UNIVERSIDAD DE PIURA

FACULTAD DE INGENIERÍA

Diseño de drenaje pluvial en la cuenca Poder Judicial de la ciudad de Sullana usando el programa SWMM

Tesis para optar el Título de
Ingeniero Civil

Yan Carlos Garcia Castillo
Diego Alberto Miranda Requena

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

Piura, diciembre de 2021

UNIVERSITAS STUDIORUM PIURENSIS

Resumen

El objetivo general de esta tesis es diseñar un sistema de drenaje pluvial para mitigar el problema de inundación en la Av. Tangarará de la urbanización popular Nuevo Sullana utilizando sistemas de drenaje tradicionales para la captación, conducción y vertido; así como sistemas sostenibles para reducir la escorrentía superficial.

Para lograr este objetivo, se ha escalado las precipitaciones máximas diarias para distintos periodos de retorno de la estación Miraflores a las precipitaciones máximas diarias de la estación Mallares. Como resultado, con dichos factores y con la ecuación de curvas IDF presentada para la ciudad de Piura por Farías & Ruiz (2018), se obtuvieron las curvas IDF para la zona de estudio.

Conociendo las lluvias en la zona de estudio, se han ejecutado modelaciones numéricas en EPA – SWMM (Storm Water Management Model) versión 5.1, obteniendo mapas de inundación para la situación actual que sirven para diagnosticar y corroborar la problemática de inundaciones existente en la cuenca urbana analizada y un mapa de inundación asociado al desarrollo de la infraestructura urbana de la zona de estudio, demostrándose el incremento de la escorrentía producto de este desarrollo.

El análisis de las alternativas de solución se ejecutó para un periodo de retorno de 50 años debido a la presencia de ENSO y El Niño costero. Para estas simulaciones también se generaron mapas de inundación, concluyendo de estas alternativas que el uso de sistemas urbanos de drenaje pluvial sostenible sirve para reducir la escorrentía máxima mediante la retención e infiltración del agua de lluvia. También se concluyó que, dado que la cuenca urbana estudiada es ciega, la medida que tiene mayor influencia en la reducción de las manchas de inundación generadas por las lluvias es aquella que permite la descarga en el río Chira.

UNIVERSITAS STUDIORUM PIURENSIS

Tabla de contenido

Introducción 15

Capítulo 1 Marco teórico 17

1.1 Drenaje pluvial urbano 17

1.1.1 Historia del drenaje pluvial 17

1.1.2 Clasificación del sistema de drenaje urbano 17

1.1.3 Componentes de un sistema de drenaje pluvial 18

1.1.4 Sistemas de drenaje pluvial sostenible 20

1.1.5 Consideraciones para el diseño de elementos de drenaje pluvial 21

1.2 Hidrología 21

1.2.1 Clima 21

1.2.2 Cuenca urbana 22

1.2.3 Precipitación pluvial 23

1.2.4 Estimación del caudal de diseño 26

1.3 Hidráulica 29

1.3.1 Parámetros para el diseño de una obra de drenaje 29

1.3.2 Diseño de estructuras de captación y conducción 31

1.3.3 Diseño de estructuras de retención 32

1.3.4 Diseño de un área de infiltración 32

Capítulo 2 Zona de estudio 35

2.1 Datos generales 35

2.1.1 Ubicación 35

2.1.2 Población 35

2.1.3 Topografía 37

2.1.4 Características del suelo 37
2.1.5 Clima 38
2.1.6 Sistema de drenaje pluvial actual 39
2.1.7 Consecuencias de la ausencia de un sistema de drenaje pluvial 40
2.2 Hidrología 41
2.2.1 Cuenca urbana 41
2.2.2 Curvas IDF 44
2.2.3 Método Racional 47
Capítulo 3 Simulación numérica con SWMM 49
3.1 Descripción del programa 49
3.2 Uso del programa 50
3.3 Procedimiento de simulación 50
3.3.1 Delimitación de áreas aportantes 50
3.3.2 Dibujo de los objetos 51
3.3.3 Ingreso de datos 52
3.3.4 Opciones de simulación 56
3.4 Resultados de la modelación numérica 62
Capítulo 4 Diseño del sistema de drenaje pluvial 65
4.1 Alternativas de mitigación 67
4.1.1 Alternativa de diseño 1: Parques y zanjas de Infiltración 69
4.1.2 Alternativa de diseño 2: Parques, zanjas de infiltración y sistema a gravedad hacia la dirección este 76
4.1.3 Alternativa de diseño 3: Parques, zanjas de infiltración y sistema a gravedad hacia la dirección oeste 81
4.2 Alternativa de diseño seleccionada 85
4.3 Planeamiento del proyecto 86
Conclusiones 87
Recomendaciones 89
Referencias bibliográficas 91
Apéndices 95

Apéndice A. Modelos de distribución para la serie de la estación Mallares-Sullana... 97

Apéndice B. Hietogramas de diseño 101

Apéndice C. Cálculo del coeficiente de escorrentía – Diagnóstico 104

Apéndice D. Cálculo del coeficiente de escorrentía – Línea Base y alternativas 112

Apéndice E. Determinación del número de curva (CN) en áreas permeables - Diagnóstico 119

Apéndice F Determinación del número de curva (CN) en áreas permeables - Línea base y alternativas 125

Apéndice G. Panel fotográfico después de la lluvia del 02/03/2021 en la zona de estudio y parte de sus alrededores 131

Apéndice H. Datos de diseño de la rápida – Alternativa 3 140

Anexos 145

Anexo A. Registro de precipitación máxima diaria anual (mm) 147

Planos 149

Plano 01. Ubicación (U-01) 151

Plano 02. Catastro urbano (CU-01) 153

Plano 03. Diagnóstico – Cuenca hidrográfica (C-01) 155

Plano 04. Diagnóstico – Cuenca urbana (C-02) 157

Plano 05. Diagnóstico – Dirección del flujo (FD-01) 159

Plano 06. Propuesta – Dirección del flujo (FP-01) 161

Plano 07. Propuesta – Sistemas de drenaje urbano sostenible (DS-01) 163

Plano 08. Propuesta – Sistema de evacuación por gravedad (SG -01) 165

UNIVERSITAS STUDIORUM PIURENSIS

Lista de tablas

Tabla 1. Manifestaciones generales del FEN 25

Tabla 2. Resumen cronológico del Fenómeno El Niño en el Perú: 1578 – 2017 26

Tabla 3. Coeficientes de escorrentía para ser utilizados en el Método Racional 27

Tabla 4. Velocidad máxima para tuberías de alcantarillado 31

Tabla 5. Valores de las características geomorfológicas de la cuenca urbana Poder Judicial . 42

Tabla 6. Uso de suelo del sector Nuevo Sullana 42

Tabla 7. Matriz de precipitaciones máximas diarias (mm) e intensidades máximas anuales (mm/h) en función de la duración (min) y el período de retorno T (años) 45

Tabla 8. Resultados de la prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov-Smirnov a la serie de precipitaciones de Sullana 46

Tabla 9. Predicciones para la precipitación máxima diaria anual (mm) de Sullana 46

Tabla 10. Matriz de ajuste, k_T 47

Tabla 11. Matriz de intensidades de las curvas IDF de la estación Mallares - Sullana 47

Tabla 12. Cálculo del caudal de diseño de la cuenca evaluada 48

Tabla 13. Comparación de caudal de diseño 62

Tabla 14. Comparación de caudal de diseño 68

Tabla 15. Capacidad de los parques inundables contemplados 70

Tabla 16. Datos de las franjas de infiltración ubicadas en las bermas centrales 71

Tabla 17. Porcentaje de llenado promedio y máximo de los parques de infiltración 75

Tabla 18. Capacidad de los parques inundables contemplados 76

Tabla 19. Planeamiento del proyecto de drenaje pluvial de la cuenca Poder Judicial 86

UNIVERSITAS STUDIORUM PIURENSIS

Lista de figuras

Figura 1. Estructura de vertido típica 20
Figura 2. Ciclo del agua 24
Figura 3. Regiones de estudio para la predicción de El Niño y La Niña 24
Figura 4. Ubicación geográfica de la cuenca urbana de estudio 36
Figura 5. Densidad poblacional por manzana 36
Figura 6. Elevaciones de la cuenca urbana Poder Judicial 37
Figura 7. Unidades litoestratigráficas de la ciudad de Sullana 38
Figura 8. Mapa de peligro ante inundación pluvial 39
Figura 9. Inundación Av. Tangarará – Sullana 03/03/2016 40
Figura 10. Vivienda a punto de colapsar 41
Figura 11. Cuenca hidrográfica Poder Judicial 43
Figura 12. Cuenca urbana Poder Judicial 43
Figura 13. Mapa de uso de suelos del sector Nuevo Sullana 44
Figura 14. Curvas IDF de la ciudad de Piura (1983 – 2017) 45
Figura 15. Curvas IDF de la estación Mallares para la ciudad de Sullana 47
Figura 16. Modelo para determinar de escorrentía superficial (Runoff) de SWMM 49
Figura 17. Delimitación de las áreas aportantes del área de estudio 51
Figura 18. Ingreso de datos del pluviómetro 52
Figura 19. Ingreso de datos de las áreas aportantes 53
Figura 20. Cuencas hidrográficas vecinas 54
Figura 21. Ingreso de datos de los nodos de conexión y de vertido 55
Figura 22. Ingreso de datos de los depósitos 55
Figura 23. Ingreso de datos de los conductos 56

Figura 24. Ingreso de datos de los vertederos 56
Figura 25. Ventana de opciones generales 57
Figura 26. Ventana de opciones adicionales de la onda dinámica 58
Figura 27. Ventana de fechas e intervalos de reporte 62
Figura 28. Mapa de inundación para un periodo de retorno de 10 años 63
Figura 29. Mapa de inundación para un periodo de retorno de 25 años 63
Figura 30. Mapa de inundación para un periodo de retorno de 50 años 64
Figura 31. Sentidos analizados para la evacuación del agua proveniente de las precipitaciones pluviales en la cuenca urbana Poder Judicial 66
Figura 32. Estado del Canal Vía durante la precipitación del día 25/02/2017 66
Figura 33. Vista de una sección típica del Canal Vía sin lluvias 66
Figura 34. Disposición general de la cuenca urbana 67
Figura 35. Hidrograma de un nodo intermedio de la Av. Tangarará entre las avenidas El Niño y San Hilarión – Línea Base– Tr = 50 años 68
Figura 36. Mapa de inundación – Modelación línea base – Tr = 50 años 69
Figura 37. Vista en planta y corte de los parques 72
Figura 38. Sección transversal típica de las franjas de infiltración 72
Figura 39. Ubicación típica de las franjas de infiltración 72
Figura 40. Mapa de inundación – Modelación alternativa 1 – A 1 día 73
Figura 41. Mapa de inundación – Modelación alternativa 1 – A 7 días 74
Figura 42. Hidrograma de un nodo intermedio de la Av. Tangarará entre las avenidas El Niño y San Hilarión – Alternativa 1 74
Figura 43. Esquema en planta del sistema de descarga a gravedad para la alternativa 2 77
Figura 44. Canal de captación en la berma de la Av. Tangarará 78
Figura 45. Sección transversal del conducto de descarga 78
Figura 46. Perfil longitudinal del sistema de descarga hacia el río Chira, primer tramo – Alternativa 2 79
Figura 47. Perfil de la rápida, segundo tramo - Alternativa 2 80
Figura 48. Mapa de inundación – Modelación alternativa 2 80
Figura 49. Esquema en planta del sistema de descarga a gravedad para la alternativa 3 82

Figura 50. Perfil longitudinal del sistema de descarga hacia el río Chira, primer tramo – Alternativa 3 83

Figura 51. Perfil de la rápida, segundo tramo - Alternativa 3 84

Figura 52. Mapa de inundación – Modelación alternativa 3 84

UNIVERSITAS STUDIORUM PIURENSIS

UNIVERSITAS STUDIORUM PIURENSIS

Introducción

La ciudad de Sullana por su ubicación geográfica se encuentra en una zona en la que las precipitaciones pluviales normales son regulares y de intensidad moderada alcanzando valores promedio del orden de 98.2 mm anuales (excluyendo los años 1983, 1998 y 2017). No obstante, es también una zona en la que se presentan fenómenos meteorológicos como El Niño Oscilación Sur y El Niño Costero, que incrementan estos valores de precipitación anual hasta el orden de 2324.5 mm como en el año 1983, registrados en la estación Mallares. Por lo tanto, es importante mitigar el efecto de las fuertes precipitaciones originadas por estos eventos sobre la infraestructura y la población que reside en esta ciudad.

Con esta premisa, se ha desarrollado el análisis hidrológico e hidráulico de la cuenca urbana Poder Judicial ubicada en el sector oeste del distrito de Sullana. Esta cuenca se encuentra a la fecha en desarrollo urbano, cuenta con menos del 13% de pistas pavimentadas y las áreas destinadas a otros fines como mercados, colegios, áreas deportivas, parques, etc, aún no han sido desarrolladas.

Sin embargo, es importante definir un sistema de drenaje pluvial urbano que permita acompañar el crecimiento poblacional y el desarrollo de las infraestructuras futuras generando un entorno de tranquilidad y seguridad en caso ocurriese alguno de los fenómenos pluviales mencionados, teniendo en cuenta que se espera que a mediano plazo el área se consolide.

En el capítulo 1 se desarrollan conceptos que deben estar presentes durante el análisis de la cuenca urbana estudiada, abordando temas como el drenaje pluvial urbano, hidrología e hidráulica.

En el capítulo 2, se mencionan las características de la zona de estudio, enfocándose principalmente en la hidrología de la cuenca urbana estudiada. De manera complementaria se hace referencia a las características del suelo y la topografía.

El capítulo 3 describe las herramientas del programa que se emplea en la modelación numérica y se realiza el diagnóstico de la situación actual de la zona de estudio para eventos asociados a periodos de retorno de 10, 25 y 50 años.

El capítulo 4 se enfoca en ofrecer alternativas que mitiguen el efecto de una lluvia cuyo periodo de retorno sea de 50 años, terminando con una propuesta que consiste en establecer

un sistema de pendientes que transporten la escorrentía de toda la cuenca al punto más bajo ubicado en la primera cuadra de la avenida Tangarará a través de las pistas, un sistema de evacuación por gravedad hacia el río Chira, la creación de 3 parques de infiltración ubicados en puntos estratégicos para la captación de la escorrentía pluvial y bermas centrales de infiltración en diversas avenidas dentro de la cuenca.

Finalmente, se presentan las conclusiones y recomendaciones del estudio.

Capítulo 1
Marco teórico

Este capítulo aborda definiciones concisas acerca del drenaje pluvial urbano, sus características y componentes; conocimiento de la hidrología aplicada para determinar de cuánta agua de origen pluvial se deben proteger y definiciones hidráulicas necesarias para desarrollar propuestas que logren mitigar los problemas de inundaciones en las ciudades.

1.1 Drenaje pluvial urbano

Para el diseño de un sistema de drenaje pluvial se necesita conocer sus orígenes y componentes, además, de algunos sistemas de drenaje pluvial sostenible, así como el planteamiento de algunas consideraciones para tener en cuenta.

1.1.1 Historia del drenaje pluvial

A lo largo de la historia de la civilización, uno de los problemas más importantes que tuvieron los hombres durante los primeros asentamientos fue el tratamiento del agua proveniente de las lluvias. Se ha encontrado en lugares prehistóricos de Creta y en las antiguas ciudades asirias sistemas de alcantarillado cuya función era recoger el agua de las lluvias y reducir el nivel freático. No obstante, mientras la civilización avanzaba, el drenaje evolucionó para recoger también las aguas servidas provenientes de las letrinas, evitando así su acumulación y las infecciones provenientes por su mal tratamiento (Rosell Campos, 2009).

En la sociedad actual, con el crecimiento urbano, la necesidad de construir viviendas y caminos para unir ciudades ha modificado el ciclo natural del agua. Estas estructuras impermeabilizan la tierra y reducen el área de infiltración, esto incrementa la escorrentía superficial que debe drenarse. Ante esta evolución de la sociedad, los sistemas de drenaje son cada vez más completos y versátiles con la implementación de sistemas como cámaras de bombeo para drenar agua en contrapendiente, estanques de tormentas para retener agua durante las precipitaciones pluviales y sumideros o bocas de tormenta para recolectar el agua de una calle y conducirla mediante tuberías o cunetas hacia otras estructuras del sistema de drenaje.

1.1.2 Clasificación del sistema de drenaje urbano

Según la Norma OS.060 (2006), el drenaje pluvial urbano se puede clasificar en:

1.1.2.1 Sistema de alcantarillado sanitario. Es aquel sistema que abarca la recolección y transporte de aguas residuales domésticas e industriales hacia plantas de tratamiento, donde serán procesadas para minimizar el impacto ambiental negativo.

1.1.2.2 Sistema de drenaje pluvial. Es aquel sistema de drenaje que se encarga de transportar la escorrentía generada a partir de las precipitaciones pluviales, evacuando las aguas a zonas donde no se generen problemas de inundaciones, movimiento de masas, entre otros que pongan en riesgo la vida o el patrimonio de las personas.

1.1.2.3 Sistema de alcantarillado combinado. Es aquel sistema de alcantarillado que conduce las aguas residuales domésticas e industriales y las provenientes de las precipitaciones pluviales. Una de sus principales ventajas es que el costo de construcción es más bajo con respecto a la construcción de dos sistemas independientes. No obstante, el sistema es deficiente porque sus aguas son transportadas hacia una planta de tratamiento, que aumenta el volumen de agua a tratar durante los periodos lluviosos.

1.1.3 Componentes de un sistema de drenaje pluvial

Los componentes principales de un sistema de drenaje pluvial se agrupan de acuerdo a la función que desempeñan, por lo que se tiene las estructuras de captación, conducción, conexión, mantenimiento, vertido o descarga y las obras complementarias.

1.1.3.1 Estructuras de captación. Estructuras cuya función es colectar la escorrentía.

- **Bocas de tormenta o sumideros.** Recolectan la escorrentía que fluye por la superficie a través de rejillas que descargan en las estructuras de conducción o en buzones de inspección. Se ubican generalmente en los cruces de calles y en puntos dónde la altitud sea baja para evitar las zonas de anegamiento (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2006)**.**
- **Vertederos laterales.** Es un corte a lo largo de la pared lateral de un conducto paralelo a la dirección del flujo. El caudal de captación de un vertedero lateral es proporcional a la altura del agua que se encuentra por encima de la cresta del vertedero. Estos vertederos regulan el flujo y desvían el exceso hacia canales, conductos o sistemas de almacenamiento (Rossman, 2017).

1.1.3.2 Estructuras de conducción. Transportan el agua colectada por las estructuras de captación y la llevan hacia las estructuras de vertido, almacenamiento o tratamiento (Comisión Nacional del Agua, 2019).

- **Tuberías.** Generalmente son elementos de sección circular y pueden ser fabricadas de concreto simple o armado, PVC o metal. Estos elementos se usan en sistemas de alcantarillado sanitario y combinado para transportar las aguas servidas y las provenientes de las precipitaciones pluviales.

- **Canales.** Son estructuras cuya función es transportar agua. Pueden ser abiertos o cerrados; fabricados generalmente de concreto, mampostería o tierra; y de forma trapezoidal, rectangular, triangular, circular o combinadas.

  Cuando estos elementos son ubicados a las márgenes de las calles y tienen una sección reducida, se les denomina cunetas, que sirven para transportar el agua de las calles, veredas y viviendas hacia una zona donde no afecten la transitabilidad y al pavimento.

  Cuando estos elementos son de gran tamaño y además de transportar agua de origen pluvial permiten el tránsito vehicular en su sección, son denominados canales vía.

  Cuando estos elementos transportan agua para la agricultura, son denominados canales de riego.

1.1.3.3 Estructuras de conexión y mantenimiento. Se ubican entre las estructuras de conducción y sirven para enlazar y dar mantenimiento a estas (Comisión Nacional del Agua, 2019).

- **Buzones.** Son estructuras que se emplean en los sistemas de alcantarillado sanitario y combinado. Generalmente son de forma cilíndrica, se ubican enterrados, sirven de conexión entre tuberías y para cambiar su dirección. Además, cuando tienen el diámetro suficiente, permiten el ingreso de un operador para darle mantenimiento a la red de drenaje.
- **Interconexión de tuberías.** Son estructuras empleadas cuando existe un cambio de diámetro entre las tuberías o cuando se debe extender la longitud de la red.

1.1.3.4 *Estructuras de vertido*. Son estructuras ubicadas al final de la red de drenaje y sirven para descargar el agua en zonas donde no se generen perjuicios. Además, encauzan la descarga directamente en la corriente receptora y protegen a la red de drenaje de deslaves y obstrucciones cómo se observa en la Figura 1.

1.1.3.5 Obras complementarias. Son estructuras opcionales que no siempre son empleadas en los sistemas de drenaje, pero tienen usos específicos que garantizan un buen funcionamiento del sistema (Comisión Nacional del Agua, 2019).

- **Estaciones de bombeo.** Son obras de drenaje cuya función es conducir el agua desde un nivel inferior a un nivel más alto para que puedan continuar su transporte hasta el vertido final.
- **Sifón invertido.** Permiten cruzar obstáculos como ríos, arroyos, vías de comunicación, túneles y otras tuberías de conducción. Estos elementos conducen agua a presión gracias a una caída en la que se aumenta la presión para poder realizar un ascenso al final del sifón y seguir su curso. Suelen ser de metal y concreto armado.

- **Canoas.** Estructuras que permiten conducir el agua por encima de los obstáculos. Estos elementos mantienen el cauce de la red de drenaje orientándolo a su punto final de descarga. Suelen ser de metal o de concreto armado.
- **Alcantarillas.** Obras que permiten el curso de las aguas hacia su punto de descarga a través de obstáculos como puentes, carreteras o cerros. Pueden ser de metal, concreto armado o PVC.

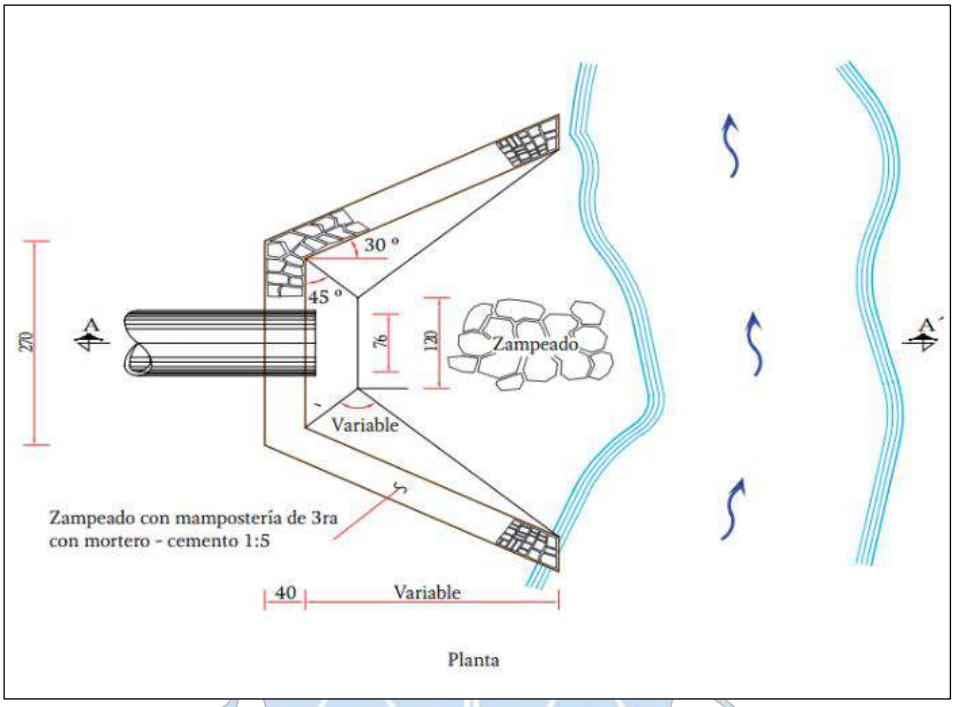


Figura 1. Estructura de vertido típica
Fuente: Comisión Nacional del Agua (2019)

1.1.4 Sistemas de drenaje pluvial sostenible

Los sistemas de drenaje pluvial sostenible contemplan soluciones que permiten un avance económico, conservando el entorno ambiental, sin sacrificar la calidad y pensando a futuro durante el proceso de mejora de las situaciones actuales (Tropote & Fernández , 2015).

- **Parque inundable.** Son superficies que durante los días sin presencia de lluvias actúan como parques comunes, pero durante las precipitaciones pluviales actúan como depósitos que almacenan parte de la escorrentía superficial y la infiltran. Generalmente están ubicados en cotas en depresión para recibir las aguas.
- **Franjas de infiltración.** Son superficies que se encuentran cubiertas de vegetación con pendientes leves para evitar el transporte de sedimentos; al ser permeables, permiten la infiltración del agua y facilitan la evapotranspiración. Se utilizan en las márgenes o en las bermas centrales de las carreteras y cumplen la

función de conducir las aguas provenientes de precipitaciones pluviales hacia otros elementos del sistema de drenaje o a la zona de descarga.

- **Pavimento permeable.** Se trata de pavimentos con gran porosidad cuya velocidad de infiltración es la misma que la del terreno natural. Su función es evitar impermeabilizar grandes zonas con pavimentos tradicionales para aprovechar las capacidades naturales del terreno para reducir la escorrentía final. Pese a sus grandes beneficios durante los eventos de lluvia, tiene la desventaja de no ser recomendable en zonas áridas, donde las partículas finas pueden obstruir los poros reduciendo su capacidad de infiltración.

1.1.5 Consideraciones para el diseño de elementos de drenaje pluvial

El Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2018), con el objetivo de aumentar la durabilidad de los elementos de las vías y garantizar el tránsito vehicular y peatonal, da las siguientes recomendaciones para el diseño de obras de drenaje pluvial:

- Se debe evitar al máximo las concentraciones de agua en las vías porque generan disminución de la velocidad de los vehículos y aumentan la posibilidad de tener accidentes por el hidroplaneo.
- Evitar ubicar obras de drenaje en curvas horizontales donde su radio sea cercano al mínimo.
- Las cunetas deben ser diseñada de tal forma que permitan la conducción de la escorrentía superficial sin que su geometría pueda generar accidentes graves.
- En las zonas donde existan cruces peatonales, se debe verificar que el agua de la escorrentía no afecte el paso.
- En la zona de descarga de los sistemas de drenaje se debe garantizar que las estructuras construidas no produzcan erosión y otros daños.

1.2 Hidrología

Para conocer de cuánta agua se debe proteger una ciudad ante eventos pluviales, es necesario conocer su clima y el área de la cuenca urbana en dónde se desarrollará el análisis de las precipitaciones pluviales. Ante esta premisa, este subcapítulo define aspectos como el clima, cuenca urbana, precipitación pluvial y sentará las bases para la estimación del caudal de diseño de las obras de drenaje pluvial en las ciudades.

1.2.1 Clima

Se define como las condiciones atmosféricas promedio en un periodo largo de tiempo, este tiempo pueden ser meses, años, décadas, etc. En consecuencia, se puede concluir que el clima es general y extendido. Una manera de caracterizar el clima de una zona es promediando la temperatura media mensual durante un periodo de 10 años (SENAMHI, 2019).

1.2.2 Cuenca urbana

Según Norma OS.060 Drenaje pluvial urbano (2006), una cuenca "es el área de terreno sobre la que actúan las precipitaciones pluviométricas y en las que las aguas drenan hacia una corriente en un lugar dado".

Por otra parte, la Comisión Nacional del Agua (2019) menciona que una cuenca urbana se diferencia de una natural o hidrográfica en su análisis, ya que en esta última se analiza la topografía y en las cuencas urbanas se considera adicionalmente la infraestructura urbana, donde las calles, los edificios, parques, etc. influyen en el comportamiento del flujo.

1.2.2.1 Elementos de las cuencas. En las cuencas urbanas, al igual que en las cuencas hidrográficas, se pueden identificar los siguientes elementos:

- **Divisoria de aguas.** Es la línea que pasa por las cumbres que marca el límite de las cuencas vecinas.
- **Red de drenaje.** Son los cauces o calles por donde escurre el agua, se distingue: cauce principal, es el curso con mayor caudal de agua o bien con mayor longitud; y afluentes, son cauces secundarios que desembocan en el principal.
- **Punto de descarga.** Se caracteriza por ser el punto de convergencia del agua de la cuenca, este puede ser el punto de entrega a un cauce más caudaloso o a una zona de anegamiento. Según Ordoñez (2012), por la dirección de la evacuación de las aguas, existen tres tipos de cuencas:
  - Exorreicas o abiertas, drenan sus aguas al mar o al océano.
  - Endorreicas o cerradas, desembocan en lagos, lagunas o salares que no tienen drenaje al mar. En el caso de cuencas urbanas, este tipo de cuencas son conocidas como ciegas.
  - Arreicas o ciegas, las aguas se evaporan y/o se filtran en el terreno ya que no desaguan en ningún río u otro cuerpo hidrográfico.

1.2.2.2 Delimitación de una cuenca urbana. La Comisión Nacional del Agua (2019) sugiere el siguiente procedimiento:

1. Disponer del catastro urbano y topografía en un mismo plano.
2. Definir la divisoria de acuerdo con la topografía.
3. Cuando la divisoria atraviese una manzana, se deberá tomar en cuenta a qué lado de la calle se evacuará el agua de las edificaciones.

1.2.2.3 Características geomorfológicas. Ordoñez (2012) define las siguientes características geomorfológicas.

- **Área.** Está definida como la proyección horizontal de toda el área de drenaje de un sistema de escorrentía dirigido a un mismo cauce natural. Representada con la letra "A" (Ordoñez, 2012).

- **Perímetro.** Es la longitud del contorno del área de la cuenca en la proyección horizontal, que relacionado con el área nos brinda información de la forma de la cuenca. Representada con la letra "P" (Ordoñez, 2012).
- **Longitud mayor del cauce.** Es la longitud del cauce principal de la cuenca, se considera la longitud horizontal. Representada con la letra "L" (Ordoñez, 2012).
- **Ancho promedio.** Es la relación del área y la longitud mayor del cauce. Representada con la letra "B".
- **Pendiente.** Según Villón (2002), es un parámetro importante en el estudio de las cuencas ya que tiene una fuerte relación con la escorrentía superficial y transporte de sedimentos. Razón por la que es uno de los factores, que controla el tiempo de escorrentía y concentración de las precipitaciones pluviales.

