad alta: las variables climáticas pueden tener un impacto significativo en los bienes, procesos y/o servicios, recursos y suministros del proyecto.
- Sensibilidad media: la variable de peligro climático puede tener un ligero impacto en los activos, procesos, servicios, recursos y suministros.
- Sensibilidad baja: ninguna variable climática parece tener efecto sobre la infraestructura o los procesos y/o servicios ofrecidos por el proyecto.

Para la evaluación del riesgo se utilizó el documento para la realización de riesgos y vulnerabilidades desarrollado por el Consell de Mallorca en 2018. En este documento se presenta el concepto de riesgo como:

$$\text{Riesgo} = \text{Probabilidad de Impacto} \times \text{Magnitud de Consecuencias}$$

En el caso se evalúa la probabilidad de ocurrencia del impacto bajo análisis en seis grados (Tabla 6):

Tabla 6: Caracterización de probabilidad cualitativa según el Consell de Mallorca.

Índice	Probabilidad cualitativa	Descripción
3	Improbable	Excepcionalmente improbable que suceda
4	Muy poco probable	Muy improbable que suceda
5	Poco probable	Improbable que suceda
7	Probable	Es tan probable que suceda como que no
9	Bastante probable	Es probable que suceda
10	Muy probable	Es muy probable que suceda

**ESTUDIO HIDRÁULICO Y ANÁLISIS CLIMÁTICO:
PARQUE LOGÍSTICO CEDI GRUPO REY – RÍO CABRA**

En el caso de la consecuencia del impacto en función de la magnitud o el grado de relevancia se tienen 7 categorías (Tabla 7):

Tabla 7: Caracterización de consecuencia cualitativa según el Consell de Mallorca.

Índice	Consecuencia	Descripción
0	Despreciable	Sin daños físicos y sin repercusiones
3	Mínima	Repercusiones y daños físicos irrelevantes
4	Menor	Repercusiones y daños físicos leves
5	Significativa	Repercusiones y daños físicos notables
7	Importante	Repercusiones y daños físicos importantes pero asumibles
9	Grave	Repercusiones graves y daños físicos importantes difíciles de asumir
10	Muy grave	Las repercusiones económicas exigen el cierre o renovación total

El documento define 4 tipologías (Tabla 8) diferenciadas donde R3 es de alto riesgo ($\leq 50-100$), R2 es de moderado riesgo ($\leq 25-50$), R1 es de bajo riesgo ($\leq 0-25$) y finalmente R0 como despreciable (=0). Igualmente se puede caracterizar como desconocido en caso de que aplique.

Tabla 8: Índice de riesgo cualitativo según el Consell de Mallorca.

Probabilidad	Puntuación	Improbable	Muy poco probable	Poco probable	Probable	Bastante probable	Muy probable
Consecuencia			4	5		9	10
Puntuación		3	4	5	7	9	10
Inexistente	0	0	0	0	0	0	0
Mínima	3	9	12	15	21	27	30
Menor	4	12	16	20	28	36	40
Significativa	5	15	20	25	35	45	50
Muy importante	7	21	28	35	49	63	70
Grave	9	27	36	45	63	81	90
Muy grave	10	30	40	50	70	90	100

ESTUDIO HIDRÁULICO Y ANÁLISIS CLIMÁTICO: PARQUE LOGÍSTICO CEDI GRUPO REY – RÍO CABRA

Para la evaluación de la vulnerabilidad física y medioambiental se utilizará la siguiente definición:

$$\text{Vulnerabilidad} = \text{Riesgo} \times \text{Adaptación}$$

Para la capacidad de adaptación se utilizará las siguientes definiciones (Tabla 9):

Tabla 9: Grados de capacidad adaptativa según el Consell de Mallorca.

	Despreciable (CA0)	Mínima (CA1)	Media (CA2)	Significativa (CA3)	Importante (CA4)
Grado	0	1	2	3	4
Puntuación	7	5	4	3	1

El documento define 4 tipologías de vulnerabilidad diferenciadas donde V3 es de alta vulnerabilidad ($\leq 300-700$), V2 es de moderada vulnerabilidad ($\leq 100-300$), V1 es de baja vulnerabilidad ($\leq 0-100$) y finalmente V0 como despreciable (=0). Igualmente se puede caracterizar como desconocido en caso de que aplique.

El análisis de cambio climático en la cuenca de estudio está apoyado en el documento Estrategia Nacional de Cambio Climático 2050 de Panamá, aprobado en el Decreto Ejecutivo N° 34 y publicado oficialmente el 4 de junio de 2019 en la Gaceta Oficial de la República de Panamá. Adicionalmente, se utilizó el documento Índice de Vulnerabilidad al Cambio Climático de la República de Panamá publicado por el Ministerio de Ambiente en 2021 y una modelación hidráulica basada en modificaciones a la precipitación debido a una proyección a 2050. A continuación, se presentan los diversos análisis e identificaciones de posibles efectos del cambio climático en la cuenca de estudio.

7.1.1 Análisis de Sensibilidad

A continuación, se presenta la matriz de sensibilidad para el proyecto en estudio identificando los posibles efectos secundario y amenazas relacionadas al cambio climático (Tabla 10).

**ESTUDIO HIDRÁULICO Y ANÁLISIS CLIMÁTICO:
PARQUE LOGÍSTICO CEDI GRUPO REY – RÍO CABRA**

Tabla 10: Matriz de sensibilidad del proyecto.

Conexiones de transporte	Productos/ servicios	Suministro de agua y energía	Bienes de infraestructura	Elementos de sensibilidad
				Cambio en los patrones de lluvia
				Cambios extremos de lluvia
				Velocidad promedio del viento
				Velocidad Máxima del viento
				Tormentas
				Inundaciones
				Sismo
Sensibilidad climática				
Baja				
Media				
Alta				

7.1.2 Análisis de Exposición

Se presentan tres indicadores de exposición a evaluar en este estudio: anomalías en la precipitación, exposición a variaciones en el viento y actividad sísmica. Un escenario climático es una representación supuesta de una posible realidad a la cual una zona puede enfrentar debido a cambios radicales del clima. Dado a que son situaciones supuestas, es necesario investigar diversas condiciones dependientes a las tendencias mundiales. En Panamá se han desarrollado y se siguen generando estudios de cambio climáticos para conocer con más detalle como estos diversos escenarios pueden afectar las distintas zonas del país. La tendencia actual es que la región oriental de Panamá experimente condiciones climáticas más húmedas (Ilustración 19). Dado que la localización del proyecto se encuentra en esta zona, es de esperarse un mayor número de frecuencia de eventos de precipitación extremos, aumento de la duración de sequías, incremento de la intensidad de la precipitación.

ESTUDIO HIDRÁULICO Y ANÁLISIS CLIMÁTICO: PARQUE LOGÍSTICO CEDI GRUPO REY – RÍO CABRA

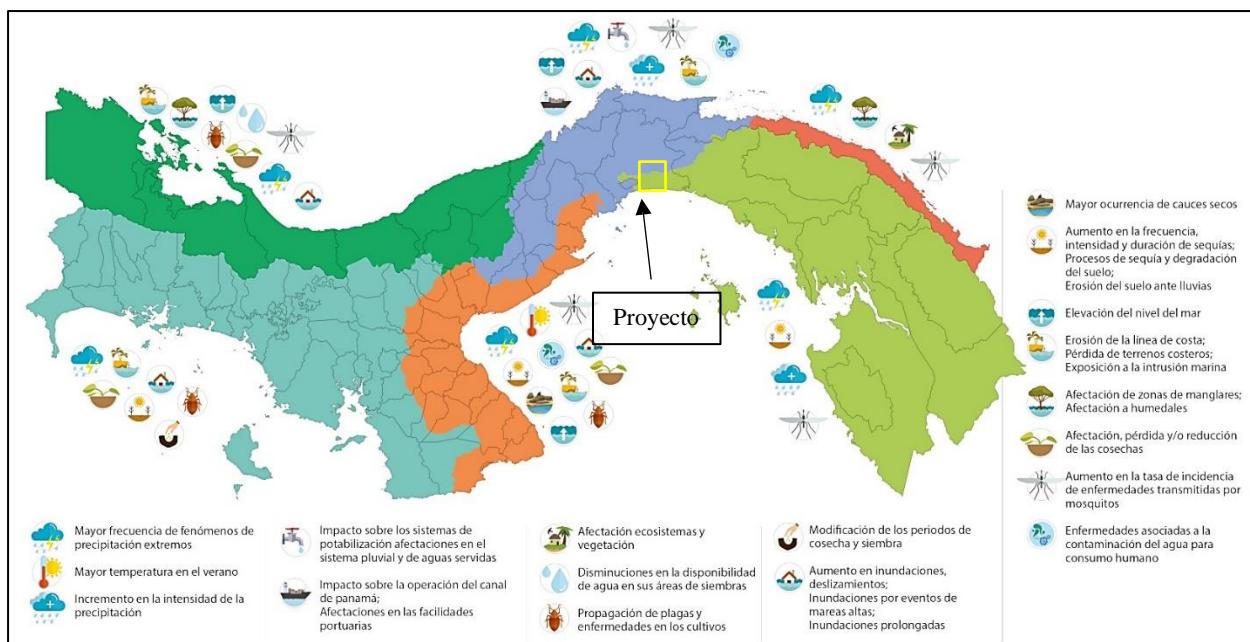


Ilustración 19: Mapa de impacto de cambio climático en Panamá presentado por el Ministerio de Ambiente.

