

Estudio hidrológico e hidráulico para el proyecto

Agro Playa Blanca Fase II

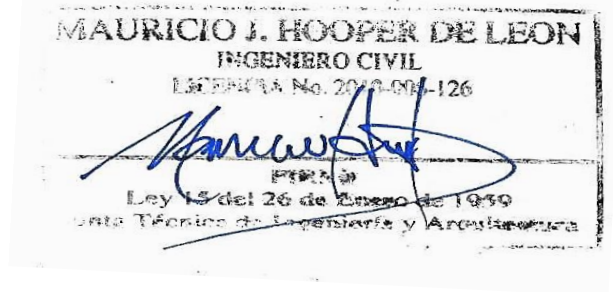
25 de julio de 2023

Preparado para:

Agro Playa Blanca, S.A.

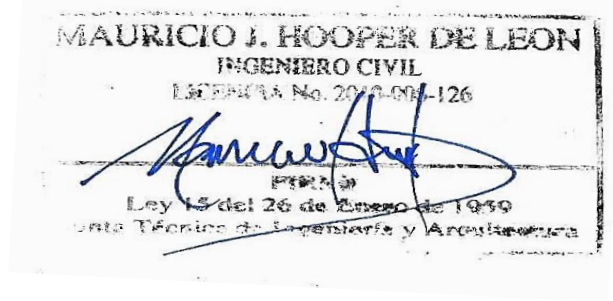
Preparado por:

Ing. Mauricio Hooper, PhD



Contenido

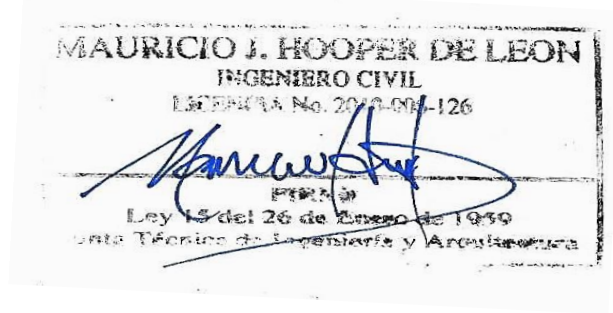
Contenido	2
Índice de Ilustraciones	3
Índice de Tablas	4
1. Introducción	5
2. Localización Regional.....	5
3. Cuenca de Drenaje	6
4. Régimen Hidrológico.....	7
4.1 Precipitación	7
4.2 Precipitaciones Máximas Estimadas	12
4.3 Hietogramas Sintéticos	12
4.4 Factores de Reducción	15
5. Modelación Hidráulica.....	16
5.1 Caudales Máximos.....	19
5.2 Profundidades Máximas.....	20
6. Bibliografía	21



ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO: AGRO PLAYA BLANCA FASE II

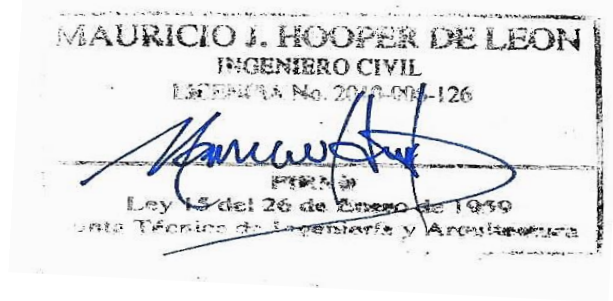
Índice de Ilustraciones

Ilustración 1: Localización regional del área de estudio.....	5
Ilustración 2: Cuenca de drenaje generada en QGIS con información satelital.....	6
Ilustración 3: Precipitaciones diarias para la cuenca de estudio en la zona baja.	8
Ilustración 4: Precipitación acumulada anual en la cuenca de estudio en la zona baja.....	8
Ilustración 5: Precipitación media mensual para la cuenca de estudio en la zona baja.	9
Ilustración 6: Eventos de precipitación mensual promedio estimados en la cuenca de estudio en la zona baja.....	9
Ilustración 7: Precipitaciones diarias para la cuenca de estudio en la zona alta.	10
Ilustración 8: Precipitación acumulada anual en la cuenca de estudio en la zona alta.	11
Ilustración 9: Precipitación media mensual para la cuenca de estudio en la zona alta.	11
Ilustración 10: Eventos de precipitación mensual promedio estimados en la cuenca de estudio en la zona alta.....	12
Ilustración 11: Análisis de probabilidad en término del periodo de retorno para la zona baja utilizando las funciones de Weibull (puntos azules) y Valor Extremo I (línea naranja oscura).....	13
Ilustración 12: Análisis de probabilidad en término del periodo de retorno para la zona alta utilizando las funciones de Weibull (puntos azules) y Valor Extremo I (línea naranja oscura).....	13
Ilustración 13: Hietogramas sintéticos generados a partir de las curvas IDF de Panamá para diferentes periodos de retorno utilizando el método de bloques alternos simétrico.	14
Ilustración 14: Mapa de uso de suelo obtenido de Sentinel-2 10-Meter Land Use/Land Cover (ESRI). ...	16
Ilustración 15: Mapa de tipo de suelo hidrológico de Global Hydrologic Soil Groups (EARTHDATA)..	17
Ilustración 16: Hidrogramas generados a la salida de la cuenca para diferentes periodos de retorno.	19
Ilustración 17: Sección transversal en la zona del proyecto para la condición típica de precipitación.....	20
Ilustración 18: Sección transversal en la zona del proyecto para la condición típica de precipitación.....	21



Índice de Tablas

Tabla 1: Precipitaciones estimadas con Valor Extremo I y con las curvas IDF para diferentes periodos de retorno.....	14
Tabla 2: Valores de número de curva y abstracción inicial utilizadas en el modelo de HEC-RAS.....	18



ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO: AGRO PLAYA BLANCA FASE II

1. Introducción

El presente informe corresponde a un estudio hidrológico e hidráulico para el análisis de precipitación e inundación de una cuenca donde se localiza Buenaventura en Río Hato, Antón. 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.

2. Localización Regional

El área de estudio se encuentra localizada en el corregimiento de Río Hato, distrito de Antón, provincia de Coclé, República de Panamá (Ilustración 1). Tiene coordenadas UTM 592028E y 922105N, aproximadamente. Se encuentra a unos 5 km de la Carretera Panamericana, cerca de lugares como Río Hato, Farallón y Santa Clara.

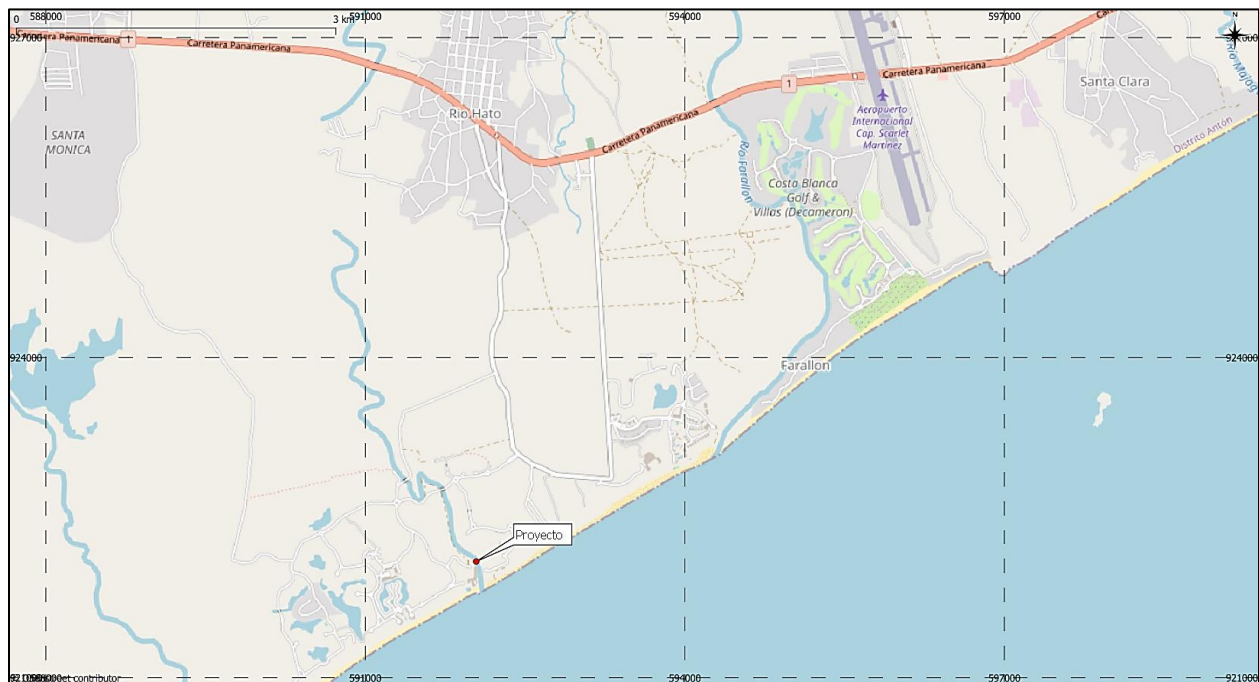
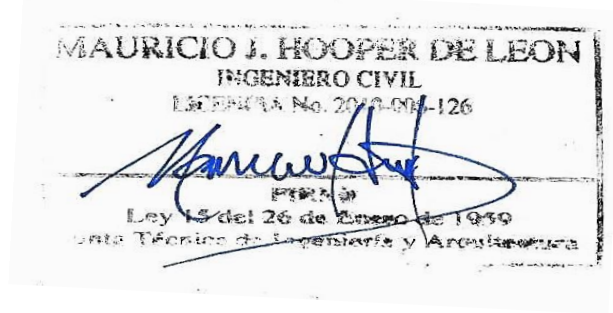