  La Comisión Nacional del Agua (2019) sugiere determinar la pendiente con el método de Taylor y Schwarz. Este método considera la longitud del cauce dividido en "n" tramos con pendientes uniformes. Su expresión general es la siguiente:

$$S = \left[\frac{\sum_{i=1}^{n} L_i}{\sum_{i=1}^{n} \frac{L_i}{S_i^{0.5}}} \right]^2 \quad (1.1)$$

Donde:

S = Pendiente media del cauce

L_i= Longitud del tramo i

S_i= Pendiente del tramo i

1.2.3 Precipitación pluvial

Según SENAMHI (2019), una precipitación pluvial se da cuando una gota de agua adquiere tanto peso que no le es posible mantenerse suspendida en el aire, cayendo a la superficie en forma de lluvia.

1.2.3.1 Ciclo del agua. El ciclo del agua se puede resumir en la Figura 2, donde se esquematiza la evaporación de un volumen determinado de agua que se condensa en la atmósfera dando origen a las nubes que transportan esta agua condensada hasta dejarla caer sobre la superficie terrestre en forma de lluvia. El agua que cae sobre la superficie es consumida por los seres vivos que la habitan, y el excedente puede estancarse hasta infiltrarse, ser transportado hacia algún lago, río o al mar; o podría retornar al ambiente a través de la evapotranspiración y la evaporación, haciendo que el ciclo del agua se repita (SENAMHI, 2019).

Por su ubicación geográfica, el Perú se encuentra propenso a sufrir daños a causa de las precipitaciones pluviales ocurridas durante los denominados fenómenos El Niño – Oscilación Sur y El Niño costero, de ahí la importancia de tener en cuenta estos fenómenos. En la Figura 3 se muestran las cuatro regiones de estudio, donde se evalúan los parámetros que determinan la formación de estos fenómenos y en la Tabla 1, se muestra un resumen de las manifestaciones del Fenómeno El Niño.

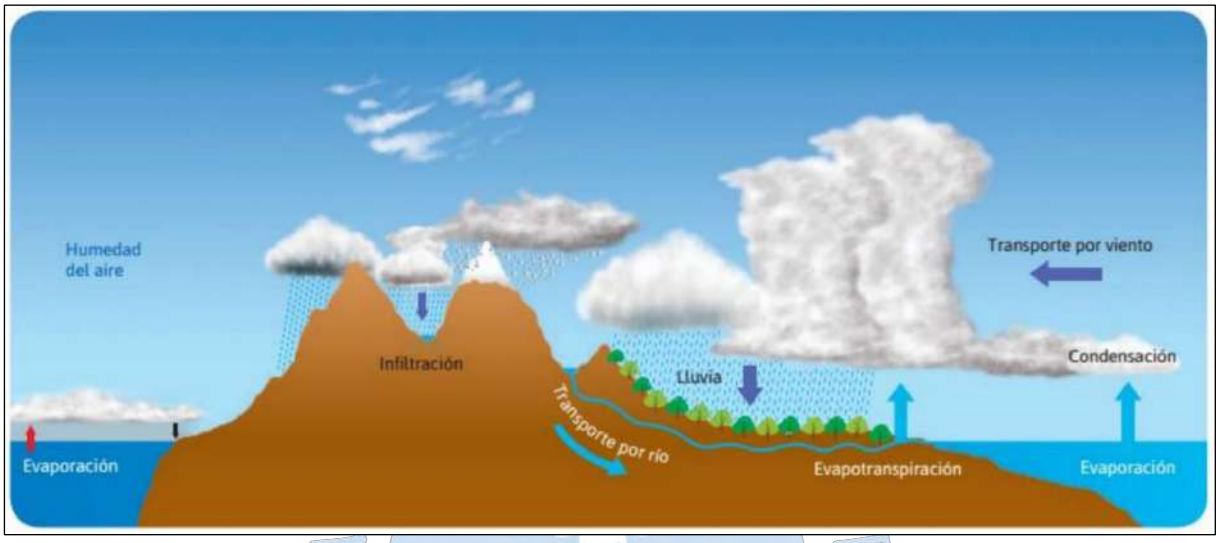


Figura 2. Ciclo del agua
Fuente: SENAMHI (2019)

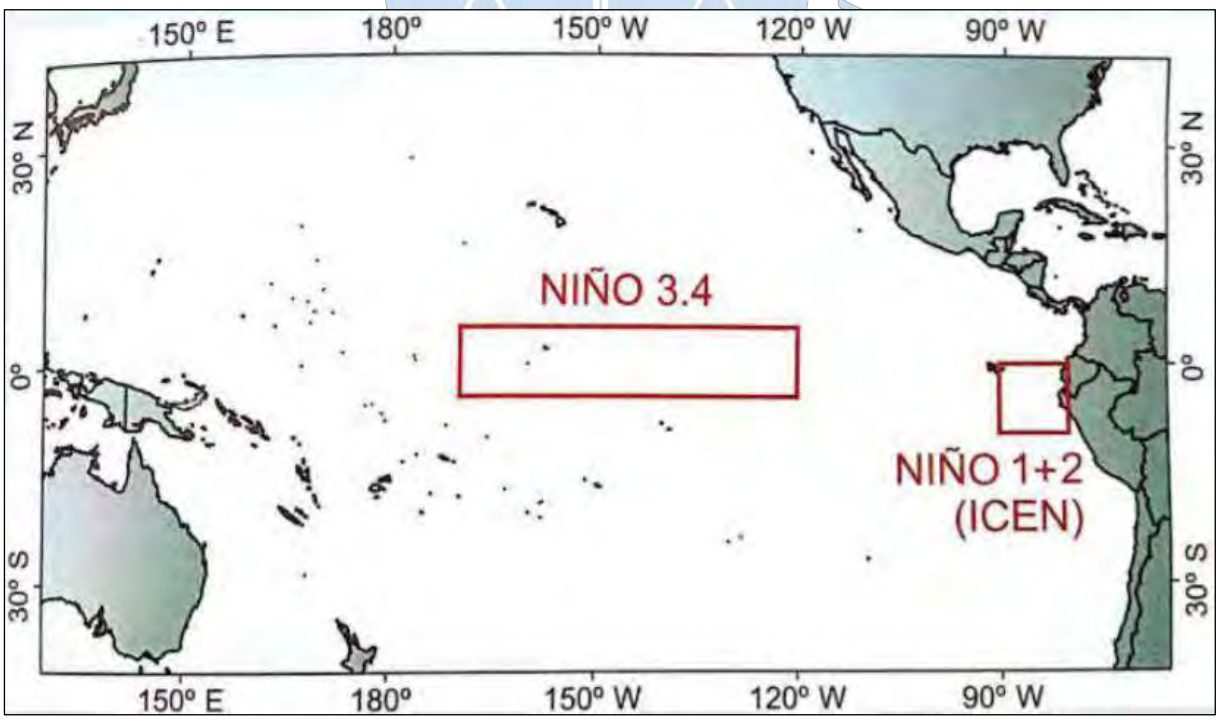


Figura 3. Regiones de estudio para la predicción de El Niño y La Niña
Fuente: Instituto Geofísico del Perú (IGP) (2017)

Tabla 1. Manifestaciones generales del FEN

En el océano	En la atmósfera
Incremento de la temperatura superficial y subsuperficial del mar.	Debilitamiento de los vientos alisios a lo largo de la costa.
Incremento del nivel del mar en la zona de calentamiento.	Incremento de la temperatura del aire en las zonas costeras adyacentes al mar caliente, y en toda la tropósfera.
Disminución del afloramiento de las aguas frías y nutrientes hacia la superficie.	Incremento del contenido de humedad en el aire.
Variación de la salinidad de las aguas costeras.	Incremento de la nubosidad en la estación de verano y primavera.
Incremento del contenido de oxígeno.	Disminución de la presión atmosférica.

Fuente: SENAMHI (2014)

1.2.3.2 El Niño - Oscilación Sur (ENOS). Montero (2019) en su publicación define a este fenómeno como la composición de dos fenómenos, siendo El Niño (EN) la componente oceánica y la Oscilación Sur (OS) la componente atmosférica. Además, comenta que existen distintos tipos de ENOS de acuerdo con la ubicación de las Anomalías de la Temperatura Superficial del Mar (ATSM), estos son: ENOS central que presenta máximas ATSMs en el Pacífico ecuatorial central afectando principalmente a los países de Chile y Argentina y cuya región de estudio se ubica en El Niño 3.4; ENOS oriental que presenta máximas ATSMs en el Pacífico ecuatorial oriental afectando principalmente a los países de Ecuador y el norte peruano y su región de estudio se ubica en El Niño 1+2; y ENOS mixto que presenta máximas ATSMs tanto en el Pacífico ecuatorial central como en el oriental afectando principalmente a los países de Ecuador y el norte del Perú.

1.2.3.3 Fenómeno "El Niño Costero" (FEN costero). Se refiere a cuando la temperatura superficial del mar trimestral en la región Niño 1+2 frente a la costa norte del Perú excede su promedio en más de 0.4°C por tres o más meses consecutivos (Martínez & Takahashi, 2017); mientras que Montero (2019) conceptualiza a este fenómeno como un evento climático con efectos similares a la fase cálida del ENOS, pero presentando altas temperaturas del mar en las costas de Ecuador y el norte de Perú y condiciones normales o frías en el Pacífico ecuatorial central.

1.2.3.4 Relación de eventos El Niño históricos. En los datos estadísticos del Perú proporcionados por el Instituto Nacional de Defensa Civil (2017) se afirma que desde el año 1578 hasta el 2017, se ha presentado en 44 ocaciones el fenómeno El Niño en el rango de magnitud débil a extraodinaria, ocasionando daños personales y materiales. De acuerdo con la publicación de Rocha (2011), en el año 1578 ocurrió el primer Mega Niño en el Perú, afectando principalmente a los departamentos de Lambayeque, La Libertad y Piura. En la Tabla 2 se muestra el resumen cronológico de los fenómenos El Niño que han ocurrido en el Perú, clasificandolos por débil, moderado, fuerte y extraorinario.

En cuanto a los eventos El Niño ocurridos en 1925 y 1997-1998, Martínez & Takahashi (2017) afirman que, por sus características, fueron fenómenos El Niño costero como el ocurrido en el año 2017.

Tabla 2. Resumen cronológico del Fenómeno El Niño en el Perú: 1578 – 2017

Débil	Moderado	Fuerte	Extraordinario
1952	1932	1933	1578
1953	1939	1941	1720
1958	1943	1957	1878
1969	1951	1965	1891
1976	1994 - 1995	1972	1925*
1977	1969		1982-83
1993	1986 - 1987		1997-98*
1994	1991 - 1992		2017*
2002	1994 - 1995		
2003	2002 - 2003		
2004	2006 - 2007		
2008	2009 - 2010		
2009	2011		
2013	2012		
2014			
2015			
2016			

Fuente: Instituto Nacional de Defensa Civil, INDECI (2017)
Nota: (*) Eventos denominados como “El Niño costero” según Martínez & Takahashi (2017) a partir del año 2017

1.2.4 Estimación del caudal de diseño

El Ministerio de Transporte y Comunicaciones (2008) menciona distintos métodos para la estimación de caudales, como el método IILA, el método racional, el hidrograma unitario y el sistema de modelamiento hidrológico (HMS). Dada la extensión de la cuenca de estudio, que se detalla más adelante, se cumple con la condición principal de contar con un área menor a 13 km² para usar el Método Racional, obteniendo estimaciones confiables para el cálculo del caudal de diseño.

Como se muestra en la siguiente expresión, este método estima el caudal máximo de escurrimiento a partir de la intensidad de la lluvia de diseño, que es dependiente del tiempo de concentración; el área de la cuenca y un coeficiente “c” que abarca diversas características de la cuenca (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2008).

$$Q = \frac{ciA}{3.6} \quad (1.2)$$

Donde:

Q = Caudal máximo de diseño (m³/s)

c = Coeficiente de escorrentía

i = Intensidad de la lluvia de diseño (mm/h)

A = Área de la cuenca (km²)

3.6 = Coeficiente para convertir unidades de mm*km²/h a m³/s

1.2.4.1 Coeficiente de escorrentía. Este valor se establece para cada periodo de retorno evaluado y de acuerdo a las características de la cuenca de estudio, es decir, se toma en cuenta la cobertura que presenta, el tipo de suelo y su pendiente como se muestra en la Tabla 3 (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2008).

Tabla 3. Coeficientes de escorrentía para ser utilizados en el Método Racional

Características de la superficie	Período de retorno (años)						
	2	5	10	25	50	100	500
Áreas Urbanas							
Asfalto	0.73	0.77	0.81	0.86	0.9	0.95	1
Concreto/techos	0.75	0.8	0.83	0.88	0.92	0.97	1
Zonas verdes (jardines, parques, etc.) Conducción pobre (cubierta de pasto menor de 50% del área)							
Plano 0-2%	0.32	0.34	0.37	0.4	0.44	0.47	0.58
Promedio 2-7%	0.37	0.4	0.43	0.46	0.49	0.53	0.61
Pendiente superior a 7%	0.4	0.43	0.45	0.49	0.52	0.55	0.62
Condición promedio (cubierta de pasto menor del 50% al 75% del área)							
Plano 0-2%	0.25	0.28	0.3	0.34	0.37	0.41	0.53
Promedio 2-7%	0.33	0.36	0.38	0.42	0.45	0.49	0.58
Pendiente superior a 7%	0.37	0.4	0.42	0.46	0.49	0.53	0.6
Condición buena (cubierta de pasto mayor del 75% del área)							
Plano 0-2%	0.21	0.23	0.25	0.29	0.32	0.36	0.49
Promedio 2-7%	0.29	0.32	0.35	0.39	0.42	0.46	0.56
Pendiente superior a 7%	0.34	0.37	0.4	0.44	0.47	0.51	0.58
Áreas no desarrolladas							
Áreas de cultivos							
Plano 0-2%	0.31	0.34	0.36	0.4	0.43	0.47	0.57
Promedio 2-7%	0.35	0.38	0.41	0.44	0.48	0.51	0.6
Pendiente superior a 7%	0.39	0.42	0.44	0.48	0.51	0.54	0.61

Tabla 3. Coeficientes de escorrentía para ser utilizados en el Método Racional (continuación)

Pastizales							
Plano 0-2%	0.25	0.28	0.3	0.34	0.37	0.41	0.53
Promedio 2-7%	0.33	0.36	0.38	0.42	0.45	0.49	0.58
Pendiente superior a 7%	0.37	0.4	0.42	0.46	0.49	0.53	0.6
Bosques							
Plano 0-2%	0.2	0.25	0.28	0.31	0.35	0.39	0.48
Promedio 2-7%	0.31	0.34	0.36	0.4	0.43	0.47	0.56
Pendiente superior a 7%	0.35	0.39	0.41	0.45	0.48	0.52	0.58

Fuente: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2006)

1.2.4.2 Tiempo de concentración. Se define como el tiempo que tarda una gota de agua para ir desde el punto hidráulicamente más lejano hasta la salida de la cuenca. Según la Norma OS.060 Drenaje pluvial urbano (2006), este tiempo no debe ser menor a 10 minutos. Para su cálculo, en la Tabla N° 05 del Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje (2008) se muestran distintos métodos para determinar este parámetro. En esta ocasión, se empleará la formulación de California Culverts Practice (1942).

$$t_c = 0.0195\left(\frac{L^3}{H}\right)^{0.385} \quad (1.3)$$

Donde:

t_c= Tiempo de concentración (min).

L= Longitud del curso de agua más largo (m).

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

1.2.4.3 Intensidad de la lluvia de diseño. Para determinar este parámetro, primero debe construirse la matriz de curvas IDF (Intensidad – Duración – Frecuencia). Estas curvas IDF son definidas por el Ministerio de Transporte y Comunicaciones (2008) como “un elemento de diseño que relaciona la intensidad de la lluvia, la duración de esta y la frecuencia con la que se puede presentar, es decir su probabilidad de ocurrencia o el periodo de retorno” (pág. 27).

De acuerdo con Farías & Ruiz (2018) para poder determinar las curvas IDF y su expresión matemática, se puede seguir el siguiente procedimiento:

1. Recopilar y organizar registros históricos pluviográficos o pluviométricos. En caso de que falten datos, se procede a rellenar.
2. Ejecutar las modelaciones probabilísticas. El Ministerio de Transporte y Comunicaciones (2008) recomienda usar las siguientes funciones: distribución Normal, distribución Log Normal 2 parámetros, distribución Log Normal 3

parámetros, distribución Gamma 2 parámetros, distribución Gamma 3 parámetros, distribución Log Pearson tipo III, Distribución Gumbel y Distribución Log Gumbel.

3. Efectuar y evaluar las pruebas de bondad de ajustes. Entre las más conocidas se tiene la del chi-cuadrado y la Kolmogorov – Smirnov (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2008, pág. 23).
4. Se escoge el modelo que mejor se ajuste a los datos, posterior a ello, se predicen los valores de intensidad versus períodos de retorno para diferentes duraciones.
5. Graficar curvas IDF.
6. Ajustar las curvas IDF a una expresión matemática. El Ministerio de Transporte y Comunicaciones (2008) sugiere el modelo general que tiene la siguiente expresión:

$$I = \frac{a}{(D+b)^m} \tag{1.4}$$

Donde:

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

D= Duración (min).

a, b, m = Coeficientes que varían con el lugar y el período de retorno.

Tras haber obtenido la matriz de curvas IDF, se determina la intensidad de lluvia de diseño para el periodo de retorno escogido y en el tiempo de concentración de la cuenca.

Finalmente, se emplea la formulación del Método Racional y se obtiene el caudal de diseño para un periodo de retorno específico.

1.2.4.4 Caudal vs periodo de retorno. Es el resultado del análisis hidrológico especifico de una cuenca. En el diseño de sistemas de drenaje pluvial esta información nos permite diseñar las estructuras requeridas para conducir, almacenar y evacuar la escorrentía superficial.

1.3 Hidráulica

Tras haber determinado el caudal de diseño con el que se deben diseñar las obras de drenaje pluvial, es necesario conocer los parámetros generales de diseño. Además, se deben tener claras las definiciones y ecuaciones con las que se diseñan las estructuras de captación, conducción, retención y las áreas de infiltración.

1.3.1 Parámetros para el diseño de una obra de drenaje

La normativa peruana vigente define que las obras de drenaje pluvial deben cumplir con los siguientes parámetros de diseño:

1.3.1.1 Periodo de retorno. Se define como el tiempo medio en el cual una precipitación es superior o igual, una vez cada cierta cantidad de años. Para el diseño de obras

de drenaje pluvial, la Norma OS.060 Drenaje pluvial urbano (2006) especifica que cuando se trata de sistemas de drenaje urbano menor, el periodo de retorno deberá considerarse de 2 a 10 años, mientras que, en sistemas de drenaje urbano mayores, este será no menor a 25 años.

1.3.1.2 Pendiente en vías. Dependiendo de la pendiente del bombeo, se sugiere una pendiente longitudinal mínima de 0.5% con el objetivo de asegurar el drenaje de las aguas superficiales, excepcionalmente, sólo si la pendiente de bombeo es de 2.5%, la pendiente longitudinal podrá ser 0.0% (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2018).

1.3.1.3 Pendiente en cunetas. Se sugieren dos pendientes longitudinales mínimas. Cuando la cuneta se encuentra revestida, la pendiente será de 0.2%, y sin revestimiento, será de 0.5% (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2018).

1.3.1.4 Características de las tuberías. La Norma OS.060 Drenaje pluvial urbano (2006) especifica que el sistema de alcantarillado pluvial está compuesto por colectores subterráneos y canales que evacúan las aguas hacia una zona de descarga. Cuando estas aguas son evacuadas por medio de colectores subterráneos, estos deben tener ciertas características de ubicación, diámetro, resistencia, tipo de tubería, altura de relleno, pendiente mínima y diseño hidráulico.

- **Ubicación.** No deben estar bajo las calzadas y las bermas. Cuando sea inevitable debe de instalarse registros con accesos fuera de los límites determinados por las bermas. Los quiebres producto de deflexiones deben tomarse con curvas circulares y no deben ser superiores a 10 veces el radio. En caso no se pueda evitar, el quiebre debe realizarse con una cámara de registro en ese punto.
- **Diámetro.** Los diámetros mínimos son de 0.50 m para colectores troncales, 0.40 m para troncales laterales y conductores laterales. En cuanto al diámetro máximo, este dependerá del material con el que sea fabricado.
- **Resistencia.** Se debe cumplir con las especificaciones técnicas descritas en las Normas Técnicas Peruanas (NTP) vigentes o en las normas AWWA, DIN o ASTM dependiendo del país de fabricación de las tuberías.
- **Tipo de tubería.** Se tiene tuberías fabricadas de asbesto cemento, concreto armado centrifugado, hierro fundido dúctil, concreto pretensado centrifugado, PVC, concreto armado vibrado con interior de polietileno y poliéster reforzado con fibra de arcilla vitrificada.
- **Altura de relleno.** La altura mínima a la clave desde la rasante de la calzada será de 1m.
- **Pendiente mínima.** Deberá ser aquella que satisfaga la velocidad mínima de 0.90m/s fluyendo a tubo lleno.
- **Diseño hidráulico.** Para su diseño se puede seguir los criterios de diseño de conductos cerrados. Se empleará la fórmula de Manning con los coeficientes de rugosidad correspondientes al tipo de material de la tubería.

1.3.1.5 Coeficiente de Manning. El coeficiente de rugosidad de Manning es un índice que determina la resistencia de un fluido durante su desplazamiento a lo largo de un conducto. En la Tabla N° 09 del Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje (2008) se muestran los valores recomendados del coeficiente de rugosidad de Manning.

1.3.1.6 Velocidad permisible. La velocidad máxima para tuberías de alcantarillado debe ser menor a la que se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4. Velocidad máxima para tuberías de alcantarillado

Material de la Tubería	Velocidad resistente de la tubería
Asbesto Cemento	3.00 m/s
Hierro Fundido Dúctil	3.00 m/s
Cloruro de Polivinilo	6.00 m/s
Poliéster reforzado con fibra de vidrio	3.00 m/s
Arcilla Vitrificada	3.50 m/s
Concreto Armado de: 140 Kg/cm²	2.00 m/s
210 kg/cm²	3.30 m/s
250 kg/cm²	4.00 m/s
280 kg/cm²	4.30 m/s
315 kg/cm²	5.00 m/s
Concreto Armado de > 280 Kg/cm²	6.60 m/s

Fuente: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2006)

Nota: Las velocidades mostradas consideran agua con fragmentos de arena y grava

1.3.2 Diseño de estructuras de captación y conducción

Pese a existir una gran cantidad de estructuras de captación y conducción, por su simpleza y capacidad de adaptación, se definen a continuación el diseño de vertederos laterales, tuberías y canales. Estas estructuras serán empleadas en el desarrollo de propuestas de mitigación en el presente estudio.

1.3.2.1 Vertederos laterales. Según Rossman (2017), el cálculo de estas estructuras se da como:

$$Q = C_w L_e^{0.83} H_e^{1.67} \tag{1.5}$$

Dónde:

Q= Caudal de descarga (m^3/s)

C_w= Coeficiente del vertedero: 0.83 – 1.44 ($m^{0.5}/s$)

L_e= Longitud del vertedero (m)

H_e= Altura efectiva de agua o la diferencia entre el tirante y la cresta (m)

1.3.2.2 Tuberías y canales. Para el diseño de conductos a flujo libre, se seguirá el cálculo descrito por Villón (2007) donde se hace uso de una combinación entre la fórmula de Manning y la ecuación de continuidad. Cabe resaltar que el uso de esta formulación no se adapta al diseño de conductos que trabajan a presión.

$$Q = \frac{1}{n} A R^{2/3} S^{1/2} \tag{1.6}$$

Donde:

Q = Caudal o gasto (m³/s)

A = Área de la sección transversal (m²)

R = Radio hidráulico (m)

S = Pendiente de la línea de energía (m/m)

n = Coeficiente de rugosidad de Manning

1.3.3 Diseño de estructuras de retención

El cálculo del volumen de las estructuras de almacenamiento se realizará maximizando el volumen de agua que puedan almacenar de acuerdo con el área disponible y su uso.

Para el caso de estanques de tormentas de concreto, se realizarán en un solo nivel. En el caso de parques inundables, estos tendrán un estanque de almacenamiento inferior cuya función será la de almacenar agua durante las precipitaciones con periodos de retorno más cortos con el fin de no mantener un tirante de agua definido sobre los jardines, evitando así que se marchiten y dejando el estanque del nivel superior solo para las precipitaciones más fuertes.

En cuanto a los taludes de los parques inundables, estos dependerán de las características del suelo y deben tener la menor pendiente posible para facilitar el acceso de los usuarios.

1.3.4 Diseño de un área de infiltración

Uno de los sistemas de drenaje urbano sostenibles más populares son las franjas de infiltración seguido de los parques de infiltración. Estos elementos captan la escorrentía de una determinada área de influencia, almacenan parte de su volumen e infiltran de manera constante el mismo.

La Dirección de Obras Hidráulicas de Chile (2013) especifica que, para diseñar estas franjas, es necesario tener en cuenta el volumen de captación requerido para determinar las dimensiones de las estructuras; en este caso, al igual que en las estructuras de retención; el volumen está limitado a la disponibilidad de las áreas en la cuenca. No obstante, es muy

importante también la capacidad de infiltración del suelo, pues de esto depende el tiempo que estarán estancadas estas aguas. Tanto como para franjas de infiltración ubicadas en las bermas centrales como para parques inundables, el caudal de infiltración se calcula como:

$$Q_{inf} = 0.001kiA \tag{1.7}$$

Donde:

Q_{inf} = Caudal de infiltración (m³/h)

k= Coeficiente de conductividad hidráulica (mm/h)

i= Gradiente hidráulico

A= Área permeable (m²)

0.001= Coeficiente para convertir unidades de mm*m²/h a m³/h

UNIVERSITAS STUDIORUM PIURENSIS

Capítulo 2
Zona de estudio

Este capítulo aborda características generales de la zona de estudio y el desarrollo de la hidrología de la cuenca de interés concluyendo con la obtención de caudales para periodos de retorno de 10, 25 y 50 años.

2.1 Datos generales

Para lograr caracterizar y conocer la zona de estudio, es necesario conocer su ubicación geográfica, población, topografía, características del suelo, clima y el sistema de drenaje pluvial con el que cuenta actualmente. Además, en este subcapítulo se dan a conocer las consecuencias observadas por la falta de un sistema de drenaje pluvial en la cuenca estudiada.

2.1.1 Ubicación

La zona de estudio es la cuenca urbana Poder Judicial que incluye a las urbanizaciones populares: Nuevo Sullana, Nuevo Horizonte Sector A, Villa Perú Canadá e Isaías Vásquez Morán; además, parte de las urbanizaciones populares Nueva Esperanza, Virgen de las Mercedes y Nuevo Horizonte Sector B, ubicadas en el sector denominado Nuevo Sullana, como se muestra en la Figura 4, en el distrito y provincia de Sullana, departamento de Piura (INEI, 2017).

De manera complementaria, se presenta el Plano 01, correspondiente a la ubicación y localización de la zona de estudio. Este plano se complementa con el Plano 02 que presenta la delimitación de las urbanizaciones populares mencionadas y los nombres de las calles que lo componen (ambos planos fueron elaborados a partir del catastro del portal de SIGRID-CENEPRED (2019)).

2.1.2 Población

La provincia de Sullana cuenta con una población de 311 454 habitantes, siendo la segunda provincia más poblada después de Piura, con una tasa de crecimiento poblacional promedio anual de 0.8% (INEI, 2018). De acuerdo con el portal web de SIGRID-CENEPRED (2019), que posee información del IV Censo de Vivienda y IX de Población, la cuenca urbana Poder Judicial al año 2017 alberga aproximadamente a 7 670 habitantes (ver Figura 5).