7.1.2.1 Precipitación

El Plan Estratégico Nacional de Cambio Climático 2050 presenta resultados de varios modelos de cambio climático que fueron aplicados a distintas regiones del país donde se pudo predecir diversos casos escenarios de cambio climático y su respectiva influencia sobre las precipitaciones mensuales comparándolas con registros históricos comprendidos entre el 1981 y 2014. Dado que no se cuenta con la información numérica de los diversos gráficos y que no todos los diferentes modelos son fácilmente identificables en los gráficos, se utilizó el sitio web plot digitizer para obtener 12 puntos de control (uno por mes) para 5 casos escenario de los diferentes modelos de cambio climáticos para la región comprendida por Panamá, Panamá Oeste y Madungandí y poder representar las tendencias modeladas.

ESTUDIO HIDRÁULICO Y ANÁLISIS CLIMÁTICO:
PARQUE LOGÍSTICO CEDI GRUPO REY – RÍO CABRA

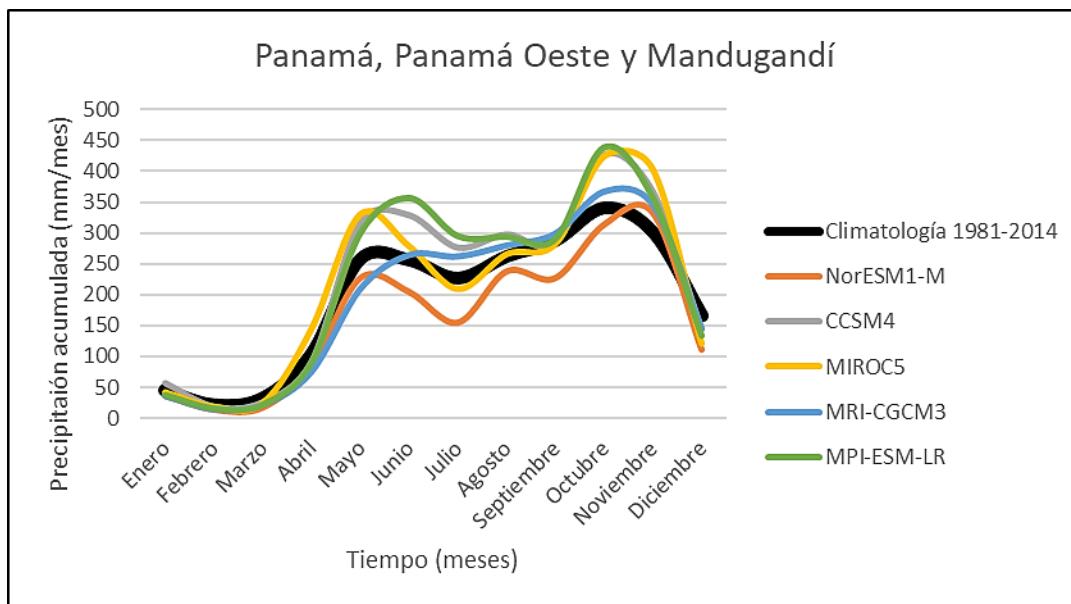


Ilustración 20: Modelaciones de cambio climático en Panamá para las regiones de Panamá, Panamá Oeste y Mandugandí.
Digitalizado del documento Estrategia Nacional de Cambio Climático de la República de Panamá a través del Ministerio de Ambiente.

Con estas tendencias definidas, se calcularon los índices de aumento o disminución de precipitación comparando cada una de las 5 modelaciones con respecto a la climatología registrada hasta el 2014. Para la condición de incremento de precipitación optó por utilizar el modelo MPI-ESM-LR ya que presenta lluvias escasas en los períodos secos de Panamá y lluvias más intensas en periodo de lluvia. Se incrementaron las precipitaciones acumuladas mensuales presentadas en la Ilustración 5. Una vez incrementados los valores mensuales con los índices utilizados, se calculó la precipitación acumulada anual y se calculó un nuevo índice anual el cual resultó en 14.3% de incremento. Las variaciones de precipitación por cambio climático en Panamá han sido estimadas en el rango del 5% al 20% en publicaciones como las de Fábrega et al. (2013), por lo cual la estimación es aceptable. Esto nos indica que dentro de las proyecciones de cambio climático se puede esperar un aumento importante en las precipitaciones anuales acumuladas podrían tener un aumento importante lo que es de esperar lluvias más intensas que tienen potencial de inundación (Tabla 11).

En el caso del potencial de sequía, se utilizó el modelo NorESM1-M la cual presenta una predicción de disminución en la precipitación anual en un 85.3%, en otras palabras, una disminución del 14.7%. Esta

ESTUDIO HIDRÁULICO Y ANÁLISIS CLIMÁTICO: PARQUE LOGÍSTICO CEDI GRUPO REY – RÍO CABRA

disminución de precipitación llevaría al río Cabra a tener un menor caudal medio anual, pudiendo causar un impacto negativo en las actividades que dependen del río y los ecosistemas asociados.

Tabla 11: Análisis de la variación de precipitación acumulada anual mediante inclusión de cambio climático según proyecciones a 2050.

Mes	Climatología 1981-2014 (mm)	Modelo MPI-ESM- LR (mm)	Modelo NorESM1-M (mm)
Enero	45	37	36
Febrero	21	15	13
Marzo	32	21	17
Abril	104	90	86
Mayo	258	300	227
Junio	256	357	205
Julio	227	295	155
Agosto	262	294	238
Septiembre	288	290	227
Ocutbre	341	439	314
Noviembre	301	357	333
Diciembre	166	133	111
Anual (mm)	2301	2631	1962
Índice anual		1.143	0.853

Dado que la proyección de eventos de precipitación más extremos recomienda un incremento del 14.3% de las precipitaciones extremas, incluyendo la precipitación de 1% de probabilidad de ocurrencia en cualquier año, se encuentra que las lluvias más intensas representan una amenaza al proyecto. En el caso de las sequías, el proyecto no depende de la fuente hídrica intermitente por lo que no representa una amenaza para el proyecto.

7.1.2.2 Viento

Una ráfaga de viento se define como el incremento repentino de la velocidad del viento por encima de la velocidad promedio. En términos más específicos, un incremento temporal de más de 30 kph después de

**ESTUDIO HIDRÁULICO Y ANÁLISIS CLIMÁTICO:
PARQUE LOGÍSTICO CEDI GRUPO REY – RÍO CABRA**

acelerarse al menos unos 17 kph con una duración máxima de 20 segundos. De esta definición es importante destacar las diferencias entre velocidad del viento promedio y ráfaga de viento. La velocidad promedio se define como los vientos sostenidos con duraciones de al menos 2 minutos mientras que las ráfagas de viento duran menos de 20 segundos.

La información de velocidad promedio diaria del viento en la cuenca de estudio fue extraída del sitio web climateengine.org utilizando la data satelital ECMWF ERA5 referida como AgERA5 después de complejos preprocesamientos de información. Actualmente se tienen 45 años de información diaria registrada, entre los años 1979 y 2023, con lo cual se pueden estimar la velocidad promedio diaria para hacer el análisis comparativo con la escala de Beaufort. La data AgERA5 puede ser ajustada con un coeficiente de ráfaga para obtener valores representativos de ráfagas de vientos observado en la zona del proyecto.

El análisis de las velocidades promedio fue realizado con el programa Hydrognomon. Se ajustó la data satelital AgERA5 con un factor de corrección de 1.15 (Chen, Collet, & Di Luca, 2024) en conjunto con distribuciones Weibull y diferentes curvas de ajustes para determinar las velocidades máximas esperadas. Los resultados muestran velocidades promedias en 24 horas máximas anuales relativamente constantes, variando entre 10.68 m/s y 12.0 m/s para los períodos de 10 años (10% probabilidad) y 100 años (1% probabilidad), respectivamente (Ilustración 21).

