



UNIVERSIDAD
DE PIURA

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Análisis hidrológico de las cuencas Santa Rita, Politécnico
y Yale en la zona norte de la ciudad de Talara, Piura**

Tesis para optar el Título de
Ingeniero Civil

Kiara Yadira Huaman Cespedes

Asesora:
Mgtr. Ing. Clara Marina Farías Zegada de Reyes

Piura, noviembre de 2023

Declaración Jurada de Originalidad del Trabajo Final


Yo, Huaman Céspedes Kiara Yadira, egresado del Programa Académico de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Piura, identificado(a) con DNI N° 76053934.

Declaro bajo juramento que:

1. Soy autor del trabajo final titulado:
"Análisis hidrológico de las cuencas Santa Rita, Politécnico y Yale en la zona norte de la ciudad de Talara, Piura"
El mismo que presento bajo la modalidad de Tesis¹ para optar el Título profesional² de Ingeniero Civil.
2. Que el trabajo se realizó en coautoría con los siguientes alumnos de la Universidad de Piura.
 - Haga clic o pulse aquí para escribir texto, identificado con DNI N° Escribir número
 - Haga clic o pulse aquí para escribir texto, identificado con DNI N° Escribir número
 - Haga clic o pulse aquí para escribir texto, identificado con DNI N° Escribir número
 - Haga clic o pulse aquí para escribir texto, identificado con DNI N° Escribir número
3. La asesoría del trabajo estuvo a cargo de:
 - Mgtr. Ing. Clara Marina Farías Zegada de Reyes, identificado con DNI N° 02816757
 - Haga clic o pulse aquí para escribir texto, identificado con DNI N° Escribir número
 - Haga clic o pulse aquí para escribir texto, identificado con DNI N° Escribir número
4. El texto de mi trabajo final respeta y no vulnera los derechos de terceros o de ser el caso derechos de los coautores, incluidos los derechos de propiedad intelectual, datos personales, entre otros. En tal sentido, el texto de mi trabajo final no ha sido plagiado total ni parcialmente, para la cual he respetado las normas internacionales de citas y referencias de las fuentes consultadas.
5. El texto del trabajo final que presento no ha sido publicado ni presentado antes en cualquier medio electrónico o físico.
6. La investigación, los resultados, datos, conclusiones y demás información presentada que atribuyo a mi autoría son veraces.
7. Declaro que mi trabajo final cumple con todas las normas de la Universidad de Piura.

El incumplimiento de lo declarado da lugar a responsabilidad del declarante, en consecuencia; a través del presente documento asumo frente a terceros, la Universidad de Piura y/o la Administración Pública toda responsabilidad que pueda derivarse por el trabajo final presentado. Lo señalado incluye responsabilidad pecuniaria incluido el pago de multas u otros por los daños y perjuicios que se ocasionen.

Fecha: 07/12/2023.



.....
Firma del autor optante³

¹ Indicar si es tesis, trabajo de investigación, trabajo académico o trabajo de suficiencia profesional.

² Grado de Bachiller, Título profesional, Grado de Maestro o Grado de Doctor.

³ Idéntica al DNI; no se admite digital, salvo certificado.

Resumen

La presente investigación tiene como objetivo realizar el análisis hidrológico de las cuencas Santa Rita, Politécnico y Yale ubicadas en el distrito de Pariñas de la ciudad de Talara, con el fin de conocer el caudal que discurre para el posterior diseño de estructuras hidráulicas.

Usando el software ArcGIS se realizó la delimitación de las cuencas obteniendo sus características morfológicas. Seguido de esto se tomaron en cuenta los datos de precipitación de las estaciones meteorológicas cercanas, calculando la precipitación máxima diaria de la estación La Esperanza para obtener las curvas de intensidad, duración y frecuencia (IDF) de la zona en estudio, y predecir el caudal de diseño mediante la aplicación de un modelo lluvia-escorrentía para diferentes periodos de retorno. Adicionalmente, se realizó una estimación de la magnitud del arrastre de sedimentos que podría escurrir a través de las quebradas de estas cuencas.



Tabla de contenido

Introducción	14
Capítulo 1	15
Estado del arte	15
1.1 Fenómeno El Niño	15
1.1.1 El Niño.....	15
1.1.2 El Niño- Oscilación Sur (ENOS)	16
1.1.3 El Niño Costero	17
1.2 Caracterización de cuencas.....	17
1.2.1 Definición de cuenca	17
1.2.2 Elementos de la cuenca.....	17
1.2.3 Delimitación de la cuenca	18
1.2.4 Características básicas de las cuencas.....	18
1.2.5 Características relacionadas con la forma de la cuenca.....	19
1.2.6 Características relacionadas con el relieve de la cuenca	20
1.3 ArcGIS para el modelado de cuencas.....	22
1.4 Análisis de datos hidrológicos.....	23
1.4.1 Precipitación	23
1.4.2 Estaciones hidrológicas	24
1.4.3 Análisis de datos pluviográficos	24
1.4.4 Análisis de datos pluviométricos	25
1.4.5 Estimación de datos faltantes	25
1.4.6 Modelos de probabilidad en hidrología	26
1.4.7 Prueba de bondad de ajuste	27
1.5 Estimación del caudal líquido.....	28
1.5.1 Periodo de retorno	28
1.5.2 Obtención de curvas IDF	28
1.5.3 Tiempo de concentración.....	29
1.5.4 Modelo lluvia-escorrentía	29

1.6 Estimación del arrastre de sedimentos.....	35
1.6.1 Transporte de fondo.....	35
1.6.2 Transporte en suspensión	35
Capítulo 2	38
Zona de estudio	38
2.1 Ubicación geográfica	38
2.2 Hidrología	39
2.2.1 Quebrada Santa Rita.....	39
2.2.2 Quebrada Politécnico	39
2.2.3 Quebrada Yale	40
2.3 Geología.....	41
2.4 Suelos	42
2.5 Peligros en la zona de estudio.....	44
2.5.1 Peligros geológicos	46
2.5.2 Peligros geológicos-climáticos.....	47
2.5.3 Peligros geológicos-geotécnicos.....	47
2.5.4 Peligros hidrológicos	48
Capítulo 3	50
Caracterización de cuencas	50
3.1 Puntos de interés	50
3.2 Delimitación de las cuencas	52
3.3 Características básicas de las cuencas de estudio	54
3.4 Características relacionadas con la forma de las cuencas	54
3.5 Características relacionadas con el relieve de la cuenca	56
3.5.1 Curvas representativas	56
3.5.2 Distribución altimétrica de la cuenca y frecuencia de altitudes	60
3.5.3 Pendiente del cauce principal	69
3.5.4 Pendiente de la cuenca	75
Capítulo 4	76
Análisis de datos pluviométricos	76

4.1 Red pluviométrica	76
4.2 Correlación mensual.....	77
4.3 Precipitación máxima diaria	79
4.4 Modelos de probabilidad	81
4.5 Curvas IDF.....	83
4.5.1 Precipitación máxima diaria anual para la ciudad de Piura	83
4.5.2 Precipitación máxima diaria anual para Talara	83
Capítulo 5 Estimación del caudal	85
5.1 Estimación del caudal líquido.....	85
5.1.1 Tiempo de concentración.....	85
5.1.2 Método del bloque alterno	85
5.1.3 Numero de curva	87
5.1.4 Distribución temporal de las abstracciones de acuerdo al SCS	90
5.1.5 Hidrograma unitario	92
5.1.6 Método de convolución	93
5.2 Estimación del arrastre de sedimentos.....	94
5.2.1 Transporte de sedimentos de fondo.....	97
5.2.2 Transporte de sedimentos en suspensión	101
Conclusiones.....	106
Referencias.....	108
Apéndices.....	110
Apéndice A Longitudes parciales del rectángulo equivalente de cada cuenca.	111
Apéndice B Modelos de distribución para la serie de la estación La Esperanza.	114
Apéndice C Hietograma de diseño para un periodo de retorno $Tr=5$ años.....	119
Apéndice D Distribución temporal de las abstracciones.	121
Apéndice E Cálculo del hidrograma unitario corregido e hidrograma unitario detallado para cada cuenca.....	129
Apéndice F Método de convolución detallado para la cuenca Santa Rita 1 y un $Tr= 5$ años y los hidrogramas de diseño para cada cuenca y cada periodo de retorno.....	137

Apéndice G Panel fotográfico de las cuencas en la zona urbana del distrito Pariñas en la ciudad de Talara.....	143
Anexos	152
Anexo A Datos de precipitaciones máximas diarias mensuales	153



Lista de tablas

Tabla 1	Valores del ONI para identificar la magnitud de El Niño y La Niña	16
Tabla 2	Categorías de las anomalías en las condiciones de la temperatura según el ICEN.....	17
Tabla 3	Clasificación de la cuenca de acuerdo a su área en Km ²	18
Tabla 4	Clasificación de la cuenca de acuerdo al índice de compacidad	19
Tabla 5	Clasificación de la cuenca de acuerdo con el factor de forma.	20
Tabla 6	Modelos de probabilidad	26
Tabla 7	Valor de delta crítico de acuerdo al nivel de significancia.....	28
Tabla 8	Sectores críticos de la ciudad de Talara.....	45
Tabla 9	Extracción de la matriz comparativa para peligros geológicos.....	46
Tabla 10	Extracción de la matriz comparativa para peligros geológicos-climáticos	47
Tabla 11	Extracción de la matriz comparativa para peligros geológicos-geotécnicos	48
Tabla 12	Extracción de la matriz comparativa para peligros hidrológicos	49
Tabla 13	Características básicas de las cuencas	54
Tabla 14	Valores de K_c , K_f , L_e , l_e de cada cuenca.....	55
Tabla 15	Curvas de nivel representativas de las cuencas.....	56
Tabla 16	Distribución altimétrica de la cuenca Santa Rita 1.....	60
Tabla 17	Distribución altimétrica de la cuenca Santa Rita 2.....	62
Tabla 18	Distribución altimétrica de la cuenca Santa Rita 3.....	63
Tabla 19	Distribución altimétrica de la cuenca Politécnico 1.....	64
Tabla 20	Distribución altimétrica de la cuenca Politécnico 2.....	65
Tabla 21	Distribución altimétrica de la cuenca Yale 1.....	66
Tabla 22	Distribución altimétrica de la cuenca Yale 2.....	67
Tabla 23	Distribución altimétrica de la cuenca Mangle	68
Tabla 24	Pendiente del cauce principal por el método de un solo tramo	69
Tabla 25	Pendiente del cauce de la cuenca Santa Rita 1 por el método de áreas compensadas	69
Tabla 26	Pendiente del cauce de la cuenca Santa Rita 2 por el método de áreas compensadas	70

Tabla 27 <i>Pendiente del cauce de la cuenca Santa Rita 3 por el método de áreas compensadas</i>	71
Tabla 28 <i>Pendiente de la cuenca Politécnico 1 por el método de áreas compensadas</i>	71
Tabla 29 <i>Pendiente de la cuenca Politécnico 2 por el método de áreas compensadas</i>	72
Tabla 30 <i>Pendiente de la cuenca Yale 1 por el método de áreas compensadas</i>	73
Tabla 31 <i>Pendiente de la cuenca Yale 2 por el método de áreas compensadas</i>	73
Tabla 32 <i>Pendiente de la cuenca Mangle por el método de áreas compensadas</i>	74
Tabla 33 <i>Pendiente de las cuencas obtenida mediante el procesamiento GIS</i>	75
Tabla 34 <i>Resumen de las características morfológicas de cada cuenca</i>	75
Tabla 35 <i>Ubicación, coordenadas y altitud de las estaciones elegidas</i>	76
Tabla 36 <i>Valores de R^2 y C de las estaciones cercanas respecto de la estación La Esperanza</i> . 78	
Tabla 37 <i>Valor de R^2 y C para la estación La Esperanza</i>	80
Tabla 38 <i>Serie de precipitaciones máximas diarias mensuales de la estación La Esperanza</i> .. 80	
Tabla 39 <i>Resultados obtenidos de la prueba de bondad de ajuste</i>	82
Tabla 40 <i>Predicciones para la precipitación máxima diaria anual (mm)</i>	82
Tabla 41 <i>Matriz de intensidades de las curvas IDF para la ciudad de Piura</i>	83
Tabla 42 <i>Matriz de ajuste para la estación La Esperanza</i>	84
Tabla 43 <i>Matriz de intensidades de las curvas IDF de la estación La Esperanza</i>	84
Tabla 44 <i>Tiempo de concentración en minutos para cada cuenca</i>	85
Tabla 45 <i>Hietograma de diseño para $T_r= 5, 10, 25, 50, 100$ y 200 años</i>	86
Tabla 46 <i>Números de curva para diferentes usos de suelo</i>	88
Tabla 47 <i>Valor de CN (II) ponderado para cada cuenca</i>	89
Tabla 48 <i>Valores de CN(III), S, Ia</i>	89
Tabla 49 <i>Distribución temporal de las abstracciones de la cuenca Santa Rita 1</i>	90
Tabla 50 <i>Variables del hidrograma unitario para las cuencas en estudio</i>	93
Tabla 51 <i>Caudal líquido para cada periodo de retorno</i>	94
Tabla 52 <i>Parámetros hidráulicos de la sección elegida para cada cuenca y cada periodo de retorno</i>	96
Tabla 53 <i>Valores adoptados de diámetros representativos para cada cuenca</i>	97
Tabla 54 <i>Sedimentos de fondo para la cuenca Santa Rita</i>	98

Tabla 55 <i>Sedimentos de fondo para la cuenca Politécnico</i>	99
Tabla 56 <i>Sedimentos de fondo para la cuenca Yale</i>	100
Tabla 57 <i>Sedimentos en suspensión para la cuenca Santa Rita</i>	101
Tabla 58 <i>Sedimentos en suspensión para la cuenca Politécnico</i>	102
Tabla 59 <i>Sedimentos en suspensión para la cuenca Yale</i>	103
Tabla 60 <i>Valores obtenidos de sedimentos en suspensión y de fondo para cada cuenca</i>	104



Lista de figuras

Figura 1 <i>Regiones del océano Pacífico para el estudio del Fenómeno El Niño</i>	15
Figura 2 <i>Patrones de temperatura del mar durante El Niño y La Niña</i>	16
Figura 3 <i>Cambio de forma de la curva hipsométrica de acuerdo con la edad del río</i>	21
Figura 4 <i>Ejemplo de hietograma por el método del bloque alterno</i>	30
Figura 5 <i>Numero de curva para diferentes usos del suelo</i>	31
Figura 6 <i>Variables en el método de las abstracciones de precipitación de SCS</i>	32
Figura 7 <i>Hidrograma unitario triangular</i>	34
Figura 8 <i>Ubicación distrital, provincial y departamental de la zona de estudio</i>	38
Figura 9 <i>Quebrada Santa Rita</i>	39
Figura 10 <i>Quebrada Politécnico</i>	40
Figura 11 <i>Quebrada Yale</i>	40
Figura 12 <i>Cauces de las quebradas sobre el área urbana del norte de la ciudad de Talara</i>	41
Figura 13 <i>Extracción del Mapa de Zonificación Geofísica-Geotécnica del área urbana de Talara</i>	44
Figura 14 <i>Escala de importancia relativa de las variables de peligro natural</i>	46
Figura 15 <i>Ubicación de los puntos de interés en la quebrada Santa Rita</i>	51
Figura 16 <i>Ubicación de los puntos de interés en la quebrada Politécnico</i>	51
Figura 17 <i>Ubicación de los puntos de interés en la quebrada Yale</i>	52
Figura 18 <i>Delimitación de la cuenca Santa Rita</i>	53
Figura 19 <i>Delimitación de la cuenca Politécnico</i>	53
Figura 20 <i>Delimitación de la cuenca Yale</i>	54
Figura 21 <i>Rectángulo equivalente de cada cuenca</i>	55
Figura 22 <i>Áreas entre curvas representativas de la cuenca Santa Rita 1</i>	56
Figura 23 <i>Áreas entre curvas representativas de la cuenca Santa Rita 2</i>	56
Figura 24 <i>Áreas entre curvas representativas de la cuenca Santa Rita 3</i>	57
Figura 25 <i>Áreas entre curvas representativas de la cuenca Politécnico 1</i>	58
Figura 26 <i>Áreas entre curvas representativas de la cuenca Politécnico 2</i>	58
Figura 27 <i>Áreas entre curvas representativas de la cuenca Yale 1</i>	59
Figura 28 <i>Áreas entre curvas representativas de la cuenca Yale 2</i>	59

Figura 29 Áreas entre curvas representativas de la cuenca Mangle	60
Figura 30 Distribución altimétrica de la cuenca Santa Rita 1 (Km ²).....	61
Figura 31 Frecuencia de altitudes de la cuenca Santa Rita 1	61
Figura 32 Distribución altimétrica de la cuenca Santa Rita 2 (Km ²).....	62
Figura 33 Frecuencia de altitudes de la cuenca Santa Rita 2	62
Figura 34 Distribución altimétrica de la cuenca Santa Rita 3 (Km ²).....	63
Figura 35 Frecuencia de altitudes de la cuenca Santa Rita 3	63
Figura 36 Distribución altimétrica de la cuenca Politécnico 1 (Km ²).....	64
Figura 37 Frecuencia de altitudes de la cuenca Politécnico 1	64
Figura 38 Distribución altimétrica de la cuenca Politécnico 2 (Km ²).....	65
Figura 39 Frecuencia de altitudes de la cuenca Politécnico 2	65
Figura 40 Distribución altimétrica de la cuenca Yale 1 (Km ²)	66
Figura 41 Frecuencia de altitudes de la cuenca Yale 1	66
Figura 42 Distribución altimétrica de la cuenca Yale 2 (Km ²)	67
Figura 43 Frecuencia de altitudes de la cuenca Yale 2	67
Figura 44 Distribución altimétrica de la cuenca Mangle (Km ²).....	68
Figura 45 Frecuencia de altitudes de la cuenca Mangle	68
Figura 46 Perfil longitudinal del cauce de la cuenca Santa Rita 1 con sus respectivas pendientes por ambos métodos.....	70
Figura 47 Perfil longitudinal del cauce de la cuenca Santa Rita 2 con sus respectivas pendientes por ambos métodos.....	70
Figura 48 Perfil longitudinal del cauce de la cuenca Santa Rita 3 con sus respectivas pendientes por ambos métodos.....	71
Figura 49 Perfil longitudinal del cauce de la cuenca Politécnico 1 con sus respectivas pendientes por ambos métodos.....	72
Figura 50 Perfil longitudinal del cauce de la cuenca Politécnico 2 con sus respectivas pendientes por ambos métodos.....	72
Figura 51 Perfil longitudinal del cauce de la cuenca Yale 1 con sus respectivas pendientes por ambos métodos	73
Figura 52 Perfil longitudinal del cauce de la cuenca Yale 2 con sus respectivas pendientes por ambos métodos	74

Figura 53 <i>Perfil longitudinal del cauce de la cuenca Mangle con sus respectivas pendientes por ambos métodos</i>	74
Figura 54 <i>Áreas de los polígonos de Thiessen para las cuencas elegidas</i>	77
Figura 55 <i>Correlación de los datos en el periodo 2015-2022</i>	78
Figura 56 <i>Correlación de los datos en el periodo 1967-2022</i>	78
Figura 57 <i>Correlación de los datos en el periodo 1971-2022</i>	79
Figura 58 <i>Correlación de los datos en el periodo 1971-2022</i>	79
Figura 59 <i>Correlación de los datos en el periodo 1967-2022</i>	80
Figura 60 <i>Curva de tendencia de los modelos de probabilidad</i>	82
Figura 61 <i>Curvas IDF de la ciudad de Piura</i>	83
Figura 62 <i>Curvas IDF de la estación La Esperanza</i>	84
Figura 63 <i>Hietograma de diseño para $Tr= 5, 10, 25, 50, 100$ y 200 años</i>	87
Figura 64 <i>Intensidades totales (I) e intensidades efectivas (Ie) de la cuenca Santa Rita 1 para un $Tr=5$ años</i>	91
Figura 65 <i>Hidrograma unitario corregido de la cuenca Santa Rita 1</i>	93
Figura 66 <i>Caudal versus periodo de retorno para cada cuenca</i>	94
Figura 67 <i>Vista en planta y perfil de la sección elegida para la cuenca Santa Rita</i>	95
Figura 68 <i>Vista en planta y perfil de la sección elegida para la cuenca Politécnico</i>	95
Figura 69 <i>Vista en planta y perfil de la sección elegida para la cuenca Yale</i>	96
Figura 70 <i>Sedimentos en suspensión versus periodo de retorno para cada cuenca</i>	104
Figura 71 <i>Sedimentos de fondo versus periodo de retorno para cada cuenca</i>	105

Introducción

El Niño es un evento meteorológico que produce cambios en la temperatura superficial del mar y la presión atmosférica, lo que genera precipitaciones de gran intensidad ocasionando daños materiales y pérdidas humanas. En los últimos años se ha identificado otro evento, El Niño Costero el cual afecta solo a las costas del Perú y Ecuador y que ocasiono grandes daños en el departamento de Piura durante el año 2017.

Para evitar o mitigar los efectos de estos eventos climáticos, es necesario investigar y conocer los posibles caudales de avenida asociados a diversos periodos de retorno, que permitan diseñar con previsión las estructuras hidráulicas de protección, captación y evacuación de aguas pluviales.

En el presente estudio se delimitan y estudian las cuencas Santa Rita, Politécnico y Yale ubicadas en el distrito de Pariñas de la ciudad de Talara, encontrando sus características morfológicas y calculando el caudal de diseño para cada cuenca.

En primer lugar, se brindan las definiciones teóricas necesarias para desarrollar el presente trabajo, seguido de esto se describe la zona en estudio y se presenta la problemática encontrada en las cuencas de interés. Como tercera parte se presenta la delimitación de las cuencas con el software ArcGIS y sus características morfológicas, presentando diversos mapas de la zona en estudio.

La cuarta parte muestra el análisis realizado para completar los datos faltantes en la estación meteorológica elegida y el cálculo de las curvas IDF. Como quinta parte se desarrolla el modelo lluvia-escorrentía de las cuencas mencionadas y se obtiene el caudal de diseño, además se muestra el cálculo del arrastre de sedimentos de manera referencial. Finalmente se muestran las conclusiones y recomendaciones de esta investigación.

Capítulo 1

Estado del arte

En este capítulo se presentan breves definiciones para el Fenómeno El Niño, evento meteorológico relacionado con el estudio de cuencas sobre todo en la costa norte del Perú, se describe también teoría relacionada con el análisis hidrológico de cuencas, sus características, delimitación y fórmulas relacionadas con el cálculo del caudal de diseño.

1.1 Fenómeno El Niño

1.1.1 El Niño

Existen diferentes definiciones para El Niño, no es posible establecer un único concepto ya que se habla de un fenómeno climatológico cambiante a lo largo de los años.

Puede definirse como el calentamiento en el mar del Océano Pacífico oriental y central alrededor del Ecuador, donde el aumento de temperatura ocurre de manera ocasional variando de entre 1 °C a 3 °C grados centígrados por encima de lo normal (Fiondella, 2014).

Por otro lado, el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI, 2014) lo define como el incremento de la temperatura superficial del agua del mar (TSM) en la costa oeste de Sudamérica y la presencia de lluvias intensas. Comprende cambios en la TSM del Pacífico ecuatorial central además de cambios de la presión atmosférica desde Australia (Darwin) hasta Tahití (Pacífico tropical central – oriental).

Existen dos manifestaciones de El Niño: El Niño-Oscilación del Sur (ENOS) y El Niño Costero. Para tener un mejor seguimiento del mismo, la Oficina Nacional de Administración Oceánica y Atmosférica (NOAA, sigla en inglés) dividió la franja ecuatorial del océano Pacífico en 4 sectores (Figura 1) teniendo mayor importancia los sectores 3.4 y 1+2 para su predicción y monitoreo.

Figura 1

Regiones del océano Pacífico para el estudio del Fenómeno El Niño



Nota. Adaptado de SENAMHI (2014).

1.1.2 El Niño- Oscilación Sur (ENOS)

Se refiere a la interacción entre el océano Pacífico y la atmósfera, aumentando o disminuyendo la temperatura del mar y la presión atmosférica, se expresa en dos fases: la fase cálida denominada El Niño que se caracteriza por el incremento anómalo de temperatura del mar y la fase fría denominada La Niña, caracterizada por temperaturas del agua del mar más frías de lo normal (Instituto del Mar del Perú [IMARPE], 2023).

La NOAA estableció el Índice Oceánico El Niño (ONI) para identificar la presencia de El Niño y La Niña, este se calcula realizando el promedio durante 3 meses consecutivos de la serie mensual de las anomalías de temperatura superficial del mar en el sector Niño 3 (SENAMHI, 2014).

Tabla 1

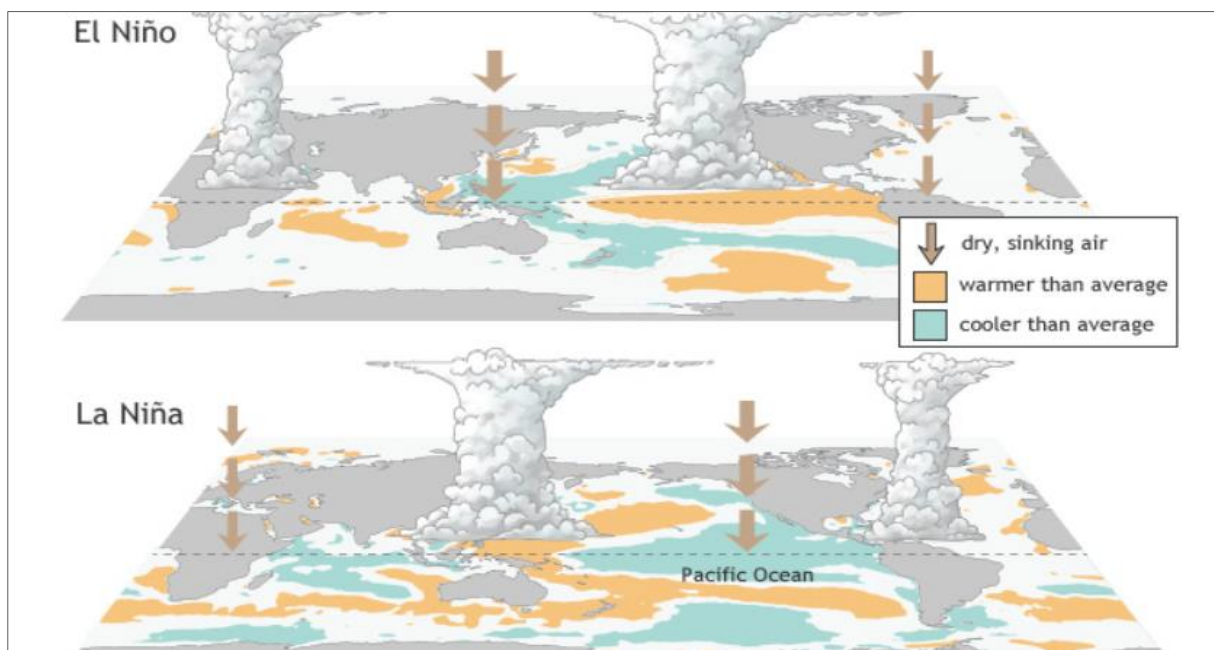
Valores del ONI para identificar la magnitud de El Niño y La Niña

Categorías	Índice Oceánico EL Niño (ONI)
Cálido fuerte	Mayor o igual a +1.4
Cálido moderado	Mayor que +0.9 y menor que +1.4
Cálido débil	Mayor que +0.5 y menor que +1.0
Neutro	Mayor que -0.5 y menor que +0.5
Frio débil	Menor que -0.5 y menor que -0.9
Frio moderado	Menor que -1.0 y menor que -1.5
Frio fuerte	Menor o igual que -1.5

Nota. Adaptado de SENAMHI (2014).

Figura 2

Patrones de temperatura del mar durante El Niño y La Niña



Nota. Adaptado de Oficina Nacional de Administración Oceánica y Atmosférica (NOAA, 2023).

En Perú, ENFEN es la Comisión Multisectorial encargada del Estudio Nacional del Fenómeno El Niño, conformada por 7 instituciones para su estudio y monitoreo:

- Autoridad Nacional del Agua (ANA).
- Centro Nacional de estimación, prevención y reducción de riesgo de desastres (CENEPRED).
- Dirección de Hidrografía y Navegación de la Marina (DHN).
- Instituto del mar del Perú (IMARPE).
- Instituto Geofísico del Perú (IGP).
- Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI).
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrografía (SENAMHI).

1.1.3 El Niño Costero

Se refiere al aumento de temperatura del mar únicamente en la zona costera de Perú y Ecuador, mientras que la zona del Pacífico ecuatorial central mantiene condiciones normales de temperatura.

Para su monitoreo ENFEN estableció el “Índice Costero El Niño” (ICEN), este se basa en la anomalía de temperatura del mar presente en la región de monitoreo Niño 1+2 durante 3 meses consecutivos como mínimo (Takahashi, et al., 2014).

Tabla 2

Categorías de las anomalías en las condiciones de la temperatura según el ICEN

Categorías	Valor mensual del ICEN
Fría fuerte	Menor que -1.4
Fría moderada	Mayor o igual que -1.4 y menor que -1.2
Fría débil	Mayor o igual que -1.2 y menor que -1.0
Neutras	Mayor o igual que -1.0 y menor o igual que 0.4
Cálida débil	Mayor que 0.4 y menor o igual que 1.0
Cálida moderada	Mayor que 1.0 y menor o igual que 1.7
Cálida fuerte	Mayor que 1.7 y menor o igual que 3.0
Cálida extraordinaria	Mayor que 3.0

Nota. Adaptado de Takahashi et al. (2014).

1.2 Caracterización de cuencas

1.2.1 Definición de cuenca

Se define como cuenca al área total por donde drena un conjunto de cauces que, escurren hacia un único punto de salida el agua captada de precipitación pluvial u otro tipo de aporte (Ibáñez, et al., 2011).

1.2.2 Elementos de la cuenca

De acuerdo con Farías (2021) sus elementos son:

- **Divisoria de aguas:** Es la línea que divide una cuenca de otra delimitando su área, topográficamente se ubica en la parte más alta de la cuenca.
- **Red de drenaje:** Conjunto de ríos por donde escurre el agua, dividiéndose en río principal y afluentes o tributarios.
- **Terreno o relieve:** Conformado por valles, montañas, laderas, quebradas y mesetas en donde se encuentra la red de drenaje.
- **Punto de salida:** Punto final de la cuenca donde confluyen los ríos.

1.2.3 Delimitación de la cuenca

Se presentan a continuación dos metodologías usualmente empleadas para la delimitación de cuencas:

- Trazo manual: Con ayuda de información topográfica se traza la línea divisoria de la cuenca, la cual deberá cortar perpendicularmente a las curvas de nivel y se ubicará en la zona de mayor altitud. Cuando esta va aumentando de nivel cortara a las curvas por su parte convexa, y cuando va disminuyendo su altitud serán cortadas por su parte cóncava (Autoridad Nacional del Agua [ANA], 2012).
- Trazo con la herramienta Sistema de Información Geográfica (SIG): Las herramientas SIG contribuyen a la modelación de la cuenca facilitando el proceso y almacenamiento de datos. Permite procesar la información de la cuenca, representándola como un conjunto de capas que se relacionan entre sí (Farías, 2021).

Una de las herramientas más usadas es ArcGIS y se describe su uso en el apartado 1.3.

1.2.4 Características básicas de las cuencas

1.2.4.1 Área de la cuenca. Se define como el área A que proyecta de manera horizontal la cuenca, delimitada por su divisoria de aguas y encerrada por su perímetro P (Campos, 1998). Se clasifica por su tamaño de acuerdo con la Tabla 3:

Tabla 3

Clasificación de la cuenca de acuerdo a su área en Km²

Tamaño de la cuenca (Km ²)	Descripción
<25	Muy pequeña
25 a 250	Pequeña
250 a 500	Intermedia- pequeña
500 a 2500	Intermedia- grande
2500 a 5000	Grande
>5000	Muy grande

Nota. Adaptado de Campos (1998).

1.2.4.2 Longitud del cauce principal (L). Longitud del río que va desde el punto más alto de la cuenca hasta el punto de salida aguas abajo.

1.2.4.3 Ancho promedio (B). Se obtiene dividiendo el área A de la cuenca entre la longitud del cauce principal L definida en el apartado 1.2.4.2.

$$B = \frac{A}{L} \quad (1)$$

1.2.4.4 Densidad de drenaje (D_d). Es el valor obtenido de la división de la suma longitudinal de todos los cauces y el área, A , de esta.

$$D_d = \frac{\sum L}{A} \quad (2)$$

De acuerdo con Monsalve (1999) se puede clasificar a la cuenca como:

$D_d \leq 0.5 \text{ km/km}^2$ Cuenca pobremente drenada.

$D_d > 3.5 \text{ km/km}^2$ Cuenca bien drenada.

1.2.5 Características relacionadas con la forma de la cuenca

1.2.5.1 Índice de compacidad o coeficiente de Gravelius. Se define como la relación entre el perímetro de la cuenca, P , y el perímetro de una circunferencia con un área igual a la de la cuenca, A , (Villón, 2002). Es un indicador de la posibilidad de inundación de la cuenca, ya que determina la distribución del agua por los ríos principales. Puede determinarse con ayuda de la ecuación presentada a continuación

$$K_c = \frac{P_{\text{cuenca}}}{P_{\text{circulo.A}}} = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}} = 0.2821 \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (3)$$

Este parámetro toma valores de entre 1 a 3, una cuenca con valor igual a 1 es una cuenca de forma circular, si se obtiene un valor cercano a 1 se trata de una cuenca regular con mayor probabilidad de inundaciones ya que el tiempo de concentración de la cuenca será corto lo que genera más probabilidad de generar picos de caudal durante una tormenta, por el contrario, si el valor es cercano a 3 se trataría de una cuenca con forma más alargada e irregular con menor probabilidad de inundaciones y un tiempo de concentración más largo (Villón, 2002). Puede clasificarse de acuerdo con la Tabla 4.

Tabla 4

Clasificación de la cuenca de acuerdo al índice de compacidad

Forma de la cuenca	K_c
Redonda	1.00-1.25
Ovalada	1.25-1.50
Alargada	1.50-3.00

Nota. Adaptado de Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO,1985).

1.2.5.2 Índice o factor de forma. Es el valor de la división entre el ancho promedio, B , de la cuenca y la longitud mayor del cauce, L , siendo un parámetro adimensional.

$$Kf = \frac{B}{L} \quad (4)$$

A medida que aumenta Kf se tiene más posibilidad de tener una tormenta intensa sobre toda el área de la cuenca, por el contrario, si el valor de Kf es bajo la posibilidad de una lluvia intensa en toda su área es menor (Villón, 2002). La forma de la cuenca dependerá de su valor de Kf y puede ser clasificada según la Tabla 5.

Tabla 5

Clasificación de la cuenca de acuerdo con el factor de forma.

Valores aproximados	Forma de la cuenca
< 0.22	Muy alargada
0.22-0.30	Alargada
0.30-0.37	Ligeramente alargada
0.37-0.45	Ni alargada ni ensanchada
0.45-0.60	Ligeramente ensanchada
0.60-0.80	Ensanchada
0.80-1.20	Muy ensanchada
> 1.20	Rodeando el Desagüe

Nota. Adaptado de Delgadillo y Moreno (2011).

1.2.5.3 Rectángulo equivalente. Se define como la representación de la cuenca en forma de rectángulo con el mismo valor de área A , perímetro P e igual índice de compacidad K_c . Cada lado del rectángulo puede obtenerse con la ecuación presentada a continuación (Farías, 2021):

$$L_e, l_e = \frac{P \pm \sqrt{P^2 - 16A}}{4} \quad (5)$$

Donde:

L_e : Lado mayor del rectángulo (Km)

l_e : Lado menor del rectángulo (Km)

1.2.6 Características relacionadas con el relieve de la cuenca

1.2.6.1 Curvas representativas. Son curvas de nivel que representan la variación topográfica de la cuenca, deben ser suficientes y además facilitar la estimación del área entre ellas (Farías, 2021).

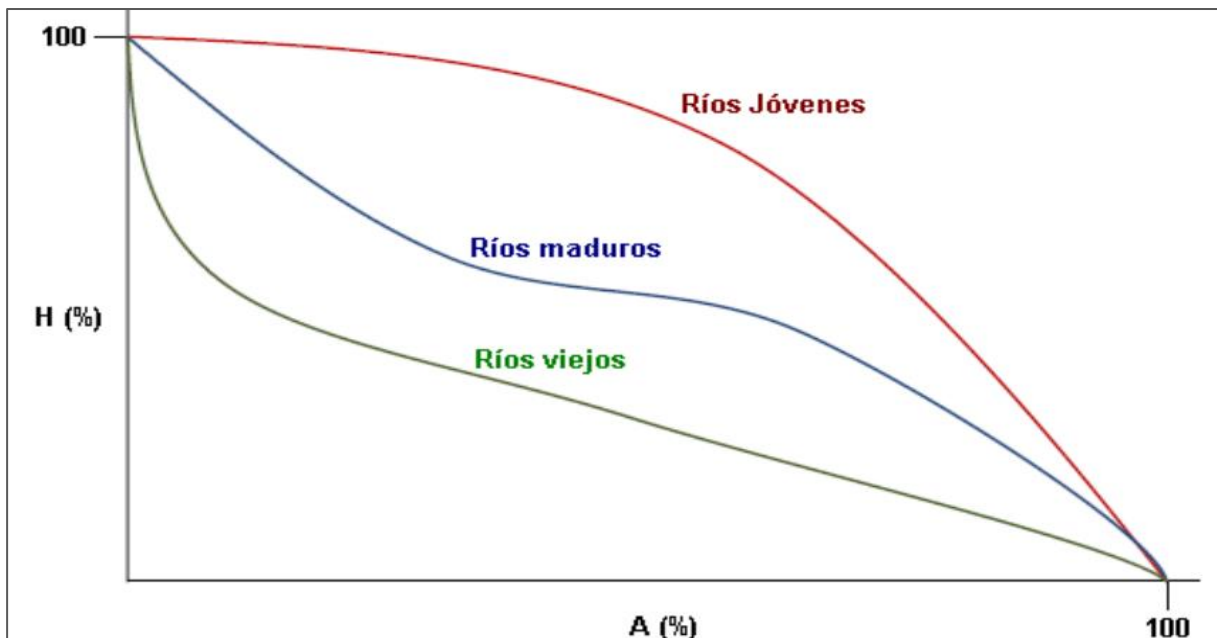
Se pueden obtener a partir de la fórmula mostrada a continuación, tomando la cota máxima de la cuenca menos la cota mínima y dividiéndolo entre 6, debe aproximarse el valor obtenido al valor entero más cercano.

$$D = \frac{Cota_{m\acute{a}xima} - Cota_{m\acute{i}nima}}{6} \quad (6)$$

1.2.6.2 Curva hipsométrica. Representa la relación entre altitud y la superficie situada por encima o por debajo de la misma, muestra el comportamiento general de la altitud de la cuenca y da la idea de su perfil longitudinal (Farías, 2021).

Figura 3

Cambio de forma de la curva hipsométrica de acuerdo con la edad del río



Nota. Adaptado de Ibáñez et al. (2011) .

1.2.6.3 Frecuencia de altitudes. Representa gráficamente la relación entre la altitud y la relación porcentual de área respecto del total (Villón, 2002).

1.2.6.4 Pendiente del cauce. Existen diversos métodos para obtener la pendiente del cauce, a continuación, se presentan los dos métodos empleados para esta investigación:

- Método de un solo tramo: Con ayuda de los datos de progresivas para cada cota de la cuenca, puede calcularse la pendiente usando la ecuación mostrada a continuación (Farías, 2021):

$$S = \frac{Cota_{m\acute{a}xima} - Cota_{m\acute{i}nima}}{Longitud} \quad (7)$$

- Método de las áreas compensadas: Consiste en lograr que las áreas entre la pendiente de la cuenca y su perfil sean iguales, lo que requiere que las áreas que se encuentren debajo del perfil y de la pendiente sean las mismas (Farías, 2021).

1.2.6.5 Pendiente de la cuenca. Para determinar este parámetro en cada cuenca se usará el procesamiento GIS, como paso inicial se calcula un ráster de pendientes generado a partir del modelo digital de elevaciones que se tiene a disposición, posteriormente en el área de cada cuenca delimitada se realiza un promedio de todos los valores de pendiente de este ráster, obteniendo de esta forma la pendiente media de la cuenca.

1.3 ArcGIS para el modelado de cuencas

El software ArcGIS permite obtener, organizar y compartir información. Utiliza y crea sistemas de información geográfica (SIG) lo que permite elaborar mapas, crear bases de datos y visualizar información de manera rápida y simplificada.

Para delimitar una cuenca con la herramienta Arc Hydro Tools de ArcGIS, como paso inicial se requieren datos de entrada de topografía como curvas de nivel y la red hídrica de la zona en estudio. Posteriormente se genera la capa de la Red de Triángulos Irregulares (TIN) con la herramienta ArcToolbox dentro de la opción Data Management, lo que nos permite crear el Modelo de elevación digital (MDE).

Es necesario mejorar la calidad del MDE antes de delimitar la cuenca, para ello se hace uso del complemento Arc Hydro Tools y de la herramienta Terrain Preprocessing; como paso inicial se rellenan los espacios vacíos con la herramienta DEM Manipulation y la opción Fill Sinks.

Seguido de esto se almacena y establece la dirección de flujo; para ello se usan las herramientas Flow Direction y Flow Accumulation. Posteriormente se debe definir el número de celdas para el modelamiento de la cuenca, mientras más pequeño sea el número de celda se tendrá un mejor modelo esto puede realizarse con la herramienta Stream Definition.

Posteriormente se debe diferenciar tramos de ríos entre uniones, para ello se usa la herramienta Stream Segmentation. Para agrupar los puntos que descargan el flujo a los segmentos de ríos se usa la herramienta Catchment Grid Delineation.

Como paso siguiente se generan los polígonos a partir de los ríos con la herramienta Catchment Polygon Processing, para transformar las capas anteriores a formato vectorial se usa la herramienta Drainage Line Processing y la herramienta Adjoint Catchment Processing para agrupar pares de subcuencas que descargan en un mismo punto.

Finalmente, con la herramienta Point Delineation se delimita la cuenca para el punto de descarga que se le indique.

Para obtener los parámetros que ayuden a calcular las características morfológicas de la cuenca, se hará uso de la tabla de atributos en donde se pueden encontrar datos como área y perímetro. La longitud del cauce principal puede ser obtenida de la red hídrica, en donde se

eliminarán los cauces pequeños dejando solo el cauce principal y completando su longitud hasta el final de la cuenca con la herramienta editar vértices.

Las curvas representativas deben ser elegidas para posteriormente eliminar las que no son necesarias y unir las curvas de igual cota, seguido de esto con la herramienta Feature To Line se convierten los polígonos a líneas teniendo como resultado la cuenca dividida por las curvas representativas y para encontrar el área entre ellas se usara la herramienta Feature To Polygon. Para obtener las progresivas para cada curva representativa con la herramienta editar vértices se debe añadir un vértice en la intersección entre las curvas y el cauce principal, finalmente dividirlo por segmentos y calcular su distancia.

1.4 Análisis de datos hidrológicos

1.4.1 Precipitación

Se define como toda forma de humedad originada en las nubes, que llega hasta la superficie terrestre en forma de lluvias, granizadas, garuas o nevadas (Villón, 2002).

De acuerdo con Villon (2002) según su origen puede clasificarse como:

- **Convectiva:** Producto del calor, se forman grandes masas de vapor de agua, que se elevan a grandes alturas y desarrollan un proceso adiabático, produciendo la condensación y precipitación. Son precipitaciones propias de regiones calurosas y comúnmente vienen acompañadas de rayos y truenos.
- **Orográfica:** Se produce cuando el vapor de agua empujado por el viento se mueve hacia las montañas, estas funcionan como obstáculos permanentes haciendo que las nubes asciendan a grandes alturas, como consecuencia se producirá la condensación y precipitación.
- **Ciclónica o frontal:** Se produce al chocar dos masas de aire con diferente temperatura y humedad, la nube con más temperatura es impulsada a la parte más alta produciendo la condensación y precipitación.

Se presentan a continuación diversos métodos para medir la precipitación en una zona específica:

1.4.1.1 Media aritmética o promedio aritmético: Consiste en calcular el promedio de los datos de lluvia de las estaciones en la zona en estudio.

1.4.1.2 Polígonos de Thiessen: Permite conocer el área de influencia que tiene cada estación con respecto a la zona de estudio. Para dibujar los polígonos es necesario contar los puntos de ubicación de las estaciones cercanas a la zona en estudio, se une cada punto formando triángulos, luego se traza la mediatriz de cada lado de los triángulos para intersecarlas en un único punto dentro del triángulo formando los vértices de los polígonos. El área dentro de los polígonos será el área de influencia de la estación, la precipitación media puede hallarse haciendo uso de la ecuación mostrada a continuación (Villón, 2002):

$$P_{med} = \frac{1}{A_T} \sum_{i=1}^n A_i P_i \quad (8)$$

Donde:

P_{med} : Precipitación media

A_T : Área de la cuenca

A_i : Área de influencia de cada estación

P_i : Precipitación de la estación

n : Numero de estaciones

1.4.2 Estaciones hidrológicas

De acuerdo con SENAMHI (2013) son un conjunto de instrumentos que realiza mediciones hidrológicas en una ubicación geográfica. Deben ser ubicadas en lugares que permitan el correcto funcionamiento de los instrumentos y que permita su funcionamiento durante 10 años como mínimo o durante el periodo de tiempo requerido. Pueden clasificarse como:

- Estaciones hidrométricas: Destinadas a medir el nivel de agua, caudal, transporte de sedimentos en ríos, la temperatura del agua y la calidad del agua.
- Estaciones climatológicas para fines hidrológicos
- Estaciones de agua subterránea: Miden el nivel freático o piezométrico en los pozos, temperatura y propiedades químicas del agua.
- Estaciones hidrológicas para propósitos específicos: Pueden emplearse para la determinación del balance hidrológico en cuencas, medir corrientes en lagos y embalses, evaporación, evapotranspiración, humedad del suelo y para determinar las propiedades físicas y químicas del agua.

1.4.3 Análisis de datos pluviográficos

Los datos obtenidos de información pluviográfica pueden procesarse y estudiarse mediante el análisis de tormentas. Una tormenta se define según Villón (2002), como un conjunto de lluvias que obedecen a una misma perturbación meteorológica y de características bien definidas, que puede durar desde pocos minutos hasta varios días y que cubre una superficie pequeña o de gran tamaño. Es de gran importancia y permite determinar las curvas de intensidad, duración y frecuencia.

Para realizar el análisis de tormentas se deben considerar los siguientes conceptos:

- **Intensidad:** Se define como la cantidad de agua que cae por unidad de tiempo, para el análisis de tormentas interesa la intensidad máxima que se presentó durante la duración de la misma (Villón, 2002).

Se puede expresar de la siguiente forma:

$$i_{m\acute{a}x} = \frac{P}{t} \quad (9)$$

Donde:

$i_{m\acute{a}x}$: Intensidad máxima (mm/hora)

P : Precipitación (mm)

t : Tiempo (horas)

- **Duración:** Se refiere al tiempo que transcurre desde el inicio hasta el final de la tormenta, del cual debe definirse un periodo de duración tomado dentro de la duración total de la tormenta (Villón, 2002).
- **Frecuencia:** Se define como el número de veces que puede volver a ocurrir una tormenta, en un periodo de tiempo largo tomado en años (Villón, 2002).

1.4.4 Análisis de datos pluviométricos

Dado que no siempre se cuenta con datos pluviógrafos, se puede realizar el procesamiento de datos pluviométricos para obtener las curvas de intensidad, duración y frecuencia. Será necesario contar con la mayor cantidad posible de años con información histórica de lluvia, y analizar la calidad de los datos para un correcto análisis hidrológico.

1.4.5 Estimación de datos faltantes

Debido a la falta de datos históricos en los registros de las estaciones, es necesario completar dichos datos con los datos registrados en estaciones cercanas durante el mismo periodo. Este proceso puede realizarse con diferentes métodos los cuales se describen a continuación

- **Promedio aritmético simple.** Se basa en el promedio aritmético simple de los datos de las estaciones cercanas a la estación en estudio.
- **Regresión lineal.** Consiste en realizar una correlación lineal entre la estación con datos faltantes y una estación con datos completos, para su aplicación debe existir un buen ajuste entre los datos, para ello debe revisarse el coeficiente de correlación R^2 , el cual debe acercarse a la unidad para tener un buen ajuste. Los datos faltantes pueden obtenerse con la siguiente ecuación:

$$y = C * x \quad (10)$$

Donde:

y : Valor estimado de precipitación (mm)

x : Valor de precipitación conocido (mm)

C : Constante adimensional

1.4.6 Modelos de probabilidad en hidrología

De acuerdo con el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC, 2008) se presentan a continuación los modelos recomendados y su respectiva función de densidad:

Tabla 6

Modelos de probabilidad

Modelo	Función de densidad	Parámetros
Distribución Normal	$f(x) = \frac{1}{S\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{S}\right)^2}$	x : Variable μ : Media aritmética de x S : Desviación estándar de x
Distribución Log Normal de 2 Parámetros	$P(x \leq x_i) = \frac{1}{S\sqrt{(2\pi)}} \int_{-\infty}^{x_i} e^{\left(\frac{-(x-\bar{X})^2}{2S^2}\right)} dx$	\bar{X} y S : Parámetros de la distribución.
Distribución Log Normal de 3 parámetros	$P(x \leq x_i) = \frac{1}{(x - x_0)\sqrt{(2\pi)S_y}} e^{-1/2\left(\frac{\ln(x-x_0)-u_y}{S_y}\right)^2}$	x_0 : Parámetro de posición u_y : Parámetro de media S_y^2 : Desviación estándar
Distribución Gamma 2 Parámetros	$f(x) = \frac{x^{\gamma-1} e^{-\frac{x}{\beta}}}{\beta^{\gamma} \Gamma(\gamma)}$	γ : Parámetro de forma β : Parámetro de escala $\Gamma(\gamma)$: Función gamma completa
Distribución Gamma 3 Parámetros	$f(x) = \frac{(x - x_0)^{\gamma-1} e^{-\frac{(x-x_0)}{\beta}}}{\beta^{\gamma} \Gamma(\gamma)}$	x_0 : Parámetro de posición γ : Parámetro de forma β : Parámetro de escala
Distribución Log Pearson Tipo III	$f(x) = \frac{(\ln x - x_0)^{\gamma-1} e^{-\frac{(x-x_0)}{\beta}}}{x \beta^{\gamma} \Gamma(\gamma)}$	x_0 : Parámetro de posición γ : Parámetro de forma β : Parámetro de escala x : Valor con una probabilidad dada
Distribución Gumbel	$x = \bar{x} + k\sigma_x$	\bar{x} : Media de la serie
Distribución Log Gumbel	$y = \frac{\ln x - \mu}{\alpha}$	$0 < \alpha < \infty$: Parámetro de escala $-\infty < \mu < \infty$: Parámetro de posición

Nota. Adaptado de MTC (2008).

1.4.7 Prueba de bondad de ajuste

Ayuda a comprobar por medio de un ajuste estadístico o gráfico si la elección de una función de probabilidades teórica es correcta, comprobando si la serie estudiada se ajusta a ella.

1.4.7.1 Prueba Chi-cuadrado. Verifica la bondad de ajuste de la distribución empírica con una distribución teórica conocida, basándose en el cálculo de frecuencias para valores observados y valores esperados en un número determinado de intervalos. Esta prueba solo debe usarse para ajustes a la distribución normal, y su aceptación o no dependerá del valor obtenido de Chi-cuadrado versus el valor tabular.

Si Chi-cuadrado es menor o igual que el valor tabular se acepta la hipótesis al nivel de significancia elegido, si por el contrario el valor de Chi-cuadrado es mayor que el valor tabular se rechaza la hipótesis (Villón, 2006).

$$X_c^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(\theta_i - e_i)^2}{e_i} \quad (11)$$

Donde:

X_c^2 : Valor calculado de Chi-cuadrado

θ_i : Numero de valores observados

e_i : Numero de valores esperados

k : Numero de intervalos

1.4.7.2 Prueba de Smirnov-Kolmogorov. Compara las diferencias entre la probabilidad empírica de la muestra y la probabilidad teórica escogiendo un valor delta máximo para compararlo con un valor delta crítico el cual se tabula teniendo en cuenta un nivel de significancia (Villón, 2006).

$$P(x) = \frac{M}{N + 1} \quad (12)$$

Donde:

$P(x)$: Probabilidad empírica

M : Numero de orden

N : Numero de datos

Según Farías (2021) el valor de delta crítico depende del nivel de significancia elegido y puede ser tomado de la Tabla 7 mostrada a continuación:

Tabla 7

Valor de delta crítico de acuerdo al nivel de significancia

Nivel de significancia	Numerador
20%	1,07
10%	1,22
5%	1,36
1%	1,63

Nota. Adaptado de Farías (2021).

Si el valor de delta máximo es menor que el valor de delta crítico el ajuste es bueno, por el contrario, si el valor de delta máximo resulta mayor que el valor de delta crítico se rechaza el ajuste.

1.5 Estimación del caudal líquido

1.5.1 Período de retorno

Se define como período de retorno T_r , al número de años en promedio en el que se iguala o supera el valor de un caudal pico para una determinada avenida (MTC, 2008).

El período de retorno de diseño se elige teniendo en cuenta las normas de diseño establecidas y generalmente se hace la estimación de caudales para diferentes períodos. Deben tenerse en cuenta aspectos económicos, sociales y el tiempo esperado de vida útil de la estructura.

1.5.2 Obtención de curvas IDF

Las curvas de intensidad, duración y frecuencia relacionan la intensidad de lluvia su duración y la frecuencia con la que puede presentarse el mismo evento. Permiten determinar la intensidad de lluvia de diseño asociada a una duración y a un período de retorno para la zona en estudio (MTC, 2008).

Para determinar las curvas IDF y su expresión matemática puede seguirse el procedimiento recomendado por Farías y Ruiz (2018) mostrado a continuación:

- Obtener y procesar los datos históricos de lluvia encontrados en la zona de estudio, por lo general no se cuenta con la data completa lo que requiere rellenar los datos faltantes.
- Realizar el modelo probabilístico para la serie de datos.
- Realizar la prueba de bondad de ajuste y escoger el mejor ajuste para predecir los valores de intensidad versus período de retorno.
- Con los valores de intensidad versus período de retorno graficar las curvas IDF.
- Realizar el ajuste de las curvas IDF a una expresión matemática, el MTC (2008) presenta la siguiente fórmula general:

$$I = \frac{a}{(D + b)^m} \quad (13)$$

Donde

I : Intensidad de lluvia de diseño (mm/h).

D : Duración (min).

a, b, m : Coeficientes de acuerdo con el lugar y periodo de retorno.

1.5.3 Tiempo de concentración

Se define como el tiempo que tarda una gota de agua en viajar desde el punto más lejano de la cuenca hasta su punto de salida, dependerá de las características geográficas y topográficas de la cuenca (Villón, 2002).

De acuerdo con el MTC (2008) existen diferentes métodos para calcular este parámetro, se presenta a continuación la ecuación empleada en este estudio: ecuación de California Culverts Practice.

$$t_c = 0.0195 \left(\frac{L^3}{H} \right)^{0.385} \quad (14)$$

Donde:

t_c : Tiempo de concentración (min)

L : Longitud del río más largo (m)

H : Diferencia de nivel entre la divisoria de agua y la salida (m)

1.5.4 Modelo lluvia-escorrentía

Dado que no siempre se cuenta con valores de caudales medidos en la zona de estudio, puede seguirse el método lluvia-escorrentía para encontrar el caudal máximo de diseño.