Ilustración 1: Localización regional del área de estudio





ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO: AGRO PLAYA BLANCA FASE II

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 900 msnm. La cuenca de drenaje propuesta tiene un área aproximada de 72 km². La red hídrica de la cuenca está compuesta por un río principal conocido como Río Hato (Ilustración 2) y varias fuentes secundarias como Quebrada Aguas Claras cerca de la desembocadura, y otras entre la zona media y la zona alta como lo son Quebrada Coralillo, Quebrada Los Pollos, Quebrada Las Brujas y Quebrada Campana.

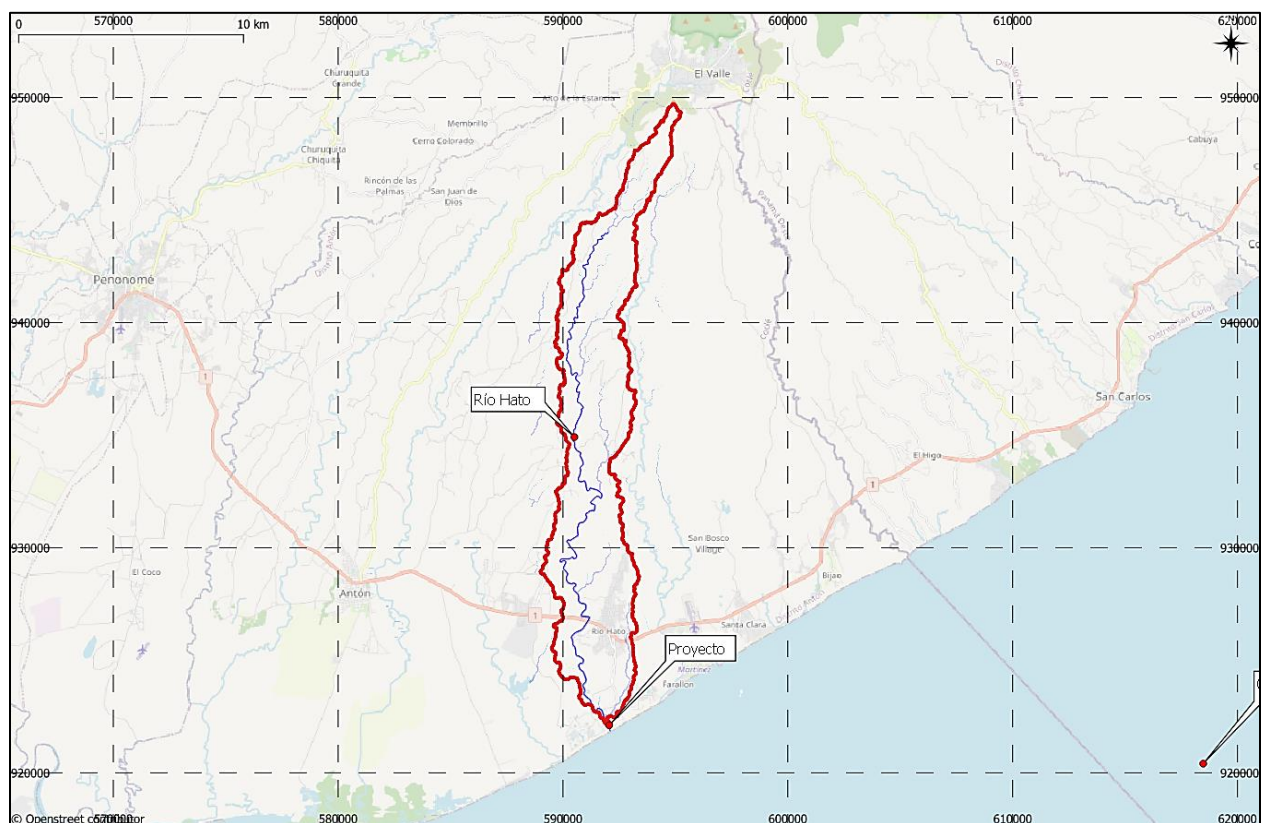
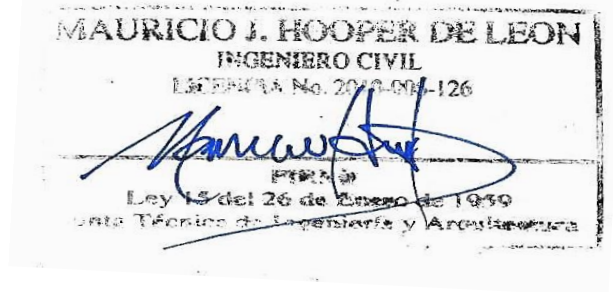


Ilustración 2: Cuenca de drenaje generada en QGIS con información satelital.



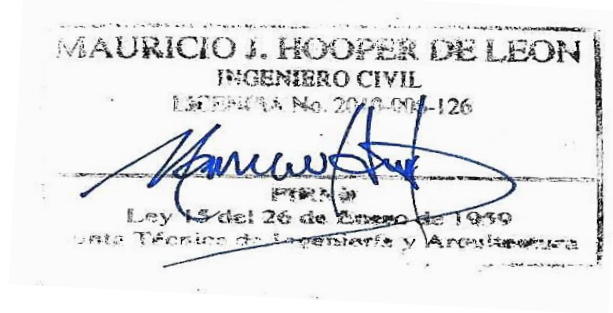
4. Régimen Hidrológico

La información de precipitación diaria de la cuenca de estudio fue extraída del programa Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station Data (CHIRPS). Actualmente se tienen 42 años de información diaria registrada, entre los años 1981 y 2022, con lo cual se pueden estimar la precipitación máxima diaria, acumulada mensual y media anual. La cuenca tiene un área de drenaje de 72 km² se puede considerar una cuenca de medio tamaño por lo cual la distribución espacial de la precipitación no es uniforme. Se realizaron dos análisis de la precipitación, una para la zona baja (Océano Pacífico) y otra para la zona alta (Valle de Antón). El análisis de las precipitaciones fue realizado en conjunto con distribuciones Weibull y Valor Extremo I. Adicionalmente se utilizó las curvas IDF aprobadas para la cuenca de los ríos entre el Antón y el Caimitillo para generar los hietogramas de las simulaciones.

4.1 Precipitación

La información registrada por el programa CHIRPS muestra la variabilidad de las precipitaciones diarias en la cuenca de estudio. La información cuenta con 15340 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.

Para la zona baja, la precipitación diaria máxima registrada es de 73 mm (Ilustración 3). La precipitación media anual es de 1309 mm, variando entre los 996 y 1735 mm. Se puede observar que la precipitación acumulada anual es bastante constante (Ilustración 4). La precipitación acumulada mensual varía principalmente entre 100 y 250 mm para los meses de mayo a noviembre (Ilustración 5). Para los meses de diciembre a abril se registran los meses de menor precipitación, con valores menores a los 50 mm, siendo marzo el mes de menor precipitación. Se puede observar también las precipitaciones diarias promedios (Ilustración 6) las cuales tienen una ocurrencia de 20 días aproximadamente durante los meses de mayo a noviembre.



ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO: AGRO PLAYA BLANCA FASE II

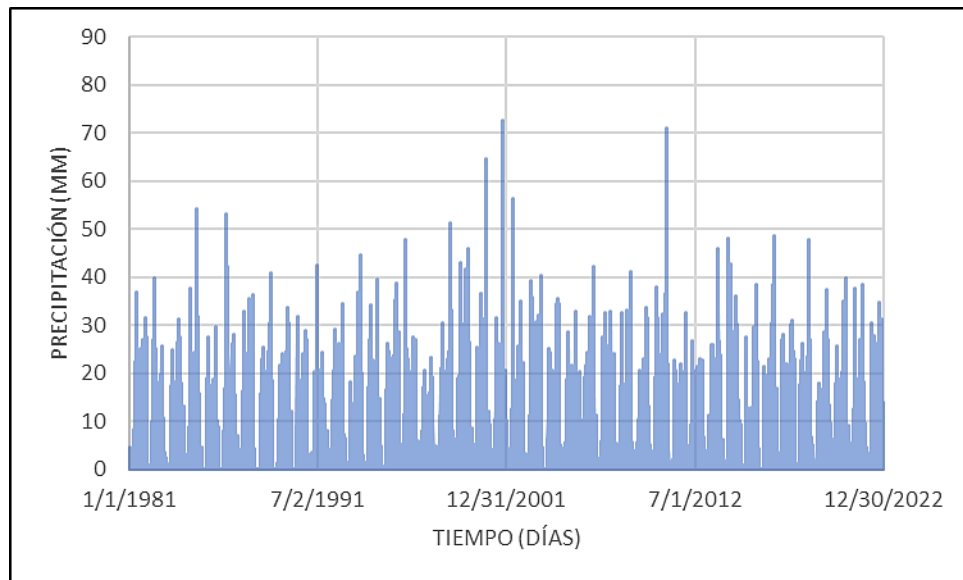


Ilustración 3: Precipitaciones diarias para la cuenca de estudio en la zona baja.

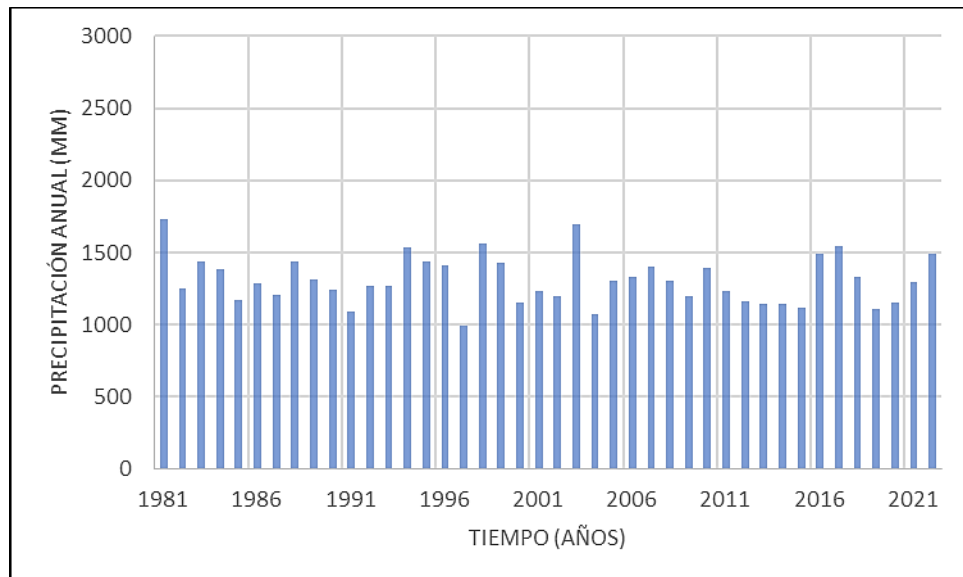
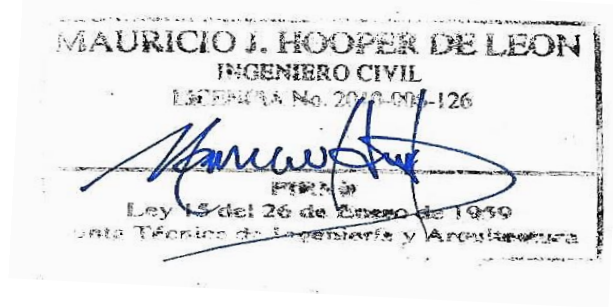


Ilustración 4: Precipitación acumulada anual en la cuenca de estudio en la zona baja.



ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO: AGRO PLAYA BLANCA FASE II

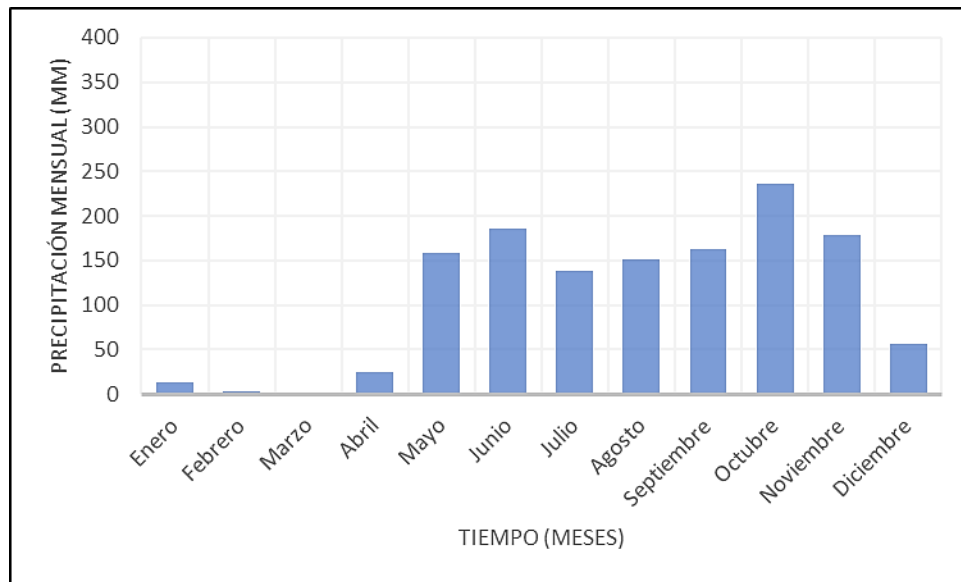


Ilustración 5: Precipitación media mensual para la cuenca de estudio en la zona baja.

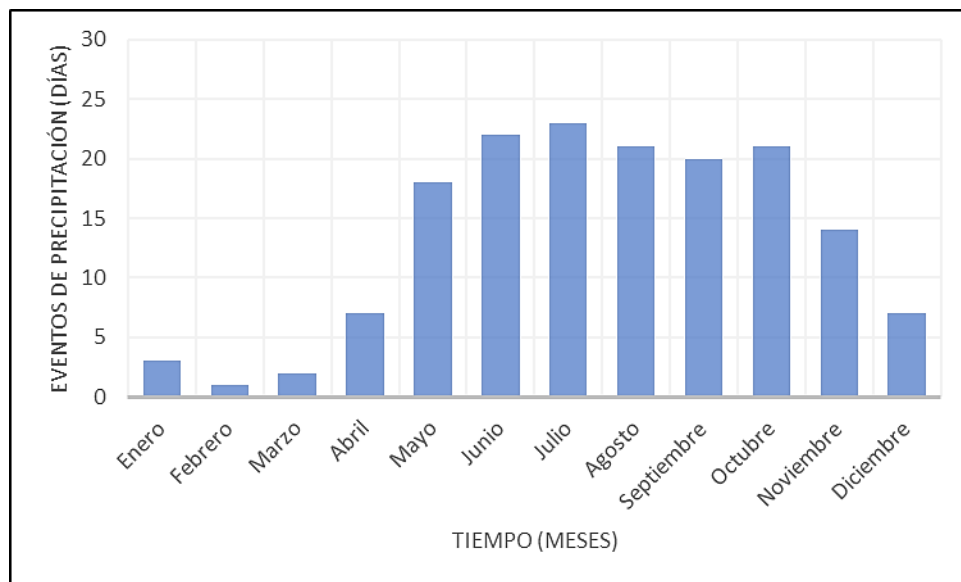
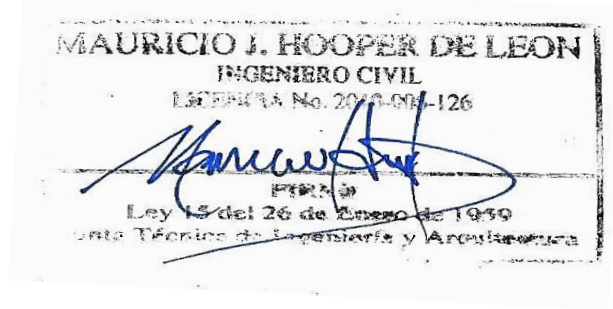


Ilustración 6: Eventos de precipitación mensual promedio estimados en la cuenca de estudio en la zona baja.



ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO: AGRO PLAYA BLANCA FASE II

Para la zona alta, la precipitación diaria máxima registrada es de 82 mm (Ilustración 7). La precipitación media anual es de 2080 mm, variando entre los 1532 y 2818 mm. Se puede observar que la precipitación acumulada anual es variable con años donde se registraron acumulaciones anuales alejadas del promedio (Ilustración 8). La precipitación acumulada mensual varía principalmente entre 200 y 350 mm para los meses de mayo a noviembre (Ilustración 9). Para los meses de diciembre a abril se registran los meses de menor precipitación, con valores menores a los 100 mm, siendo marzo el mes de menor precipitación. Se puede observar también las eventos de precipitación promedio (Ilustración 10) las cuales tienen una ocurrencia de 23 días aproximadamente durante los meses de mayo a noviembre.