ESTUDIO HIDRÁULICO Y ANÁLISIS CLIMÁTICO: PARQUE LOGÍSTICO CEDI GRUPO REY – RÍO CABRA

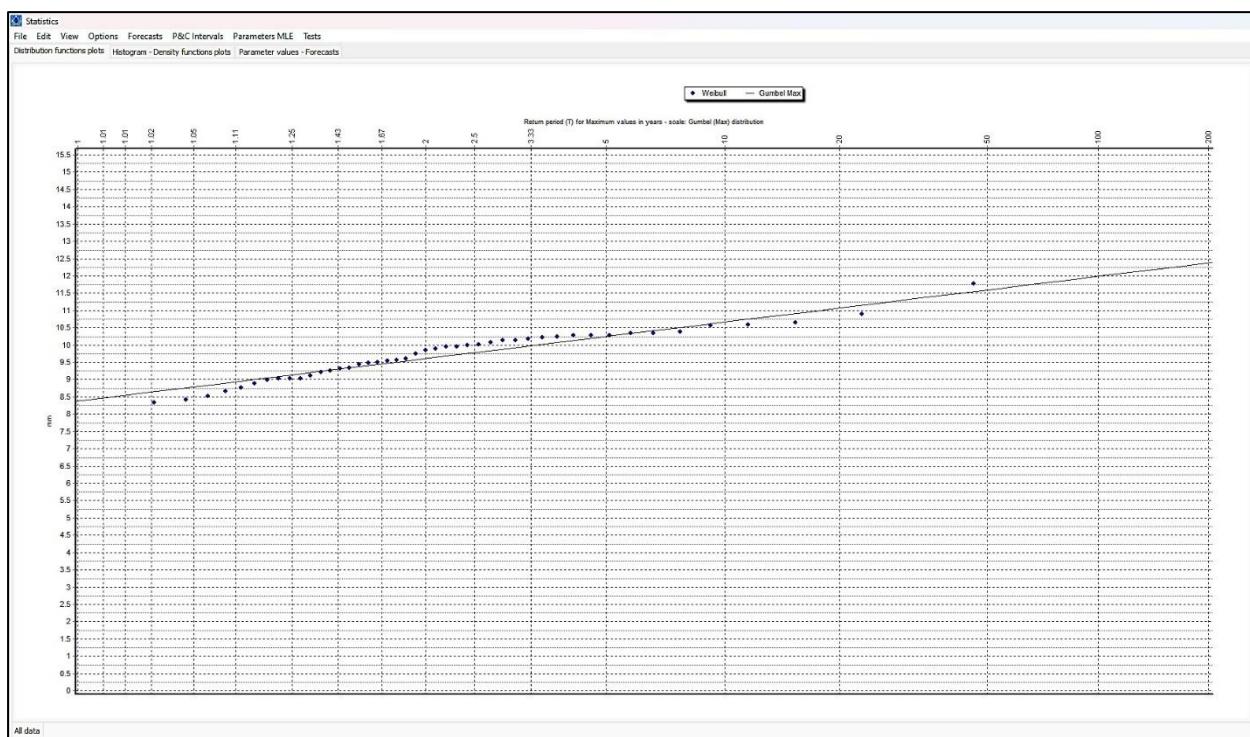


Ilustración 21: Análisis estadístico con el programa Hydrognomon utilizando la data AgERA5 para el sitio de estudio. Eje vertical es velocidad media diaria (m/s) y eje horizontal es el periodo de retorno (años).

Dentro de la data observada, para el año 2009 se registró un evento en el cual la velocidad media en 24 horas alcanzó los 11.8 m/s, lo cual es inusual al comportamiento registrado en los 45 años de data y obedece a un periodo de retorno cercano a 100 años. Según la escala de Beaufort, estas velocidades encontradas en el sitio de estudio se categorizan entre brisa fuerte y viento fresco las cuales tienen la capacidad de mover arbustos, generar ondulaciones en superficies de aguas, dificultad para usar paraguas, agitan grandes ramas y silban los cables de las líneas eléctricas.

Por otro lado, para obtener la relación entre la velocidad promedio y el factor de ráfaga se utilizó la curva de Durst la cual indica que para una ráfaga de 3 segundos la relación con la velocidad promedio en 24 horas tiene un coeficiente de amplificación de 1.53. Se amplificaron los valores de la data satelital AgERA5 para determinar las ráfagas de viento esperadas en el área de estudio. El valor de ráfaga de viento máximo estimado es de 18.0 m/s el cual está por debajo del valor de diseño de estructuras por efectos de ráfagas de

**ESTUDIO HIDRÁULICO Y ANÁLISIS CLIMÁTICO:
PARQUE LOGÍSTICO CEDI GRUPO REY – RÍO CABRA**

viento de 3 segundos en condiciones de servicio el cual es de 28.9 m/s para un periodo de retorno de 10 años (Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura, 2021).

Dado que el viento con 1% de probabilidad de ocurrencia en un año cualquiera se estima en 10 m/s el cual no representa un peligro considerable a las estructuras y que la norma de diseño panameño exige estructuras capaces de resistir en condiciones de servicio velocidades 28.9 m/s, no se considera el viento como una amenaza para el proyecto.

7.1.2.3 Sismo

El análisis sísmico se realizó en función de las aceleraciones espectrales pico de suelo (PGA) y de 1.0 segundo (S1) para estructuras en Panamá dentro de la zona de estudio. El reglamento estructural panameño presenta diferentes coeficientes de aceleraciones espectrales pico del terreno (PGA) para un amortiguamiento de 5% y un periodo de retorno de 2500 años dependiendo de la región de estudio. El área de estudio se encuentra en la región 6 con PGA estimado de 0.43. Según este coeficiente y una caracterización de Mercalli, este coeficiente de suscitarse representaría un movimiento severo de objetos con un potencial de daño moderado fuerte entrando en las categorías la zona baja de la intensidad de instrumentación tipo VIII (United States Geological Survey, s.f.).

A modo comparativo, el reglamento estructural panameña presenta un mapa para el coeficiente de aceleración espectral de 1.0 segundo (S1) en todo el territorio panameño. Para la región 6 donde se encuentra la zona de estudio el coeficiente S1 es aproximadamente 0.36. Este coeficiente varía entre 0.22 para la región de provincias centrales hasta 0.6 en la zona marina sur del país. Esto indica que la región de estudio se puede considerar de intensidad de diseño estructural media en comparativa con el resto del país (Ilustración 22). De igual manera se puede confirmar que la zona en estudio presenta escasos epicentros de sismo de magnitud mayor a 4 en la escala de Ritcher los cuales ya son perceptibles por el humano (Ilustración 23).

Los resultados indican unas magnitudes de coeficientes media dentro de las intensidades encontradas en Panamá para una probabilidad de 2% en 50 años, lo cual se considera aceptable ya que las estructuras son diseñadas para soportar esta fuerza sísmica equivalente. El sismo no se considera una amenaza adicional más allá de los requerimientos mínimos de estructuras en Panamá.

ESTUDIO HIDRÁULICO Y ANÁLISIS CLIMÁTICO:
PARQUE LOGÍSTICO CEDI GRUPO REY – RÍO CABRA

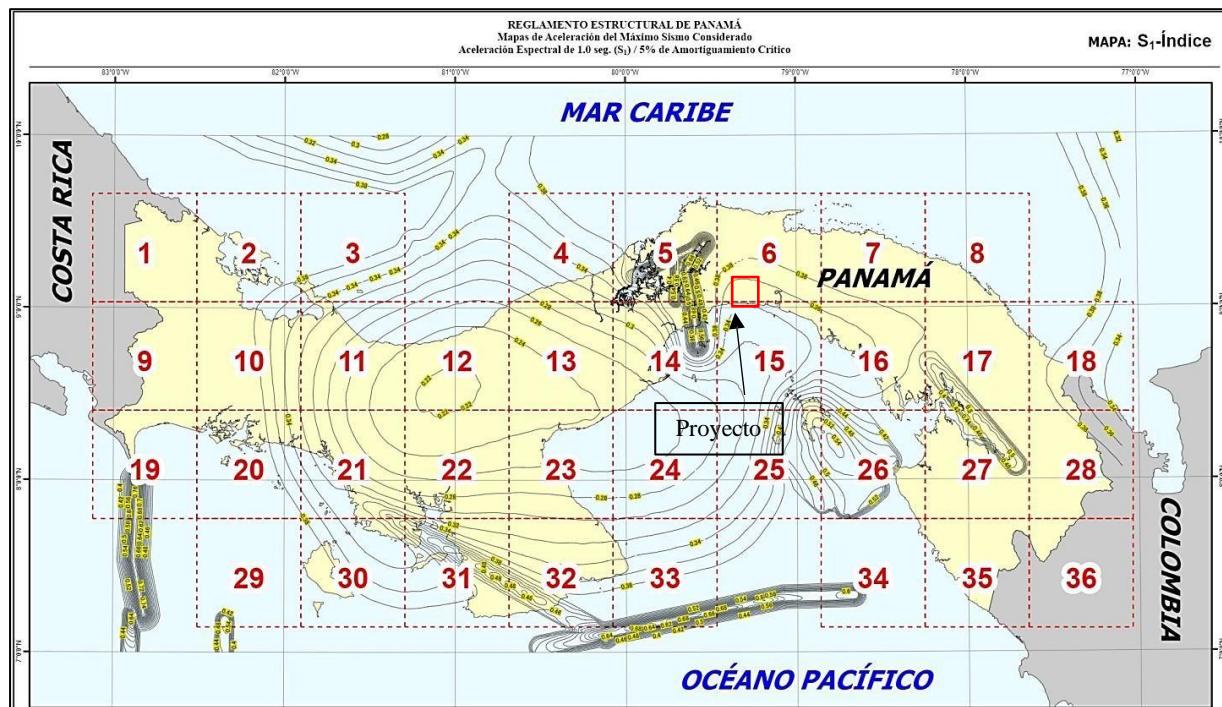


Ilustración 22: Mapa de aceleración del máximo sismo considerado. Aceleración espectral de 1.0 segundo con 5% de amortiguamiento.