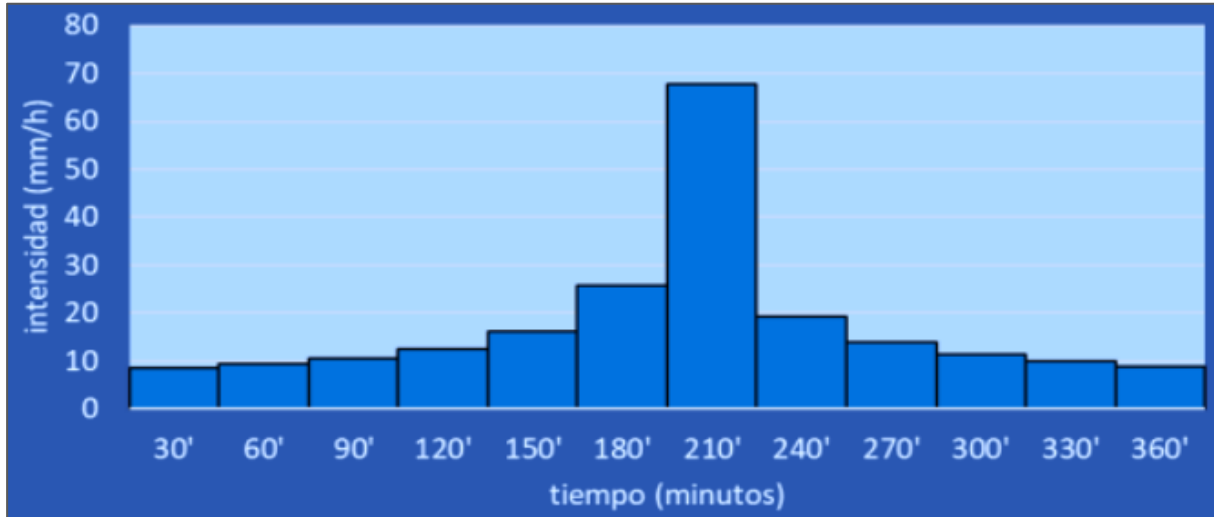
1.5.4.1 Método del bloque alterno. Este método nos ayuda a calcular de manera sencilla un hietograma de diseño, haciendo uso de las curvas IDF. Especifica la profundidad de precipitación en intervalos sucesivos de tiempo n con una duración Δt sobre una duración total $T_d = n * \Delta t$

Se selecciona el periodo de retorno, para luego tomar de las curvas IDF la intensidad para cada una de las duraciones, al multiplicar la intensidad y la duración podemos encontrar la profundidad de precipitación correspondiente. Restando valores sucesivos de profundidad de precipitación encontramos que tanto de precipitación debemos añadir por cada unidad adicional de tiempo. Estos incrementos deben ser reordenados, de manera que la intensidad máxima suceda en el centro de la duración elegida y los demás bloques queden ordenados de

mayor a menor en lado derecho e izquierdo del valor central, se muestra en la Figura 4 un ejemplo de hietograma por el método del bloque alterno (MTC, 2008).

Figura 4

Ejemplo de hietograma por el método del bloque alterno



Nota. Adaptado de Farías 2021.

1.5.4.2 Numero de Curva (CN). Conocida ya la tormenta de diseño es necesario obtener las abstracciones para calcular la cantidad de lluvia efectiva, el número de curva ayuda a calcular las pérdidas de precipitación (MTC, 2008).

Se ha estipulado 2 ecuaciones que nos permiten calcular el valor de CN teniendo en cuenta condiciones secas y húmedas del suelo, ya que este no se comportara igual antes o después de la lluvia.

Condición seca:

$$CN(I) = \frac{4.2CN(II)}{10 - 0.058CN(II)} \quad (15)$$

Condición húmeda:

$$CN(III) = \frac{23CN(II)}{10 + 0.13CN(II)} \quad (16)$$

El número de curva para condiciones normales puede obtenerse de la Figura 5, este número de CN dependerá del uso del suelo y del grupo hidrológico el cual puede ser:

- Grupo A: Arena profunda, suelos profundos depositados por el viento, limos agregados
- Grupo B: Suelos pocos profundos depositados por el viento, marga arenosa
- Grupo C: Margas arcillosas, margas arenosas poco profundas, suelos con bajo contenido orgánico y suelos con alto contenido de arcilla

- Grupo D: Suelos que se expanden significativamente cuando se mojan, arcillas altamente plásticas y ciertos suelos salinos

Figura 5

Numero de curva para diferentes usos del suelo

DESCRIPCIÓN DEL USO DE LA TIERRA	GRUPO HIDROLÓGICO DEL SUELO			
	A	B	C	D
Tierra cultivada ¹ : sin tratamientos de conservación con tratamiento de conservación	72 62	81 71	88 78	91 81
Pastizales: condiciones pobres condiciones óptimas	68 39	79 61	86 74	89 80
Vegas de ríos: condiciones óptimas	30	58	71	78
Bosques: troncos delgados, cubierta pobre, sin hierbas, cubierta buena ²	45 25	66 55	77 70	83 77
Área abiertas, césped, parques, campos de golf, cementerios, etc. óptimas condiciones: cubierta de pasto en el 75% o más condiciones aceptables cubierta de pasto en el 50 al 75%	39 49	61 69	74 79	80 84
Áreas comerciales de negocios (85% impermeables)	89	92	94	95
Distritos Industriales (72% impermeables)	81	88	91	93
Residencial ³ :				
Tamaño promedio del lote				
Porcentaje promedio impermeable ⁴				
1/8 acre o menos	65			
1/4 acre	38			
1/3 acre	30			
1/2 acre	25			
1 acre	20			
	77 61 57 54 51	85 75 72 70 68	90 83 81 80 79	92 87 86 85 84
Parqueadores pavimentados, techos, accesos, etc. ⁵	98	98	98	98
Calles y carreteras:				
Pavimentados con cunetas y alcantarillados ⁵	98	98	98	98
Grava	76	85	89	91
Tierra	72	82	87	89

Nota. Adaptado de MTC (2008).

1.5.4.3 Distribución temporal de las abstracciones según el SCS. Soil Conservation Service (SCS) creo un método que nos permite calcular las abstracciones de precipitación.

Para una tormenta el exceso de precipitación P_e debe ser menor o igual a la profundidad de precipitación P , luego de que inicia la escorrentía la profundidad de agua adicional que se retiene en la cuenca F_a debe ser menor o igual a la retención potencial máxima S . Antes del encharcamiento existe una cierta cantidad de precipitación I_a para la cual no ocurrirá escorrentía debido a la capacidad de absorción que tiene el suelo al iniciar la lluvia, la escorrentía potencial será $P - I_a$ (MTC, 2008).

Se muestra a continuación la ecuación que relaciona las variables mencionadas anteriormente y en la Figura 6 el gráfico correspondiente:

$$P = I_a + F_a + P_e \quad (17)$$

Donde:

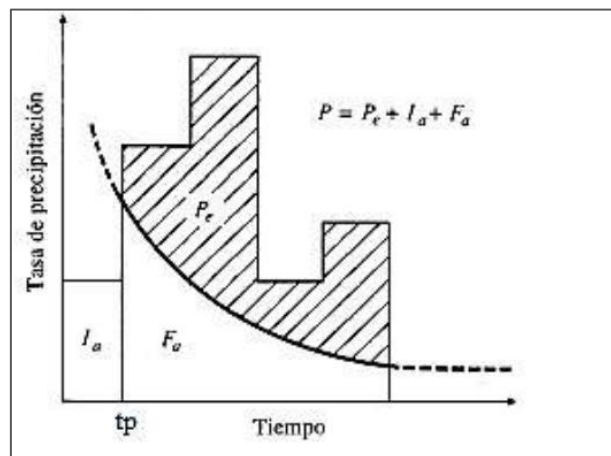
P : Precipitación total (mm).

I_a : Perdida inicial (mm).

F_a : Perdida posterior (mm).

Figura 6

Variables en el método de las abstracciones de precipitación de SCS



Nota. Adaptado de Chow et al. (1994).

De acuerdo con la Figura 6 I_a es la abstracción inicial, P_e el exceso de precipitación, F_a la abstracción continuada y P la precipitación total.

El método SCS empieza igualando las cantidades reales con las potenciales:

$$\frac{F_a}{S} = \frac{P_e}{P - I_a} \quad (18)$$

De la ecuación 27 y 28 se encuentra la ecuación para la escorrentía directa P_e :

$$P_e = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S} \quad (19)$$

Del estudio de muchas cuencas pequeñas se desarrolló una relación empírica para I_a :

$$I_a = 0.2 * S \quad (20)$$

Reemplazando la expresión 30 en la expresión 29 obtenemos:

$$P_e = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S} \quad (21)$$

El valor de la retención potencial máxima S se encuentra haciendo uso del número de curva CN, dato adimensional que dependerá de las condiciones del suelo:

$$S = \frac{1000}{CN} - 10 \quad (22)$$

Donde:

S : Relación potencial máxima (in)

CN : Numero de curvatura

1.5.4.4 Hidrograma Unitario Triangular. Tiene como finalidad mostrar gráficamente como varían los datos de caudal en el tiempo (Figura 7), muestra el hidrograma de escurrimiento que se produce en el punto de salida de la cuenca si sobre ella se produce una precipitación efectiva de 1 cm con una duración específica (Villón, 2002).

Para este estudio se utilizará el Hidrograma Unitario Triangular propuesto por el SCS:

- **Tiempo de retardo:** Puede ser obtenido a partir de la ecuación:

$$t_p = 0.6t_c \quad (23)$$

Donde:

t_p : Tiempo de retardo entre el centroide del hietograma y el pico de caudal.

t_c : Tiempo de concentración de la cuenca.

- **Tiempo de ocurrencia del pico:** Puede ser obtenido a partir de la ecuación:

$$T_p = \frac{dt}{2} + t_p \quad (24)$$

Donde:

dt : Intervalo de duración de la lluvia.

- **Tiempo de recesión:** Puede aproximarse a partir de la ecuación:

$$t_r = \frac{5}{3}T_p \quad (25)$$

- **Tiempo de la base:** Que es la suma de los dos tiempos anteriores:

$$T_b = T_p + t_r \quad (26)$$

- **Caudal pico:** Dado que el área por debajo del hidrograma unitario debe ser igual a una lluvia de 1 mm, se puede demostrar que el caudal unitario máximo se determina con (Farías, 2021):

$$q_p = \frac{100A}{3T_b} \quad (27)$$

Donde:

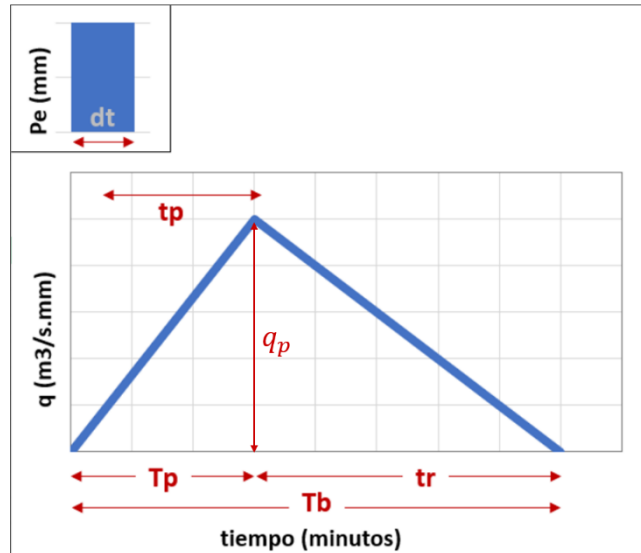
A : Área de la cuenca (Km^2)

q_p : Caudal pico ($\text{m}^3/\text{s} \cdot \text{mm}$)

T_b : Tiempo de la base (horas)

Figura 7

Hidrograma unitario triangular



Nota. Adaptado de Farías 2021.

Conociendo las variables mencionadas anteriormente, estas serán las coordenadas que nos permitirán graficar el hidrograma unitario de la cuenca.

1.5.4.5 Método de convolución. Teniendo ya el hidrograma unitario y el hietograma de diseño, puede obtenerse el hidrograma de diseño haciendo uso del método de convolución.

De acuerdo con Farias (2021) este método consiste realizar la sumatoria de multiplicaciones desfasadas en el tiempo; se arma la matriz con el hietograma efectivo de diseño y el hidrograma unitario de la cuenca para luego multiplicar cada valor de precipitación efectiva con los valores obtenidos del hidrograma unitario. Se realiza luego la sumatoria por columnas para obtener el caudal máximo de diseño. El proceso de convolución implica tres series de tiempo:

$$Q(t) = Pe(t) * HU(t) \quad (28)$$

Donde:

Q : Serie de tiempo del caudal o hidrograma resultante (m^3/s)

Pe : Hietograma efectivo (mm)

HU : Hidrograma unitario ($\text{m}^3/\text{s} \cdot \text{mm}$)

1.6 Estimación del arrastre de sedimentos

Conocer el transporte de sedimentos en una cuenca es de gran importancia para realizar el diseño de obras en general. De acuerdo con Basile (2018) es posible dividirlo en transporte de fondo y transporte en suspensión, ambas formas de transporte influyen en el proceso de erosión y sedimentaciones presentes en una quebrada.

En función de las características morfológicas, sedimentológicas e hidráulicas de un curso de agua, se muestran a continuación dos fórmulas para el cálculo de transporte de sedimentos, estas asumen un transporte de sedimentos en condiciones de flujo permanente y uniforme.

1.6.1 Transporte de fondo

Para el transporte de fondo la expresión más utilizada es la ecuación de Meyer-Peter y Müller (1948) que se define como:

$$g_B = 8\gamma_s D^{3/2} g^{1/2} \Delta^{1/2} \left[\left(\frac{n'}{n} \right)^{3/2} \frac{RS}{\Delta D} - 0.047 \right]^{3/2} \quad (29)$$

Donde:

g_B : Concentración de sólidos de fondo (kg/s.m)

γ_s : Peso específico de los sólidos (kg/m³)

D : Diámetro de la partícula (m)

g : Gravedad (m/s²)

Δ : Relación entre la densidad de los sólidos y la densidad del agua = $(\rho_s - \rho)/\rho$

R : Radio hidráulico (m)

S : Pendiente (m/m)

n' : Rugosidad a partir de la granulometría del cauce = $D_{90}^{1/6}/26$

n : Rugosidad de Manning = $(R^{2/3} S^{1/2})/U$

U : Velocidad promedio del agua (m/s)

1.6.2 Transporte en suspensión

Para el transporte en suspensión la expresión más utilizada es la ecuación de Yang (1996) que se define como:

$$\log C_t = 5.435 - 0.286 \log \frac{\omega D}{\nu} - 0.457 \log \frac{U^*}{\omega} + (1.799 - 0.409 \log \frac{\omega D}{\nu} - 0.314 \log \frac{U^*}{\omega}) \log \left(\frac{US}{\omega} - \frac{U_{cr} S}{\omega} \right) \quad (30)$$

Donde:

C_t : Concentración total de sedimentos en partes por millón por peso (ppm)

D : Diámetro de la partícula (m)

S : Pendiente media del nivel de agua o de la línea energética (m/m)

R : Radio hidráulico (m)

Q : Caudal (m³/s)

A : Área (m²)

U^* : Velocidad de corte (m/s) = S/R

U : Velocidad promedio de agua (m/s) = Q/A

U_{cr} : Velocidad promedio crítica del agua en movimiento incipiente (m/s)

ν : Viscosidad cinemática (m²/s)

ω : Velocidad de caída (m/s)

La velocidad promedio crítica del agua puede ser encontrada mediante la siguiente expresión:

$$\frac{U_{cr}}{\omega} = \frac{2.5}{\log\left(\frac{U_* D}{\nu}\right) - 0.06} + 0.66 \text{ cuando } 1.2 < \frac{U_* D}{\nu} < 70 \quad (31)$$

$$\frac{U_{cr}}{\omega} = 2.05 \text{ cuando } 70 \leq \frac{U_* D}{\nu} \quad (32)$$

La velocidad de caída puede ser encontrada mediante la siguiente expresión:

$$\omega = \sqrt{\frac{2}{3} \left(\frac{\rho_s - \rho}{\rho} \right) g D + \frac{36\mu^2}{\rho^2 D^2} - \frac{36\mu}{\rho D}} \quad (33)$$

Donde:

ρ_s : Densidad de los sólidos (kg/m³)

ρ : Densidad del agua (kg/m^3)

μ : Viscosidad dinámica del agua ($\text{N}\cdot\text{s}/\text{m}^2$)

D : Diámetro de la partícula (m)

g : Gravedad (m/s^2)



Capítulo 2

Zona de estudio

Este segundo capítulo da a conocer datos de ubicación, hidrología y geología del lugar en donde se ubican las cuencas elegidas para este estudio. Se presentan además los peligros geológicos, geotécnicos e hidrológicos con mayor probabilidad de ocurrencia.

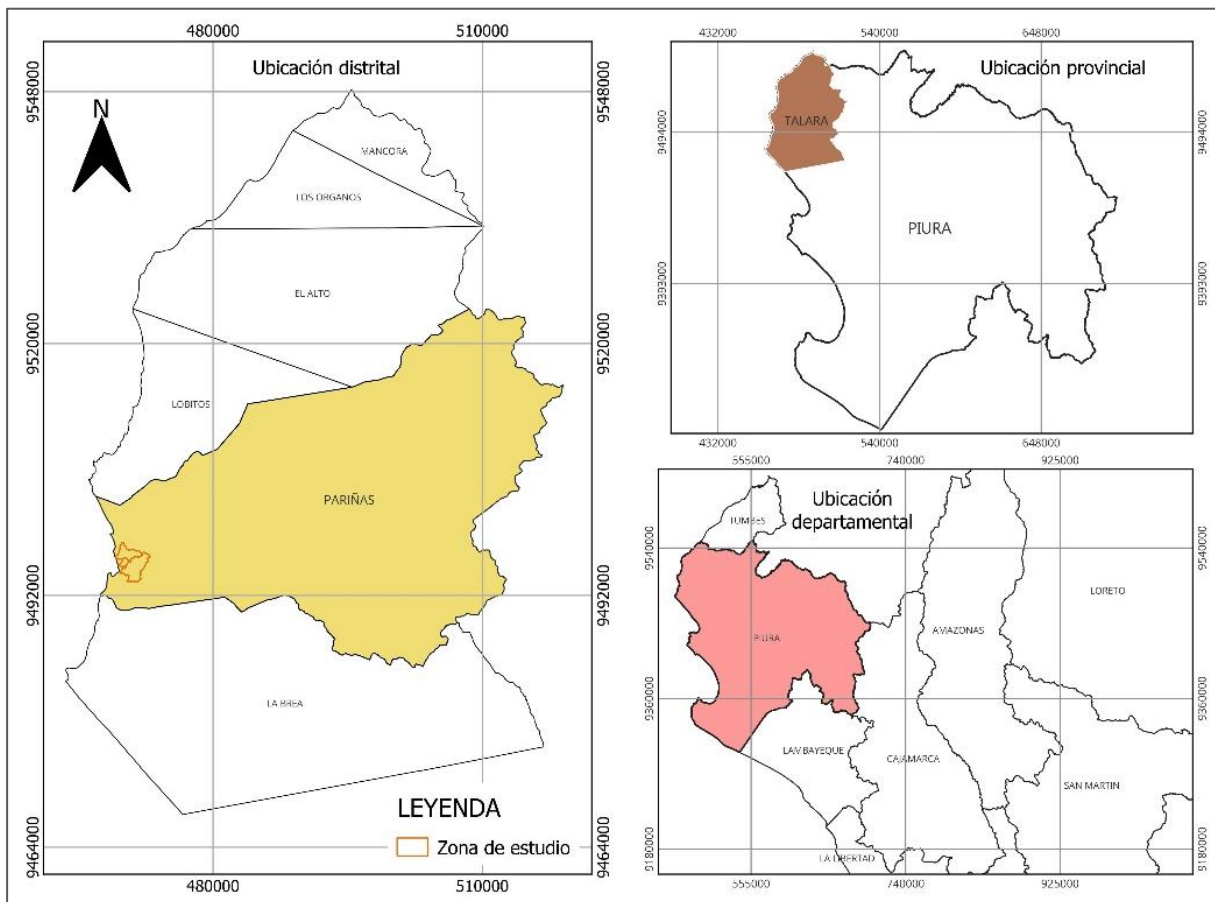
2.1 Ubicación geográfica

El área de estudio comprende a la ciudad de Talara, capital del distrito de Pariñas en la provincia de Talara, ubicada en el departamento de Piura en la zona costera del norte del Perú. Esta ciudad se encuentra en las coordenadas 4°30'00" Sur y 81°16'00" Oeste.

El distrito de Pariñas es uno de los seis distritos de la provincia de Talara, comprende una superficie de 1117 Km² y se ubica a una altitud promedio de 15 m s.n.m. Limita por el norte con los distritos de Lobitos y El Alto, por el sur con el distrito de La Brea, por el este con la provincia de Sullana y por el oeste con Punta Arenas y Punta Capullana hasta la intersección con el límite del distrito de Lobitos (Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres [CENEPRED], 2017). Se muestra en la Figura 8 la ubicación distrital y departamental de la zona de estudio.

Figura 8

Ubicación distrital, provincial y departamental de la zona de estudio



2.2 Hidrología

La ciudad de Talara se encuentra localizada entre la Intercuenca 1391 y la cuenca Hidrográfica de Pariñas (U.H. 1392), es una zona seca que no cuenta con ríos, a excepción de pequeños afloramientos en la quebrada Acholado y Débora. Se necesita de lluvias como las que se presentan durante eventos de El Niño, para que estas se activen (Instituto Nacional de Defensa Civil [INDECI], Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo [PNUD], 2010).

Se describen a continuación las quebradas de la ciudad de Talara elegidas para el presente estudio y en la Figura 12 se muestran sus respectivos cauces.

2.2.1 Quebrada Santa Rita

Está ubicada al norte de la ciudad de Talara y desemboca en el mar. Presenta un lecho de arena limosa y arcillosa, empieza su cauce sobre los 85 m s.n.m. y continua de sureste a norte cruzando con la carretera hacia Lobitos y desembocando en el mar. Presenta una pendiente de aproximadamente 2% y un ancho aproximado de 40 metros (Figura 9).

Figura 9

Quebrada Santa Rita



2.2.2 Quebrada Politécnico

Se origina al norte del cementerio antiguo de Talara en los taludes del tablazo, su cauce discurre entre los asentamientos humanos San Pedro y Las Mercedes, pasando por el Instituto Politécnico Alejandro Taboada para finalizar desembocando al mar. Parte de su cauce se encuentra revestido de concreto y piedra en aproximadamente 150 metros hasta la altura del Politécnico (Figura 10) y cuenta con un cauce de 30 m de ancho y una pendiente de 7%.

Figura 10
Quebrada Politécnico



2.2.3 Quebrada Yale

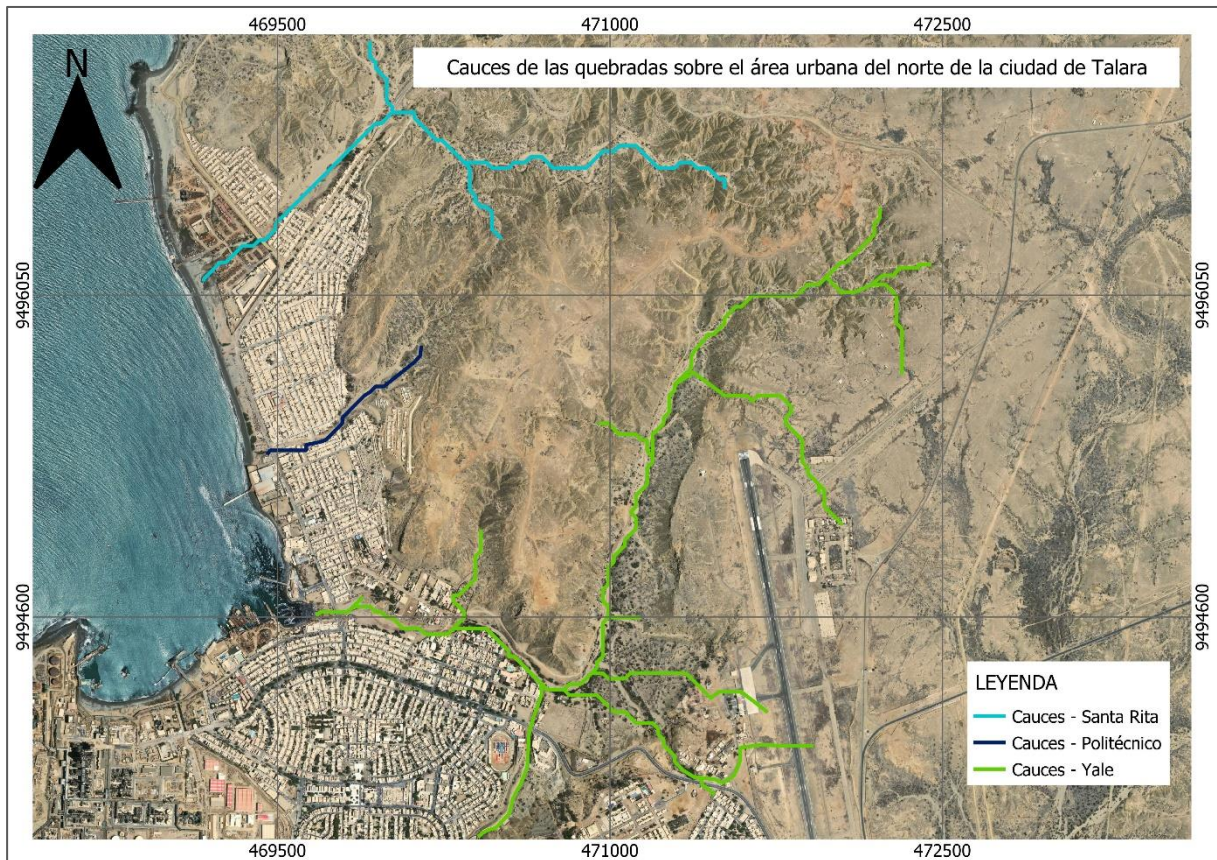
Nace al norte del aeropuerto de Talara y desemboca en el mar, su cauce tiene aproximadamente 120 metros de ancho y una pendiente de 2%, sus afluentes son el canal campeónísimo, la alcantarilla de la Villa FAP y la quebrada Mangle, se muestra en la Figura 11 una vista hacia aguas abajo de la quebrada.

Figura 11
Quebrada Yale



Figura 12

Cauces de las quebradas sobre el área urbana del norte de la ciudad de Talara



2.3 Geología

De acuerdo con CENEPRED (2017) la ciudad de Talara cuenta con las siguientes unidades litológicas:

- Formación Salinas: Se distribuyen entre la margen izquierda de la quebrada Débora y la carretera Talara-Piura. Está conformada por rocas sedimentarias del tipo areniscas y lutitas, debido a las condiciones climáticas su desintegración es lenta.
- Formación Palegreda: Se presenta en la quebrada Débora y consiste de rocas sedimentarias del tipo arenisca de grano fino y lutitas.
- Formación Pariñas: Presenta rocas sedimentarias clásticas de arenisca de grano fino y lutitas, se caracteriza por presentar abundancia de madera petrificada.
- Formación Chacra: Presenta afloramientos discontinuos con tonalidades que van de claras a intermedias ubicados en los extremos de las de las quebradas Politécnico, Mangle y Yale. Cuenta con rocas sedimentarias del tipo lutitas con areniscas color gris oscuro.
- Formación Lutitas Talara: Se ubica en los taludes que limitan a las quebradas Politécnico y Mangle y los del sector Punta Arenas, está conformada por rocas

sedimentarias clásica fina con arcillas expansivas. Debido a las lluvias estas se erosionan produciendo arrastre de materiales finos.

- Formación Arenisca Talara: Conformada por rocas sedimentarias con estratos de color pardo claro, durante las lluvias da paso a la formación de las quebradas Yale, Acholao y Débora.
- Formación Verdun: Está conformada por rocas sedimentarias del tipo arenisca y lutitas de grano medio a grueso que adoptan un color gris amarillento. Debido a la meteorización estas conforman suelos finos que se distribuyen en la quebrada Santa Rita y la quebrada Acholao fuera de la zona urbana.
- Formación Tablazo Talara: Se presenta en el este de la ciudad de Talara hacia la zona urbana, está conformada por gravas gruesas de lumaquelas con contenido de sales.
- Tablazo Lobitos: Abarca a los asentamientos humanos Jesús María, San Pedro, San Judas Tadeo, Luciano Castillo, José Olaya y la ciudad de Talara. Está conformada por grava poco consolidada y arenas, presenta problemas de licuación de suelos y suelos hidromórficos en una parte de su extensión como en la zona de la refinería.
- Depósito Fluvial: Deposito ubicado en los cauces de las quebradas Santa Rita, Politécnico, Mangle, Yale, Acholao y Débora. Consiste en gravas y arenas con un contenido escaso de limos y arcillas del tipo sedimentaria e ígnea.
- Depósito Eólico: Abarca las zonas de la margen derecha de la quebrada Campeonísimo, urbanización Los Jazmines, asociación Santa Rosa, asentamiento humano Juan Pablo II y la urbanización Fonavi, consiste de arena fina de propiedades inestables.
- Depósito Marino: Propio de las playas como La Peñita y Punta Arenas, consiste en arena y gravas con problemas de suelos licuables.

2.4 Suelos

De acuerdo con el Estudio de Zonificación Sismo-Geotécnico del área urbana de Talara realizado por el Instituto Geofísico del Perú (2020), el área de estudio comprendida por las quebradas Santa Rita, Politécnico y Yale presenta suelos formados por depósitos marinos y aluviales con alto contenido de humedad del tipo S4 que de acuerdo a la norma técnica peruana son suelos flexibles de condiciones topográficas desfavorables.

El informe de evaluación de riesgos por flujo de detritos en el centro poblado de Talara realizado por CENEPRED (2017) indica los siguientes peligros asociados al tipo de suelo presente en la zona de estudio y en la Figura 13 se presenta una extracción del mapa de zonificación Geofísica-Geotécnica:

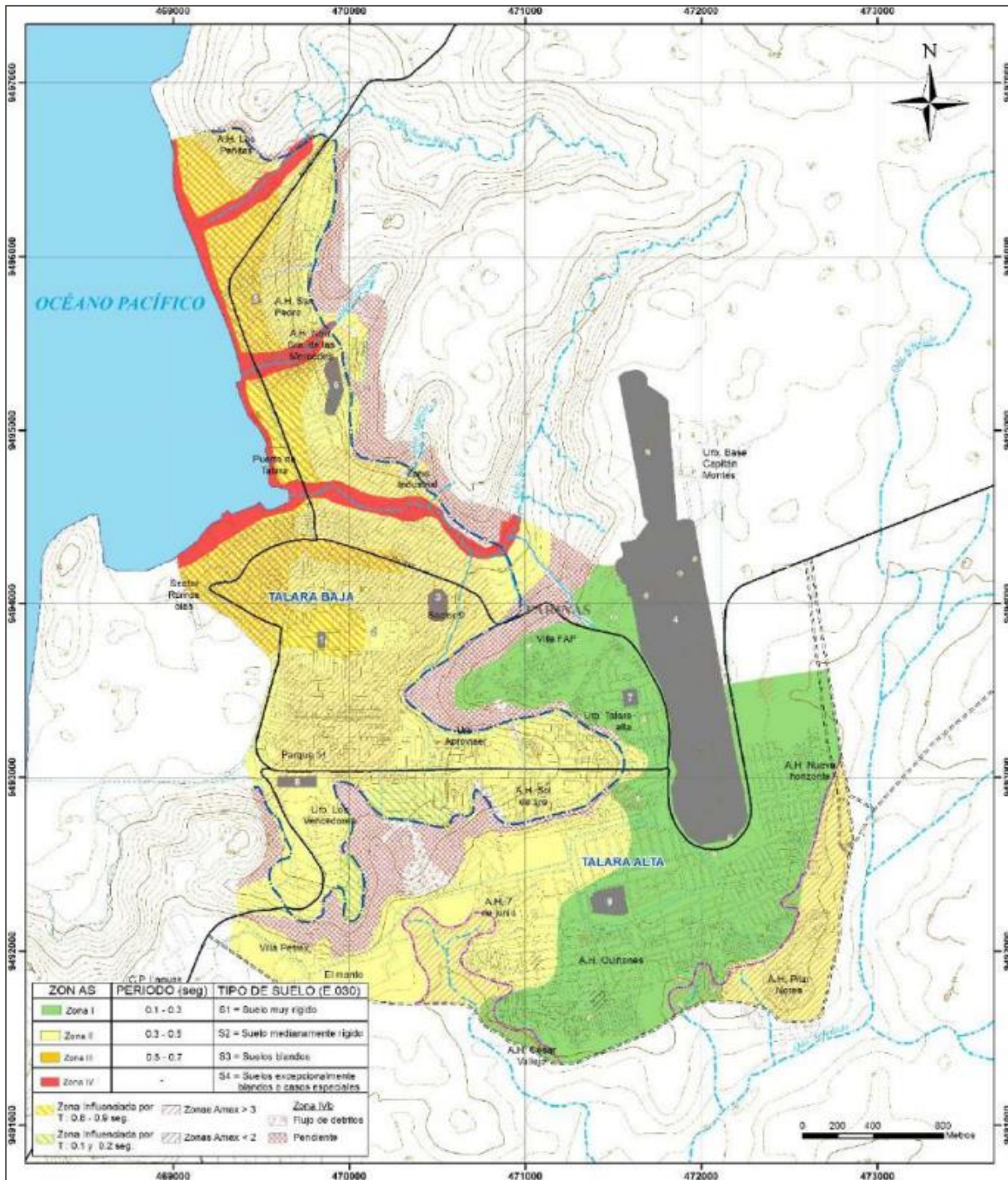
- Suelos expansivos: Proviene de la desintegración de la unidad litológica Lutitas Talara, que comprende los taludes al borde del sector urbano de Punta Arenas.
- Licuación de suelos: Fenómeno presente en las zonas cercanas al mar de Talara, donde la napa freática es superficial. Estas zonas comprenden al área urbana de la Refinería y las playas de Talara Norte y Punta Arenas.

- Suelos salinos y agresivos: Los suelos con contenido bajo a moderado de sales se encuentran en las zonas urbanas de Talara Norte, Intermedio, Oeste, Refinería, Talara Baja y Punta Arenas mientras que los suelos con contenido moderado a agresivo de sales, se presentan en la zona urbana de Talara Alta.
- Suelos colapsables: Problema presente debido a la falta de drenaje pluvial en la zona y un manejo inadecuado de las aguas de regadío. Abarca las terrazas marinas que limitan los sectores Talara Norte, Punta Arenas e intermedio.
- Densificación de suelos: Fenómeno presente en la margen derecha de la quebrada Acholao, abarcando a los asentamientos humanos de Talara Alta.



Figura 13

Extracción del Mapa de Zonificación Geofísica-Geotécnica del área urbana de Talara



Nota. Adaptado de CENEPRED (2017).

2.5 Peligros en la zona de estudio

INDECI y PNUD (2010) realizaron el estudio de los fenómenos presentes en la ciudad de Talara, determinando el nivel de peligro existente. En la ciudad de Talara determinaron que los peligros con mayor probabilidad de ocurrencia son del tipo geológico, geológico-climático y geotécnico.

Para este estudio establecieron 23 sectores críticos mostrados en la Tabla 8, que pueden alcanzar niveles de peligrosidad: bajo, medio, alto y muy alto.

Tabla 8

Sectores críticos de la ciudad de Talara

Sectores Críticos		
Zona de Terrazas Marinas	Sector 1	Talara Alta (Sector oriental)
	Sector 2	Talara Alta (Sector norte y sur)
	Sector 3	Talara Alta (Sector sur)
	Sector 4	Quebrada Santa Rita
	Sector 5	Quebrada Politécnico
	Sector 6	Quebrada Yale
Taludes	Sector 7	Taludes Inestables
	Sector 8	Quebrada Acholao
	Sector 9	Quebrada Débora
	Sector 10	Cerro El Faro
	Sector 11	Quebrada Santa Rita
	Sector 12	Quebrada Politécnico
Cauce y Cono Aluvial	Sector 13	Quebrada Yale
	Sector 14	Quebrada Acholao
	Sector 15	Quebrada Débora
	Sector 16	Playa Los Pescadores
Zona de Franja Costera	Sector 17	Playa de Petro Perú
	Sector 18	Playa Punta Arenas
	Sector 19	Influencia de la Quebrada Santa Rita
	Sector 20	Influencia de la Quebrada Politécnico y Yale
Terraza Marina Baja	Sector 21	Talara Cercado
	Sector 22	Talara Cercado Este
	Sector 23	Talara Cercado Sur

Nota. Adaptado de INDECI Y PNUD (2010).

El modo de evaluación de este documento para determinar los niveles de peligro de los sectores evaluados consta del armado de una matriz de comparación cuya variable elegida es la del peligro que tiene mayor probabilidad de ocurrencia en la zona de estudio. Seguido de esto se hace la comparación de esta variable versus las variables de menor importancia realizando un análisis de multivariadas. Asignaron valores relativos a cada variable de acuerdo con el nivel de importancia los cuales van de 1 a 17 como se muestra en la Figura 14, siendo los valores cercanos a la unidad lo menos importantes y los valores cercanos a 17 los de mayor importancia.

Figura 14

Escala de importancia relativa de las variables de peligro natural

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17		
1/9	1/8	1/7	1/6	1/5	1/4	1/3	1/2	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
Extremadamente		Fuertemente		Moderadamente		Ligeramente		Igual	Ligeramente		Moderadamente		Fuertemente		Extremadamente			
<u>MENOS IMPORTANTE</u>																	<u>MÁS IMPORTANTE</u>	

Nota. Adaptado de INDECI Y PNUD (2010).

Los valores relativos que se le dan a cada variable se procesan y se obtiene el coeficiente comparación, de acuerdo con esto puede clasificarse el nivel de peligro asociado como: Muy alto, alto, medio, bajo.

2.5.1 Peligros geológicos

Su incidencia dependerá mayormente de la sismicidad de la zona y en menor medida de la calidad del macizo rocoso, la forma del relieve, la naturaleza del material de cobertura y la profundidad de la napa freática.

Para establecer el nivel de peligro mediante una matriz de comparación, se tuvieron en cuenta dos factores: los peligros existentes y las áreas que los comprenden, eligiendo como variable de mayor ocurrencia la sismicidad.

Para establecer el nivel de peligro geológico, puede clasificarse de acuerdo con el valor de coeficiente de comparación obtenido de la matriz:

- Muy alto: 0.0575 - 0.06
- Alto: 0.04 - 0.05
- Medio: 0.035 - 0.039
- Bajo: 0.03 - 0.034

En la Tabla 9 se puede observar una extracción de la matriz comparativa que indica el nivel de peligro para las zonas en estudio. Los taludes y cauces de las quebradas Santa Rita, Politécnico y Yale presentaron un nivel de peligro alto ante sismicidad.

Tabla 9

Extracción de la matriz comparativa para peligros geológicos

	Sectores		Coficiente de comparación	Nivel de peligro
Talud	Sector 4	Quebrada Santa Rita	0.04	Alto
	Sector 5	Quebrada Politécnico	0.04	Alto
	Sector 6	Quebrada Yale	0.04	Alto
Cauce	Sector 11	Quebrada Santa Rita	0.04	Alto
	Sector 12	Quebrada Politécnico	0.04	Alto
	Sector 13	Quebrada Yale	0.04	Alto

Nota. Adaptado de INDECI Y PNUD (2010).

2.5.2 Peligros geológicos-climáticos

Según el estudio de INDECI y PNUD (2010), los peligros de origen geológico-climático asociados a la zona de estudio son:

- Deslizamientos: Fenómeno observado en zona alta del cauce de las quebradas Santa Rita y Yale. El peligro se acentúa en la vía de la prolongación de la Av. Bolognesi que abarca las laderas de Villa FAP y la vía del sector industrial.
- Desprendimiento de rocas: Fenómeno observado en las laderas de la quebrada Santa Rita.

Para establecer el nivel de peligro mediante una matriz de comparación, se tuvieron en cuenta dos factores: los peligros existentes y las áreas que los comprenden, además se eligieron las siguientes variables de peligro: derrumbes de rocas, desprendimientos y deslizamientos.

De acuerdo con el coeficiente de comparación el nivel de peligro geológico – climático se clasificó como:

- Muy alto: 0.08 – 0.09
- Alto: 0.05 – 0.07
- Medio: 0.035 – 0.045
- Bajo: 0.01 – 0.03

En la Tabla 10 se puede observar una extracción de la matriz comparativa que indica el nivel de peligro para las zonas en estudio. Los taludes de las quebradas Santa Rita y Yale presentan un nivel de peligro muy alto ante desprendimiento de rocas y deslizamientos.

Tabla 10

Extracción de la matriz comparativa para peligros geológicos-climáticos

	Sectores		Coeficiente de comparación	Nivel de peligro
	Sector 4	Quebrada Santa Rita	0.08	Muy alto
Talud	Sector 5	Quebrada Politécnico	0.07	Alto
	Sector 6	Quebrada Yale	0.08	Muy alto
	Sector 11	Quebrada Santa Rita	0.05	Alto
Cauce	Sector 12	Quebrada Politécnico	0.05	Alto
	Sector 13	Quebrada Yale	0.05	Alto

Nota. Adaptado de INDECI Y PNUD (2010).

2.5.3 Peligros geológicos-geotécnicos

Para establecer el nivel de peligro mediante una matriz de comparación, tuvieron en cuenta dos factores: los peligros geotécnicos existentes y las áreas que los comprenden, además se eligieron las siguientes variables de peligro: agresividad del suelo, densificación del

suelo, suelo colapsable, suelo expansivo, suelo hidromórfico, suelo licuable y amplificación sísmica.

De acuerdo con el coeficiente de comparación el nivel de peligro geológico-geotécnico puede clasificarse como:

- Muy alto: 0.075 – 0.08
- Alto: 0.06 – 0.07
- Medio: 0.04 – 0.05
- Bajo: 0.02 – 0.03

En la Tabla 11 se puede observar una extracción de la matriz comparativa que indica el nivel de peligro para las zonas en estudio. Los taludes y cauces de las quebradas Santa Rita, Politécnico y Yale presentaron un nivel de peligro alto.

Tabla 11

Extracción de la matriz comparativa para peligros geológicos-geotécnicos

	Sectores		Coeficiente de comparación	Nivel de peligro
Talud	Sector 4	Quebrada Santa Rita	0.05	Alto
	Sector 5	Quebrada Politécnico	0.05	Alto
	Sector 6	Quebrada Yale	0.05	Alto
Cauce	Sector 11	Quebrada Santa Rita	0.04	Alto
	Sector 12	Quebrada Politécnico	0.04	Alto
	Sector 13	Quebrada Yale	0.04	Alto

Nota. Adaptado de INDECI Y PNUD (2010).

2.5.4 Peligros hidrológicos

La ciudad de Talara es afectada por dos peligros importantes: El Fenómeno El Niño y los tsunamis, como producto de fuertes movimientos sísmicos y su cercanía a la costa.

Para establecer el nivel de peligro mediante una matriz de comparación, INDECI y PNUD (2010) tuvieron en cuenta dos factores: variables de los peligros hidrológicos y los sectores críticos identificados, eligiendo como variables el Tsunami y las Precipitaciones.

En la Tabla 12 se puede observar una extracción de la matriz comparativa que indica el nivel de peligro para las zonas en estudio. En los sectores que comprenden el cauce de las quebradas Santa Rita, Politécnico y Yale se presenta un nivel de peligro muy alto ante inundaciones por precipitación y erosión de cárcavas.

Tabla 12*Extracción de la matriz comparativa para peligros hidrológicos*

	Sectores		Coefficiente de comparación	Nivel de peligro
	Sector 4	Quebrada Santa Rita	0.043	Alto
Talud	Sector 5	Quebrada Politécnico	0.04	Alto
	Sector 6	Quebrada Yale	0.04	Alto
	Sector 11	Quebrada Santa Rita	0.06	Muy alto
Cauce	Sector 12	Quebrada Politécnico	0.06	Muy alto
	Sector 13	Quebrada Yale	0.07	Muy alto

Nota. Adaptado de INDECI Y PNUD (2010).

Capítulo 3

Caracterización de cuencas

En este capítulo se establecen los puntos de interés del presente estudio, seguido de la delimitación de las cuencas elegidas y sus características morfológicas relacionadas a la forma y relieve.

3.1 Puntos de interés

Para el análisis se establecieron puntos de interés, delimitando cuencas en las cuales se determina el caudal líquido y sólido para diversos periodos de retorno.

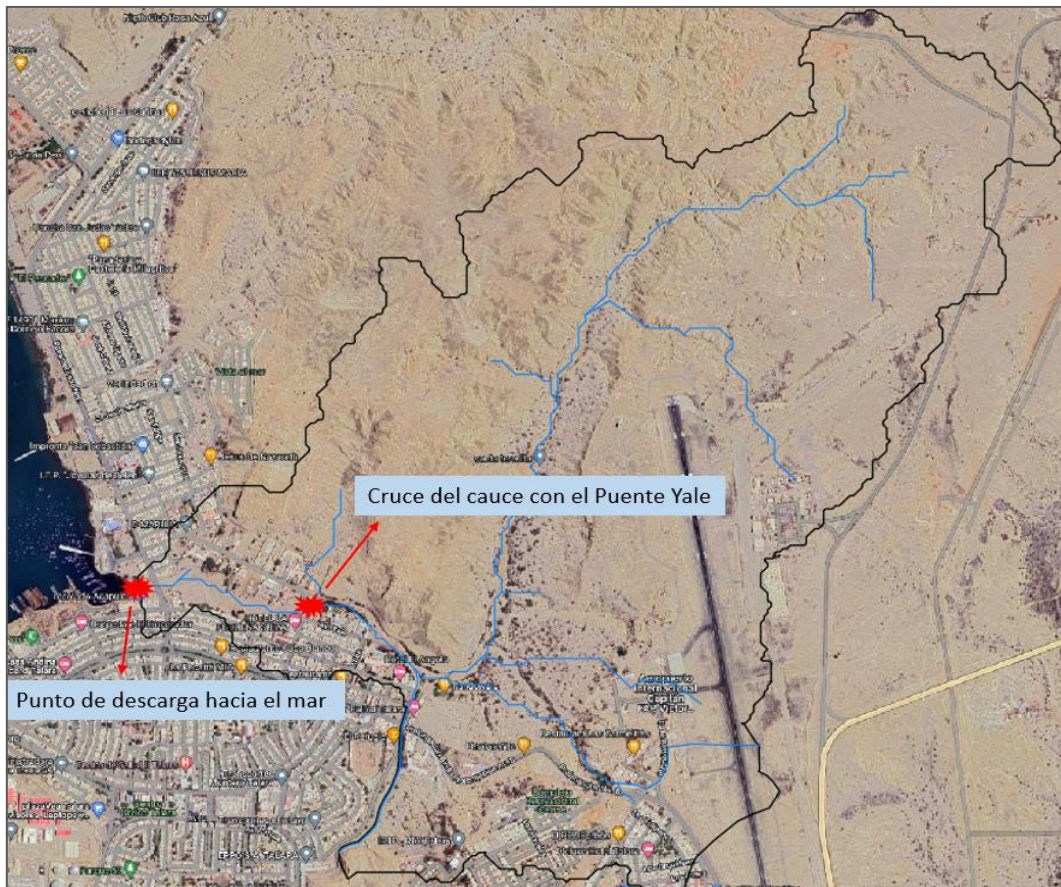
Estos puntos se ubicaron en la zona de descarga de las cuencas y en los cruces del cauce con vías de comunicación como carreteras y puentes:

- Santa Rita (Figura 15)
 - Punto 1: Punto de descarga de la quebrada hacia el mar.
 - Punto 2: Intersección del cauce de la quebrada con la carretera hacia Las Peñitas.
 - Punto 3: Intersección del cauce de la quebrada con la carretera Panamericana Norte.
- Politécnico (Figura 16)
 - Punto 1: Punto de descarga de la quebrada hacia el mar.
 - Punto 2: Intersección del cauce de la quebrada con la carretera Alfonso Ugarte aguas arriba del canal revestido existente.
- Yale (Figura 17)
 - Punto 1: Punto de descarga de la quebrada hacia el mar.
 - Punto 2: Intersección del cauce de la quebrada con el puente Yale.

Según los puntos de interés ubicados, se definieron las cuencas de estudio, que quedaron identificadas como: Santa Rita 1, Santa Rita 2, Santa Rita 3, Politécnico 1, Politécnico 2, Yale 1, Yale 2 y Mangle.

Figura 17

Ubicación de los puntos de interés en la quebrada Yale



3.2 Delimitación de las cuencas

Para delimitar las cuencas hidrográficas en estudio, se usó un Modelo Digital de Elevación (MDE) del satélite ALOS PALSAR en formato ráster, para la ciudad de Talara. Este cuenta con un tamaño de celda de 12.5 m x 12.5 m y puede ser obtenido de manera gratuita, los resultados obtenidos dependerán de la calidad de información del MDE; a más pequeño el tamaño de la celda se tendrá una delimitación más fina.

La delimitación de las cuencas se realizó con el software ArcGIS, de acuerdo con lo explicado en el apartado 1.3, de la Figura 18 a la Figura 20 se muestra la delimitación de cada cuenca.

Figura 18
Delimitación de la cuenca Santa Rita

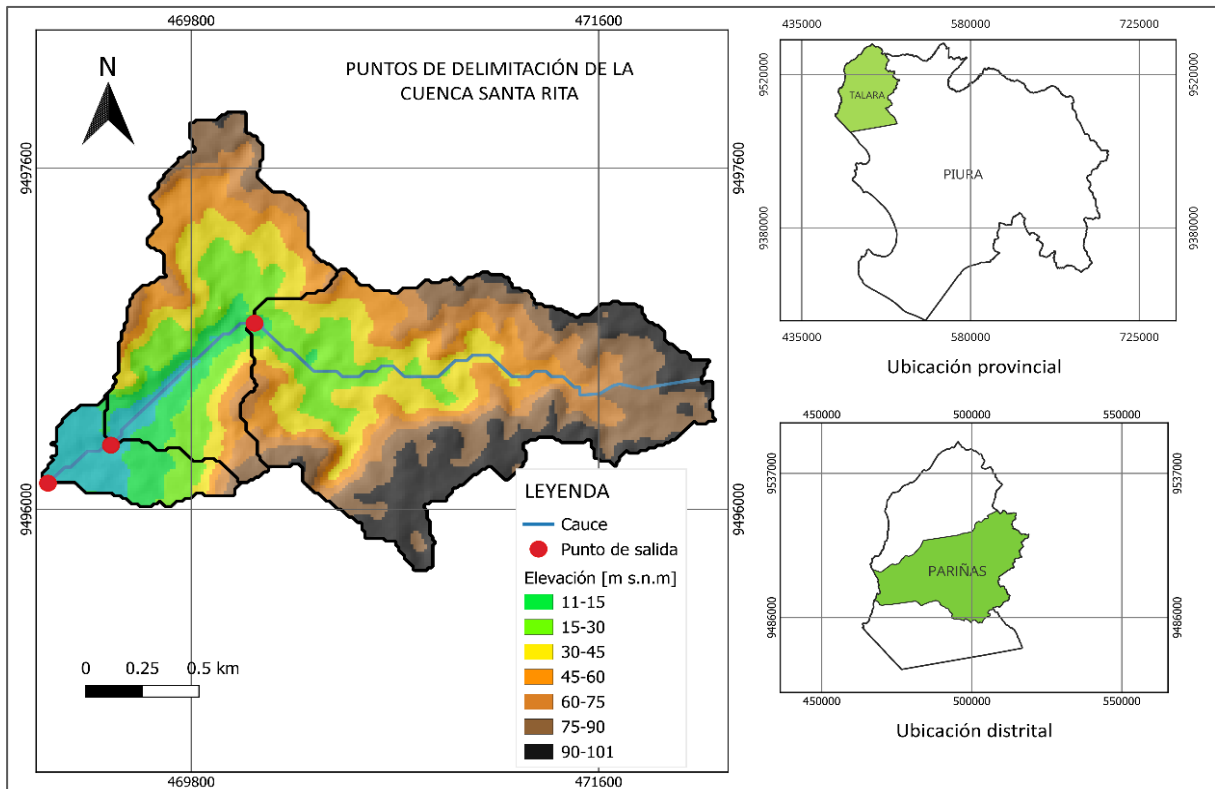


Figura 19
Delimitación de la cuenca Politécnico

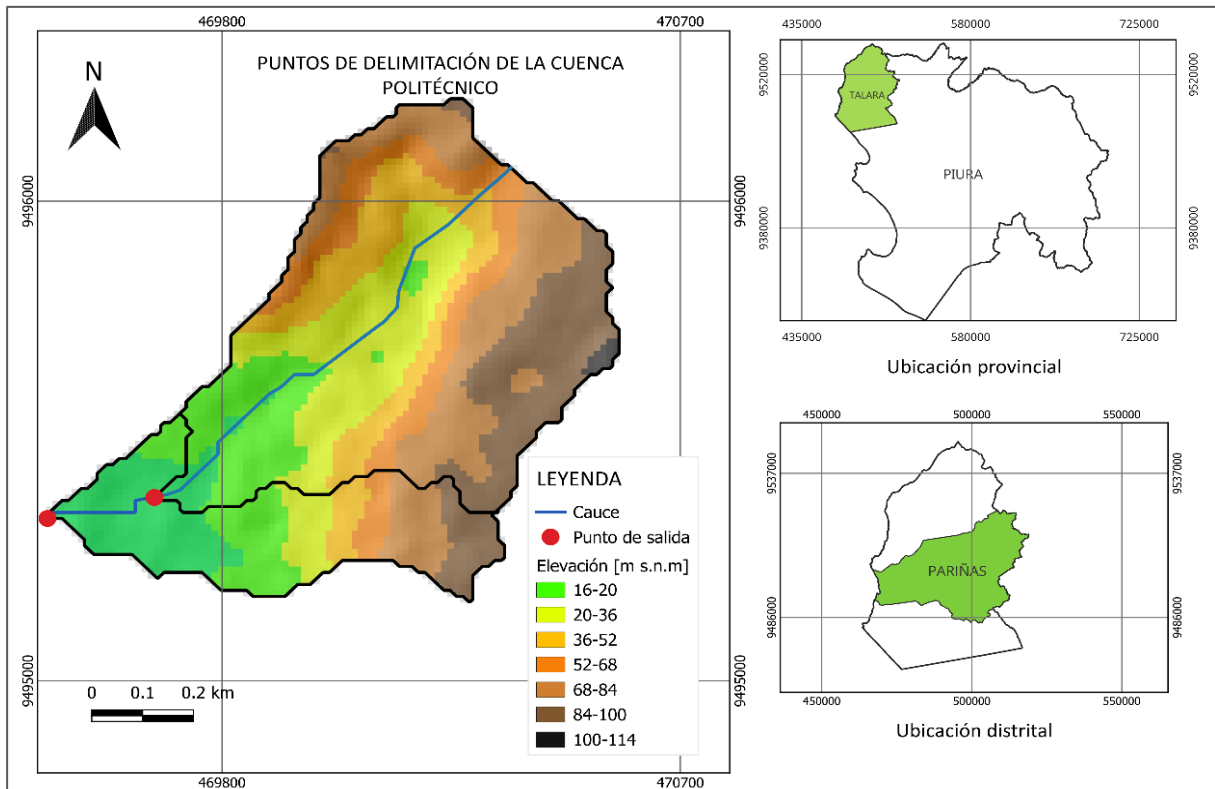
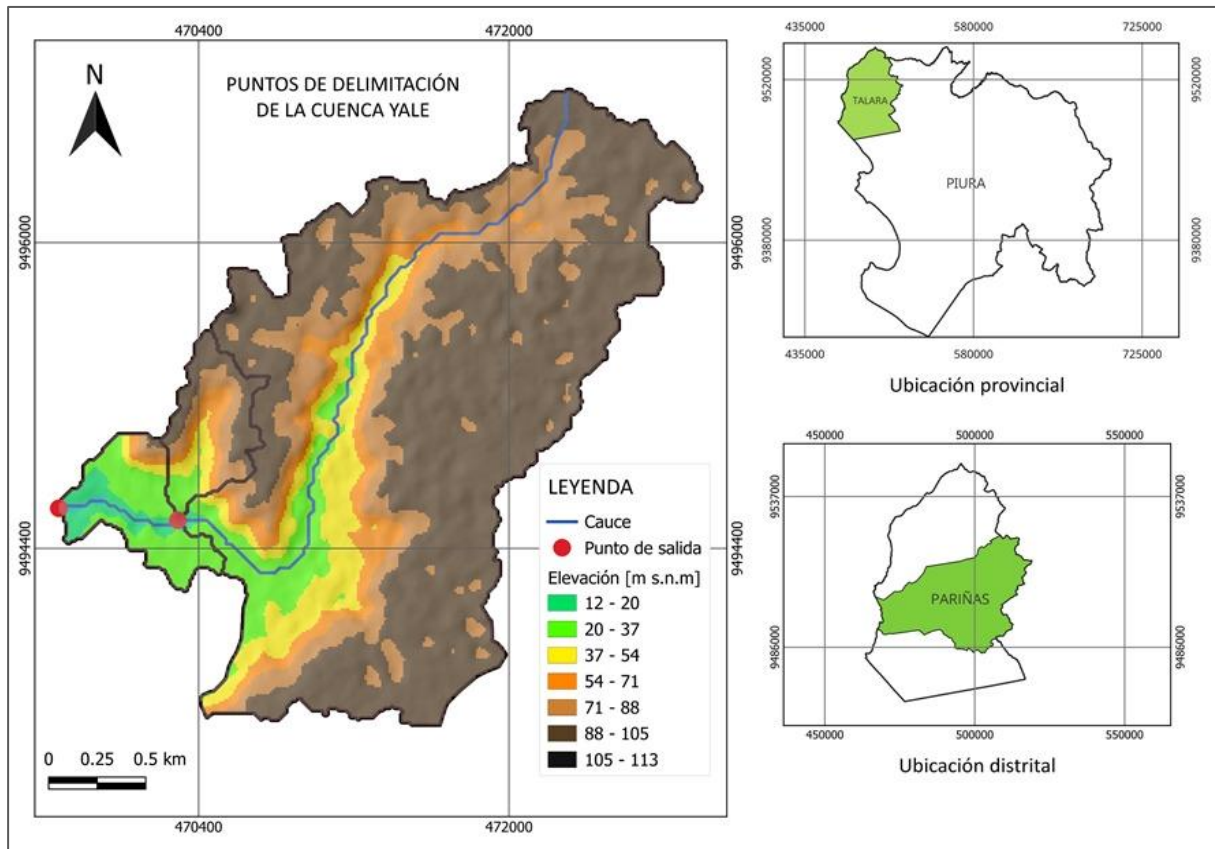


Figura 20*Delimitación de la cuenca Yale*

3.3 Características básicas de las cuencas de estudio

Teniendo en cuenta lo explicado en el apartado 1.2.4 se obtuvieron los siguientes datos extraídos del software ArcGIS.