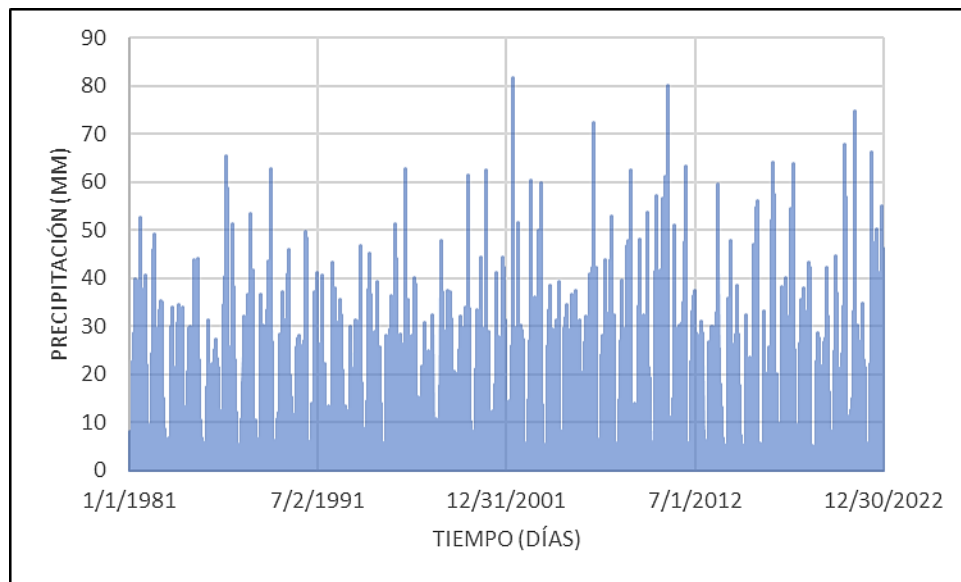
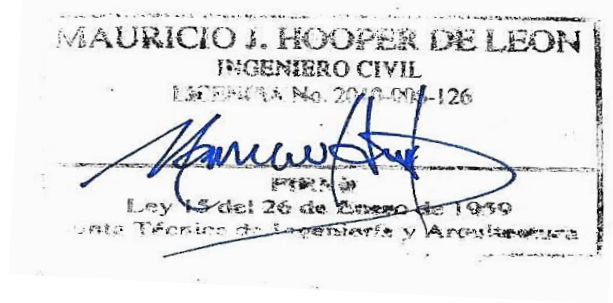


Ilustración 7: Precipitaciones diarias para la cuenca de estudio en la zona alta.



ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO:
AGRO PLAYA BLANCA FASE II

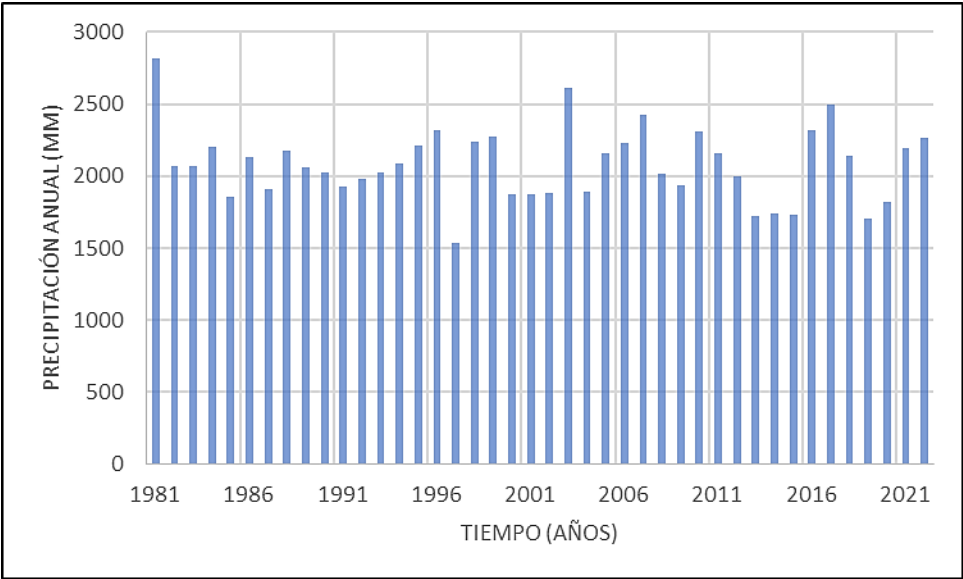


Ilustración 8: Precipitación acumulada anual en la cuenca de estudio en la zona alta.

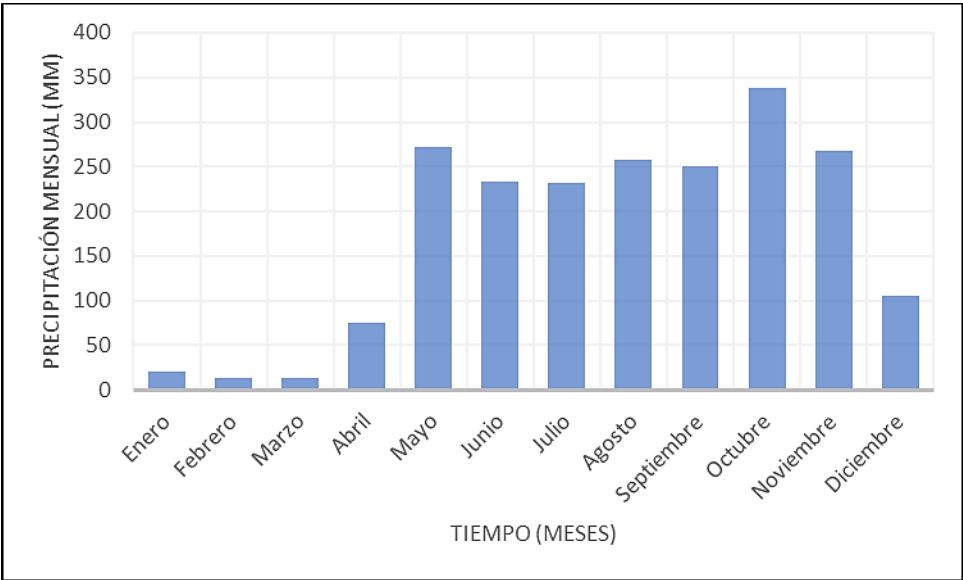
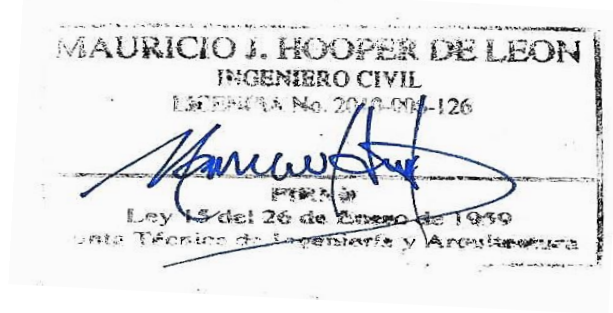


Ilustración 9: Precipitación media mensual para la cuenca de estudio en la zona alta.



ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO: AGRO PLAYA BLANCA FASE II

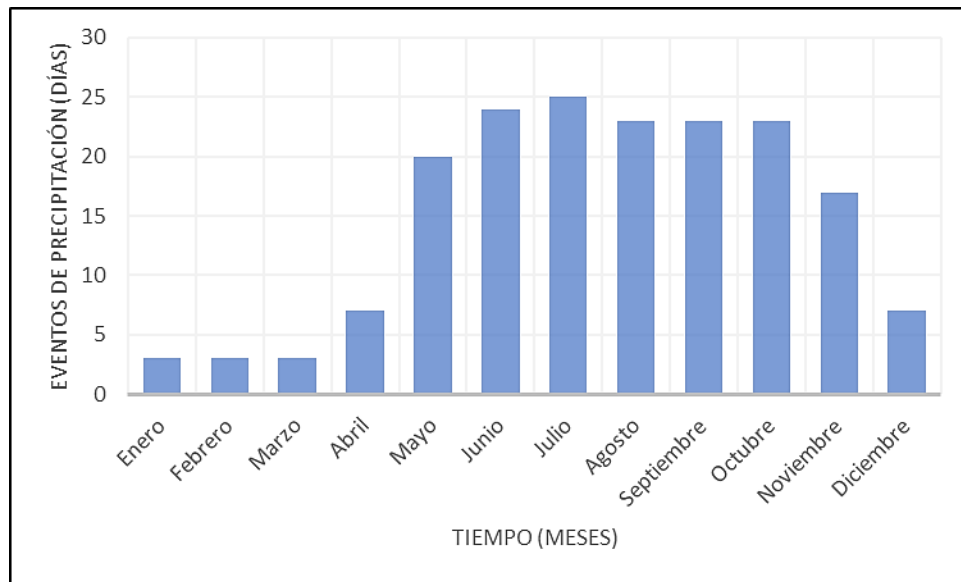


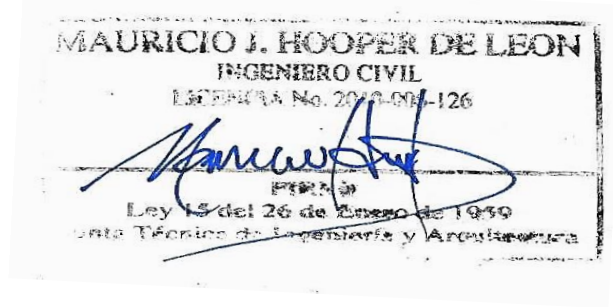
Ilustración 10: Eventos de precipitación mensual promedio estimados en la cuenca de estudio en la zona alta.