ESTUDIO HIDRÁULICO Y ANÁLISIS CLIMÁTICO:
PARQUE LOGÍSTICO CEDI GRUPO REY – RÍO CABRA

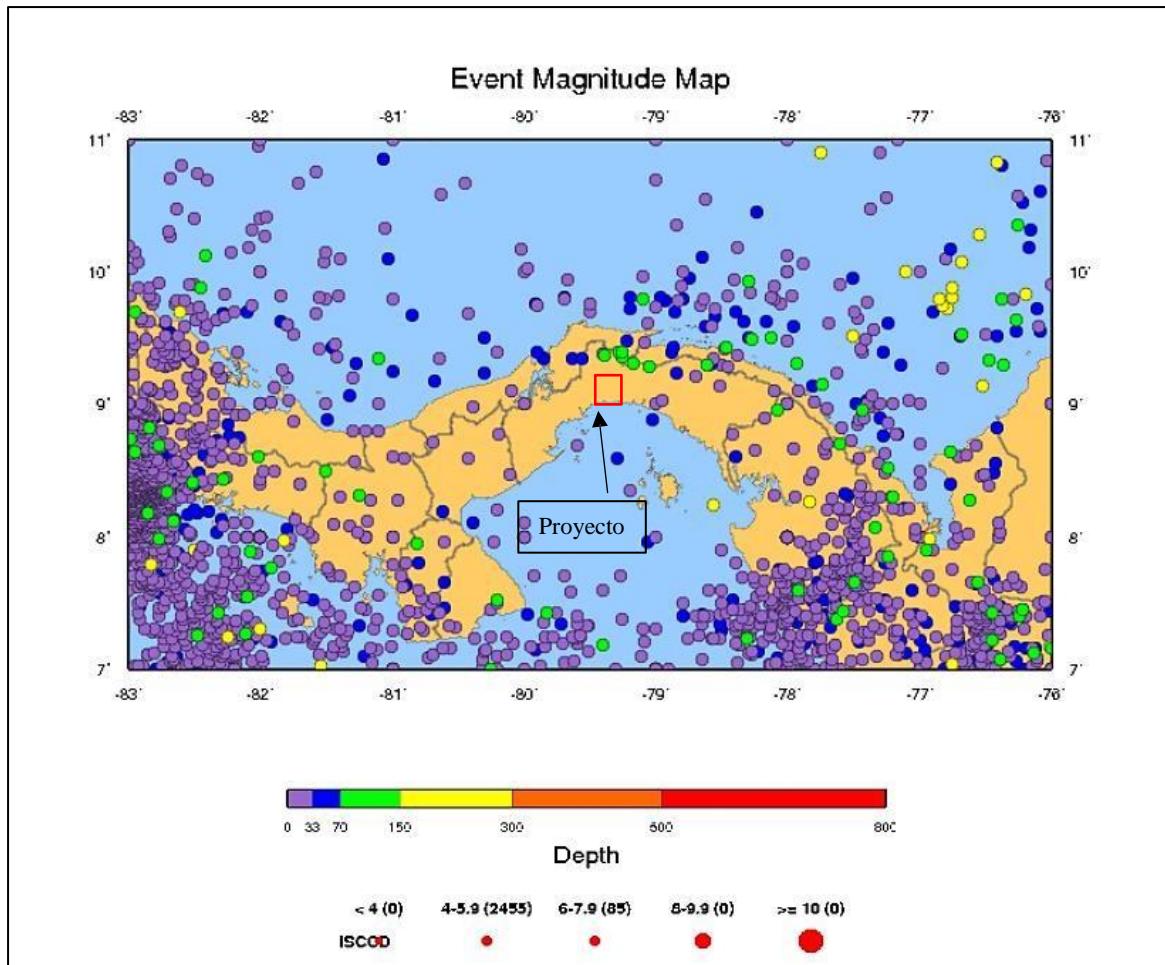


Ilustración 23: Epicentros soluciones del ISC en el Istmo de Panamá de 1960 a 2007 de magnitud mayor a 4 (Ho, Mojica, Toral, & Bernal).

ESTUDIO HIDRÁULICO Y ANÁLISIS CLIMÁTICO:
PARQUE LOGÍSTICO CEDI GRUPO REY – RÍO CABRA

7.1.2.4 Matriz de riesgo climático

Basado en los análisis de exposición para las variables de precipitación, viento y sismo, se presenta la matriz de riesgo climático (Tabla 12):

Tabla 12: Matriz de riesgo para el proyecto según clasificación del Consell de Mallorca, 2018.

Tipo de Riesgo Climático	Nivel actual del riesgo	Cambio previsto en intensidad	Cambio previsto en frecuencia	Marco temporal	Riesgo = P x C	Tipología
Precipitación Extrema	Moderado	Aumenta	Aumenta	Largo plazo	$7 \times 5 = 35$	R2
Inundaciones	Bajo	No cambia	Aumenta	Medio plazo	$9 \times 3 = 27$	R2
Sequías	Bajo	No cambia	Aumenta	Medio plazo	$3 \times 3 = 9$	R1
Tormentas	Bajo	Aumenta	No cambia	Corto plazo	$9 \times 4 = 36$	R2
Velocidad media viento	Bajo	No cambia	No cambia	Corto plazo	$3 \times 0 = 0$	R0
Velocidad máxima viento	Moderado	Aumenta	No cambia	Medio plazo	$4 \times 5 = 20$	R1
Actividad sísmica	Baja	No cambia	No cambia	Largo plazo	$5 \times 9 = 45$	R2
Riesgo	Tipología					
Alto	R3					
Moderado	R2					
Bajo	R1					
Despreciable	R0					

7.1.3 Análisis de Capacidad Adaptativa

La capacidad adaptativa se refiere a la capacidad que tiene un lugar a enfrentar las consecuencias positivas o negativas que se generan debido al cambio climático. Según el documento Índice de Vulnerabilidad Climática al Cambio Climático del Ministerio de Ambiente, una forma de medir la capacidad adaptativa de un lugar está basado en las distancias que tiene el proyecto a vías de comunicación terrestre. La zona de estudio es colindante con una de las vías de comunicación más importante del país como lo es la Carretera Panamericana. Esta cercanía le permite al lugar a adaptarse ante un posible evento debido a cambio climático, tanto positivo como negativo, incluyendo un posible evento de inundación por precipitación

ESTUDIO HIDRÁULICO Y ANÁLISIS CLIMÁTICO: PARQUE LOGÍSTICO CEDI GRUPO REY – RÍO CABRA

extrema, incremento en las intensidades medias del viento y por actividad sísmica. El mismo documento categoriza la zona donde está el proyecto como una zona de alta capacidad adaptativa, tal como se puede observar en la Ilustración 24.

Este parámetro indica que entre más cerca esté la zona de una red vial, más alta será su capacidad de adaptación al cambio climático. En una posible situación de inundación debido a un evento extremo generado por cambio climático, la zona de estudio se encuentra a 8 km del corregimiento de Pacora, a 8 km de Tocumen y a 28 km hasta San Miguelito en la ciudad de Panamá donde se podría recibir ayuda de diversas entidades y grupos humanitarios. Adicionalmente, tiene un radio de 10 km donde encuentran diversos centros de salud, clínicas médicas y los principales hospitales de ciudad de Panamá está a 35 km de distancia, aproximadamente.

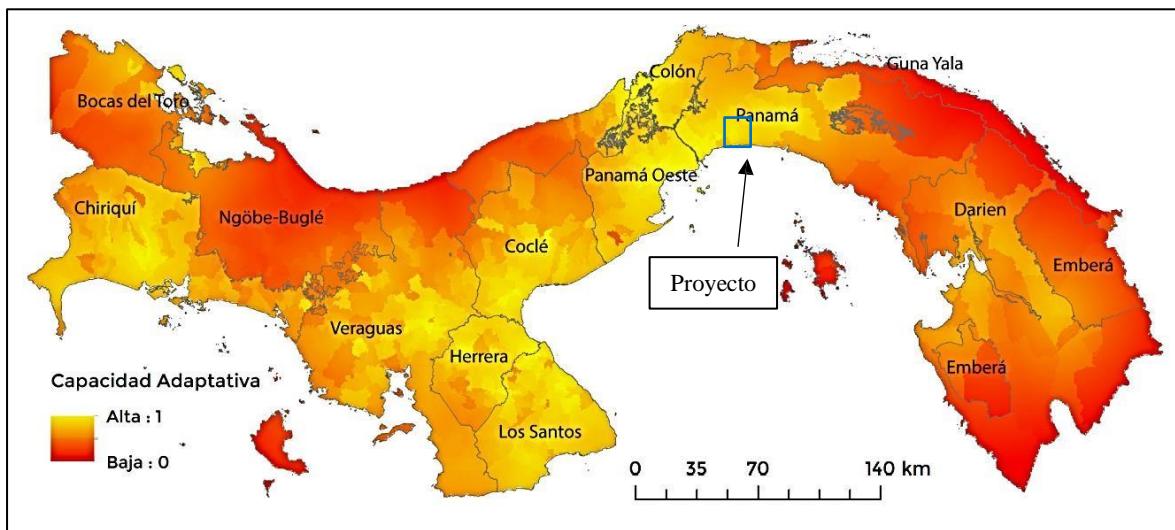


Ilustración 24: Mapa de capacidad adaptativa al cambio climático presentado por el Ministerio de Ambiente.

7.1.4 Análisis de Identificación de Peligros o Amenazas

El mayor peligro o amenaza identificado para el proyecto es una posible inundación por cambios extremos en las precipitaciones locales debido a cambio climático. Basados en esta premisa, se realiza un análisis de la variación de la precipitación máxima extrema.