Tabla 13*Características básicas de las cuencas*

Cuenca	Área (Km ²)	Perímetro (Km)	Longitud mayor del río (Km)	Ancho promedio (Km)	Densidad de drenaje (Km/Km ²)
Santa Rita 1	2.82	10.34	3.56	0.79	1.34
Santa Rita 2	2.61	9.65	3.20	0.82	1.31
Santa Rita 3	1.69	6.95	2.32	0.73	1.29
Politécnico 1	0.63	3.77	1.28	0.49	1.47
Politécnico 2	0.47	3.23	1.02	0.46	1.43
Yale 1	5.39	14.17	4.71	1.14	2.03
Yale 2	4.76	13.38	4.02	1.19	2.03
Mangle	0.30	2.92	0.97	0.31	1.79

3.4 Características relacionadas con la forma de las cuencas

Se muestran en la Tabla 14 los valores de K_c , K_f , L_e y l_e obtenidos de acuerdo lo explicado en el apartado 1.2.5.

Tabla 14

Valores de K_c , K_f , L_e , l_e de cada cuenca

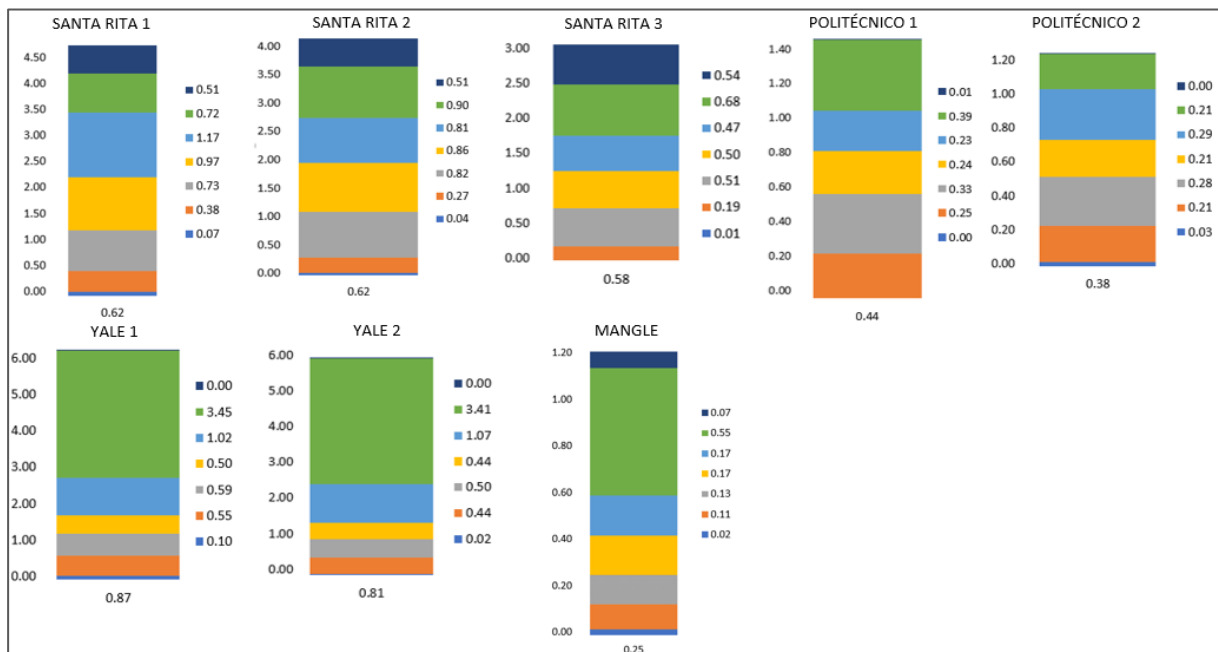
Cuenca	Índice de compacidad K_c	Índice o factor de forma K_f	L_e (Km)	l_e (Km)
Santa Rita 1	1.74	0.22	4.55	0.62
Santa Rita 2	1.68	0.25	4.20	0.62
Santa Rita 3	1.51	0.31	2.89	0.58
Politécnico 1	1.34	0.39	1.45	0.44
Politécnico 2	1.33	0.45	1.23	0.38
Yale 1	1.72	0.24	6.21	0.87
Yale 2	1.73	0.30	5.88	0.81
Mangle	1.50	0.32	1.21	0.25

El valor de K_c obtenido para cada cuenca nos indica de acuerdo a la Tabla 4 de clasificación, que las cuencas Santa Rita y Yale son alargadas con menor probabilidad de inundación, ya que los tiempos de concentración serán más largos lo que contribuye a tener menores picos de caudal durante una tormenta por el contrario la cuenca Politécnico es ovalada con más probabilidad de inundación y tiempo de concentración corto.

De acuerdo al parámetro de factor de forma, podemos decir que las cuencas Santa Rita 1 y 2 y Yale 1 son alargadas, las cuencas Santa Rita 3, Yale 2 y Mangle son ligeramente alargadas y las cuencas Politécnico 1 y 2 tienen forma ovalada.

Figura 21

Rectángulo equivalente de cada cuenca



En el Apéndice A se muestran las longitudes parciales del rectángulo equivalente para cada cuenca

3.5 Características relacionadas con el relieve de la cuenca

3.5.1 Curvas representativas

El cálculo se realizó según lo explicado en el apartado 1.2.6.1. La Tabla 15 presenta los datos y los resultados obtenidos para cada cuenca. De la Figura 22 a la Figura 29 se presentan los mapas de cada cuenca con sus curvas de nivel representativas, que permiten apreciar la topografía.

Tabla 15

Curvas de nivel representativas de las cuencas

Cuenca	Cota máxima	Cota mínima	D preliminar	D final	Curvas características
Santa Rita 1	101	11	15	15	15, 30, 45, 60, 75, 90
Santa Rita 2	101	15	14.3	14	20, 34, 48, 62, 76, 90
Santa Rita 3	101	28	12.2	12	30, 42, 54, 66, 78, 90
Politécnico 1	114	16	16.3	16	20, 36, 52, 68, 84, 100
Politécnico 2	114	25	14.8	15	30, 45, 60, 75, 90, 105
Yale 1	113	12	16.8	17	20, 37, 54, 71, 88, 105
Yale 2	113	20	15.5	16	25, 41, 57, 73, 89, 105
Mangle	101	20	13.5	14	25, 39, 53, 67, 81, 95

Figura 22

Áreas entre curvas representativas de la cuenca Santa Rita 1

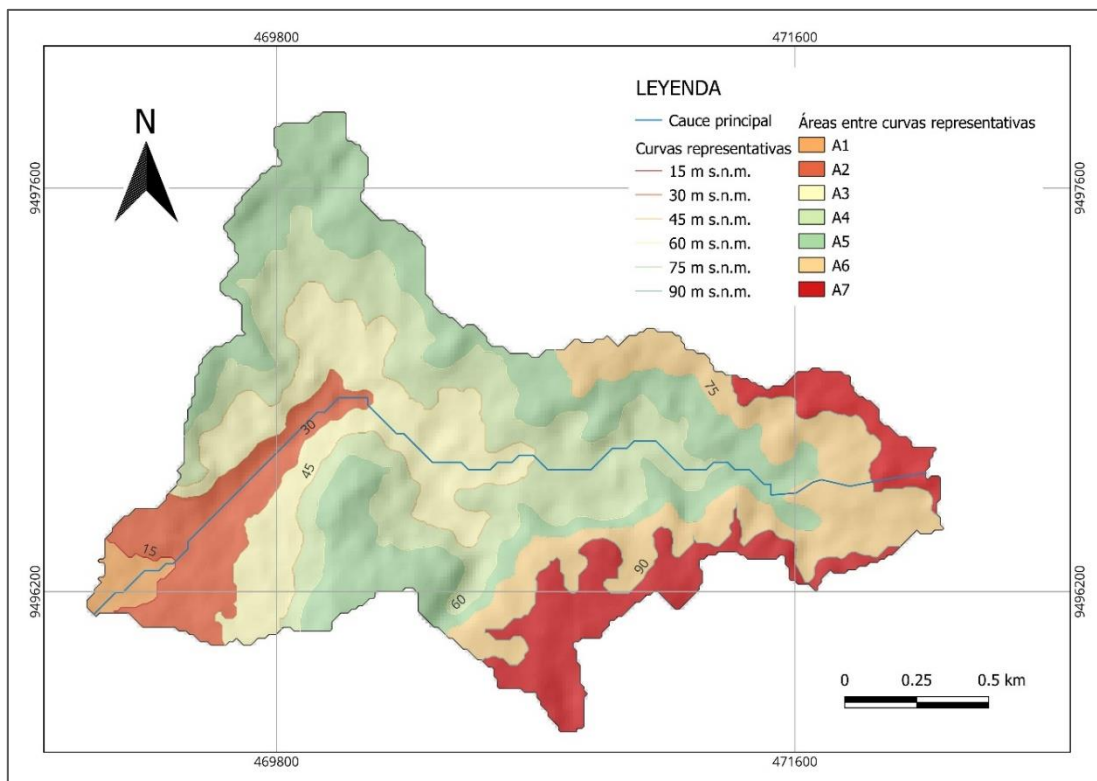


Figura 23

Áreas entre curvas representativas de la cuenca Santa Rita 2

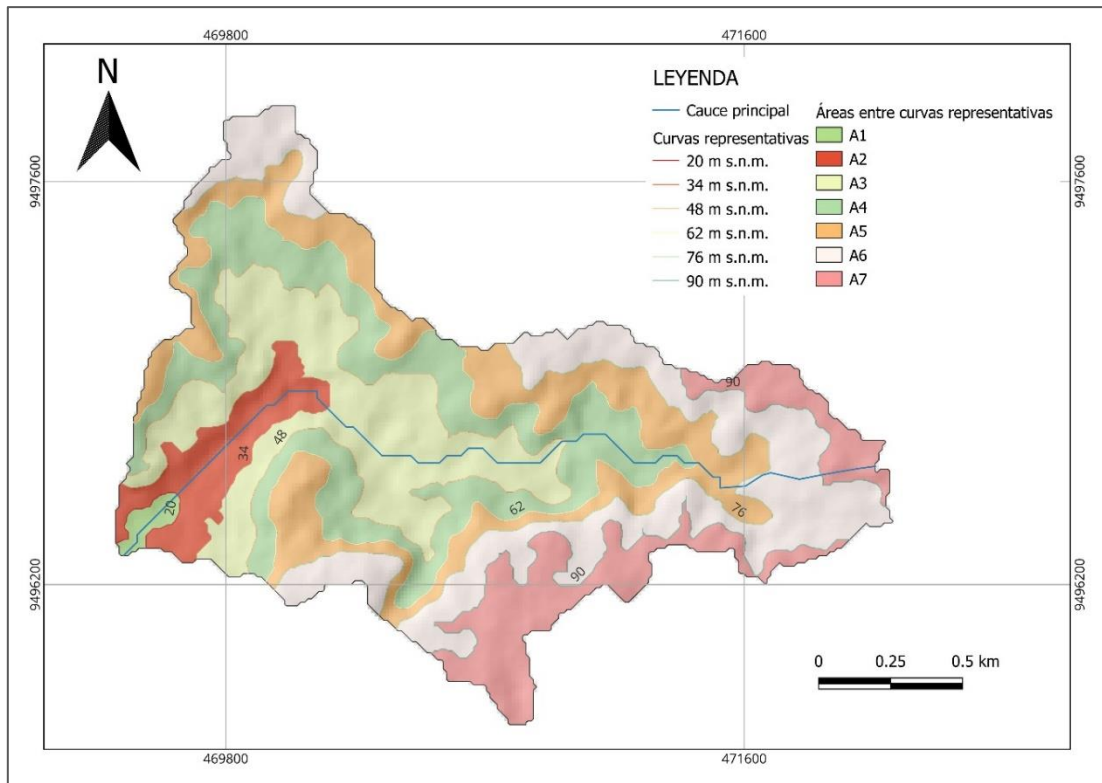


Figura 24

Áreas entre curvas representativas de la cuenca Santa Rita 3

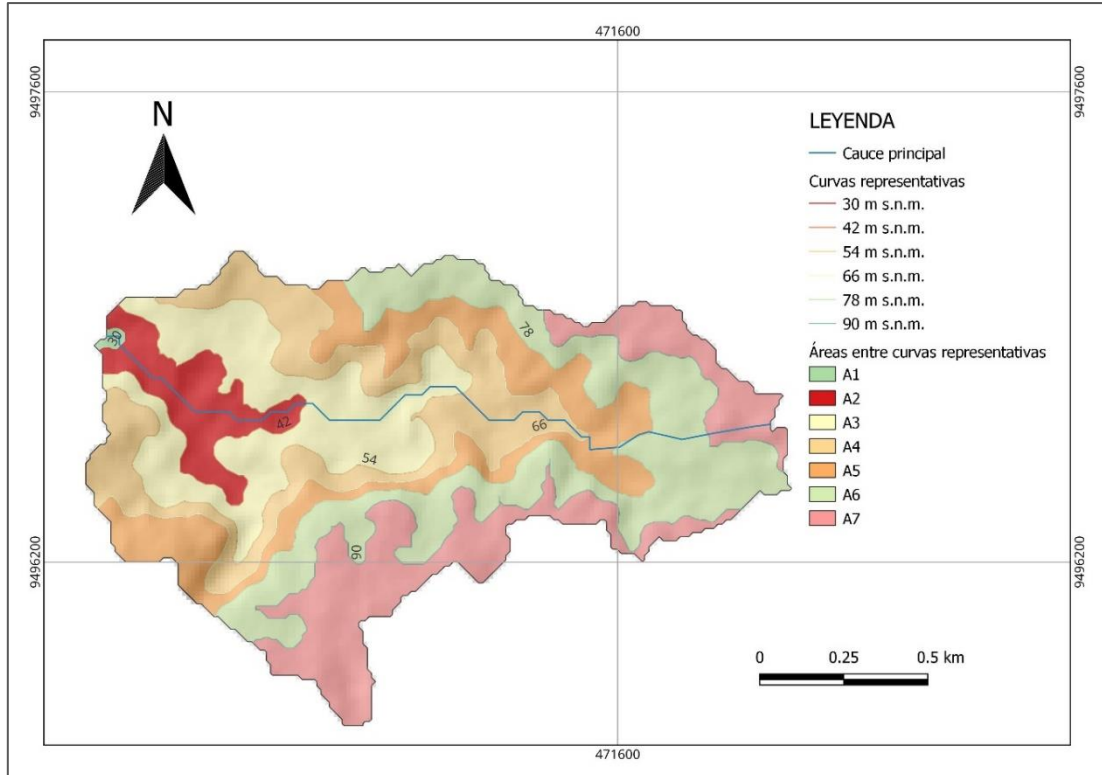


Figura 25

Áreas entre curvas representativas de la cuenca Politécnico 1

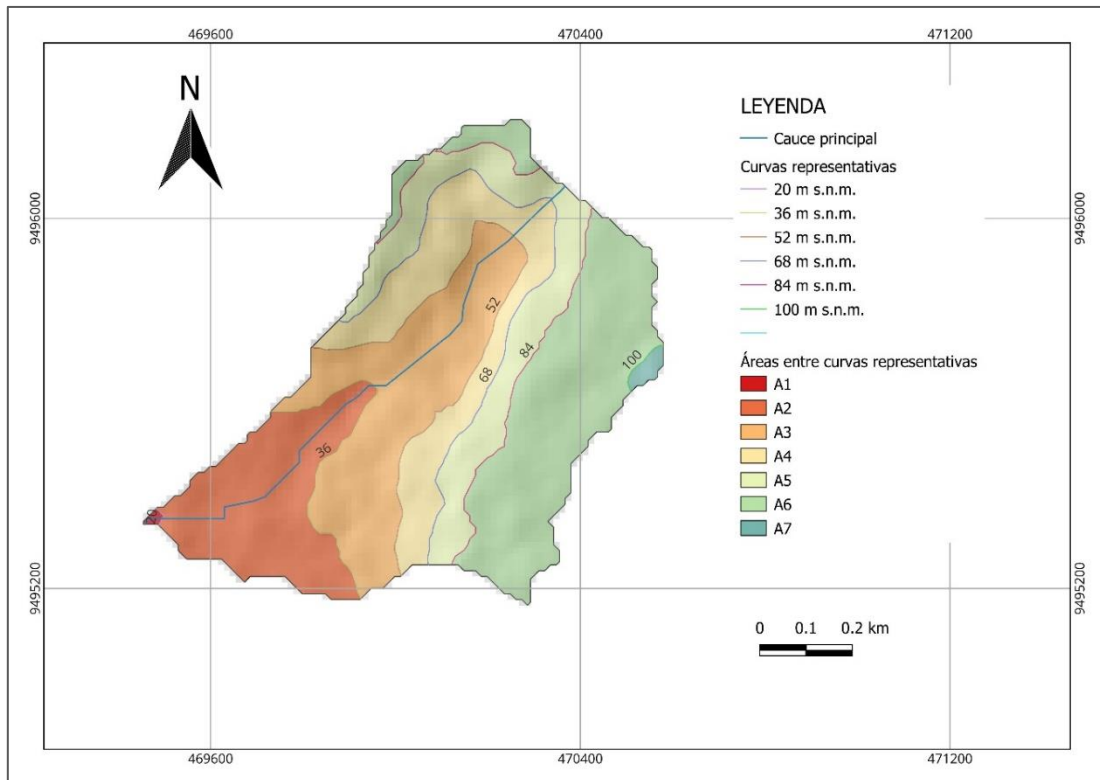


Figura 26

Áreas entre curvas representativas de la cuenca Politécnico 2

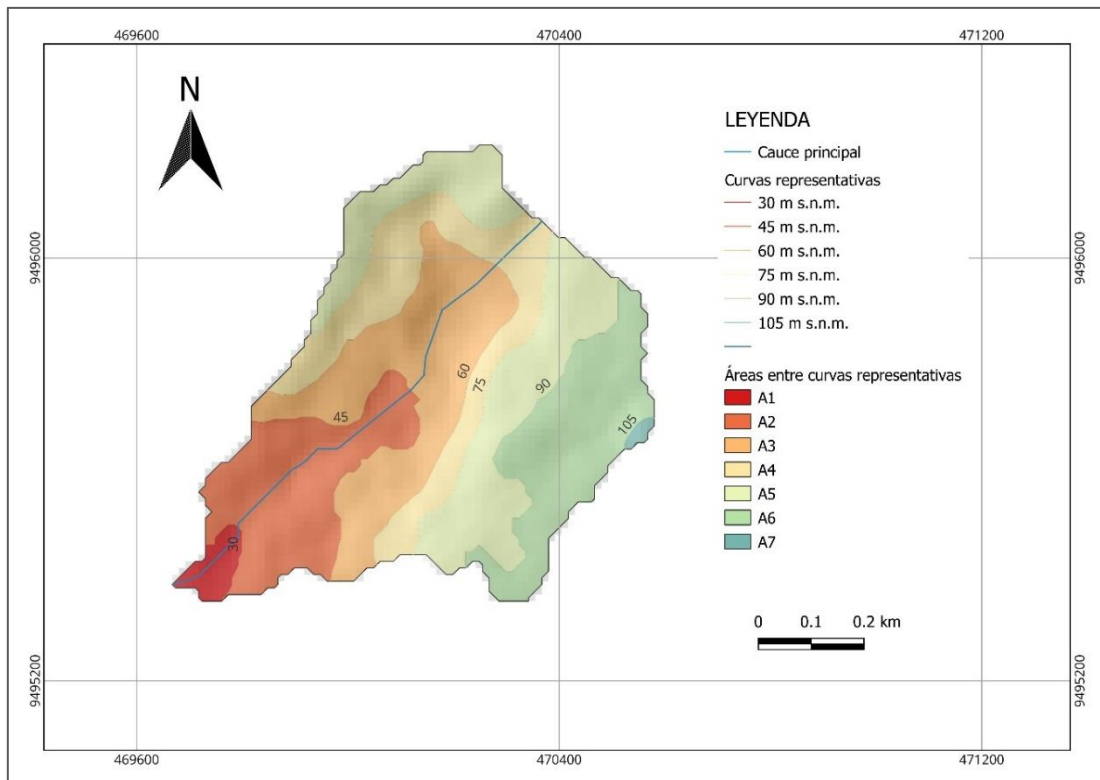


Figura 27

Áreas entre curvas representativas de la cuenca Yale 1

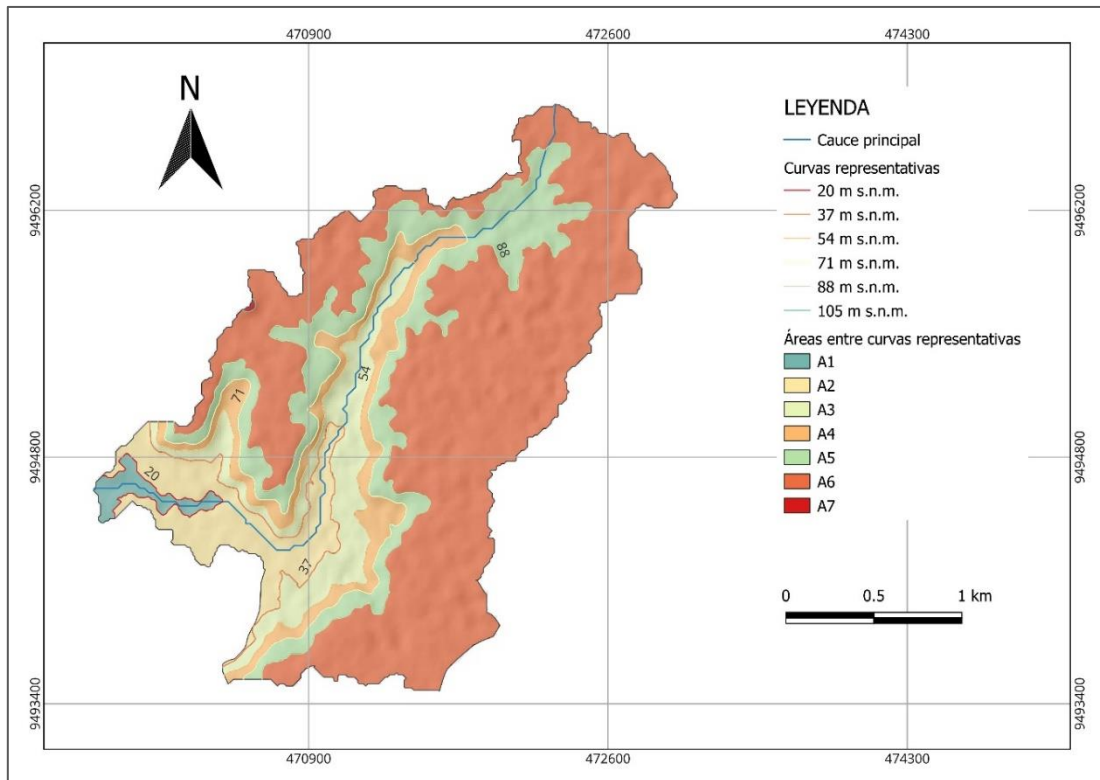


Figura 28

Áreas entre curvas representativas de la cuenca Yale 2

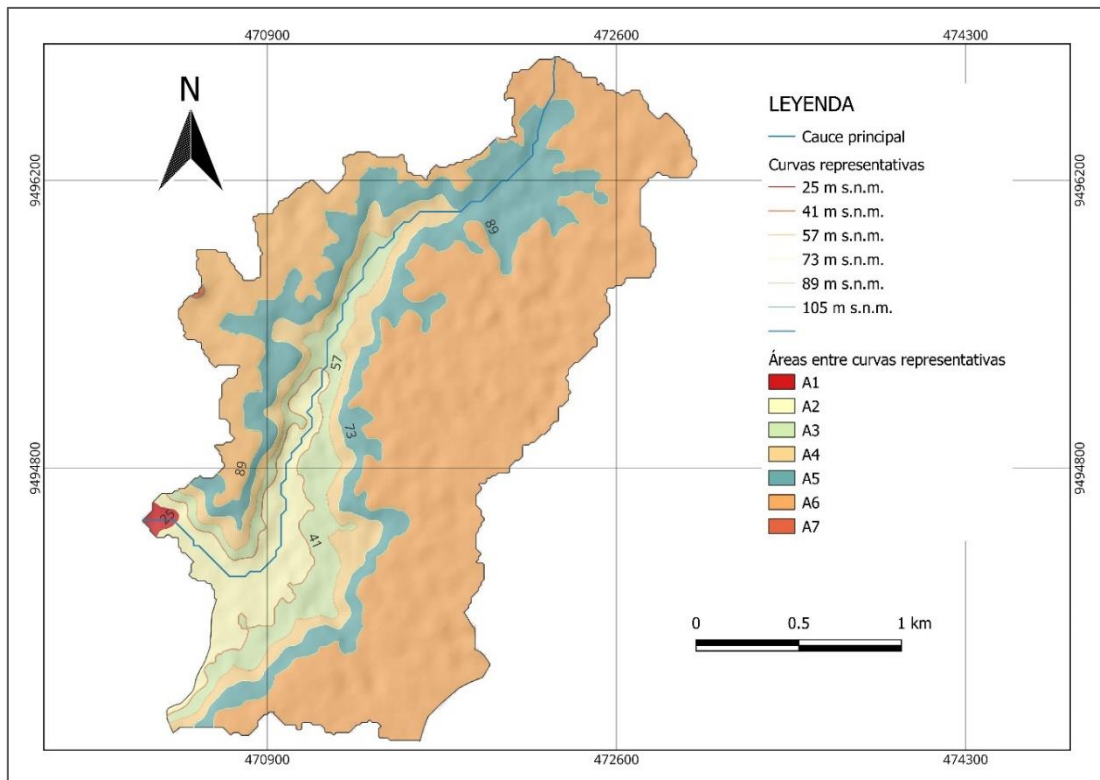
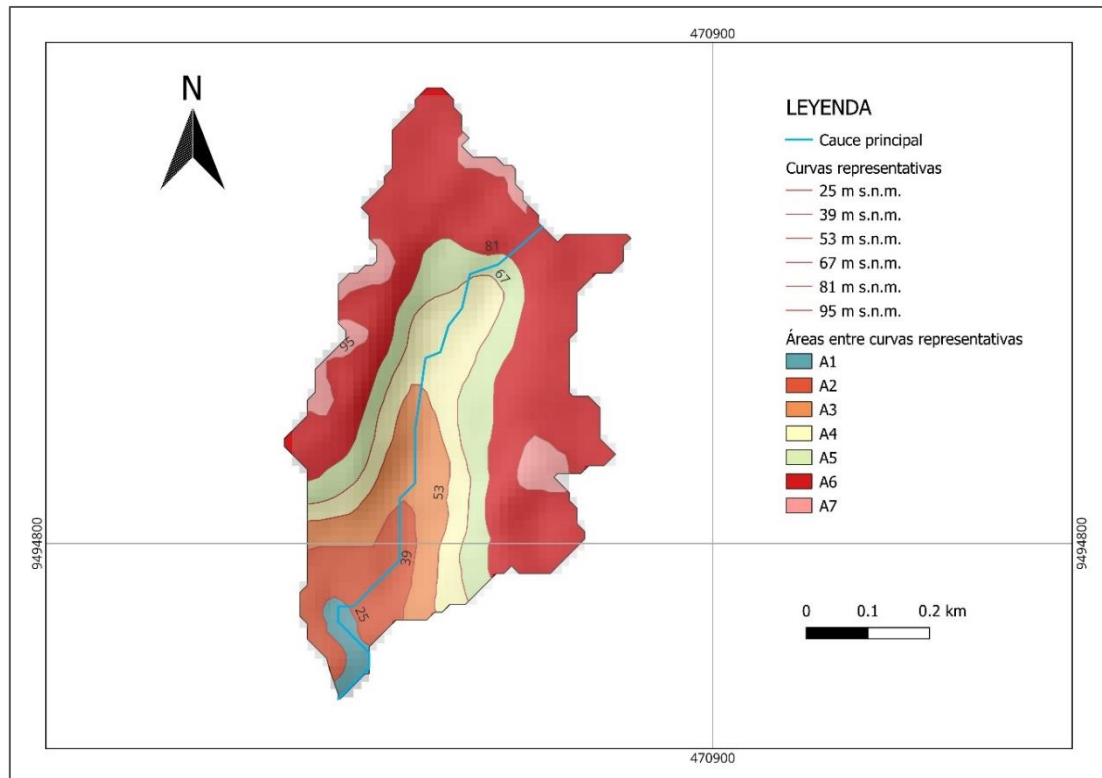


Figura 29*Áreas entre curvas representativas de la cuenca Mangle***3.5.2 Distribución altimétrica de la cuenca y frecuencia de altitudes**

El cálculo se realizó según lo explicado en los apartados 1.2.6.2 y 1.2.6.3. De la Tabla 16 a la Tabla 23 mostradas a continuación, se presenta la distribución altimétrica para cada cuenca seguida de sus respectivos gráficos de distribución, frecuencia y curva hipsométrica en la Figura 30 a la Figura 45.

Tabla 16*Distribución altimétrica de la cuenca Santa Rita 1*

Cota (m s.n.m.)		Áreas parciales (Km ²)	% del total	Áreas referidas a la cota más alta			
Menor	Mayor			Por debajo		Por encima	
				Km ²	%	Km ²	%
11	15	0.04	2%	0.04	2%	2.78	98%
15	30	0.24	8%	0.28	10%	2.54	90%
30	45	0.45	16%	0.73	26%	2.09	74%
45	60	0.60	21%	1.34	47%	1.49	53%
60	75	0.73	26%	2.06	73%	0.76	27%
75	90	0.45	16%	2.51	89%	0.32	11%
90	101	0.32	11%	2.82	100%	0.00	0%
Área total		2.82	100%	-	-	-	-

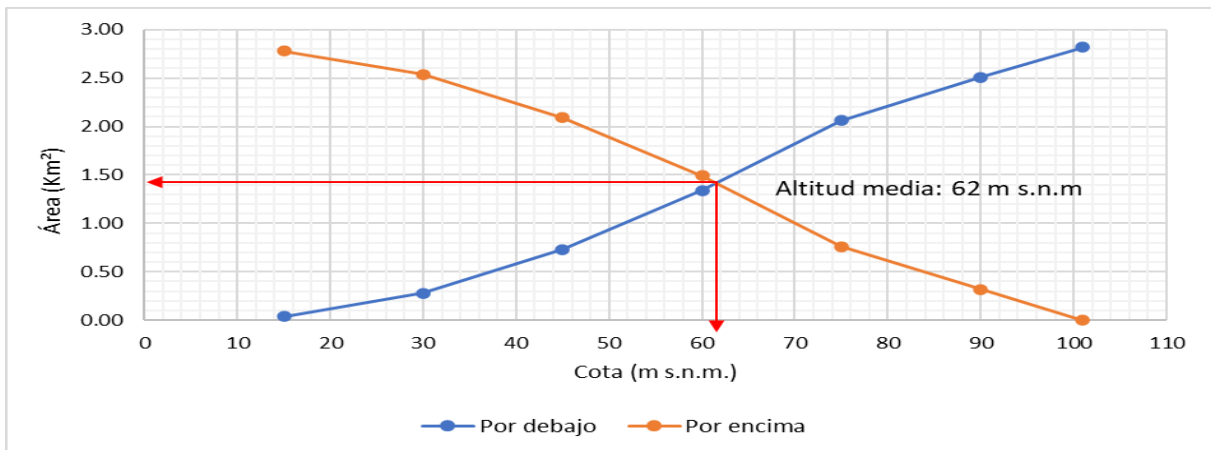
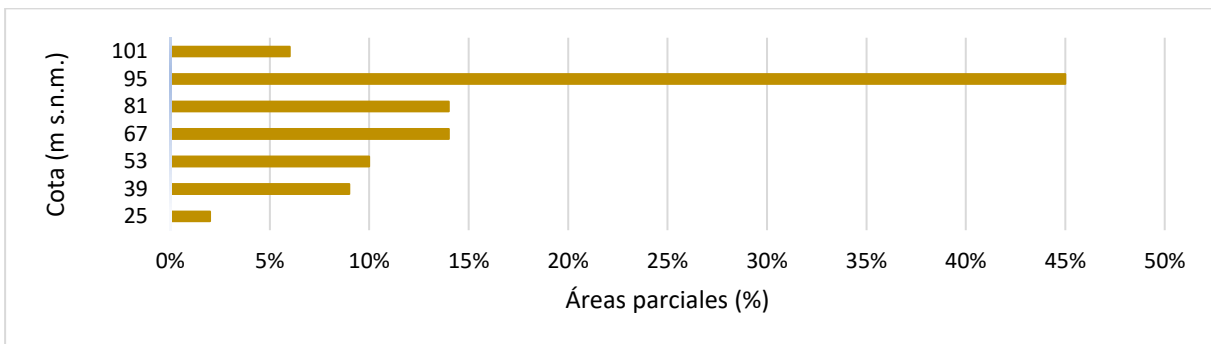
Figura 30*Distribución altimétrica de la cuenca Santa Rita 1 (Km²)***Figura 31***Frecuencia de altitudes de la cuenca Santa Rita 1*

Tabla 17*Distribución altimétrica de la cuenca Santa Rita 2*

Cota (m s.n.m.)		Áreas parciales (Km ²)	% del total	Áreas referidas a la cota más alta			
Menor	Mayor			Por debajo		Por encima	
				Km ²	%	Km ²	%
15	20	0.02	1%	0.02	1%	2.59	99%
20	34	0.17	6%	0.19	7%	2.42	93%
34	48	0.51	19%	0.70	27%	1.91	73%
48	62	0.53	21%	1.23	47%	1.38	53%
62	76	0.50	19%	1.73	66%	0.88	34%
76	90	0.56	21%	2.29	88%	0.32	12%
90	101	0.32	12%	2.61	100%	0.00	0%
Área total		2.61	100%	-	-	-	-

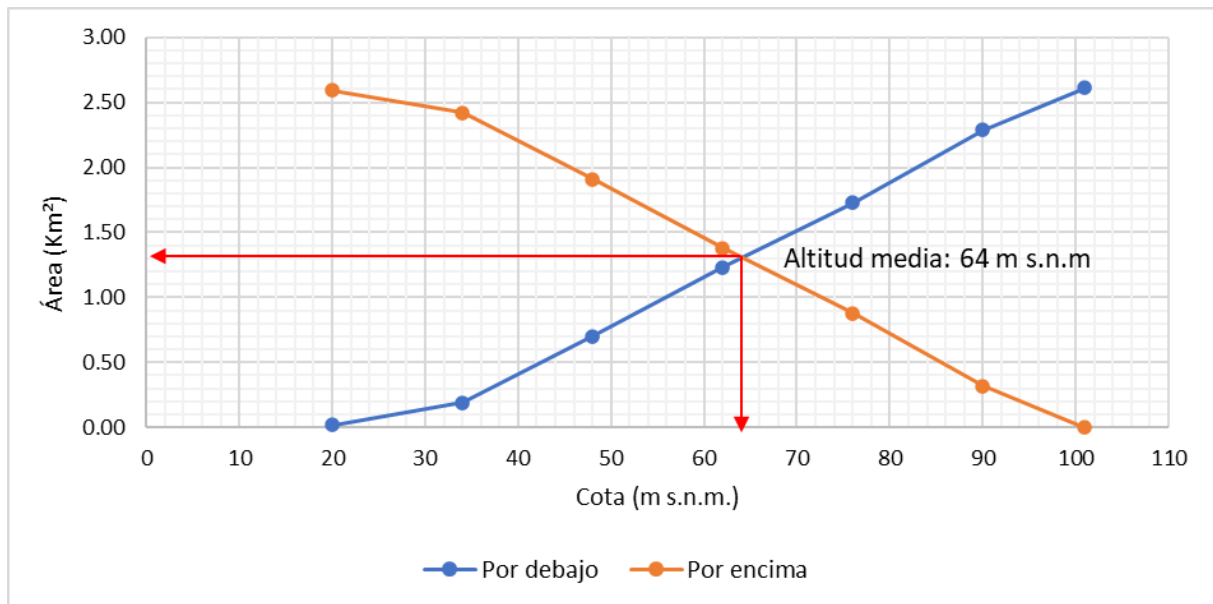
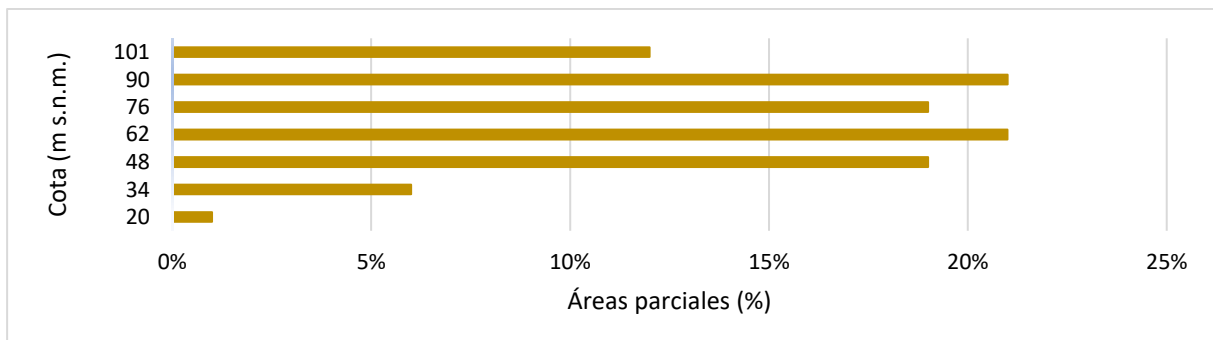
Figura 32*Distribución altimétrica de la cuenca Santa Rita 2 (Km²)***Figura 33***Frecuencia de altitudes de la cuenca Santa Rita 2*

Tabla 18*Distribución altimétrica de la cuenca Santa Rita 3*

Cota (m s.n.m.)		Áreas parciales (Km ²)	% del total	Áreas referidas a la cota más alta			
Menor	Mayor			Por debajo		Por encima	
				Km ²	%	Km ²	%
28	30	0.00	0%	0.00	0%	1.68	100%
30	42	0.11	7%	0.12	7%	1.57	93%
42	54	0.29	17%	0.41	24%	1.28	76%
54	66	0.29	17%	0.70	42%	0.99	58%
66	78	0.27	16%	0.98	58%	0.71	42%
78	90	0.39	23%	1.37	81%	0.32	19%
90	101	0.32	19%	1.69	100%	0.00	0%
Área total		1.69	100%	-	-	-	-

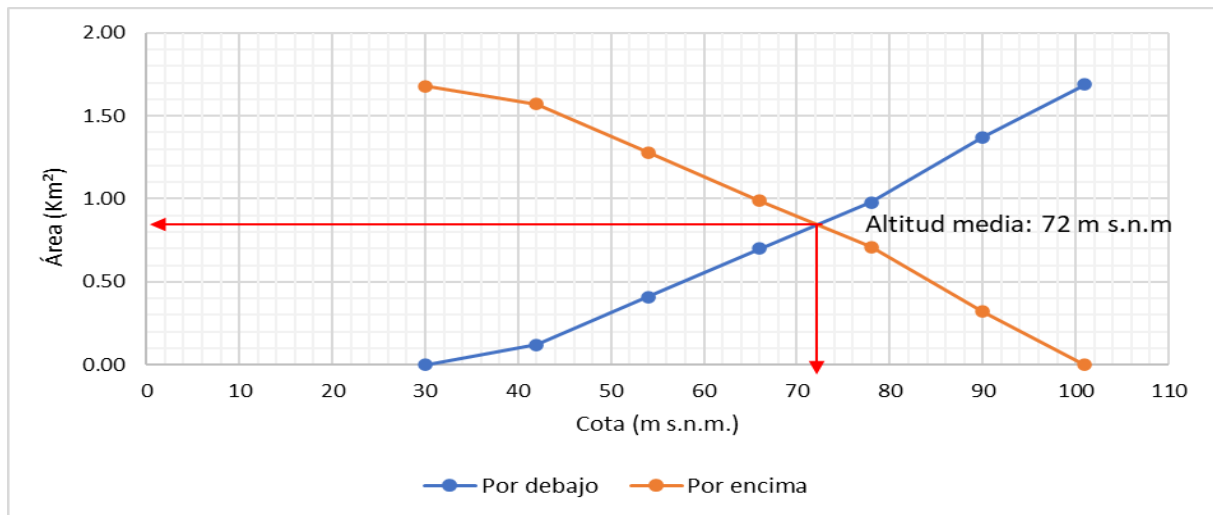
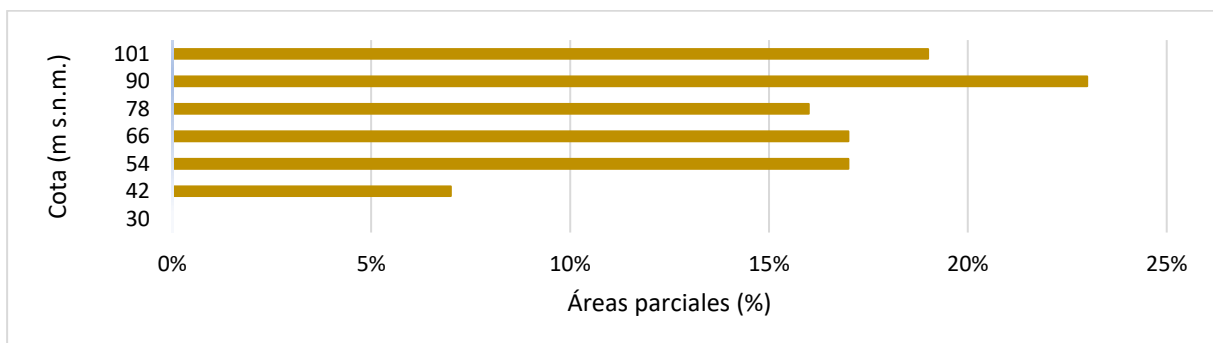
Figura 34*Distribución altimétrica de la cuenca Santa Rita 3 (Km²)***Figura 35***Frecuencia de altitudes de la cuenca Santa Rita 3*

Tabla 19*Distribución altimétrica de la cuenca Politécnico 1*

Cota (m s.n.m.)		Áreas parciales (Km ²)	% del total	Áreas referidas a la cota más alta			
Menor	Mayor			Por debajo		Por encima	
				Km ²	%	Km ²	%
16	20	0.00	0%	0.00	0%	0.63	100%
20	36	0.11	17%	0.11	17%	0.52	83%
36	52	0.14	23%	0.25	40%	0.38	60%
52	68	0.10	17%	0.36	57%	0.27	43%
68	84	0.10	16%	0.46	72%	0.17	28%
84	100	0.17	27%	0.63	99%	0.00	1%
100	114	0.00	1%	0.63	100%	0.00	0%
Área total		0.63	100%	-	-	-	-

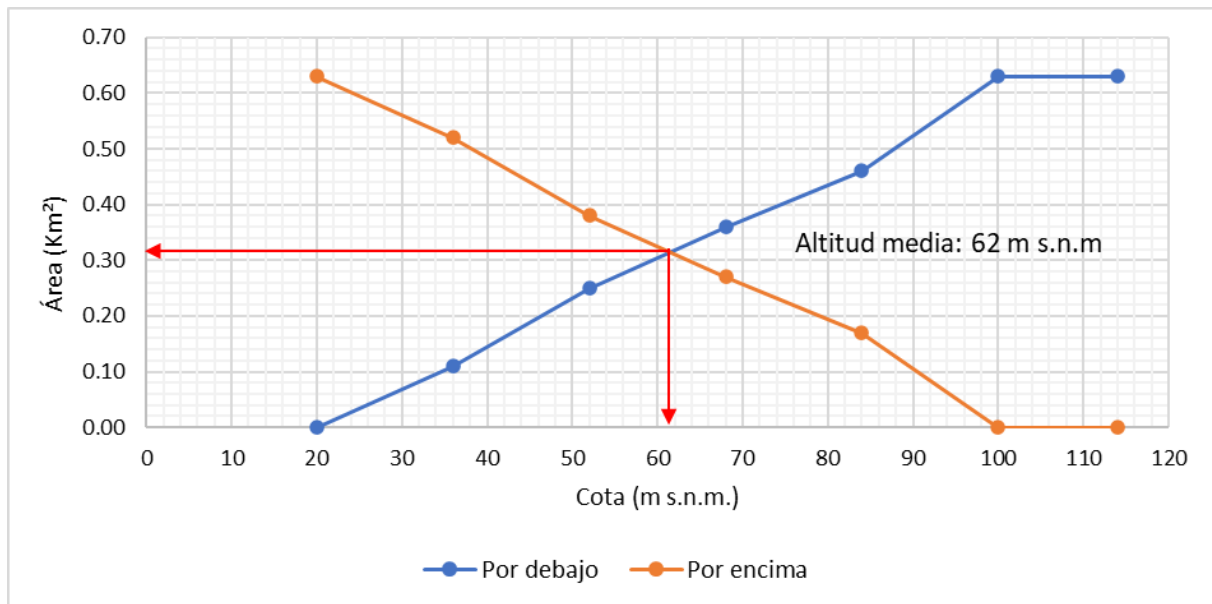
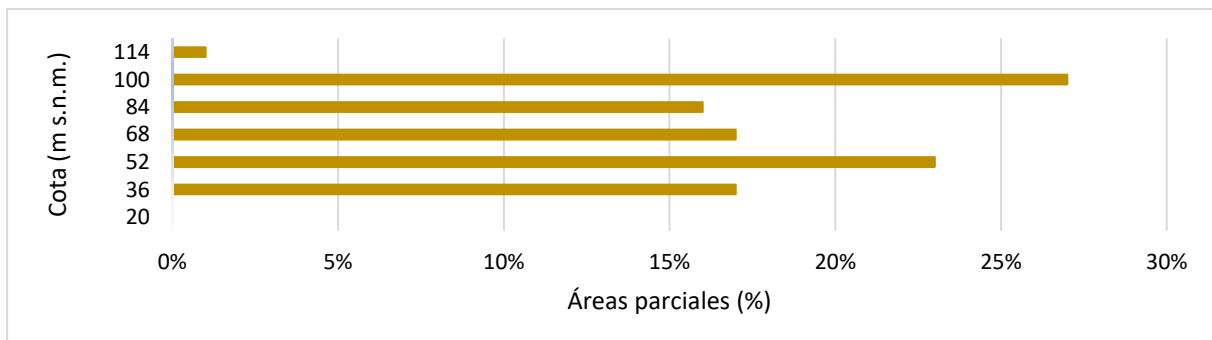
Figura 36*Distribución altimétrica de la cuenca Politécnico 1 (Km²)***Figura 37***Frecuencia de altitudes de la cuenca Politécnico 1*

Tabla 20*Distribución altimétrica de la cuenca Politécnico 2*

Cota (m s.n.m.)		Áreas parciales (Km ²)	% del total	Áreas referidas a la cota más alta			
Menor	Mayor			Por debajo		Por encima	
				Km ²	%	Km ²	%
25	30	0.01	2%	0.01	2%	0.46	98%
30	45	0.08	17%	0.09	19%	0.38	81%
45	60	0.11	23%	0.20	42%	0.27	58%
60	75	0.08	17%	0.28	59%	0.19	41%
75	90	0.11	24%	0.39	83%	0.08	17%
90	105	0.08	17%	0.47	100%	0.00	0%
105	114	0.00	0%	0.47	100%	0.00	0%
Área total		0.47	100%	-	-	-	-

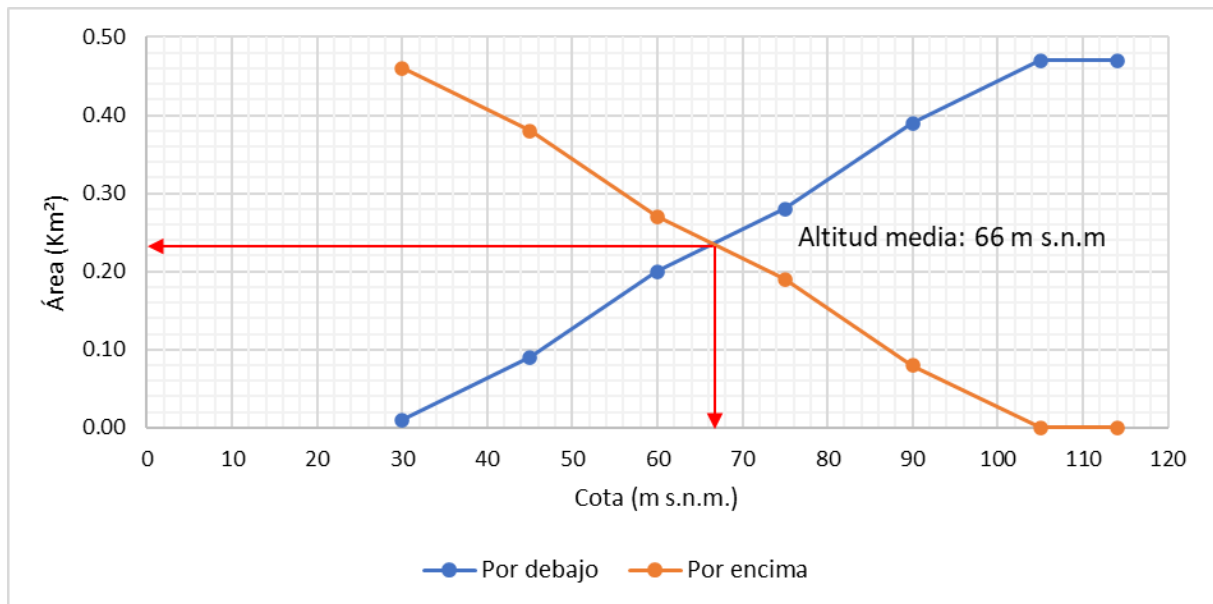
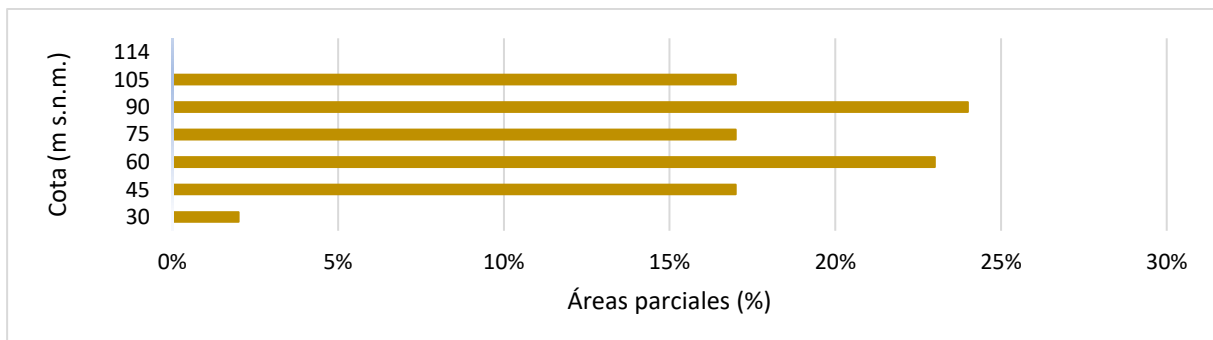
Figura 38*Distribución altimétrica de la cuenca Politécnico 2 (Km²)***Figura 39***Frecuencia de altitudes de la cuenca Politécnico 2*

Tabla 21*Distribución altimétrica de la cuenca Yale 1*

Cota (m s.n.m.)		Áreas parciales (Km ²)	% del total	Áreas referidas a la cota más alta			
Menor	Mayor			Por debajo		Por encima	
				Km ²	%	Km ²	%
12	20	0.09	2%	0.09	2%	5.31	98%
20	37	0.48	9%	0.57	11%	4.82	89%
37	54	0.51	10%	1.08	20%	4.31	80%
54	71	0.43	8%	1.51	28%	3.88	72%
71	88	0.89	16%	2.40	45%	2.99	55%
88	105	2.99	55%	5.39	100%	0.00	0%
105	113	0.00	0%	5.39	100%	0.00	0%
Área total		5.39	100%	-	-	-	-

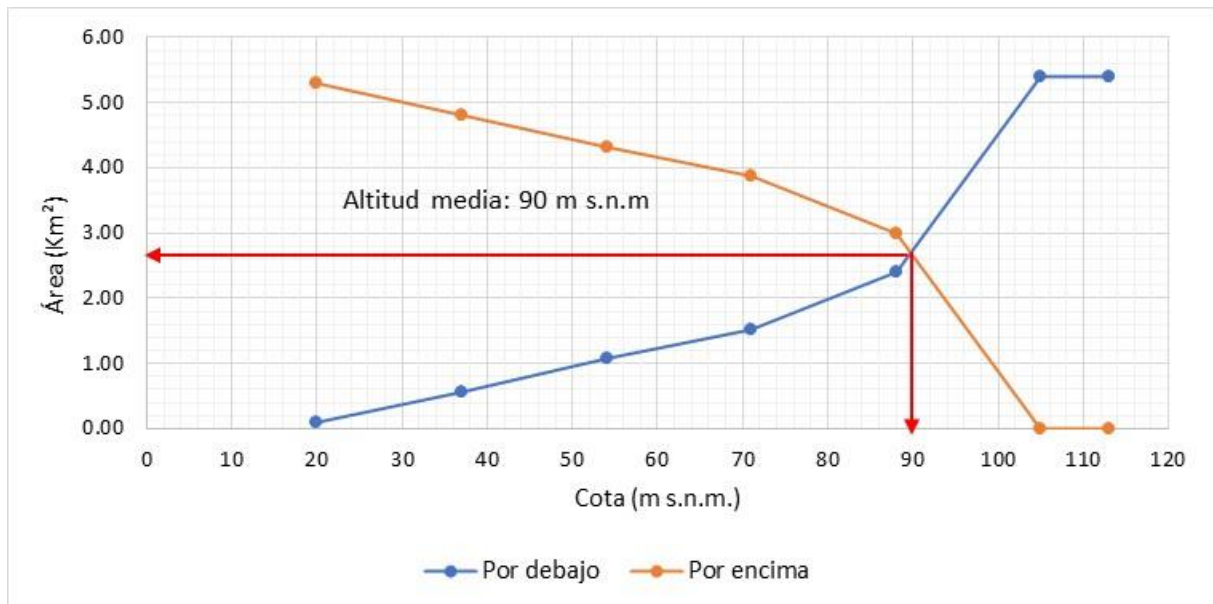
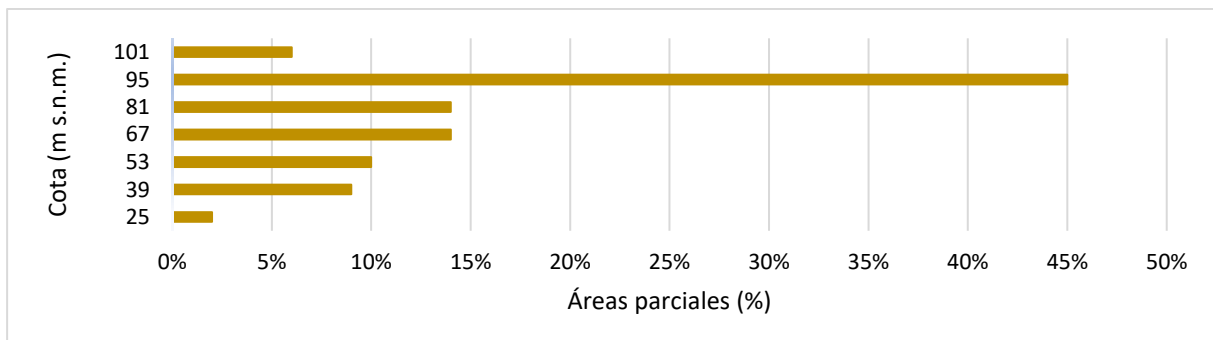
Figura 40*Distribución altimétrica de la cuenca Yale 1 (Km²)***Figura 41***Frecuencia de altitudes de la cuenca Yale 1*