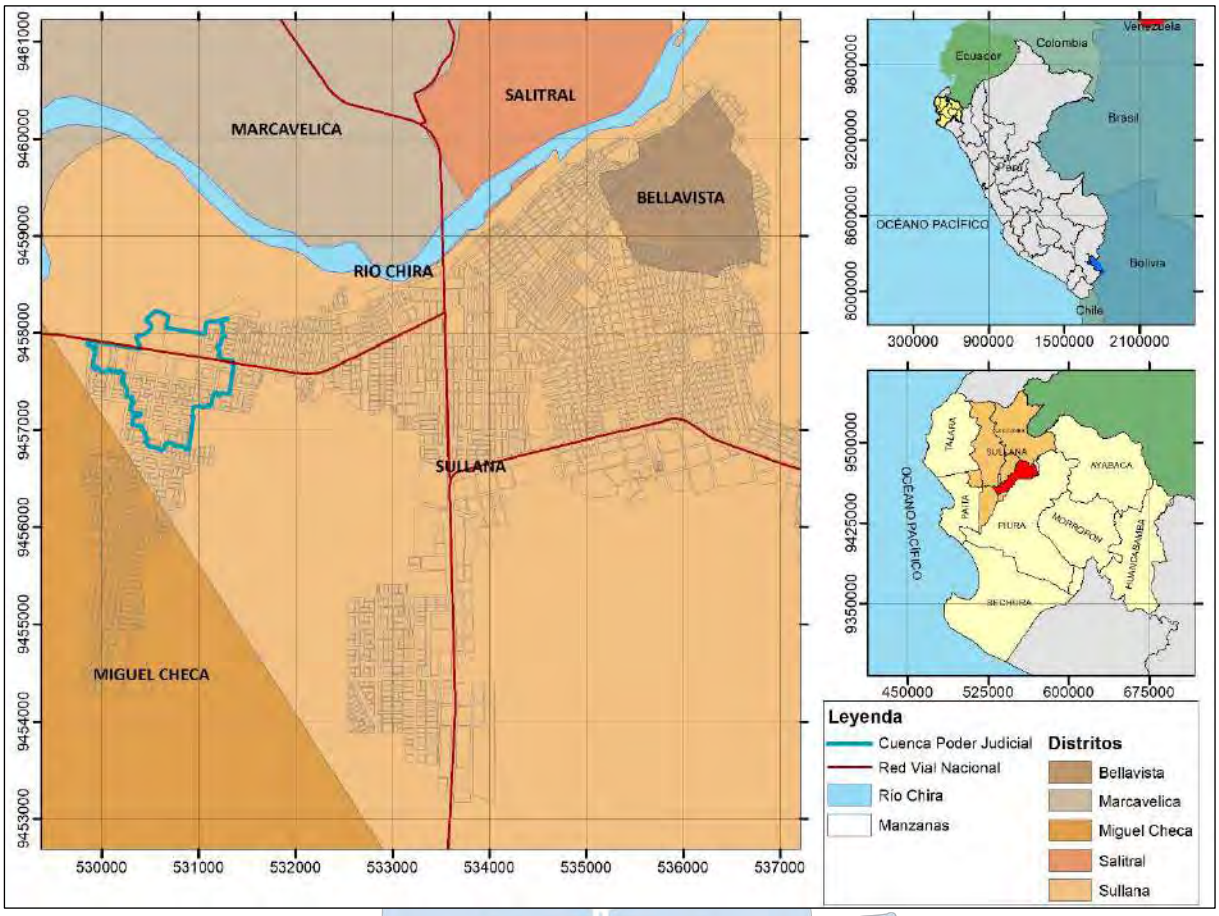


Figura 4. Ubicación geográfica de la cuenca urbana de estudio

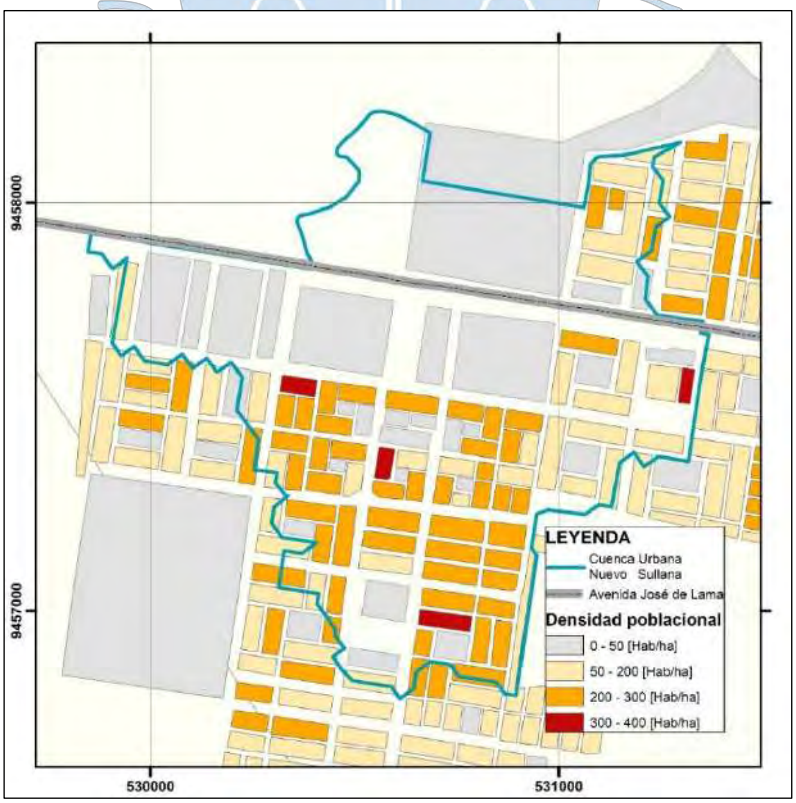


Figura 5. Densidad poblacional por manzana

2.1.3 Topografía

La topografía de la zona de estudio se caracteriza por ser plana con desniveles muy leves, siendo que, las cotas se encuentran entre los 63.2 m s.n.m. y los 71.8 m s.n.m. Los caminos en su mayoría son trochas de tierra y existe un pequeño porcentaje que corresponde a caminos pavimentados con asfalto y adoquines de concreto (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2020). Cabe resaltar que las cotas mínimas se encuentran muy próximas a la primera cuadra de la Av. Tangarará, donde se ubica el Poder Judicial sede Sullana, ocasionando que esta avenida sea el punto más bajo de la zona de estudio. En la Figura 6 se presenta un mapa de elevaciones de la cuenca urbana.

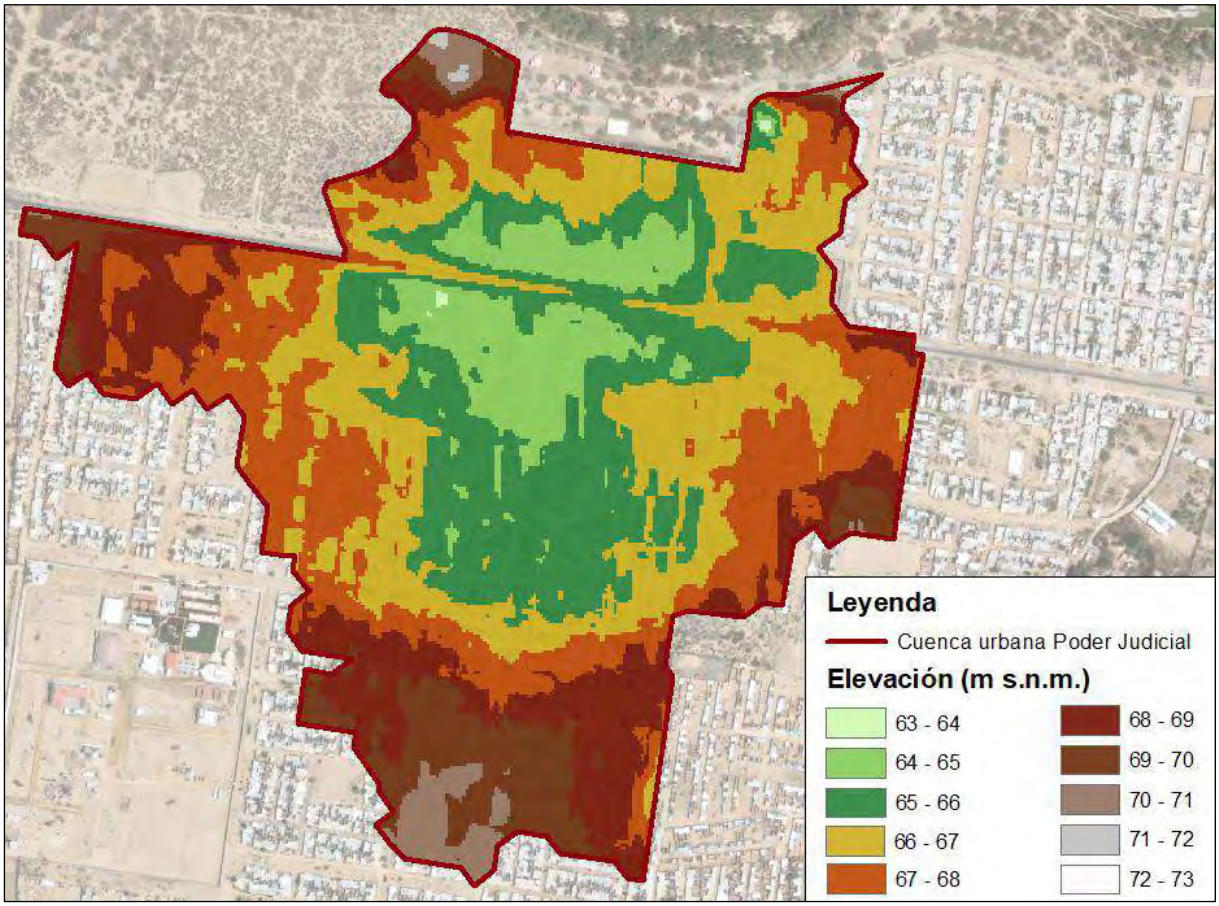


Figura 6. Elevaciones de la cuenca urbana Poder Judicial

2.1.4 Características del suelo

Según la calicata C-SU-08 publicada en el documento Zonificación Sísmica - Geotécnica de la ciudad de Sullana (Instituto Geofísico del Perú, 2019), el sector Nuevo Sullana se caracteriza por tener suelos clasificados como arenas mal graduadas de consistencia suelta y muy suelta, común en zonas donde predominan los depósitos eólicos que se encuentran en gran parte ubicados en la margen izquierda del río Chira, en donde se encuentra el sector Nuevo Sullana como se muestra en la Figura 7. En cuanto a la conductividad hidráulica de este

tipo de suelo, Rossman & Huber (2016) mencionan que es de aproximadamente 120 mm/h (pág. 114).

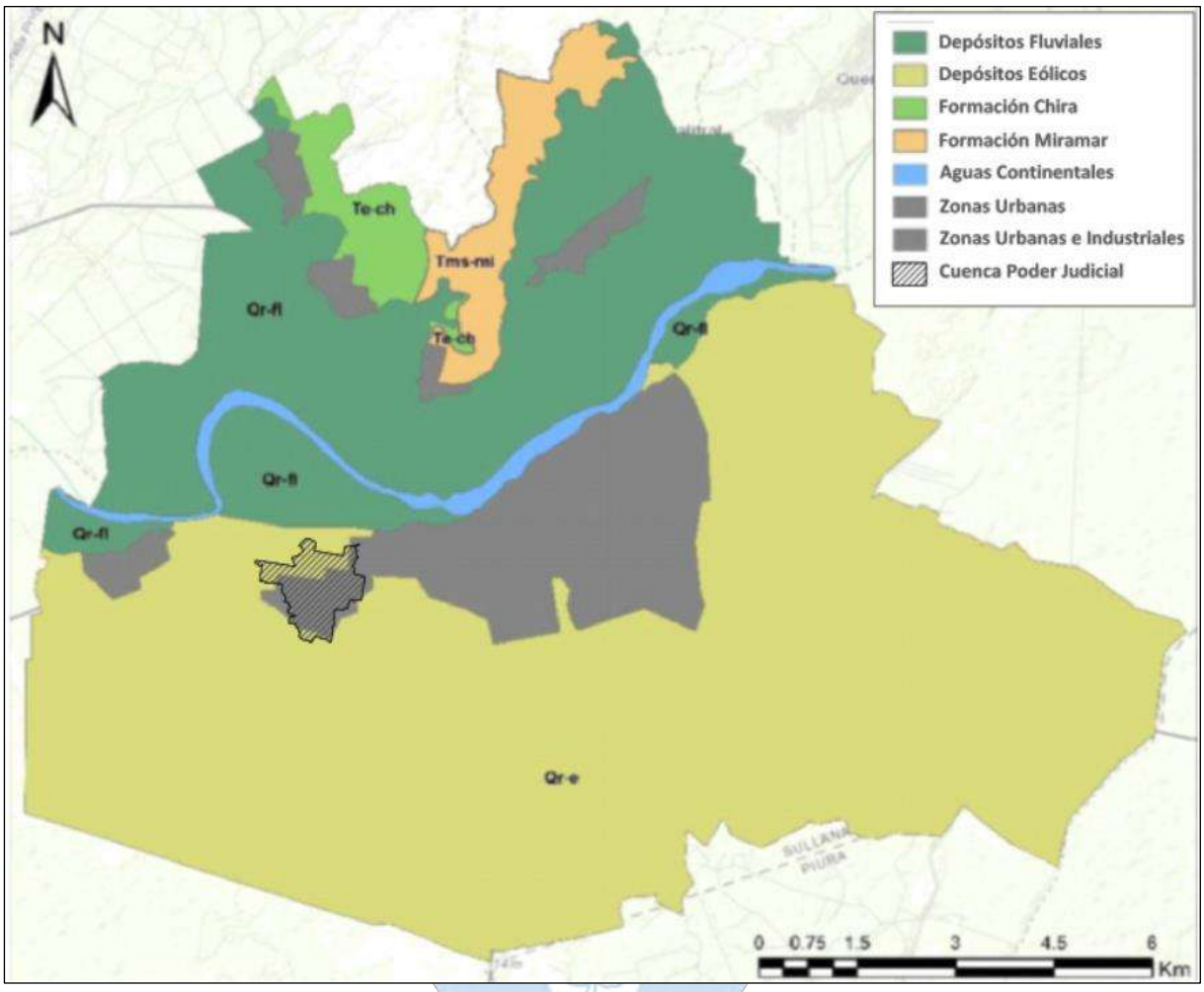


Figura 7. Unidades litoestratigráficas de la ciudad de Sullana
Fuente: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2020)

Según el Plan de Desarrollo Urbano - Sullana (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2020), la zona de estudio presenta una capacidad portante muy baja, con valores inferiores a 1 Kg/cm², mientras que, el riesgo por movimiento de masas es desestimado, dada la ausencia de formaciones rocosas, la pendiente del terreno y el tipo de suelo.

2.1.5 Clima

El clima en Sullana es variable. La temperatura máxima media del aire varía entre 28.7°C y 34.1°C a lo largo del año, alcanzando los valores más altos durante el mes de febrero y los más bajos durante el mes de agosto. En cuanto a la temperatura mínima, su comportamiento a lo largo del año es similar al de la temperatura máxima, con valores medios que van entre 17.1°C y 22.8°C (CENEPRED, 2017).

En cuanto a las precipitaciones, el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2020) afirma que, en Sullana, las lluvias son estacionarias durante el verano alcanzando una precipitación multianual del orden de 98.2 mm en el periodo 1972 – 2019 (excluyendo los fenómenos de los años 1983, 1998 y 2017). No obstante, como se mencionó en el Capítulo 1, durante los fenómenos El Niño, esta cifra se incrementa notablemente como en los años 1983, 1998 y 2017, en los que se registraron precipitaciones anuales del orden de 2324.5 mm, 1971.0 mm y 654.1 mm, respectivamente.

2.1.6 Sistema de drenaje pluvial actual

Según el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2020), la zona de estudio se encuentra en un nivel de peligro medio ante inundaciones de origen pluvial (ver Figura 8) dado que carece de un sistema de drenaje y no tiene vías pavimentadas con pendiente favorable para la evacuación de la escorrentía.

El PDU también menciona que la avenida Tangarará es un punto crítico que durante la temporada de lluvias se ve afectado. Además, indica que la zona es plana con pendientes mínimas y depresiones que forman puntos de anegamiento que se inundan durante las precipitaciones. Esta información se ha podido verificar en los recorridos de campo.

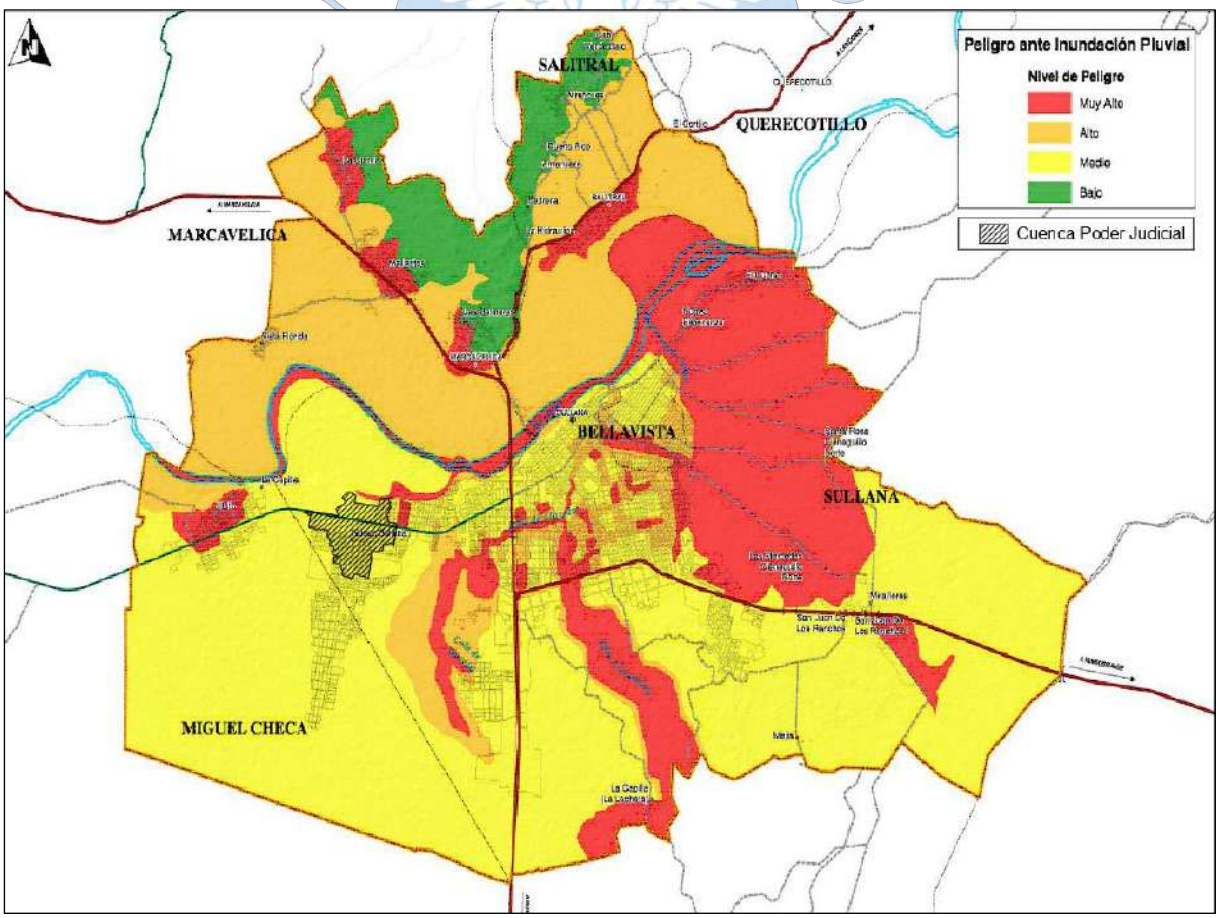


Figura 8. Mapa de peligro ante inundación pluvial

Fuente: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2020)

2.1.7 Consecuencias de la ausencia de un sistema de drenaje pluvial

Un mal manejo de las aguas pluviales repercute en daños en la infraestructura existente de la zona y en la población que la reside; bajo esta premisa, a continuación, se presentan las consecuencias en la infraestructura y en la salud de la población de la zona de estudio ante la ausencia de un sistema de drenaje pluvial.

2.1.7.1 Consecuencias en la infraestructura. Los pocos tramos de carreteras pavimentadas se desintegran por consecuencia de un mal manejo del drenaje pluvial. El agua estancada acorta su tiempo de vida útil, lo que genera la necesidad de realizar mantenimientos periódicos con intervalos de tiempo quizá menores a los contemplados.

Esta situación se aprecia en gran medida en la Figura 9. Esta imagen muestra el punto de anegamiento ubicado en la Av. Tangarará, entre el colegio María Auxiliadora y el Poder Judicial de Sullana.

Figura 9. Inundación Av. Tangarará – Sullana 03/03/2016
Fuente: Del Chira Noticias (2016)

El Plan de Desarrollo Urbano - Sullana (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2020), en su Mapa 1.3-61, muestra que las habilitaciones urbanas en la zona de estudio se encuentran en un nivel de riesgo alto ante las precipitaciones pluviales, esto se debe a que el 78.58% de las viviendas son de quincha y el 3.47% son de adobe, materiales vulnerables a las lluvias como se observa en la Figura 10.

Además, como parte del desarrollo de esta tesis, se hizo un reconocimiento de los puntos de anegamiento de la zona de estudio con el cese de la lluvia ocurrida el día 02/03/2021. Este reconocimiento se muestra en el panel fotográfico detallado en el Apéndice G.

Asimismo, se conversó con los moradores de la zona y afirman que, durante los periodos de lluvias fuertes, suelen destapar los buzones de alcantarillado sanitario para que sus calles no se inunden y el empozamiento de agua atraiga plagas de grillos y mosquitos. Esta acción repercute en la saturación del sistema de drenaje sanitario, haciendo que colapse.

Figura 10. Vivienda a punto de colapsar

2.1.7.2 Consecuencias en la vida y salud. El estancamiento de agua de lluvia posterior al cese de las precipitaciones pluviales ocasiona problemas de salud en los habitantes. Este estancamiento emite malos olores y genera el ecosistema adecuado para la proliferación de insectos y vectores como el Aedes aegypti, zancudo que transmite el dengue, zika y chikungunya. Esta situación se refleja en el reporte de la semana epidemiológica N° 52 de la DIRESA (2017), donde registra que, en el año 2017 se notificaron 48 381 casos de dengue, mientras que en el año 2016 se notificaron apenas 7 594 casos.

2.2 Hidrología

En la región Piura las precipitaciones más importantes son producidas por el ENOS como se comentó en el punto 1.2.3. No obstante, la región también recibe precipitaciones originadas por trasvase atmosférico, un fenómeno que se da cuando las masas de agua contenidas en las nubes y la humedad cruzan la cordillera de los andes y llegan a la costa. (SENAMHI, 2018)

2.2.1 Cuenca urbana

Tras haber definido en el apartado 1.2.2, a continuación, se delimitará y caracterizará la cuenca urbana de estudio.

2.2.1.1 Delimitación. La delimitación de la cuenca se realizó a partir de la topografía de la zona de estudio con la que se delimitó la cuenca hidrográfica; y al sobreponer el plano

catastral de Sullana se perfiló la cuenca urbana. Es necesario resaltar que, tras el análisis, se concluyó que la cuenca delimitada es ciega. El punto de drenaje ciego, identificado a partir de la topografía natural de la zona, es aquél que se encuentra en el centro de la manzana que alberga a la sede del Poder Judicial de Sullana ubicado en la avenida Tangarará. Con esto en cuenta, se le asigna el nombre de cuenca urbana Poder Judicial al área de estudio.

En la Figura 11 y la Figura 12 se muestra la cuenca hidrográfica y la cuenca urbana respectivamente, con el punto de drenaje ciego mencionado. En el Plano 03 y el Plano 04, se muestra con mayor detalle las delimitaciones mostradas en las figuras mencionadas.

2.2.1.2 Características geomorfológicas. En la Tabla 5 se muestra el resumen de las características geomorfológicas de la cuenca urbana de estudio.

Tabla 5. Valores de las características geomorfológicas de la cuenca urbana Poder Judicial

Área	112.84	ha
Perímetro	6535.77	m
Longitud mayor del cauce	941.13	m
Ancho promedio	1199.01	m
Cota mayor	70.20	m s.n.m.
Cota menor	64.17	m s.n.m.
Pendiente	0.33	%

2.2.1.3 Usos del suelo. El Plan de Desarrollo Urbano - Sullana (2020), muestra en el Mapa 1.8-9 los usos de suelo actuales de Sullana. Aquí se muestra que en el sector Nuevo Sullana predomina el uso de vivienda, seguido de otros usos y educación. En la Tabla 6 se muestra el área y el porcentaje del uso de suelo del sector Nuevo Sullana y en la Figura 13 se muestra un recorte del mapa mencionado de la zona donde se ubica la cuenca urbana Poder Judicial.

Tabla 6. Uso de suelo del sector Nuevo Sullana

Tipo	Área (ha)	% de Suelo
Vivienda	418.45	93.44%
Comercio	0.29	0.06%
Industria	0.27	0.06%
Dedicado a equipamientos	8.96	2.00%
Reserva para Equipamiento	4.75	1.06%
Agrícola	0.00	0.00%
Eriazo	15.09	3.37%
Total	447.81	100.00%

Fuente: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2020)

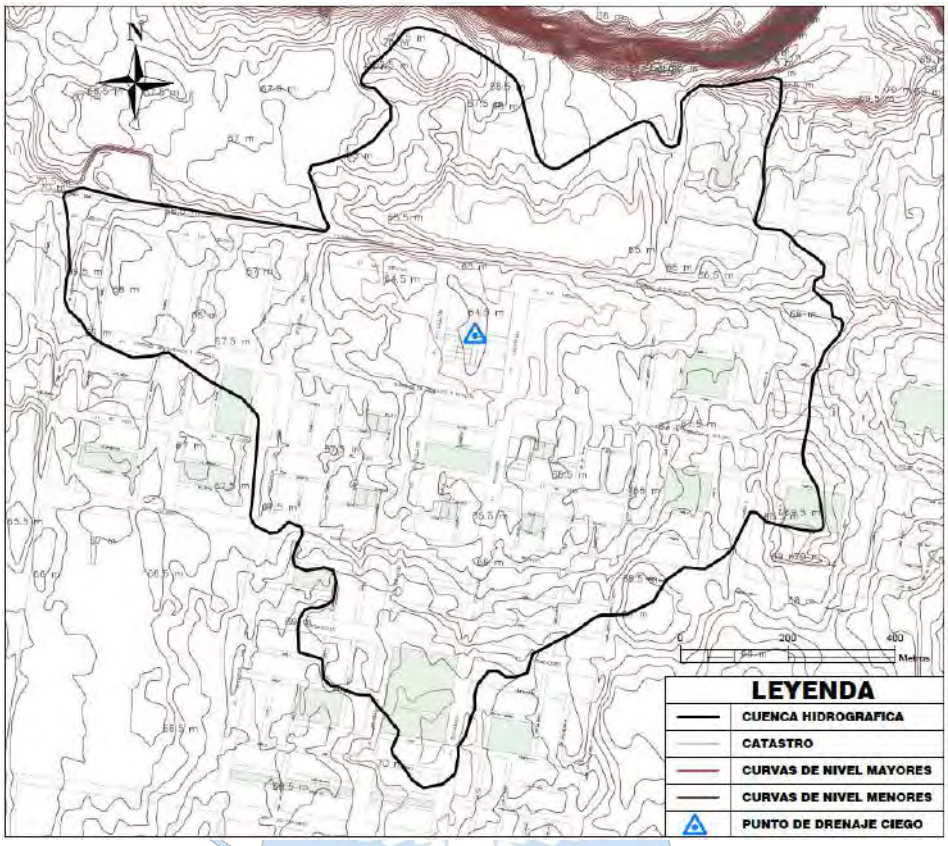


Figura 11. Cuenca hidrográfica Poder Judicial

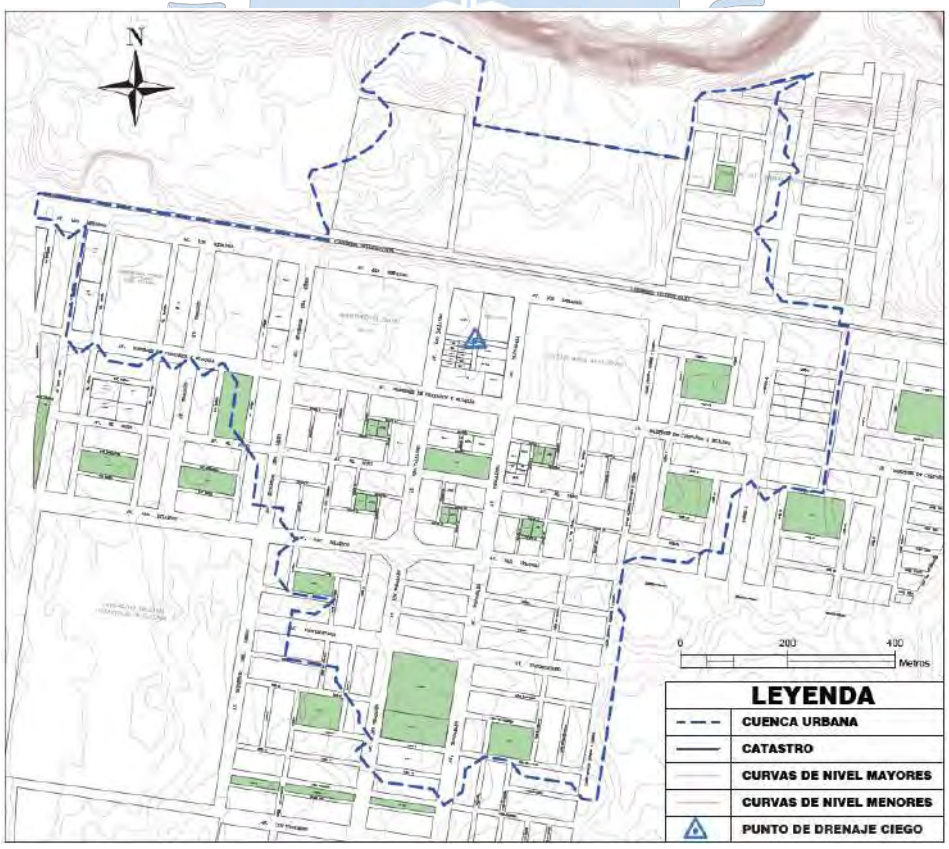


Figura 12. Cuenca urbana Poder Judicial

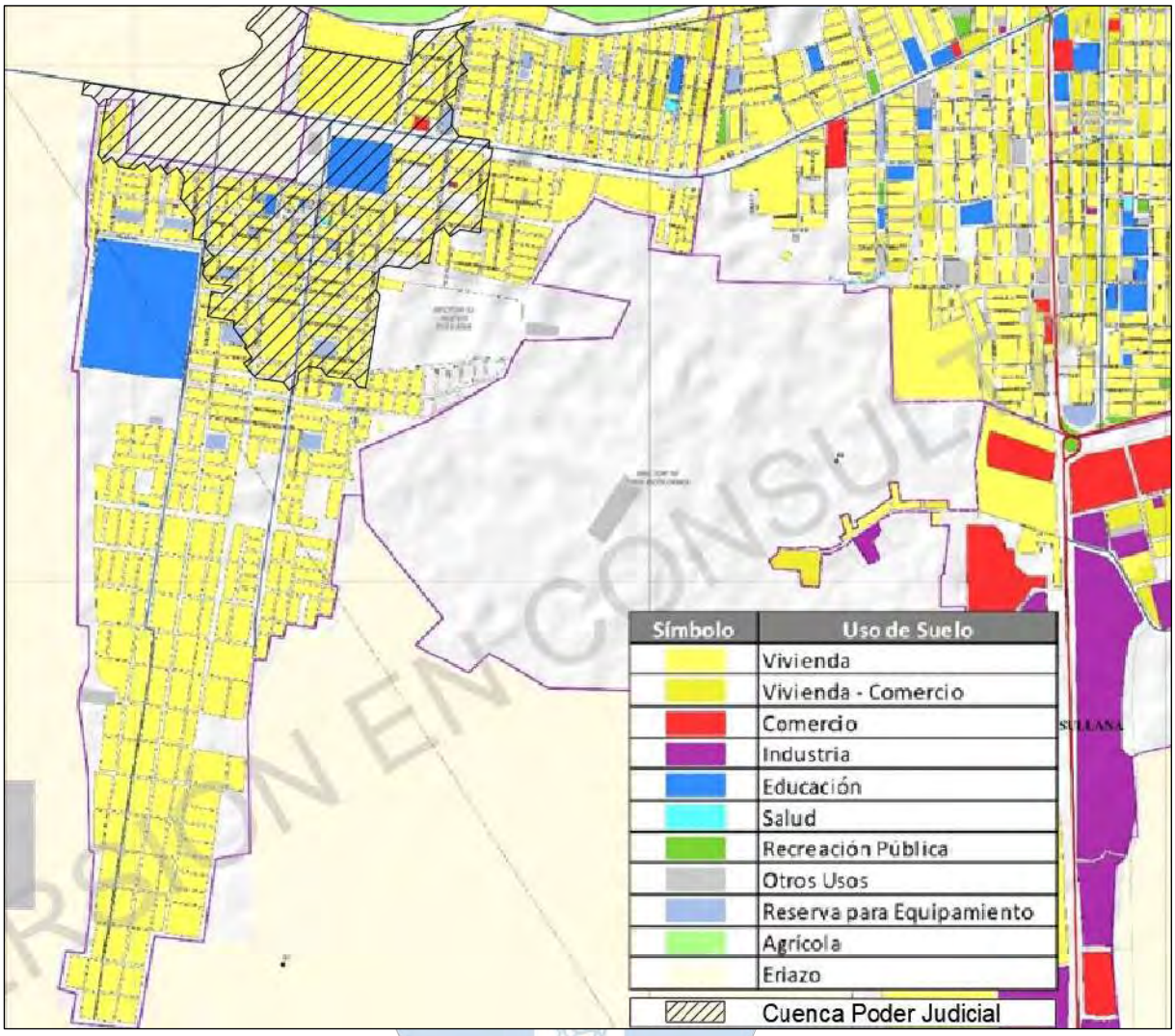


Figura 13. Mapa de uso de suelos del sector Nuevo Sullana
Fuente: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2020)

2.2.2 Curvas IDF

Las curvas IDF para la ciudad de Sullana se ajustaron a la matriz de curvas IDF de la ciudad de Piura, generada por Farías & Ruiz (2018). Se trasladaron de manera escalonada, de acuerdo con la precipitación máxima diaria, correspondiente a cada periodo de retorno de ambas estaciones.