ESTUDIO HIDRÁULICO Y ANÁLISIS CLIMÁTICO: PARQUE LOGÍSTICO CEDI GRUPO REY – RÍO CABRA

El incremento de la precipitación anual calculada para cambio climático se tomó como 14.3% de incremento de la precipitación acumulada por los hietogramas sintéticos y manteniendo las proporciones horarias de las IDF para una nueva simulación hidráulica incluyendo cambio climático (Ilustración 25).

Se corrió una tercera modelación hidráulica con la modificación en los hietogramas incluyendo el incremento del 14.3% debido al escenario supuesto de cambio climático. Las nuevas secuencias de escorrentía se presentan en la Ilustración 26. Esta tercera modelación generó mapas de escorrentía que muestran profundidades menores a 0.40 m en las zonas de flujo superficial en el polígono del proyecto con similar cobertura superficial cuando se compara con proyecto sin y con condiciones de cambio climático. Esto es un indicativo de que las estructuras del pavimento y el concreto acabado colocados a una elevación de 10.70 m es seguro ya que estos 0.40 m de flujo superficial es drenado por los sistemas de drenaje del proyecto.

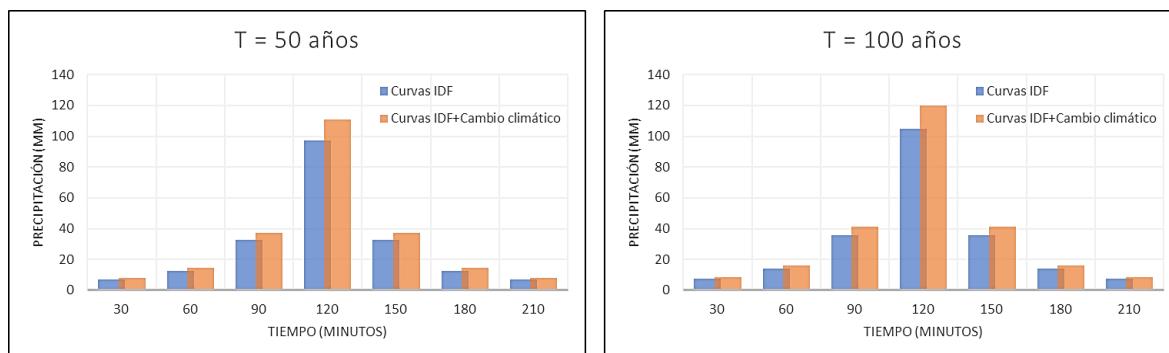


Ilustración 25: Hietogramas sintéticos incluyendo cambio climático.

ESTUDIO HIDRÁULICO Y ANÁLISIS CLIMÁTICO:
PARQUE LOGÍSTICO CEDI GRUPO REY – RÍO CABRA

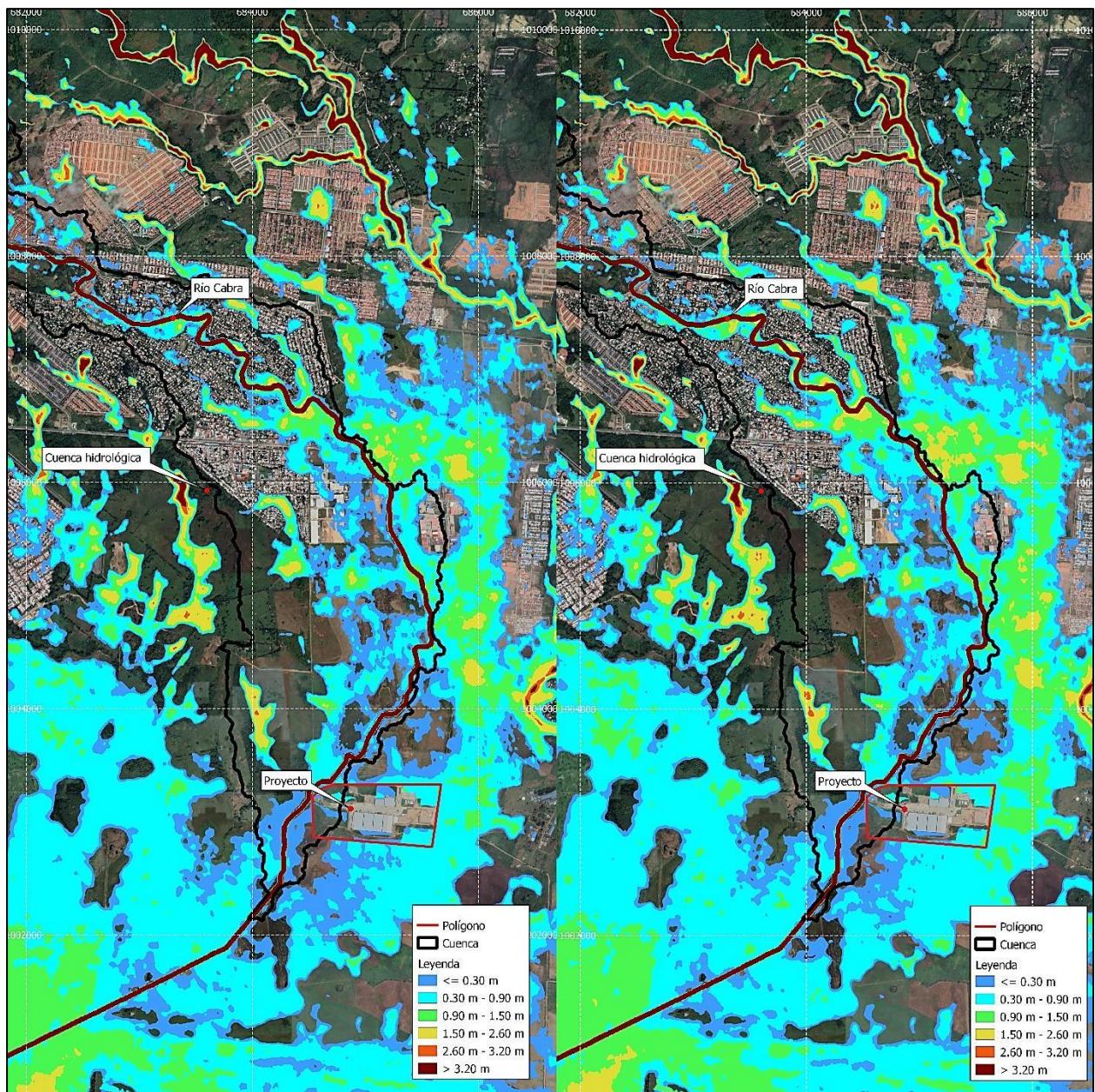


Ilustración 26: Mapas de escorrentía con profundidades máximas generadas en el modelo hidráulico de HEC-RAS en función de la profundidad del agua incluyendo escenario de cambio climático.

ESTUDIO HIDRÁULICO Y ANÁLISIS CLIMÁTICO: PARQUE LOGÍSTICO CEDI GRUPO REY – RÍO CABRA

Los nuevos hidrogramas que incluyen el efecto de cambio climático se presentan en la Ilustración 27. En estos hidrogramas se pueden observar un ligero incremento de los caudales máximos que ahora varían entre 320.3 m³/s para el periodo de retorno de 50 años y 329.9 m³/s para el periodo de retorno de 100 años (Ilustración 27). Los resultados de análisis hidráulico incluyendo la variación de precipitación por cambio climático muestran que el área de cobertura de escorrentía de la del río Cabra aún no se extiende hasta el polígono del proyecto (Ilustración 28).

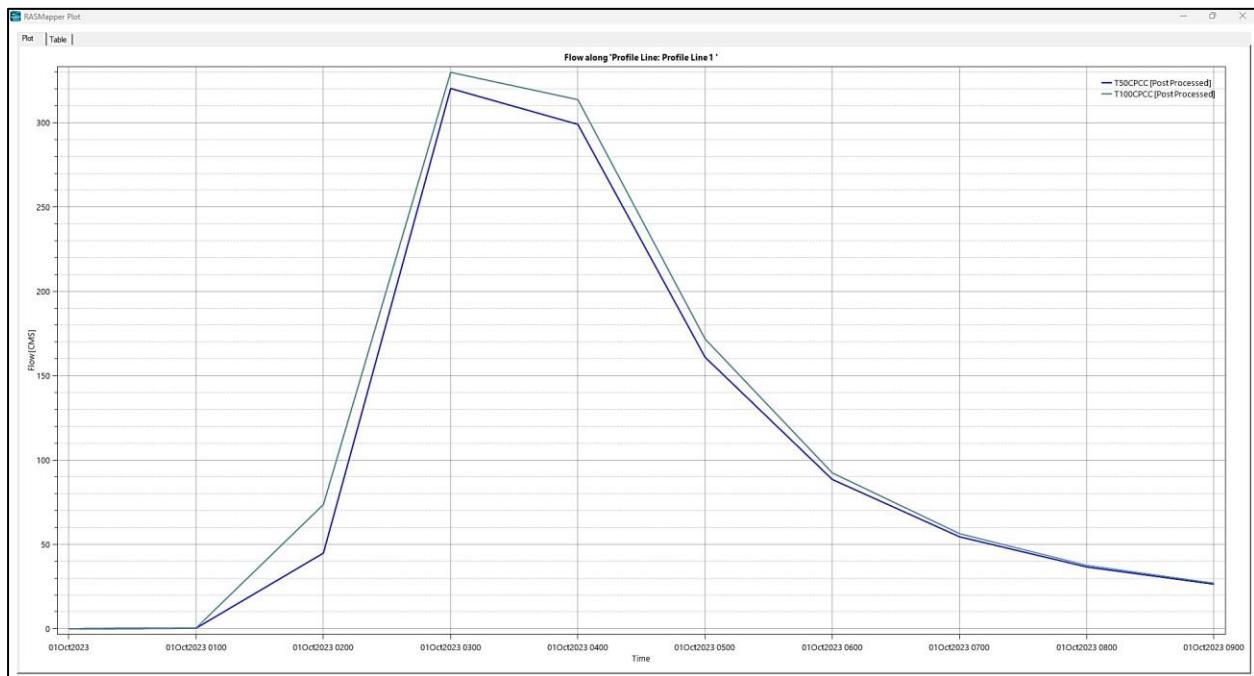


Ilustración 27: Hidrogramas generados a la entrada del polígono del proyecto para diferentes períodos de retorno incluyendo escenario de cambio climático.