4.2 Precipitaciones Máximas Estimadas

Las precipitaciones máximas estimadas son basadas en los registros CHIRPS. Se capturaron las máximas precipitaciones anuales registradas en la cuenca, se utilizó la distribución de Weibull y la de Valor Extremo I tanto para la zona baja (Ilustración 11) como la zona alta (Ilustración 12) con valor de corrección 1.25 en ambas para estimar las precipitaciones esperadas con periodos de retorno de 10, 20, 50 y 100 años.

4.3 Hietogramas Sintéticos

La red de drenaje de la cuenca está compuesta principalmente por el Río Hato cual no tiene registros de caudal disponibles. Dada la falta de datos registrados en el río, se realizan diversas modelaciones hídricas e 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 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 la cuenca entre el río Antón y el Caimito. Utilizando el método de bloques alternos simétricos se obtienen los hietogramas sintéticos para los periodos de retorno



ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO: AGRO PLAYA BLANCA FASE II

de 10, 20, 50 y 100 años. Los resultados de las precipitaciones acumuladas calculadas con las curvas IDF son similares a las estimadas utilizando la función de probabilidad del Valor Extremo I (Tabla 1) por lo cual se utilizan los hietogramas producidos por las curvas IDF.

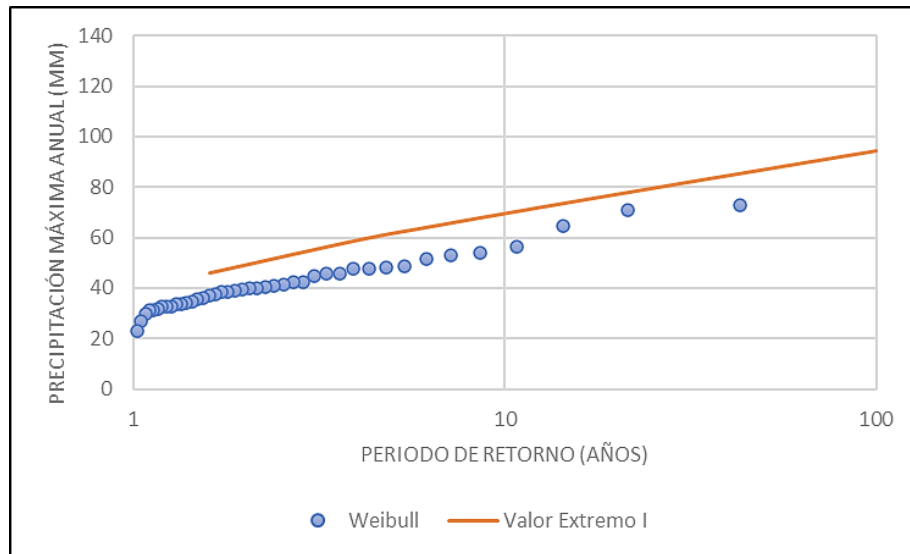


Ilustración 11: Análisis de probabilidad en término del periodo de retorno para la zona baja utilizando las funciones de Weibull (puntos azules) y Valor Extremo I (línea naranja oscura).

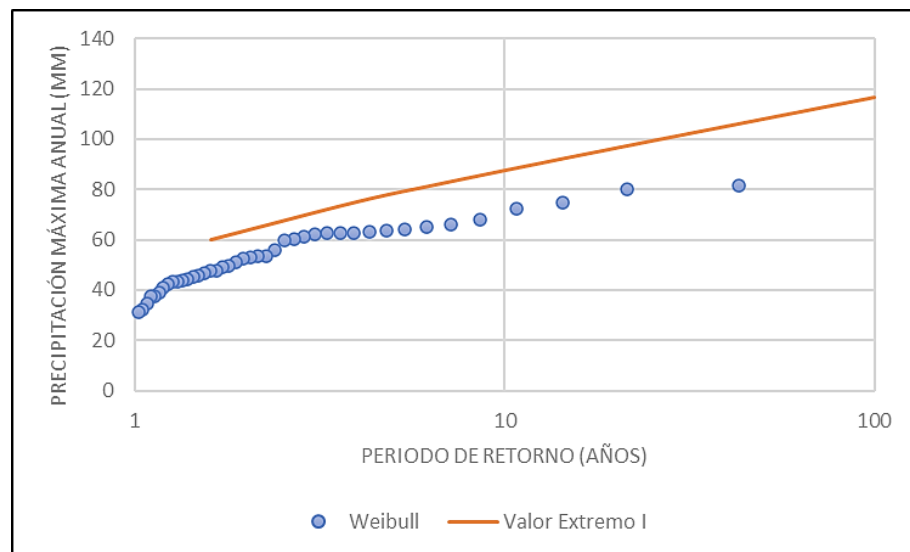
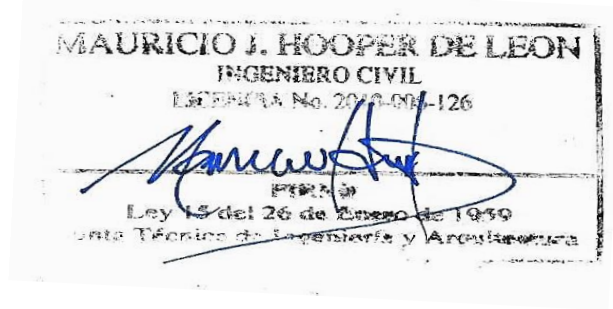


Ilustración 12: Análisis de probabilidad en término del periodo de retorno para la zona alta utilizando las funciones de Weibull (puntos azules) y Valor Extremo I (línea naranja oscura).



ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO: AGRO PLAYA BLANCA FASE II

Los resultados de las precipitaciones acumuladas calculadas con las curvas IDF no son similares a las estimadas utilizando la función de probabilidad del Valor Extremo I (Tabla 1) por lo cual se propone un factor de reducción para los hietogramas producidos por las curvas IDF.

Tabla 1: Precipitaciones estimadas con Valor Extremo I y con las curvas IDF para diferentes periodos de retorno.

Periodo de retorno (años)	Método Valor Extremo I - zona baja (mm)	Método Valor Extremo I - zona alta (mm)	Método de bloques alternos (mm)
10	70	88	114
20	77	97	126
50	87	108	143
100	94	117	155

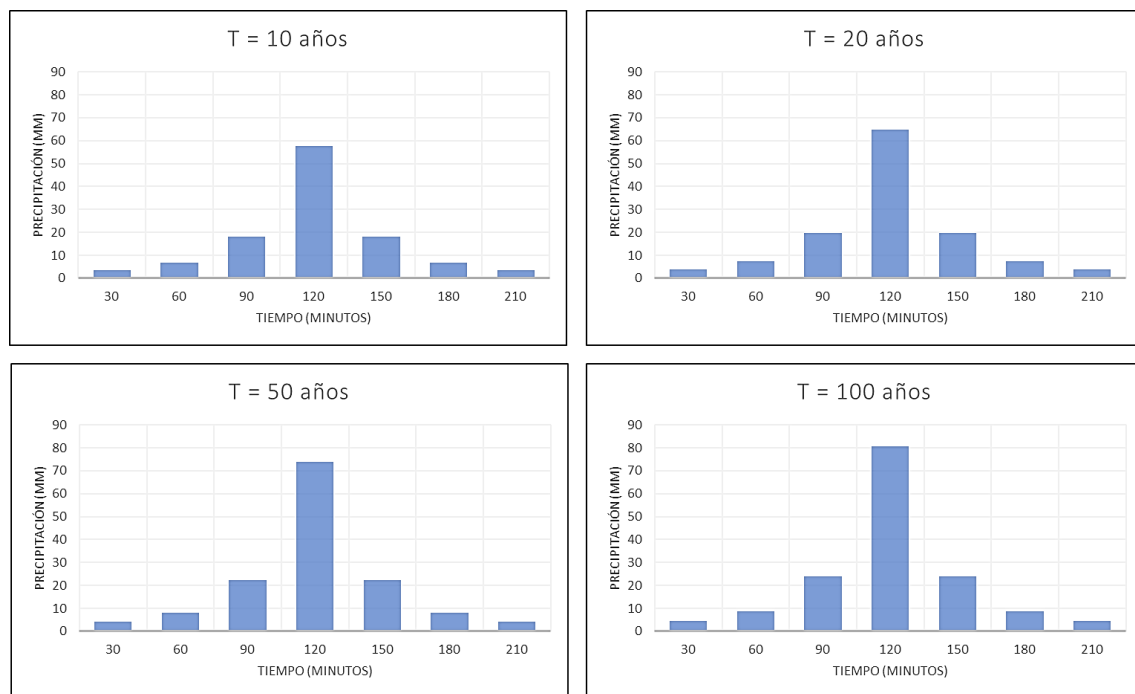
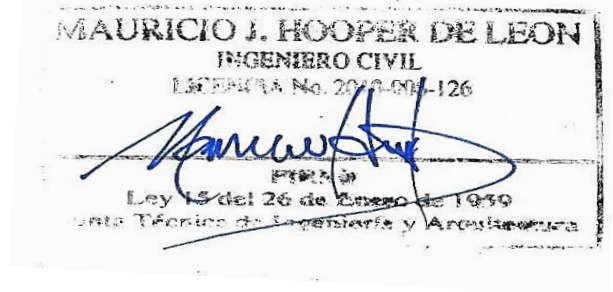