2.2.2.1 Precipitación máxima diaria anual para Piura. Del análisis realizado por Farías & Ruiz (2018) se obtuvo que los modelos que mejor se ajustan a la serie de intensidades máximas diarias fueron la de Doble Gumbel y la Log-Normal de 3 parámetros. La Tabla 7 muestra el valor promedio de las predicciones de ambos modelos para caracterizar las lluvias máximas diarias de Piura y graficar las curvas IDF (ver Figura 14).

Tabla 7. Matriz de precipitaciones máximas diarias (mm) e intensidades máximas anuales (mm/h) en función de la duración (min) y el período de retorno T (años)

T (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

Fuente: Farías & Ruiz (2018)

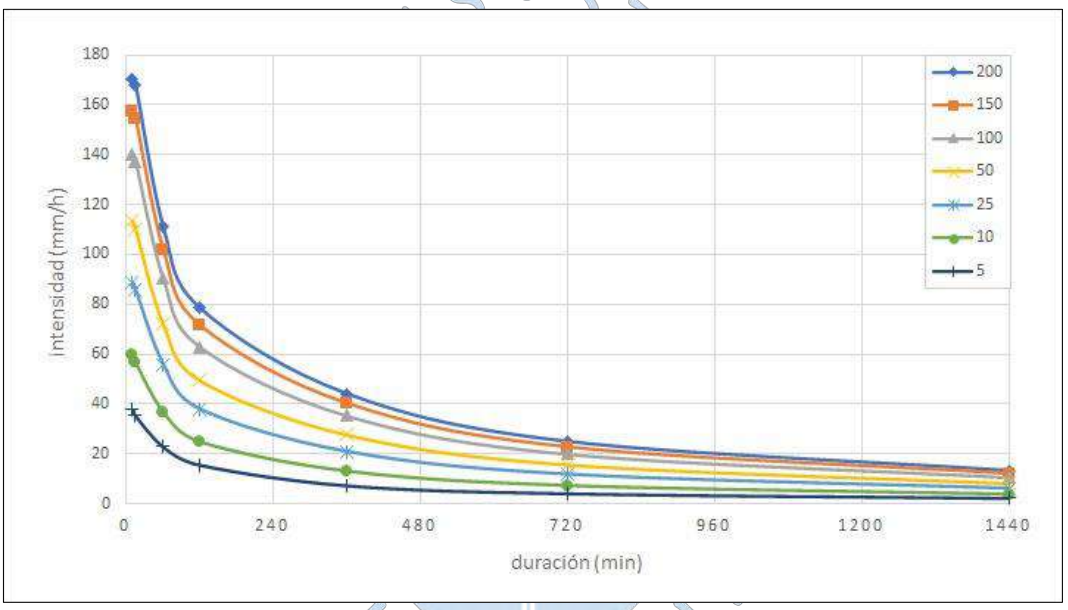


Figura 14. Curvas IDF de la ciudad de Piura (1983 – 2017)
Fuente: Farías & Ruiz (2018)

La expresión matemática de la matriz de las curvas IDF de la ciudad de Piura que determinaron Farías & Ruiz (2018) es:

$$i_t^T = \frac{2327\, ln(T) - 2085}{(t+75)^{0.912}} \qquad (2.1)$$

Donde:

i_t^T= Intensidad de lluvia (mm/h)

T= Periodo de retorno (años)

t = Duración (min)

2.2.2.2 Precipitación máxima diaria anual para Sullana. Del análisis realizado a la serie de 49 años de precipitaciones máximas diarias anuales de Sullana (Ver Anexo A) con el programa HIDROESTA, se muestra en la Tabla 8 los resultados de la prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov-Smirnov de cada modelo ajustado.

Tabla 8. Resultados de la prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov-Smirnov a la serie de precipitaciones de Sullana

Modelo	N	LN2	LN3	Gamma2	Gamma3	LP3	Gumbel	LG
Delta teórico	0.200	0.094	0.098	0.099	0.115	no se ajusta	0.175	0.127
Delta tabular	0.194	0.194	0.194	0.194	0.194		0.194	0.194
Ajuste	No	Si	Si	Si	Si		Si	Si

Tras analizar los valores mínimos, se obtuvo que los modelos probabilísticos que mejor se ajustan a la serie son: Log-Normal de 2 parámetros, Log-Normal de 3 parámetros y Gamma 2 parámetros, y en la Tabla 9, se muestran las predicciones de los modelos y el promedio de estos.

Tabla 9. Predicciones para la precipitación máxima diaria anual (mm) de Sullana

T (años)	LN2	LN3	Gamma2	Pmáxdia Mallares
2	18.3	18.9	23.3	20.2
5	52.8	51.6	57.4	53.9
10	91.9	86.8	83.9	87.5
25	165.9	150.8	119.2	145.3
50	243.0	215.2	146.0	201.4
100	342.6	296.3	173.0	270.6

A partir de la matriz de las curvas IDF de la ciudad de Piura, se puede obtener la matriz para la estación de Mallares mediante un ajuste con la siguiente expresión, donde k_T es la relación entre la precipitación máxima diaria de Mallares – Sullana y la precipitación máxima diaria de Piura versus periodo de retorno.

$$i_{Mallares} = k_T * i_{Piura} \tag{2.2}$$

En la Tabla 10 se muestran las precipitaciones máximas diarias anuales de la ciudad de Piura y de la estación de Mallares – Sullana para cada periodo de retorno. También se muestra la relación k_T correspondiente.

En la Tabla 11 se muestra la matriz de curvas IDF de la estación Mallares - Sullana obtenida del ajuste de las curvas IDF de la ciudad de Piura, y en la Figura 15 se muestra su representación gráfica. Además, en el Apéndice B, se encuentran los hietogramas de diseño

para periodos de retorno de 10, 25 y 50 años para una duración de 24 horas. Estos hietogramas son empleados para el cálculo de la escorrentía de la cuenca urbana mediante la modelación numérica explicada más adelante.

Tabla 10. Matriz de ajuste, k_T

Tr (años)	Piura (mm)	Mallares (mm)	k_T
5	48.5	53.9	1.112
10	90.6	87.5	0.966
25	147.5	145.3	0.985
50	196.9	201.4	1.023
100	254.1	270.6	1.065

Tabla 11. Matriz de intensidades de las curvas IDF de la estación Mallares - Sullana

Tr (años)	Pmáxdia Mallares (mm)	i10	i15	i30	i60	i120	i180	i240	i360	i720	i1440
5	53.9	32.1	30.5	26.5	21.1	15.1	11.8	9.7	7.2	4.2	2.3
10	87.5	55.0	52.2	45.4	36.1	25.8	20.2	16.7	12.4	7.2	4.0
25	145.3	92.6	87.9	76.4	60.7	43.4	34.0	28.0	20.9	12.1	6.7
50	201.4	124.9	118.5	103.0	81.9	58.6	45.9	37.8	28.2	16.3	9.0
100	270.6	159.9	151.8	131.9	104.9	75.0	58.7	48.4	36.1	20.8	11.6

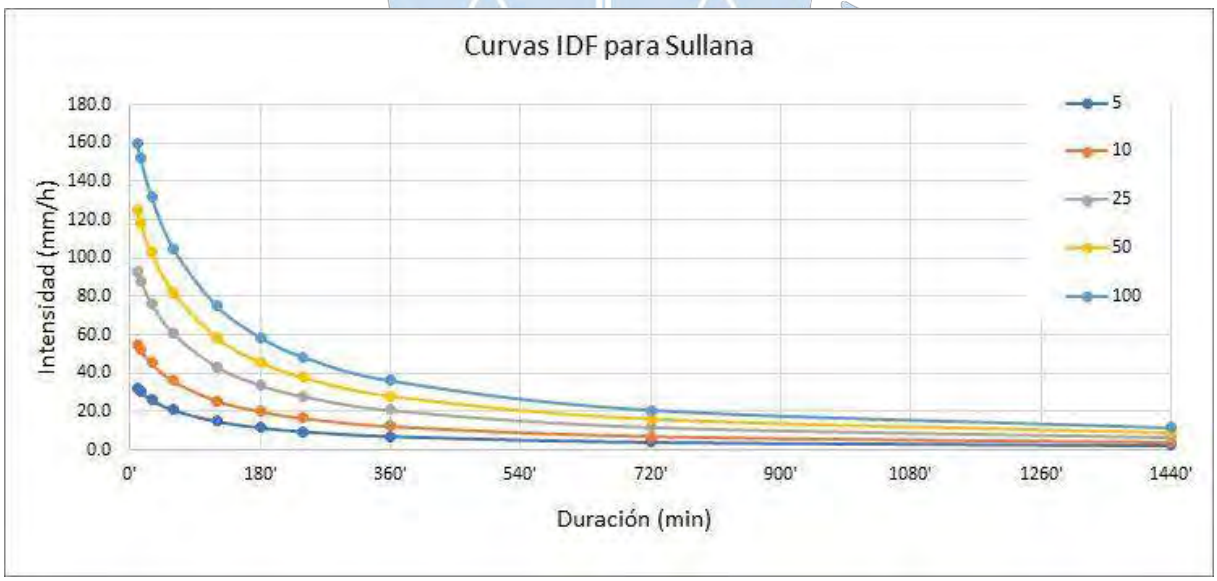


Figura 15. Curvas IDF de la estación Mallares para la ciudad de Sullana

2.2.3 Método Racional

A continuación, se desarrolla la definición de los parámetros necesarios para la aplicación del método racional en la cuenca urbana delimitada y se muestran los resultados obtenidos mediante este método.

2.2.3.1 Coeficiente de escorrentía. Según la Norma OS.060 Drenaje pluvial urbano (2006), el coeficiente de escorrentía se calcula como el promedio ponderado de los coeficientes correspondientes a cada tipo de cobertura del suelo. El valor del coeficiente de escorrentía obtenido para cada periodo de retorno se muestra en la Tabla 12 y los cálculos realizados se presentan en el Apéndice C.

2.2.3.2 Intensidad de la lluvia de diseño. Este valor depende del tiempo de concentración de la cuenca y el periodo de retorno de las curvas IDF. El tiempo de concentración se determina con la ecuación (1.3) y los datos correspondientes presentados en la Tabla 5. Por lo tanto, para la cuenca Nuevo Sullana se tiene un tiempo de 26.6 minutos.

2.2.3.3 Estimación de la escorrentía superficial. En la Tabla 12 se muestra el caudal de diseño de la cuenca para los periodos de retorno de 10, 25 y 50 años en condiciones actuales. Estos resultados se usan para la calibración del modelo numérico en el Capítulo 3.

Tabla 12. Cálculo del caudal de diseño de la cuenca evaluada

Periodo de retorno (años)	Área de la cuenca (km^2)	Coeficiente de escorrentía (c)	Intensidad de diseño (mm/h)	Caudal de diseño (m^3/s)
10	1.128	0.437	46.8	6.42
25	1.128	0.464	78.7	11.45
50	1.128	0.489	106.2	16.28

Capítulo 3
Simulación numérica con SWMM

El proceso de modelación numérica en software es un proceso exhaustivo en el que es muy importante tener claros los conceptos de qué hace cada herramienta existente con los datos que se ingresan. Por este motivo, este capítulo busca presentar a EPA – SWMM (Storm Water Management Model), aclarar los usos que tiene y definir el procedimiento de simulación a seguir para el desarrollo de simulaciones de drenaje pluvial. Al final del capítulo, se presentan los mapas de inundación para periodos de retorno de 10, 25 y 50 años obtenidos como resultado de la primera simulación realizada en la cuenca urbana Poder Judicial.

3.1 Descripción del programa

SWMM es de uso libre y ha sido desarrollado por el EPA (Environmental Protection Agency) de los Estados Unidos. Para la simulación del drenaje pluvial de la cuenca urbana Poder Judicial se empleó la versión 5.1. Esta herramienta mediante su modelo hidrológico permite el ingreso de hietogramas definidos por el cálculo hidrológico de la cuenca y permite determinar la escorrentía superficial en función de sus parámetros (área, ancho promedio, pendiente, coeficientes de Manning, entre otros). El modelo que emplea SWMM para determinar la escorrentía superficial (Runoff) se muestra en la Figura 16.

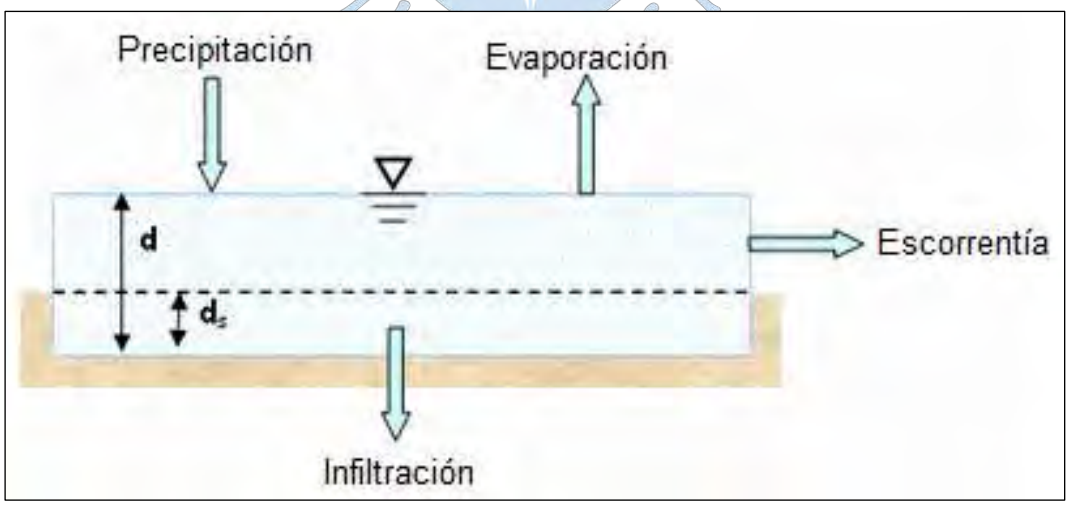


Figura 16. Modelo para determinar de escorrentía superficial (Runoff) de SWMM
Fuente: U.S Environmental Protection Agency (EPA) (2005)

Este software, además, permite el ingreso de información hidráulica cómo tuberías, calles, cunetas, sumideros, vertederos, bombas y otros elementos que se unen mediante “nodos”.

3.2 Uso del programa

De acuerdo con Anta, Naves, & Naves (2019), el software SWMM es utilizado para el diseño y análisis de redes de evacuación de agua residuales y pluviales. El programa se encarga de procesar la lluvia sobre las cuencas, transformándola en escorrentía superficial, y el tránsito del flujo a través de las estructuras de conducción, captación, retención y otras obras complementarias.

El manual de aplicación integrado del software menciona las siguientes aplicaciones típicas:

- Diseñar y dimensionar los componentes de un sistema de drenaje para prevenir inundaciones.
- Diseñar y dimensionar distintos elementos de retención y otros para el control de inundaciones y protección de la calidad de agua.
- Diseñar estrategias para la minimización de los vertidos desde las redes de sistemas unitarios.
- Evaluar el impacto de los aportes e infiltraciones en los sistemas de drenaje.
- Diseñar y evaluar la eficacia de medidas para el control de la escorrentía, como la aplicación de técnicas SUDS.

3.3 Procedimiento de simulación

El proceso para simular un sistema de drenaje pluvial en SWMM consta de delimitar inicialmente las áreas aportantes, dibujar los objetos de la cuenca, ingresar los datos de los objetos y finalmente, definir las opciones de simulación.

3.3.1 Delimitación de áreas aportantes

Para la delimitación de las áreas aportantes se usó el plano catastral de la ciudad de Sullana, donde se trazaron los ejes de las vías y en cada intersección se colocó un nodo. Con esta información se delimitó cada manzana en áreas aportantes como se muestra en la Figura 17.

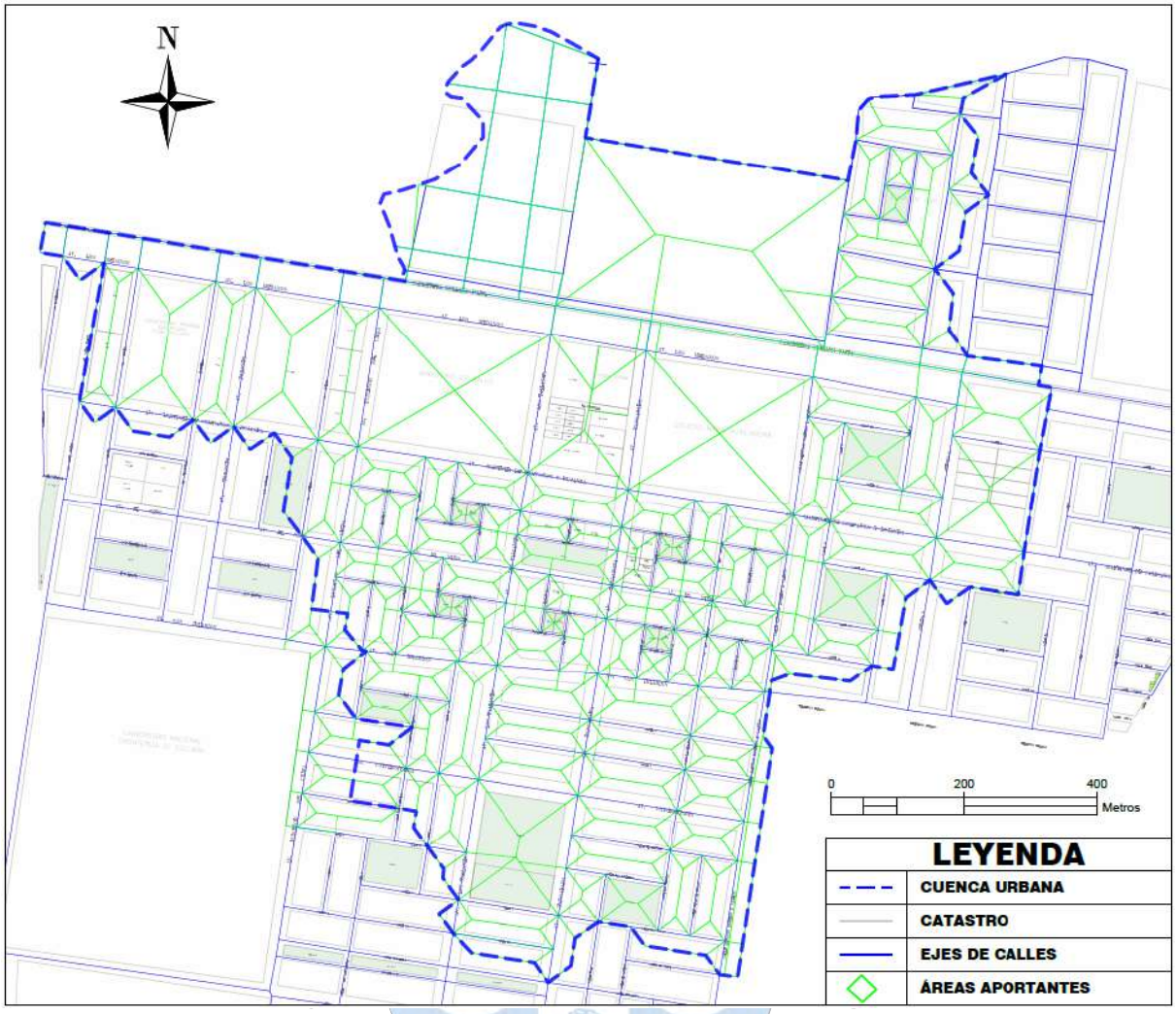


Figura 17. Delimitación de las áreas aportantes del área de estudio

3.3.2 Dibujo de los objetos

El entorno de SWMM permite el ingreso de elementos físicos de manera visual mediante su barra de herramientas.

3.3.2.1 Subcuencas. Estos elementos representan físicamente a una cuenca, subcuenca o área aportante y tienen la característica de recibir aportes de precipitación del pluviómetro y descargar su escorrentía en nodos de la red o en otras subcuencas. Al igual que los sistemas de almacenamiento, las subcuencas pueden perder agua por evaporación de la superficie y por filtraciones en el suelo. Estos elementos son ingresados a SWMM a partir de la exportación de parcelas en Autodesk Civil 3D.

3.3.2.2 Nodos. Son la representación de la confluencia de estructuras de conducción. Estos representan pozos de inspección, puntos de vertido, accesorios de conexión de tuberías o intersecciones. Estos elementos son ingresados a SWMM a partir de las coordenadas de las intersecciones de cada una de las calles.

3.3.2.3 Conductos. Son los componentes de transporte del sistema de drenaje y siempre se encuentran entre un par de nodos. Estos elementos pueden tener formas regulares, como tuberías y canales, e irregulares, como secciones transversales de una calle o de cauces naturales. Se ingresan a SWMM a partir de la unión de dos nodos contiguos.

3.3.2.4 Sistemas de almacenamiento. Pueden ser pequeños como una pequeña cuenca o grandes como lagos. Estos elementos, además de recibir y descargar volúmenes de agua a otros nodos de la red, pueden perder agua por evaporación de la superficie y por filtraciones en el suelo. Se ingresan a SWMM de la misma manera que los nodos; pero en la posición de las estructuras de almacenamiento (estanques, parques, bermas centrales, etc.).

3.3.2.5 Vertederos. Estos elementos son versátiles y permiten controlar el flujo de captación de un elemento de la simulación. Se ingresan a SWMM a través de la unión de un nodo o sistema de almacenamiento y otro sistema de almacenamiento.

3.3.3 Ingreso de datos

Después de haber representado gráficamente los elementos necesarios para la simulación, es necesario ingresar los parámetros de funcionamiento de cada uno de los elementos. Cabe resaltar que el programa SWMM trabaja con el sistema de coordenadas cartesianas. Por lo que, al usar el primer cuadrante se pueden ingresar objetos en el sistema UTM WGS84-17S para mantener la información referenciada.

3.3.3.1 Pluviómetro. Las propiedades principales de entrada de un pluviómetro son: tipo de datos de lluvia, intervalo de tiempo de los datos, origen de los datos de lluvia y nombre del origen de datos de lluvia. En la Figura 18 se muestra las propiedades definidas para la modelación.

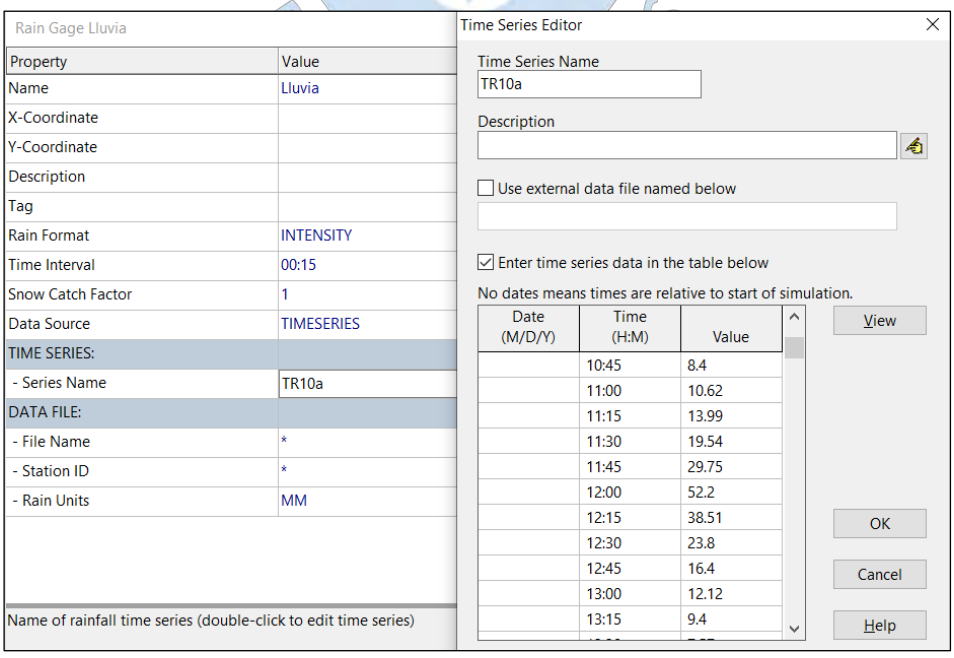


Figura 18. Ingreso de datos del pluviómetro

3.3.3.2 Subcuencas. Este elemento representa las áreas aportantes de la cuenca urbana Poder Judicial y pueden dividirse en subáreas permeables e impermeables. La infiltración solo ocurre en las áreas permeables y se describe empleando el modelo de infiltración basado en el Número de Curva del Servicio de Conservación de Suelos (SCS).

Por lo tanto, los parámetros son: el pluviómetro asignado, el nudo o la subcuenca de descarga, los usos del suelo, las áreas y superficies tributarias, el porcentaje de impermeabilidad, la pendiente de la subcuenca, su ancho, almacenamiento en depresión para las áreas permeables e impermeables, el porcentaje de suelo impermeable carente de almacenamiento en depresión y valor del coeficiente de Manning n para el flujo superficial de las áreas permeables e impermeables. Este último parámetro se determinará con el método de Cox (French, 1988, pág. 179).

En la Figura 17 se muestra la división de la cuenca Nuevo Sullana en áreas aportantes de acuerdo con el método del sobre y en la Figura 19 se muestran los parámetros de un área aportante.

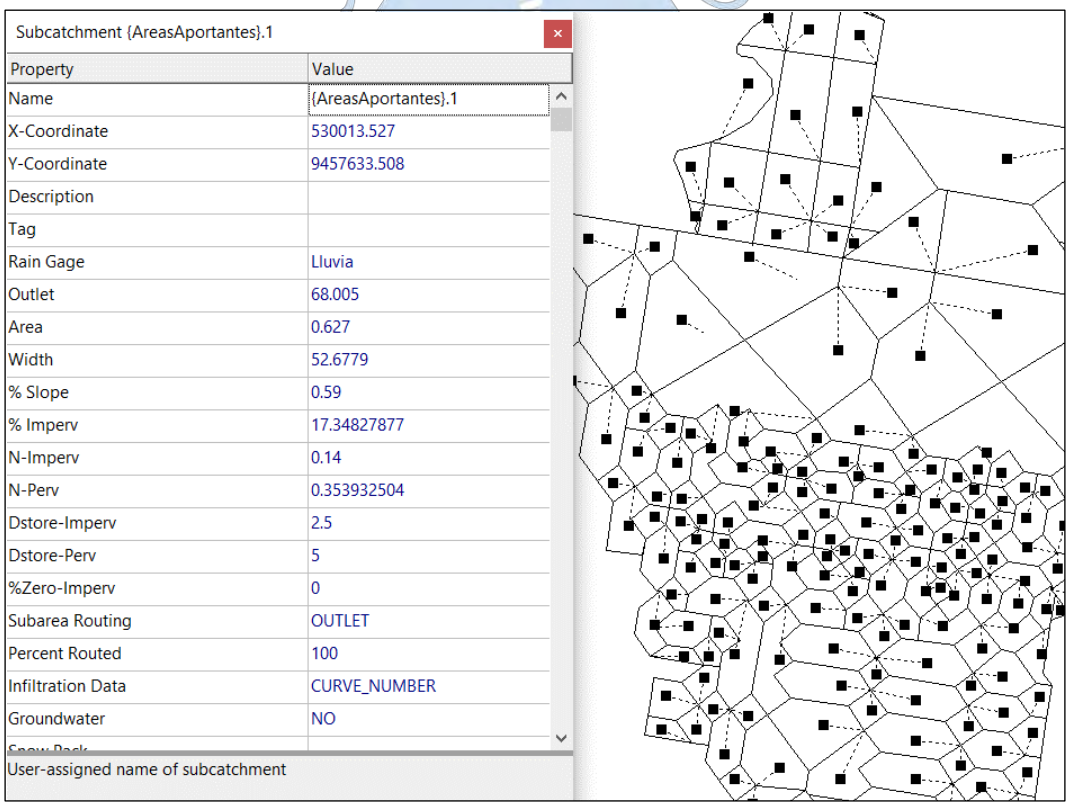


Figura 19. Ingreso de datos de las áreas aportantes

Además, como parte del estudio, se analizó el aporte de las cuencas vecinas a la cuenca de estudio, demostrándose mediante el dibujo de los cursos de agua realizados por Global Mapper que no hay aporte de escorrentía en ningún punto como se puede verificar en la Figura 20.