ESTUDIO HIDRÁULICO Y ANÁLISIS CLIMÁTICO: PARQUE LOGÍSTICO CEDI GRUPO REY – RÍO CABRA

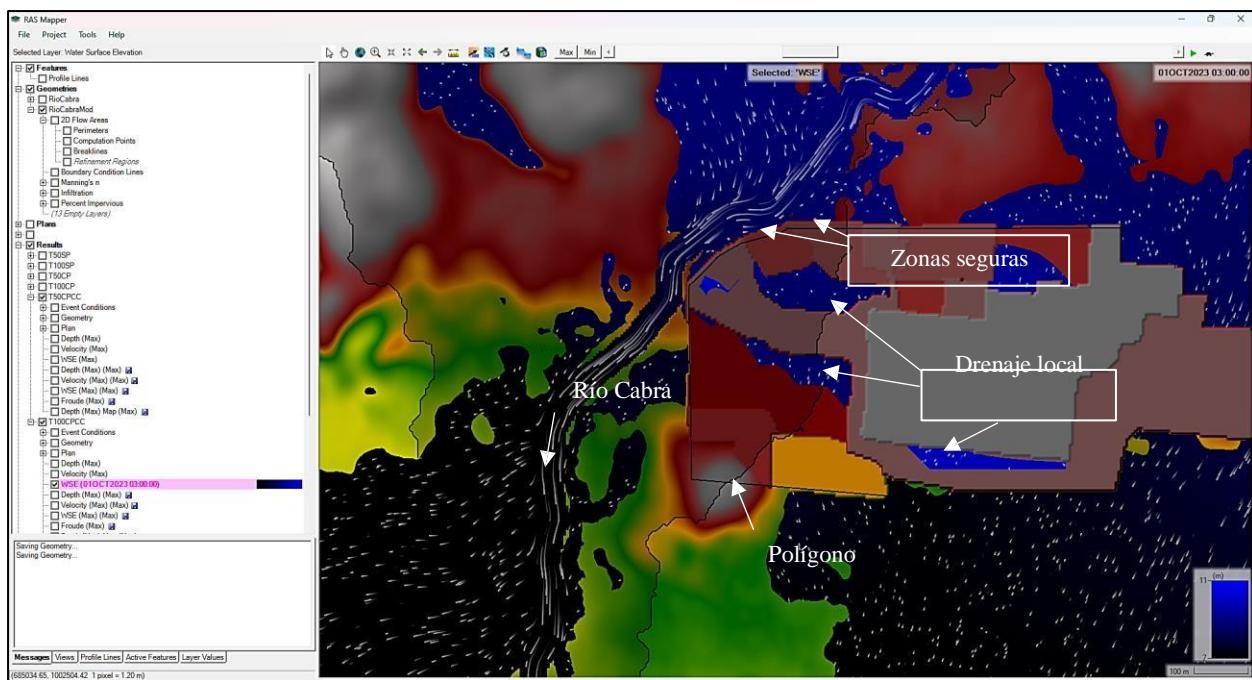


Ilustración 28: Cauce del río Cabra no inunda el polígono en condición con proyecto con cambio climático. Datos de nivel de la superficie del agua en metros.

7.2 Vulnerabilidad por Factores Naturales en la Cuenca

Utilizando la matriz de riesgo desarrollada para el proyecto y el mapa de capacidad adaptativa de generado por el Ministerio de Ambiente, se desarrolla la matriz de vulnerabilidad (Tabla 13). El coeficiente de capacidad adaptativa del Ministerio de Ambiente se estima con un valor de 0.90 lo que se transfiere a la escala del Consell de Mallorca como una capacidad adaptativa significativa CA3 con una puntuación de 3.

ESTUDIO HIDRÁULICO Y ANÁLISIS CLIMÁTICO: PARQUE LOGÍSTICO CEDI GRUPO REY – RÍO CABRA

Tabla 13: Matriz de vulnerabilidad para el proyecto según clasificación del Consell de Mallorca, 2018.

Vulnerabilidad	Tipo	Vulnerabilidad = R x CA	Tipología
Precipitación Extrema	Física y ambiental	$35 \times 3 = 105$	V2
Inundaciones	Física y ambiental	$27 \times 3 = 81$	V1
Sequías	Física y ambiental	$9 \times 3 = 27$	V1
Tormentas	Física y ambiental	$36 \times 3 = 108$	V2
Velocidad media viento	Física y ambiental	$0 \times 3 = 0$	V0
Velocidad máxima viento	Física y ambiental	$20 \times 3 = 60$	V1
Actividad sísmica	Física y ambiental	$45 \times 3 = 135$	V2
Riesgo	Tipología		
Alto	V3		
Moderado	V2		
Bajo	V1		
Despreciable	V0		

A modo comparativo, los resultados obtenidos en la matriz de vulnerabilidad se pueden contrastar con los indicadores de vulnerabilidad presentados por el Ministerio de Ambiente (Ilustración 29). Las vulnerabilidades estimadas con la metodología del Consell de Mallorca varían entre las tipologías bajas (V1) y moderadas (V2). Se puede observar que en el mapa la vulnerabilidad sugerida por el Ministerio de Ambiente es entre baja y media por lo que la estimación se considera satisfactoria.

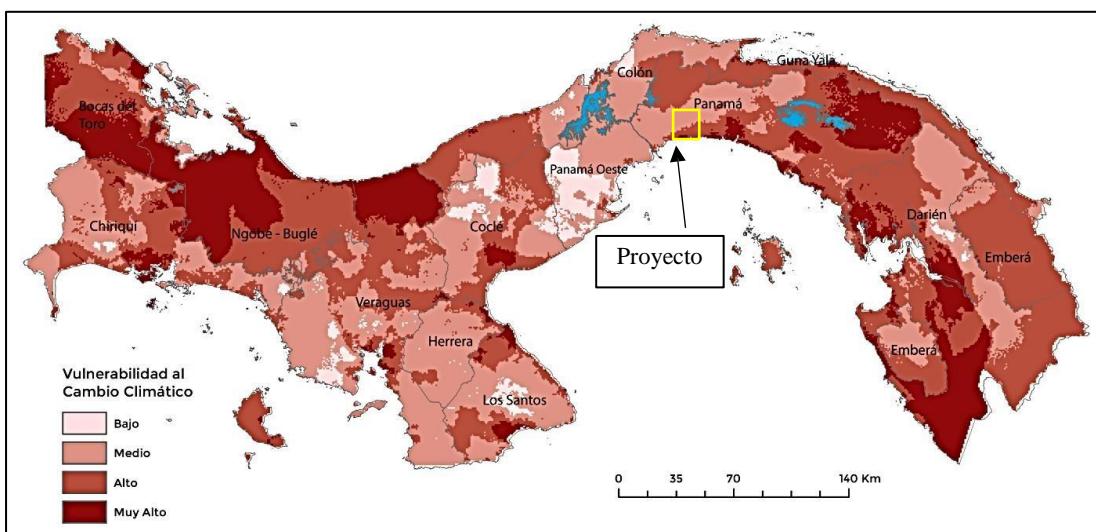
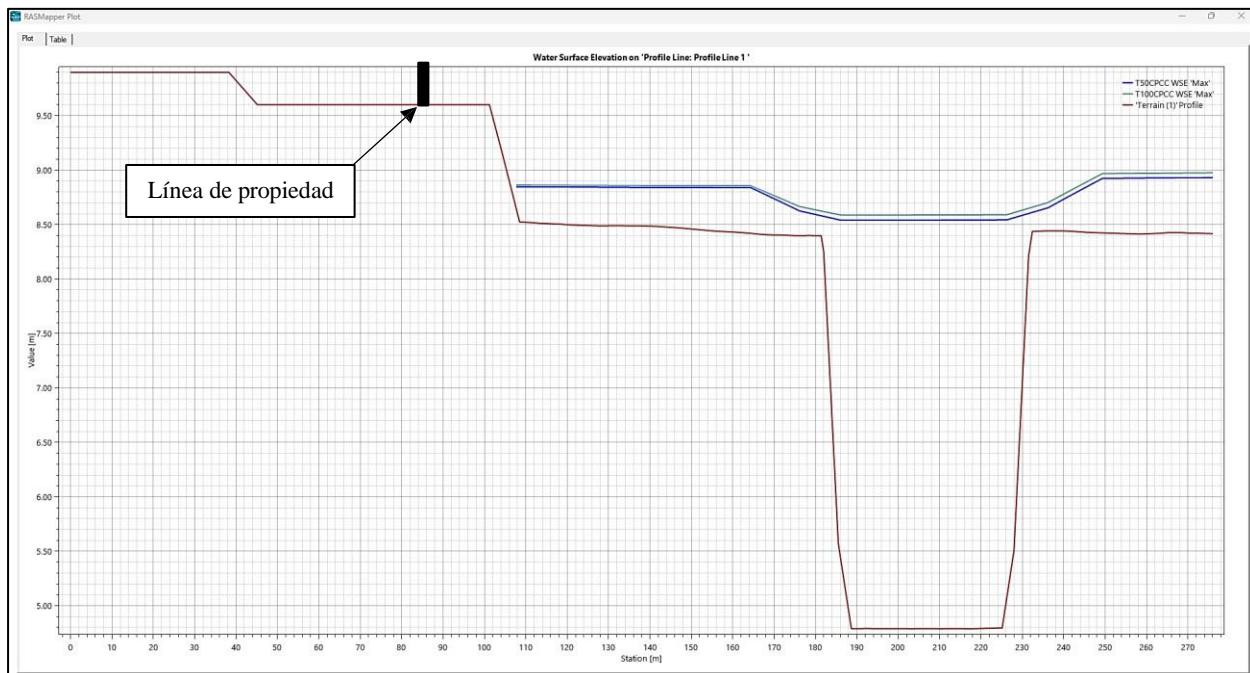