Ilustración 13: Hietogramas sintéticos generados a partir de las curvas IDF de Panamá para diferentes periodos de retorno utilizando el método de bloques alternos simétrico.



4.4 Factores de Reducción

Se proponen 2 razones por lo cual se utiliza factores de reducción para los hietogramas sintéticos. La primera razón es el tamaño de la cuenca. La cuenca se puede categorizar como de tamaño mediano en donde las variaciones espaciales de la precipitación son evidentes tal como lo muestran la Ilustración 11 e Ilustración 12. De este razonamiento se puede concluir que es poco probable que una precipitación extrema ocurra simultáneamente en toda la cuenca de estudio. Otra razón es que las curvas IDF recomendadas para la cuenca de estudio fueron generadas con estaciones meteorológicas en regiones cercanas a la cuenca de estudio más no exactamente en la región de la cuenca, por lo que es de esperarse cierta diferencia en las predicciones comparadas con observadas por los datos registrados en CHIRPS.

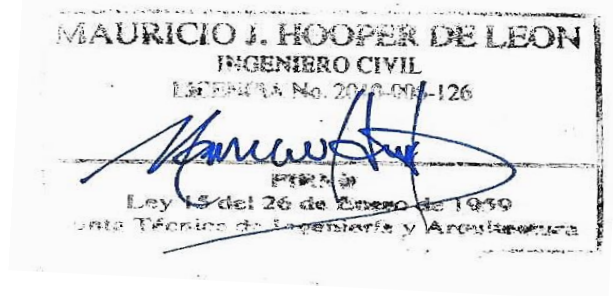
El US Weather Bureau publicó en 1958 un gráfico que relaciona un coeficiente de reducción de precipitación en función del área de la cuenca para diferentes duraciones. Para una duración de 3 horas el gráfico fue digitalizado y se generó una línea de tendencia cuadrática para estimar el coeficiente de reducción en función del área en millas cuadradas:

$$ARF \approx 0.0003A^2 - 0.1476A + 98.252$$

donde ARF es el coeficiente de reducción en porcentaje (%) y A es el área de la cuenca en millas cuadradas. De esta ecuación resulta un coeficiente de reducción de 0.94. Se utiliza 0.95 como factor de seguridad.

Para la reducción de las IDF basada en las observaciones CHIRPS se utilizó la información de la Tabla 1. De forma conservadora, se calcularon los coeficientes de cada periodo de retorno dividiendo el estimado para la zona alta utilizando los registros CHIRPS entre los recomendados por las IDF para finalmente ser promediados, resultando en un coeficiente de reducción de 0.76. Se utiliza 0.95 como factor de seguridad.

Tanto el coeficiente de 0.95 por área como el 0.95 por variaciones en precipitaciones observadas se aplican a los hietogramas de la Ilustración 13 para las modelaciones hidráulicas.



5. Modelación Hidráulica

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. Con el programa se estimaron los caudales máximos esperados utilizando un modelo hidrológico de precipitación con aproximadamente 35580 celdas de 50 m x 50 m y luego un modelo hidráulico con 10 secciones transversales colocadas después de la Quebrada Aguas Claras y antes de la desembocadura. La precipitación se aplicó uniforme espacialmente y la variación temporal está basada en los hietogramas sintéticos para una tormenta de 4 horas.

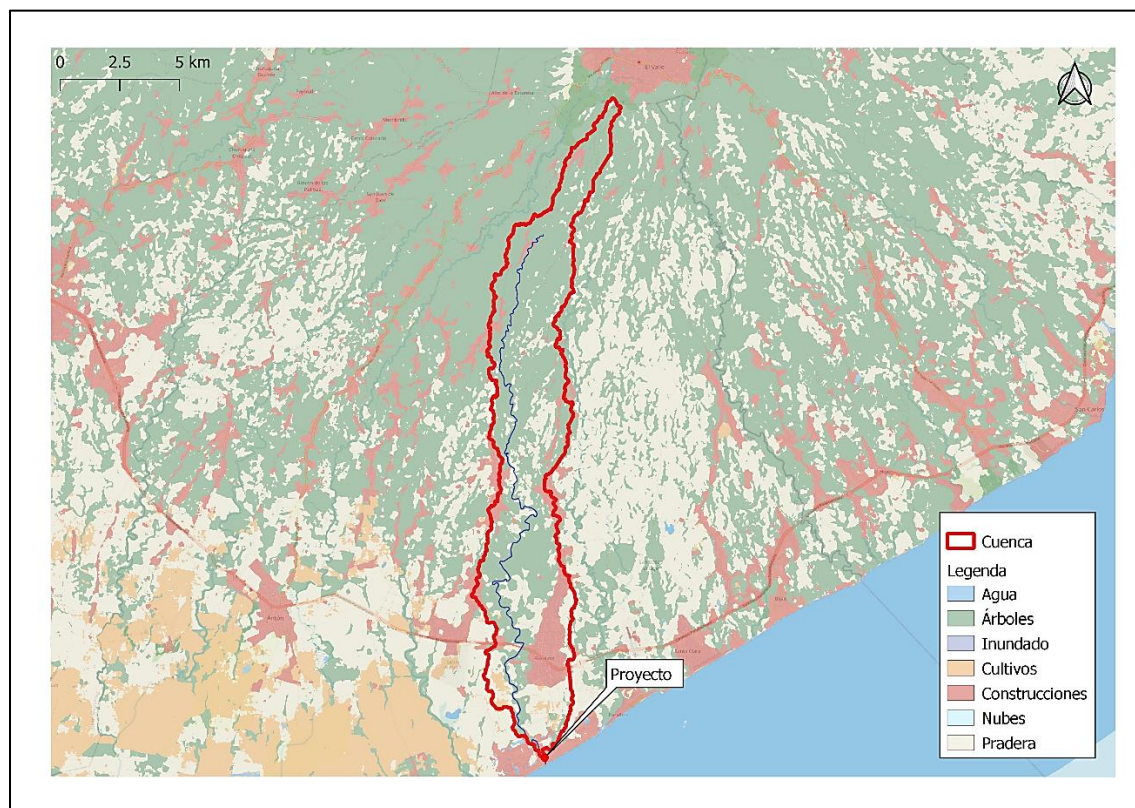
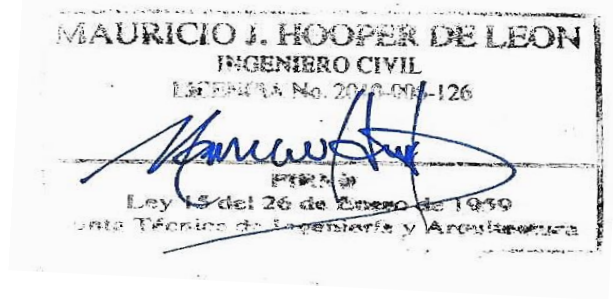


Ilustración 14: Mapa de uso de suelo obtenido de Sentinel-2 10-Meter Land Use/Land Cover (ESRI).

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



ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO: AGRO PLAYA BLANCA FASE II

$$t_c = \frac{14.6 L}{A^{0.1} S^{0.2}} = \frac{14.6 \cdot (36.7)}{72^{0.1} \cdot 0.0045^{0.2}}$$

$$t_c = 1030 \text{ min} = 17 \text{ horas}$$

donde L = longitud del cauce en km, A = área de la cuenca en km² y S = pendiente media de la cuenca. Basados en la estimación del tiempo de concentración, la simulación será 24 horas, 2 horas de lluvia promedio (20 mm), 4 horas de precipitación extrema y 18 horas de recesión.