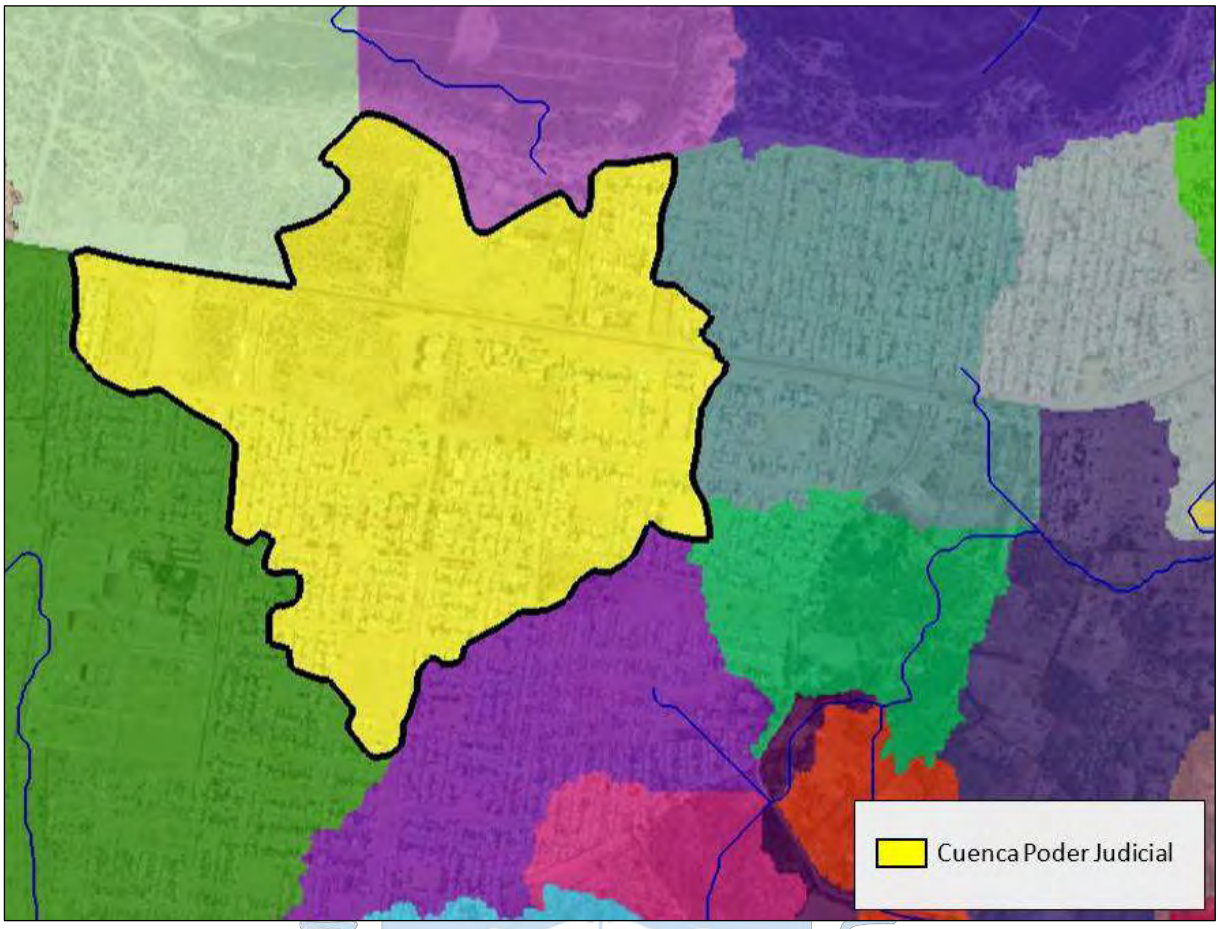


Figura 20. Cuencas hidrográficas vecinas

3.3.3.3 Nodos de conexión. Al nodo se le puede ingresar un aporte de caudal mediante su unión con las subcuencas y conductos o un ingreso de caudal externo. Por lo tanto, los parámetros principales de entrada son: Cota de fondo, altura del pozo, área superficial del área estancada y datos de aportes externos de caudal. Los dos últimos parámetros son opcionales. La cota de fondo de cada nodo contemplado se muestra en el Plano 05.

3.3.3.4 Nodos de vertido. Solo es posible conectarle una línea de conducción y sus principales parámetros de entrada son: la cota de fondo, tipo y estado de la condición de contorno, y la presencia de una válvula de compuerta.

En la Figura 21 se muestra los datos ingresados en un nodo de conexión (Junction) y al nodo de vertido (Outfall).

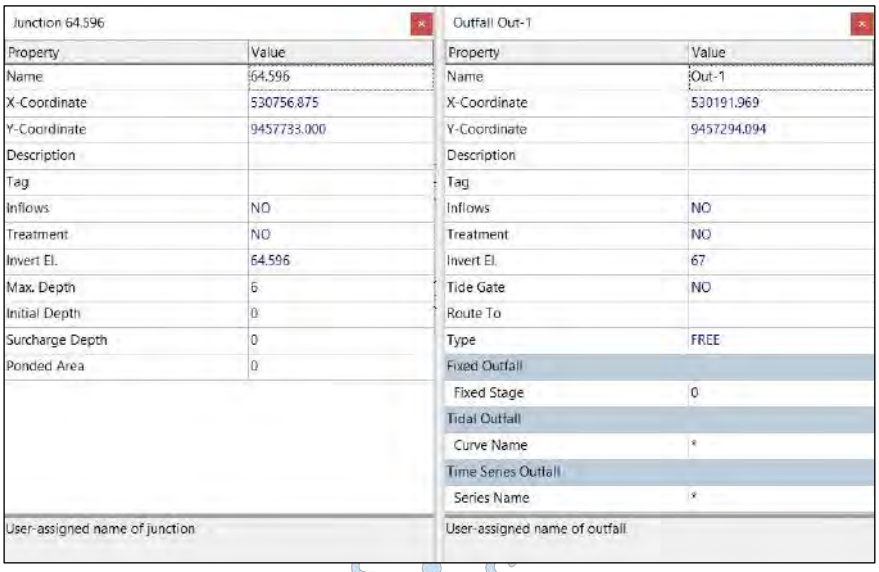


Figura 21. Ingreso de datos de los nodos de conexión y de vertido

3.3.3.5 Sistemas de almacenamiento. Las propiedades volumétricas de un sistema de almacenamiento se pueden representar con una tabla o una función que indique la superficie de almacenamiento en función de su altura. Por lo tanto, los principales parámetros de entrada son: cota de fondo, altura máxima, tabla o función de la representación volumétrica, proporción de evaporación, superficie de almacenamiento de agua estancada y datos de aportes externos de caudal. Estos dos últimos son opcionales. En la Figura 22 se muestra los parámetros de un depósito.

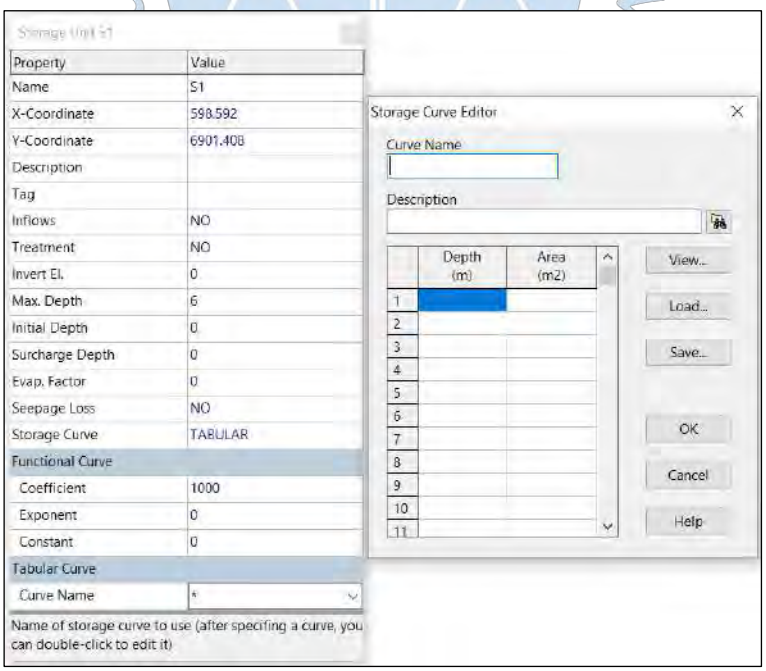


Figura 22. Ingreso de datos de los depósitos

3.3.3.6 Conductos. Los principales parámetros de entrada son: nombres del nodo de entrada y salida, alturas del conducto respecto de la cota de fondo de los nodos (inicial y final),

longitud del conducto, coeficiente de Manning, geometría de la sección transversal, coeficiente de pérdidas y presencia de una válvula de compuerta. En la Figura 23 se muestra los parámetros ingresados.

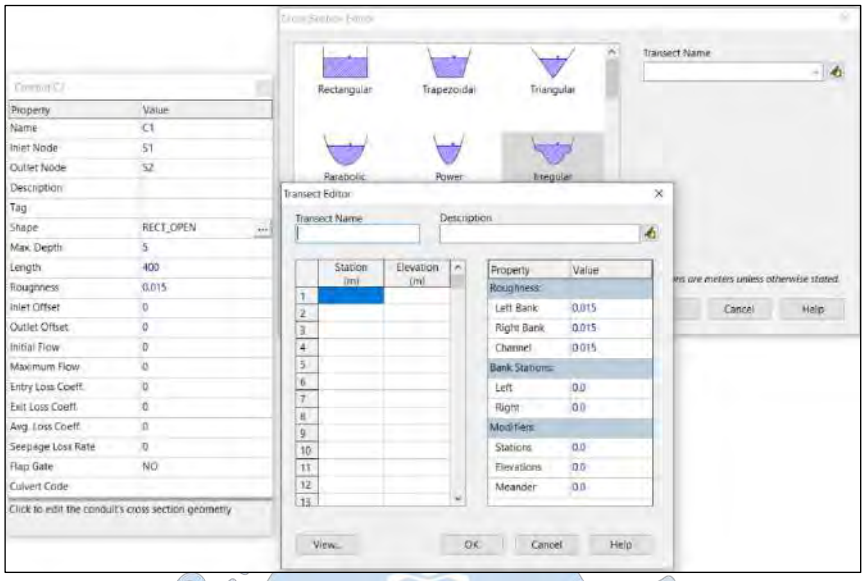


Figura 23. Ingreso de datos de los conductos

3.3.3.7 Vertederos. Los parámetros de entrada de estos elementos son: nombres de los nodos de entrada y salida, método de definición del flujo en función de la profundidad o de la altura efectiva. En la Figura 24 se muestra los parámetros ingresados y una curva asignada.

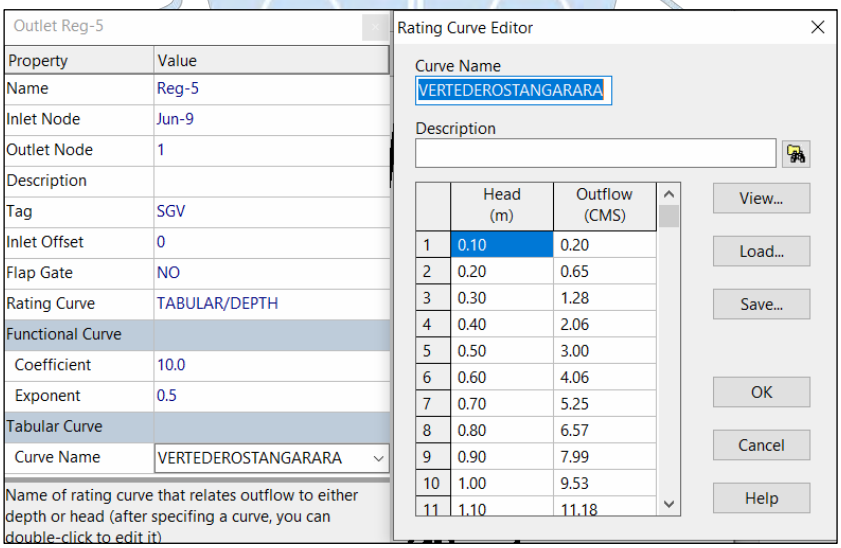


Figura 24. Ingreso de datos de los vertederos

3.3.4 Opciones de simulación.

SWMM v5.1 ofrece distintas opciones de simulación para los modelos de proceso, de transporte e infiltración. En la Figura 25 se muestra la ventana de opciones de simulación de SWMM v5.1.

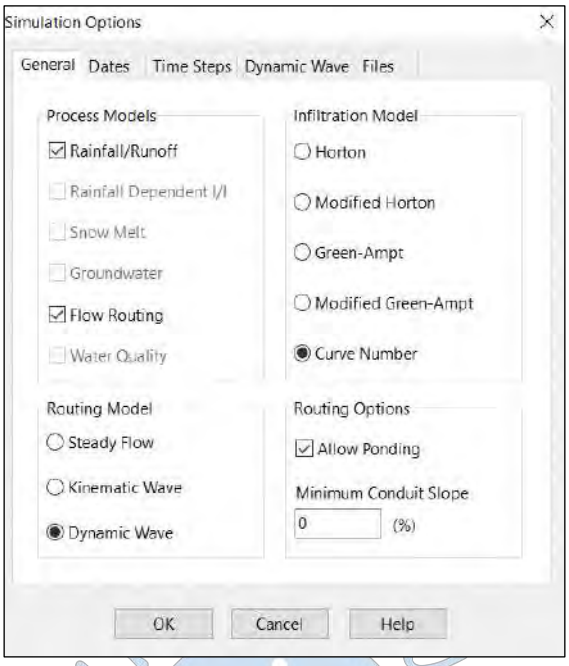


Figura 25. Ventana de opciones generales

3.3.4.1 Modelos de procesamiento. Los modelos que puede procesar el programa son: Lluvia/Escorrentía, Lluvia dependiente de la afluencia e infiltración, Deshielo de nieve, Flujo subterráneo, Transporte en la red y Calidad del agua. La simulación de los eventos de las precipitaciones y comportamiento de las áreas aportantes y vías, ha sido ejecutada con los siguientes modelos:

- **Lluvia/Escorrentía.** Este modelo emplea datos de pluviómetros para realizar el cálculo de la precipitación que cae en cada área aportante.
- **Transporte en la red.** Este modelo emplea la escorrentía que es captada por cada área aportante y depositada en nodos, con el fin de transportarla hacia su disposición final mediante los conductos.

3.3.4.2 Modelos de infiltración. Los modelos soportados por el software son Horton, Horton modificado, Green-Ampt, Green-Ampt modificado y Número de Curva. Por la disponibilidad de información, la simulación ha sido ejecutada empleando el modelo de infiltración de Número de Curva.

Este modelo desarrollado por el SCS emplea el uso de coeficientes para cada tipo de suelo y a partir de esta información, calcula la escorrentía infiltrada mediante la diferencia entre la precipitación total y la efectiva. Cabe resaltar que el método dentro del programa solo se aplica en las áreas permeables, por lo tanto, la determinación CN se aplicara exclusivamente para estas áreas como se muestra en el Apéndice E y en el Apéndice F.

3.3.4.3 Modelos hidráulicos de transporte. Los modelos con los que SWMM puede simular son el Régimen uniforme, la Onda cinemática o la Onda dinámica. La simulación ha sido ejecutada con el modelo de la onda cinemática.

La onda dinámica resuelve todas las ecuaciones de flujo unidimensional de Saint Venant haciendo que teóricamente los resultados con este modelo sean más precisos que con el uso del régimen uniforme, que considera que no existen variaciones en las pendientes energéticas ni de fondo de los elementos hidráulicos y tirantes de agua; o con el uso de la onda cinemática, que resuelve las ecuaciones de continuidad y una forma simplificada de la ecuación de momento de Saint Venant. Con el modelo de la onda dinámica se puede calcular el flujo presurizado en un conducto cerrado lleno por lo que los flujos pueden exceder al flujo normal total. La inundación ocurre cuando la profundidad del agua en los nodos excede la profundidad máxima disponible, por lo que, al igual que en la onda cinemática, este exceso puede perderse o acumularse sobre el nodo para volver a ingresar al sistema cuando se disponga de capacidad en los conductos. Además, el modelo escogido puede incluir almacenamiento en los conductos, pérdidas en la entrada y salida, remanso, inversión del flujo en los conductos y flujo presurizado. Este método se escoge cuando los sistemas a simular están sometidos a fenómenos de remanso por el flujo en la disposición final o vertedero del sistema. Como desventaja ante los modelos del régimen uniforme y la onda cinemática, este tiende a tardar más en resolver todas las ecuaciones debido a que emplea pasos de tiempo pequeños (menores a 30 segundos) para el cálculo. Este modelo hidráulico presenta una serie de parámetros específicos (ver Figura 26) que ajustan la manera de realizar los cálculos de enrutamiento del flujo de la onda dinámica.

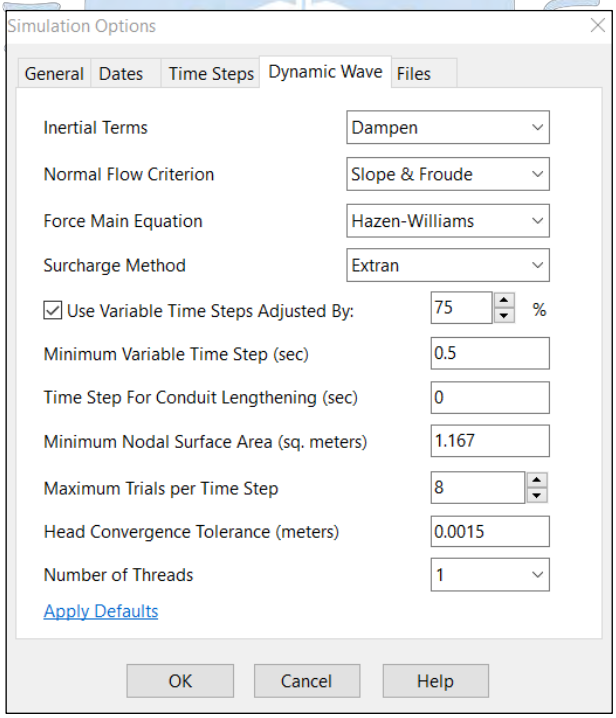


Figura 26. Ventana de opciones adicionales de la onda dinámica

Las ecuaciones de Saint Venant empleadas en el desarrollo de la onda dinámica para conductos son principalmente las de continuidad, que toma en cuenta la conservación de la

masa sobre un volumen de control, y momentum, que toma en cuenta la segunda ley de Newton (Rossman, 2017):

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \tag{3.1}$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial (Q^2/A)}{\partial x} + gA\frac{\partial H}{\partial x} + gAS_f = 0 \tag{3.2}$$

Donde:

x = Distancia

t = Tiempo

A = Área de la sección transversal del conducto

Q = Caudal

H = Altura hidráulica de agua en el conducto

Z = Elevación del conducto

Y = Tirante del nivel de agua en el conducto

S_f = Pendiente de fricción

g = Aceleración de gravedad

Con la combinación de las ecuaciones (3.1) y (3.2), se obtiene la siguiente expresión:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} = 2U\frac{\partial A}{\partial t} + U^2\frac{\partial A}{\partial x} - gA\frac{\partial H}{\partial x} + gAS_f \tag{3.3}$$

Donde:

$2U\frac{\partial A}{\partial t} + U^2\frac{\partial A}{\partial x}$ = Término inercial

$-gA\frac{\partial H}{\partial x}$ = Término de presión

$-gAS_f$ = Término de fricción

A partir de esta ecuación, SWMM puede determinar la trayectoria temporal del flujo en un conducto, es decir, determina en cada diferencial de tiempo las condiciones del flujo aguas arriba y aguas abajo. Esto determina las condiciones de entrada y salida en cada nodo, elementos de control (bombas, orificios y vertederos) y otros procesos (filtración, evaporación y pérdidas secundarias) (Rossman, 2017).

- **Términos inerciales.** Precisa la forma de manejar los términos inerciales de la ecuación de cantidad de movimiento de Saint Venant. Las opciones son: Mantener, Suavizar e Ignorar. La simulación ha sido ejecutada empleando la opción de Suavizar que permite reducir los términos a medida que el flujo se acerca a su valor crítico e ignorarlos cuando el flujo es supercrítico.
- **Criterio de flujo supercrítico.** Selecciona la manera de cálculo para determinar qué ocurre cuando hay flujo supercrítico en los conductos. Las opciones son: solo pendiente de la superficie del agua, solo número de Froude o ambas. La simulación ha sido ejecutada empleando la opción de ambas por ser la recomendada según el Manual SWMM, Modelo de gestión de agua (2005) por verificar las opciones de solo pendiente de la superficie del agua y del número de Froude.
- **Ecuación principal de fuerza.** Se refiere a escoger la ecuación para el cálculo de las pérdidas por fricción durante el flujo presurizado. Las opciones son: Hazen – Williams o Darcy – Weisbach.
- **Método de recargo.** Las opciones para escoger son: módulo Extran y Slot. La simulación ha sido ejecutada empleando la opción por defecto Extran.
- **Paso de tiempo variable.** Según el Manual SWMM, Modelo de gestión de agua (2005), se recomienda un factor de ajuste típico de 75% que es un margen conservador para el cálculo. Este tiempo no será mayor al paso de tiempo especificado en la pestaña de Pasos de tiempo del cuadro de diálogo ni menor al paso variable mínimo de 0.5 segundos escogido por ser un valor que proporciona ejecuciones de simulaciones precisas y sin mucho retardo.
- **Paso de tiempo para el alargamiento de conductos.** Paso de tiempo en segundos usado para alargar artificialmente a los conductos. La simulación ha sido ejecutada con un valor de 0 para mantener las longitudes reales de cada conducto.
- **Área mínima de superficie nodal.** Es el área mínima de superficie usada en los nodos cuando se calculan los cambios en la profundidad del agua. La simulación ha sido ejecutada con el valor de 0, pues los nodos tienen una altura superior a la de inundación.
- **Ensayos máximos por paso de tiempo.** Es la cantidad de intentos que SWMM utiliza en cada intervalo de tiempo para converger. La simulación ha sido ejecutada con su valor por defecto de 8 intentos.
- **Tolerancia de convergencia de cabezal.** Si la diferencia en la altura calculada en cada nodo entre ensayos consecutivos está por debajo del valor definido, se asume que la solución ha podido converger. La simulación ha sido ejecutada con su valor por defecto de 0.0015 metros.
- **Número de hilos.** Es la cantidad de subprocesos de computación paralelos que se usarán. Tiene relación con la cantidad de núcleos que tiene la computadora desde la

cual se ejecuta la simulación. La simulación ha sido ejecutada con su valor por defecto de 1.

3.3.4.4 Fecha e intervalos del informe. En esta pestaña se definen distintos parámetros relacionados a los tiempos en los que se desarrollan los cálculos y con los que se muestran los resultados de la simulación en SWMM.

- **Inicio y fin del análisis.** Se debe ingresar la fecha y hora de inicio y fin de la simulación en formato (mes, día, año) y (hora:minutos). La simulación ha sido ejecutada con 7 días de diferencia entre el inicio y fin del análisis.
- **Inicio de informe.** Se debe ingresar la fecha y hora del día en el que empezará a realizar el informe de los resultados de la simulación. En caso se ingrese una fecha anterior al inicio del análisis, el software empezará a realizar el informe en la fecha de inicio de análisis. La simulación ha sido ejecutada con un inicio de informe igual al inicio de análisis.
- **Inicio y fin de limpieza.** Se debe ingresar los días del año (mes, día) en los que inician y finalizan las operaciones de limpieza de las calles. La simulación ha sido ejecutada con los valores por defecto de SWMM.
- **Días previos sin lluvia.** Se debe ingresar el número de días sin lluvia antes del inicio del análisis. Este valor se emplea para el cálculo inicial de acumulación de contaminante superficial de las subcuencas.
- **Intervalo de tiempo del informe.** Se debe ingresar el paso de tiempo en el que se muestran los resultados calculados en la simulación. La simulación ha sido ejecutada con un intervalo de 15 minutos.
- **Escorrentía – Intervalo de tiempo en clima húmedo.** Se debe ingresar la duración del paso de tiempo empleado para los cálculos de la escorrentía de las subcuencas durante las precipitaciones; cuando el agua superficial aún permanece estancada; o cuando los SUDS aún se encuentran en el proceso de infiltración o evaporación de la escorrentía.
- **Escorrentía – Intervalo de tiempo en clima seco.** Se debe ingresar la duración del paso de tiempo empleado para los cálculos de la escorrentía (principalmente acumulación de contaminantes) durante los periodos en los que no hay precipitaciones, ni agua estancada y los SUDS se encuentran secos.
- **Intervalo de tiempo de la regla de control.** Se debe ingresar el intervalo de tiempo para evaluar las reglas de control. De manera predeterminada se emplea 0, es decir que se evalúan constantemente las reglas de control.
- **Intervalo de tiempo de enrutamiento.** Se debe ingresar el intervalo de tiempo para enrutar los flujos y los contaminantes de la calidad del agua en la red de transporte.
- **Periodos de flujo constante.** Es un conjunto de opciones que le indican al software cómo identificar y procesar los periodos de tiempo en los que la hidráulica del sistema

no varía. En la Figura 27 se muestra la ventana fechas e intervalos del reporte de la simulación en SWMM v5.1.

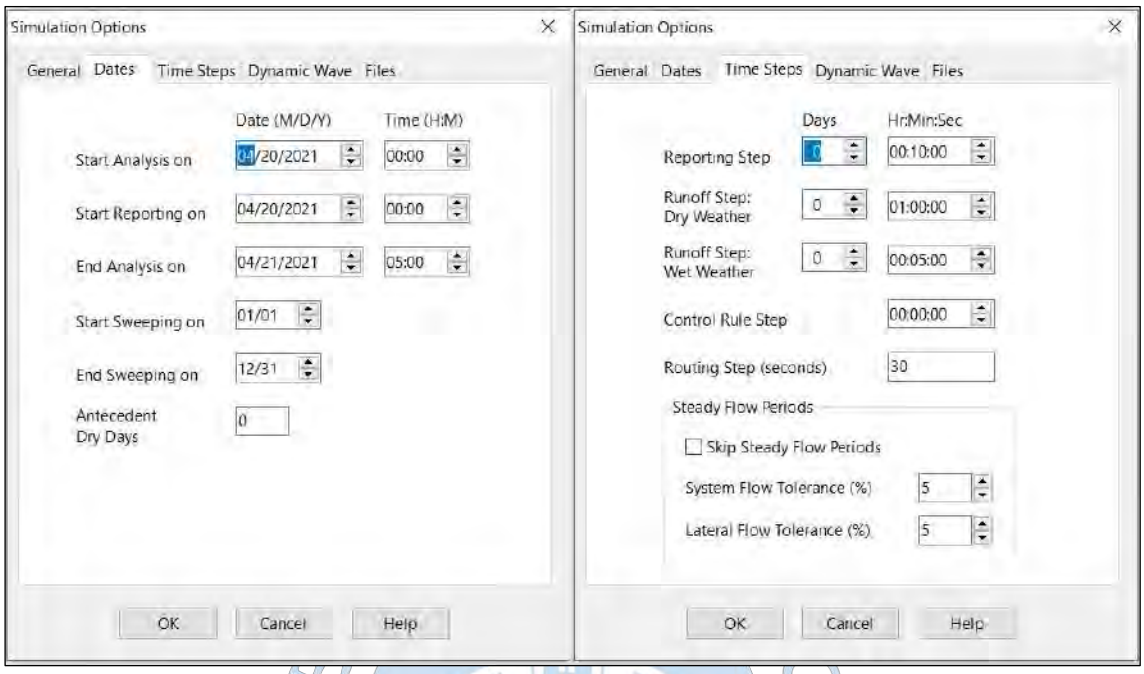


Figura 27. Ventana de fechas e intervalos de reporte

3.4 Resultados de la modelación numérica

Para conocer la problemática que afrontarían los residentes de la cuenca urbana Poder Judicial por precipitaciones pluviales con periodos de retorno de 10, 25 y 50 años, se ha simulado la situación actual del sistema de drenaje pluvial con la información del Apéndice B y Apéndice E. Esta simulación estima en cada elemento incorporado el caudal, velocidad, altura de inundación y dirección del flujo. También, permite conocer las zonas más afectadas y generar mapas de inundación (ver Figura 28, Figura 29 y Figura 30) que son de utilidad para el diseño del sistema de drenaje pluvial. El tirante más bajo representado en estos mapas es de 0.2 m por ser la altura promedio que existe entre el pavimento y las veredas en las zonas urbanas y, por ende, la altura que generaría una incomodidad importante en la población.

Además, en la Tabla 13 se presenta los resultados y comparación del caudal de diseño entre la modelación numérica (SWMM) y el método racional.