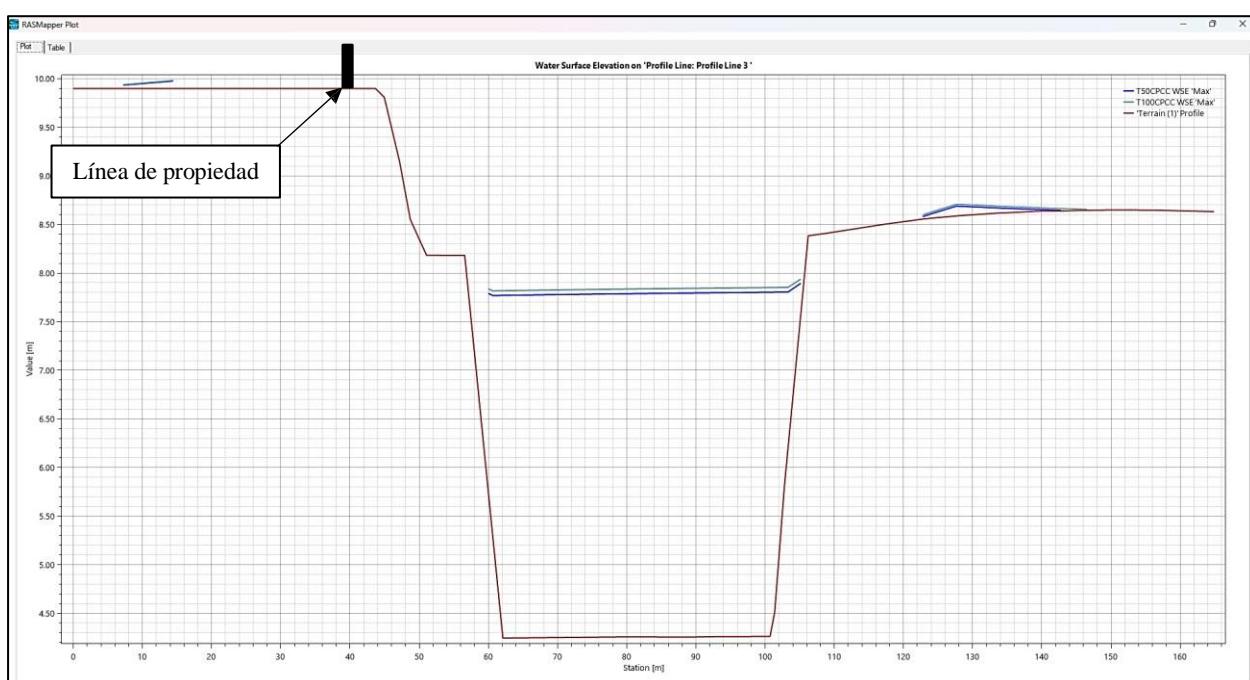
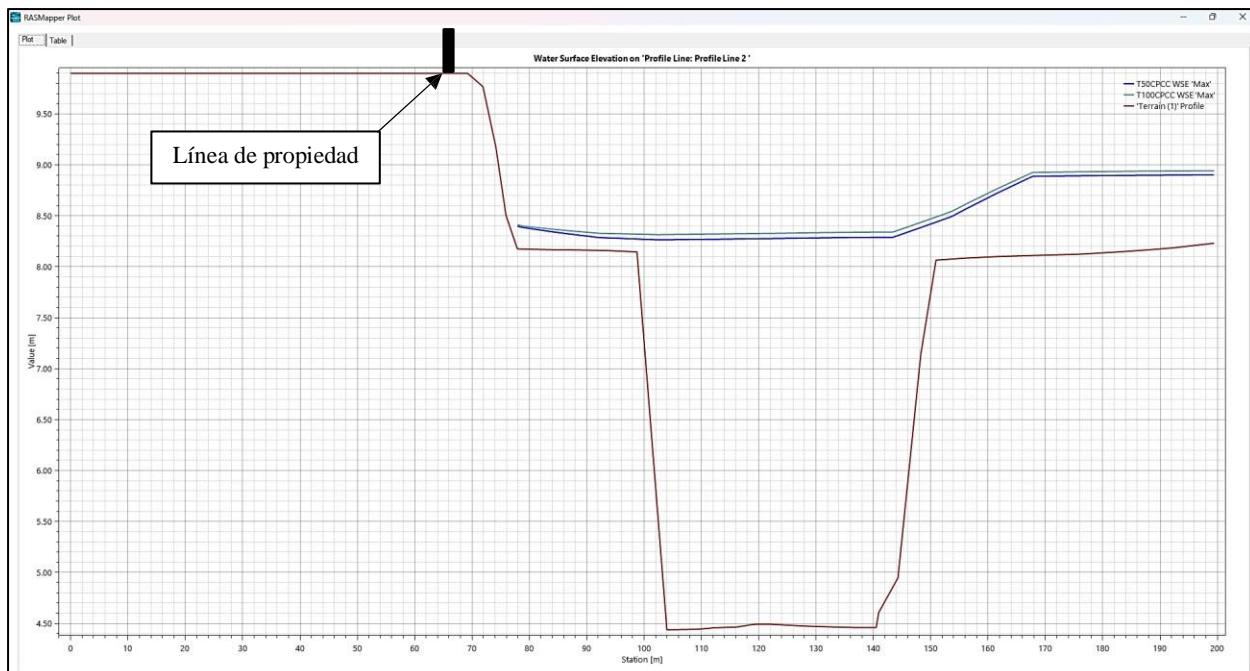
Ilustración 29: Mapa de índice de vulnerabilidad al cambio climático presentado por el Ministerio de Ambiente.

ESTUDIO HIDRÁULICO Y ANÁLISIS CLIMÁTICO: PARQUE LOGÍSTICO CEDI GRUPO REY – RÍO CABRA

Adicionalmente se evaluó el riesgo de inundación y su posible afectación al polígono donde está localizado el proyecto. Para la evaluación se utilizaron el modelo hidráulico en condición con proyecto y como posible escenario por cambio climático extremo. Se tomaron las 4 sección transversales (perfil 1 al 4) para comparar los niveles del terreno con los niveles máximos alcanzados en las simulaciones de cambio climático para los períodos de retorno de 50 y 100 años. Se puede corroborar que la escorrentía ante un posible evento de inundación no cubre el área del polígono, alcanzando una elevación del espejo de agua máximo estimado de 8.86 m (Ilustración 30).