Tabla 22*Distribución altimétrica de la cuenca Yale 2*

Cota (m s.n.m.)		Áreas parciales (Km ²)	% del total	Áreas referidas a la cota más alta			
Menor	Mayor			Por debajo		Por encima	
				Km ²	%	Km ²	%
20	25	0.02	0%	0.02	0%	4.75	100%
25	41	0.36	8%	0.37	8%	4.39	92%
41	57	0.40	8%	0.78	16%	3.99	84%
57	73	0.35	7%	1.13	24%	3.63	76%
73	89	0.87	18%	2.00	42%	2.77	58%
89	105	2.76	58%	4.76	100%	0.00	0%
105	113	0.00	0%	4.76	100%	0.00	0%
Área total		4.76	100%	-	-	-	-

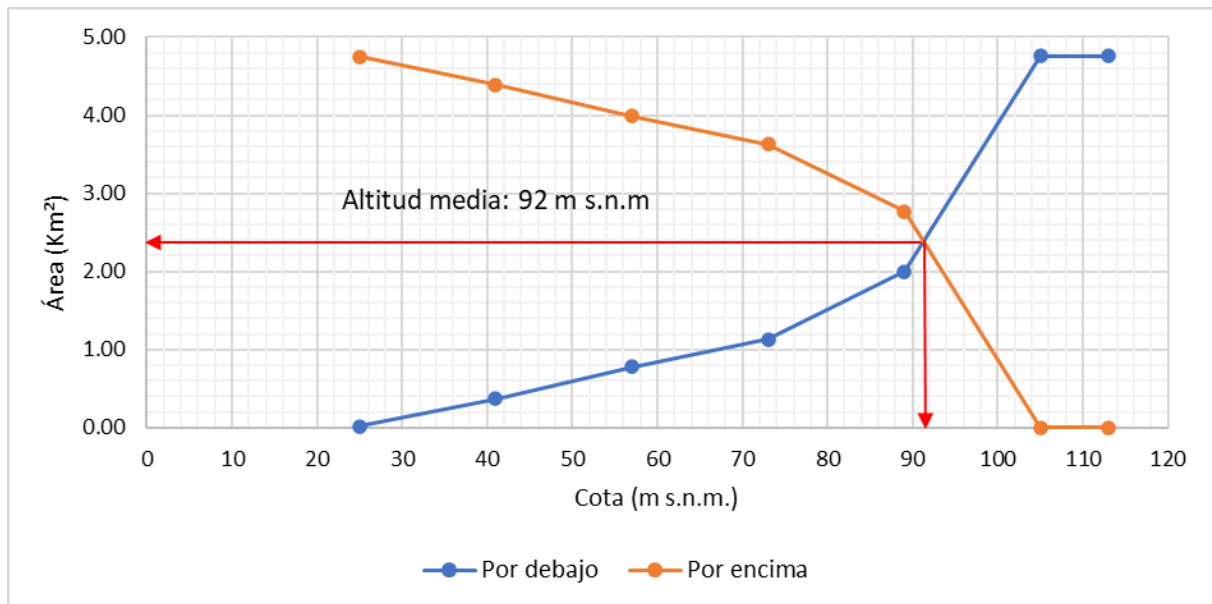
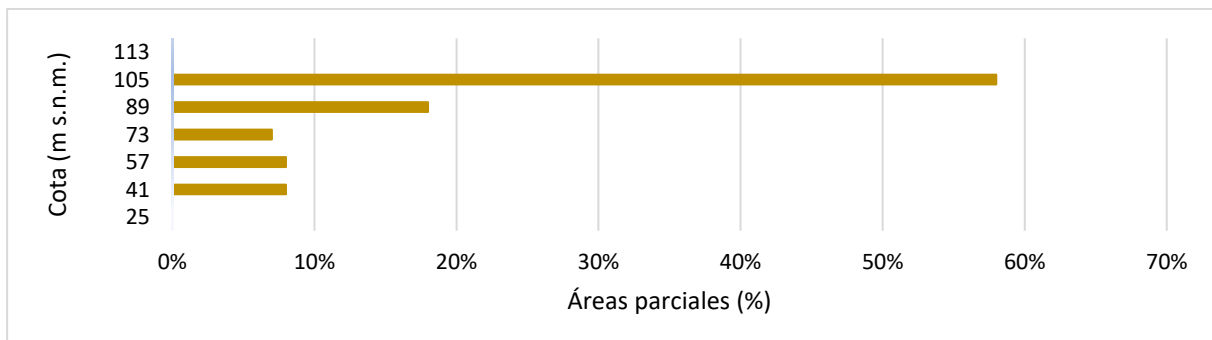
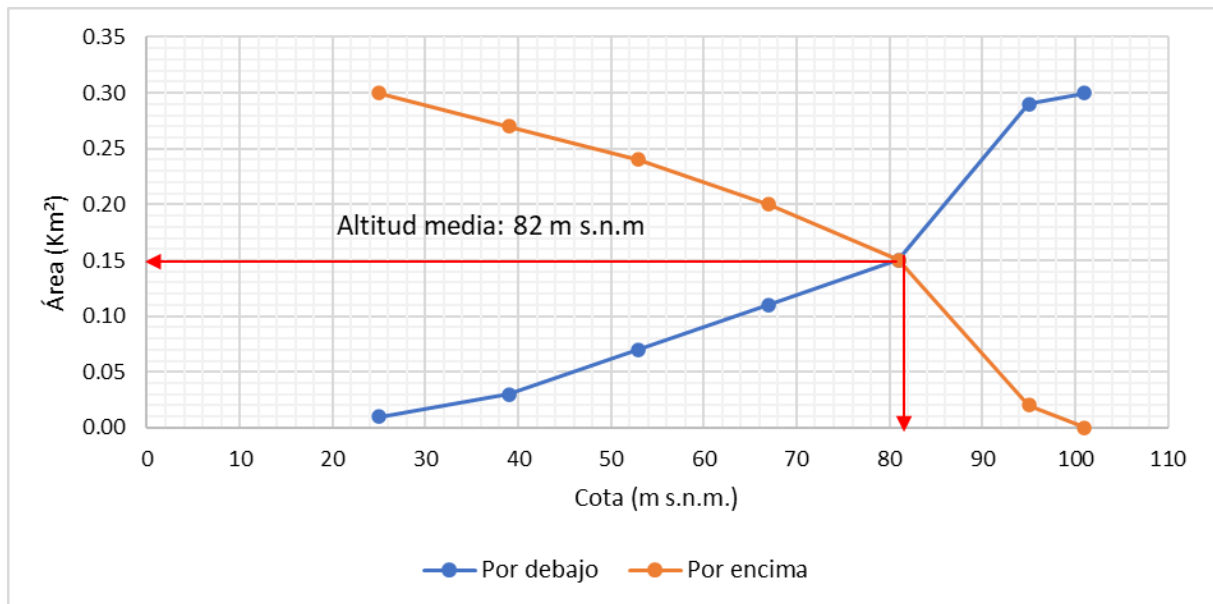
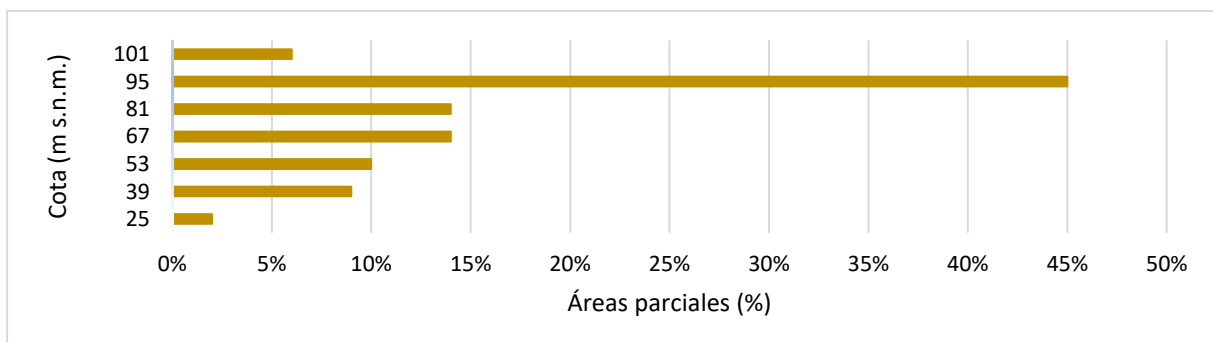
Figura 42*Distribución altimétrica de la cuenca Yale 2 (Km²)***Figura 43***Frecuencia de altitudes de la cuenca Yale 2*

Tabla 23*Distribución altimétrica de la cuenca Mangle*

Cota (m s.n.m.)		Áreas parciales (Km ²)	% del total	Áreas referidas a la cota más alta			
Menor	Mayor			Por debajo		Por encima	
				Km ²	%	Km ²	%
20	25	0.01	2%	0.01	2%	0.30	98%
25	39	0.03	9%	0.03	11%	0.27	89%
39	53	0.03	10%	0.07	21%	0.24	79%
53	67	0.04	14%	0.11	35%	0.20	65%
67	81	0.04	14%	0.15	49%	0.15	51%
81	95	0.14	45%	0.29	94%	0.02	6%
95	101	0.02	6%	0.30	100%	0.00	0%
Área total		0.30	100%	-	-	-	-

Figura 44*Distribución altimétrica de la cuenca Mangle (Km²)***Figura 45***Frecuencia de altitudes de la cuenca Mangle*

3.5.3 Pendiente del cauce principal

3.5.3.1 Método de un solo tramo. El cálculo se realizó de acuerdo con lo explicado en el apartado 1.2.6.4, se muestra en la Tabla 24 la pendiente obtenida para cada cuenca:

Tabla 24

Pendiente del cauce principal por el método de un solo tramo

Cuenca	Cota mayor (m s.n.m.)	Cota menor (m s.n.m.)	Longitud (Km)	Pendiente %
Santa Rita 1	101	11	3.56	3%
Santa Rita 2	101	15	3.20	3%
Santa Rita 3	101	28	2.32	3%
Politécnico 1	114	16	1.28	5%
Politécnico 2	114	25	1.02	5%
Yale 1	113	12	4.71	2%
Yale 2	113	20	4.02	2%
Mangle	101	20	0.97	8%

3.5.3.2 Método de áreas compensadas. El cálculo se realizó siguiendo lo indicado en el apartado 1.2.6.4. Se muestra de la Tabla 25 a la Tabla 32 el valor de pendiente obtenido para cuenca seguido de su grafico de perfil longitudinal de la Figura 46 a la Figura 53.

Tabla 25

Pendiente del cauce de la cuenca Santa Rita 1 por el método de áreas compensadas

Progresiva (Km)	Cota (msnm)	h1 (m)	h2 (m)	h media (m)	DL (Km)	Área parcial (Km ²)
0.00	11					
0.36	15	0.00	4.00	2.00	0.36	0.72
1.31	30	4.00	19.00	11.50	0.95	10.93
2.00	45	19.00	34.00	26.50	0.69	18.32
2.77	60	34.00	49.00	41.50	0.77	31.99
3.05	75	49.00	64.00	56.50	0.28	15.75
3.37	90	64.00	79.00	71.50	0.32	22.62
3.56	101	79.00	90.00	84.50	0.19	15.98
					Área (Km ²)	116.31
					Base (Km)	3.56
					h (m)	65.41
					Pendiente	2%

Figura 46

Perfil longitudinal del cauce de la cuenca Santa Rita 1 con sus respectivas pendientes por ambos métodos

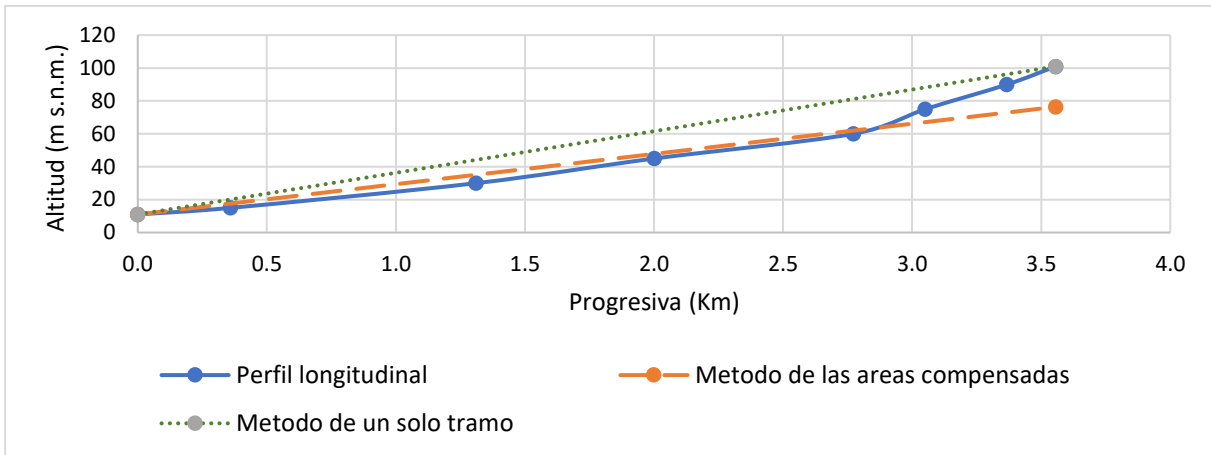


Tabla 26

Pendiente del cauce de la cuenca Santa Rita 2 por el método de áreas compensadas

Progresiva (Km)	Cota (msnm)	h1 (m)	h2 (m)	h media (m)	DL (Km)	Área parcial (Km ²)	
0.00	15						
0.29	20	0.00	5.00	2.50	0.29	0.72	
1.00	34	5.00	19.00	12.00	0.71	8.53	
1.98	48	19.00	33.00	26.00	0.98	25.50	
2.50	62	33.00	47.00	40.00	0.52	20.90	
2.70	76	47.00	61.00	54.00	0.20	10.95	
3.01	90	61.00	75.00	68.00	0.31	20.87	
3.20	101	75.00	86.00	80.50	0.19	15.23	
						Área (Km ²)	102.70
						Base (Km)	3.20
						h (m)	64.17
						Pendiente	2%

Figura 47

Perfil longitudinal del cauce de la cuenca Santa Rita 2 con sus respectivas pendientes por ambos métodos

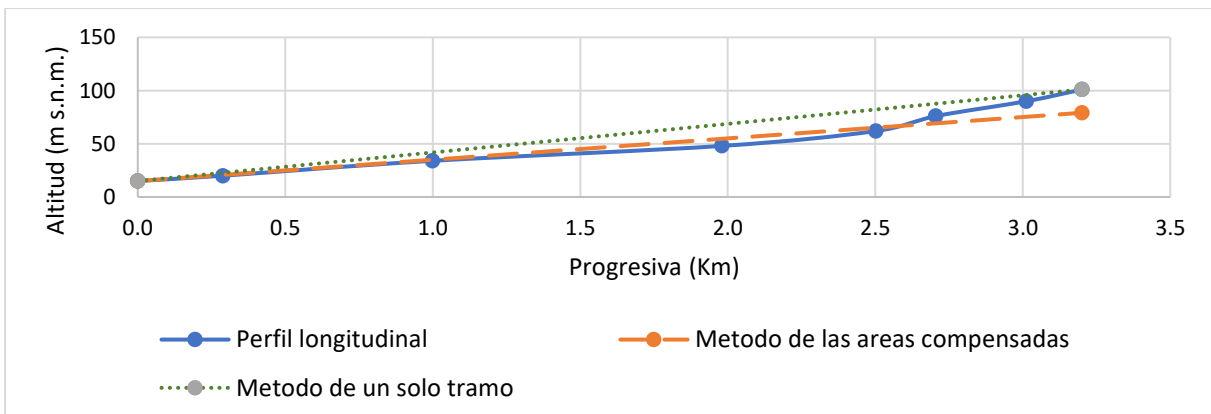


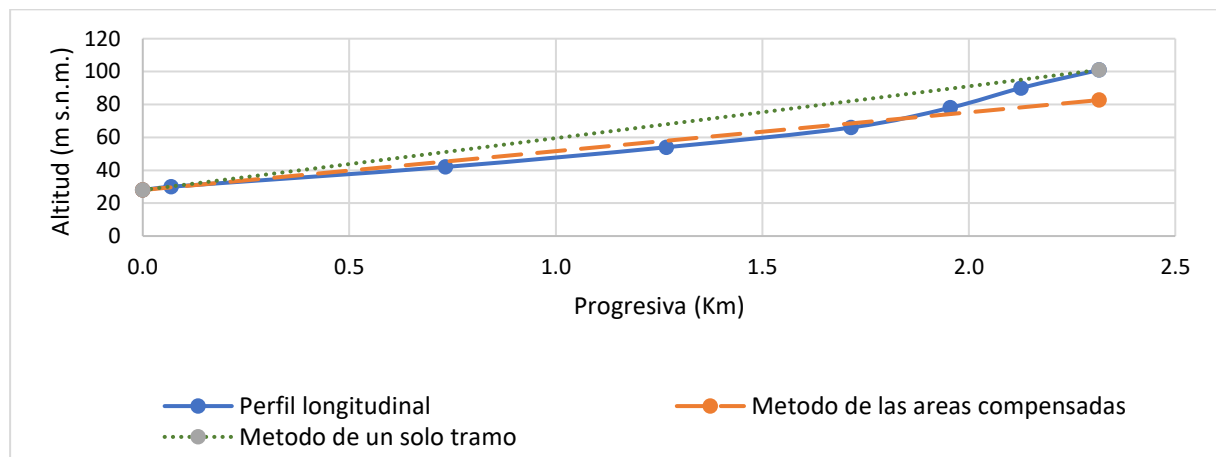
Tabla 27

Pendiente del cauce de la cuenca Santa Rita 3 por el método de áreas compensadas

Progresiva (Km)	Cota (msnm)	h1 (m)	h2 (m)	h media (m)	DL (Km)	Área parcial (Km ²)
0.00	28					
0.07	30	0.00	2.00	1.00	0.07	0.07
0.73	42	2.00	14.00	8.00	0.66	5.31
1.27	54	14.00	26.00	20.00	0.54	10.70
1.72	66	26.00	38.00	32.00	0.45	14.31
1.95	78	38.00	50.00	44.00	0.24	10.55
2.13	90	50.00	62.00	56.00	0.17	9.59
2.32	101	62.00	73.00	67.50	0.19	12.76
					Área (Km ²)	63.30
					Base (Km)	2.32
					h (m)	54.68
					Pendiente	2%

Figura 48

Perfil longitudinal del cauce de la cuenca Santa Rita 3 con sus respectivas pendientes por ambos métodos

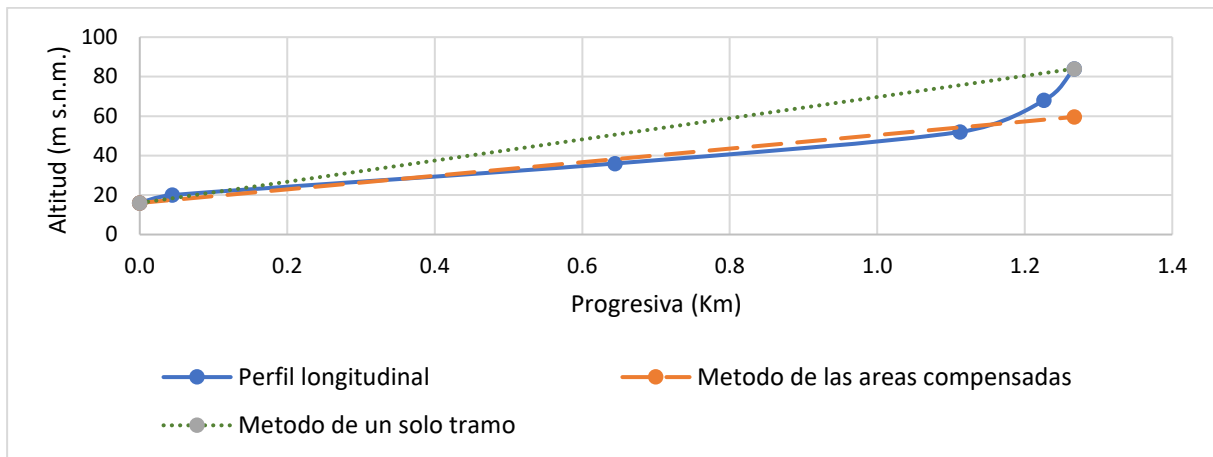
**Tabla 28**

Pendiente de la cuenca Politécnico 1 por el método de áreas compensadas

Progresiva (Km)	Cota (msnm)	h1 (m)	h2 (m)	h media (m)	DL (Km)	Área parcial (Km ²)
0.00	16					
0.04	20	0.00	4.00	2.00	0.04	0.09
0.64	36	4.00	20.00	12.00	0.60	7.20
1.11	52	20.00	36.00	28.00	0.47	13.10
1.23	68	36.00	52.00	44.00	0.11	5.00
1.27	84	52.00	68.00	60.00	0.04	2.46
					Área (Km ²)	27.86
					Base (Km)	1.28
					h (m)	43.60
					Pendiente	3%

Figura 49

Perfil longitudinal del cauce de la cuenca Politécnico 1 con sus respectivas pendientes por ambos métodos

**Tabla 29**

Pendiente de la cuenca Politécnico 2 por el método de áreas compensadas

Progresiva (Km)	Cota (msnm)	h1 (m)	h2 (m)	h media (m)	DL (Km)	Área parcial (Km ²)	
0.00	25						
0.17	30	0.00	5.00	2.50	0.17	0.43	
0.60	45	5.00	20.00	12.50	0.43	5.39	
0.90	60	20.00	35.00	27.50	0.30	8.24	
1.02	75	35.00	50.00	42.50	0.12	5.14	
						Área (Km ²)	19.19
						Base (Km)	1.02
						h (m)	37.49
						Pendiente	4%

Figura 50

Perfil longitudinal del cauce de la cuenca Politécnico 2 con sus respectivas pendientes por ambos métodos

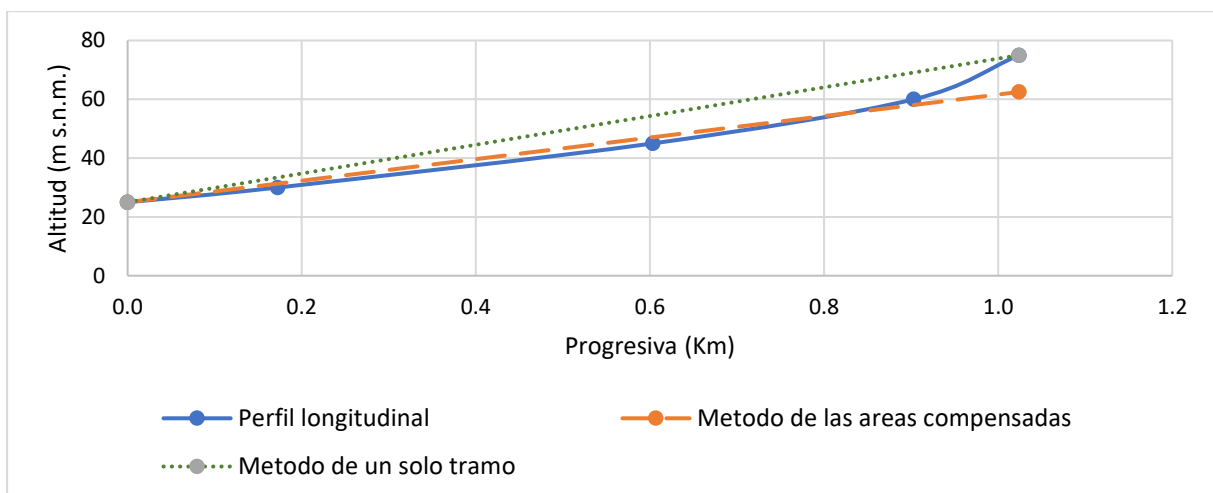


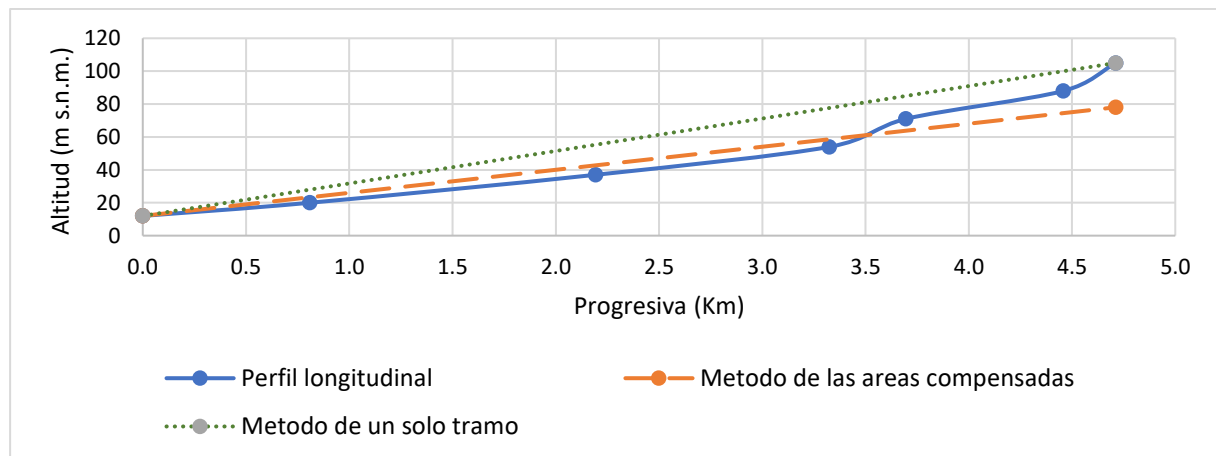
Tabla 30

Pendiente de la cuenca Yale 1 por el método de áreas compensadas

Progresiva (Km)	Cota (msnm)	h1 (m)	h2 (m)	h media (m)	DL (Km)	Área parcial (Km ²)
0.00	12					
0.81	20	0.00	8.00	4.00	0.81	3.24
2.19	37	8.00	25.00	16.50	1.38	22.84
3.33	54	25.00	42.00	33.50	1.13	37.92
3.70	71	42.00	59.00	50.50	0.37	18.70
4.46	88	59.00	76.00	67.50	0.76	51.49
4.71	105	76.00	93.00	84.50	0.25	21.42
					Área (Km ²)	155.61
					Base (Km)	4.71
					h (m)	66.05
Pendiente						1%

Figura 51

Perfil longitudinal del cauce de la cuenca Yale 1 con sus respectivas pendientes por ambos métodos

**Tabla 31**

Pendiente de la cuenca Yale 2 por el método de áreas compensadas

Progresiva (Km)	Cota (msnm)	h1 (m)	h2 (m)	h media (m)	DL (Km)	Área parcial (Km ²)
0.00	20					
0.16	25	0.00	5.00	2.50	0.16	0.41
1.86	41	5.00	21.00	13.00	1.70	22.10
2.75	57	21.00	37.00	29.00	0.89	25.79
3.04	73	37.00	53.00	45.00	0.29	12.88
3.78	89	53.00	69.00	61.00	0.74	45.36
4.02	105	69.00	85.00	77.00	0.24	18.22
					Área (Km ²)	124.77
					Base (Km)	4.02
					h (m)	62.09
Pendiente						2%

Figura 52

Perfil longitudinal del cauce de la cuenca Yale 2 con sus respectivas pendientes por ambos métodos

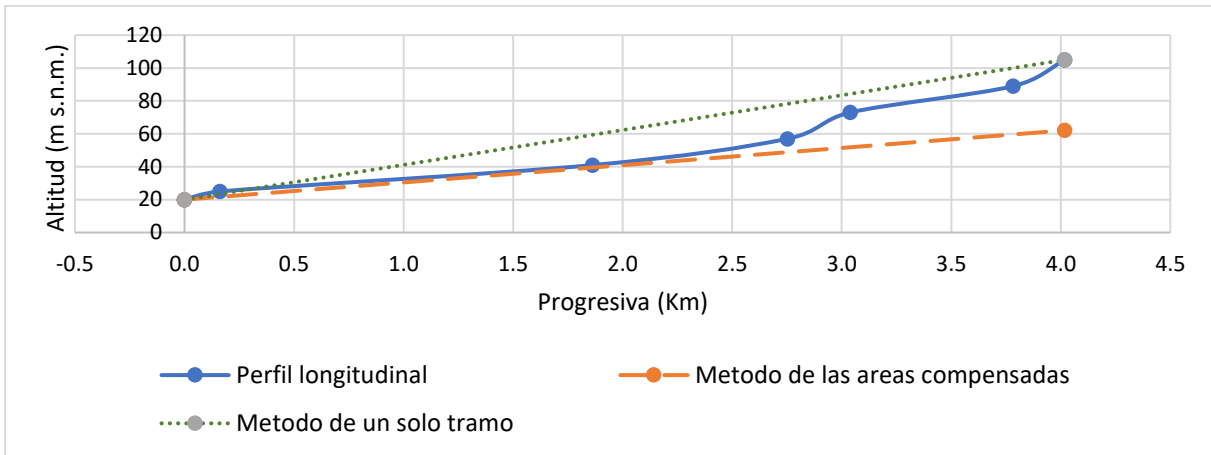


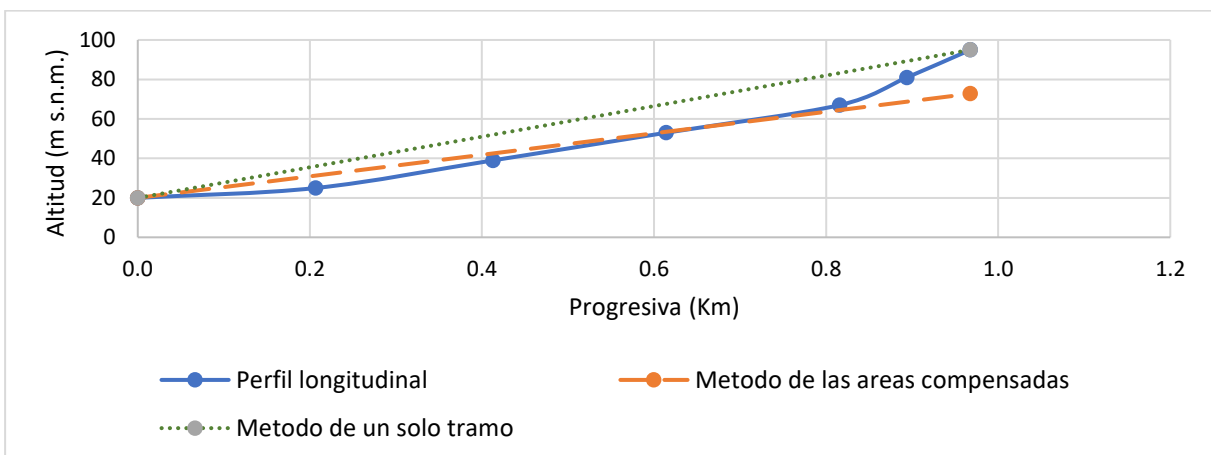
Tabla 32

Pendiente de la cuenca Mangle por el método de áreas compensadas

Progresiva (Km)	Cota (msnm)	h1 (m)	h2 (m)	h media (m)	DL (Km)	Área parcial (Km ²)
0.00	20					
0.21	25	0.00	5.00	2.50	0.21	0.52
0.41	39	5.00	19.00	12.00	0.21	2.47
0.61	53	19.00	33.00	26.00	0.20	5.23
0.82	67	33.00	47.00	40.00	0.20	8.06
0.89	81	47.00	61.00	54.00	0.08	4.22
0.97	95	61.00	75.00	68.00	0.07	5.02
					Área (Km ²)	25.52
					Base (Km)	0.97
					h (m)	52.75
					Pendiente	5%

Figura 53

Perfil longitudinal del cauce de la cuenca Mangle con sus respectivas pendientes por ambos métodos



3.5.4 Pendiente de la cuenca

3.5.4.1 Procesamiento GIS: El caculo se realizó de acuerdo a lo indicado en el apartado 1.2.6.5. Se muestra en la Tabla 33 pendiente obtenida para cada cuenca.

Tabla 33

Pendiente de las cuencas obtenida mediante el procesamiento GIS

Cuenca	GIS (%)
Santa Rita 1	14 %
Santa Rita 2	14 %
Santa Rita 3	14 %
Politécnico 1	15 %
Politécnico 2	16 %
Yale 1	14 %
Yale 2	13 %
Mangle	21 %

Se muestra a continuación en la Tabla 34 el resumen de las características morfológicas de cada cuenca.

Tabla 34

Resumen de las características morfológicas de cada cuenca

	Santa Rita 1	Santa Rita 2	Santa Rita 3	Politécnico 1	Politécnico 2	Yale 1	Yale 2	Mangle
A (Km ²)	2.8	2.6	1.7	0.6	0.5	5.4	4.8	0.3
P (Km)	10.3	9.6	6.9	3.8	3.2	14.1	13.3	2.9
L (Km)	3.6	3.2	2.3	1.3	1.0	4.7	4.0	0.9
B (Km)	0.8	0.8	0.7	0.5	0.5	1.1	1.2	0.3
Dd (Km/Km ²)	1.3	1.3	1.3	1.5	1.4	2.0	2.0	1.8
Kc	1.8	1.7	1.5	1.3	1.3	1.7	1.7	1.5
Kf	0.2	0.3	0.3	0.4	0.4	0.2	0.3	0.3
Le (Km)	4.5	4.2	2.9	1.4	1.2	6.2	5.9	1.2
Le (Km)	0.6	0.6	0.6	0.4	0.4	0.9	0.8	0.2
Método de un solo tramo (%)	3	3	3	5	5	2	2	8
Método de áreas compensadas (%)	2	2	2	3	4	1	2	5
GIS (%)	14	14	14	15	16	14	13	21

Capítulo 4

Análisis de datos pluviométricos

En este capítulo se detalla el proceso para recopilar, analizar y completar la información pluviométrica necesaria para la obtención de las curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF), además se comenta el proceso seguido para el armado de la matriz de intensidades de las curvas IDF propias de la zona de estudio.

4.1 Red pluviométrica

Conociendo la ubicación de la zona de estudio, se identificaron las estaciones más cercanas y se descartaron aquellas que no contaban con información histórica suficiente, seleccionando las estaciones: La Esperanza, Puente Simón Rodríguez, Pananga, Mallares y Miraflores, en la Tabla 35 se muestra su ubicación, coordenadas y altitud.

Tabla 35
Ubicación, coordenadas y altitud de las estaciones elegidas

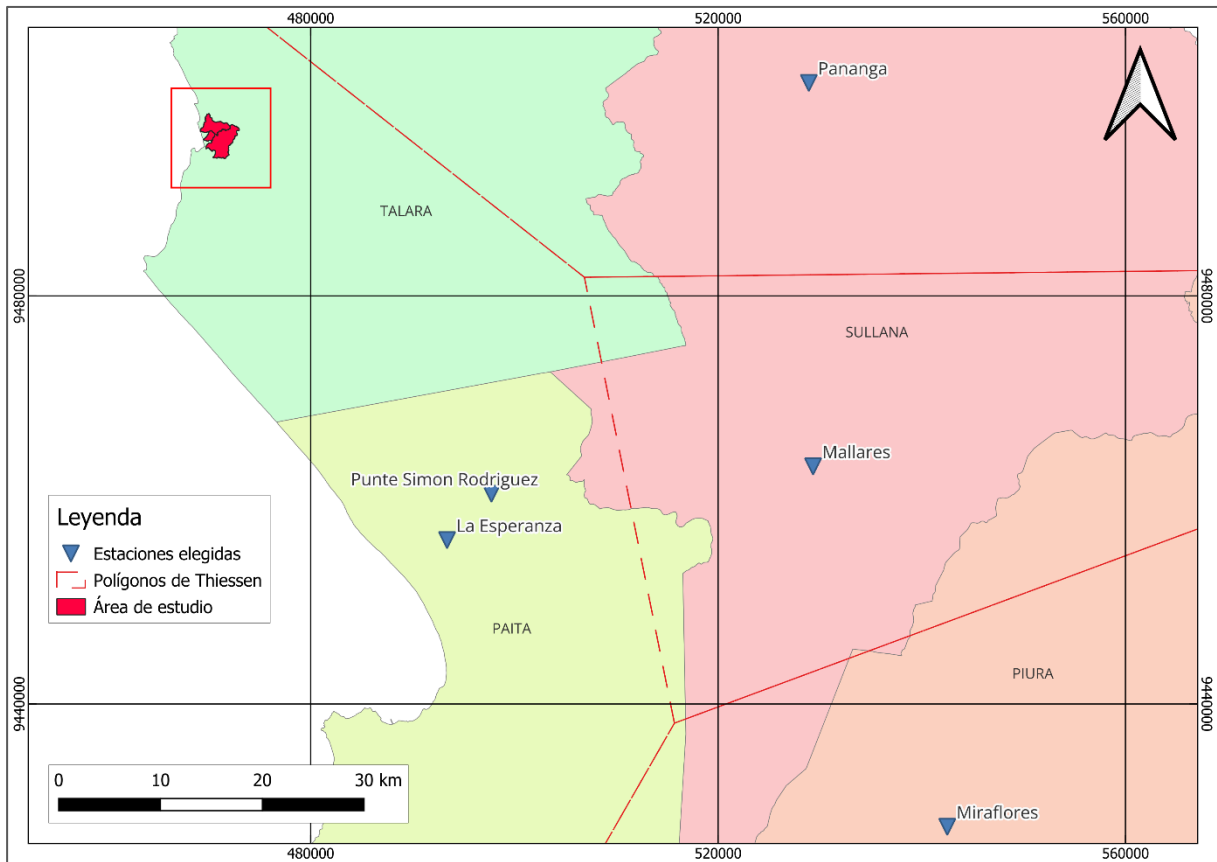
Estación	Tipo	Ubicación		Coordenadas		Altitud (m s.n.m.)
		Provincia	Distrito	Latitud	Longitud	
La Esperanza	Convencional-Meteorológica	Paita	Colan	4°55'16.09"	81°3'34.89"	7
Puente Simón Rodríguez	Automática - Hidrológica	Paita	Amotape	4°52'47.97"	81°1'13.38"	12
Pananga	Convencional-Meteorológica	Sullana	Marcavelica	4°30'56.03"	80°44'22"	360
Mallares	Convencional-Meteorológica	Sullana	Marcavelica	4°51'20.67"	80°44'8"	44
Miraflores	Convencional-Meteorológica	Piura	Castilla	5°10'31"	80°36'59.55"	34

Nota. Adaptado de SENAMHI (2023).

Posteriormente haciendo uso del método de los polígonos de Thiessen (Figura 54) se identificó el área de influencia de las estaciones seleccionadas sin tomar en cuenta a la estación Puente Simón Rodríguez ya que no cuenta con información histórica suficiente, determinando que la estación principal es la estación La Esperanza.

Figura 54

Áreas de los polígonos de Thiessen para las cuencas elegidas



Para el análisis se recopiló información de las estaciones elegidas directamente desde la web de SENAMHI (2023), completando los datos faltantes de la estación de La Esperanza con los datos de las estaciones restantes para así obtener la serie anual de precipitación máxima diaria.

4.2 Correlación mensual

Al no contar con información pluviográfica, es necesario obtener el dato de precipitación máxima diaria anual, por lo cual se procesaron los datos históricos de la estación La Esperanza en el periodo del año 1967 al año 2022. Dado que es necesario completar la información faltante, se determinó la correlación de los datos de precipitación total mensual de la estación La Esperanza con la información de las estaciones disponibles.

La Tabla 36 muestra los valores obtenidos de los coeficientes R^2 , a partir de los cuales se establece el orden de prioridad para completar los datos faltantes y de la Figura 55 a la Figura 59 se muestra el gráfico de correlación correspondiente. Todas las regresiones se hicieron considerando que la recta pase por el origen y siguiendo la ecuación $Y = C * X$ para completar los datos faltantes, donde X es el valor de precipitación conocido y Y el valor estimado.

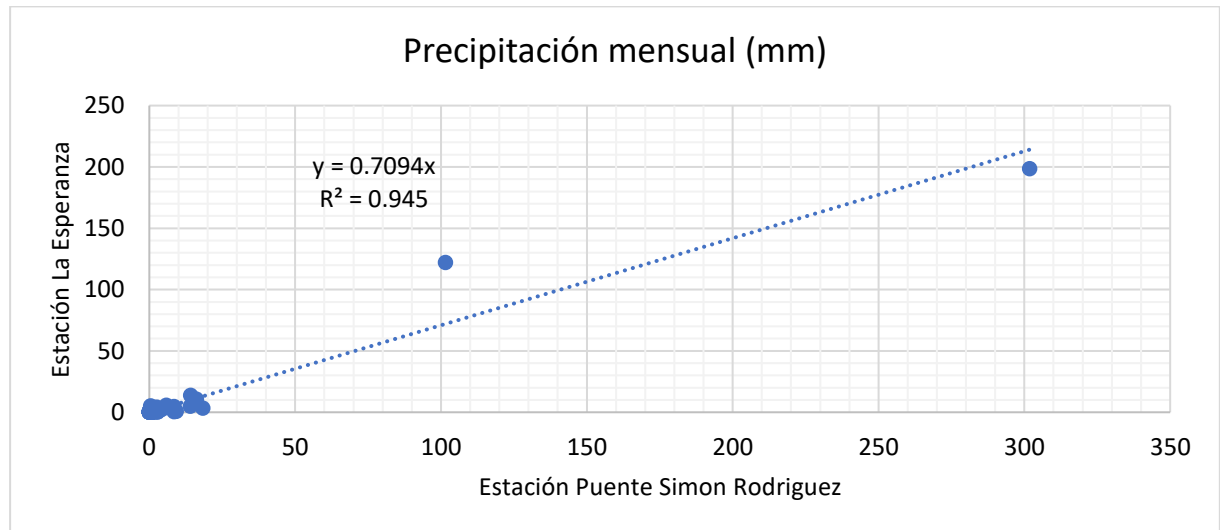
Tabla 36

Valores de R^2 y C de las estaciones cercanas respecto de la estación La Esperanza

Estaciones	Puente Simón Rodríguez		Pananga		Mallares		Miraflores	
	R^2	C	R^2	C	R^2	C	R^2	C
La Esperanza	0.9450	0.7094	0.6088	0.3889	0.8526	0.5793	0.8280	0.5881

Figura 55

Correlación de los datos en el periodo 2015-2022

**Figura 56**

Correlación de los datos en el periodo 1967-2022

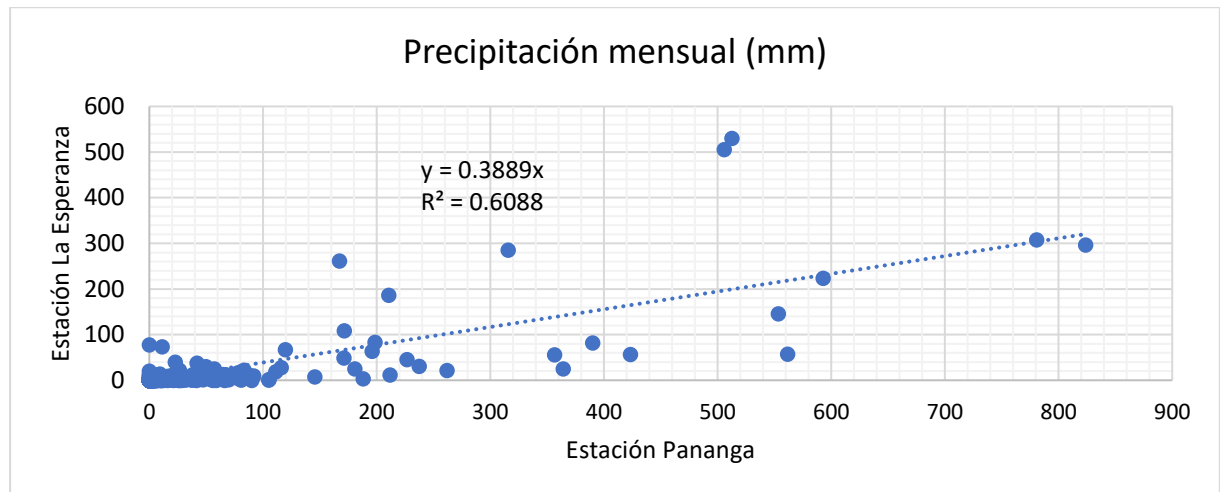
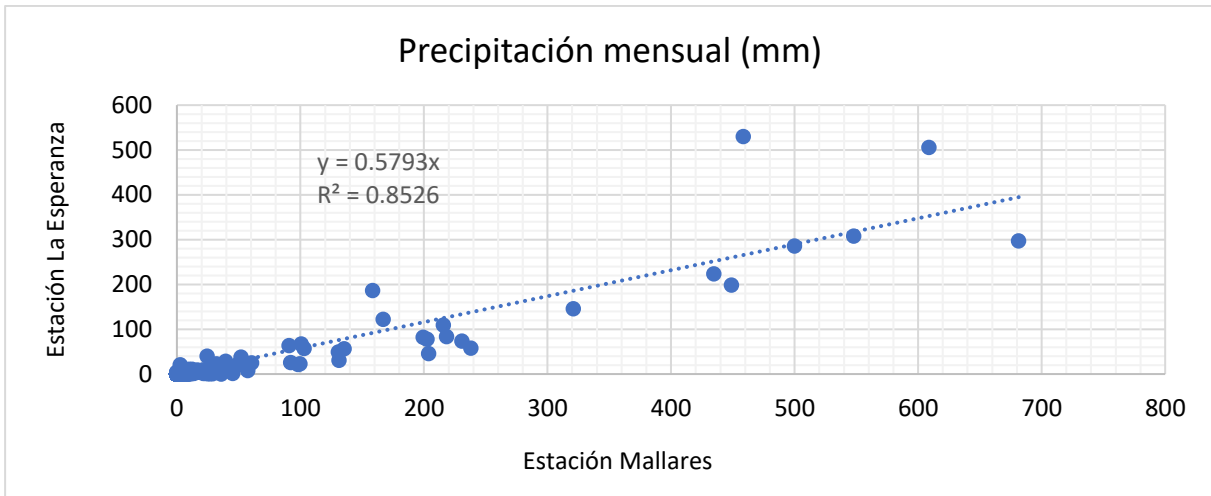
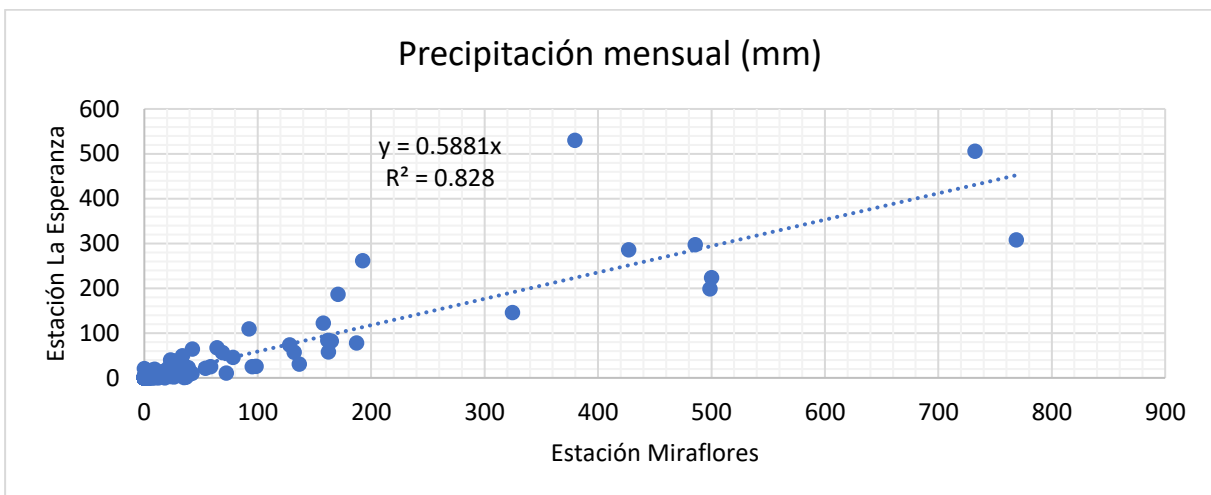


Figura 57

Correlación de los datos en el periodo 1971-2022

**Figura 58**

Correlación de los datos en el periodo 1971-2022



4.3 Precipitación máxima diaria

Con el fin de completar los datos faltantes de la estación La Esperanza, se decidió realizar una correlación con los datos de precipitación máxima diaria y la precipitación total a nivel mensual de la misma, obteniendo así la relación de precipitación máxima diaria anual con la que se realizara el modelo lluvia-escorrentía. En la Tabla 37 se muestra el valor de R^2 y de C para la estación La Esperanza, y en la Figura 59 el grafico de correlación obtenido.

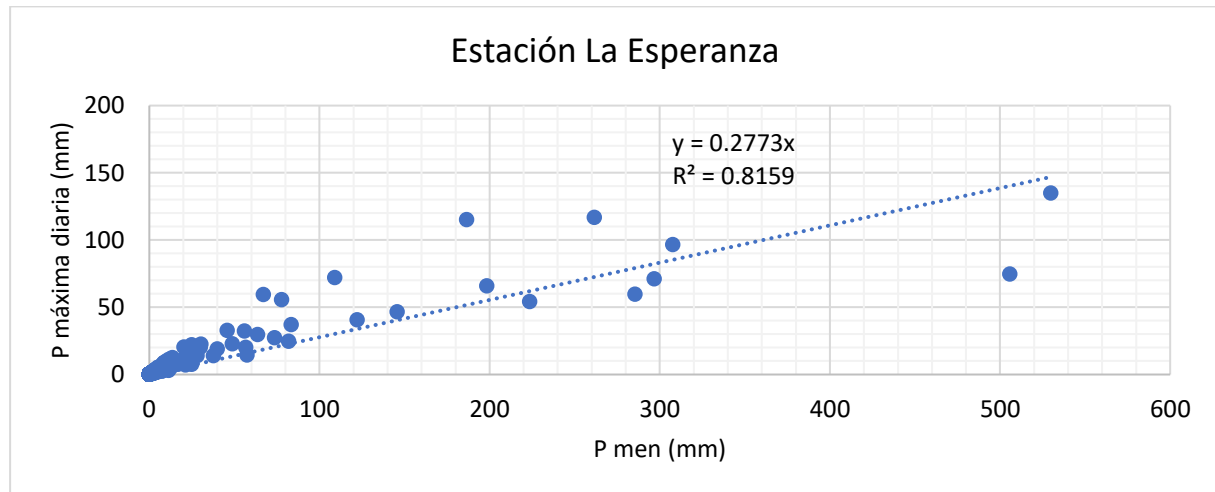
Tabla 37

Valor de R^2 y C para la estación La Esperanza

Estación La Esperanza	P mensual (mm)	
	R^2	C
P máxima diaria (mm)	0.8159	0.2773

Figura 59

Correlación de los datos en el periodo 1967-2022



Con este análisis, se obtuvo la serie de precipitaciones máximas diarias mensuales que se muestran en la Tabla 38, de la cual se elige el máximo valor anual para cada año hidrológico obteniendo así la serie anual de precipitaciones máximas diarias de la estación La Esperanza.

Tabla 38

Serie de precipitaciones máximas diarias mensuales de la estación La Esperanza

	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Pmáx diario anual
1967-1968	0.0	0.0	0.0	2.0	0.0	2.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.8
1968-1969	0.0	1.8	0.0	0.0	0.4	10.2	20.0	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	20.0
1969-1970	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9
1970 - 1971	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1971 - 1972	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	115.2	6.5	0.0	0.3	0.0	0.0	115.2
1972 - 1973	0.5	0.0	0.0	1.6	22.0	2.1	2.0	1.9	0.0	0.2	0.0	0.0	22.0
1973 - 1974	1.9	0.0	0.0	0.0	1.7	2.0	0.0	0.7	0.1	0.2	0.0	0.0	2.0
1974 - 1975	0.1	0.1	0.0	0.1	1.1	1.8	18.9	0.4	0.2	3.2	0.0	1.3	18.9
1975 - 1976	0.1	0.0	0.0	0.0	18.9	10.8	0.0	0.0	0.5	0.2	0.0	0.2	18.9
1976 - 1977	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	13.9	1.8	1.2	0.0	0.2	0.0	0.0	13.9
1977 - 1978	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	8.7	1.2	0.1	2.4	0.0	0.0	8.7
1978 - 1979	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	0.0	0.3	0.1	0.8	0.0	0.0	0.0	2.0
1979 - 1980	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	10.7	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	10.7
1980 - 1981	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.8	3.2	0.0	1.3	0.0	0.0	0.0	3.2
1981 - 1982	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	1.8	0.0	0.0	0.0	1.8

	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Pmáx diario anual
1982 - 1983	0.8	0.0	1.3	1.0	46.5	37.0	59.6	74.6	134.8	116.8	0.2	0.0	134.8
1983 - 1984	0.0	4.0	0.0	2.0	0.0	4.6	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	4.6
1984 - 1985	0.0	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	0.9	0.0	0.0	1.1	11.3
1985 - 1986	0.0	0.1	0.0	0.3	3.8	3.1	0.3	1.1	1.2	0.0	0.0	0.0	3.8
1986 - 1987	0.0	0.2	0.9	0.0	4.4	32.8	11.9	6.9	0.0	0.0	0.0	0.0	32.8
1987 - 1988	0.0	1.0	0.1	0.0	0.1	0.5	0.1	3.2	0.0	0.0	0.0	0.0	3.2
1988 - 1989	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5	6.5	9.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.3
1989 - 1990	0.0	0.1	0.0	0.0	0.3	0.3	0.4	0.8	0.1	0.0	0.0	0.0	0.8
1990 - 1991	0.0	2.1	0.6	0.8	0.3	1.5	0.5	1.2	0.0	0.0	0.0	0.0	2.1
1991 - 1992	0.0	0.0	1.0	1.4	0.0	11.7	55.6	27.2	0.0	0.2	0.0	0.0	55.6
1992 - 1993	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.2	4.9	2.5	0.1	0.0	0.2	0.0	4.9
1993 - 1994	0.0	0.1	0.0	0.0	0.2	1.6	3.1	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	3.1
1994 - 1995	1.0	0.2	0.0	3.8	3.4	8.8	0.0	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	8.8
1995 - 1996	0.1	0.0	1.9	0.2	0.0	1.6	1.7	2.9	0.0	0.3	0.0	0.0	2.9
1996 - 1997	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	1.4	0.4	0.9	0.0	0.1	0.0	0.0	1.4
1997 - 1998	0.0	2.7	1.3	24.7	96.6	54.1	71.1	7.6	2.6	20.3	0.0	0.0	96.6
1998 - 1999	0.0	0.0	1.1	0.0	2.8	22.8	1.3	5.4	1.0	1.5	0.0	0.0	22.8
1999 - 2000	0.0	0.1	0.0	2.6	0.0	1.2	0.4	3.0	0.7	0.0	0.0	0.0	3.0
2000 - 2001	0.0	0.0	0.0	6.2	8.7	1.2	14.5	9.3	0.0	0.0	0.0	0.0	14.5
2001 - 2002	0.0	0.0	1.6	0.6	0.0	1.8	20.2	22.4	0.0	0.0	0.0	0.0	22.4
2002 - 2003	0.0	0.9	0.2	0.5	1.9	8.6	0.4	0.0	0.0	0.6	0.0	0.0	8.6
2003 - 2004	0.0	0.0	0.3	1.3	1.5	0.3	0.2	0.0	0.2	0.0	1.5	0.0	1.5
2004 - 2005	0.0	1.0	0.0	5.3	0.5	0.1	1.5	0.3	0.0	0.2	0.0	0.0	5.3
2005 - 2006	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	3.5	10.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.0
2006 - 2007	0.3	0.1	0.8	4.1	3.7	0.0	2.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.1
2007 - 2008	0.0	0.0	0.0	0.0	7.5	72.0	7.1	2.6	0.5	0.0	0.0	0.0	72.0
2008 - 2009	0.0	0.0	0.0	0.0	8.7	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.7
2009 - 2010	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	59.5	14.0	2.4	3.1	0.0	0.0	0.0	59.5
2010 - 2011	0.0	0.0	0.0	0.0	1.4	0.0	0.0	4.7	0.0	0.0	0.9	0.0	4.7
2011 - 2012	0.0	1.2	0.0	0.7	1.0	32.2	1.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	32.2
2012 - 2013	0.0	0.0	0.8	0.4	0.0	0.5	29.7	0.8	4.1	0.0	0.2	0.0	29.7
2013 - 2014	0.0	1.3	0.0	0.0	0.0	1.2	1.9	7.0	0.7	0.0	0.0	0.0	7.0
2014-2015	0.0	0.2	0.0	0.4	1.6	0.0	11.8	0.6	1.0	0.0	0.0	0.0	11.8
2015-2016	0.0	0.0	0.1	4.4	0.6	1.6	9.5	1.4	0.0	0.2	0.0	0.0	9.5
2016-2017	0.0	0.1	0.0	0.2	5.1	40.6	65.9	1.6	3.2	0.0	0.0	0.0	65.9
2017-2018	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.2	0.0	4.2	0.4	0.0	0.0	0.0	4.2
2018-2019	0.0	0.0	0.0	1.5	0.2	1.7	2.8	0.2	0.0	0.1	0.0	0.0	2.8
2019-2020	0.0	0.8	0.0	2.6	0.0	0.6	0.0	0.5	0.2	0.0	0.0	5.0	5.0
2020-2021	0.0	0.0	0.0	12.4	0.8	1.3	2.3	0.0	0.4	0.0	1.6	0.0	12.4
2021-2022	0.0	0.0	0.0	1.7	0.0	0.0	0.0	1.6	0.1	0.6	0.0	0.4	1.7

4.4 Modelos de probabilidad

Con ayuda del software Hidroesta 2, se ajustaron los datos de la serie anual de precipitaciones máximas diarias a una función de probabilidad, el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2008) recomienda las siguientes: Log Normal, Log Normal 2 parámetros, Log

Normal 3 parámetros, Gamma 2 parámetros, Gamma 3 parámetros y Log Gumbel. En la Tabla 39 se muestran los resultados de la prueba de bondad de ajuste Smirnov-Kolmogorov para cada modelo:

Tabla 39

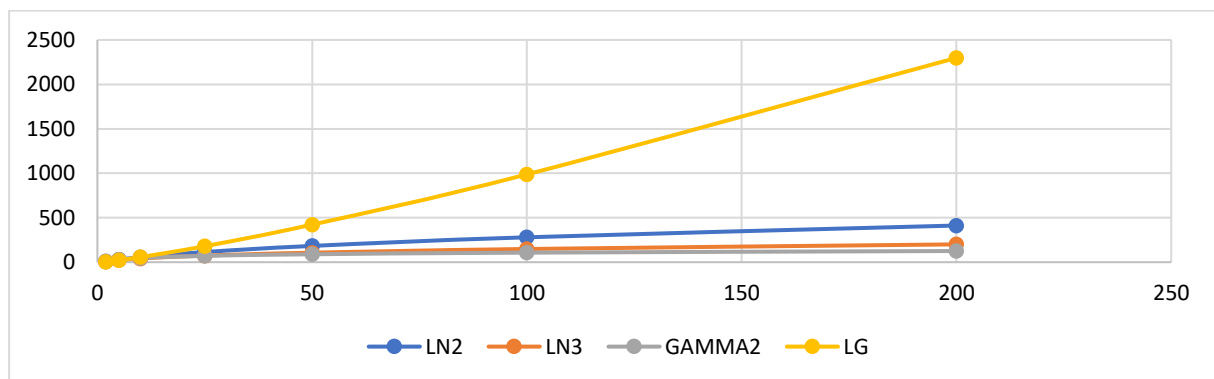
Resultados obtenidos de la prueba de bondad de ajuste

Modelo	N	LN2	LN3	Gamma 2	Gamma 3	LP3	Gumbel	LG
Delta teórico	0.256	0.069	0.087	0.118	0.259		0.255	0.124
Delta tabular	0.183	0.183	0.183	0.183	0.183	No	0.183	0.183
Ajuste	No	Si	Si	Si	No		No	Si

Para seleccionar el modelo que mejor se ajusta, se realizó el gráfico de Periodo de Retorno versus Precipitación de los modelos que se ajustan de acuerdo con el software Hidroesta, descartando los modelos Log-Gumbel y Log-Normal 2 parámetros ya que sus curvas crecen de manera acelerada, decidiendo trabajar solo con los modelos: Log-Normal de 3 parámetros y Gamma 2 para obtener las curvas IDF.