Tabla 13. Comparación de caudal de diseño

Periodo de retorno (años)	Caudal - Método Racional (m^3/s)	Caudal máximo SWMM (m^3/s)	Variación (%)
10	6.42	5.06	-21.13
25	11.45	10.68	-6.73
50	16.28	16.28	0.00

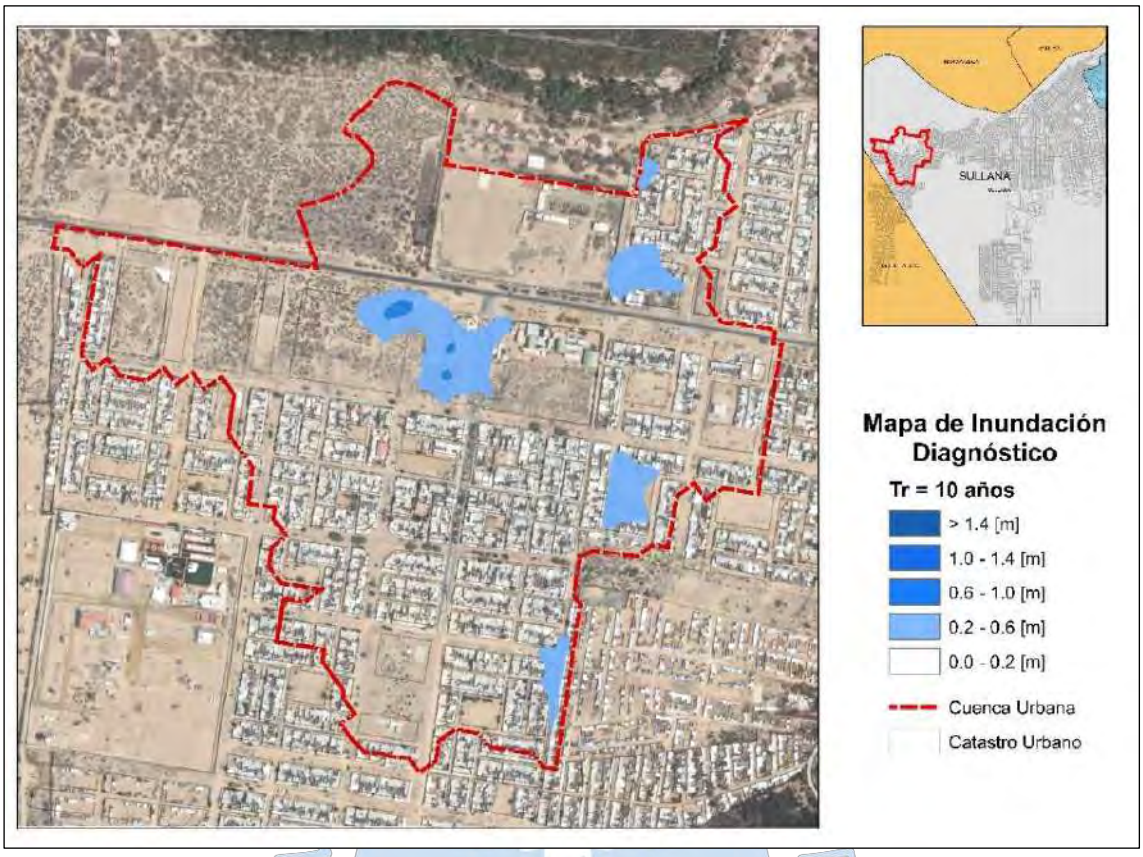


Figura 28. Mapa de inundación para un periodo de retorno de 10 años

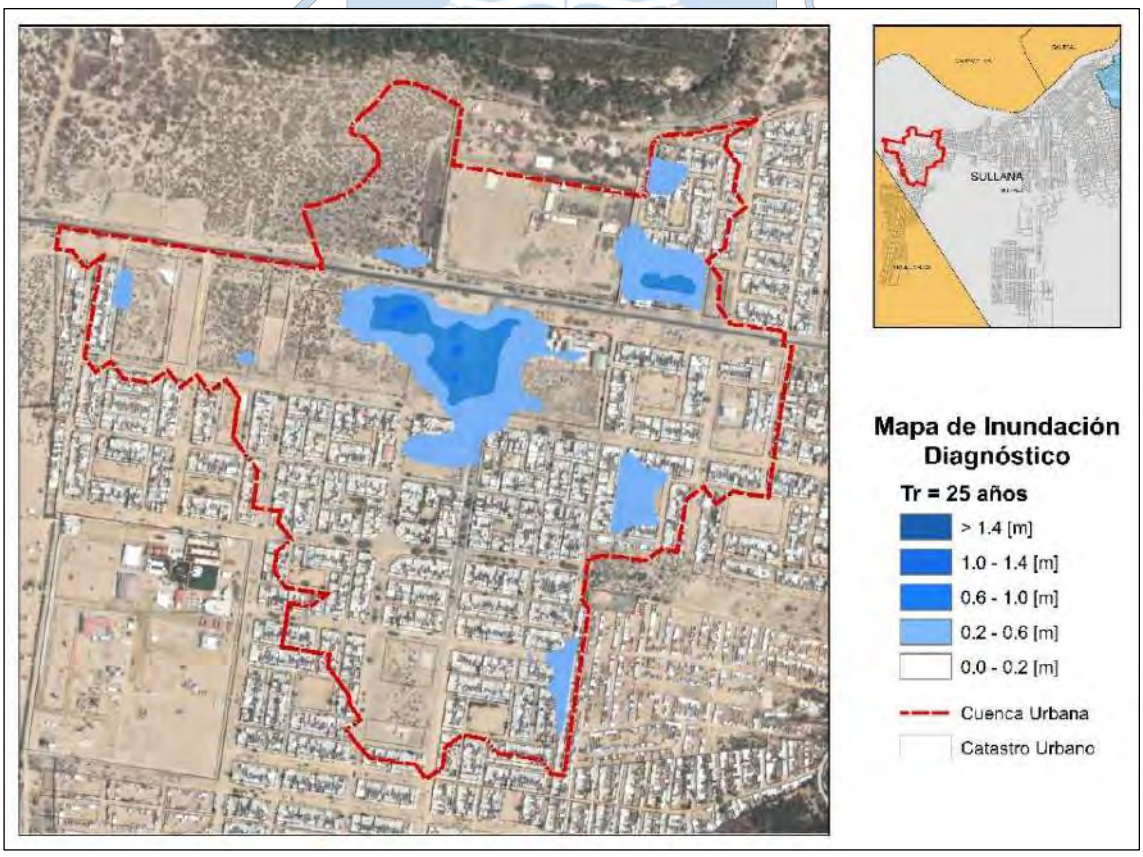


Figura 29. Mapa de inundación para un periodo de retorno de 25 años

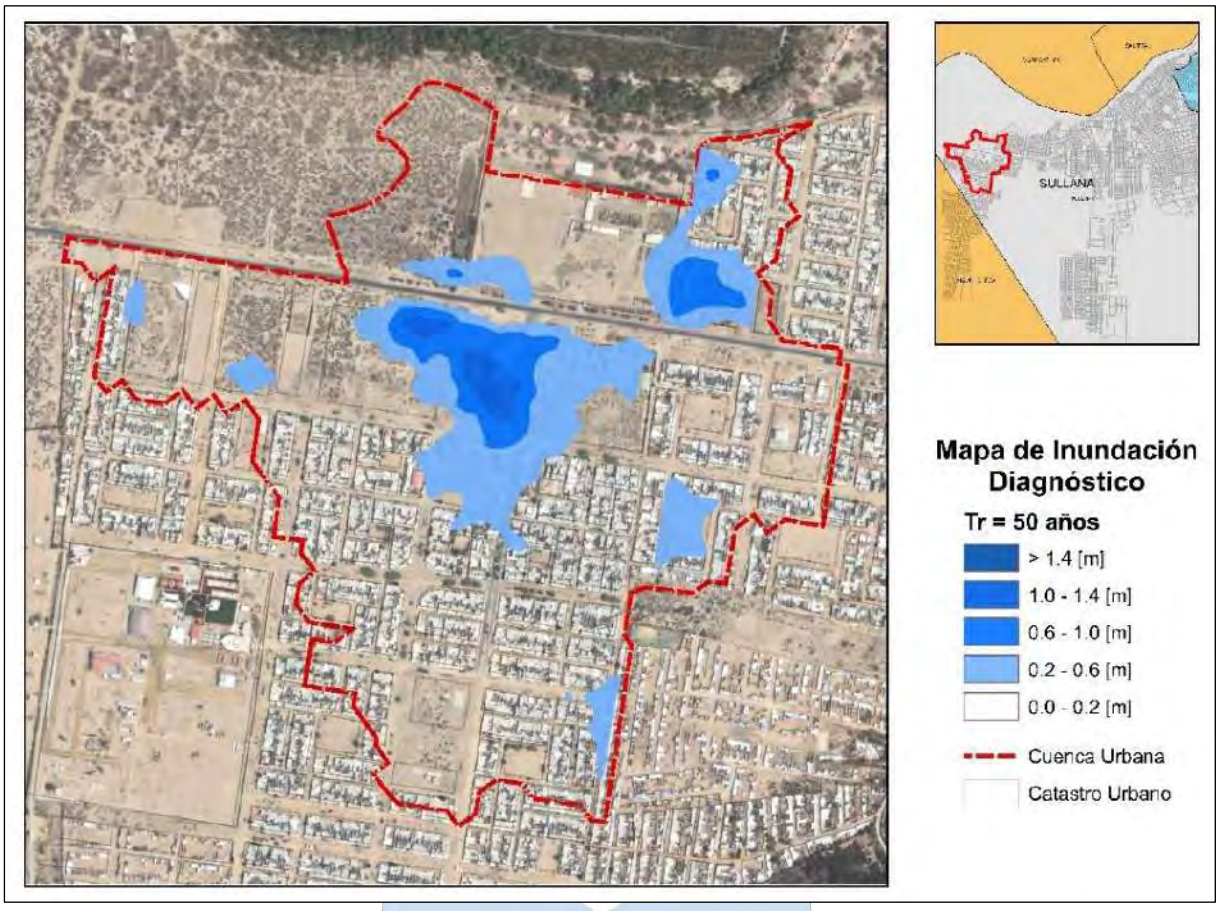


Figura 30. Mapa de inundación para un periodo de retorno de 50 años

Capítulo 4
Diseño del sistema de drenaje pluvial

La solución planteada en este capítulo contempla la evacuación e infiltración de la escorrentía generada en la cuenca con el objetivo de mitigar la problemática de inundaciones.

La infiltración se maneja como se describió en el ítem 1.3.4 a través de parques de infiltración y zanjas de infiltración en bermas centrales. En cuanto a la evacuación de las aguas pluviales, se tuvo en cuenta que la ciudad de Sullana cuenta con un sistema de drenaje mayor denominado Canal Vía en la zona centro de la ciudad que descarga la escorrentía captada por su área de influencia en el río Chira.

La Figura 31 muestra la ubicación del río Chira y el Canal Vía con respecto a la cuenca urbana Poder Judicial. En esta figura se muestran los planteamientos iniciales de la evacuación del agua de la cuenca hacia el río Chira. De manera indirecta a través del Canal Vía o de manera directa en dirección hacia el norte. Sin embargo, se descartó la evacuación a través del Canal Vía por la gran cantidad de interferencias existentes (edificaciones, vías, redes de agua, desagüe y eléctricas) en el posible trazo de la conducción, por el desnivel tan poco favorable que presenta y porque se tiene en cuenta que, ante los últimos eventos FEN la capacidad del Canal Vía ha sido superada como se muestra en la Figura 32 (ver también la Figura 33 donde se muestra una fotografía de la sección normal sin presencia de agua).

Tras analizar lo mencionado, se proponen las alternativas de evacuación que se detallan más adelante en este capítulo.

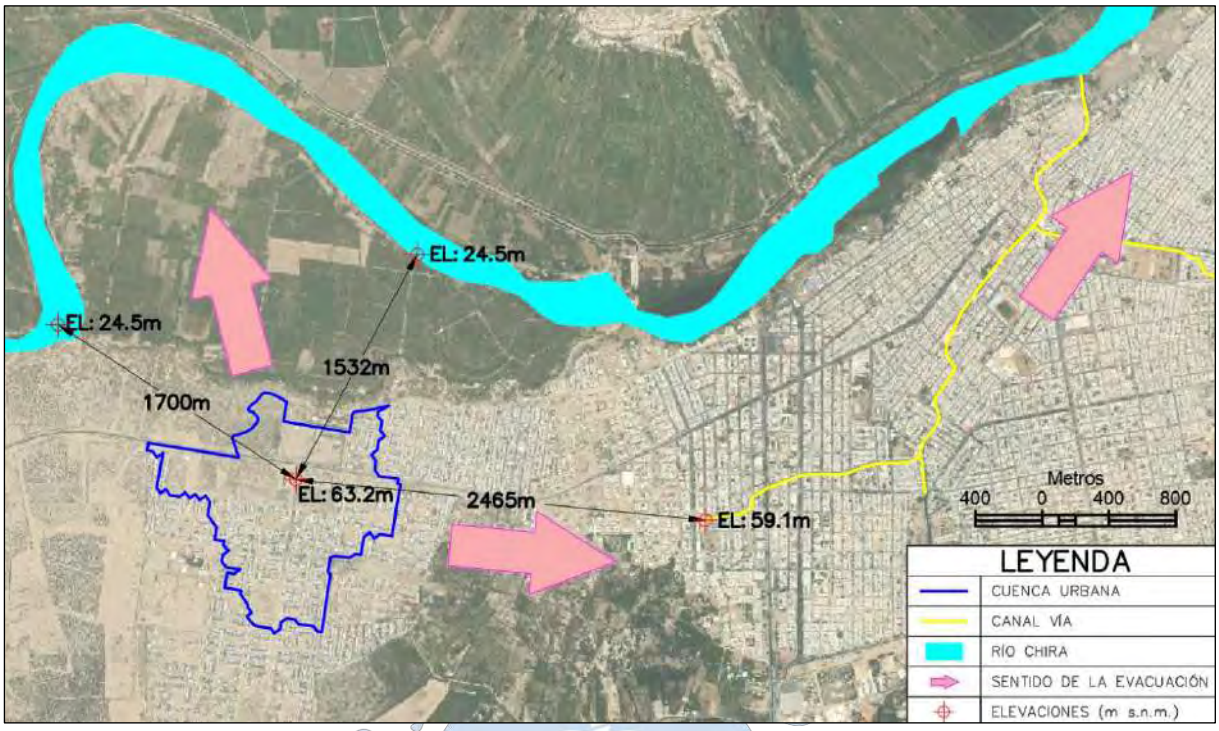


Figura 31. Sentidos analizados para la evacuación del agua proveniente de las precipitaciones pluviales en la cuenca urbana Poder Judicial

Figura 32. Estado del Canal Vía durante la precipitación del día 25/02/2017
Fuente: Diario El Regional de Piura (2017)

Figura 33. Vista de una sección típica del Canal Vía sin lluvias

Para complementar, en la Figura 34 se muestra la cuenca y se enuncian algunos elementos de interés que facilitarán la comprensión de los siguientes subcapítulos como es el caso de los parques considerados para el análisis (P1 al P9), nombres de calles importantes, instituciones relevantes y la zona más baja de la cuenca.

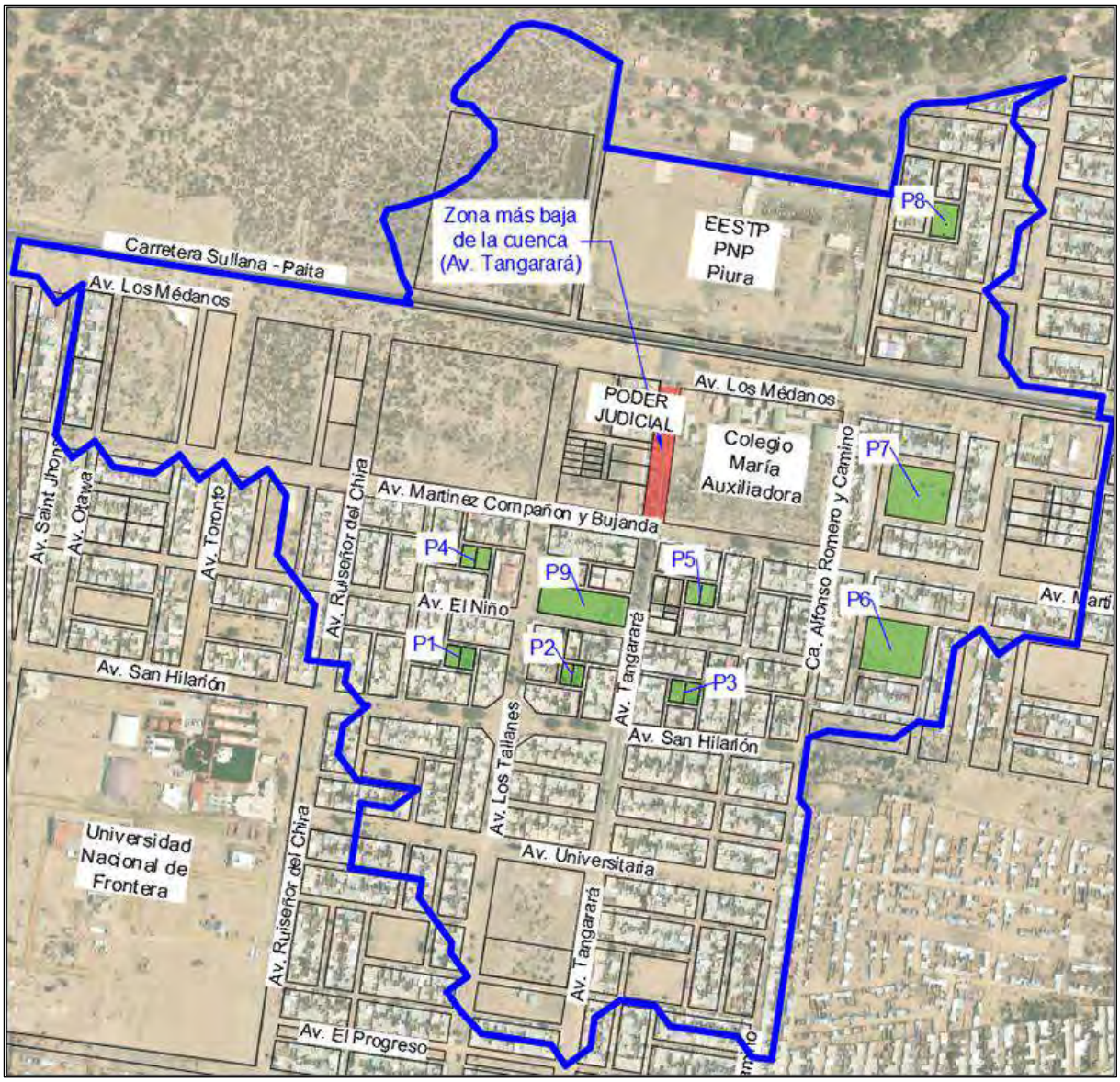


Figura 34. Disposición general de la cuenca urbana

4.1 Alternativas de mitigación

Para llegar al diseño de un sistema de drenaje pluvial que alivie la problemática existente en la zona de estudio ante precipitaciones cuyo periodo de retorno sea de 50 años, es necesaria la evaluación de distintas propuestas con el objetivo de comparar su eficacia y viabilidad técnica. El periodo de retorno fue escogido teniendo en cuenta que la ocurrencia de los Fenómenos El Niño en la costa peruana ocasiona muchos desastres y es una realidad para la que se debe estar preparados.

Las propuestas planteadas contemplan la definición de un sistema de pendientes de las calles. Este sistema permite la conducción de la escorrentía de manera fluida y hacia el punto más bajo de la cuenca en la primera cuadra de la Av. Tangarará, que ha sido profundizada aproximadamente 0.10 m a consecuencia de esta definición de pendientes. Esta profundización garantiza que tirantes inferiores a 0.30 m no ingresen a la infraestructura de la avenida. Es necesario resaltar que los mapas de inundación presentados en cada alternativa inician en 0.20 m por ser la altura típica a la que se encuentra una vereda con respecto al pavimento de las calles.

Además, se tiene en cuenta el crecimiento en infraestructura de las áreas actualmente deshabitadas y el mejoramiento de todas las calles existentes. El 50% del área sin infraestructura será considerada como área de techos y el 100% de las trochas se tomarán en cuenta como calles pavimentadas.

En consecuencia, tras haber realizado la modelación en SWMM de estas consideraciones, en la Tabla 14 se presenta la comparación entre los caudales determinados por el método racional y SWMM. En la Figura 35 se muestra el hidrograma de un nodo cuyo análisis se detalla más adelante y en la Figura 36 se presenta el mapa de inundación de la línea base.

Tabla 14. Comparación de caudal de diseño

TR (años)	Tc (min)	Área (km²)	Coeficiente de Escorrentía	Intensidad – MR (mm/h)	Caudal de diseño – MR (m³/s)	Caudal - SWMM (m³/s)	Variación (%)
10	24.1	1.128	0.595	47.8	8.93	7.85	-12.10
25	24.1	1.128	0.631	80.5	15.93	15.22	-4.48
50	24.1	1.128	0.659	108.6	22.47	22.25	-0.99

Figura 35. Hidrograma de un nodo intermedio de la Av. Tangarará entre las avenidas El Niño y San Hilarión – Línea Base– Tr = 50 años

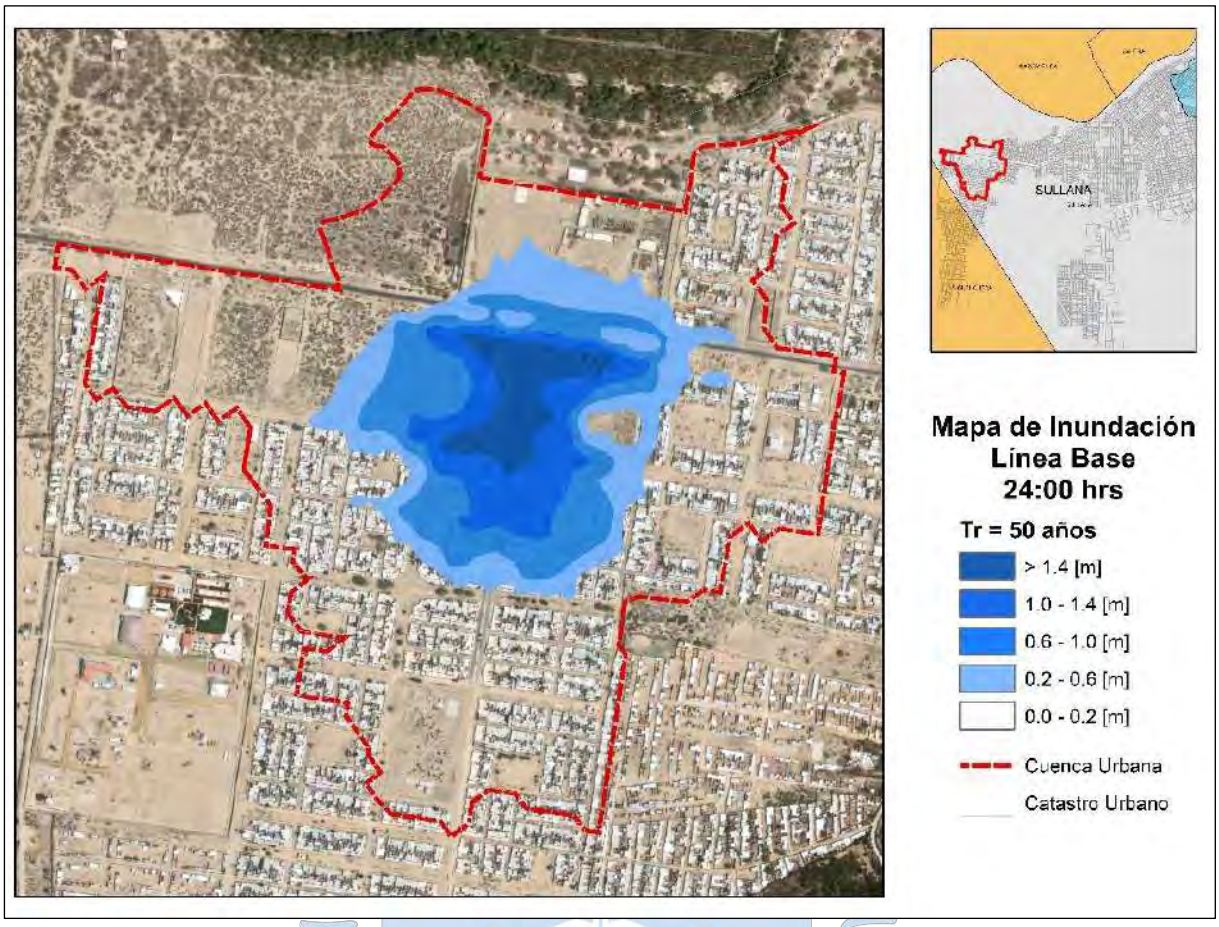


Figura 36. Mapa de inundación – Modelación línea base – Tr = 50 años

4.1.1 Alternativa de diseño 1: Parques y zanjas de Infiltración

Esta alternativa se basa en definir como parques de infiltración las áreas actualmente destinadas a esparcimiento y recreación, así como la adecuación de las bermas centrales ubicadas en las calles principales para que funcionen como franjas de infiltración.

Según el plano catastral mostrado en el Plano 02, el área que abarca la cuenca urbana Poder Judicial cuenta con 12 parques de los cuales se ha considerado analizar 9 como parques de infiltración con el fin de reducir el caudal máximo y el volumen almacenado en los puntos críticos. Este plano también muestra que las calles correspondientes a las avenidas Tangarará, Tallanes, Martínez Compañón y Bujanda, Ruiseñor del Chira y San Hilarión cuentan con el espacio suficiente para plantear el diseño calles con dos carriles y una berma central.

4.1.1.1 Diseño. Los parques tendrán una profundidad según se requiera y se proyecta que se trabaje en dos niveles. En la Tabla 15 se muestra la lista de los parques contemplados y sus dimensiones. En la Figura 37 se muestra una vista en planta y de perfil referencial del diseño típico de estos parques. Por su parte, las franjas de infiltración ubicadas en las bermas centrales tendrán un ancho de 6 m de berma central y un largo variable de acuerdo con la longitud de las calles. En la Tabla 16 se muestra la lista de las franjas de infiltración, sus

características hidráulicas y el caudal de ingreso a cada una de ellas en función del tirante en las calles. En la Figura 38 y la Figura 39 se muestran la sección y planta típica de estas franjas.

Tabla 15. Capacidad de los parques inundables contemplados

Parque inundable	Ubicación		Área [m²]	Altura 1 (h1) [m]	Altura 2 (h2) [m]	Capacidad de almacenamiento [m³]
	Norte	Este				
P1	9457349	530465	1200.00	1.00	1.00	1800
P2	9457324	530622	900.00	1.00	1.00	1350
P3	9457300	530774	1200.00	1.00	1.00	1800
P4	9457488	530488	1200.00	0.00	0.40	480
P5	9457436	530796	1200.00	1.00	1.00	1800
P6	9457363	531066	6200.00	0.00	0.75	4650
P7	9457576	531101	6100.00	0.00	0.40	2440
P8	9457952	531133	1100.00	1.00	0.50	1100
P9	9457420	530629	4900.00	1.00	1.50	9800

Tabla 16. Datos de las franjas de infiltración ubicadas en las bermas centrales

Altura [m]	Curva de almacenamiento									
	90	100	110	120	135	145	170	190	200	215
	Área [m²]									
00	90	100	110	120	135	145	170	190	200	215
0.10	135	150	165	180	202.5	217.5	255	285	300	322.5
0.20	180	200	220	240	270	290	340	380	400	430
0.30	225	250	275	300	337.5	362.5	425	475	500	537.5
0.40	270	300	330	360	405	435	510	570	600	645
0.50	315	350	385	420	472.5	507.5	595	665	700	752.5
0.60	360	400	440	480	540	580	680	760	800	860
0.70	405	450	495	540	607.5	652.5	765	855	900	967.5
0.80	450	500	550	600	675	725	850	950	1000	1075
0.90	495	550	605	660	742.5	797.5	935	1045	1100	1182.5
10	540	600	660	720	810	870	1020	1140	1200	1290
1.10	540	600	660	720	810	870	1020	1140	1200	1290
1.20	540	600	660	720	810	870	1020	1140	1200	1290
1.30	540	600	660	720	810	870	1020	1140	1200	1290
1.40	540	600	660	720	810	870	1020	1140	1200	1290
1.50	540	600	660	720	810	870	1020	1140	1200	1290
1.60	540	600	660	720	810	870	1020	1140	1200	1290
1.70	540	600	660	720	810	870	1020	1140	1200	1290
1.80	540	600	660	720	810	870	1020	1140	1200	1290
1.90	540	600	660	720	810	870	1020	1140	1200	1290
20	540	600	660	720	810	870	1020	1140	1200	1290

Tirante [m]	Curva de carga										
	90	100	110	120	135	145	170	190	200	215	170*
	Caudal [m³/s]										
0.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.10	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.20	1.8	1.9	2.1	2.3	2.5	2.6	3.0	3.3	3.5	3.7	1.5
0.30	5.7	6.2	6.7	7.2	7.9	8.4	9.6	10.5	11.0	11.7	4.8
0.40	11.1	12.2	13.2	14.2	15.6	16.6	18.9	20.7	21.6	23.0	9.4
0.50	18.0	19.7	21.3	22.9	25.2	26.8	30.6	33.5	35.0	37.1	15.3
0.60	26.2	28.5	30.9	33.2	36.6	38.9	44.3	48.6	50.8	53.9	22.2
0.70	35.5	38.7	41.9	45.0	49.7	52.7	60.1	65.9	68.8	73.1	30.1
0.80	45.9	50.1	54.2	58.3	64.2	68.2	77.8	85.3	89.0	94.5	38.9
0.90	57.3	62.6	67.7	72.8	80.3	85.2	97.2	106.6	111.3	118.1	48.6
1.00	69.8	76.2	82.5	88.6	97.7	103.7	118.3	129.8	135.4	143.8	59.2
1.10	83.2	90.8	98.3	105.7	116.5	123.7	141.1	154.8	161.5	171.5	70.6
1.20	97.6	106.5	115.3	123.9	136.7	145.0	165.5	181.5	189.4	201.1	82.7
1.30	112.9	123.2	133.3	143.3	158.0	167.7	191.3	209.8	219.0	232.5	95.7
1.40	129.0	140.8	152.4	163.8	180.6	191.7	218.7	239.9	250.3	265.8	109.4
1.50	146.0	159.3	172.5	185.4	204.4	216.9	247.5	271.5	283.3	300.8	123.8
1.60	163.8	178.8	193.5	208.0	229.4	243.4	277.8	304.6	317.9	337.5	138.9
1.70	182.5	199.2	215.5	231.7	255.5	271.1	309.4	339.3	354.0	375.9	154.7
1.80	201.9	220.4	238.5	256.4	282.7	300.0	342.3	375.4	391.8	416.0	171.2
1.90	222.1	242.4	262.4	282.1	311.0	330.0	376.6	413.0	431.0	457.7	188.3
2.00	243.1	265.4	287.2	308.7	340.4	361.2	412.2	452.1	471.7	500.9	206.1

Zanjas de infiltración	Av. Tangarará						Av. Tallanes					Av. Ruiseñor del Chira			Av. Martínez Compañón y Bujanda							Av. San Hilarión		
Longitud de la cuadra [m]	**170***	**170.3**	**110.4**	**100.2**	**135.1**	**145.1**	**170.2**	**110.3**	**90.2**	**100.3**	**145.2**	**170.1**	**110.2**	**120.1**	**200.1**	**145.3**	**215.3**	**110.1**	**215.1**	**170.4**	**100.1**	**190.1**	**90.1**	**215.2**
Curva de Almacenamiento	170*	170	110	100	135	145	170	110	90	100	145	170	110	120	200	145	215	110	215	170	100	190	90	215
Curva de carga	170*	170	110	100	135	145	170	110	90	100	145	170	110	120	200	145	215	110	215	170	100	190	90	215

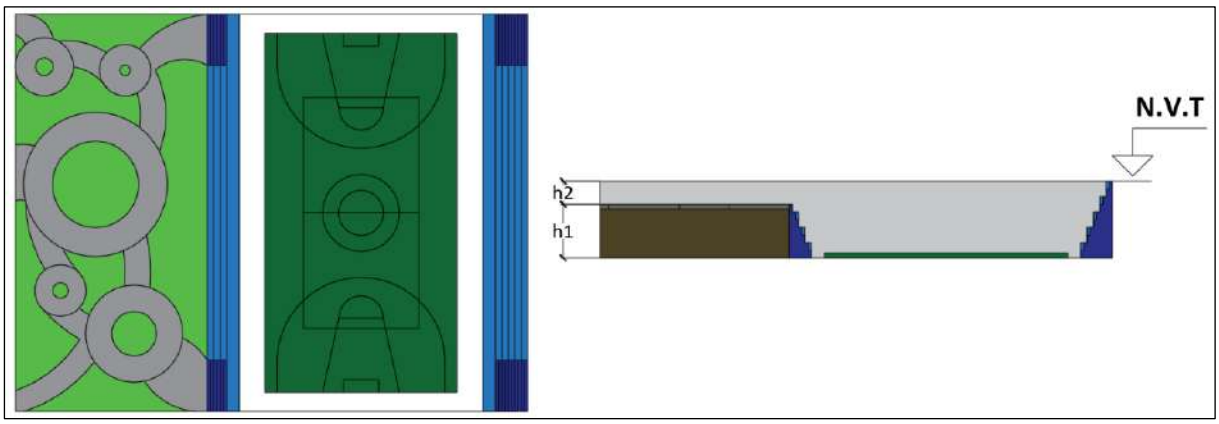


Figura 37. Vista en planta y corte de los parques

Nota: Nivel de vereda terminada (N.V.T)

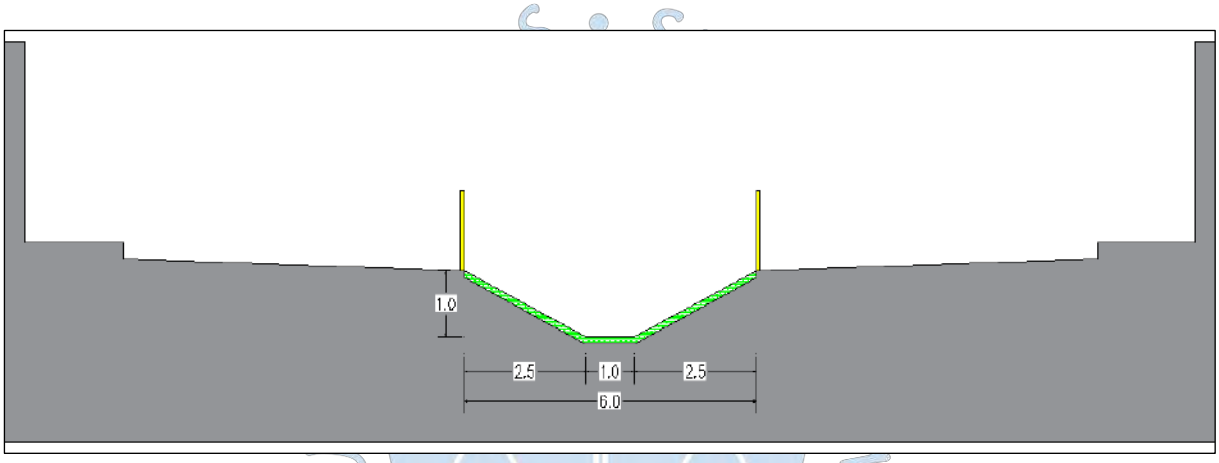


Figura 38. Sección transversal típica de las franjas de infiltración

Figura 39. Ubicación típica de las franjas de infiltración

4.1.1.2 Modelación. Tras ingresar las curvas de almacenamiento para parques y bermas, y las curvas de carga de las bermas centrales, se procede a realizar la simulación en SWMM para una precipitación con periodo de retorno de 50 años.