ESTUDIO HIDRÁULICO Y ANÁLISIS CLIMÁTICO: PARQUE LOGÍSTICO CEDI GRUPO REY – RÍO CABRA



ESTUDIO HIDRÁULICO Y ANÁLISIS CLIMÁTICO: PARQUE LOGÍSTICO CEDI GRUPO REY – RÍO CABRA

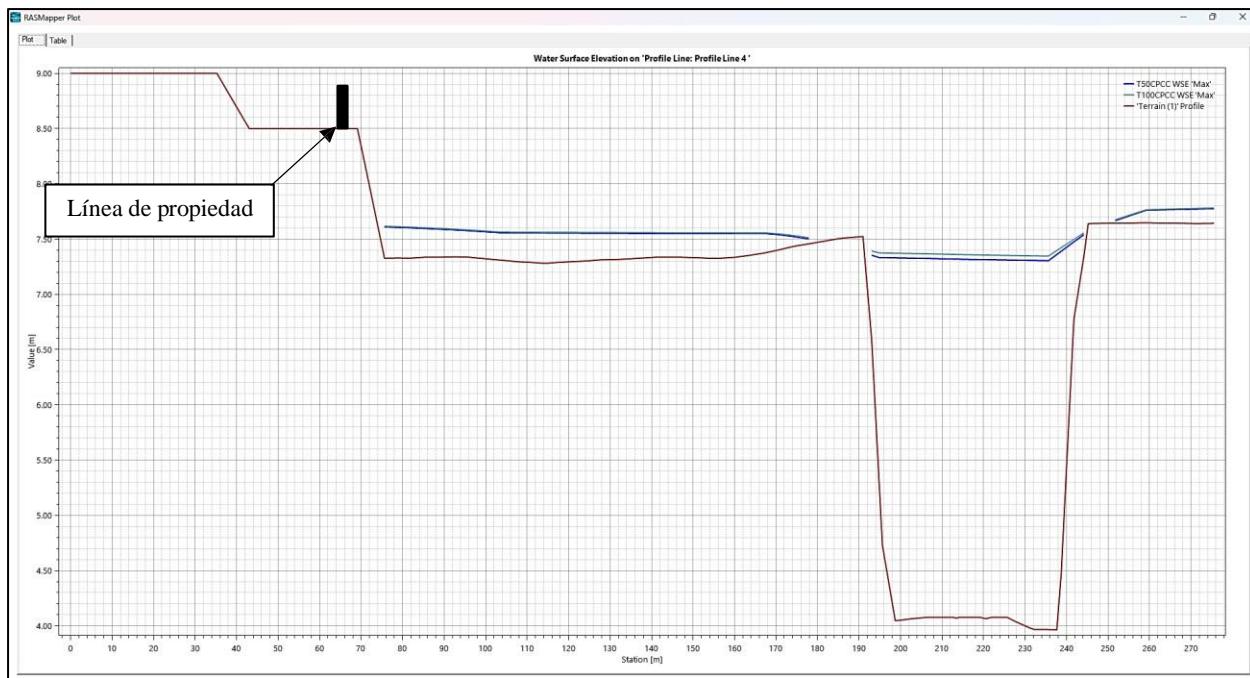


Ilustración 30: Cuatro secciones transversales del río Cabra en la zona colindante con el proyecto con mayor potencial de inundación. Color rojo es el terreno natural, azul es nivel de agua en condición con proyecto y cambio climático para un periodo de retorno de 50 años y verde con proyecto y cambio climático para un periodo de retorno de 100 años.

ESTUDIO HIDRÁULICO Y ANÁLISIS CLIMÁTICO: PARQUE LOGÍSTICO CEDI GRUPO REY – RÍO CABRA

A continuación, se presenta un resumen de los parámetros importantes modelados para la condición con proyecto (Tabla 5):

Tabla 14: Parámetros importantes resultantes de la modelación de la condición con proyecto.

Línea Perfil	Estación (m)	T retorno (años)	Qmax (m ³ /s)	Elev fondo (m)	Elev agua (m)	Vmax (m/s)	Espejo (m)	Froude max
1	3+800	50	320.31	4.79	8.84	2.54	126.74	0.42
2	3+960	50	331.28	4.49	8.28	3.06	74.37	0.49
3	4+100	50	334.22	4.26	7.79	3.12	48.34	0.50
4	4+260	50	34.58	4.08	7.36	3.12	52.72	0.61
1	3+800	100	329.87	4.79	8.86	2.55	126.92	0.42
2	3+960	100	343.39	4.49	8.33	3.07	74.59	0.49
3	4+100	100	346.67	4.26	7.84	3.18	48.47	0.50
4	4+260	100	346.79	4.08	7.32	3.18	53.06	0.61

7.3 Cambio Climático – Año 2070

En el año 2022 el Ministerio de Ambiente publicó un documento titulado Escenario de Cambio Climático para la República de Panamá – Periodos 2030, 2050 y 2070, donde se presentan las tendencias futuras para las variables de precipitación y temperatura. Los anexos presentados en el documento presentan tabulados con información de precipitación acumulada cuatrimestral utilizando diferentes modelos de predicción. Este estudio utilizó la información del modelo climático FIO-ESM-2-0 con precipitación SSP1-2.6 para la región Pacífico Oriental de Panamá. Las predicciones actuales indican una tendencia de incremento entre el periodo actual, el año 2030 y el año 2050. Se puede observar que para el año 2070 hay una predicción de disminución de la precipitación cuando se compara con el año 2050 (Ilustración 31).

Los análisis hidráulicos realizados al proyecto colindante con el río Cabra incluyeron modelaciones con proyecciones de incremento a 2050. Dado que los resultados para predicción de inundaciones incluyendo proyecto con cambio climático arrojan niveles de terracería seguros y que la proyección a 2070 es una tendencia a disminuir la precipitación máxima anual, no se realizó una modelación hidráulica para el 2070 ya que la información actual que se tiene predice la condición de precipitación más extrema posible.

ESTUDIO HIDRÁULICO Y ANÁLISIS CLIMÁTICO:
PARQUE LOGÍSTICO CEDI GRUPO REY – RÍO CABRA

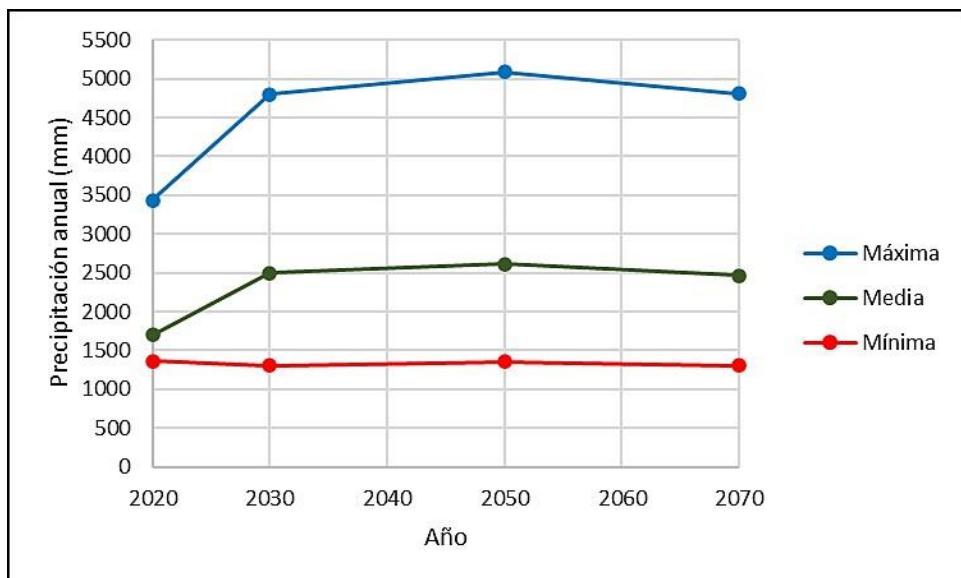


Ilustración 31: Precipitación acumulada anual. Tendencias de cambio climático de Panamá para la región Pacífico Oriental según el Ministerio de Ambiente, 2022.

8. Conclusiones

Todas las simulaciones realizadas luego de las modificaciones hechas en el polígono del proyecto arrojan que un nivel de terracería de 10.70 m es seguro. A pesar de que las simulaciones con las curvas IDF arrojan altas intensidades las cuales con cambio climático aumentarían aún más, en ningún caso se presenta una inundación del polígono del proyecto por aguas provenientes del río Cabra. Basado en los análisis realizados, es muy poco probable que ocurra una inundación en la zona estudiada. El proyecto presenta un riesgo moderado ante eventos de cambio climático los cuales se compensan por su significativa capacidad adaptativa lo cual resulta en un índice de vulnerabilidad bajo con sensibilidad moderada.

ESTUDIO HIDRÁULICO Y ANÁLISIS CLIMÁTICO:
PARQUE LOGÍSTICO CEDI GRUPO REY – RÍO CABRA

9. Bibliografía

- Chen, T., Collet, F., & Di Luca, A. (2024). Evaluation of ERA5 precipitation and 10-m wind speed associated with extratropical cyclones using station data over North America. *International Journal of Climatology*.
- Fábrega, J., Nakaegawa, T., Pinzón, R., Nakayama, K., Arakawa, O., & Sousei, T. (2013). Hydroclimate projections for Panama in the late 21st Century. *Hydrological Research Letters*, 7(2), 23-29.
- Ho, C., Mojica, A., Toral, J., & Bernal, N. (s.f.). Característica del evento sísmico de julio 4 de 2009 registrado por la red de movimientos fuertes de la UTP, Panamá.
- Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura. (2021). *Reglamento de Diseño Estructural para la República de Panamá*. Panamá: Gaceta Oficial de Panamá No 29594-A.
- Ministerio de Ambiente. (2019). *Estrategia Nacional de Cambio Climático 2050*. Gaceta Oficial de Panamá.
- Ministerio de Ambiente. (2021). *Índice de Vulnerabilidad al Cambio Climático de la República de Panamá*. Gobierno Nacional de Panamá.
- Te Chow, V., Maidment, D. R., & Mays, L. W. (1988). *Applied hydrology*.
- United States Geological Survey. (s.f.). Obtenido de USGS: www.usgs.gov