Figura 60

Curva de tendencia de los modelos de probabilidad



En la Tabla 40 se muestran las predicciones de los modelos Log-Normal de 3 parámetros y Gamma 2, la predicción final para la estación La Esperanza obtenida del promedio simple de ambos modelos y la precipitación máxima diaria afectada por un factor de amplificación igual a 1.1 para obtener la precipitación máxima en 24 horas.

Tabla 40

Predicciones para la precipitación máxima diaria anual (mm)

Tr (años)	LN3	Gamma 2	Pmáxdía La Esperanza	Pmáx24horas
5	24.44	31.02	27.7	30.5
10	41.91	47.95	44.9	49.4
25	74.09	71.24	72.7	80.0
50	106.88	89.28	98.1	107.9
100	148.5	107.54	128	140.8
200	200.56	125.92	163.2	179.5

4.5 Curvas IDF

4.5.1 Precipitación máxima diaria anual para la ciudad de Piura

De acuerdo con Farías y Ruiz se realizó el ajuste de la serie de intensidades máximas diarias y se obtuvo que los modelos que mejor se ajustan fueron Doble Gumbel y Log-Normal de 3 parámetros. Para obtener la matriz de intensidades se trabajó con el promedio de las predicciones de ambos modelos obteniendo las curvas IDF para la ciudad de Piura. En la Tabla 41 se muestra la matriz de intensidades y en la Figura 61 las curvas IDF para la ciudad de Piura.

Tabla 41

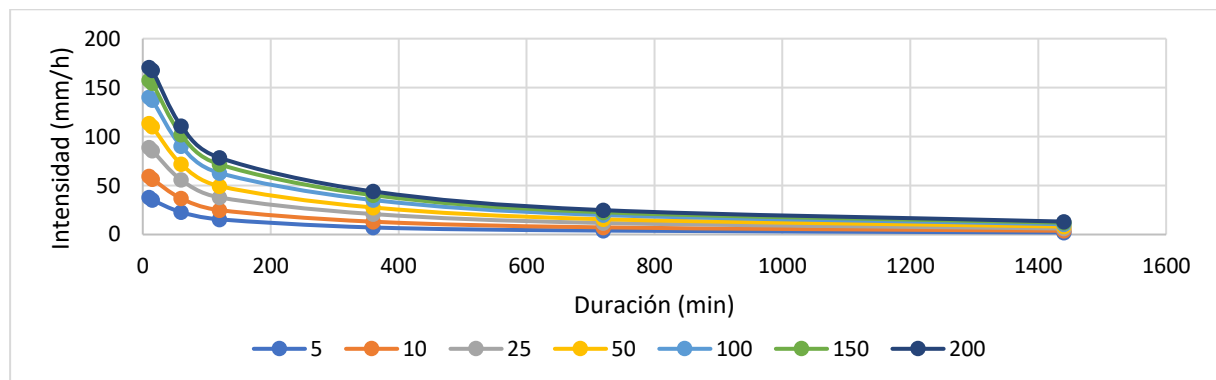
Matriz de intensidades de las curvas IDF para la ciudad de Piura

Tr (años)	Pmáxdía (mm)	i10	i15	i60	i120	i360	i720	i1440
5	48.5	37.8	35.3	22.8	15.5	7.2	4	2.1
10	90.6	59.6	56.7	36.8	24.9	13.1	7.3	3.8
25	147.5	88.9	85.7	55.8	37.9	20.9	11.8	6.1
50	196.9	113.3	110	71.9	49.4	27.6	15.6	8.1
100	254.1	140.3	137.2	90.2	62.8	35.2	19.9	10.5
150	291.9	157.6	154.6	102	71.6	40.2	22.7	12
200	321	170.5	167.8	110.9	78.4	44	24.9	13.2

Nota. Adaptado de Farías y Ruiz (2018).

Figura 61

Curvas IDF de la ciudad de Piura



Nota. Adaptado de Farías y Ruiz (2018)

4.5.2 Precipitación máxima diaria anual para Talara

Farías y Ruiz (2018) obtuvieron la matriz de las curvas IDF para la ciudad de Piura, a partir de ello es posible obtener la matriz para la estación La Esperanza con la siguiente expresión:

$$i_{La\ Esperanza} = k_t * i_{Piura} \quad (34)$$

Donde:

k_T : Relación entre la precipitación máxima diaria de La Esperanza y la precipitación máxima diaria de Piura.

En la Tabla 42 se muestran las precipitaciones máximas diarias anuales obtenidas por Farías y Ruiz (2018) para la ciudad de Piura, las de la estación La Esperanza y el valor de k_T correspondiente.

En la Tabla 43 se muestra la matriz de las curvas IDF de la estación La Esperanza a partir del ajuste realizado de las curvas IDF de la ciudad de Piura y en la Figura 62 su gráfico correspondiente.

Tabla 42

Matriz de ajuste para la estación La Esperanza

Tr (años)	La Esperanza (mm)	Piura (mm)	k_T
5	30.5	48.5	0.6
10	49.4	90.6	0.5
25	80.0	147.5	0.5
50	107.9	196.9	0.5
100	140.8	254.1	0.6
200	179.5	321.0	0.6

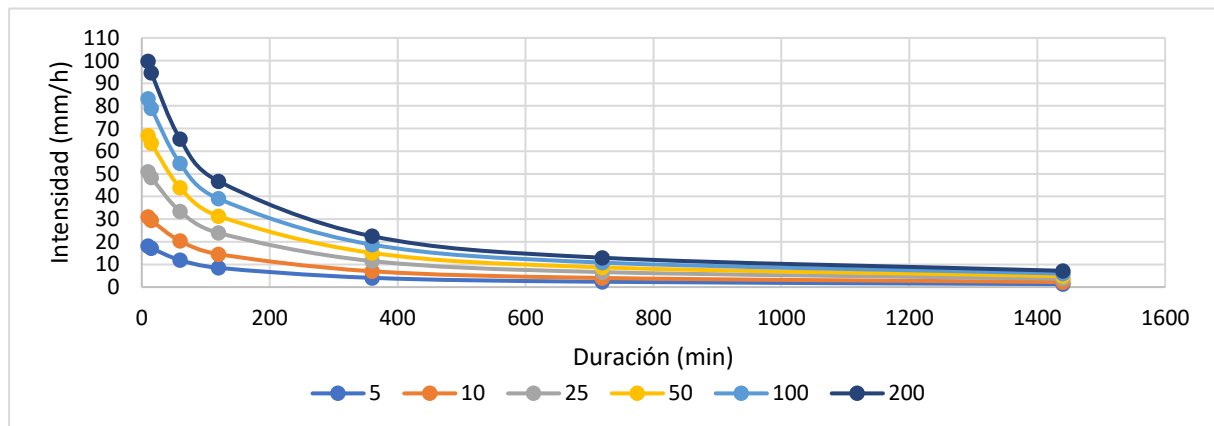
Tabla 43

Matriz de intensidades de las curvas IDF de la estación La Esperanza

Tr (años)	P _{máx24horas} (mm)	i10	i15	i60	i120	i360	i720	i1440
5	30.5	18.1	17.2	11.9	8.5	4.1	2.4	1.3
10	49.4	31.0	29.5	20.4	14.6	7.0	4.0	2.2
25	80.0	51.0	48.4	33.4	23.9	11.5	6.6	3.7
50	107.9	66.9	63.5	43.9	31.4	15.1	8.7	4.8
100	140.8	83.2	79.0	54.6	39.0	18.8	10.8	6.0
200	179.5	99.6	94.6	65.3	46.7	22.5	13.0	7.2

Figura 62

Curvas IDF de la estación La Esperanza



Capítulo 5 Estimación del caudal

En este capítulo se desarrolla el cálculo del caudal de diseño para cada cuenca mediante el modelo lluvia-escorrentía, además se presenta una estimación del caudal sólido de transporte que sumado al caudal líquido de diseño da un valor más representativo de lo que podría ocurrir realmente durante un evento pluvial.

5.1 Estimación del caudal líquido

5.1.1 Tiempo de concentración

Para hallar el tiempo de concentración T_c se utilizó la ecuación California Culverts Practice (1942) de acuerdo con lo explicado en el apartado 1.5.3.

Se presenta a continuación en la Tabla 44 el valor obtenido en minutos para cada una de las cuencas: Tiempo de concentración en minutos para cada cuenca

Tabla 44

Tiempo de concentración en minutos para cada cuenca

Cuenca	Cota máxima (m s.n.m.)	Cota mínima (m s.n.m.)	Desnivel H (m)	Longitud del cauce L (m)	Tiempo de concentración T_c (min)
Santa Rita 1	101.0	11.0	90.0	3556.1	43.6
Santa Rita 2	101.0	15.0	86.0	3201.0	39.3
Santa Rita 3	101.0	28.0	73.0	2315.3	28.8
Politécnico 1	114.0	16.0	98.0	1267.1	12.8
Politécnico 2	114.0	25.0	89.0	1023.8	10.4
Yale 1	113.0	12.0	101.0	4711.8	57.7
Yale 2	113.0	20.0	93.0	4018.7	49.5
Mangle	101.0	20.0	81.0	967.7	10.1

5.1.2 Método del bloque alterno

En base a lo explicado en el apartado 1.5.4.1 se procedió a realizar el método del bloque alterno, escogiendo un intervalo de tiempo de 10 minutos y un total de 720 minutos.

Para encontrar los valores de intensidad en cada intervalo de tiempo, se utilizó la ecuación de Farias y Ruiz (2018) encontrada para la ciudad de Piura multiplicada por el valor de la relación entre la precipitación máxima diaria de La Esperanza y la precipitación máxima diaria de Piura, k_T .

$$i_t^T = \frac{2327 \ln(T) - 2085}{(t + 75)^{0.912}} * k_T \quad (35)$$

Donde:

T : Periodo de retorno (años).

t : Duración de la precipitación (min)

En la Tabla 45 y en la Figura 63 se muestra el hietograma de diseño obtenido para Tr= 5, 10, 25, 50, 100 y 200 años y en el Apéndice C se muestra el cálculo detallado del hietograma de diseño para Tr=5 años.

Tabla 45

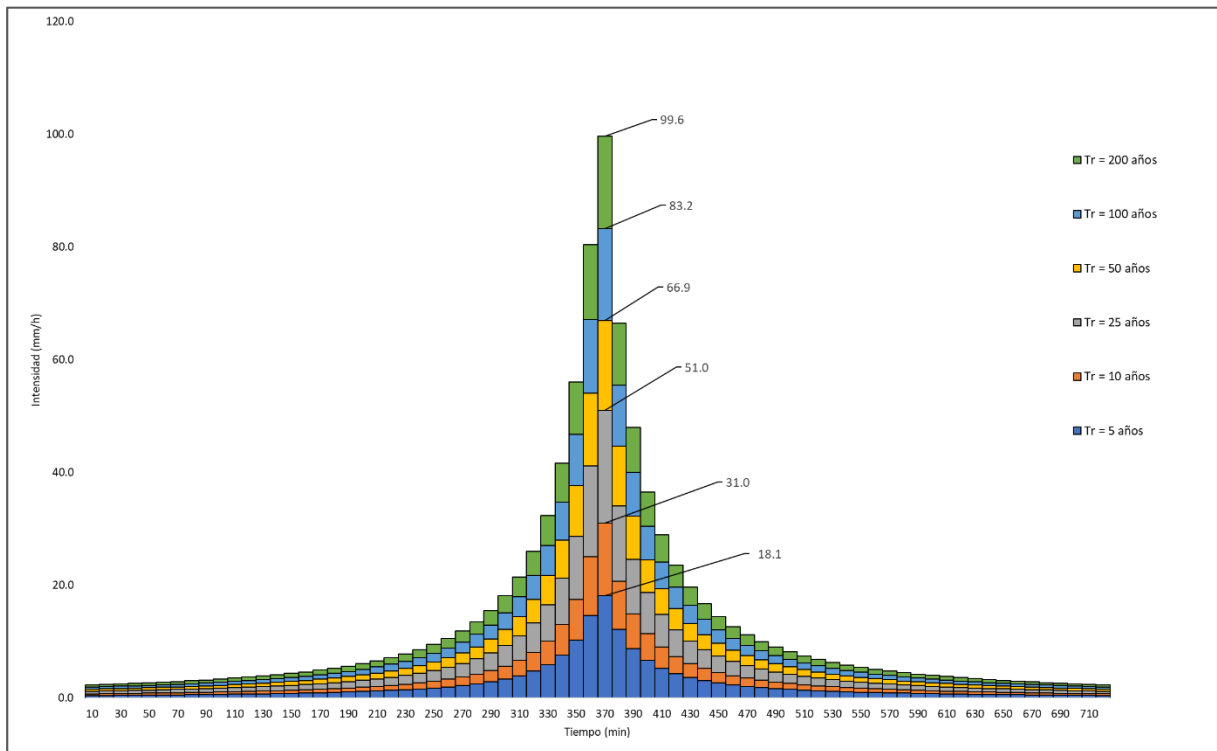
Hietograma de diseño para Tr= 5, 10, 25, 50, 100 y 200 años

T(min)	Tr = 5 años		Tr = 10 años		Tr = 25 años		Tr = 50 años		Tr = 100 años		Tr = 200 años	
	P(mm)	i(mm/h)	P(mm)	i(mm/h)	P(mm)	i(mm/h)	P(mm)	i(mm/h)	P(mm)	i(mm/h)	P(mm)	i(mm/h)
10	0.1	0.4	0.1	0.7	0.2	1.2	0.3	1.5	0.3	1.9	0.4	2.3
20	0.1	0.4	0.1	0.7	0.2	1.2	0.3	1.6	0.3	2.0	0.4	2.4
30	0.1	0.4	0.1	0.8	0.2	1.3	0.3	1.6	0.3	2.0	0.4	2.5
40	0.1	0.5	0.1	0.8	0.2	1.3	0.3	1.7	0.4	2.1	0.4	2.5
50	0.1	0.5	0.1	0.8	0.2	1.4	0.3	1.8	0.4	2.2	0.4	2.7
60	0.1	0.5	0.1	0.9	0.2	1.4	0.3	1.9	0.4	2.3	0.5	2.8
70	0.1	0.5	0.1	0.9	0.2	1.5	0.3	1.9	0.4	2.4	0.5	2.9
80	0.1	0.5	0.2	0.9	0.3	1.5	0.3	2.0	0.4	2.5	0.5	3.0
90	0.1	0.6	0.2	1.0	0.3	1.6	0.4	2.1	0.4	2.6	0.5	3.2
100	0.1	0.6	0.2	1.0	0.3	1.7	0.4	2.2	0.5	2.8	0.6	3.3
110	0.1	0.6	0.2	1.1	0.3	1.8	0.4	2.3	0.5	2.9	0.6	3.5
120	0.1	0.7	0.2	1.1	0.3	1.9	0.4	2.5	0.5	3.1	0.6	3.7
130	0.1	0.7	0.2	1.2	0.3	2.0	0.4	2.6	0.5	3.2	0.6	3.9
140	0.1	0.7	0.2	1.3	0.3	2.1	0.5	2.7	0.6	3.4	0.7	4.1
150	0.1	0.8	0.2	1.3	0.4	2.2	0.5	2.9	0.6	3.6	0.7	4.3
160	0.1	0.8	0.2	1.4	0.4	2.3	0.5	3.1	0.6	3.8	0.8	4.6
170	0.1	0.9	0.3	1.5	0.4	2.5	0.5	3.3	0.7	4.1	0.8	4.9
180	0.2	1.0	0.3	1.6	0.4	2.7	0.6	3.5	0.7	4.4	0.9	5.2
190	0.2	1.0	0.3	1.7	0.5	2.9	0.6	3.8	0.8	4.7	0.9	5.6
200	0.2	1.1	0.3	1.9	0.5	3.1	0.7	4.1	0.8	5.0	1.0	6.0
210	0.2	1.2	0.3	2.0	0.6	3.3	0.7	4.4	0.9	5.5	1.1	6.5
220	0.2	1.3	0.4	2.2	0.6	3.6	0.8	4.8	1.0	5.9	1.2	7.1
230	0.2	1.4	0.4	2.4	0.7	4.0	0.9	5.2	1.1	6.5	1.3	7.8
240	0.3	1.6	0.4	2.7	0.7	4.4	1.0	5.7	1.2	7.1	1.4	8.5
250	0.3	1.7	0.5	2.9	0.8	4.8	1.1	6.3	1.3	7.9	1.6	9.5
260	0.3	1.9	0.5	3.3	0.9	5.4	1.2	7.1	1.5	8.8	1.8	10.5
270	0.4	2.2	0.6	3.7	1.0	6.1	1.3	8.0	1.6	9.9	2.0	11.9
280	0.4	2.5	0.7	4.2	1.1	6.9	1.5	9.0	1.9	11.2	2.2	13.5
290	0.5	2.8	0.8	4.8	1.3	7.9	1.7	10.4	2.2	12.9	2.6	15.5
300	0.5	3.3	0.9	5.6	1.5	9.2	2.0	12.1	2.5	15.1	3.0	18.1
310	0.7	3.9	1.1	6.7	1.8	11.0	2.4	14.4	3.0	17.9	3.6	21.4
320	0.8	4.7	1.3	8.1	2.2	13.3	2.9	17.4	3.6	21.7	4.3	26.0
330	1.0	5.9	1.7	10.1	2.8	16.5	3.6	21.7	4.5	27.0	5.4	32.3
340	1.3	7.6	2.2	13.0	3.5	21.3	4.7	27.9	5.8	34.7	6.9	41.6
350	1.7	10.2	2.9	17.4	4.8	28.6	6.3	37.6	7.8	46.8	9.3	56.0
360	2.4	14.6	4.2	25.0	6.9	41.1	9.0	54.0	11.2	67.1	13.4	80.4
370	3.0	18.1	5.2	31.0	8.5	51.0	11.1	66.9	13.9	83.2	16.6	99.6
380	2.0	12.1	3.5	20.7	5.7	34.0	7.4	44.6	9.2	55.5	11.1	66.5
390	1.5	8.7	2.5	14.9	4.1	24.5	5.4	32.2	6.7	40.0	8.0	47.9
400	1.1	6.6	1.9	11.4	3.1	18.7	4.1	24.5	5.1	30.5	6.1	36.5
410	0.9	5.3	1.5	9.0	2.5	14.8	3.2	19.4	4.0	24.1	4.8	28.9
420	0.7	4.3	1.2	7.3	2.0	12.0	2.6	15.8	3.3	19.7	3.9	23.5
430	0.6	3.6	1.0	6.1	1.7	10.0	2.2	13.2	2.7	16.4	3.3	19.6
440	0.5	3.0	0.9	5.2	1.4	8.5	1.9	11.2	2.3	13.9	2.8	16.7
450	0.4	2.6	0.7	4.5	1.2	7.4	1.6	9.7	2.0	12.0	2.4	14.4
460	0.4	2.3	0.7	3.9	1.1	6.5	1.4	8.5	1.8	10.5	2.1	12.6
470	0.3	2.0	0.6	3.5	1.0	5.7	1.2	7.5	1.6	9.3	1.9	11.2
480	0.3	1.8	0.5	3.1	0.9	5.1	1.1	6.7	1.4	8.3	1.7	10.0
490	0.3	1.6	0.5	2.8	0.8	4.6	1.0	6.0	1.2	7.5	1.5	9.0
500	0.2	1.5	0.4	2.5	0.7	4.2	0.9	5.5	1.1	6.8	1.4	8.1

T(min)	Tr = 5 años		Tr = 10 años		Tr = 25 años		Tr = 50 años		Tr = 100 años		Tr = 200 años	
	P(mm)	i(mm/h)	P(mm)	i(mm/h)	P(mm)	i(mm/h)	P(mm)	i(mm/h)	P(mm)	i(mm/h)	P(mm)	i(mm/h)
510	0.2	1.4	0.4	2.3	0.6	3.8	0.8	5.0	1.0	6.2	1.2	7.4
520	0.2	1.2	0.4	2.1	0.6	3.5	0.8	4.6	0.9	5.7	1.1	6.8
530	0.2	1.1	0.3	2.0	0.5	3.2	0.7	4.2	0.9	5.2	1.0	6.3
540	0.2	1.1	0.3	1.8	0.5	3.0	0.7	3.9	0.8	4.9	1.0	5.8
550	0.2	1.0	0.3	1.7	0.5	2.8	0.6	3.6	0.8	4.5	0.9	5.4
560	0.2	0.9	0.3	1.6	0.4	2.6	0.6	3.4	0.7	4.2	0.8	5.1
570	0.1	0.9	0.2	1.5	0.4	2.4	0.5	3.2	0.7	4.0	0.8	4.7
580	0.1	0.8	0.2	1.4	0.4	2.3	0.5	3.0	0.6	3.7	0.7	4.5
590	0.1	0.8	0.2	1.3	0.4	2.1	0.5	2.8	0.6	3.5	0.7	4.2
600	0.1	0.7	0.2	1.2	0.3	2.0	0.4	2.7	0.6	3.3	0.7	4.0
610	0.1	0.7	0.2	1.2	0.3	1.9	0.4	2.5	0.5	3.1	0.6	3.8
620	0.1	0.6	0.2	1.1	0.3	1.8	0.4	2.4	0.5	3.0	0.6	3.6
630	0.1	0.6	0.2	1.1	0.3	1.7	0.4	2.3	0.5	2.8	0.6	3.4
640	0.1	0.6	0.2	1.0	0.3	1.7	0.4	2.2	0.4	2.7	0.5	3.2
650	0.1	0.6	0.2	1.0	0.3	1.6	0.3	2.1	0.4	2.6	0.5	3.1
660	0.1	0.5	0.2	0.9	0.3	1.5	0.3	2.0	0.4	2.5	0.5	2.9
670	0.1	0.5	0.1	0.9	0.2	1.4	0.3	1.9	0.4	2.4	0.5	2.8
680	0.1	0.5	0.1	0.8	0.2	1.4	0.3	1.8	0.4	2.3	0.5	2.7
690	0.1	0.5	0.1	0.8	0.2	1.3	0.3	1.7	0.4	2.2	0.4	2.6
700	0.1	0.5	0.1	0.8	0.2	1.3	0.3	1.7	0.3	2.1	0.4	2.5
710	0.1	0.4	0.1	0.7	0.2	1.2	0.3	1.6	0.3	2.0	0.4	2.4
720	0.1	0.4	0.1	0.7	0.2	1.2	0.3	1.6	0.3	1.9	0.4	2.3

Figura 63

Hietograma de diseño para Tr= 5, 10, 25, 50, 100 y 200 años



5.1.3 Numero de curva

Dado que las cuencas en estudio presentan diferentes tipos de usos de tierra, se decidió calcular un valor de CN ponderado para la evaluación de las infiltraciones.

Para conocer el grupo hidrológico del suelo, se tomó del documento de CENEPRED (2017) el mapa de tipos de suelos del distrito de Pariñas, en el que se detalla el tipo de suelo encontrado en la zona de estudio. Por lo tanto, de acuerdo con el apartado 1.5.4.2 se decidió trabajar con el grupo hidrológico B: Suelos pocos profundos depositados por el viento, marga arenosa.

De la Figura 5 y de la Tabla 46 se obtuvieron los dos tipos de usos del suelo: uso residencial y desierto con arbusto.

Tabla 46

Números de curva para diferentes usos de suelo

Descripción de la cobertura		Número de curva para cada tipo de suelo			
		A ³	B	C	D
Tipo de cobertura	Condición hidrológica ²				
Herbáceo - Mezcla de hierba, maleza y matorral de bajo crecimiento, siendo el matorral el elemento menor.	Pobre		80	87	93
	Regular		71	81	89
	Buena		62	74	85
Roble y álamo - Mezcla de arbustos de montaña de roble, álamo, caoba de montaña, arce y otros arbustos.	Pobre		66	74	79
	Regular		48	57	63
	Buena		30	41	48
Pino-ciprés - Pino, ciprés, o ambos, sotobosque de hierba.	Pobre		75	85	89
	Regular		58	73	80
	Buena		41	61	71
Artemisa con sotobosque de hierba.	Pobre		67	80	85
	Regular		51	63	70
	Buena		35	47	55
Arbustos desérticos - Entre las plantas principales se encuentran el arbusto salado, el palo verde, el arbusto creosota, el arbusto negro, el mezquite y los cactus.	Pobre	63	77	85	88
	Regular	55	72	81	86
	Buena	49	68	79	84

Nota. Adaptado de Maidment (1993).

Para obtener el valor de CN(II) se delimitaron las áreas de uso residencial y desierto con arbusto y se ponderaron, se muestra a continuación en la Tabla 47 las cuencas en estudio con sus respectivas áreas y valor de CN(II):

Tabla 47*Valor de CN (II) ponderado para cada cuenca*

Cuenca	Uso del suelo	Área (km ²)	Área total (km ²)	% del total	Grupo hidrológico	CN(II)
Santa Rita 1	Uso residencial	85	0.31	11%	B	77.88
	Desierto con arbusto	77	2.52	89%	B	
Santa Rita 2	Uso residencial	85	0.13	5%	B	77.41
	Desierto con arbusto	77	2.48	95%	B	
Santa Rita 3	Uso residencial	85	0.00	0%	B	77.00
	Desierto con arbusto	77	1.69	100%	B	
Politécnico 1	Uso residencial	85	0.18	29%	B	79.28
	Desierto con arbusto	77	0.45	71%	B	
Politécnico 2	Uso residencial	85	0.07	14%	B	78.14
	Desierto con arbusto	77	0.41	86%	B	
Yale 1	Uso residencial	85	1.31	24%	B	78.94
	Desierto con arbusto	77	4.09	76%	B	
Yale 2	Uso residencial	85	1.05	22%	B	78.76
	Desierto con arbusto	77	3.72	78%	B	
Mangle	Uso residencial	85	0.02	6%	B	77.52
	Desierto con arbusto	77	0.28	94%	B	

De acuerdo con los apartados 1.5.4.2 y 1.5.4.3 se calcularon el número de curva CN(III) y los valores de S e la mostrados a continuación en la Tabla 48:

Tabla 48*Valores de CN(III), S, I_a*

Cuenca	CN(III)	S (mm)	I _a (mm)
Santa Rita 1	89.01	31.37	6.27
Santa Rita 2	88.74	32.23	6.45
Santa Rita 3	88.51	32.99	6.60
Politécnico 1	89.80	28.86	5.77
Politécnico 2	89.15	30.90	6.18
Yale 1	89.60	29.47	5.89
Yale 2	89.50	29.78	5.96
Mangle	88.80	32.03	6.41

5.1.4 Distribución temporal de las abstracciones de acuerdo al SCS

El cálculo se realizó de acuerdo con lo explicado en el apartado 1.5.4.3, se muestra a continuación en la Tabla 49 el cálculo para un $T_r=5$ años de la cuenca Santa Rita 1 y en la Figura 64 el gráfico de intensidades obtenido:

Tabla 49

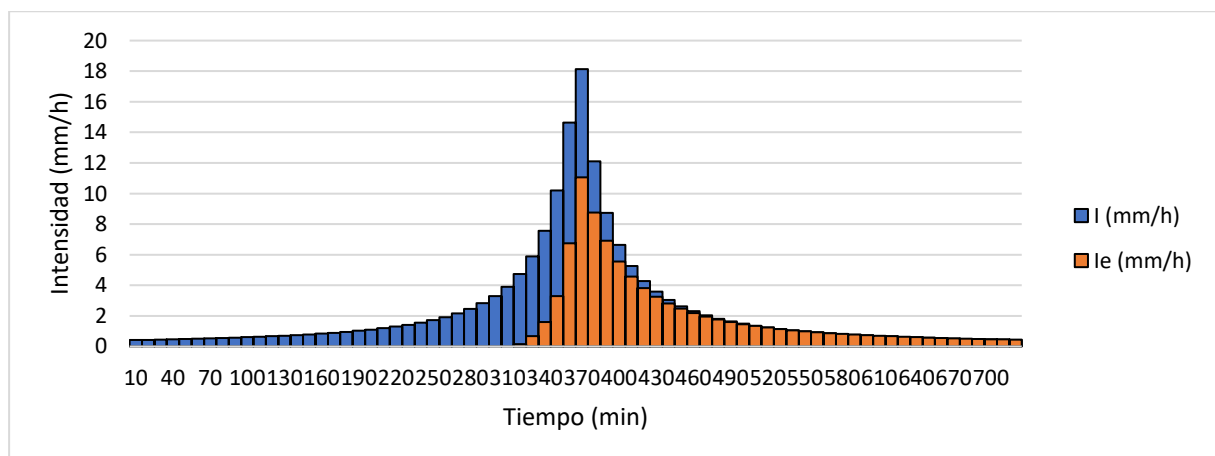
Distribución temporal de las abstracciones de la cuenca Santa Rita 1

Ordena do	Hietograma de diseño			Valores acumulados			Hietograma efectivo		
	T (min)	P (mm)	I (mm/h)	P (mm)	Ia (mm)	Fa (mm)	Pe (mm)	Pe (mm)	Ie (mm/h)
720	10	0.1	0.4	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
700	20	0.1	0.4	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
680	30	0.1	0.4	0.2	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0
660	40	0.1	0.5	0.3	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0
640	50	0.1	0.5	0.4	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0
620	60	0.1	0.5	0.5	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0
600	70	0.1	0.5	0.5	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0
580	80	0.1	0.5	0.6	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0
560	90	0.1	0.6	0.7	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0
540	100	0.1	0.6	0.8	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0
520	110	0.1	0.6	0.9	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0
500	120	0.1	0.7	1.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0
480	130	0.1	0.7	1.2	1.2	0.0	0.0	0.0	0.0
460	140	0.1	0.7	1.3	1.3	0.0	0.0	0.0	0.0
440	150	0.1	0.8	1.4	1.4	0.0	0.0	0.0	0.0
420	160	0.1	0.8	1.6	1.6	0.0	0.0	0.0	0.0
400	170	0.1	0.9	1.7	1.7	0.0	0.0	0.0	0.0
380	180	0.2	1.0	1.9	1.9	0.0	0.0	0.0	0.0
360	190	0.2	1.0	2.0	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0
340	200	0.2	1.1	2.2	2.2	0.0	0.0	0.0	0.0
320	210	0.2	1.2	2.4	2.4	0.0	0.0	0.0	0.0
300	220	0.2	1.3	2.6	2.6	0.0	0.0	0.0	0.0
280	230	0.2	1.4	2.9	2.9	0.0	0.0	0.0	0.0
260	240	0.3	1.6	3.1	3.1	0.0	0.0	0.0	0.0
240	250	0.3	1.7	3.4	3.4	0.0	0.0	0.0	0.0
220	260	0.3	1.9	3.7	3.7	0.0	0.0	0.0	0.0
200	270	0.4	2.2	4.1	4.1	0.0	0.0	0.0	0.0
180	280	0.4	2.5	4.5	4.5	0.0	0.0	0.0	0.0
160	290	0.5	2.8	5.0	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0
140	300	0.5	3.3	5.5	5.5	0.0	0.0	0.0	0.0
120	310	0.7	3.9	6.2	6.2	0.0	0.0	0.0	0.0
100	320	0.8	4.7	7.0	6.3	0.7	0.0	0.0	0.1
80	330	1.0	5.9	7.9	6.3	1.6	0.1	0.1	0.7
60	340	1.3	7.6	9.2	6.3	2.7	0.3	0.2	1.6
40	350	1.7	10.2	10.9	6.3	4.0	0.6	0.3	3.3
20	360	2.4	14.6	13.3	6.3	5.8	1.3	0.7	6.7
10	370	3.0	18.1	16.4	6.3	7.6	2.5	1.2	11.1
30	380	2.0	12.1	18.4	6.3	8.7	3.4	0.9	8.8
50	390	1.5	8.7	19.8	6.3	9.5	4.1	0.7	6.9
70	400	1.1	6.6	20.9	6.3	10.0	4.7	0.6	5.6
90	410	0.9	5.3	21.8	6.3	10.4	5.2	0.5	4.6
110	420	0.7	4.3	22.5	6.3	10.7	5.6	0.4	3.8
130	430	0.6	3.6	23.1	6.3	11.0	5.9	0.3	3.3

Hietograma de diseño			Valores acumulados				Hietograma efectivo		
Ordena do	T (min)	P (mm)	I (mm/h)	P (mm)	Ia (mm)	Fa (mm)	Pe (mm)	Pe (mm)	Ie (mm/h)
150	440	0.5	3.0	23.6	6.3	11.2	6.2	0.3	2.8
170	450	0.4	2.6	24.1	6.3	11.4	6.4	0.3	2.5
190	460	0.4	2.3	24.5	6.3	11.5	6.7	0.2	2.2
210	470	0.3	2.0	24.8	6.3	11.6	6.9	0.2	2.0
230	480	0.3	1.8	25.1	6.3	11.8	7.1	0.2	1.8
250	490	0.3	1.6	25.4	6.3	11.9	7.2	0.2	1.6
270	500	0.2	1.5	25.6	6.3	12.0	7.4	0.2	1.5
290	510	0.2	1.4	25.8	6.3	12.1	7.5	0.1	1.3
310	520	0.2	1.2	26.1	6.3	12.1	7.6	0.1	1.2
330	530	0.2	1.1	26.2	6.3	12.2	7.8	0.1	1.1
350	540	0.2	1.1	26.4	6.3	12.3	7.9	0.1	1.1
370	550	0.2	1.0	26.6	6.3	12.3	8.0	0.1	1.0
390	560	0.2	0.9	26.7	6.3	12.4	8.1	0.1	0.9
410	570	0.1	0.9	26.9	6.3	12.4	8.2	0.1	0.9
430	580	0.1	0.8	27.0	6.3	12.5	8.3	0.1	0.8
450	590	0.1	0.8	27.1	6.3	12.5	8.3	0.1	0.8
470	600	0.1	0.7	27.3	6.3	12.6	8.4	0.1	0.7
490	610	0.1	0.7	27.4	6.3	12.6	8.5	0.1	0.7
510	620	0.1	0.6	27.5	6.3	12.7	8.6	0.1	0.7
530	630	0.1	0.6	27.6	6.3	12.7	8.6	0.1	0.6
550	640	0.1	0.6	27.7	6.3	12.7	8.7	0.1	0.6
570	650	0.1	0.6	27.8	6.3	12.8	8.7	0.1	0.6
590	660	0.1	0.5	27.9	6.3	12.8	8.8	0.1	0.6
610	670	0.1	0.5	28.0	6.3	12.8	8.9	0.1	0.5
630	680	0.1	0.5	28.0	6.3	12.8	8.9	0.1	0.5
650	690	0.1	0.5	28.1	6.3	12.9	9.0	0.1	0.5
670	700	0.1	0.5	28.2	6.3	12.9	9.0	0.0	0.5
690	710	0.1	0.4	28.3	6.3	12.9	9.1	0.0	0.5
710	720	0.1	0.4	28.3	6.3	13.0	9.1	0.0	0.4

Figura 64

Intensidades totales (I) e intensidades efectivas (Ie) de la cuenca Santa Rita 1 para un Tr=5 años



En el Apéndice D se muestra el hietograma efectivo de cada cuenca para cada periodo de retorno.

5.1.5 Hidrograma unitario

A continuación, se muestra el cálculo detallado para la cuenca Santa Rita 1, el cual se realizó de acuerdo a lo explicado en el apartado 1.5.4.4.

El tiempo de retardo se calcula de acuerdo con la expresión 33:

$$t_p = 0.6 * t_c = 0.6 * 43.55 = 26.1 \text{ min}$$

El tiempo de ocurrencia se calcula de acuerdo a la expresión 34:

$$D = 10 \text{ min}$$

$$T_p = \frac{D}{2} + t_p = \frac{10}{2} + 26.13 = 31.1 \text{ min}$$

El tiempo de recesión se calcula de acuerdo a la expresión 35:

$$t_r = 1.67 * T_p = 1.67 * 31.1 = 51.9 \text{ min}$$

El tiempo de base se calcula de acuerdo a la expresión 36:

$$T_b = T_p + t_r = 83 \text{ min}$$

El caudal pico se calcula de acuerdo con la expresión 37:

$$q_p = \frac{100A}{3 * (T_p + t_r)} = \frac{100 * 2.82}{3 * (31.1 + 51.9)} = 1.1 \text{ m}^3/\text{s} * \text{mm}$$

Se deben dividir los tiempos hallados T_p y t_r entre D y escoger un número entero de intervalos para el gráfico del hidrograma:

$$\frac{T_p}{D} = \frac{31.1}{10} = 3.11 \approx 3 \text{ intervalos}$$

$$\frac{t_r}{D} = \frac{51.9}{10} = 5.19 \approx 5 \text{ intervalos}$$

Como paso siguiente se ajustaron los valores de T_p y t_r para obtener los valores reales:

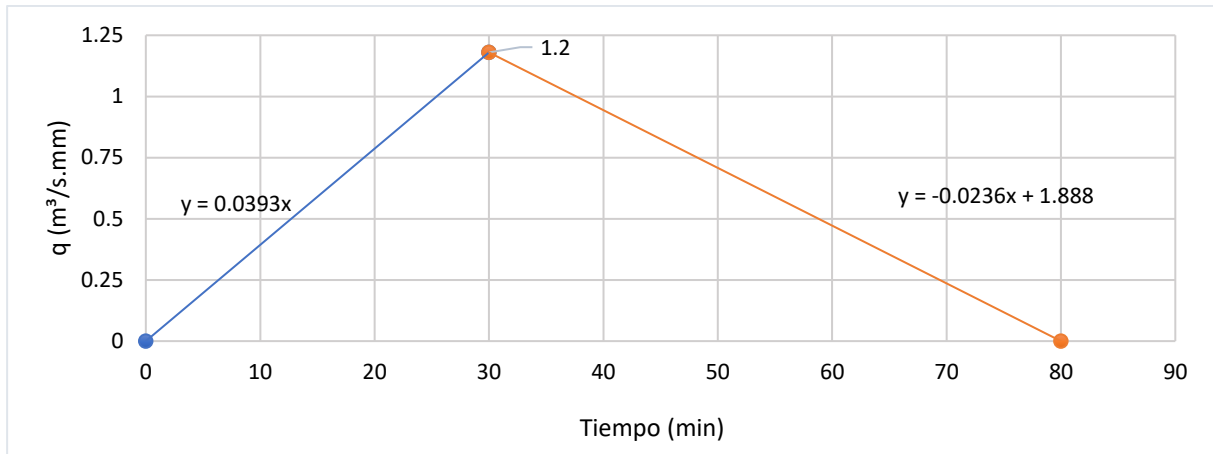
$$T_p = 10 * 3 = 30 \text{ min}$$

$$t_r = 10 * 5 = 50 \text{ min}$$

$$T_b = T_p + t_r = 80 \text{ min}$$

$$q_p = \frac{100 * 2.82}{3 * (30 + 50)} = 1.2$$

Con los valores hallados se grafica el hidrograma unitario triangular y las ecuaciones de sus respectivas rectas, se presenta en la Figura 65 el gráfico de hidrograma unitario corregido de la cuenca Santa Rita 1 y en el Apéndice E se muestra el cálculo para las demás cuencas.

Figura 65*Hidrograma unitario corregido de la cuenca Santa Rita 1*

En la Tabla 50 se muestran las variables que contemplan cada cuenca para la elaboración del hidrograma unitario triangular.

Tabla 50*Variables del hidrograma unitario para las cuencas en estudio*

Cuenca	Intervalo de tiempo (min)	Tiempo de retardo t_p (min)	Tiempo de ocurrencia T_p (min)	Tiempo de recesión t_r (min)	Tiempo de base T_b (min)	Caudal pico q_p (m³/s.mm)
Santa Rita 1	10.0	26.1	30.0	50.0	80.0	1.2
Santa Rita 2	10.0	23.6	30.0	50.0	80.0	1.1
Santa Rita 3	10.0	17.3	20.0	40.0	60.0	0.9
Politécnico 1	10.0	7.7	10.0	20.0	30.0	0.7
Politécnico 2	10.0	6.2	10.0	20.0	30.0	0.5
Yale 1	10.0	34.6	40.0	70.0	110.0	1.6
Yale 2	10.0	29.7	30.0	60.0	90.0	1.8
Mangle	10.0	6.1	10.0	20.0	30.0	0.3

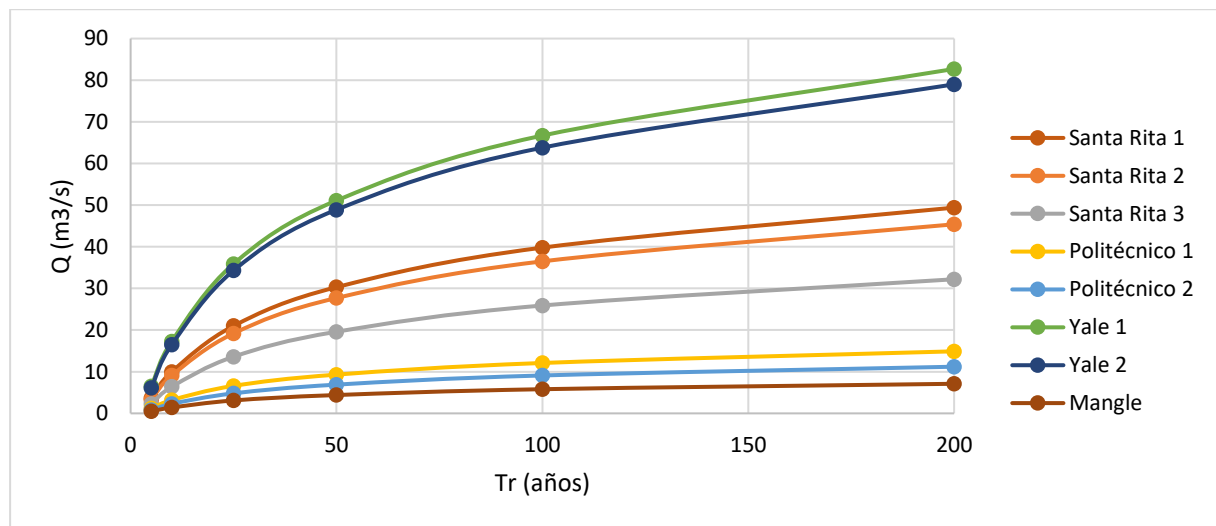
5.1.6 Método de convolución

El cálculo se realizó de acuerdo con lo explicado en el apartado 1.5.4.5.

En la Tabla 51 se muestran los caudales obtenidos para cada periodo de retorno y para cada cuenca y en la Figura 66 el gráfico de variación de caudal versus periodo de retorno correspondiente, además en el Apéndice F se muestra el proceso de convolución realizado para cada cuenca.

Tabla 51*Caudal líquido para cada periodo de retorno*

Cuenca	Q (m ³ /s)					
	Tr 5 (años)	Tr 10 (años)	Tr 25 (años)	Tr 50 (años)	Tr 100 (años)	Tr 200 (años)
SantaRita1	3.7	10.0	21.0	30.3	39.8	49.4
SantaRita2	3.3	9.1	19.2	27.7	36.5	45.4
SantaRita3	2.3	6.4	13.6	19.6	25.9	32.2
Politecnico1	1.2	3.2	6.6	9.3	12.1	14.9
Politecnico2	0.8	2.3	4.8	6.9	9.1	11.2
Yale11	6.5	17.3	35.9	51.1	66.7	82.7
Yale22	6.1	16.5	34.3	48.9	63.8	79.0
Mangle	0.5	1.4	3.1	4.4	5.8	7.1

Figura 66*Caudal versus periodo de retorno para cada cuenca*

5.2 Estimación del arrastre de sedimentos

La estimación del arrastre de sedimentos tanto en suspensión como de fondo se realizó de acuerdo a lo explicado en el apartado 1.6.

Se muestran a continuación de la Figura 67 a la Figura 69 la sección elegida en cada cuenca para el cálculo de sedimentos de fondo y suspensión y en la Tabla 52 se muestran los parámetros hidráulicos de cada sección, los cuales fueron obtenidos haciendo uso del software Hydraulic Toolbox, considerando un valor de rugosidad de Manning de 0.040, asociado a quebradas con un cauce medianamente limpio y serpenteante.

En la Tabla 53 se muestran los datos de granulometría extraídos de muestras en calicatas realizadas en el cauce de cada una de las quebradas en el Estudio de Pre-Inversión del Drenaje Pluvial de la ciudad de Talara (Autoridad para la Reconstrucción con Cambios [ARCC], 2021).

Figura 67

Vista en planta y perfil de la sección elegida para la cuenca Santa Rita

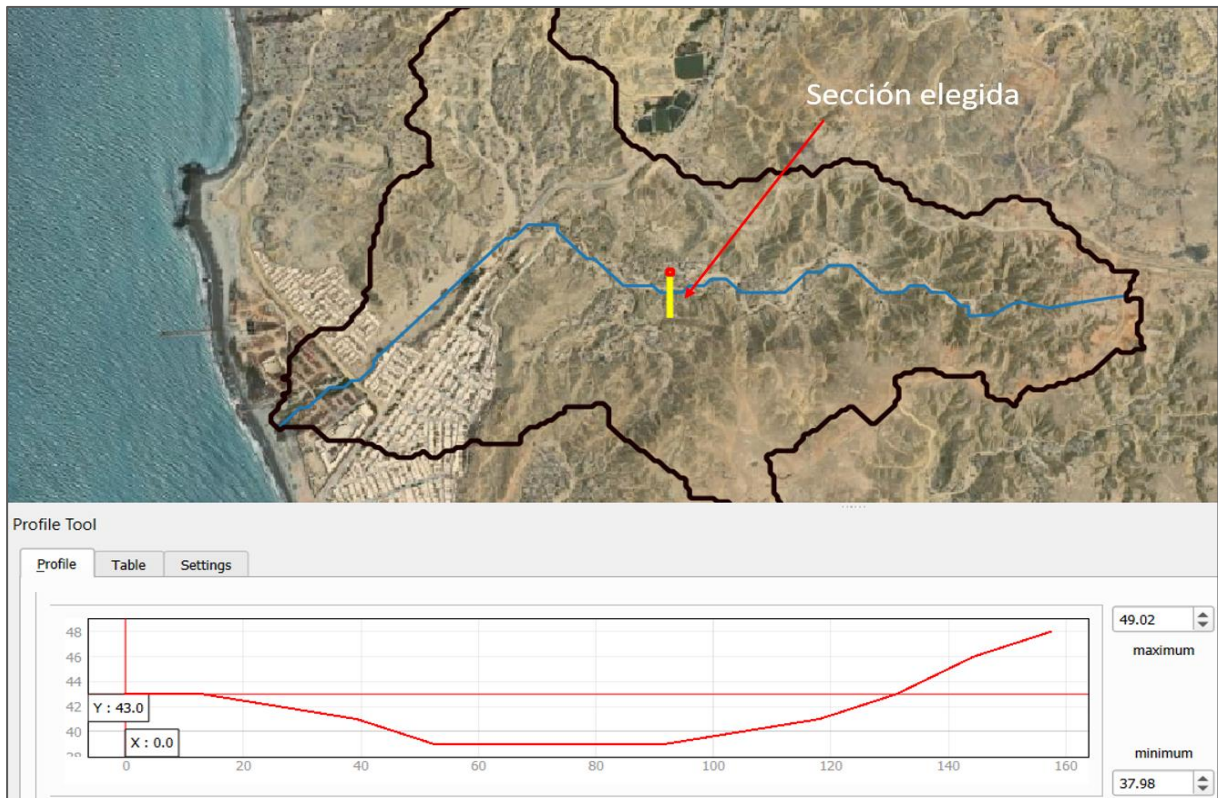


Figura 68

Vista en planta y perfil de la sección elegida para la cuenca Politécnico

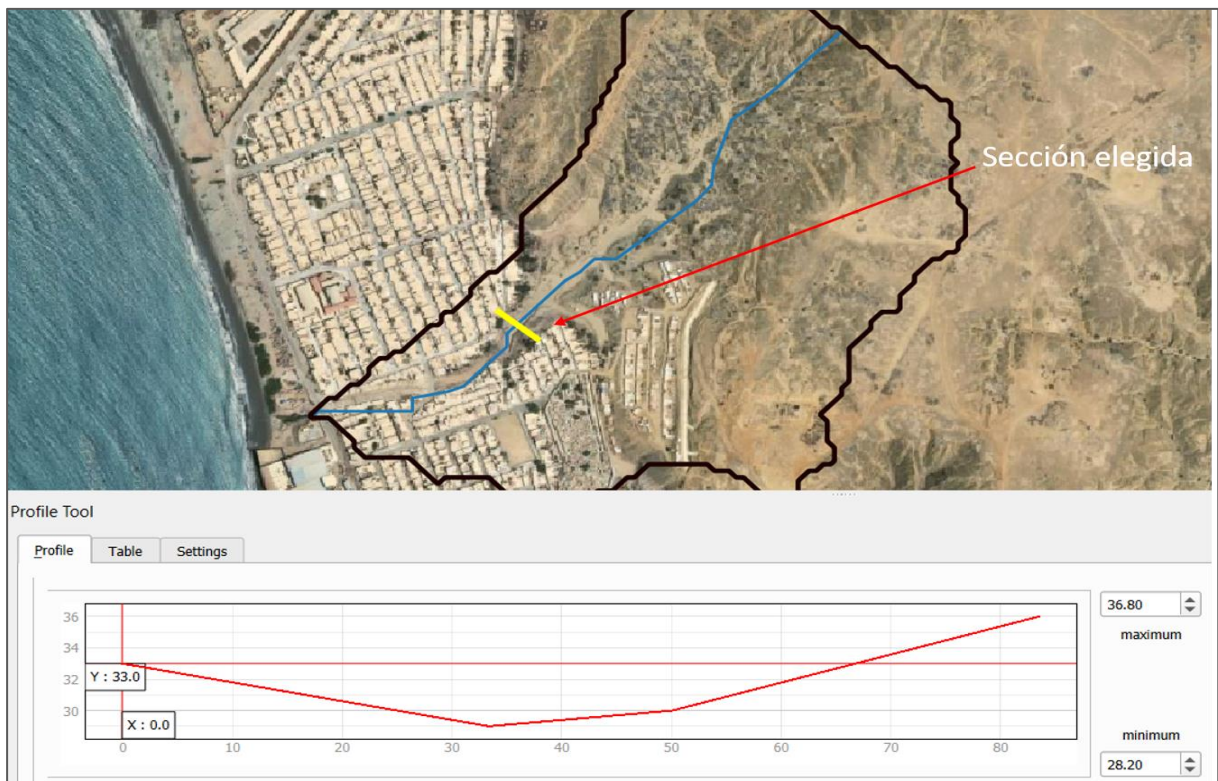
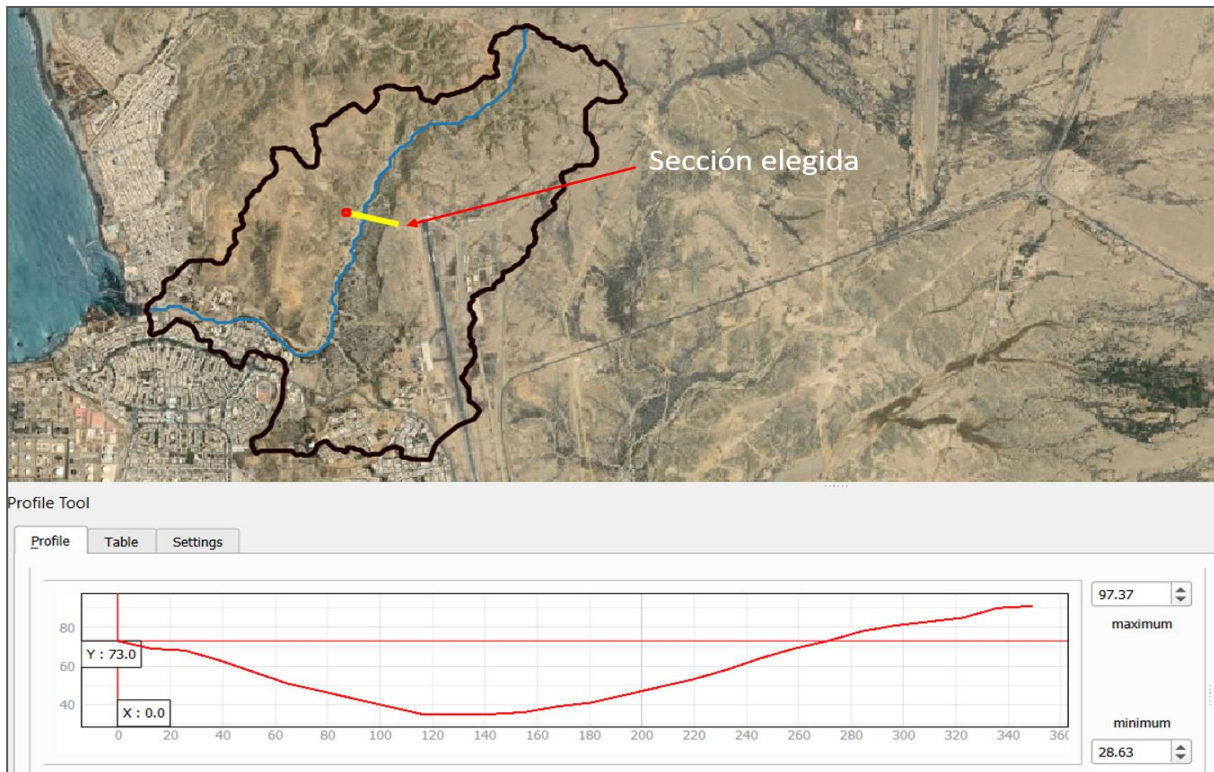


Figura 69

Vista en planta y perfil de la sección elegida para la cuenca Yale

**Tabla 52**

Parámetros hidráulicos de la sección elegida para cada cuenca y cada periodo de retorno

Cuenca	Periodo de retorno (años)	Caudal (m ³ /s)	Área (m ²)	Perímetro (m)	Pendiente	Tirante (m)
Santa Rita	5	3.70	4.57	41.62	0.02	0.11
	10	10.00	8.43	43.43	0.02	0.20
	25	21.00	13.43	45.65	0.02	0.32
	50	30.30	16.95	47.15	0.02	0.39
	100	39.80	20.19	48.50	0.02	0.46
	200	49.40	23.21	49.72	0.02	0.52
Politécnico	5	1.20	1.02	7.17	0.03	0.29
	10	3.20	2.13	10.36	0.03	0.41
	25	6.60	3.66	13.59	0.03	0.54
	50	9.30	4.73	15.45	0.03	0.61
	100	12.10	5.76	17.06	0.03	0.68
	200	14.90	6.74	18.44	0.03	0.73
Yale	5	6.50	6.91	29.90	0.01	0.25
	10	17.30	12.93	33.04	0.01	0.44
	25	35.90	20.92	36.79	0.01	0.67
	50	51.10	26.52	39.21	0.01	0.82
	100	66.70	31.79	41.36	0.01	0.95
	200	82.70	36.63	42.70	0.01	1.06

Tabla 53*Valores adoptados de diámetros representativos para cada cuenca*

Diámetro (mm)	Santa Rita	Politécnico	Yale
D10	0.12	0.17	0.14
D30	0.22	0.21	0.19
D50	0.29	0.25	0.22
D70	0.33	0.34	0.28
D90	0.40	0.46	0.39

Nota. Adaptado de ARCC (2021).