Los resultados de esta modelación son mostrados en la Figura 40, donde se observa el mapa de inundación de la cuenca de estudio al cese de la precipitación (24 horas); y en la Figura 41 tras haber pasado 7 días desde el inicio de la lluvia.

Es importante recalcar que un mosquito del aedes aegypti tarda entre 7 y 10 días en convertirse en adulto, por lo que el permitir estancamientos de agua en la zona genera el ambiente adecuado para la incubación de estos mosquitos (Centro Nacional para Enfermedades Infecciosas Emergentes y Zoonóticas, 2016).

Además, para complementar el posterior análisis (4.1.1.3), en la Figura 42 se muestra el hidrograma del mismo nodo mencionado anteriormente que corresponde al nodo intermedio de la Av. Tangarará entre las avenidas El Niño y San Hilarión.

Finalmente, se presenta la Tabla 17, donde se resume el volumen de llenado promedio y máximo de los parques durante el periodo de precipitaciones pluviales.

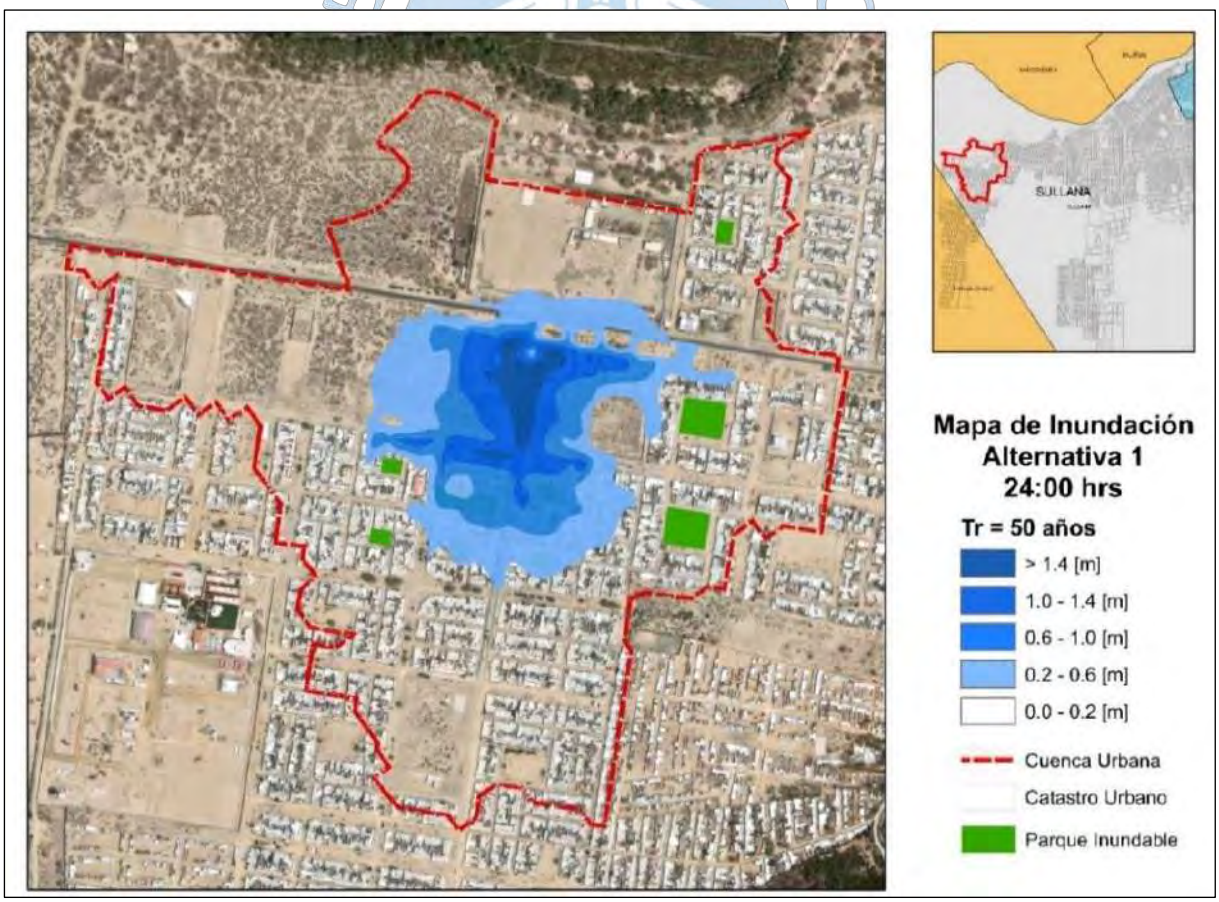


Figura 40. Mapa de inundación – Modelación alternativa 1 – A 1 día

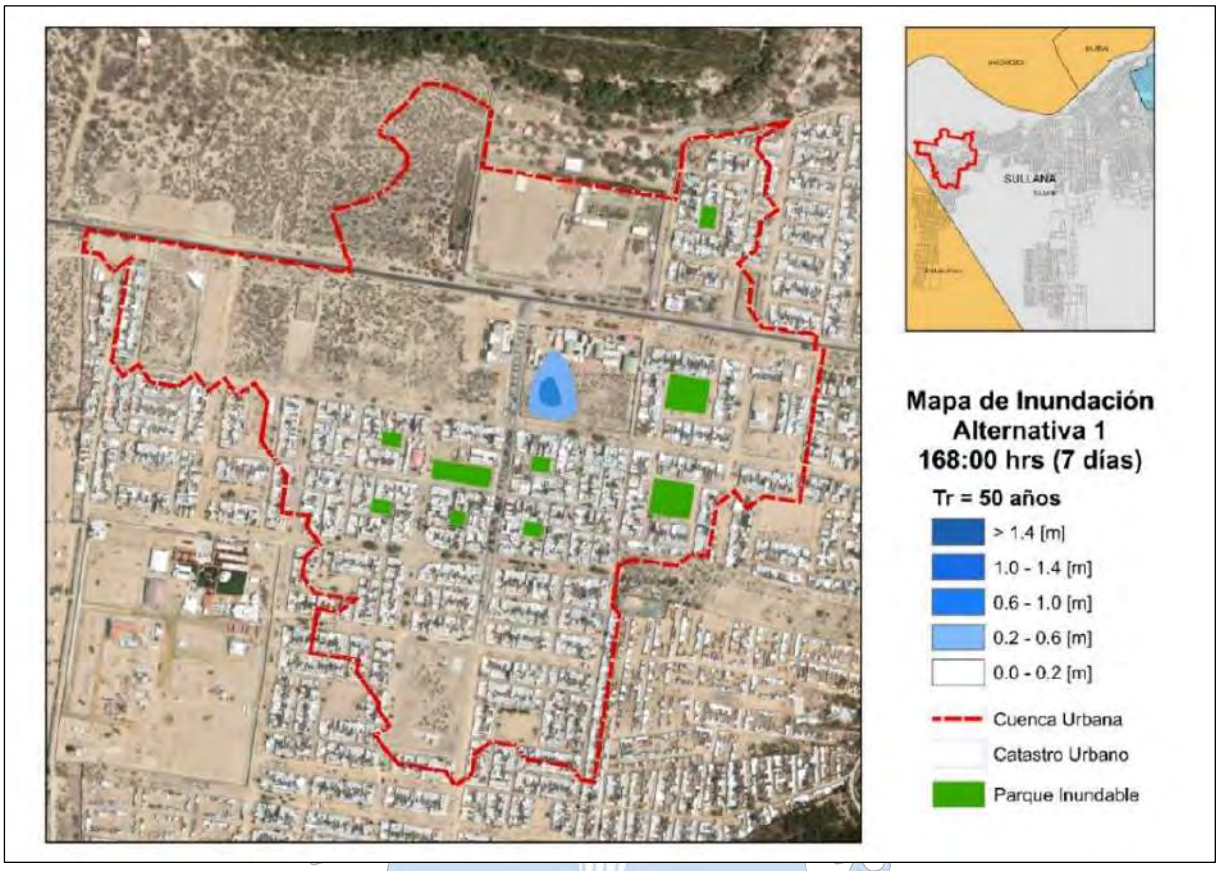


Figura 41. Mapa de inundación – Modelación alternativa 1 – A 7 días

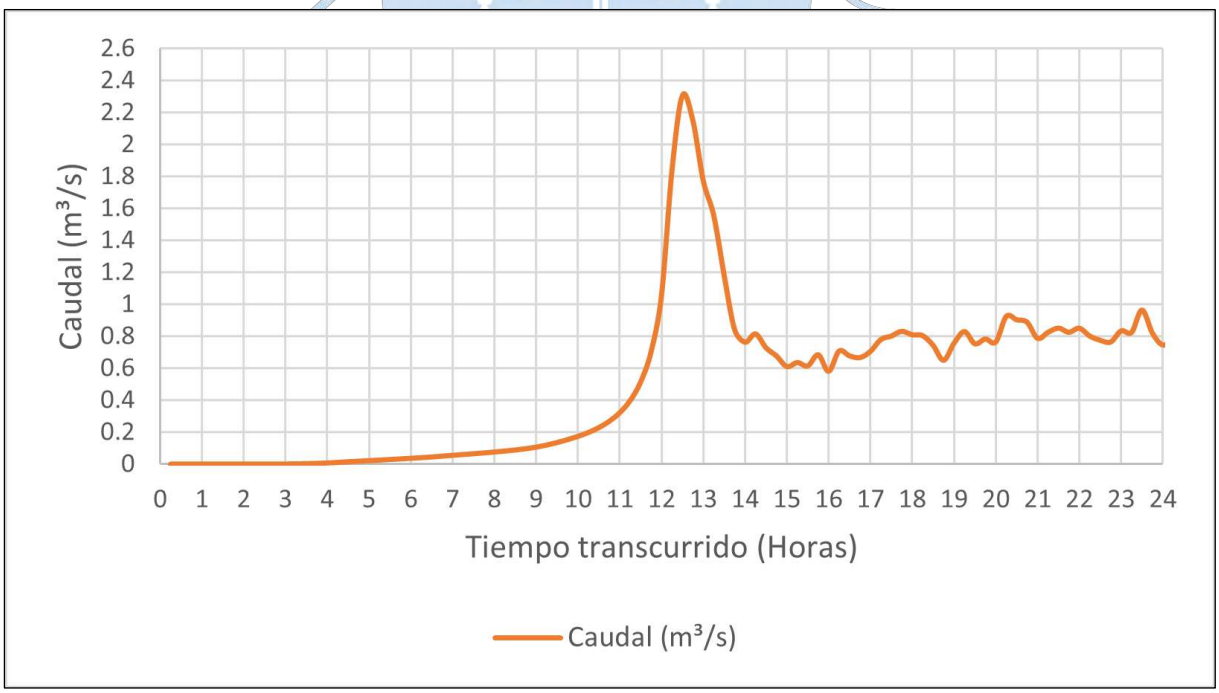


Figura 42. Hidrograma de un nodo intermedio de la Av. Tangarará entre las avenidas El Niño y San Hilarión – Alternativa 1

Tabla 17. Porcentaje de llenado promedio y máximo de los parques de infiltración

Parque inundable	Volumen medio (x1000 m³)	Volumen máximo (x1000 m³)	Capacidad (x1000 m³)	Porcentaje medio de llenado (%)	Porcentaje máximo de llenado (%)
P1	0.10	1.26	1.80	5%	70%
P2	0.52	1.35	1.35	39%	100%
P3	0.69	1.80	1.80	39%	100%
P4	0.00	0.00	0.48	0%	0%
P5	1.14	1.80	1.80	63%	100%
P6	0.00	0.33	4.65	0%	7%
P7	0.00	0.00	2.44	0%	0%
P8	0.08	1.10	1.10	7%	100%
P9	5.77	9.80	9.80	59%	100%

4.1.1.3 Interpretación de resultados. Tras comparar la Figura 36 y la Figura 40 se advierte que, si bien el área de inundación no varía notablemente, es cierto que existe una mejora en las áreas asociadas a una profundidad de inundación superior a 1.4 m. Y a pesar de que existen áreas con capacidad de infiltrar agua, son necesarios 6 días para controlar la inundación y dejar de afectar de manera crítica a las viviendas cercanas a la Av. Tangarará y son necesarios 7 días para que no existan manchas de inundación en las calles tal y como se muestra en la Figura 41.

No obstante, es claro que el uso de parques inundables y franjas de infiltración no ofrece una solución completa pues a pesar de reducir el volumen de agua del sistema, esta reducción no es suficiente para que los niveles de agua en las calles sean aceptables.

Se atribuyen estos resultados a la posición de los parques inundables. Dada la distribución catastral, no existen parques que puedan funcionar como inundables tanto al oeste de la cuenca como al norte de esta, haciendo que toda la escorrentía generada en esas áreas aportantes sea derivada al punto más bajo de la cuenca.

Además, dado que la cuenca urbana de estudio no cuenta con un punto de descarga que permite evacuar sus aguas en otra cuenca, en algún sistema de drenaje urbano o en algún curso natural, se evidencia la necesidad de generar esta descarga en algún cuerpo receptor de mayor orden.

Es importante comentar también el efecto positivo de los parques y zanjas, que además de aprovechar las áreas libres de manera sostenible, logran sus funciones reduciendo el caudal pico de la intersección evaluada en aproximadamente un 26% con respecto a la simulación base (ver Figura 35 y Figura 42). No obstante, tras verificar la cantidad de agua almacenada por los parques (ver Tabla 17), se concluye que aquellos que trabajan de manera más efectiva son los parques de infiltración: P5, P9.

4.1.2 Alternativa de diseño 2: Parques, zanjas de infiltración y sistema a gravedad hacia la dirección este

Tras observar que en la alternativa de diseño 1 se logra controlar el caudal pico en las calles, se evidencia la necesidad de generar una descarga de la cuenca en algún curso mayor de agua. En este contexto, se suele optar por una descarga, ya sea por medio de un sistema de evacuación por gravedad o por bombeo. Teniendo en cuenta que las lluvias no son frecuentes y que el tipo de suelo existente en la zona es arenoso; significa que un sistema de evacuación por bombeo implicaría obras adicionales para controlar los sedimentos arrastrados, un mantenimiento periódico a las máquinas y al sistema, además de la necesidad de disponer de grandes áreas para el almacenamiento del agua que se requiere bombear.

Ante esta premisa, para el caso particular de la cuenca Poder Judicial, se opta por emplear un sistema de evacuación por gravedad que inicie en la berma central de la primera cuadra de la Av. Tangarará. Este sistema consta de un canal abierto cuya función es captar el agua de la cuenca y finaliza en una alcantarilla ubicada en la intersección de la Av. Tangarará con la Av. Los Médanos. Este caudal captado, evacua su escorrentía a través de un conducto rectangular de concreto enterrado, que posteriormente descargarán en una rápida hasta su disposición final en el río Chira (ver Figura 43).

4.1.2.1 Diseño. Las franjas de infiltración mantienen las características mostradas en la primera alternativa eliminando la franja de la primera cuadra de la Av. Tangarará para colocar en esa posición el canal de captación mencionado, mientras que los parques de infiltración se reducen a los 2 que presentan mayor efectividad y por la posición en la que se encuentra, el P8 también se mantiene (ver Tabla 18), se resalta que en esta alternativa, los parques de infiltración se consideran de un solo nivel en todo su desarrollo.

Tabla 18. Capacidad de los parques inundables contemplados

Parque Inundable	Ubicación		Área [m²]	Altura [m]	Capacidad de almacenamiento [m³]
	Norte	Este			
P5	9457436	530796	1200	0.50	600
P8	9457952	531133	1100	1.00	1100
P9	9457420	530629	4900	1.50	7350

En el caso del sistema de conducción por gravedad, la forma del canal de captación contemplado en la Av. Tangarará, se proyecta como se muestra en la Figura 44. Además, este sistema está compuesto por 2 tramos: el primero tiene conductos enterrados con una longitud de 690 m, incluye una serie de 7 pozos de inspección, considerados a una distancia máxima de separación de 150 m y en cada cambio de dirección. En cuanto al conducto rectangular, tiene una sección hidráulica variable que va desde 1.5 m de altura y 3.0 m de ancho de base hasta 2.5 m de ancho de base y 2.5 m de altura (ver Figura 45) y el perfil de su disposición en

el terreno se proyecta como se muestra en la Figura 46. El segundo tramo (ver Figura 47) se compone de una rápida de sección rectangular con 2.5 m de ancho de base y 1.5 m de altura que descarga sus aguas en un canal abierto que conduce la escorrentía hasta su disposición final. Ambos tramos se prevén fabricados con concreto armado.

Es necesario resaltar que el caudal máximo de entrega a la rápida es de 15.74 m^3/s.

Figura 43. Esquema en planta del sistema de descarga a gravedad para la alternativa 2

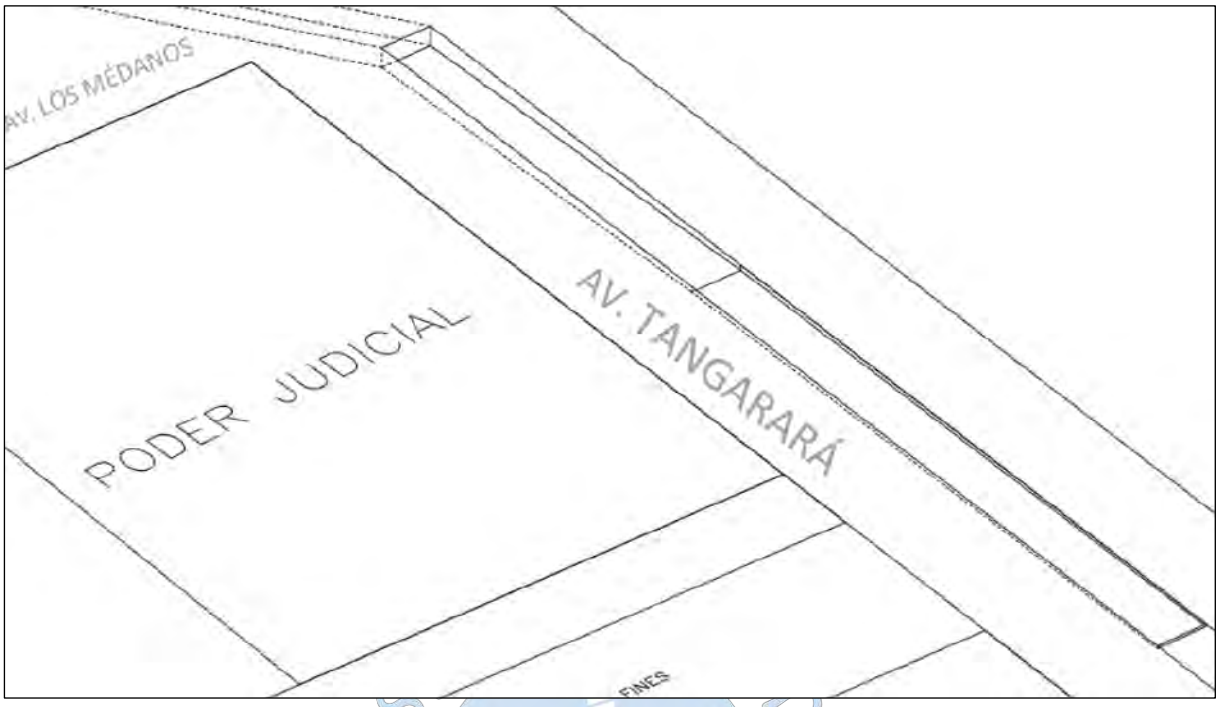


Figura 44. Canal de captación en la berma de la Av. Tangarará

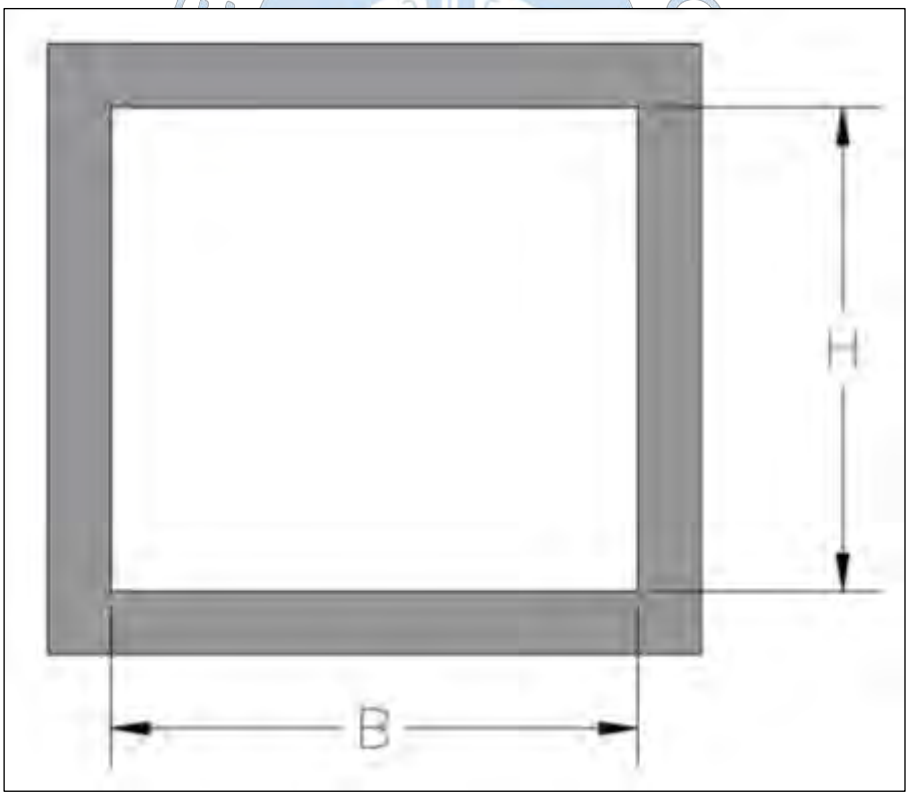


Figura 45. Sección transversal del conducto de descarga

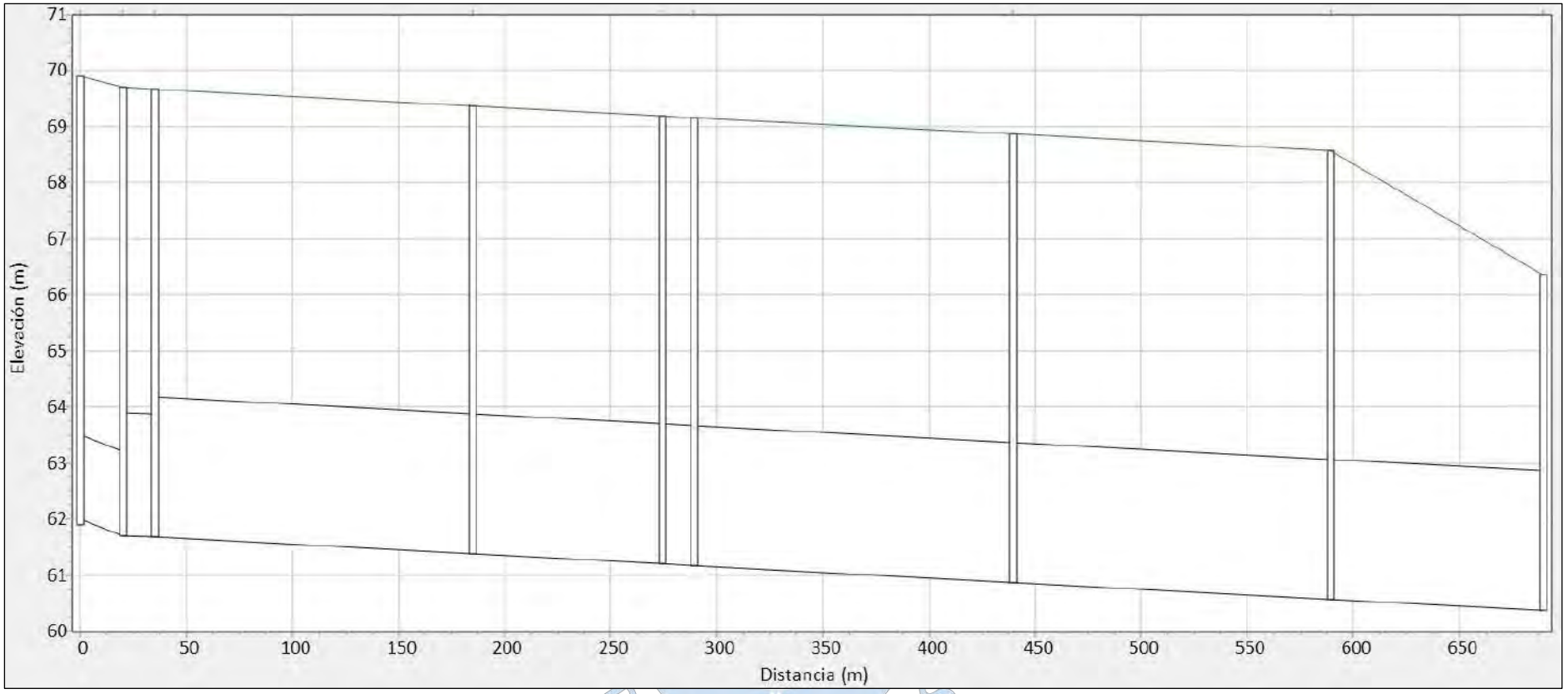


Figura 46. Perfil longitudinal del sistema de descarga hacia el río Chira, primer tramo – Alternativa 2

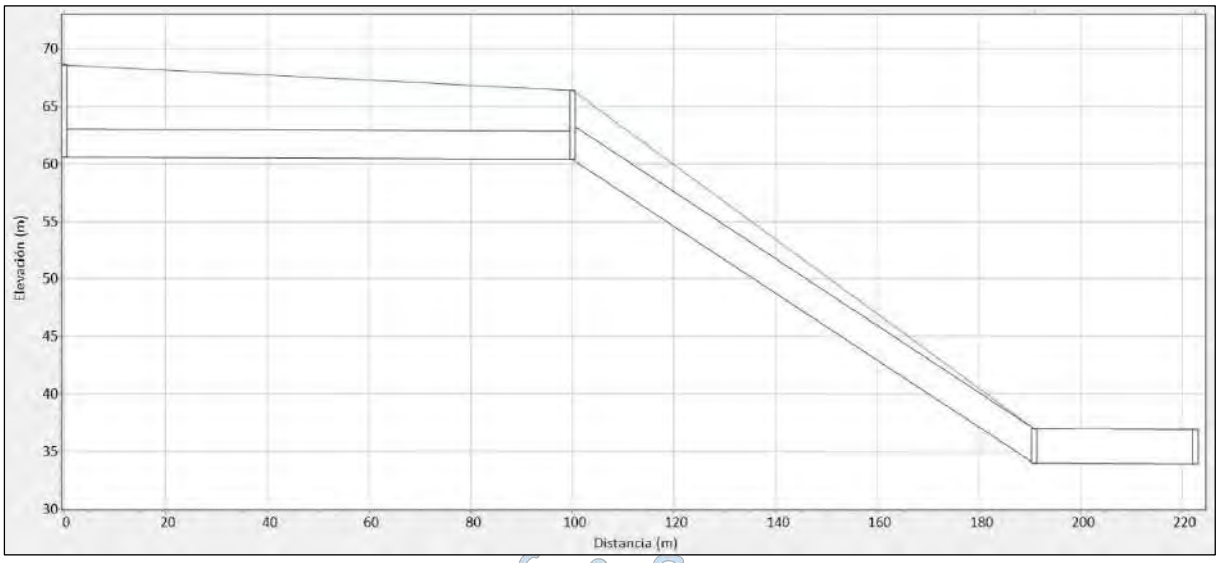


Figura 47. Perfil de la rápida, segundo tramo - Alternativa 2

4.1.2.2 Modelación. Los resultados de esta modelación son visualizados en la Figura 48, donde se evidencia que los tirantes máximos obtenidos no superan los 20 cm durante un tiempo considerable en el intervalo de la máxima escorrentía.