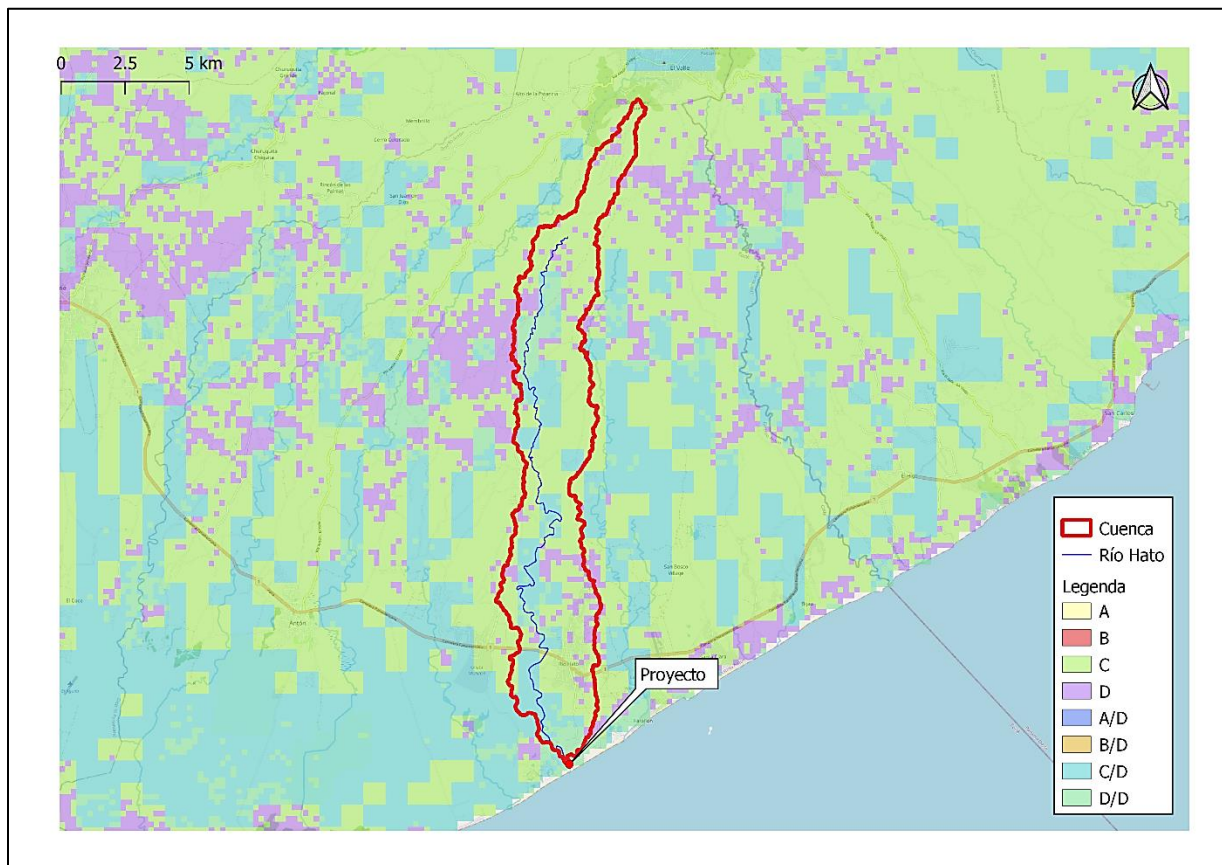
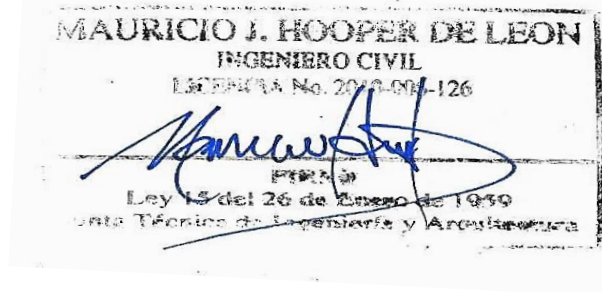


Ilustración 15: Mapa de tipo de suelo hidrológico de Global Hydrologic Soil Groups (EARTHDATA).

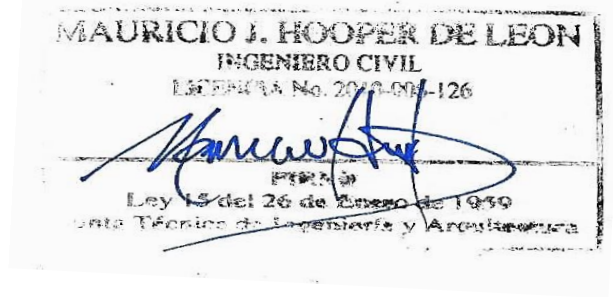


ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO: AGRO PLAYA BLANCA FASE II

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 14) y el mapa de tipo de suelo hidrológico descargado del sitio web de EARTHDATA (Ilustración 15). Los valores utilizados por combinación de mapa se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2: Valores de número de curva y abstracción inicial utilizadas en el modelo de HEC-RAS.

Tipo de suelo + Cobertura	CN	Ia	Tipo de suelo + Cobertura	CN	Ia
Mixed Forest : NoData	79	0.2	Developed - Open Space : NoData	84	0.1
Mixed Forest : D	79	0.2	Developed - Open Space : D	84	0.1
Mixed Forest : C	73	0.2	Developed - Open Space : C	79	0.1
Mixed Forest : CD	78	0.2	Developed - Open Space : CD	79	0.1
Mixed Forest : DD	83	0.2	Developed - Open Space : DD	84	0.1
Developed - High Intensity : NoData	84	0.1	Unclassified : NoData	75	0.1
Developed - High Intensity : D	84	0.1	Unclassified : D	75	0.1
Developed - High Intensity : C	79	0.1	Unclassified : C	75	0.1
Developed - High Intensity : CD	79	0.1	Unclassified : CD	75	0.1
Developed - High Intensity : DD	84	0.1	Unclassified : DD	75	0.1
Evergreen Forest : NoData	79	0.2	Grassland-Herbaceous : NoData	78	0.1
Evergreen Forest : D	79	0.2	Grassland-Herbaceous : D	78	0.1
Evergreen Forest : C	73	0.2	Grassland-Herbaceous : C	71	0.1
Evergreen Forest : CD	78	0.2	Grassland-Herbaceous : CD	75	0.1
Evergreen Forest : DD	83	0.2	Grassland-Herbaceous : DD	82	0.1
Developed - Low Intensity : NoData	84	0.1	Pasture-Hay : NoData	84	0.1
Developed - Low Intensity : D	84	0.1	Pasture-Hay : D	84	0.1
Developed - Low Intensity : C	79	0.1	Pasture-Hay : C	79	0.1
Developed - Low Intensity : CD	79	0.1	Pasture-Hay : CD	82	0.1
Developed - Low Intensity : DD	84	0.1	Pasture-Hay : DD	86	0.1



ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO: AGRO PLAYA BLANCA FASE II

5.1 Caudales Máximos

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 colocó una sección transversal en la salida con los cual se generaron hidrogramas para los diferentes periodos de retorno (Ilustración 16), variando sus valores máximos entre 200-280 m³/s. Dado que el río principal es una fuente hídrica de tipo perenne, se estiman valores mínimos variando entre 10-20 m³/s. La modelación se la precipitación diaria promedio (20 mm) arrojó caudales promedio diarios cerca de 20 m³/s.

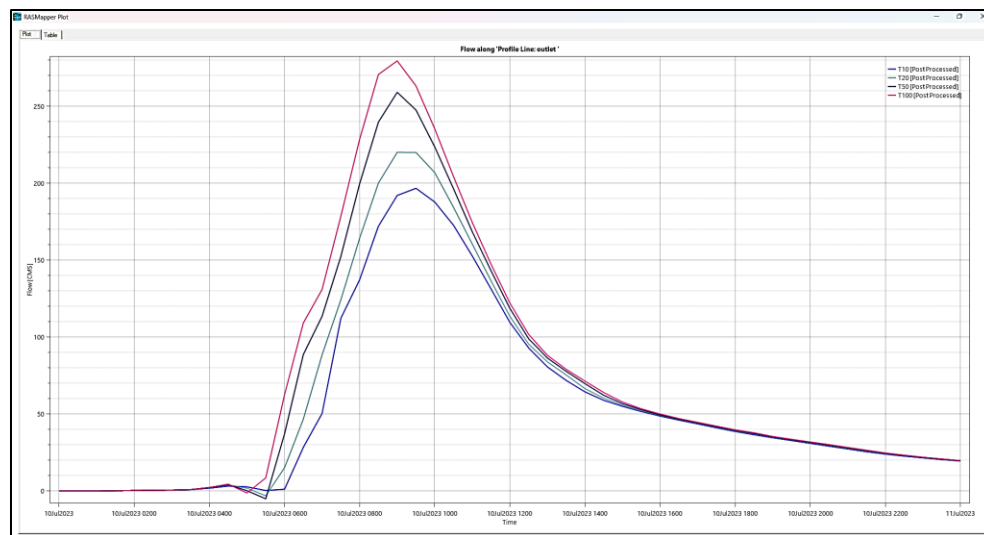
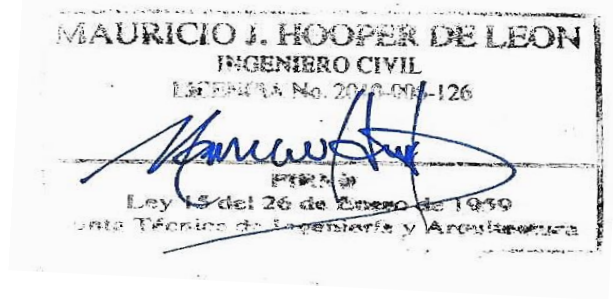


Ilustración 16: Hidrogramas generados a la salida de la cuenca para diferentes periodos de retorno.



ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO: AGRO PLAYA BLANCA FASE II

5.2 Profundidades Máximas

El modelo hidráulico generó secciones con distintos niveles de profundidad para la cuenca de estudio. Se evalúan dos condiciones principales, condición típica y condición extrema. Para la condición típica se analizó las precipitaciones CHIRPS y se concluye que cerca del 95% de las precipitaciones registradas son iguales o menores a 30 mm por lo cual se toma esta condición como la típica. En la Ilustración 17 se puede observar la sección funcionando a condición típica donde el espejo de agua alcanza un máximo de 10 m.

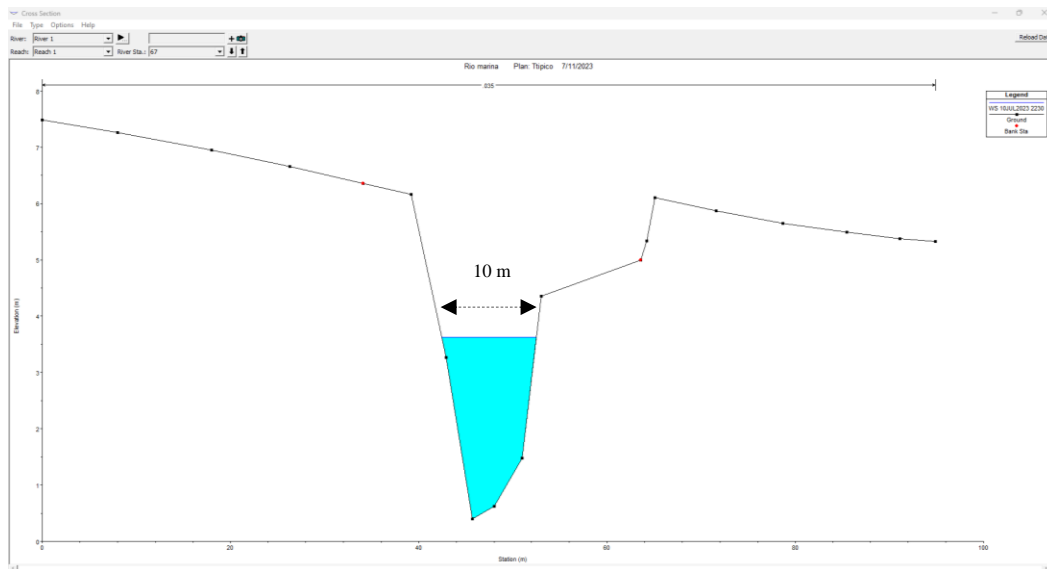
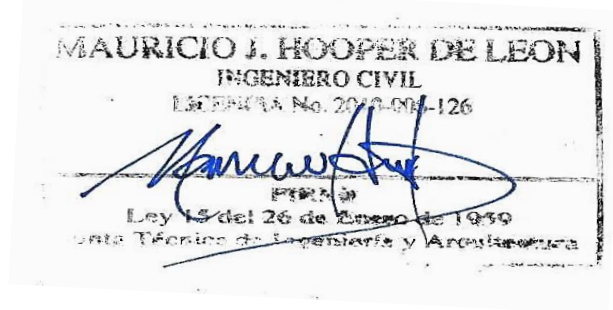


Ilustración 17: Sección transversal en la zona del proyecto para la condición típica de precipitación.

Para la condición extrema se modelaron los hidrogramas para los periodos de retorno de 10, 20, 50 y 100 años. Se generaron las planicies de inundación para los distintos periodos (Ilustración 18). Se puede observar que debido a la topografía de la zona que tiene a ir disminuyendo hacia el Océano Pacífico, las inundaciones se generan hacia el sector sur de las imágenes por lo cual se concluye que el proyecto no está dentro de la zona de inundación.



ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO: AGRO PLAYA BLANCA FASE II

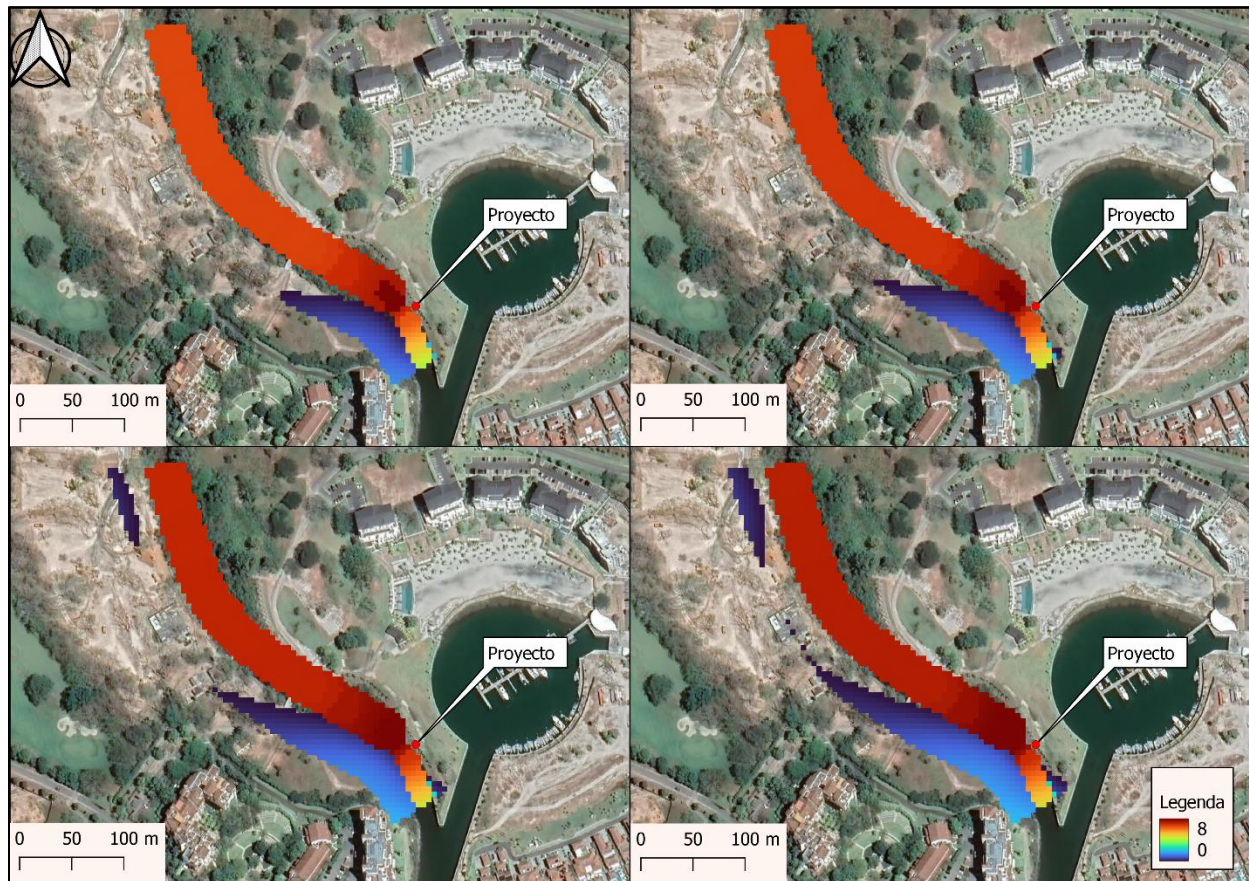


Ilustración 18: Mapas de inundación para los diferentes periodos de retorno.

6. Bibliografía

- Brunner, G. (2016). *HEC-RAS River Nalysis System: Hydraulic Reference Manual Versio 5.0*. US Army Corps of Engineers-Hydrologic Engineering Center.
- Graser, A. (2013). *Learning QGIS 2.0*. Packt Publishing Ltd.
- Te Chow, V., Maidment, D. R., & Mays, L. W. (1988). *Applied hydrology*.
- Thompson, S. (2017). *Hydrology for water management*. CRC Press.