5.2.1 Transporte de sedimentos de fondo

El cálculo se realizó de acuerdo a lo explicado en el apartado 1.6.1 para las tres cuencas y todos los periodos de retorno. De la Tabla 54 a la Tabla 56 se muestran los resultados obtenidos para las 3 cuencas para cada periodo de retorno, teniendo en consideración que el caudal pico persiste durante un periodo de 30 minutos y asumiendo las siguientes constantes: una densidad de los sólidos de 2650 kg/m^3 , una densidad del agua de 1000 kg/m^3 , una viscosidad cinemática de $10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$, una viscosidad dinámica de $10^{-3} \text{ N}\cdot\text{s}/\text{m}^2$ y un valor de gravedad de 9.81 m/s^2 .



Tabla 54*Sedimentos de fondo para la cuenca Santa Rita*

Tr (años)	Caudal (m ³ /s)	Radio hidráulico R	Ancho medio (m)	Velocidad promedio del agua (m/s)	n'	n	D(m)	gb (kg/s.m)	gb(t)	gb(t)
5	3.7	0.1	40.4	0.8	0.01	0.04	0.00012	0.19	2.79	13
							0.00022	0.18	2.68	
							0.00029	0.18	2.60	
							0.00033	0.18	2.55	
							0.00040	0.17	2.48	
10	10.0	0.2	41.3	1.2	0.01	0.04	0.00012	0.46	6.87	33
							0.00022	0.45	6.71	
							0.00029	0.44	6.61	
							0.00033	0.44	6.54	
							0.00040	0.43	6.44	
25	21.0	0.3	42.5	1.6	0.01	0.04	0.00012	0.87	13.29	65
							0.00022	0.86	13.09	
							0.00029	0.85	12.95	
							0.00033	0.84	12.87	
							0.00040	0.83	12.73	
50	30.3	0.4	43.2	1.8	0.01	0.04	0.00012	1.18	18.33	90
							0.00022	1.16	18.10	
							0.00029	1.15	17.95	
							0.00033	1.15	17.86	
							0.00040	1.14	17.70	
100	39.8	0.4	43.9	2.0	0.01	0.04	0.00012	1.47	23.23	114
							0.00022	1.45	22.99	
							0.00029	1.44	22.81	
							0.00033	1.44	22.72	
							0.00040	1.43	22.55	
200	49.4	0.5	44.6	2.1	0.01	0.04	0.00012	1.75	28.05	138
							0.00022	1.73	27.79	
							0.00029	1.72	27.60	
							0.00033	1.71	27.50	
							0.00040	1.70	27.31	

Tabla 55*Sedimentos de fondo para la cuenca Politécnico*

Tr (años)	Caudal (m ³ /s)	Radio hidráulico R	Ancho medio (m)	Velocidad promedio del agua (m/s)	n'	n	D(m)	gb (kg/s.m)	gb(t)	gb(t)
5	1.2	0.1	3.6	1.2	0.01	0.04	0.00017	0.56	0.71	3
							0.00021	0.55	0.71	
							0.00025	0.55	0.70	
							0.00034	0.54	0.69	
							0.00046	0.52	0.67	
10	3.2	0.2	5.2	1.5	0.01	0.04	0.00017	0.97	1.81	9
							0.00021	0.97	1.80	
							0.00025	0.96	1.79	
							0.00034	0.95	1.76	
							0.00046	0.93	1.74	
25	6.6	0.3	6.8	1.8	0.01	0.04	0.00017	1.47	3.59	18
							0.00021	1.46	3.57	
							0.00025	1.46	3.56	
							0.00034	1.44	3.52	
							0.00046	1.43	3.48	
50	9.3	0.3	7.7	2.0	0.01	0.04	0.00017	1.79	4.96	25
							0.00021	1.78	4.94	
							0.00025	1.78	4.92	
							0.00034	1.76	4.88	
							0.00046	1.74	4.83	
100	12.1	0.3	8.5	2.1	0.01	0.04	0.00017	2.08	6.35	31
							0.00021	2.07	6.33	
							0.00025	2.06	6.31	
							0.00034	2.05	6.26	
							0.00046	2.03	6.20	
200	14.9	0.4	9.2	2.2	0.01	0.04	0.00017	2.34	7.73	38
							0.00021	2.33	7.71	
							0.00025	2.32	7.68	
							0.00034	2.31	7.63	
							0.00046	2.28	7.56	

Tabla 56*Sedimentos de fondo para la cuenca Yale*

Tr (años)	Caudal (m ³ /s)	Radio hidráulico R	Ancho medio (m)	Velocidad promedio del agua (m/s)	n'	n	D(m)	gb (kg/s.m)	gb (t)	gb (t)
5	6.5	0.2	27.9	0.9	0.01	0.04	0.00014	0.20	2.05	10
							0.00019	0.20	2.01	
							0.00022	0.20	1.98	
							0.00028	0.19	1.93	
							0.00039	0.18	1.85	
10	17.3	0.4	29.4	1.3	0.01	0.04	0.00014	0.46	4.87	24
							0.00019	0.46	4.82	
							0.00022	0.45	4.78	
							0.00028	0.45	4.72	
							0.00039	0.43	4.60	
25	35.9	0.6	31.3	1.7	0.01	0.04	0.00014	0.81	9.17	45
							0.00019	0.81	9.10	
							0.00022	0.80	9.05	
							0.00028	0.80	8.97	
							0.00039	0.78	8.81	
50	51.1	0.7	32.5	1.9	0.01	0.04	0.00014	1.06	12.39	61
							0.00019	1.05	12.31	
							0.00022	1.05	12.26	
							0.00028	1.04	12.17	
							0.00039	1.03	11.99	
100	66.7	0.8	33.5	2.1	0.01	0.04	0.00014	1.29	15.53	77
							0.00019	1.28	15.44	
							0.00022	1.28	15.38	
							0.00028	1.27	15.28	
							0.00039	1.25	15.08	
200	82.7	0.9	34.4	2.3	0.01	0.04	0.00014	1.52	18.85	93
							0.00019	1.51	18.75	
							0.00022	1.51	18.69	
							0.00028	1.50	18.58	
							0.00039	1.48	18.36	

5.2.2 Transporte de sedimentos en suspensión

El cálculo se realizó de acuerdo a lo explicado en el apartado 1.6.2 para las tres cuencas y todos los periodos de retorno. De la Tabla 57 a la Tabla 59 se muestran los resultados obtenidos para las 3 cuencas para cada periodo de retorno, teniendo en consideración que el caudal pico persiste durante un periodo de 30 minutos y asumiendo las siguientes constantes: una densidad de los sólidos de 2650 kg/m^3 , una densidad del agua de 1000 kg/m^3 , una viscosidad cinemática de $10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$, una viscosidad dinámica de $10^{-3} \text{ N}\cdot\text{s}/\text{m}^2$ y un valor de gravedad de 9.81 m/s^2 .

Tabla 57

Sedimentos en suspensión para la cuenca Santa Rita

Tr (años)	Caudal (m^3/s)	Velocidad promedio del agua (m/s)	Velocidad de corte (m/s)	D(m)	Velocidad de caída (m/s)	Velocidad crítica (m/s)	Ct (ppm)	Ct (t)	Ct (t)
5	3.7	0.8	0.1	0.00012	0.012	0.03	116996	156	279
				0.00022	0.029	0.07	33633	45	
				0.00029	0.039	0.09	22869	30	
				0.00033	0.044	0.10	19702	26	
				0.00040	0.052	0.11	16265	22	
10	10.0	1.2	0.2	0.00012	0.012	0.03	173561	625	1118
				0.00022	0.029	0.06	49912	180	
				0.00029	0.039	0.08	33897	122	
				0.00033	0.044	0.09	29170	105	
				0.00040	0.052	0.11	23993	86	
25	21.0	1.6	0.2	0.00012	0.012	0.03	225615	1706	3039
				0.00022	0.029	0.06	64558	488	
				0.00029	0.039	0.08	43686	330	
				0.00033	0.044	0.09	37479	283	
				0.00040	0.052	0.11	30688	232	
50	30.3	1.8	0.3	0.00012	0.012	0.03	254373	2775	4931
				0.00022	0.029	0.06	72532	791	
				0.00029	0.039	0.08	48944	534	
				0.00033	0.044	0.09	41928	457	
				0.00040	0.052	0.11	34270	374	
100	39.8	2.0	0.3	0.00012	0.012	0.03	276963	3968	7037
				0.00022	0.029	0.06	78743	1128	
				0.00029	0.039	0.08	53012	760	
				0.00033	0.044	0.09	45373	650	
				0.00040	0.052	0.11	37033	531	
200	49.4	2.1	0.3	0.00012	0.012	0.03	295539	5256	9303
				0.00022	0.029	0.06	83818	1491	
				0.00029	0.039	0.08	56326	1002	
				0.00033	0.044	0.09	48173	857	
				0.00040	0.052	0.11	39272	698	

Tabla 58*Sedimentos en suspensión para la cuenca Politécnico*

Tr (años)	Caudal (m ³ /s)	Velocidad promedio del agua (m/s)	Velocidad de corte (m/s)	D(m)	Velocidad de caída (m/s)	Velocidad critica (m/s)	Ct (ppm)	Ct (t)	Ct (t)
5	1.2	1.2	0.2	0.00017	0.020	0.05	128001	55	153
				0.00021	0.027	0.06	85723	37	
				0.00025	0.033	0.07	64731	28	
				0.00034	0.045	0.09	43254	19	
				0.00046	0.059	0.12	31639	14	
10	3.2	1.5	0.3	0.00017	0.020	0.05	159343	184	505
				0.00021	0.027	0.06	106536	123	
				0.00025	0.033	0.07	80307	93	
				0.00034	0.045	0.09	53359	61	
				0.00046	0.059	0.12	38855	45	
25	6.6	1.8	0.3	0.00017	0.020	0.04	185462	441	1209
				0.00021	0.027	0.06	123774	294	
				0.00025	0.033	0.07	93152	221	
				0.00034	0.045	0.09	61591	146	
				0.00046	0.059	0.12	44677	106	
50	9.3	2.0	0.3	0.00017	0.020	0.04	198741	665	1822
				0.00021	0.027	0.06	132503	444	
				0.00025	0.033	0.07	99581	333	
				0.00034	0.045	0.09	65722	220	
				0.00046	0.059	0.12	47575	159	
100	12.1	2.1	0.3	0.00017	0.020	0.04	209278	912	2492
				0.00021	0.027	0.06	139415	607	
				0.00025	0.033	0.07	104666	456	
				0.00034	0.045	0.09	68976	300	
				0.00046	0.059	0.12	49848	217	
200	14.9	2.2	0.3	0.00017	0.020	0.04	217815	1168	3191
				0.00021	0.027	0.06	145005	778	
				0.00025	0.033	0.07	108774	583	
				0.00034	0.045	0.09	71597	384	
				0.00046	0.059	0.12	51672	277	

Tabla 59*Sedimentos en suspensión para la cuenca Yale*

Tr (años)	Caudal (m ³ /s)	Velocidad promedio del agua (m/s)	Velocidad de corte (m/s)	D(m)	Velocidad de caída (m/s)	Velocidad critica (m/s)	Ct (ppm)	Ct (t)	Ct (t)
5	6.5	0.9	0.2	0.00014	0.015	0.04	38558	90	232
				0.00019	0.024	0.06	21586	51	
				0.00022	0.029	0.07	17208	40	
				0.00028	0.038	0.08	12646	30	
				0.00039	0.051	0.11	9219	22	
10	17.3	1.3	0.2	0.00014	0.015	0.04	56397	351	902
				0.00019	0.024	0.05	31539	196	
				0.00022	0.029	0.06	25122	156	
				0.00028	0.038	0.08	18423	115	
				0.00039	0.051	0.11	13354	83	
25	35.9	1.7	0.2	0.00014	0.015	0.04	72346	935	2393
				0.00019	0.024	0.05	40351	522	
				0.00022	0.029	0.06	32090	415	
				0.00028	0.038	0.08	23458	303	
				0.00039	0.051	0.11	16879	218	
50	51.1	1.9	0.3	0.00014	0.015	0.03	80798	1486	3796
				0.00019	0.024	0.05	44992	828	
				0.00022	0.029	0.06	35747	658	
				0.00028	0.038	0.08	26084	480	
				0.00039	0.051	0.11	18704	344	
100	66.7	2.1	0.3	0.00014	0.015	0.03	87465	2100	5354
				0.00019	0.024	0.05	48641	1168	
				0.00022	0.029	0.06	38617	927	
				0.00028	0.038	0.08	28126	675	
				0.00039	0.051	0.11	20124	483	
200	82.7	2.3	0.3	0.00014	0.015	0.03	93502	2784	7086
				0.00019	0.024	0.05	51935	1546	
				0.00022	0.029	0.06	41204	1227	
				0.00028	0.038	0.08	29962	892	
				0.00039	0.051	0.11	21396	637	

Se muestran a continuación en la Tabla 60 los valores obtenidos de sedimentos en suspensión y de fondo para cada cuenca, además en la Figura 70 y Figura 71 se muestra gráficamente la variación de los mismos respecto al periodo de retorno.

Tabla 60

Valores obtenidos de sedimentos en suspensión y de fondo para cada cuenca

Cuenca		Tr= 5 años	Tr= 10 años	Tr= 25 años	Tr= 50 años	Tr= 100 años	Tr= 200 años
Santa Rita	Sedimentos en suspensión (t)	279	1118	3039	4931	7037	9303
	Sedimentos de fondo (t)	13	33	65	90	114	138
Politécnico	Sedimentos en suspensión (t)	153	505	1209	1822	2492	3191
	Sedimentos de fondo (t)	3	9	18	25	31	38
Yale	Sedimentos en suspensión (t)	232	902	2393	3796	5354	7086
	Sedimentos de fondo (t)	10	24	45	61	77	93

Figura 70

Sedimentos en suspensión versus periodo de retorno para cada cuenca

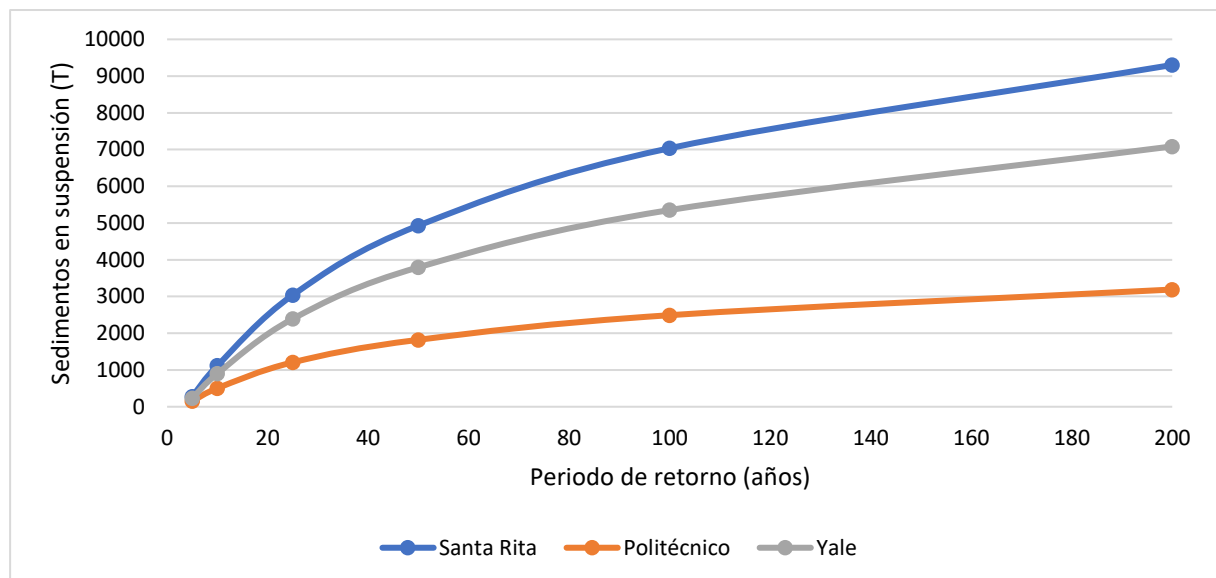
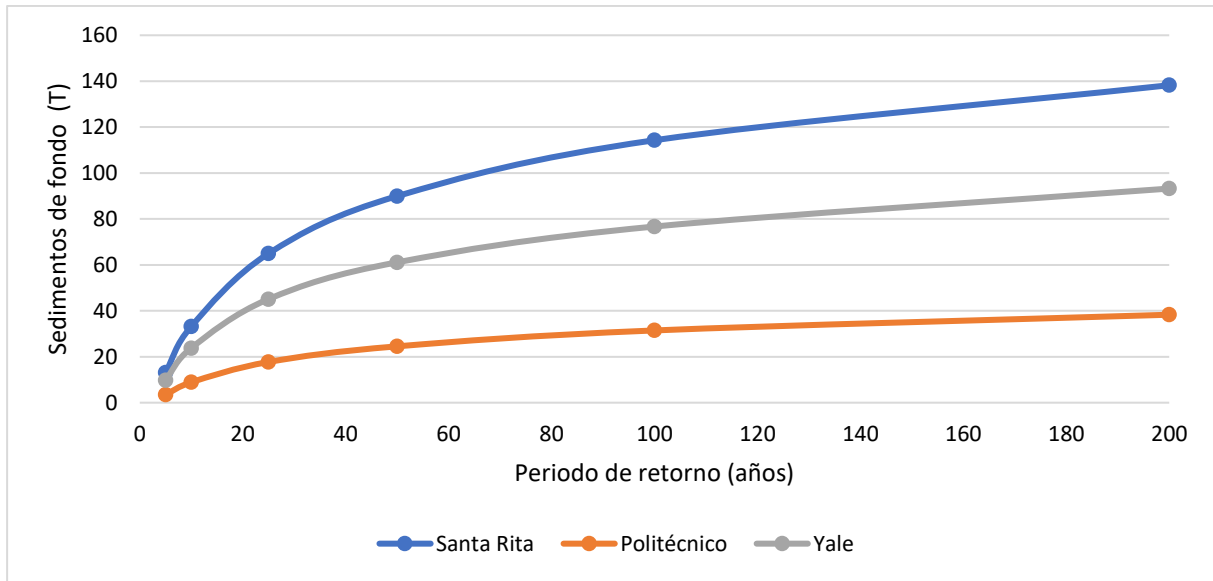


Figura 71*Sedimentos de fondo versus periodo de retorno para cada cuenca*

Conclusiones

Para determinar el caudal de diseño mediante un modelo lluvia-escorrentía, es necesario evaluar el área de influencia de las estaciones cercanas a la zona de estudio para conocer la incidencia que tienen sobre ella las precipitaciones. En el caso de las cuencas Santa Rita, Politécnico y Yale mediante el método de los polígonos de Thiessen se encontró que la estación más cercana que contiene data histórica suficiente es la estación La Esperanza, mientras que en las estaciones Pananga, Mallares y Miraflores su área de influencia se encuentra alejada, pero al ser estaciones cercanas se utilizó su data pluviométrica para completar los datos faltantes de la estación elegida.

La estación Puente Simón Rodríguez no se consideró para la delimitación del área de influencia de cada estación sobre la zona de estudio ya que no cuenta con información histórica suficiente por lo que solo se consideró para completar los datos faltantes de la estación La Esperanza.

Para obtener la información pluviométrica necesaria, se evaluó la disponibilidad de datos históricos y la cercanía de las estaciones a la zona de estudio, se seleccionaron las estaciones meteorológicas La Esperanza, Pananga, Mallares, Miraflores y Puente Simón Rodríguez. Para este estudio se recopiló información de precipitación máxima diaria con series de datos entre los años 1963-2022.

El análisis estadístico para determinar el modelo de distribución con mejor ajuste se realizó mediante el software Hidroesta 2 y el método de Smirnov-Kolmogorov, para las distribuciones teóricas se siguieron las recomendadas por el Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje del Ministerio de Transportes y Comunicaciones y se calcularon los valores de precipitación máxima diaria para los periodos de retorno: 5, 10, 25, 50, 100 y 200 años.

Para la caracterización morfológica de las cuencas, a partir de un modelo de elevación digital del satélite Alos Palsar se realizó la delimitación con la herramienta ArcGIS y se obtuvieron los parámetros físicos y datos de relieve.

El análisis morfológico de las cuencas evaluadas arrojó valores de coeficiente de compacidad de entre 1.50 y 1.74 para las cuencas Santa Rita y Yale, esto implica que las cuencas son alargadas lo que aumenta los tiempos de concentración contribuyendo a tener menores picos de caudal durante una tormenta, por el contrario, la cuenca Politécnico tuvo valores de entre 1.33 y 1.34 lo que la clasifica con una forma ovalada y un tiempo de concentración corto.

De acuerdo con la curva hipsométrica obtenida, las cuencas Santa Rita y Politécnico son cuencas en equilibrio que se encuentran en fase de madurez mientras que la cuenca Yale se encuentra en una fase joven con un alto potencial erosivo.

El análisis morfológico determinó que las áreas de las cuencas oscilan entre 0.30 km² y 5.39 km², por lo que, según el Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje, hubiera sido

posible obtener los caudales picos de las cuencas a través de la aplicación del método racional. No obstante, se optó por la realización de un modelo lluvia - escorrentía a partir del método del hidrograma unitario para poder caracterizar de forma más detallada el hidrograma de cada cuenca.

Parte de la caracterización de los usos de suelo a través de la metodología del SCS implica la asignación de un valor de número de curva CN a cada tipología de suelo. Este estudio consideró realizar un promedio ponderado para evaluar las infiltraciones, se seleccionaron dos tipos de uso del suelo: uso residencial y desierto con arbusto y el grupo hidrológico del tipo B lo que nos arrojó valores de CN de entre 88 y 89.

Respecto al cálculo del arrastre de sedimentos puede concluirse que las cuencas Santa Rita y Yale presentan mayor cantidad de sedimentos tanto en suspensión como de fondo, ambas cuencas tienen una mayor área respecto a la cuenca politécnico y un mayor caudal lo que genera mayor arrastre de sedimentos, se menciona que esta tesis tiene como fin el análisis hidrológico de las cuencas mencionadas, por lo que los datos obtenidos del arrastre de sedimentos son referenciales.

El transporte de sedimentos depende de los parámetros hidráulicos propios del cauce, tales como pendiente, sección, velocidad del flujo y tamaño de las partículas del fondo, en este estudio se han presentado dos de las formulaciones más usadas que incluyen los parámetros mencionados. En el caso particular de las cuencas analizadas, la quebrada Yale al tener mayor área aportante y los mayores caudales con respecto a las quebradas Santa Rita y Politécnico debería presentar la mayor producción de sedimentos tanto en suspensión como en arrastre, no obstante, los resultados muestran que la producción de la quebrada Santa Rita es superior a la de las cuencas vecinas. Este fenómeno se debe principalmente a las características hidráulicas propias del cauce de Santa Rita, que presenta una mayor pendiente lo que produce mayores velocidades del flujo facilitando la producción de sedimentos. En cuanto a la quebrada Politécnico, si bien su pendiente es mayor que la de las cuencas vecinas, al tener un área aportante menor, su producción es más baja que con respecto a las demás.

Dado que este estudio tiene como principal objetivo el análisis hidrológico de las cuencas de interés, se ha realizado el cálculo del arrastre de sedimentos con la finalidad de comprender mejor el fenómeno físico que ocurre en las quebradas obteniendo valores referenciales de sólidos en suspensión y de fondo. Para conocer detalladamente el aporte de sedimentos se requiere de un estudio más completo que contemple un modelo matemático.

Referencias

- Abad, A. (2021). *Evaluación de la red hidrometeorológica en la cuenca Piura para la creación de una base de datos*. [Tesis para optar el título de ingeniero civil, Universidad de Piura]. <https://hdl.handle.net/11042/5207>
- Autoridad Nacional del Agua. (Enero de 2012). *Delimitación y codificación de unidades hidrográficas del Perú*. <https://hdl.handle.net/20.500.12543/597>
- Autoridad para la Reconstrucción con Cambios. (2021). *Estudio de Pre-Inversión del Drenaje Pluvial de la ciudad de Talara*. Talara.
- Basile, P. (2018). *Transporte de sedimentos y morfodinámica de ríos aluviales*. Rosario: UNR Editora. Editorial de la Universidad Nacional de Rosario.
- Campos, D. (1998). *Procesos del Ciclo Hidrológico*. <https://repositorioinstitucional.uaslp.mx/xmlui/handle/i/3331>
- Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres. (Julio de 2017). *Informe de evaluación de riesgo por flujos de detritos en el centro poblado de Talara, Distrito de Pariñas, Provincia de Talara, Departamento de Piura*. <https://sigrid.cenepred.gob.pe/sigridv3/documento/3985>
- Chow, V. T., Maidment, D., & Mays, L. (1994). *Hidrología Aplicada*. McGRAW-HILL INTERAMERICANA.
- Delgadillo, A., & Moreno, A. (2011). *Morfometría de cuencas*. <http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/adamoren/HIDRO/MORFOMETR%CDA.pdf>
- Farías, M. (2021). *Apuntes de Hidrología*. Piura, Peru: Universidad de Piura.
- Farías, M., & Ruiz, M. (2018). *Determinación de ecuación Intensidad-Duración-Frecuencia en presencia de ENSO y Niño Costero. Caso: ciudad de Piura*. Piura.
- Fiondella, F. (30 de Junio de 2014). *Ocho conceptos erróneos sobre El Niño y La Niña*. <https://iri.columbia.edu/news/eight-misconceptions-about-el-nino/>
- Ibáñez, S., Moreno, H., & Gisbert, J. (20 de Abril de 2011). *Morfología de las cuencas hidrográficas*. <https://riunet.upv.es/handle/10251/10782>
- Instituto del mar del Perú. (2023). *El Niño - Oscilación Sur*. https://www.imarpe.gob.pe/imarpe/index2.php?id_seccion=I0178010000000000000000
- Instituto Geofísico del Perú. (2020). *Estudio de zonificación sismo-geotécnica del área urbana de Talara*. <https://sigrid.cenepred.gob.pe/sigridv3/documento/13936>
- Instituto Nacional de Defensa Civil; Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. (2010). *Estudio mapa de peligros, plan de usos del suelo ante desastres y medidas de*

mitigación de la ciudad de Talara.

<https://sigrid.cenepred.gob.pe/sigridv3/documento/3163>

Juarez, J. (2020). *Análisis hidrológico en la subcuenca Charanal usando como herramienta el software libre gvSIG*. [Tesis para optar el título de ingeniero civil, Universidad de Piura].

<https://hdl.handle.net/11042/4810>

Maidment, D. (1993). *Handbook of Hydrology*.

Meyer-Peter, E., & Müller, R. (1948). *Formulas for Bed-Load transport*. Estocolmo: IAHR.

Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2008). *Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje*. http://transparencia.mtc.gob.pe/idm_docs/normas_legales/1_0_2950.pdf

Monsalve, G. (1999). *Hidrología en la Ingeniería*. Alfaomega.

Oficina Nacional de Administración Oceánica y Atmosférica. (Junio de 2023). *Climate.gov*. <https://www.climate.gov/enso>

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (1985). *Manual de Ordenación de Cuencas. Serie Montes N°35*.

SENAMHI. (2023). *Datos hidrometeorológicos a nivel nacional*. <https://www.senamhi.gob.pe/?p=estaciones>

Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú . (2014). *El Fenomeno El Niño en el Peru*. https://issuu.com/senamhi_peru/docs/el_nino

Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. (2013). *Protocolo para la instalación y operación de estaciones meteorológicas, agrometeorológicas e hidrológicas*. Lima: Resolución presidencial ejecutiva N° 0174 SENAMHI-PREJ-OGOT/2013.

Takahashi, K., Mosquera, K., & Reupo, J. (2014). El Índice Costero El Niño (ICEN) : historia y actualización. <https://repositorio.igp.gob.pe/handle/20.500.12816/4639>

Villón, M. (2002). *Hidrología*. Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Villón, M. (2006). *Hidrología Estadística*. Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Yang, C. T. (1996). *Sediment Transport: Theory and Practice*. New York: McGraw-Hill International Editions.

Apéndices



Apéndice A Longitudes parciales del rectángulo equivalente de cada cuenca.

Tabla A 1

Longitudes parciales del rectángulo equivalente de la cuenca Santa Rita 1

Curvas (m s.n.m.)		Área (Km ²)	L _i (Km)
Menor	Mayor		
11	15	0.04	0.07
15	30	0.24	0.38
30	45	0.45	0.73
45	60	0.60	0.97
60	75	0.73	1.17
75	90	0.45	0.72
90	101	0.32	0.51
Total		2.82	4.55

Tabla A 2

Longitudes parciales del rectángulo equivalente de la cuenca Santa Rita 2

Curvas (m s.n.m.)		Área (Km ²)	L _i (Km)
Menor	Mayor		
15	20	0.02	0.04
20	34	0.17	0.27
34	48	0.51	0.82
48	62	0.53	0.86
62	76	0.50	0.81
76	90	0.56	0.90
90	101	0.32	0.51
Total		2.61	4.20

Tabla A 3

Longitudes parciales del rectángulo equivalente de la cuenca Santa Rita 3

Curvas (m s.n.m.)		Área (Km ²)	L _i (Km)
Menor	Mayor		
28	30	0.00	0.01
30	42	0.11	0.19
42	54	0.29	0.51
54	66	0.29	0.50
66	78	0.27	0.47
78	90	0.39	0.68
90	101	0.32	0.54
Total		1.69	2.89

Tabla A 4*Longitudes parciales del rectángulo equivalente de la cuenca Politécnico 1*

Curvas (m s.n.m.)		Área (Km ²)	L _i (Km)
Menor	Mayor		
16	20	0.00	0.00
20	36	0.11	0.25
36	52	0.14	0.33
52	68	0.10	0.24
68	84	0.10	0.23
84	100	0.17	0.39
100	114	0.00	0.01
Total		0.63	1.45

Tabla A 5*Longitudes parciales del rectángulo equivalente de la cuenca Politécnico 2*

Curvas (m s.n.m.)		Área (Km ²)	L _i (Km)
Menor	Mayor		
25	30	0.00	0.00
30	45	0.08	0.21
45	60	0.11	0.28
60	75	0.08	0.21
75	90	0.11	0.29
90	105	0.08	0.21
105	114	0.00	0.00
Total		0.38	1.23

Tabla A 6*Longitudes parciales del rectángulo equivalente de la cuenca Yale 1*

Curvas (m s.n.m.)		Área (Km ²)	L _i (Km)
Menor	Mayor		
12	20	0.09	0.10
20	37	0.48	0.55
37	54	0.51	0.59
54	71	0.43	0.50
71	88	0.89	1.02
88	105	2.99	3.45
105	113	0.00	0.00
Total		5.39	6.21

Tabla A 7*Longitudes parciales del rectángulo equivalente de la cuenca Yale 2*

Curvas (m s.n.m.)		Área (Km ²)	L _i (Km)
Menor	Mayor		
20	25	0.02	0.02
25	41	0.36	0.44
41	57	0.40	0.50
57	73	0.35	0.44
73	89	0.87	1.07
89	105	2.76	3.41
105	113	0.00	0.00
Total		4.76	2.89

Tabla A 8*Longitudes parciales del rectángulo equivalente de la cuenca Mangle*

Curvas (m s.n.m.)		Área (Km ²)	L _i (Km)
Menor	Mayor		
20	25	0.01	0.02
25	39	0.03	0.11
39	53	0.03	0.13
53	67	0.04	0.17
67	81	0.04	0.17
81	95	0.14	0.55
95	101	0.02	0.07
Total		0.30	1.21

Apéndice B Modelos de distribución para la serie de la estación La Esperanza.

Figura B 1

Modelo de distribución Normal

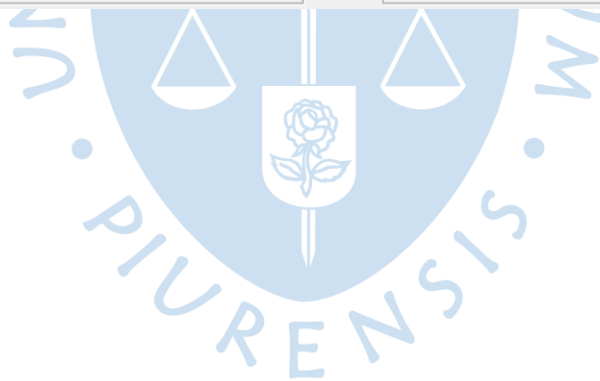
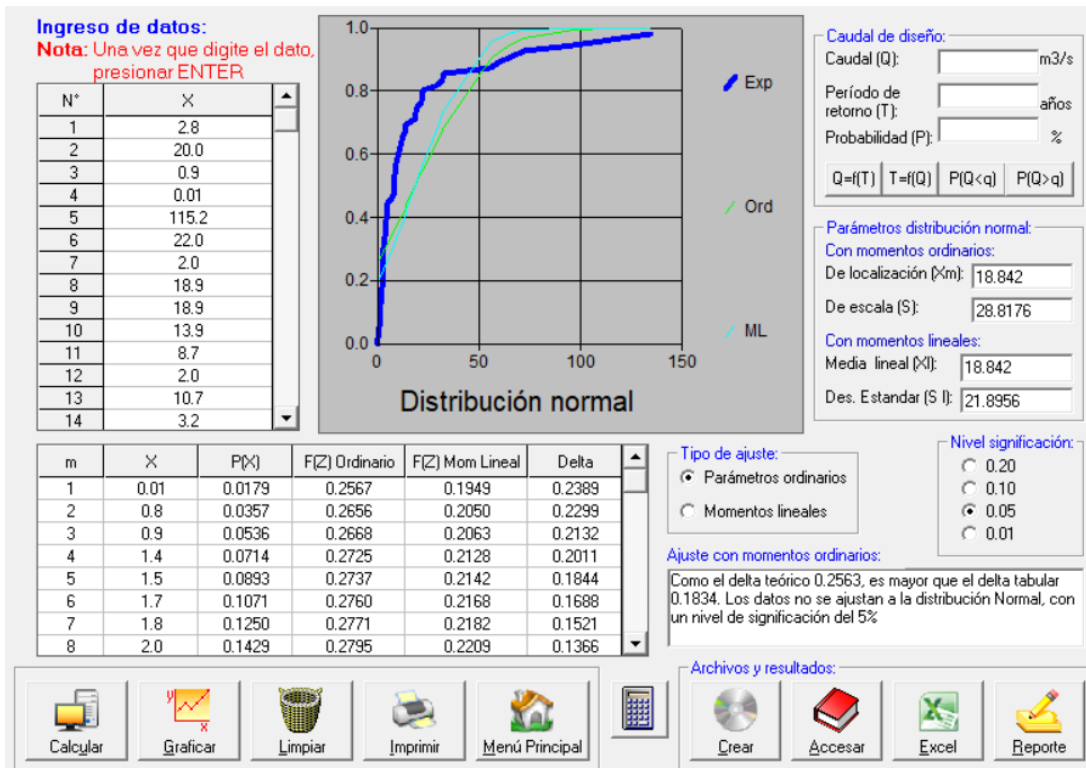


Figura B 2

Modelo de distribución Log Normal de 2 parámetros

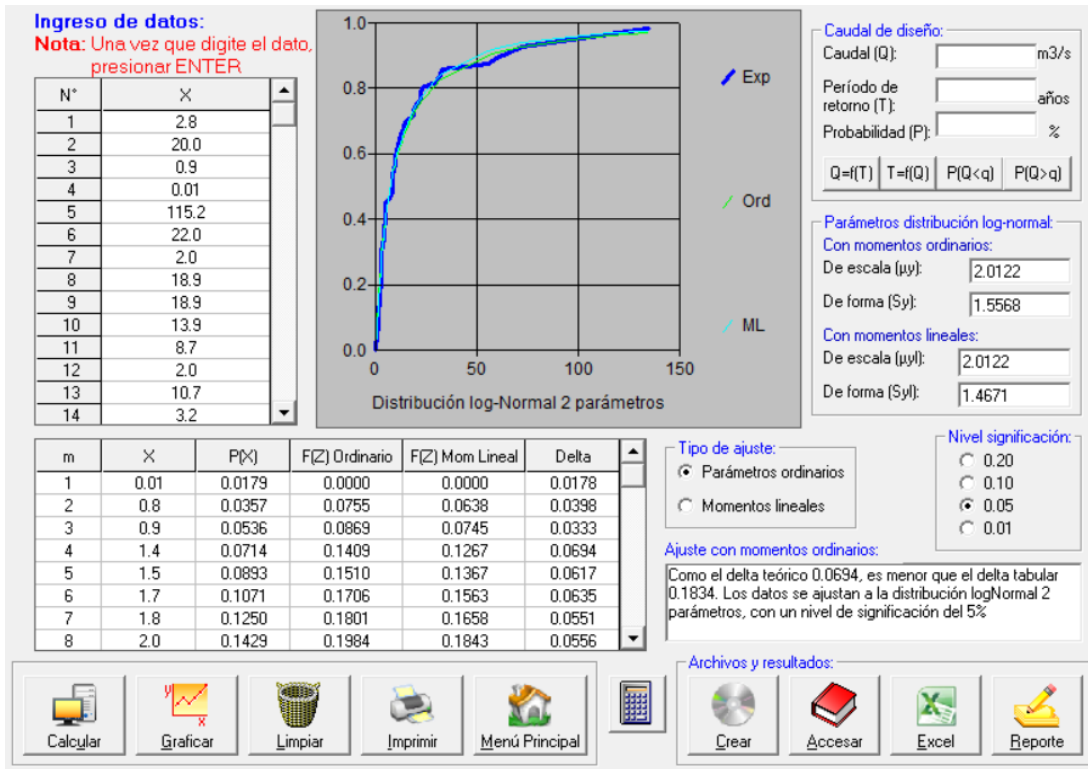


Figura B 3

Modelo de distribución Log Normal de 3 parámetros

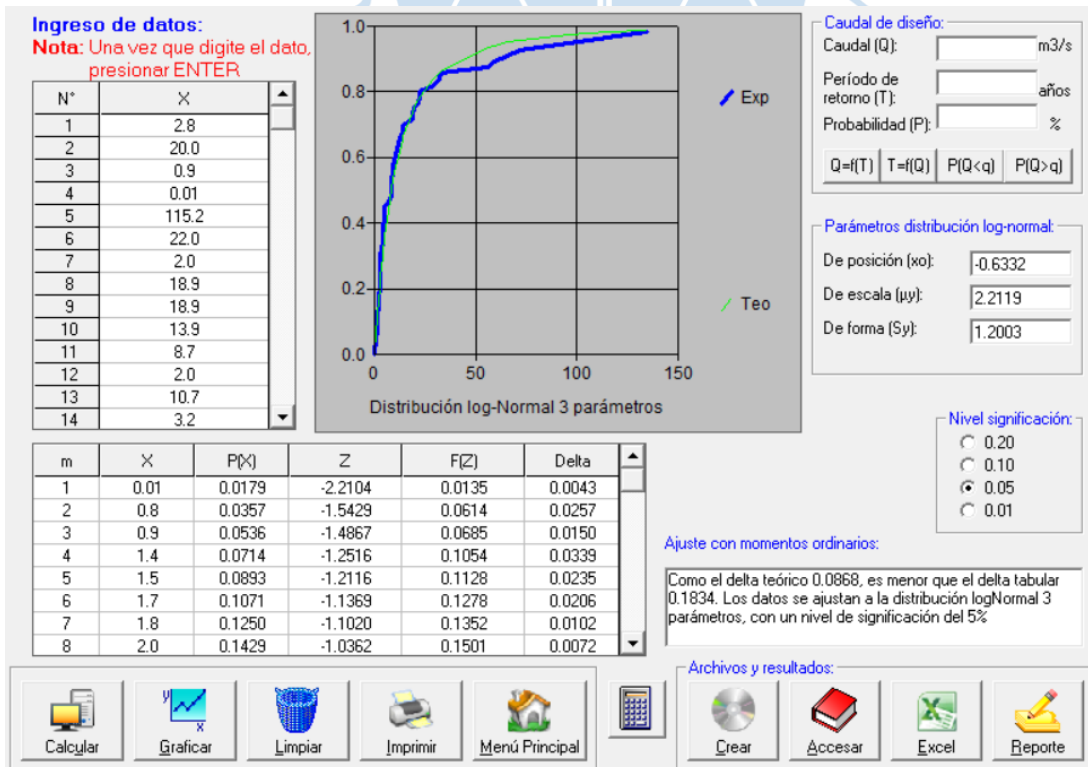


Figura B 4

Modelo de distribución Gamma de 2 parámetros

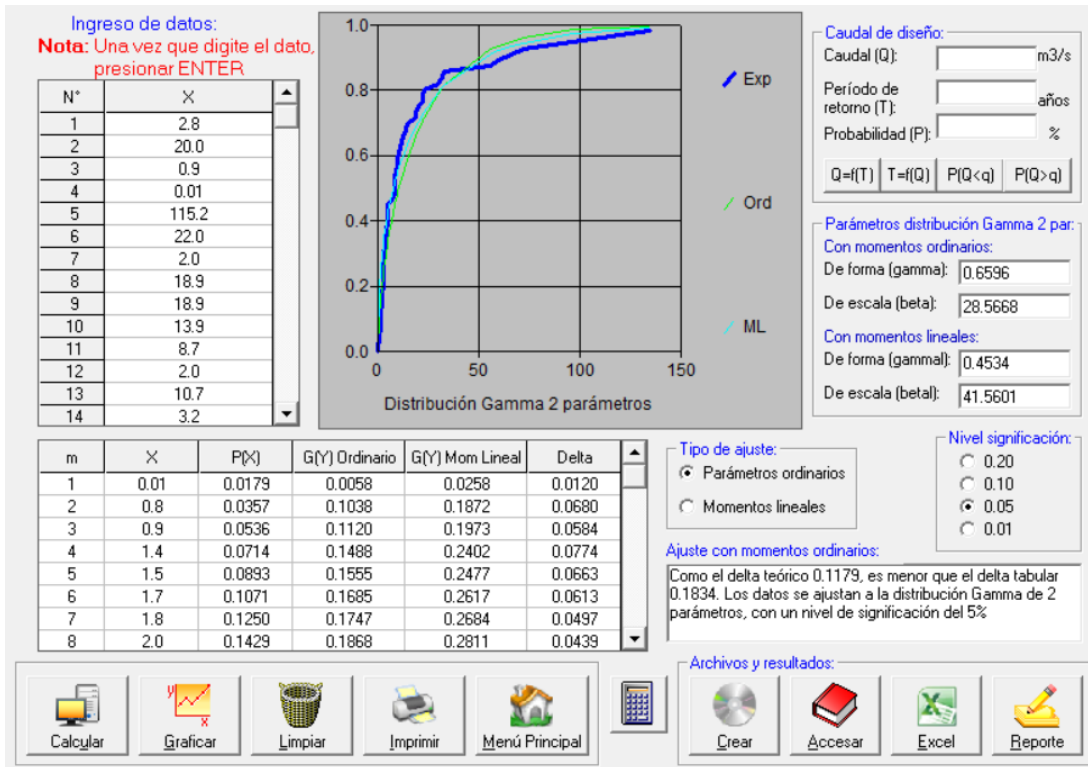


Figura B 5

Modelo de distribución Gamma de 3 parámetros

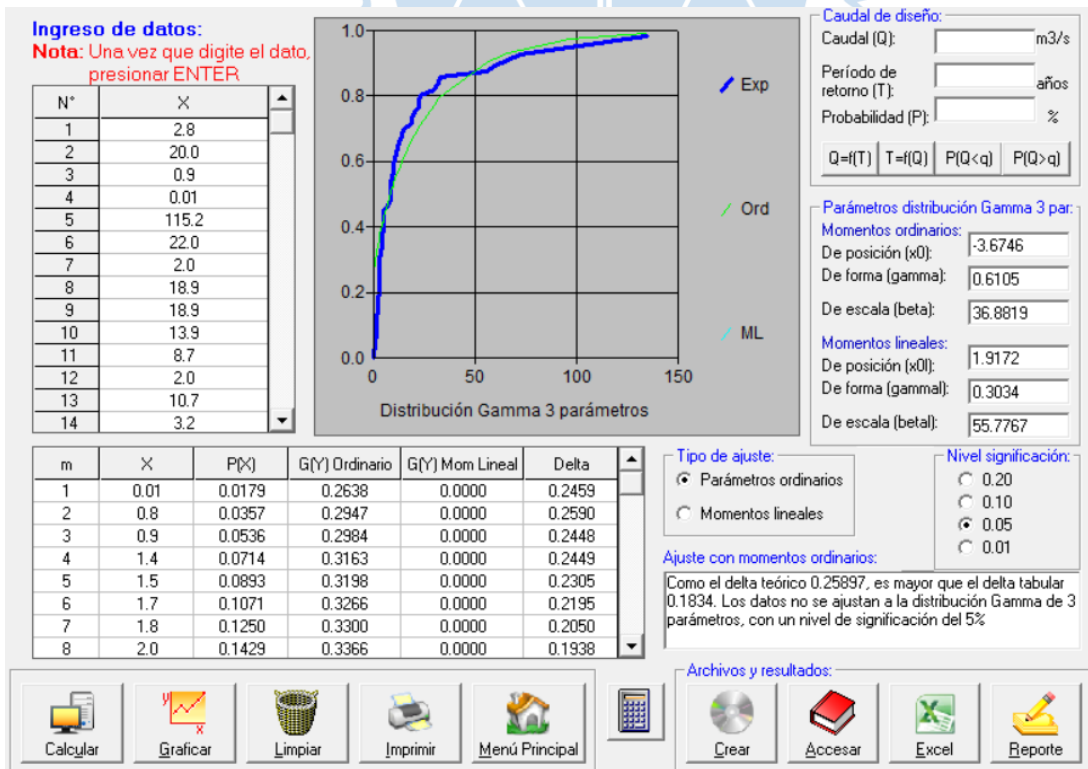


Figura B 6
 Modelo de distribución Log-Pearson tipo III

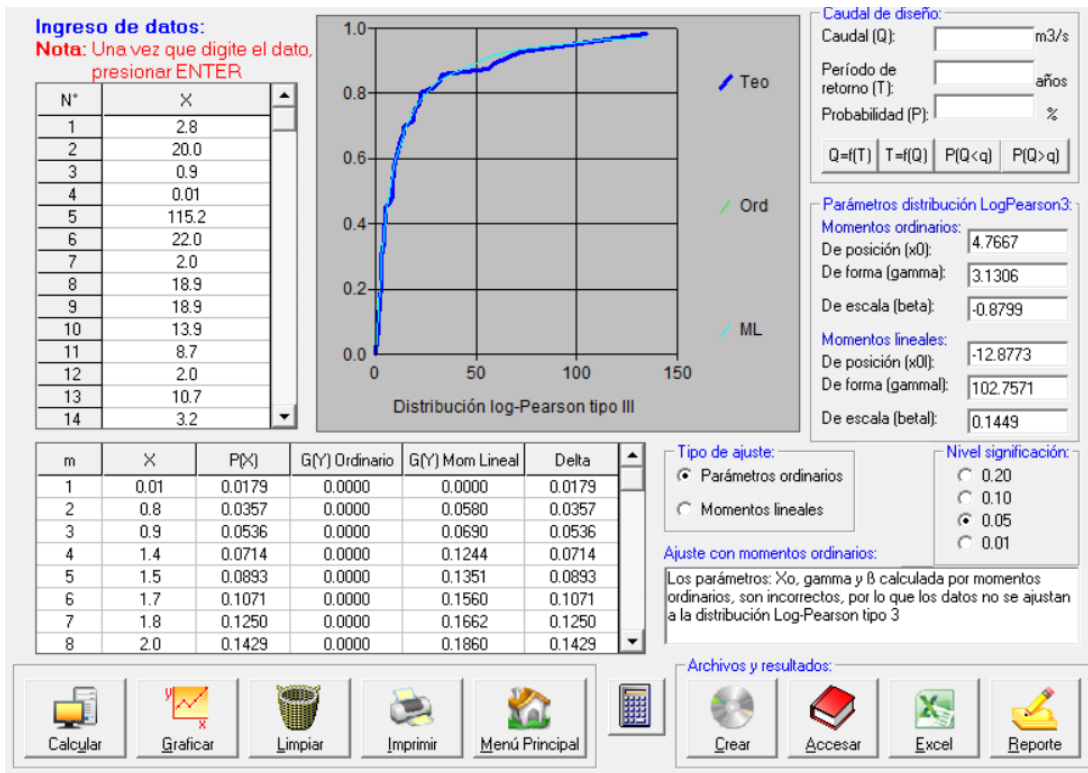


Figura B 7
 Modelo de distribución Gumbel

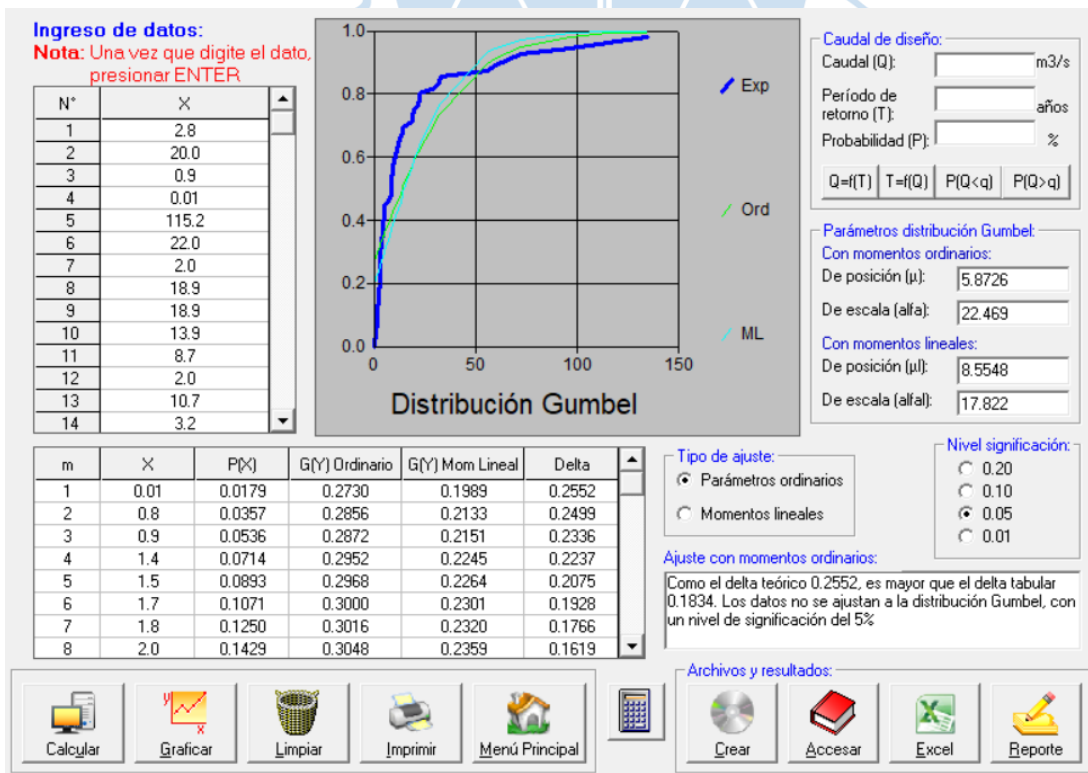
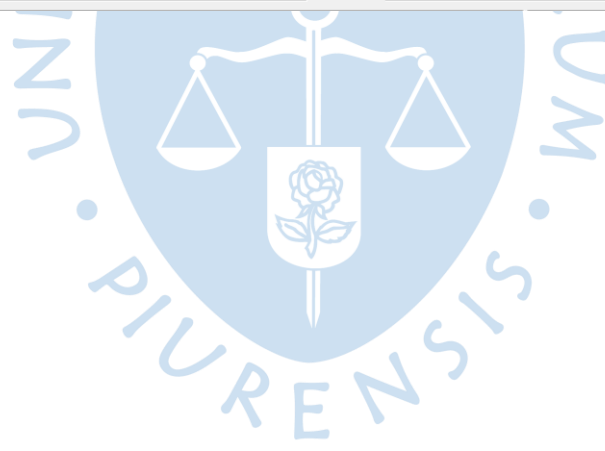
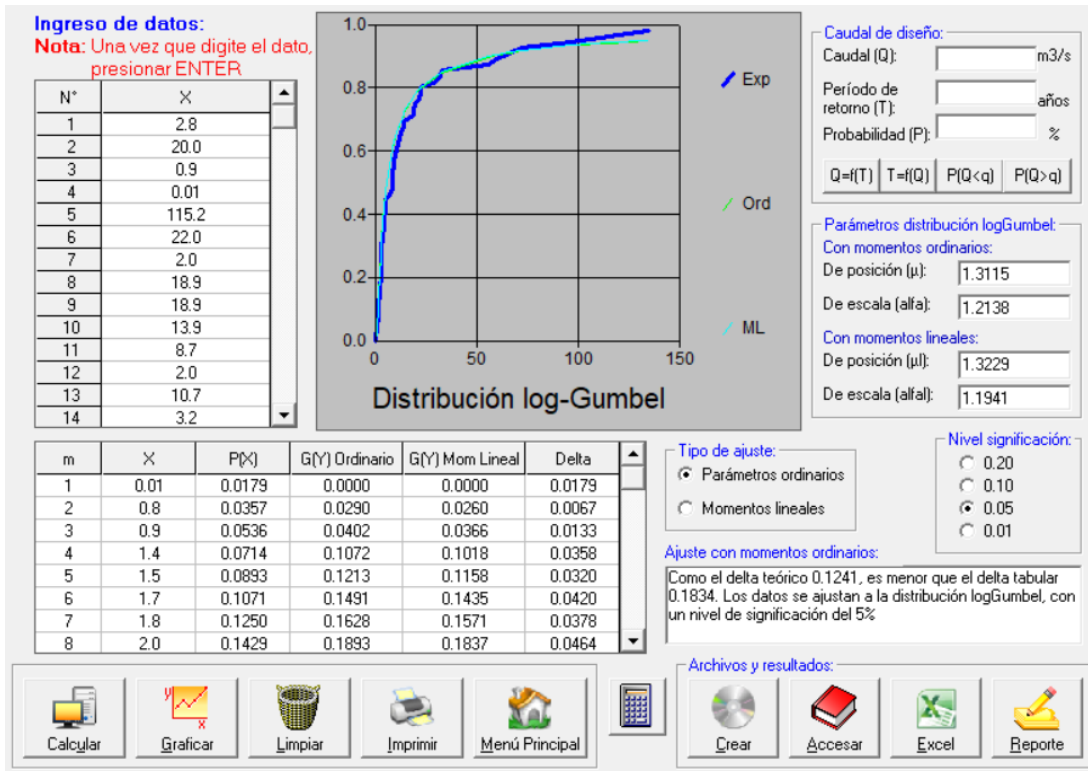


Figura B 8
Modelo de distribución Log-Gumbel



Apéndice C Hietograma de diseño para un periodo de retorno $Tr=5$ años.

Tabla C 1

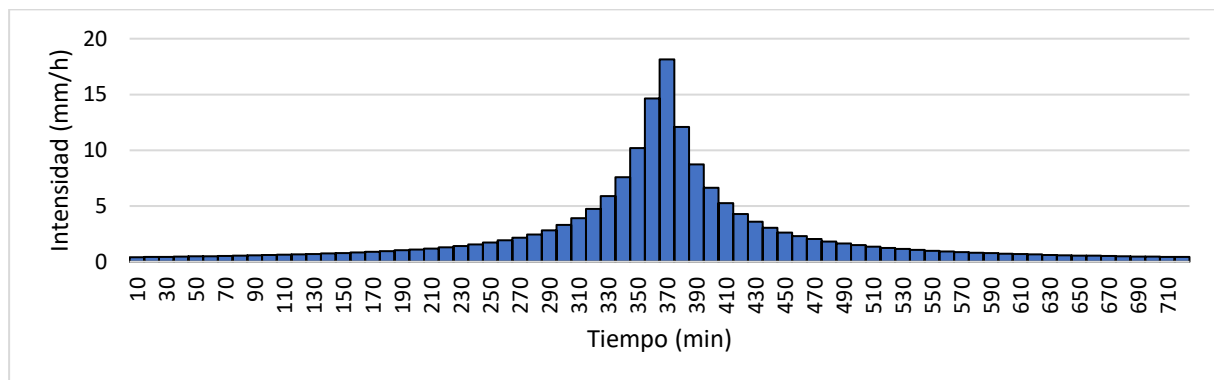
Hietograma de diseño para $Tr=5$ años

De la ecuación IDF				Hietograma de diseño			
Tiempo(min)	I (mm/h)	Pacum (mm)	Dp (mm)	Ordenado	T(min)	P(mm)	I (mm/h)
10	18.1	3.0	3.0	720	10	0.1	0.4
20	16.4	5.5	2.4	700	20	0.1	0.4
30	15.0	7.5	2.0	680	30	0.1	0.4
40	13.8	9.2	1.7	660	40	0.1	0.5
50	12.8	10.6	1.5	640	50	0.1	0.5
60	11.9	11.9	1.3	620	60	0.1	0.5
70	11.1	13.0	1.1	600	70	0.1	0.5
80	10.5	14.0	1.0	580	80	0.1	0.5
90	9.9	14.9	0.9	560	90	0.1	0.6
100	9.4	15.6	0.8	540	100	0.1	0.6
110	8.9	16.4	0.7	520	110	0.1	0.6
120	8.5	17.0	0.7	500	120	0.1	0.7
130	8.1	17.6	0.6	480	130	0.1	0.7
140	7.8	18.2	0.5	460	140	0.1	0.7
150	7.5	18.7	0.5	440	150	0.1	0.8
160	7.2	19.1	0.5	420	160	0.1	0.8
170	6.9	19.6	0.4	400	170	0.1	0.9
180	6.7	20.0	0.4	380	180	0.2	1.0
190	6.4	20.4	0.4	360	190	0.2	1.0
200	6.2	20.7	0.4	340	200	0.2	1.1
210	6.0	21.1	0.3	320	210	0.2	1.2
220	5.8	21.4	0.3	300	220	0.2	1.3
230	5.7	21.7	0.3	280	230	0.2	1.4
240	5.5	22.0	0.3	260	240	0.3	1.6
250	5.3	22.2	0.3	240	250	0.3	1.7
260	5.2	22.5	0.3	220	260	0.3	1.9
270	5.1	22.8	0.2	200	270	0.4	2.2
280	4.9	23.0	0.2	180	280	0.4	2.5
290	4.8	23.2	0.2	160	290	0.5	2.8
300	4.7	23.4	0.2	140	300	0.5	3.3
310	4.6	23.6	0.2	120	310	0.7	3.9
320	4.5	23.8	0.2	100	320	0.8	4.7
330	4.4	24.0	0.2	80	330	1.0	5.9
340	4.3	24.2	0.2	60	340	1.3	7.6
350	4.2	24.4	0.2	40	350	1.7	10.2
360	4.1	24.6	0.2	20	360	2.4	14.6
370	4.0	24.7	0.2	10	370	3.0	18.1
380	3.9	24.9	0.2	30	380	2.0	12.1
390	3.9	25.0	0.2	50	390	1.5	8.7
400	3.8	25.2	0.1	70	400	1.1	6.6
410	3.7	25.3	0.1	90	410	0.9	5.3

De la ecuación IDF				Hietograma de diseño			
Tiempo(min)	I (mm/h)	Pacum (mm)	Dp (mm)	Ordenado	T(min)	P(mm)	I (mm/h)
420	3.6	25.5	0.1	110	420	0.7	4.3
430	3.6	25.6	0.1	130	430	0.6	3.6
440	3.5	25.7	0.1	150	440	0.5	3.0
450	3.4	25.9	0.1	170	450	0.4	2.6
460	3.4	26.0	0.1	190	460	0.4	2.3
470	3.3	26.1	0.1	210	470	0.3	2.0
480	3.3	26.2	0.1	230	480	0.3	1.8
490	3.2	26.3	0.1	250	490	0.3	1.6
500	3.2	26.4	0.1	270	500	0.2	1.5
510	3.1	26.5	0.1	290	510	0.2	1.4
520	3.1	26.7	0.1	310	520	0.2	1.2
530	3.0	26.8	0.1	330	530	0.2	1.1
540	3.0	26.9	0.1	350	540	0.2	1.1
550	2.9	27.0	0.1	370	550	0.2	1.0
560	2.9	27.1	0.1	390	560	0.2	0.9
570	2.9	27.1	0.1	410	570	0.1	0.9
580	2.8	27.2	0.1	430	580	0.1	0.8
590	2.8	27.3	0.1	450	590	0.1	0.8
600	2.7	27.4	0.1	470	600	0.1	0.7
610	2.7	27.5	0.1	490	610	0.1	0.7
620	2.7	27.6	0.1	510	620	0.1	0.6
630	2.6	27.7	0.1	530	630	0.1	0.6
640	2.6	27.7	0.1	550	640	0.1	0.6
650	2.6	27.8	0.1	570	650	0.1	0.6
660	2.5	27.9	0.1	590	660	0.1	0.5
670	2.5	28.0	0.1	610	670	0.1	0.5
680	2.5	28.1	0.1	630	680	0.1	0.5
690	2.4	28.1	0.1	650	690	0.1	0.5
700	2.4	28.2	0.1	670	700	0.1	0.5
710	2.4	28.3	0.1	690	710	0.1	0.4
720	2.4	28.3	0.1	710	720	0.1	0.4

Figura C 1

Hietograma de diseño para $T_r=5$ años



Apéndice D Distribución temporal de las abstracciones.

Figura D 1

Intensidades totales (I) e intensidades efectivas (I_e) de la cuenca Santa Rita 1

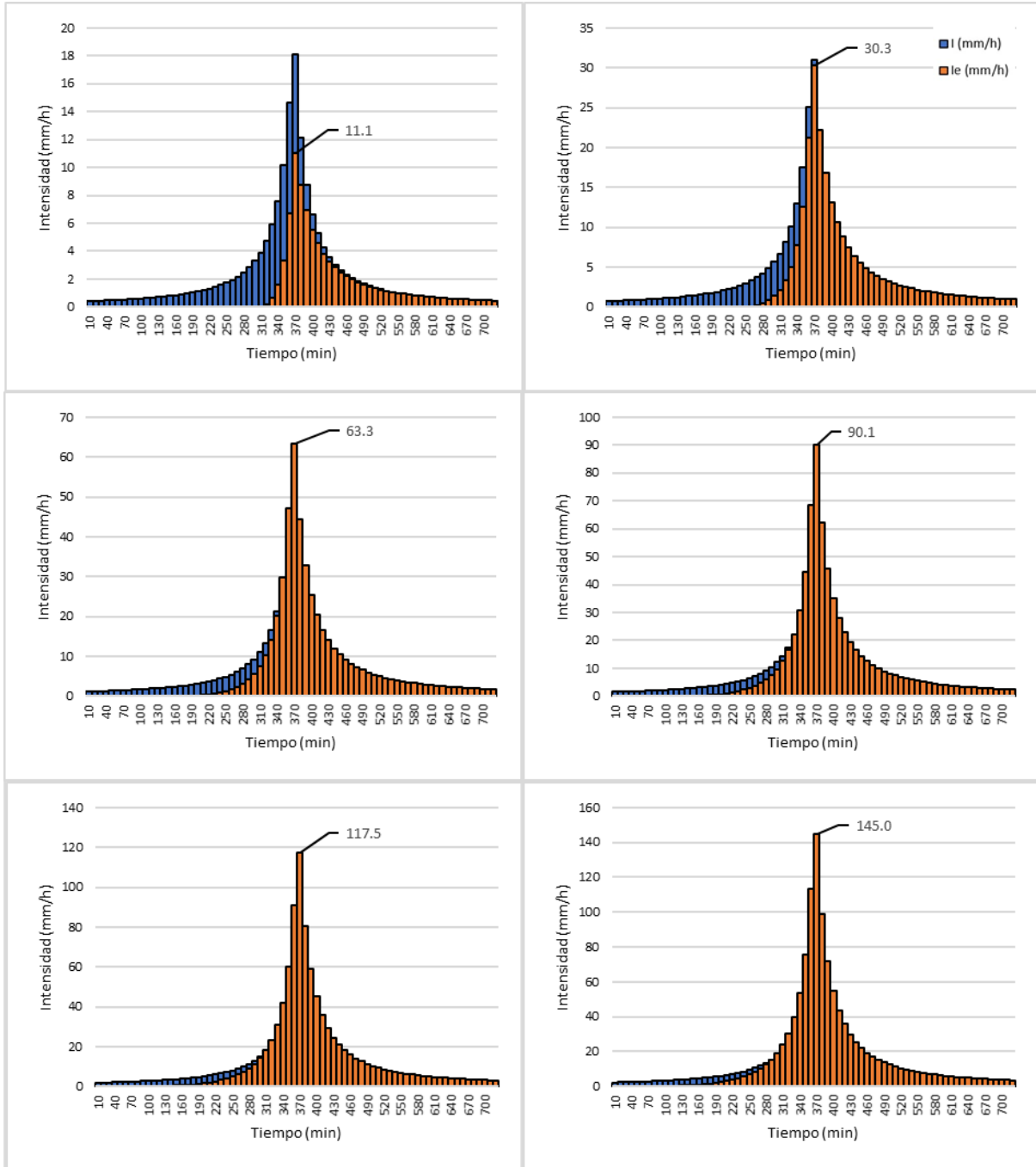


Figura D 2

Intensidades totales (I) e intensidades efectivas (Ie) de la cuenca Santa Rita 2

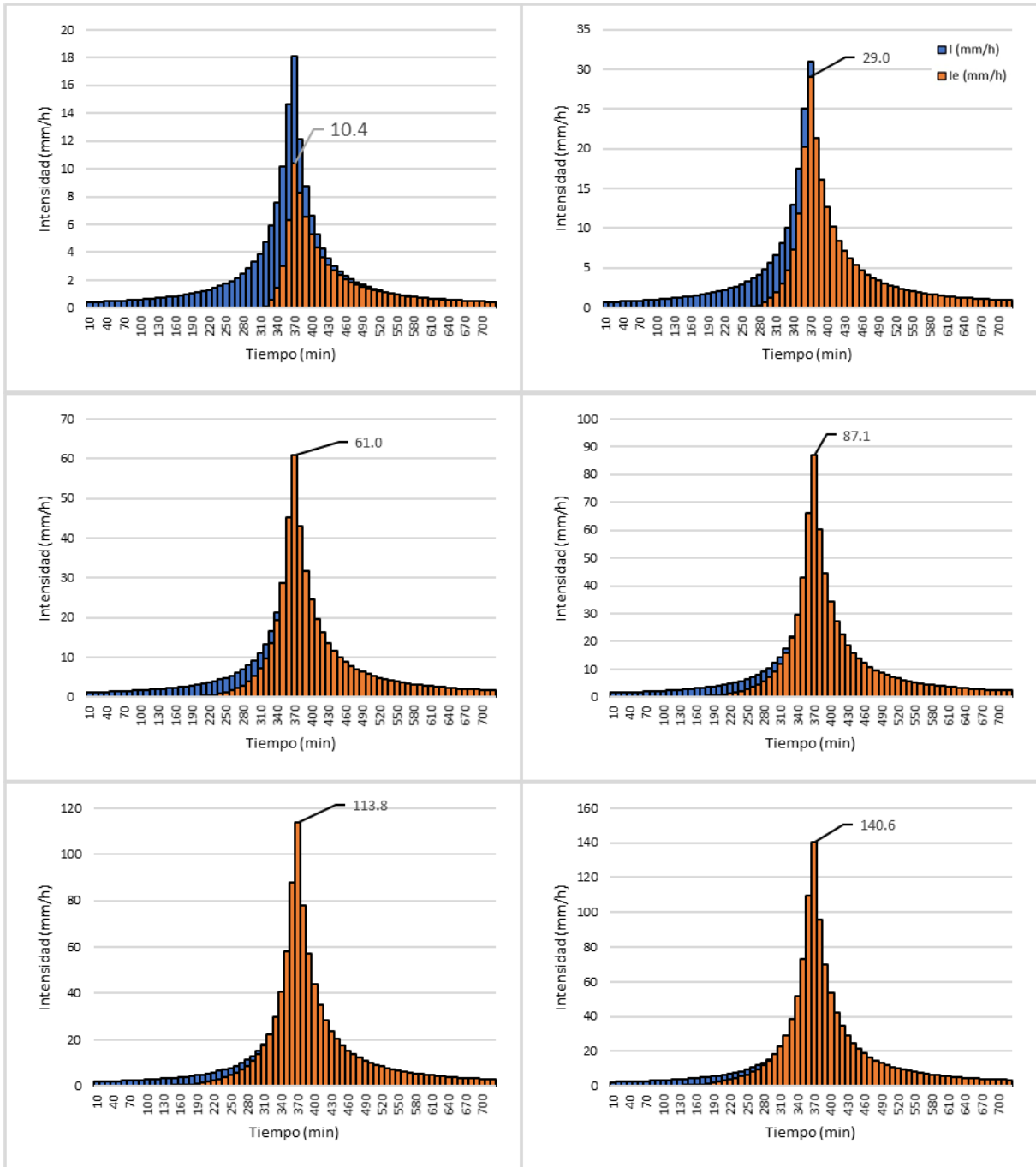


Figura D 3

Intensidades totales (I) e intensidades efectivas (Ie) de la cuenca Santa Rita 3

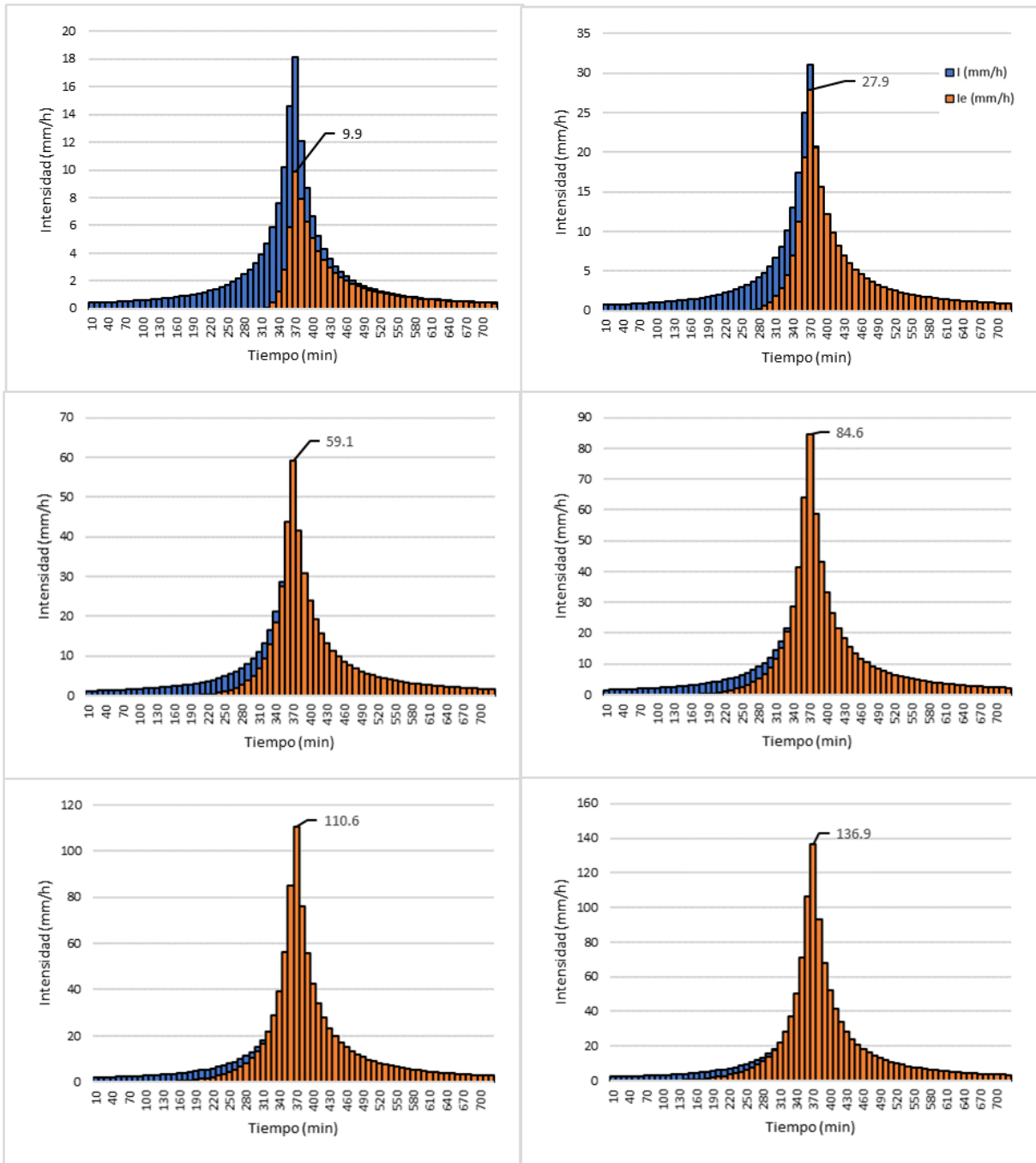


Figura D 4

Intensidades totales (I) e intensidades efectivas (Ie) de la cuenca Politécnico 1

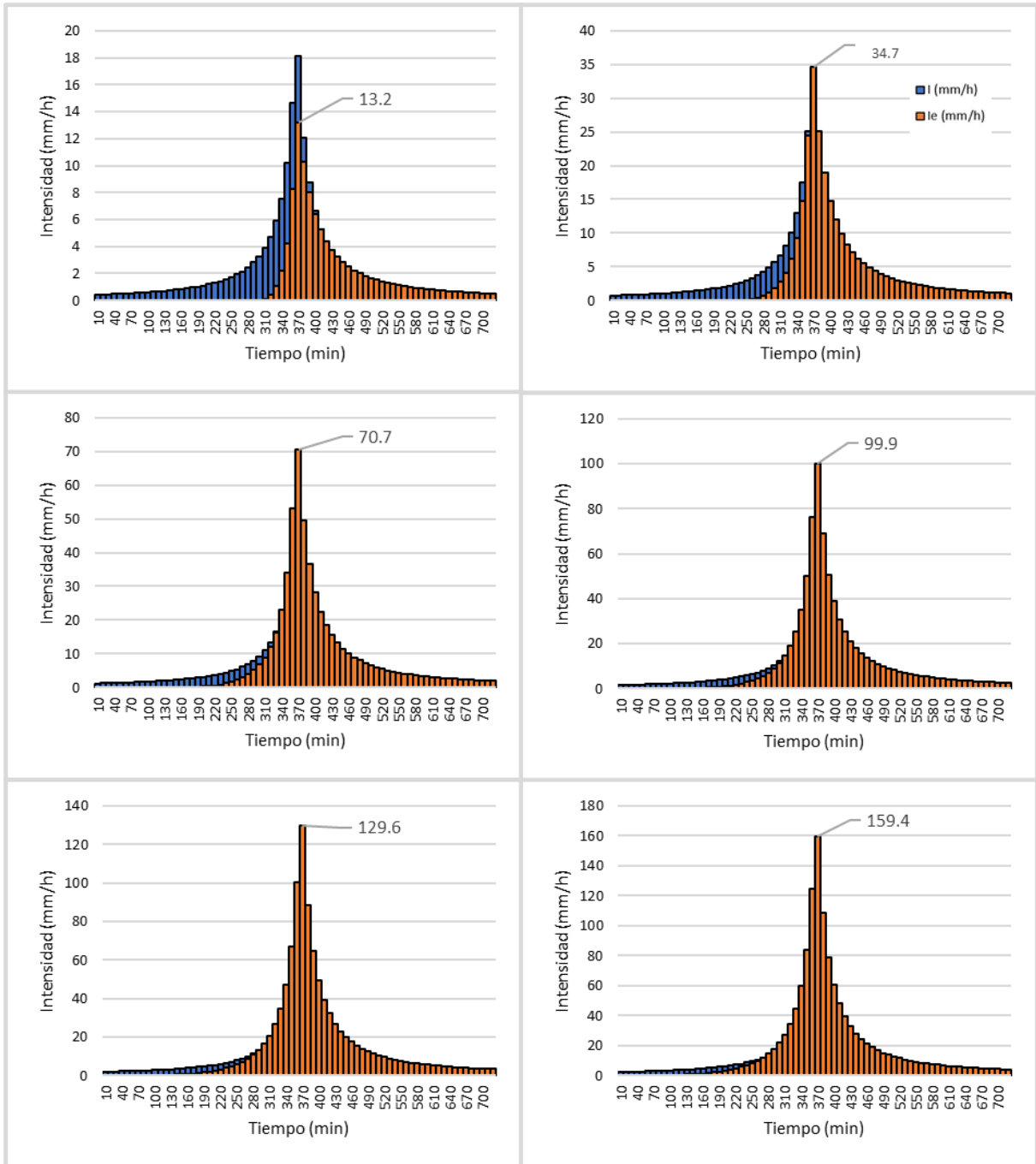


Figura D 5

Intensidades totales (I) e intensidades efectivas (Ie) de la cuenca Politécnico 2

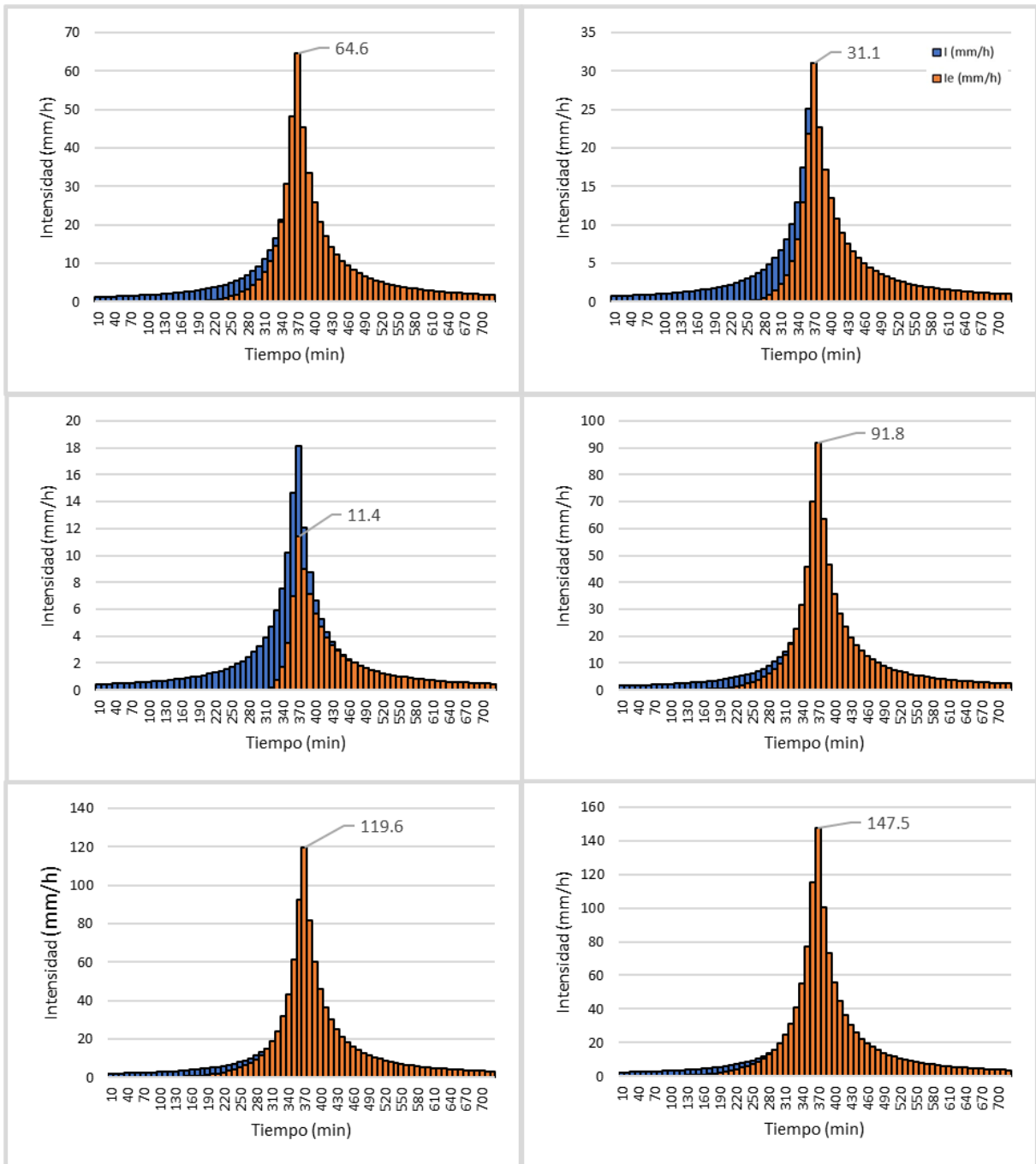


Figura D 6

Intensidades totales (I) e intensidades efectivas (Ie) de la cuenca Yale 1

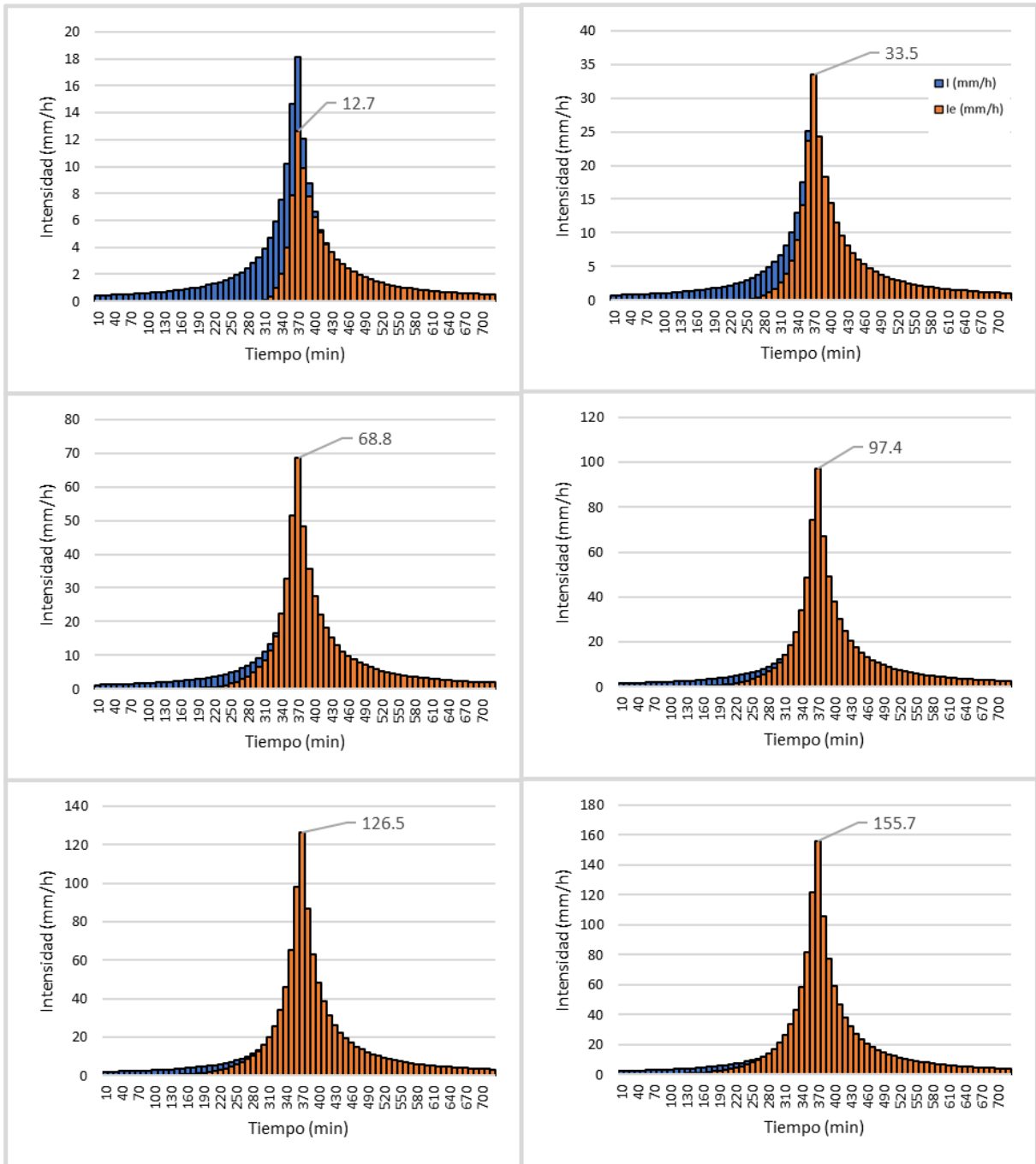


Figura D 7

Intensidades totales (I) e intensidades efectivas (Ie) de la cuenca Yale 2

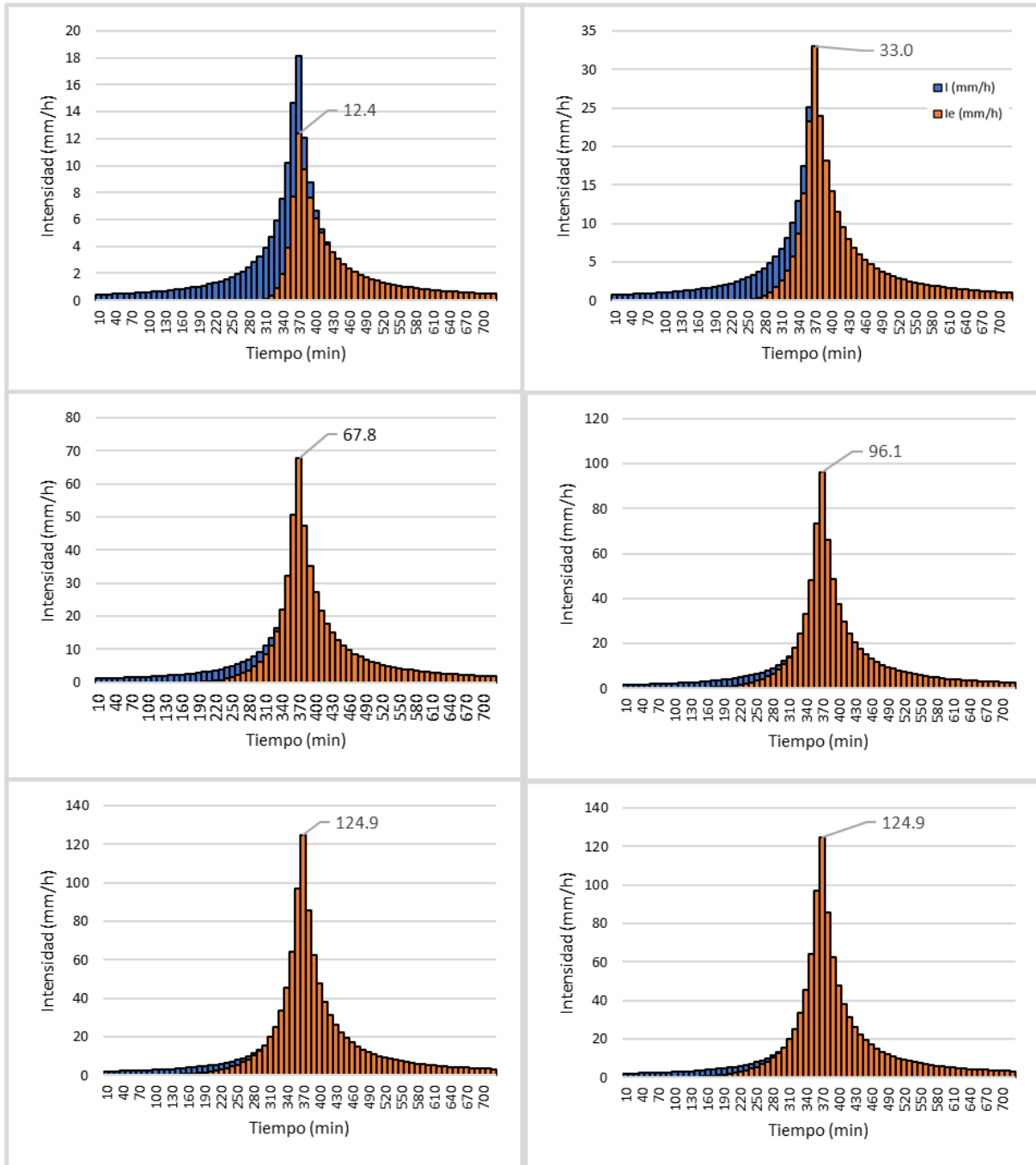
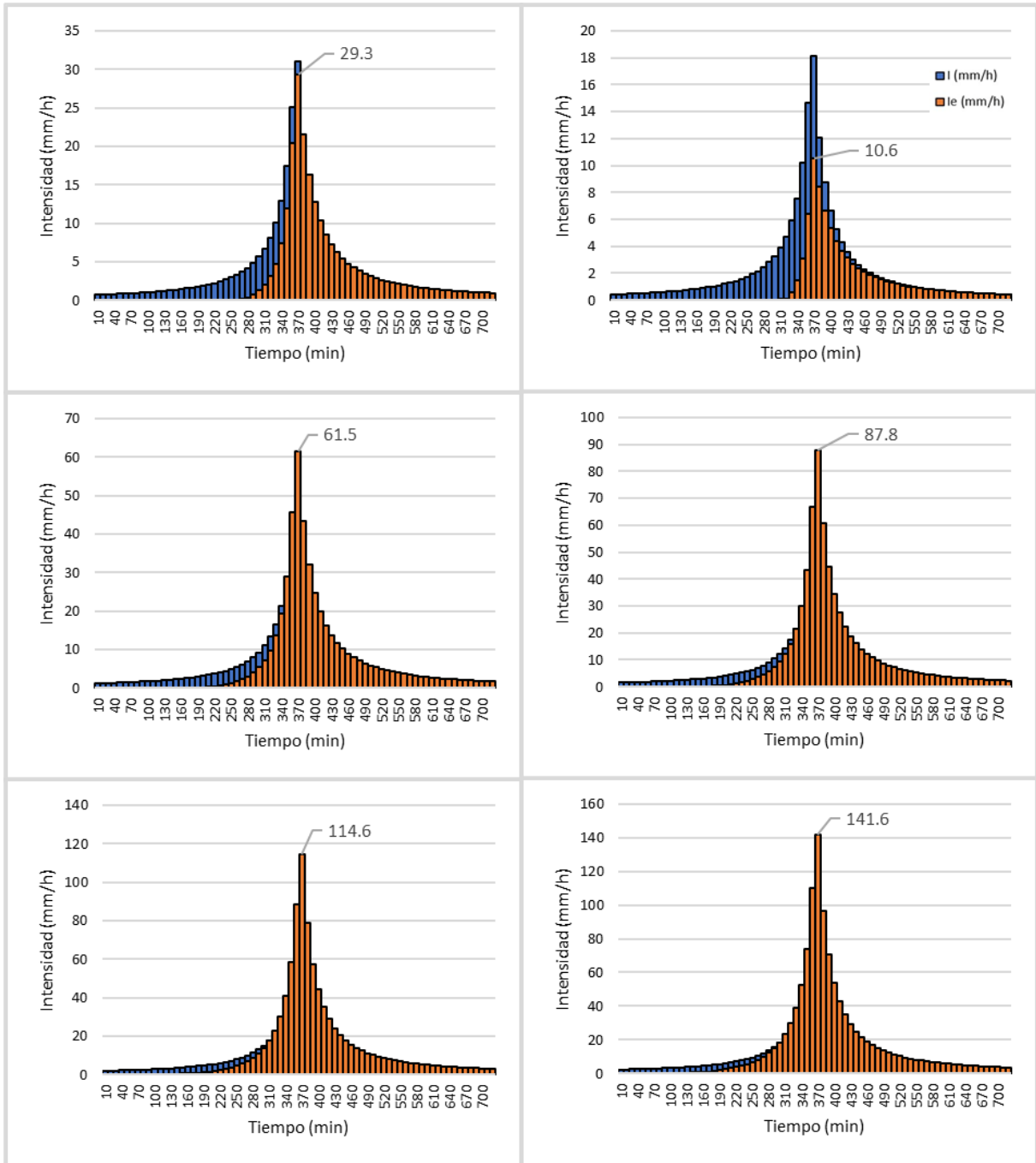


Figura D 8

Intensidades totales (I) e intensidades efectivas (Ie) de la cuenca Mangle



Apéndice E Cálculo del hidrograma unitario corregido e hidrograma unitario detallado para cada cuenca.

Figura E 1

Hidrograma unitario corregido e hidrograma unitario detallado de la cuenca Santa Rita 1

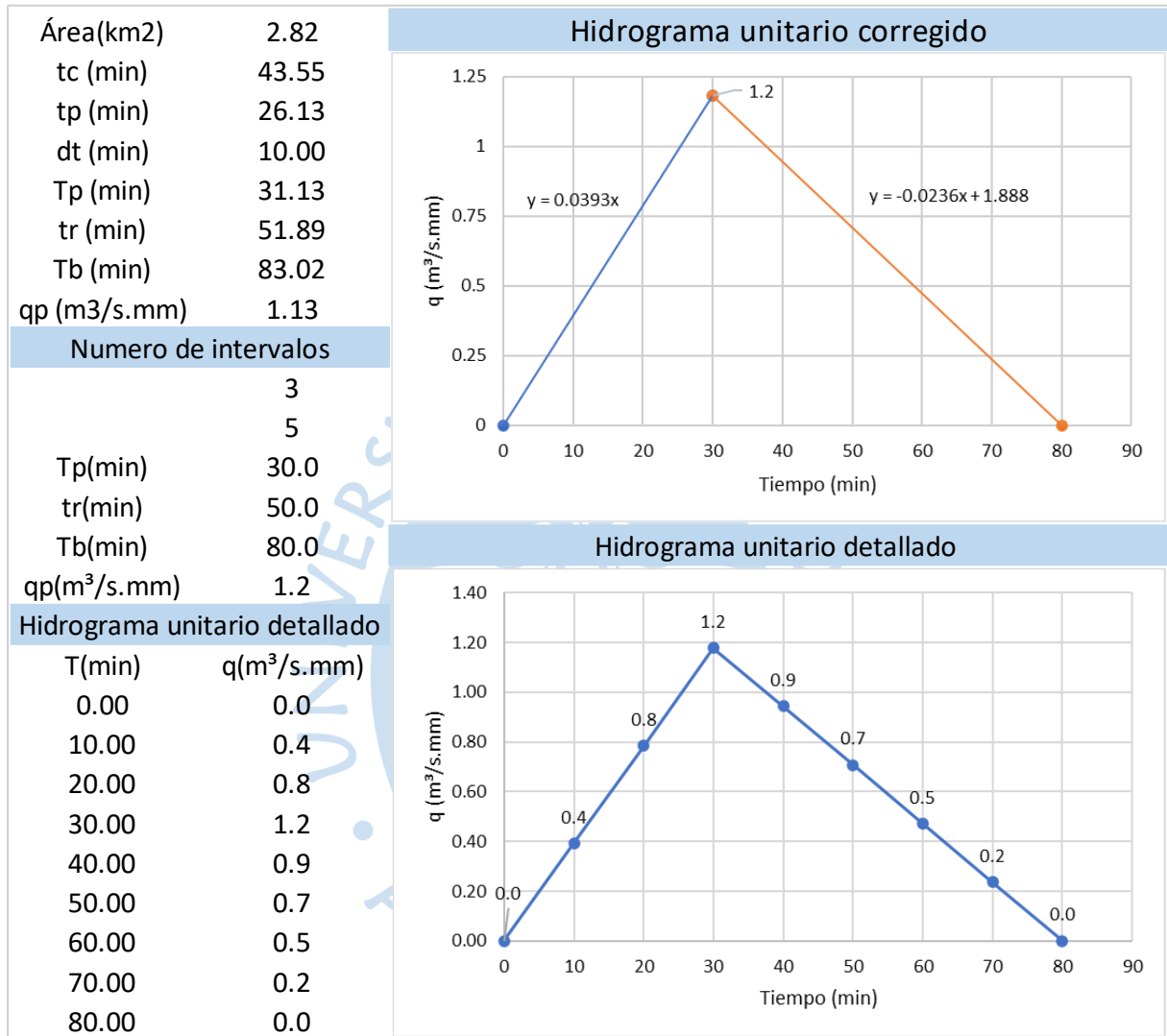


Figura E 2

Hidrograma unitario corregido e hidrograma unitario detallado de la cuenca Santa Rita 2

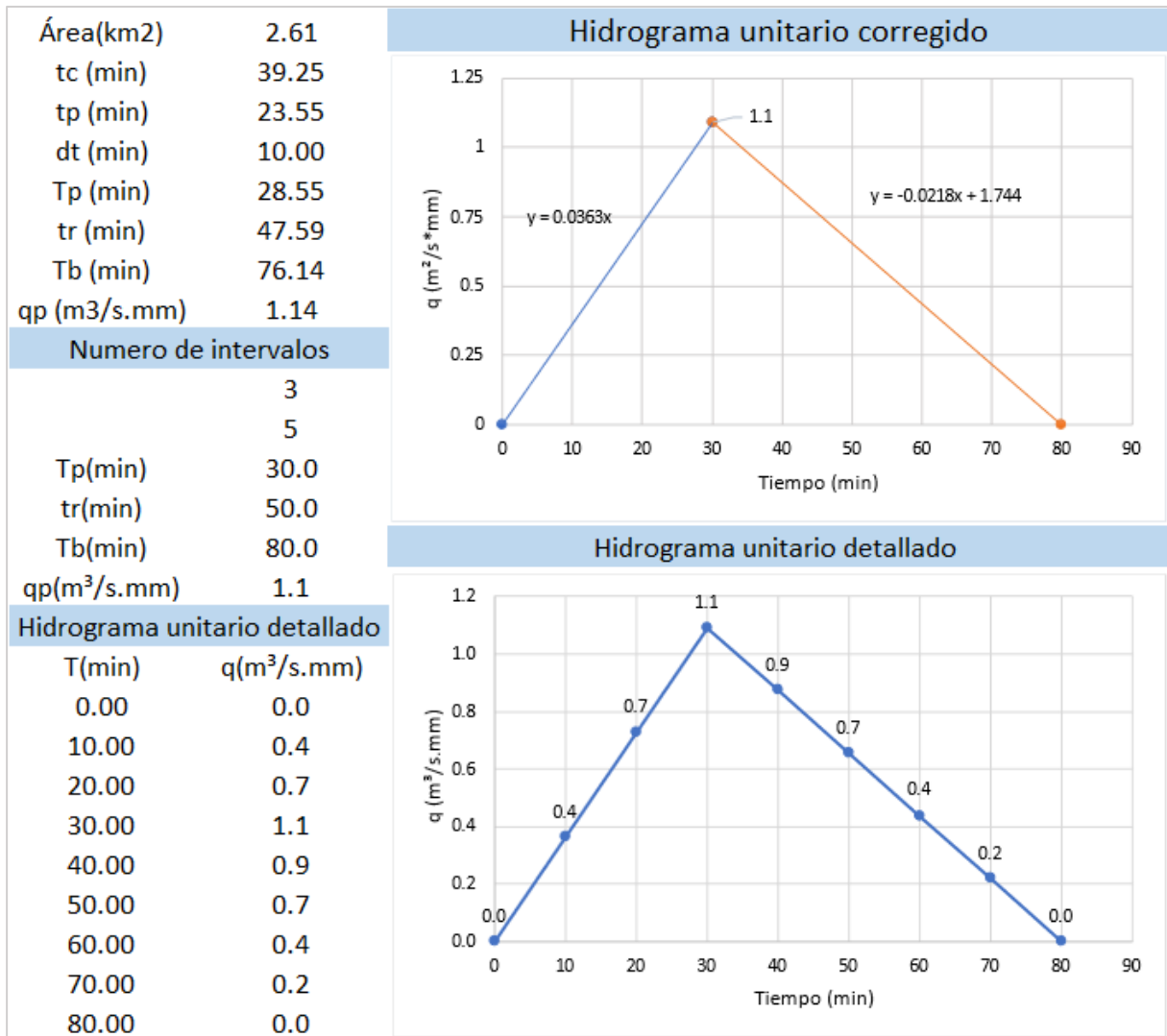


Figura E 3

Hidrograma unitario corregido e hidrograma unitario detallado de la cuenca Santa Rita 3

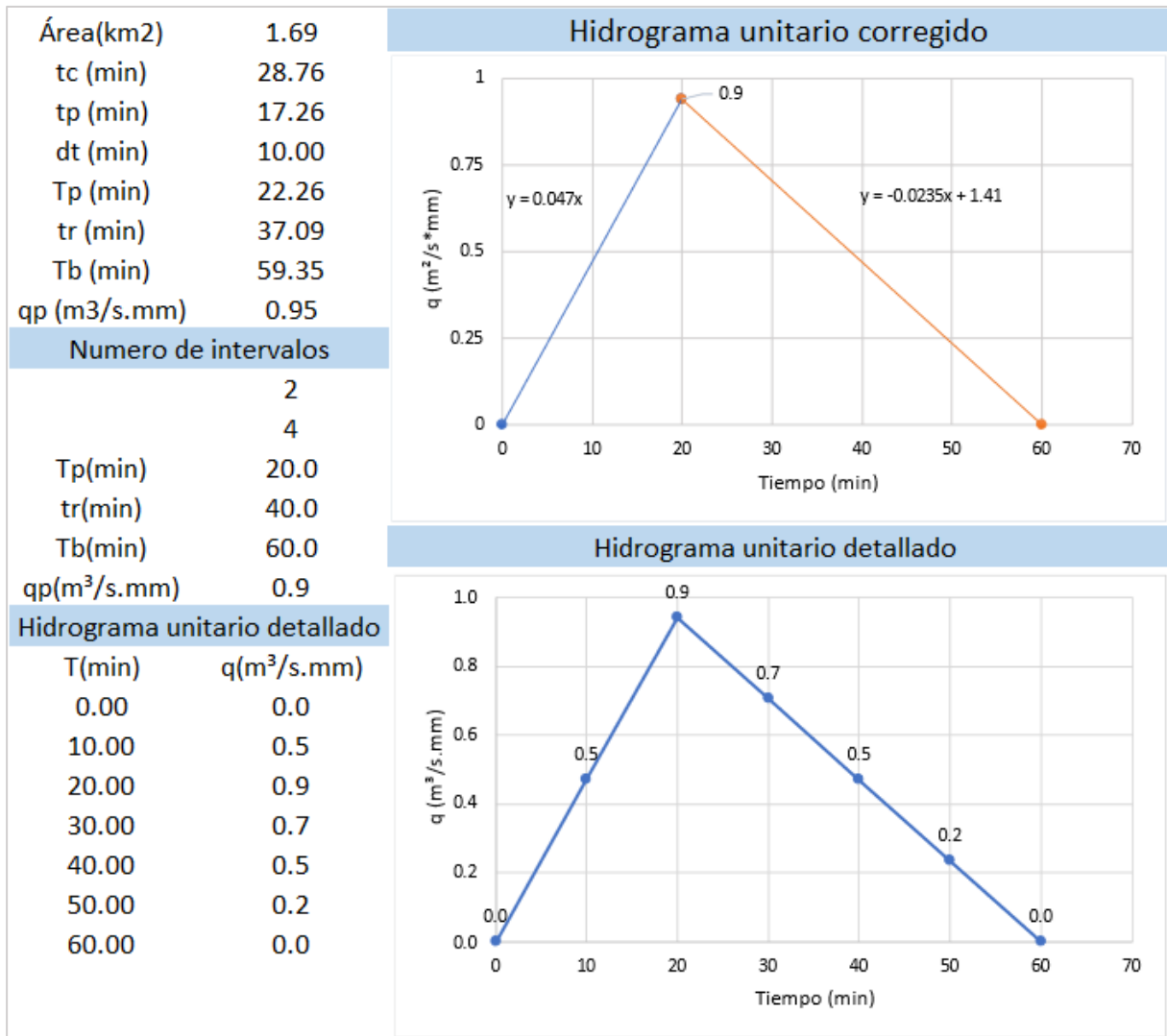
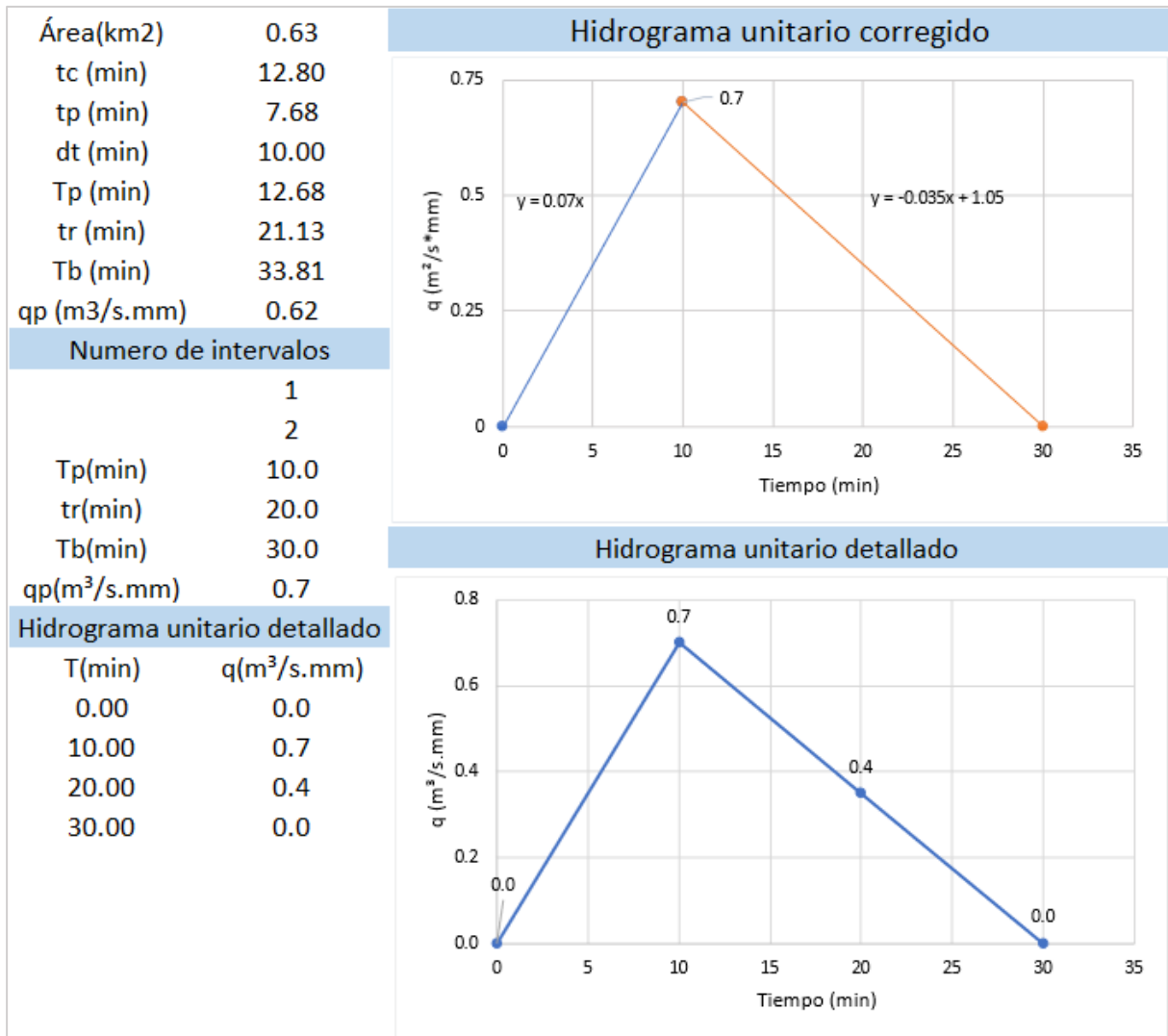


Figura E 4

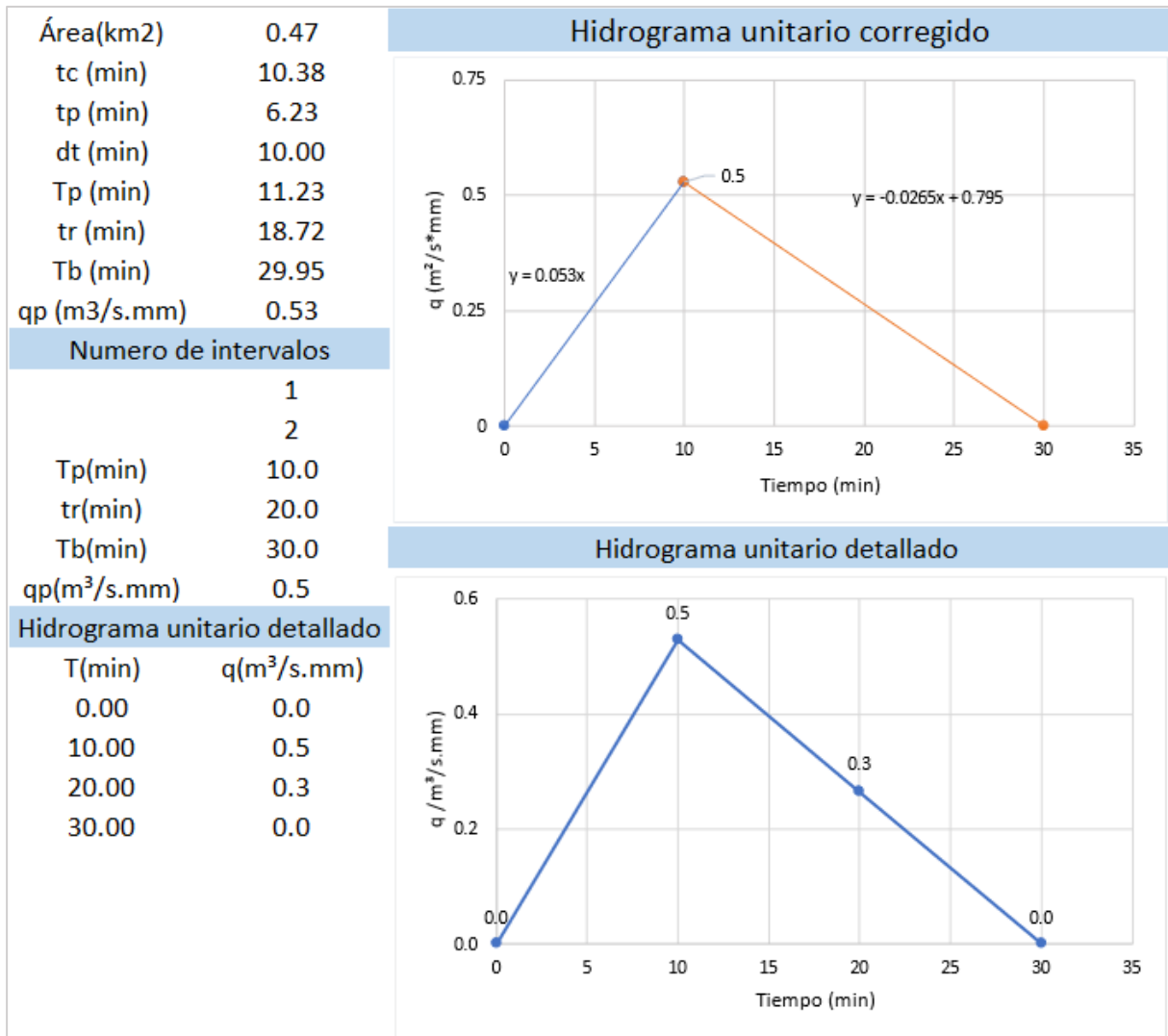
Hidrograma unitario corregido e hidrograma unitario detallado de la cuenca Politécnico 1



URENSI

Figura E 5

Hidrograma unitario corregido e hidrograma unitario detallado de la cuenca Politécnico 2



URENSI

Figura E 6

Hidrograma unitario corregido e hidrograma unitario detallado de la cuenca Yale 1

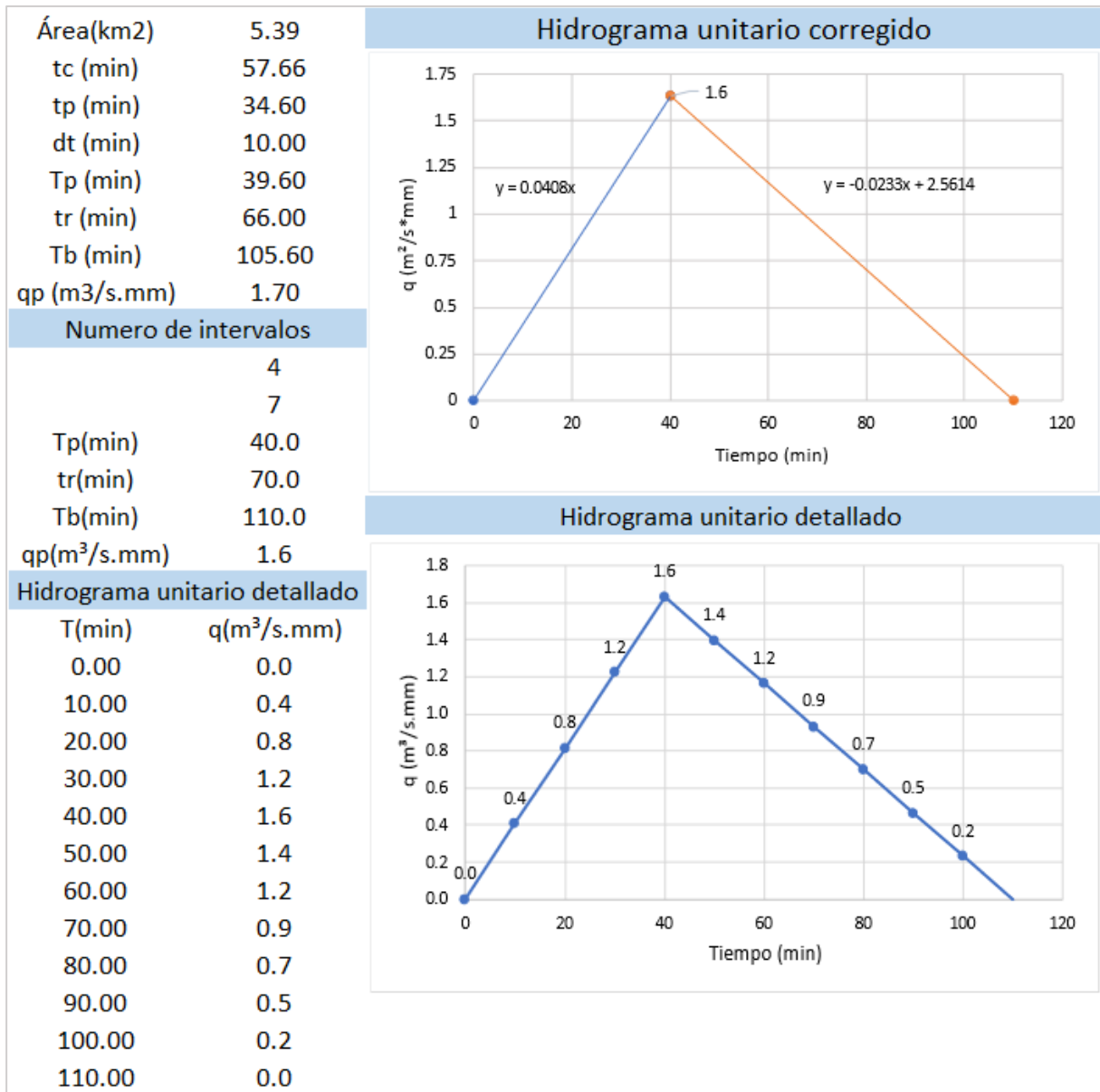


Figura E 7

Hidrograma unitario corregido e hidrograma unitario detallado de la cuenca Yale 2

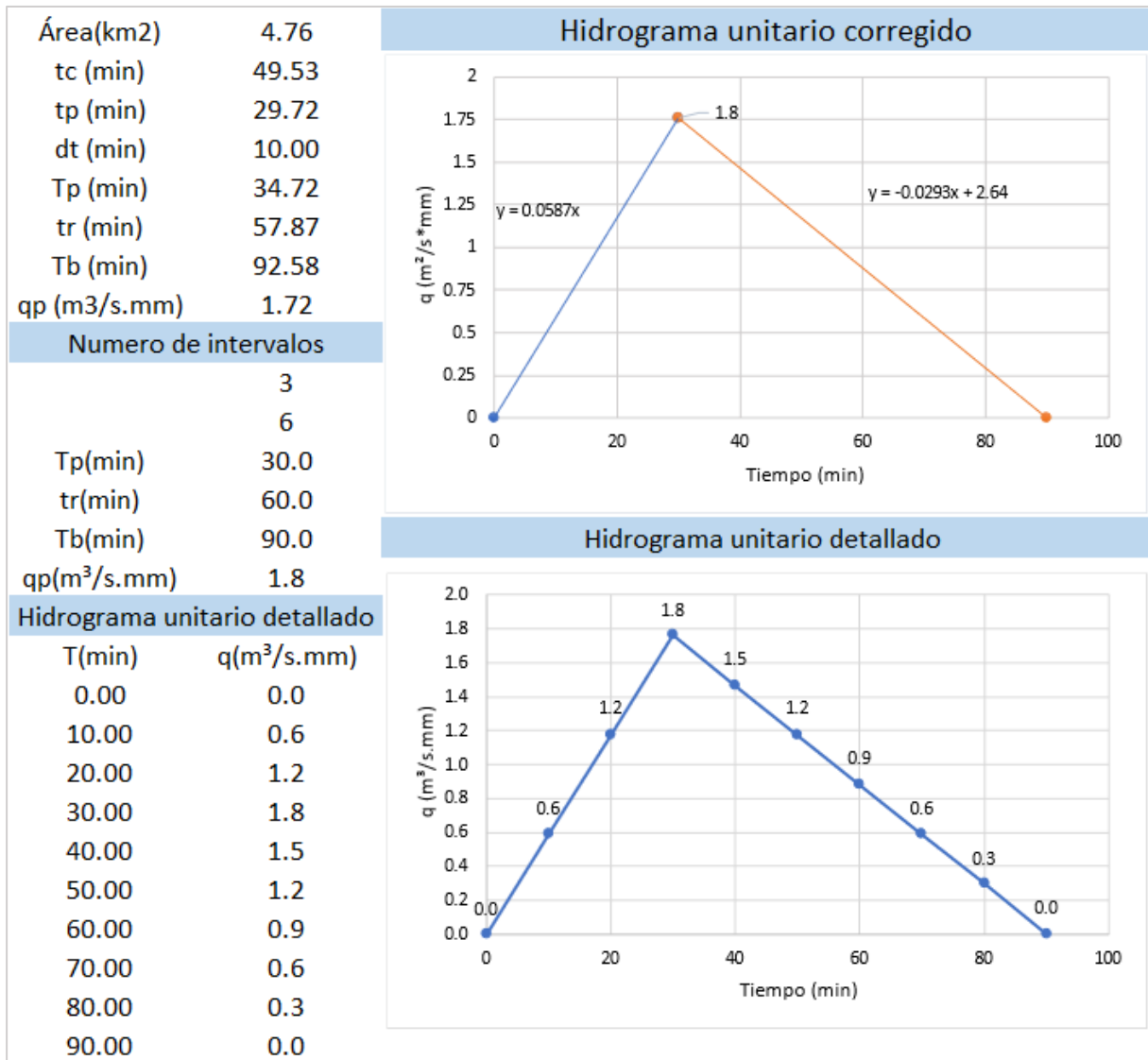


Figura E 8

Hidrograma unitario corregido e hidrograma unitario detallado de la cuenca Mangle

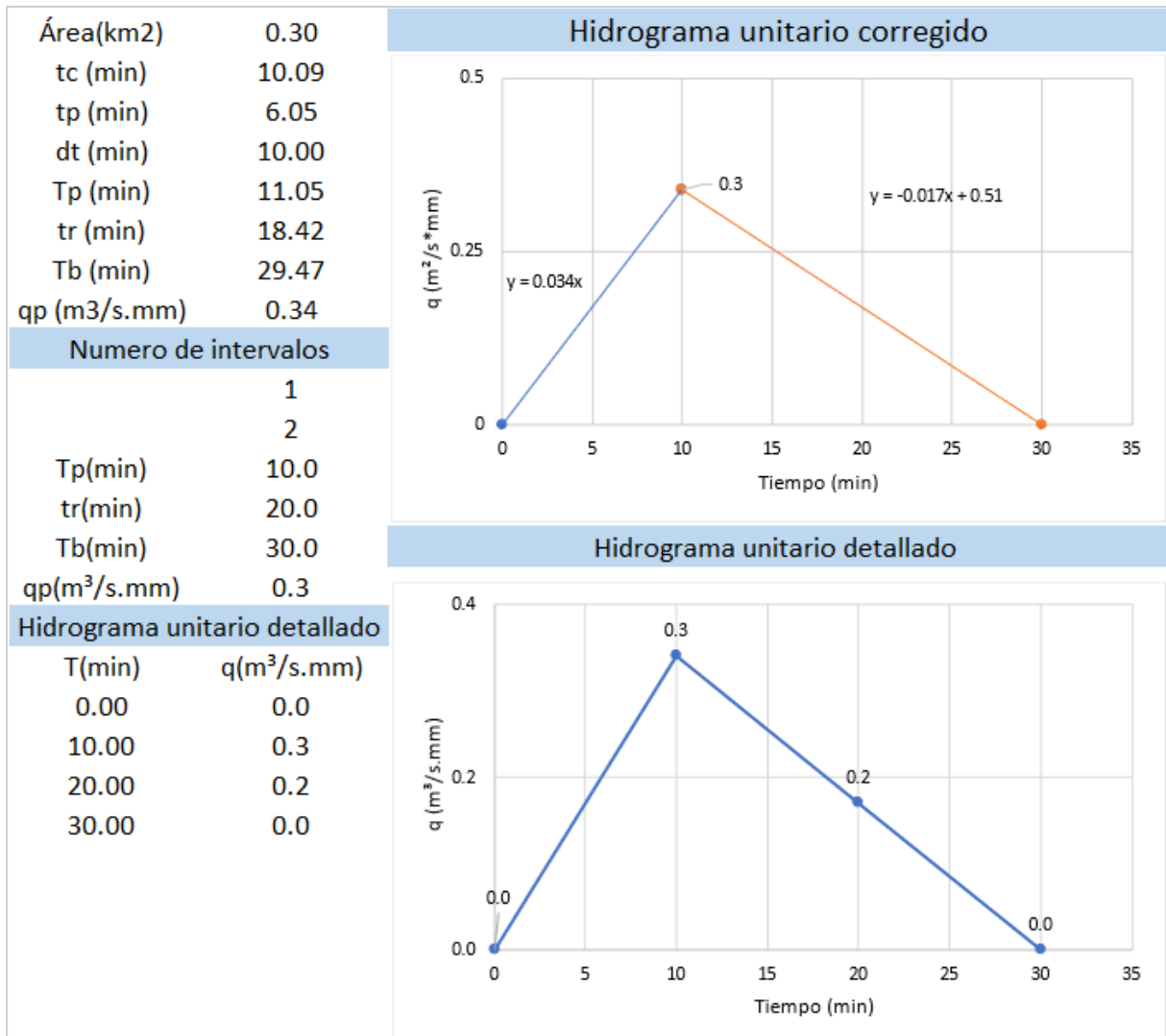


Figura F 2

Método de convolución para la cuenca Santa Rita 1 y Tr=5 años

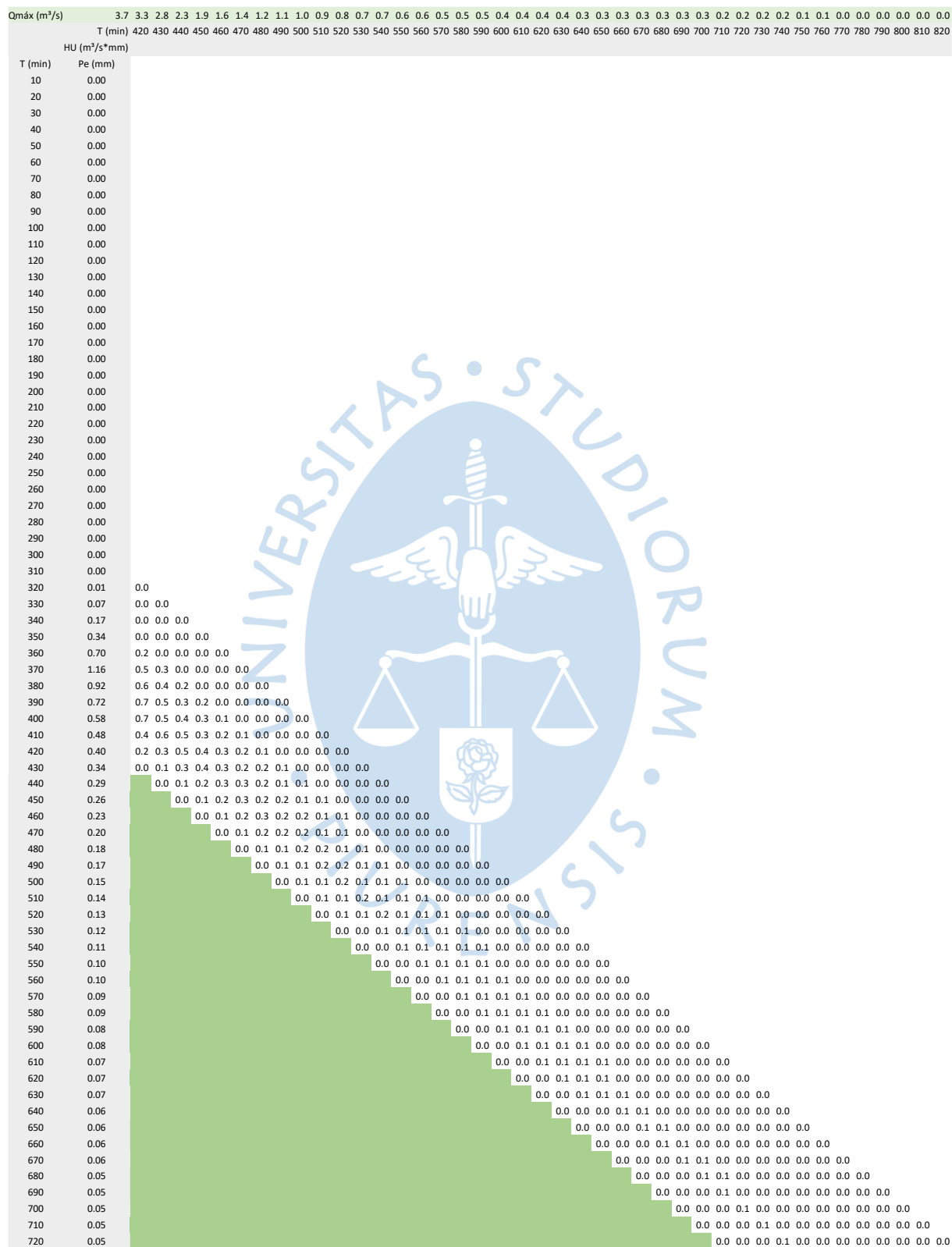


Figura F 3

Hidrogramas de diseño para la cuenca Santa Rita 1

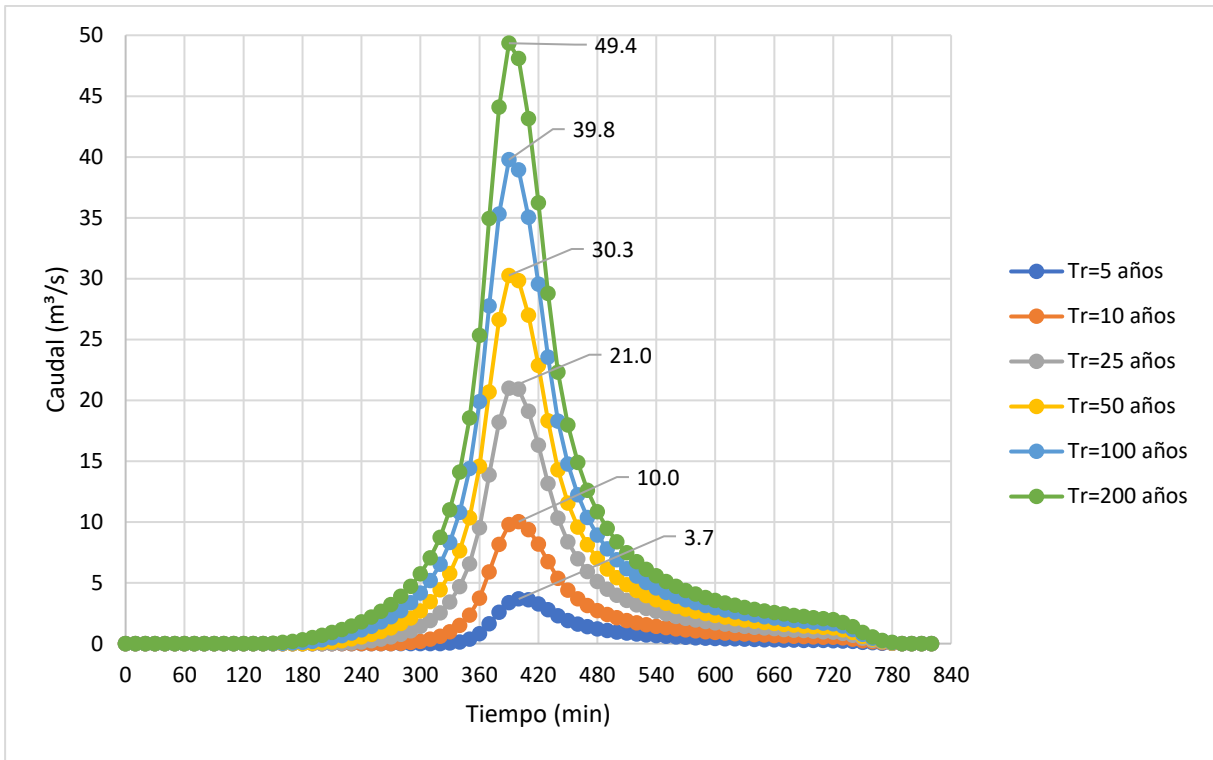


Figura F 4

Hidrogramas de diseño para la cuenca Santa Rita 2

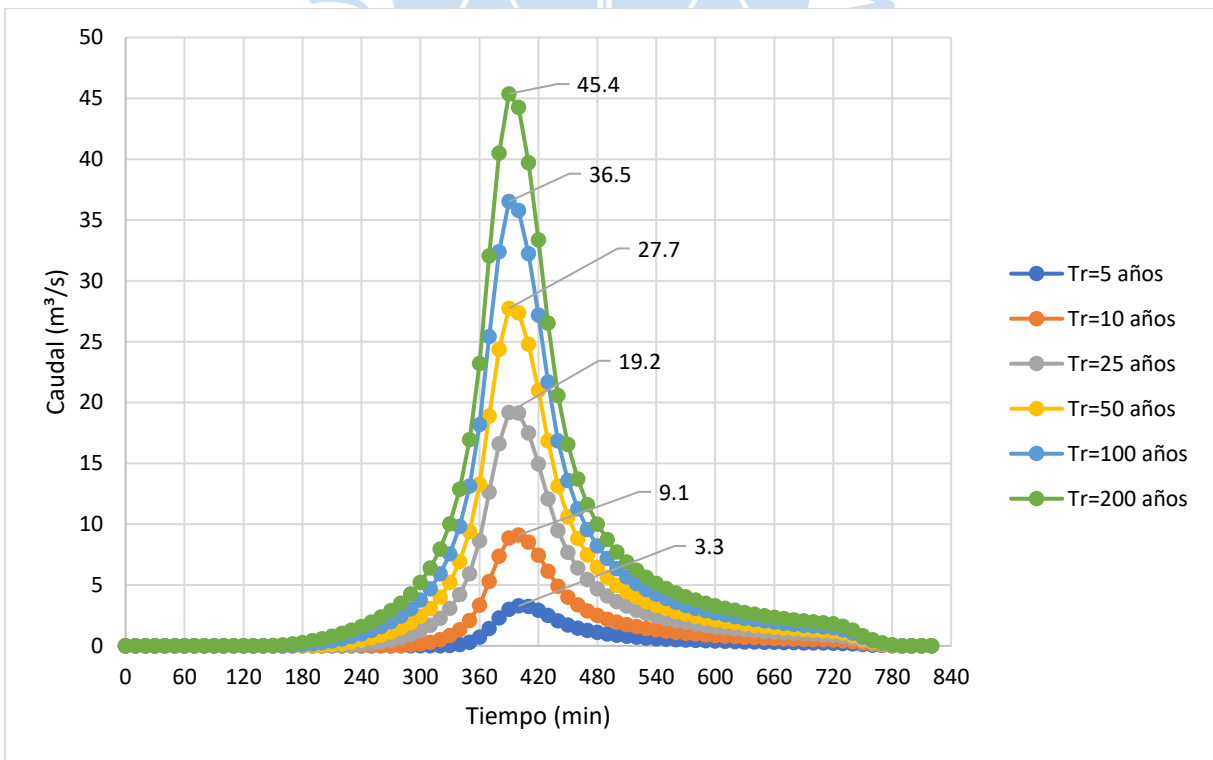


Figura F 5

Hidrogramas de diseño para la cuenca Santa Rita 3

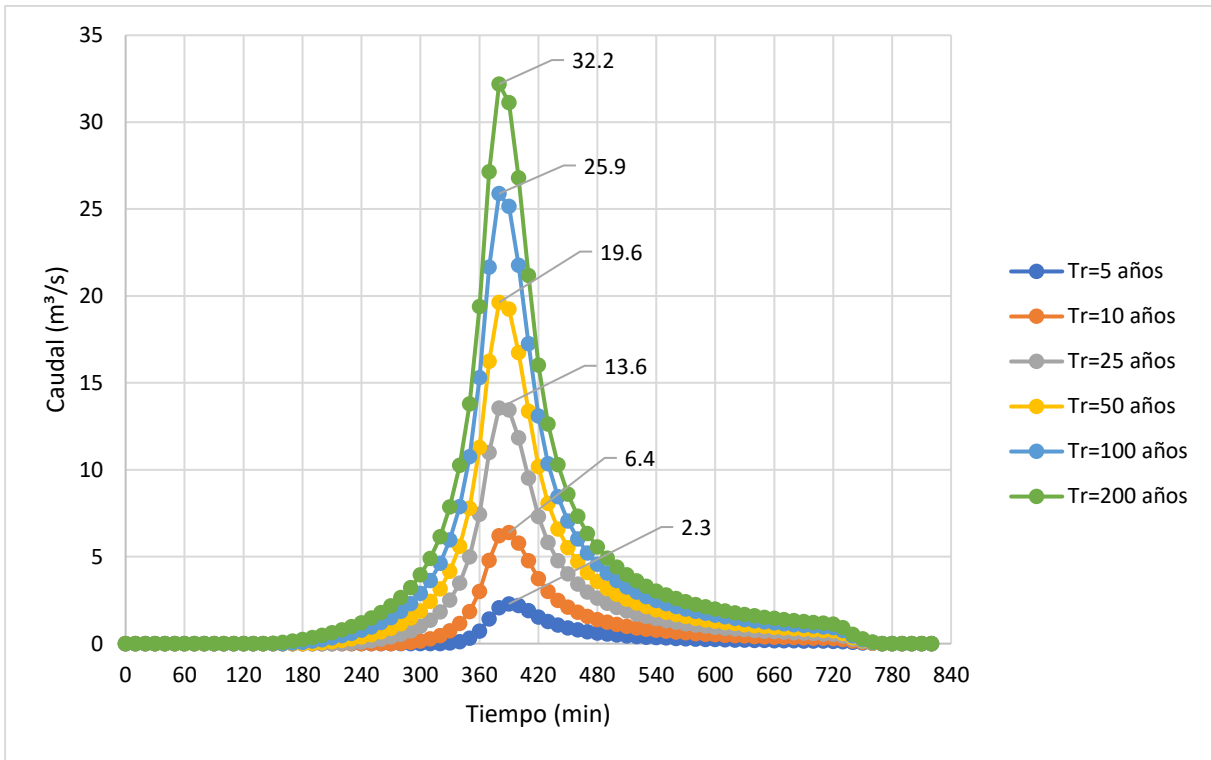


Figura F 6

Hidrogramas de diseño para la cuenca Politécnico 1

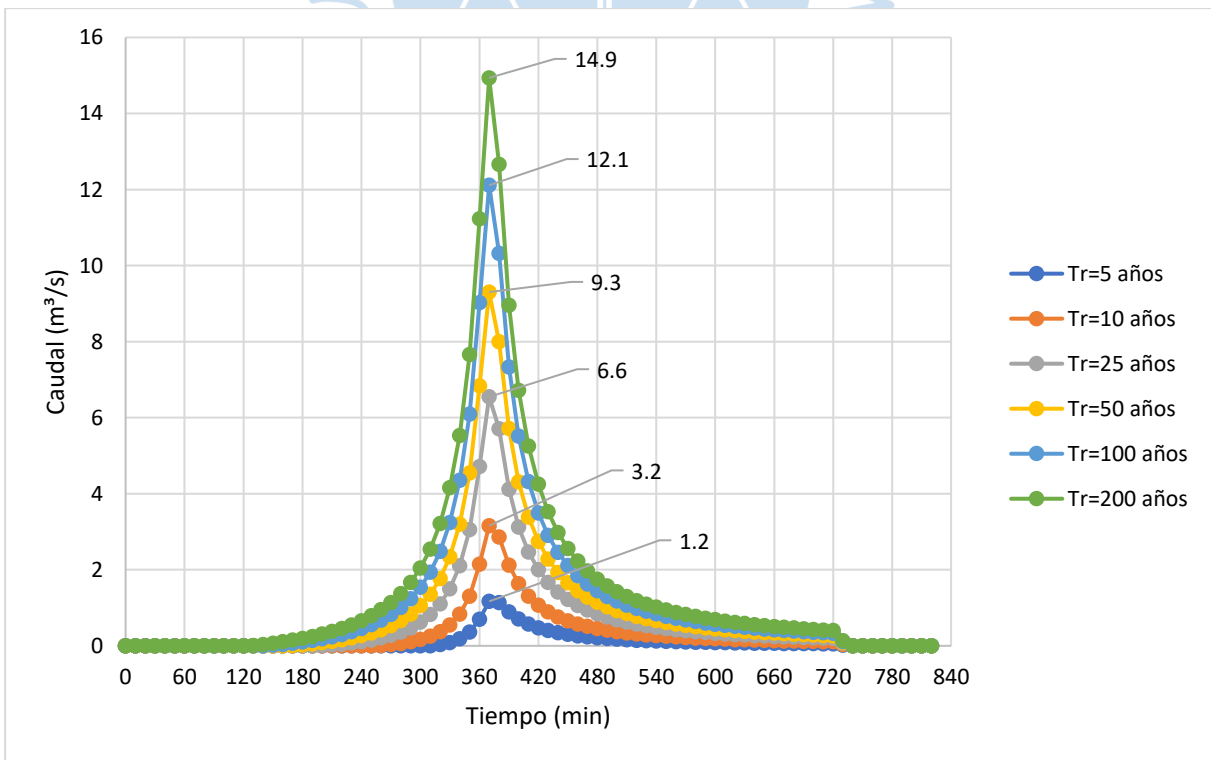


Figura F 7

Hidrogramas de diseño para la cuenca Politécnico 2

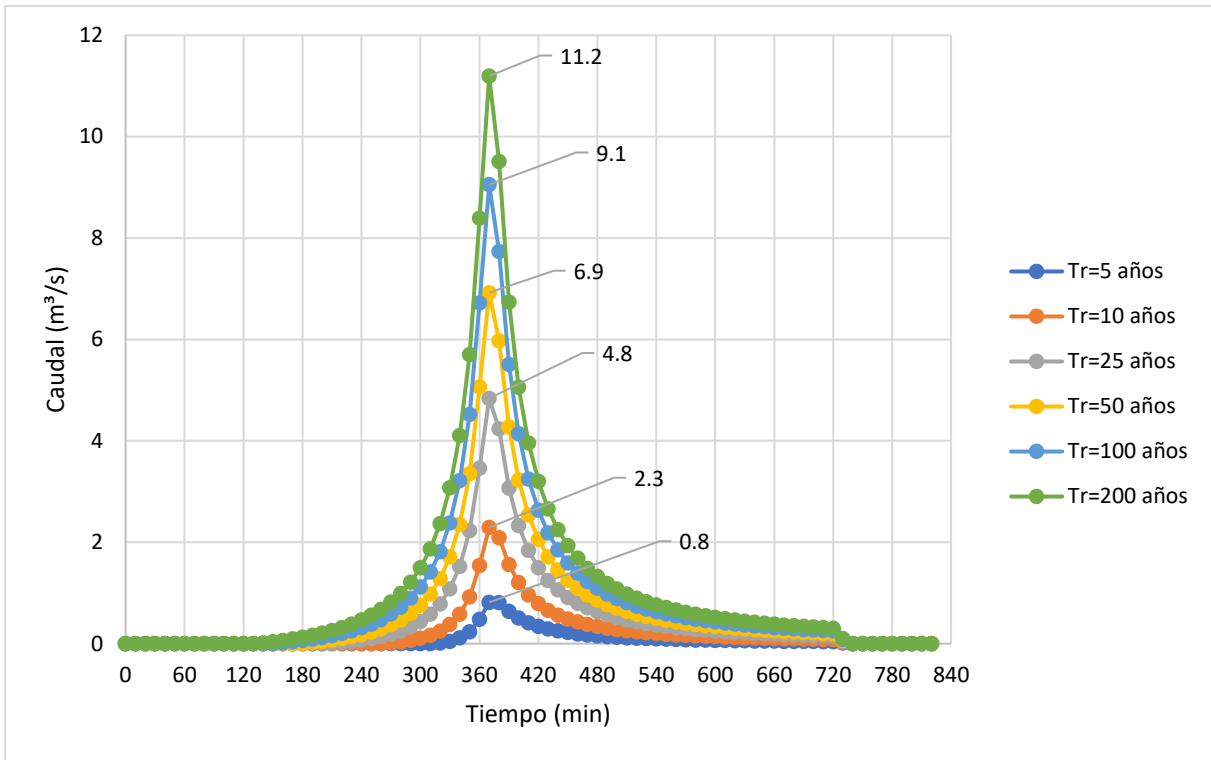


Figura F 8

Hidrogramas de diseño para la cuenca Yale 1

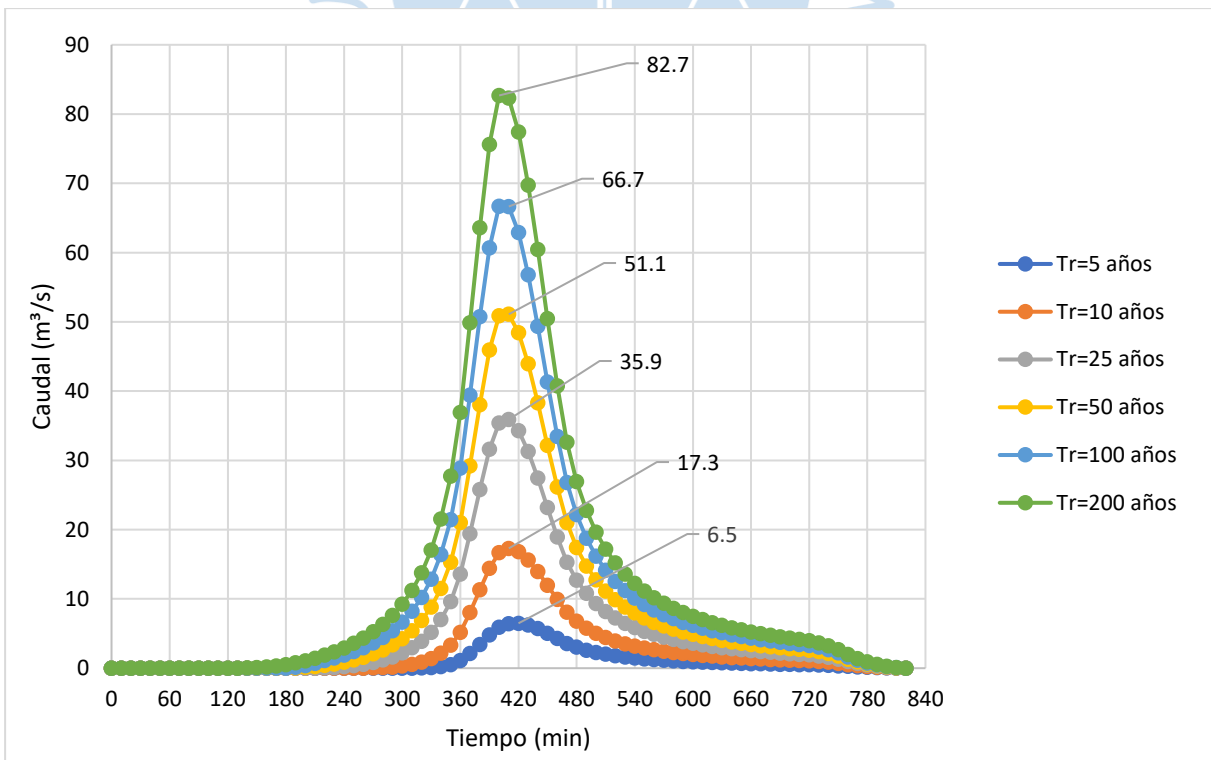


Figura F 9

Hidrogramas de diseño para la cuenca Yale 2

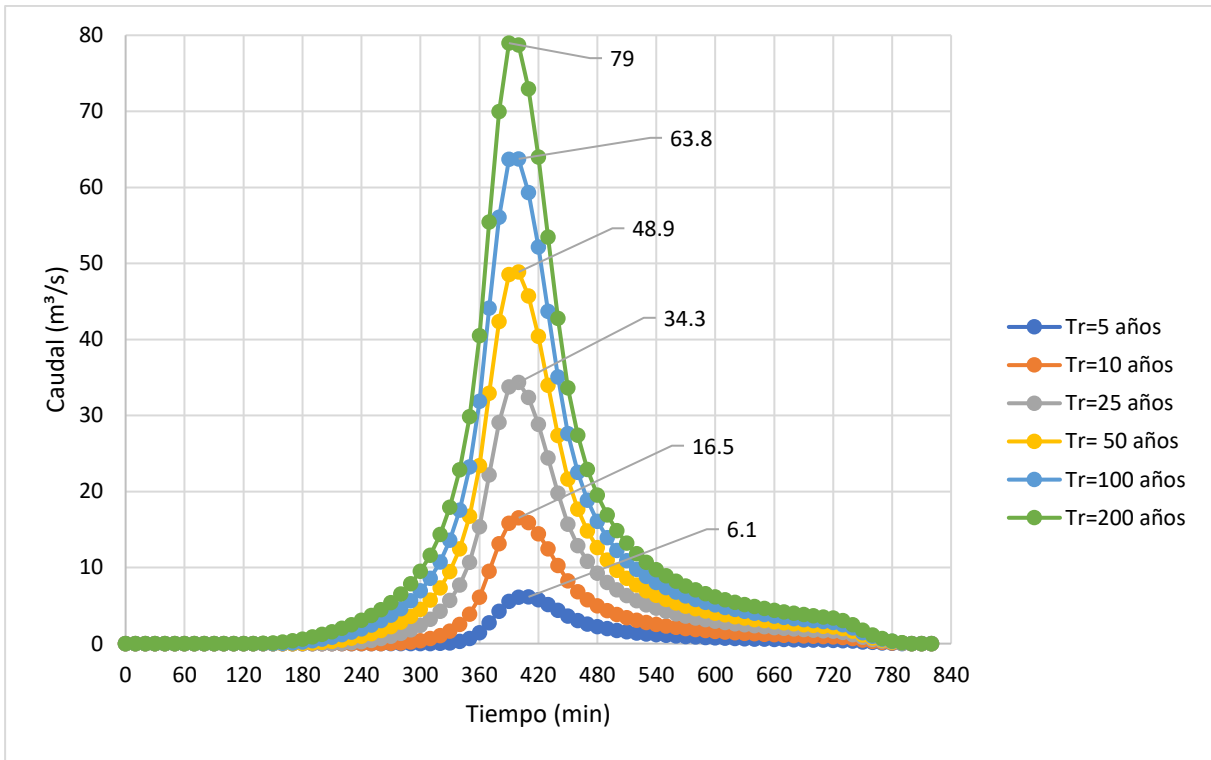
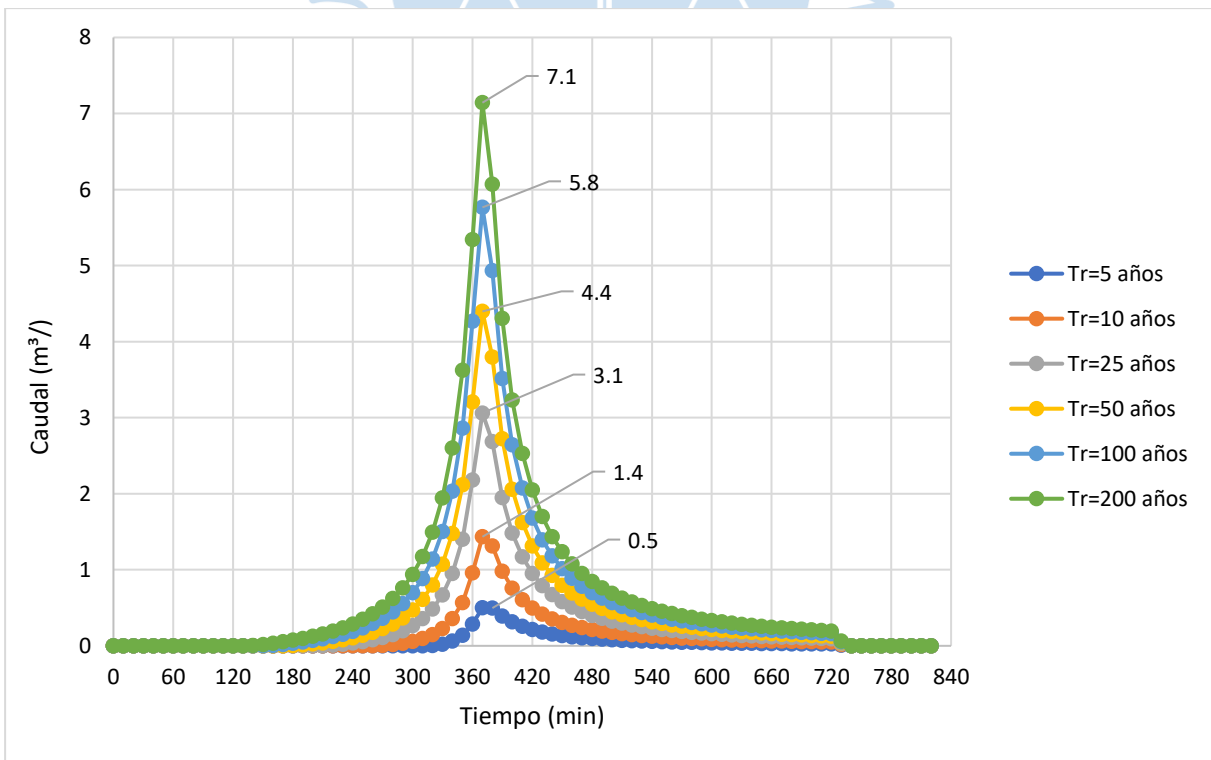


Figura F 10

Hidrogramas de diseño para la cuenca Mangle



Apéndice G Panel fotográfico de las cuencas en la zona urbana del distrito Pariñas en la ciudad de Talara.

Figura G 1

Quebrada Yale – Vista hacia aguas abajo



Figura G 2

Quebrada Yale – Zona de gaviones



Figura G 3

Quebrada Yale – Puente situado en la carretera Panamericana Norte



Figura G 4

Quebrada Yale – Punto de descarga al mar



Figura G 5
Quebrada Yale – Puente Yale



Figura G 6
Quebrada Politécnico – Alcantarilla en la carretera Panamericana Norte



Figura G 7

Quebrada Politécnico – Punto de descarga hacia el mar



Figura G 8

Quebrada Politécnico – Punto de descarga hacia el mar



Figura G 9

Quebrada Politécnico – Zona revestida vista hacia aguas abajo



Figura G 10

Quebrada Politécnico – Zona revestida vista hacia aguas arriba



Figura G 11

Quebrada Santa Rita – Vista hacia aguas arriba



Figura G 12

Quebrada Santa Rita – Zona de gaviones



Figura G 13

Quebrada Santa Rita – Zona de gaviones margen derecha



Figura G 14

Quebrada Santa Rita – Zona de gaviones margen izquierda



Figura G 15

Quebrada Santa Rita – Vista hacia aguas arriba



Figura G 16

Quebrada Santa Rita – Vista hacia aguas arriba



Figura G 17

Quebrada Santa Rita – Vista hacia aguas abajo



Anexos



Anexo A Datos de precipitaciones máximas diarias mensuales

Tabla A 9

Data pluviométrica máxima mensual de la estación La Esperanza

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1967	-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0
1968	0.0	2.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.8	0.0	0.0
1969	0.4	10.2	20.0	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1970	0.0	0.0	0.9	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1971	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1972	0.0	0.6	115.2	6.5	0.0	0.3	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	1.6
1973	22.0	2.1	2.0	1.9	0.0	0.2	0.0	0.0	1.9	0.0	0.0	0.0
1974	1.7	2.0	0.0	0.7	0.1	0.2	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.1
1975	1.1	1.8	18.9	0.4	0.2	3.2	0.0	1.3	0.1	0.0	0.0	0.0
1976	18.9	10.8	0.0	0.0	0.5	0.2	0.0	0.2	0.0	0.1	-	0.0
1977	0.0	13.9	1.8	1.2	0.0	0.2	0.0	0.0	0.9	0.0	0.0	0.0
1978	0.0	0.3	8.7	1.2	0.1	2.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1979	2.0	0.0	0.3	0.1	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
1980	0.0	0.0	10.7	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0
1981	0.0	0.8	3.2	0.0	1.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1982	0.0	0.0	0.0	0.4	1.8	0.0	0.0	0.0	0.8	0.0	1.3	1.0
1983	46.5	37.0	59.6	74.6	134.8	116.8	0.2	0.0	0.0	4.0	0.0	2.0
1984	0.0	4.6	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	0.9	0.0	0.0
1985	0.0	0.0	11.3	0.0	0.9	0.0	0.0	1.1	0.0	0.1	0.0	0.3
1986	3.8	3.1	0.3	1.1	1.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.9	0.0
1987	4.4	32.8	11.9	6.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.1	0.0
1988	0.1	0.5	0.1	3.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1989	1.5	6.5	9.3	-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0
1990	0.3	0.3	0.4	0.8	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	2.1	0.6	0.8
1991	0.3	1.5	0.5	1.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	1.4
1992	0.0	11.7	55.6	27.2	0.0	0.2	0.0	-	0.0	0.0	0.0	-
1993	0.0	1.2	4.9	2.5	0.1	-	-	-	-	-	-	-
1994	-	-	-	-	-	-	0.0	0.0	1.0	0.2	-	3.8
1995	3.4	8.8	0.0	0.9	0.0	-	0.0	0.0	0.1	-	1.9	0.2
1996	0.0	1.6	1.7	2.9	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1997	0.5	1.4	0.4	0.9	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	2.7	1.3	24.7
1998	96.6	54.1	71.1	7.6	2.6	20.3	0.0	0.0	0.0	0.0	1.1	0.0
1999	2.8	22.8	1.3	5.4	1.0	1.5	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	2.6
2000	0.0	1.2	0.4	3.0	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.2
2001	8.7	1.2	14.5	9.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.6	0.6
2002	0.0	1.8	20.2	22.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9	0.2	0.5
2003	1.9	8.6	0.4	0.0	0.0	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	1.3
2004	1.5	0.3	0.2	0.0	0.2	0.0	1.5	0.0	0.0	1.0	0.0	5.3
2005	0.5	0.1	1.5	0.3	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2006	0.4	3.5	10.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.1	0.8	4.1
2007	3.7	0.0	2.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2008	7.5	72.0	7.1	2.6	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2009	8.7	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0
2010	0.0	59.5	14.0	2.4	3.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2011	1.4	0.0	0.0	4.7	0.0	0.0	0.9	0.0	0.0	1.2	0.0	0.7
2012	1.0	32.2	1.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8	0.4
2013	0.0	0.5	29.7	0.8	4.1	0.0	0.2	0.0	0.0	1.3	0.0	0.0
2014	0.0	1.2	1.9	7.0	-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.4
2015	1.6	0.0	11.8	0.6	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-	-
2016	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2017	5.1	40.6	65.9	1.6	3.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2018	0.0	1.2	0.0	4.2	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5
2019	0.2	1.7	2.8	0.2	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.8	0.0	2.6
2020	0.0	0.6	0.0	-	-	-	0.0	5.0	0.0	0.0	0.0	12.4
2021	0.8	1.3	2.3	0.0	0.4	0.0	1.6	0.0	0.0	0.0	0.0	1.7
2022	0.0	0.0	0.0	1.6	0.1	0.6	0.0	0.4	0.0	-	-	-

Tabla A 10

Data pluviométrica máxima mensual de la estación Mallaes

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1971	-	-	-	-	-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1972	0.0	0.2	50.5	17.2	0.9	0.1	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	3.5
1973	31.0	8.2	19.7	3.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	0.2	0.3	0.7
1974	1.0	3.5	0.6	0.4	0.2	0.4	0.0	0.0	1.0	1.8	0.4	0.0
1975	1.3	1.5	10.9	0.4	0.1	0.3	0.0	2.6	0.1	0.3	0.6	0.0
1976	12.4	67.3	0.9	4.9	4.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1977	0.4	10.8	5.9	2.1	1.1	0.2	0.0	0.0	0.6	0.0	0.0	0.0
1978	0.0	0.2	25.6	0.4	0.7	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1979	1.7	0.2	2.7	0.7	0.6	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.2
1980	0.0	0.5	3.9	27.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-
1981	0.0	2.3	9.6	0.4	0.8	-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1982	0.0	0.6	0.0	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	1.6	2.1	11.5
1983	49.7	47.5	148.1	93.0	81.6	-	4.0	0.0	0.0	5.4	0.2	1.4
1984	1.5	47.3	4.2	12.7	0.0	0.2	0.4	2.0	0.9	0.3	0.6	0.0
1985	0.2	0.0	5.1	0.2	2.7	0.0	0.0	1.2	0.0	0.7	0.0	0.8
1986	1.2	4.0	0.8	4.7	2.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.5	0.1
1987	4.3	64.0	37.0	8.5	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.6	0.5	0.0
1988	4.2	1.9	1.4	15.7	0.1	0.0	0.0	0.0	1.8	0.0	1.0	0.0
1989	5.0	31.2	-	-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	2.3	0.0	0.0
1990	0.1	0.7	0.9	0.8	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.8	0.0	2.6
1991	3.3	4.5	15.4	0.2	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	2.3
1992	8.6	28.8	100.4	98.7	2.6	1.3	0.0	0.0	0.0	-	-	0.1
1993	-	-	-	-	-	0.2	0.9	-	-	0.7	0.0	0.0
1994	0.5	3.4	11.7	0.7	0.7	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	5.2
1995	0.0	1.2	1.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.2	0.0
1996	-	0.2	0.7	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	2.0	0.0	0.0
1997	0.0	7.6	21.8	3.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.2	0.5	85.8
1998	112.3	64.6	201.0	12.4	19.1	2.7	0.1	0.0	0.0	1.4	0.8	0.2
1999	7.5	64.8	-	5.1	3.0	1.8	0.0	0.0	0.2	2.2	0.0	5.1
2000	1.8	7.0	5.9	16.5	19.7	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.5
2001	4.7	1.8	62.5	28.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	3.8	3.1
2002	0.1	2.6	35.0	47.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5	1.0	0.5
2003	3.1	12.9	1.9	0.0	0.0	1.5	0.3	0.0	0.0	0.0	1.6	7.1
2004	3.0	0.7	1.1	4.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.1	0.0	7.3
2005	0.0	0.0	6.1	0.3	0.1	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2006	0.0	25.8	10.9	1.1	0.0	0.0	0.4	0.0	0.3	0.2	4.1	3.3
2007	4.0	0.0	8.4	1.7	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	1.1
2008	28.0	79.0	15.5	5.9	6.0	0.2	0.1	0.3	0.0	0.1	0.6	0.0
2009	22.1	10.3	14.7	0.3	2.1	0.4	0.1	0.0	0.0	0.8	8.4	0.6
2010	2.0	70.4	22.7	7.3	6.3	0.6	0.1	0.3	0.0	0.9	0.0	0.5
2011	2.9	1.3	0.8	14.4	0.6	0.2	0.9	0.0	0.0	0.6	0.3	0.2
2012	5.5	56.0	28.3	3.0	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9	0.2
2013	0.8	0.8	59.0	-	6.9	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	1.3
2014	1.8	0.7	3.0	4.3	2.2	0.0	-	-	-	-	-	-
2015	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2016	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2017	5.5	33.3	129.3	9.0	3.1	0.0	0.3	0.2	0.0	0.2	0.5	0.0
2018	1.9	1.9	0.0	13.6	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	5.5
2019	0.4	8.3	5.0	0.2	0.2	0.3	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	4.0
2020	0.0	2.2	1.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2021	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2022	-	-	-	-	0.6	0.3	0.0	0.0	0.0	-	-	-

Tabla A 11*Data pluviométrica máxima mensual de la estación Miraflores*

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1971	-	-	-	1.6	0.9	0.5	0.0	0.0	0.0	0.3	1.0	0.0
1972	1.5	0.2	66.2	8.4	0.4	0.0	0.1	0.0	0.4	0.2	0.0	1.5
1973	29.8	15.2	19.4	6.5	0.0	0.4	0.0	0.1	0.4	0.3	2.1	0.3
1974	1.4	1.4	0.7	2.4	0.3	0.5	0.0	0.0	0.4	0.0	1.4	0.1
1975	0.3	7.0	5.8	0.3	0.0	-	0.0	1.1	0.0	1.4	0.0	0.0
1976	13.9	18.8	0.6	0.0	8.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1977	0.7	12.8	14.1	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	2.6	0.0	0.0	0.0
1978	0.0	0.1	31.9	0.5	0.0	1.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1979	1.1	0.0	1.0	2.1	4.5	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0
1980	0.2	2.0	6.6	30.3	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	4.4	2.9
1981	0.3	0.6	18.4	0.0	0.0	0.0	0.1	0.6	0.0	2.2	0.0	1.4
1982	0.0	0.0	0.0	2.2	1.2	0.0	0.2	0.0	0.1	1.2	6.7	3.6
1983	67.3	104.5	98.0	151.4	91.8	130.4	0.5	0.5	0.0	0.0	0.1	4.3
1984	0.4	13.0	2.6	0.2	1.6	0.0	0.9	0.0	0.0	0.5	0.0	0.1
1985	2.8	2.4	15.9	0.0	1.3	0.0	0.0	0.3	0.0	1.0	0.0	0.4
1986	0.7	6.1	0.3	4.4	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.0	0.0
1987	11.1	28.9	34.9	5.2	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	5.1	0.3	0.0
1988	3.0	0.2	0.0	4.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.9
1989	2.2	10.1	3.5	-	0.3	1.1	0.0	0.0	0.0	0.6	0.0	0.0
1990	0.0	0.5	2.4	0.0	1.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	-	1.5
1991	0.2	0.5	1.1	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.1	3.5
1992	2.9	4.2	80.2	107.1	11.0	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1993	0.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1994	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1995	4.7	1.9	0.0	0.9	0.0	0.0	0.2	0.0	0.7	0.3	0.7	6.8
1996	1.8	0.0	0.0	0.4	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1997	0.0	17.3	0.6	11.5	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.4	2.1	49.5
1998	173.6	90.0	112.0	53.4	4.4	0.0	0.0	0.0	0.2	2.0	0.1	0.2
1999	3.0	16.0	0.7	6.8	0.7	1.3	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	2.4
2000	2.0	7.3	1.8	6.3	2.0	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	12.8
2001	6.2	3.9	61.5	12.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	4.3
2002	0.0	3.4	83.5	91.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.3	0.4
2003	4.1	16.0	3.2	0.0	0.0	0.8	0.0	0.0	0.5	0.0	6.2	1.3
2004	2.8	0.7	0.0	4.1	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	0.8	3.4
2005	1.3	0.5	9.5	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5	0.0	0.0
2006	0.0	12.7	13.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.3	0.3	0.6
2007	6.2	0.0	2.7	2.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	0.0
2008	3.5	29.5	16.5	33.0	1.0	0.2	0.9	0.0	0.0	0.2	0.2	0.0
2009	18.3	9.0	12.0	-	3.6	0.3	0.2	0.0	-	0.0	3.9	1.0
2010	1.0	35.0	11.5	4.7	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.2	0.0	0.0
2011	1.4	1.8	0.0	9.0	3.0	0.0	3.6	0.0	0.0	0.0	2.2	0.8
2012	3.1	25.0	11.6	4.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.5	0.2
2013	0.8	3.8	22.6	0.0	3.4	0.0	0.0	0.0	0.0	1.3	0.0	0.2
2014	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2015	-	-	-	-	-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2016	0.5	18.5	62.3	5.5	0.0	-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.8
2017	54.2	70.0	81.5	4.2	3.0	-	0.2	0.0	0.0	1.8	0.0	0.2
2018	1.5	0.5	0.0	3.5	1.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	1.2
2019	2.5	7.5	3.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.5	11.0
2020	0.0	0.0	0.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2021	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2022	-	-	-	-	-	-	0.0	0.0	0.0	-	-	-

Tabla A 12

Data pluviométrica máxima mensual de la estación Pananga

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1963	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0	10.9
1964	0.0	1.9	2.0	3.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	0.0	0.0
1965	0.0	10.3	154.0	47.6	9.0	0.0	0.0	0.0	3.0	1.0	1.0	4.4
1966	0.0	25.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	0.4	1.9
1967	11.6	4.7	0.0	0.0	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	3.0	0.0	0.0
1968	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.7	0.0	0.0
1969	6.5	0.0	40.0	10.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.2	1.0
1970	1.9	1.5	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5
1971	2.3	7.4	21.5	3.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8
1972	0.5	23.0	64.4	10.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.7
1973	34.6	11.4	13.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0
1974	0.0	1.8	0.0	4.4	0.0	7.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0
1975	2.0	62.0	23.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.3	0.0	0.0
1976	15.6	7.1	19.4	0.0	11.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1977	1.9	61.4	13.7	2.6	0.0	0.0	2.5	0.0	1.8	-	0.0	1.2
1978	3.4	5.1	27.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1979	0.0	0.0	0.0	4.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1980	0.0	3.2	7.8	5.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1981	0.0	0.0	14.0	4.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1982	0.0	0.0	0.0	4.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.4	15.3
1983	80.0	37.7	85.5	64.0	73.0	60.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.3
1984	10.4	53.0	25.4	10.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1985	0.0	10.0	6.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1986	23.4	22.4	0.0	24.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.3
1987	33.4	82.2	57.2	17.3	1.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1988	6.4	2.3	0.0	22.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1989	14.3	19.3	37.8	0.0	0.0	4.3	0.0	0.0	0.0	3.4	0.0	0.0
1990	0.0	2.3	3.4	0.0	2.4	0.0	0.0	0.0	0.0	4.3	3.2	0.0
1991	11.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1992	0.0	0.0	0.0	8.3	3.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1993	0.0	67.2	30.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1994	0.0	15.4	10.3	4.6	5.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.2
1995	2.3	23.7	9.0	6.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.3	4.3
1996	4.7	2.3	10.0	0.0	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1997	1.0	16.4	60.4	20.2	16.8	0.0	0.0	0.0	3.6	5.4	10.0	71.4
1998	96.6	150.1	102.4	48.2	30.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1999	8.8	55.0	18.7	18.0	6.0	1.6	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	4.4
2000	0.0	6.4	20.4	26.7	8.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.4
2001	25.2	18.4	45.0	60.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2002	0.0	51.4	60.5	53.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2003	7.8	41.8	0.0	2.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.5
2004	0.0	6.4	46.1	1.2	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	1.3
2005	0.0	25.0	28.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0
2006	1.2	29.9	22.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.1
2007	7.4	0.0	36.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2008	27.6	46.3	96.3	25.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.5	0.0	0.0
2009	26.1	25.3	34.0	0.0	2.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2010	1.0	68.1	19.7	9.7	2.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2011	2.8	0.0	2.2	10.1	0.0	0.0	1.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2012	3.3	64.4	15.2	33.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2013	3.1	0.0	78.7	3.2	4.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Tabla A 13*Data pluviométrica máxima mensual de la estación Puente Simón Rodríguez*

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
2015	-	-	-	0.4	2.4	0.0	2.9	0.0	0.9	0.0	0.4	12.5
2016	3.1	2.4	20.2	1.3	0.0	0.6	0.1	0.0	0.0	0.3	0.0	0.4
2017	7.4	32.4	121.8	1.5	4.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.2	0.0	1.7
2018	0.9	3.4	0.0	11.1	2.9	0.0	0.0	0.4	0.0	0.3	0.2	2.1
2019	0.1	2.6	3.0	0.0	0.1	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	1.6
2020	1.1	1.8	0.2	2.3	0.8	0.2	0.7	0.5	0.0	0.0	0.3	13.8
2021	0.8	0.3	15.7	0.1	2.0	0.0	3.2	0.2	0.0	0.7	1.1	5.6
2022	0.0	0.8	0.1	3.1	0.1	0.3	0.0	8.5	0.0	-	-	-