También debe mencionarse que, en la primera fase del sistema, este trabajaría ahogado durante aproximadamente 2 horas en la máxima avenida de 50 años de retorno.

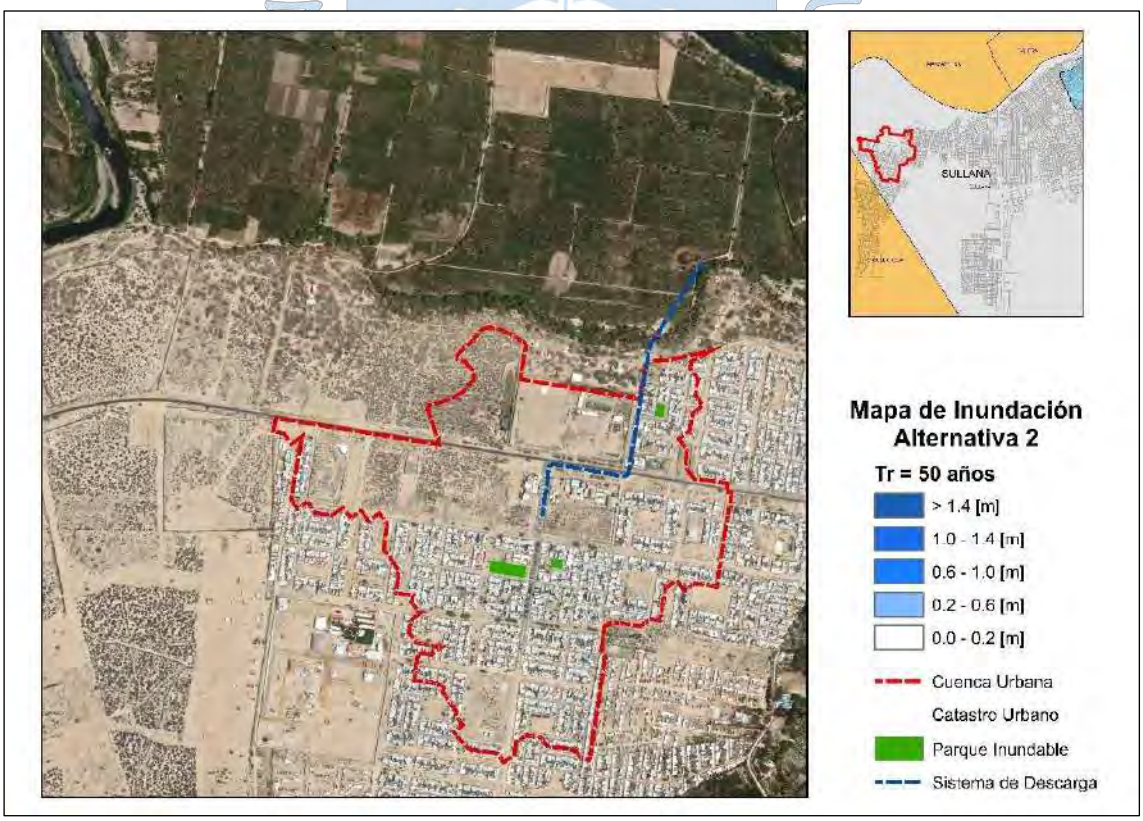


Figura 48. Mapa de inundación – Modelación alternativa 2

4.1.2.3 Interpretación de resultados. Como se observa en los resultados de la modelación, el problema de inundaciones se mitiga por completo; resultando que los tirantes máximos obtenidos se dan en la intersección de la Av. Tangarará y la Av. Martínez Compañón y Bujanda, y oscilan entre 0.20 m y 0.23 m durante 15 minutos. Esta disminución en los tirantes de inundación se debe al sistema de evacuación que hace posible descargar el volumen de agua producido por la lluvia en un curso de agua mayor como el río Chira.

De acuerdo con el perfil longitudinal del fondo del conducto y el terreno, las profundidades de excavación oscilan entre 3.29 m y 7.77 m para el tramo del conducto enterrado y de hasta 14 m para el tramo de la rápida.

4.1.3 Alternativa de diseño 3: Parques, zanjas de infiltración y sistema a gravedad hacia la dirección oeste

Tras haber comprobado la efectividad de una combinación entre sistemas de drenaje urbano sostenible y una descarga al río por medio de un sistema convencional de descarga a gravedad, esta alternativa plantea variar el trazo por zonas con mayor área disponible para realizar excavaciones de gran profundidad desde la intersección entre la Av. Tangarará y la Av. Los Médanos, hasta su disposición final (ver Figura 41).

4.1.3.1 Diseño. El diseño de las franjas de infiltración, parques inundables, canal de aproximación y conductos, se mantiene igual al de la alternativa anterior. Por lo que, el replanteo del nuevo trazo está compuesto por 2 tramos, como se muestra esquemáticamente en la Figura 49, el primer tramo tiene conductos enterrados en una longitud de 1 135 m, su sección hidráulica es rectangular y sus dimensiones van desde 3.0 m x 1.5 m hasta 2.5 m x 2.5 m (base x altura), incluye una serie de 11 pozos de inspección, como se muestra en la Figura 50. Por otra parte, el segundo tramo se compone de una rápida de sección rectangular con 2.5 m de ancho de base y 1.5 m de altura que descarga sus aguas en canal cuya sección inicial debe tener como mínimo 3 m de altura al inicio para contener el resalto hidráulico producido y para mantener la uniformidad, el mismo ancho de base que la rápida (ver Figura 51). Ambos tramos se prevén fabricados de concreto armado.

Es necesario resaltar que el caudal máximo de entrega a la rápida es de 15.78 m^3/s.

El detalle de las consideraciones de diseño hidráulico de la rápida es presentado en el Apéndice H.

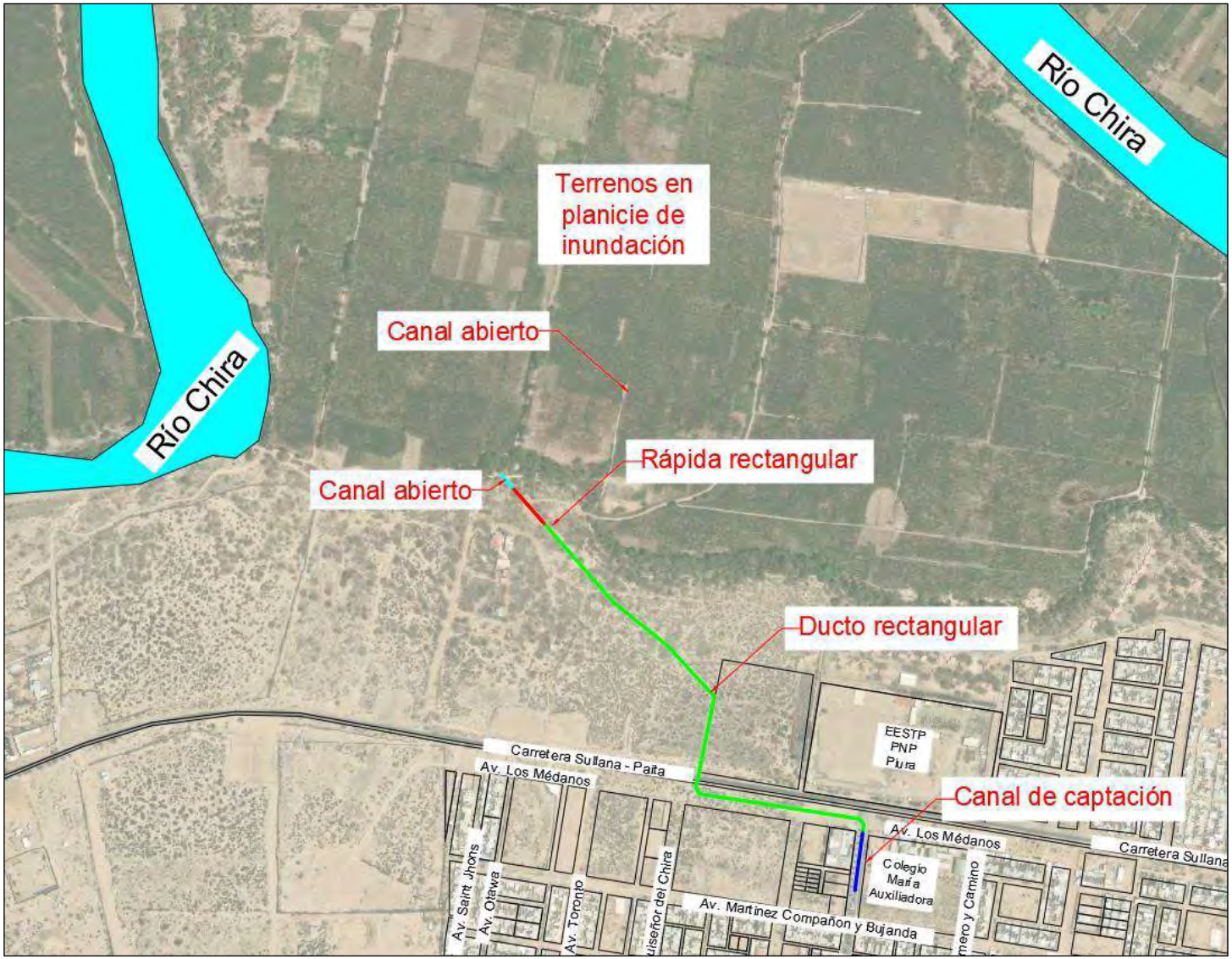


Figura 49. Esquema en planta del sistema de descarga a gravedad para la alternativa 3

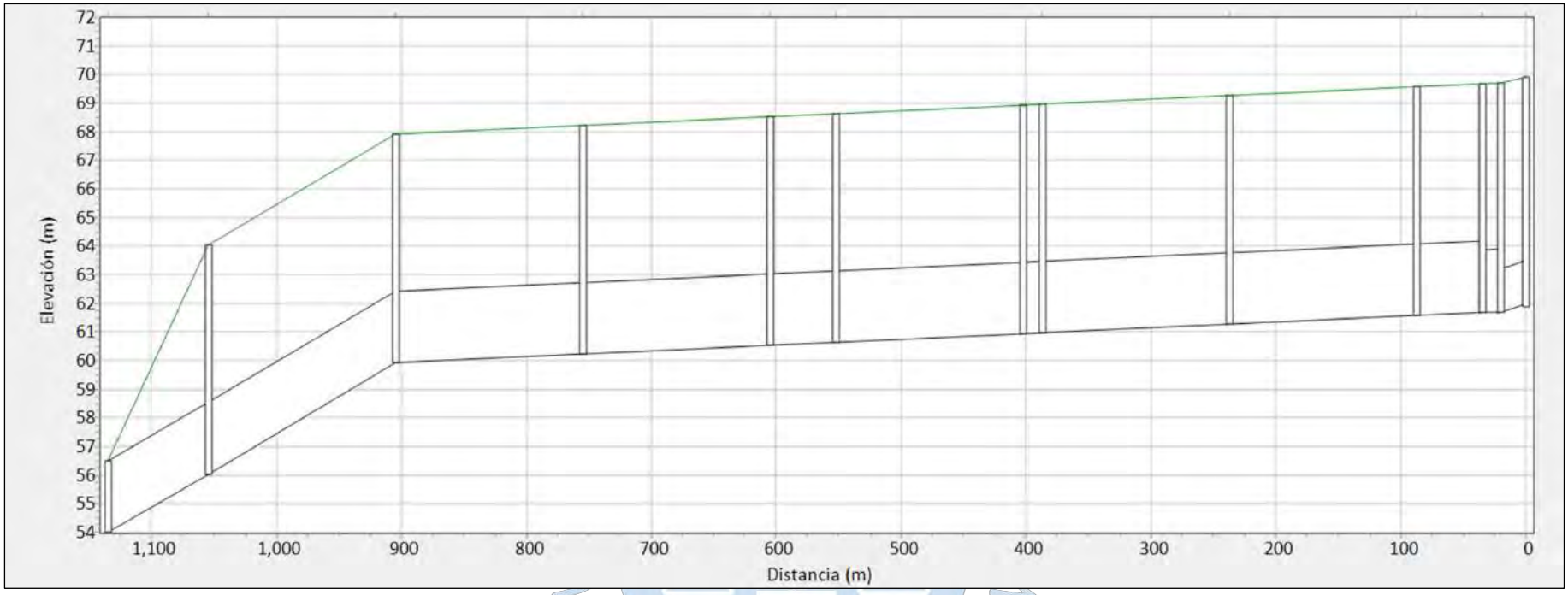


Figura 50. Perfil longitudinal del sistema de descarga hacia el río Chira, primer tramo – Alternativa 3

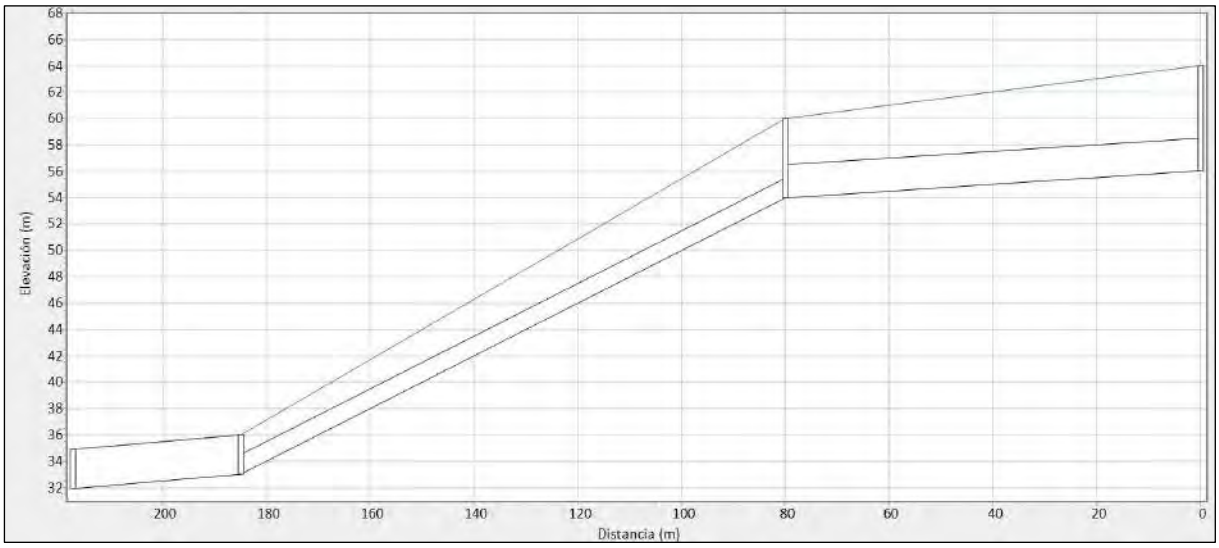


Figura 51. Perfil de la rápida, segundo tramo - Alternativa 3

4.1.3.2 Modelación. Los resultados de esta modelación son visualizados en la Figura 52, donde se evidencia que los tirantes máximos obtenidos no superan los 20 cm durante un tiempo considerable en el intervalo de la máxima escorrentía.

También debe mencionarse que, en el primer tramo del sistema, este trabajaría ahogado durante aproximadamente 2 horas en la máxima avenida de 50 años.

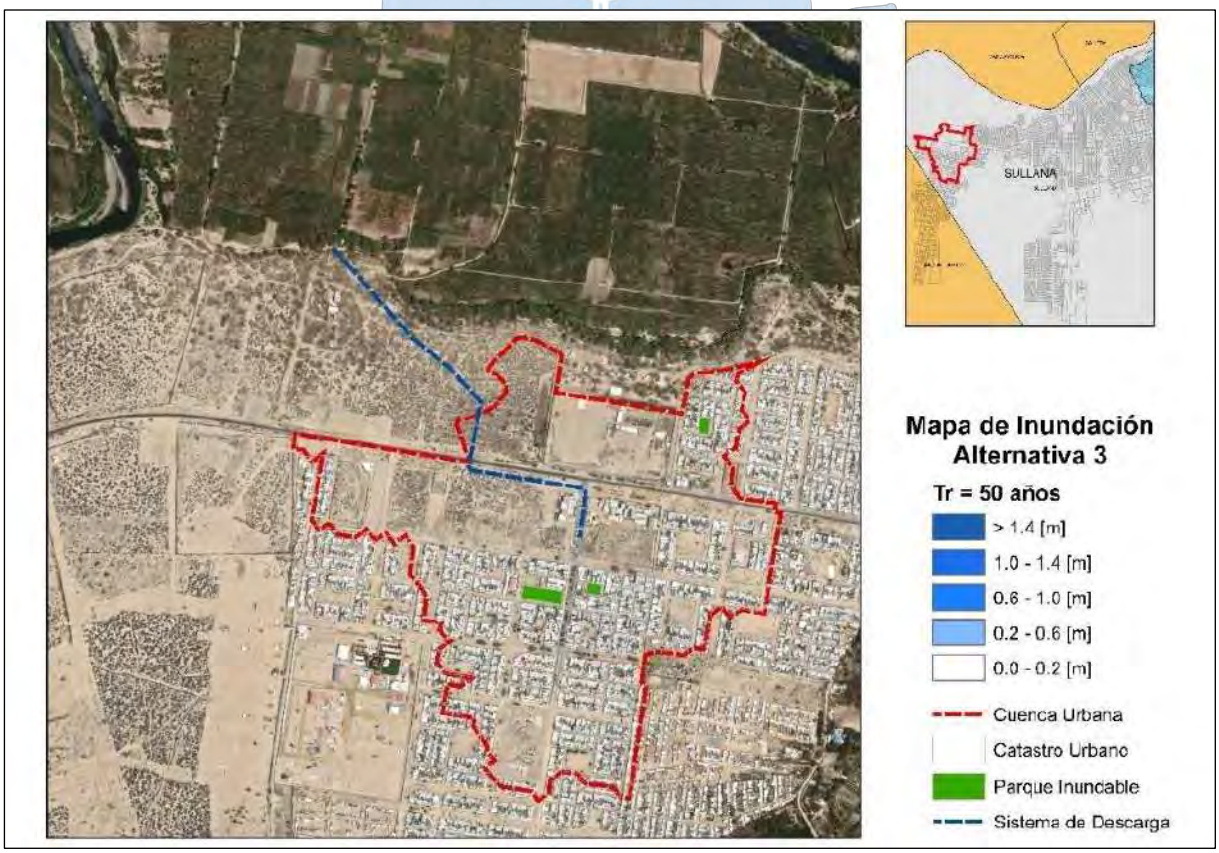


Figura 52. Mapa de inundación – Modelación alternativa 3

4.1.3.3 Interpretación de resultados. Como se observa en los resultados de la modelación, el problema de inundaciones se mitiga por completo; siendo que, los tirantes máximos obtenidos se dan en la intersección de la Av. Tangarará y la Av. Martínez Compañón y Bujanda, y oscilan entre 0.20 m y 0.23 m durante 15 minutos. Esta disminución en los tirantes de inundación se debe al sistema de evacuación que hace posible descargar el volumen de agua, por lo tanto, el nuevo trazo también mitiga la problemática.

De acuerdo con el perfil longitudinal del fondo del conducto y el terreno, las profundidades de excavación oscilan entre 3.29 m y 8.93 m para el tramo del conducto enterrado y de hasta 7.96 m para el tramo de la rápida.

4.2 Alternativa de diseño seleccionada

En la alternativa 1 se trató de controlar el volumen acumulado mediante la infiltración y almacenamiento de agua en zonas determinadas (parques inundables y zanjas de infiltración); tras verificar la incapacidad de esta propuesta (ver Figura 40), se propone generar una descarga que permita eliminar el exceso de agua de la cuenca.

Ante esta necesidad surge la alternativa 2 que contempla un sistema de evacuación por gravedad además de contar con parques inundables y zanjas de infiltración como en la alternativa 1. El trazo de este sistema se escoge por ser aquel que presenta una menor longitud hacia la zona de descarga y por presentar caminos definidos que pueden intervenirse.

Esta alternativa, mitiga la problemática de la inundación de la cuenca. No obstante, durante el análisis detallado del perfil se concluye que las profundidades de excavación para esta alternativa oscilan entre 3.29 m y 7.77 m para el tramo del conducto; estas profundidades hacen que la alternativa planteada no sea viable técnicamente, pues, la calle por la que se propone el trazo tiene un ancho de aproximadamente 10 m, el suelo característico es arenoso y existen viviendas conformadas en las márgenes.

A partir del análisis final de la alternativa 2, se sabe que las profundidades de excavación de los trazos son significativas, por lo que se opta por replantear el trazo por zonas con mayor disponibilidad de espacios abiertos como la propuesta en la alternativa 3.

La alternativa 3, al igual que la alternativa 2, logra mitigar la problemática de las inundaciones en la cuenca Poder Judicial, pero, con la ventaja de que a lo largo de su trazo si bien se atraviesa un terreno eriazo con propietario, no existe riesgo de perjudicar el patrimonio de terceros.

Dicho esto, se concluye que la alternativa 3 es la propuesta que mitiga la problemática y se adapta a las condiciones de la cuenca evaluada.

Finalmente, en el Plano 07 se muestra el sistema de drenaje urbano sostenible proyectado y en el Plano 08 se representa el sistema de evacuación por gravedad de esta alternativa.

4.3 Planeamiento del proyecto

Considerando el desarrollo de la ciudad de Sullana, la implementación de esta alternativa se sugiere en tres etapas como se muestra en la Tabla 19.

Tabla 19. Planeamiento del proyecto de drenaje pluvial de la cuenca Poder Judicial

Metas	Etapa 1	Etapa 2	Etapa 3
• Conformación de pistas y veredas	X		
• Conformación de franjas de infiltración en bermas centrales	X		
• Construcción de sistema de evacuación por gravedad		X	
- Canal de captación			
- Conductos enterrados y pozos de inspección			
- Rápida			
• Construcción de parques de infiltración			X

Como en cualquier proyecto donde se debe realizar la conformación de pistas y veredas, se sugiere iniciar con la optimización del sistema de alcantarillado sanitario y la red de agua potable. Posteriormente, la construcción de pistas debe mantener las cotas de esquina mostradas en el Plano 06 para que el comportamiento del flujo sea similar al planteado en la alternativa escogida.

Acompañando a la construcción de pistas y veredas, las franjas de infiltración en las bermas centrales deben mantenerse como áreas verdes en su sección con el fin de que no pierda su capacidad de infiltración.

Tras haber definido la estructura de pistas, veredas y las bermas centrales, en la segunda etapa se recomienda seguir con la construcción del sistema de evacuación por gravedad. Debido a que este sistema logra aliviar en gran medida la problemática de inundaciones en la cuenca urbana.

Finalmente, en la tercera etapa, se sugiere la construcción de los parques de infiltración por ayudar a reducir la escorrentía máxima. La construcción de estos parques se ubica en la etapa final por ser aquella que ofrece menor incidencia en la reducción del área de inundación.

Conclusiones

La línea base mostrada en el capítulo 4 tiene el objetivo de mostrar una línea base sobre la cual se puedan comparar los resultados de la alternativa de mitigación planteada principalmente al reducir las manchas de inundación producidas en la cuenca urbana Poder Judicial.

Esta línea base lleva a concluir que, con el desarrollo en infraestructura de la ciudad, la cantidad de áreas permeables disminuye, generando un incremento en la escorrentía total en la cuenca. Este efecto es notable tras comparar las figuras correspondientes a la inundación en los mapas de diagnóstico y la línea base mostrados en los capítulos 3 y 4 respectivamente.

La alternativa 1 demuestra que la implementación de sistemas de drenaje urbano sostenibles ayuda principalmente a reducir la escorrentía máxima del sistema y retrasar su llegada a los puntos más bajos además de contribuir con áreas permeables que permiten la infiltración. Además, en esta alternativa se advierte que al ser la cuenca urbana Poder Judicial una cuenca ciega, es muy importante generar un sistema de evacuación hacia un sistema de alcantarillado o en algún curso de agua natural.

Tras analizar los resultados de la alternativa 1, se implementa un sistema de descarga a través de un sistema a gravedad. Se propone este sistema por encima de algún sistema de bombeo, dado que la topografía de la zona no presenta grandes desniveles por lo que el emplear un sistema de bombeo en este caso, además de ser costoso, los montos requeridos para operación y mantenimiento suelen ser grandes en comparación con un sistema de conductos cerrados y canales abiertos cuyo mantenimiento es más sencillo de ejecutar y menos costoso.

Con la adición de un sistema de evacuación por gravedad en la alternativa 2 se logra visualizar la mejoría en los mapas de inundación de la cuenca urbana, produciéndose una fuerte alternativa que alivie la problemática. No obstante, las grandes alturas de excavación en espacios reducidos generan la necesidad de buscar otro trazo de descarga.

En la alternativa 3, se presenta un nuevo planteamiento de eje de descarga que, a pesar de tener profundidades de excavación levemente mayores, al estar conducido por terrenos eriazos inhabitados, no produce mayores problemas durante la fase constructiva, lo que la hace la alternativa ideal entre las analizadas para mitigar el problema de la cuenca.

La implementación de los sistemas de drenaje urbano sostenible empleados en el desarrollo de este estudio tienen el objetivo de reducir la escorrentía mediante el almacenamiento e infiltración de agua. Además, el uso de estos sistemas tiene beneficios como el recargo de los acuíferos existentes en la zona, al estar casi por completo cubiertos de vegetación, contribuyen con la evapotranspiración de agua, reducir las emisiones de CO_2 y en el ámbito paisajístico, son visualmente agradables.

En cuanto a las simulaciones ejecutadas, los porcentajes de error de continuidad para el cálculo de la escorrentía y el enrutamiento del flujo en la red de drenaje obtenidos son inferiores al 1% concluyendo que los resultados de las simulaciones son fiables.

A pesar de ser una poderosa herramienta de cálculo que logra determinar una gran cantidad de variables, SWMM posee la desventaja de ser poco amigable a la hora de exportar los resultados de las simulaciones a otros programas para el procesamiento de la información.

El tipo de suelo típico encontrado en la cuenca urbana Poder Judicial es asociado a una arena mal graduada de baja consistencia debido a que se encuentra en una zona de depósitos eólicos. Esta composición del terreno natural es beneficiosa para los asentamientos humanos conformados, pues su alta conductividad hidráulica permite velocidades de infiltración que mitigan en gran medida los efectos de las lluvias. No obstante, en aquellas zonas cuyo desarrollo urbano es mayor y se presentan viviendas en toda la manzana y caminos de afirmado, bloques de concreto e incluso asfalto, los efectos de las lluvias son lo suficientemente importantes como para ser tenidos en cuenta.

Gracias al análisis de Farías & Ruiz (2018) al determinar la ecuación asociada a las curvas IDF en presencia de ENSO y El Niño Costero en la ciudad de Piura, se logró escalar estos resultados al caso de la ciudad de Sullana son usados en el análisis de la cuenca urbana estudiada.

Recomendaciones

Al desarrollar estudios de drenaje pluvial urbano, es importante diferenciar entre cuenca urbana y cuenca hidrográfica, pues la existencia de edificios y calles modifica en gran medida el curso que sigue el agua.

Al evaluar una cuenca urbana ubicada geográficamente en una zona en la que se desarrolla tanto ENSO como El Niño Costero, es importante que el análisis hidrológico contemple estos fenómenos además de escoger un periodo de retorno adecuado que garantice la integridad de las estructuras ante estos eventos.

Se sugiere evitar el uso de pavimentos permeables como sistema urbano de drenaje sostenible por la gran presencia de arena en la zona que puede obstruir los poros de esta medida estructural pudiendo dejarla inoperativa ante un evento importante.

El uso de franjas de infiltración ubicadas en las bermas centrales es una medida económica que tiene grandes beneficios comparada con las típicas bermas centrales de concreto, por lo que se sugiere hacer uso de este sistema. Incluso se puede considerar las bermas centrales con áreas verdes ya que mejora la perspectiva de las calles. Con respecto a la pendiente este puede optar la misma de la carretera o distinta, teniendo en cuenta que su función es almacenar agua e infiltrar con el fin de reducir el caudal máximo del sistema de evacuación.

A pesar de la gran versatilidad y la cantidad de variables que puede usar SWMM, los resultados de esta modelación numérica son muy susceptibles a los datos ingresados, por lo que, es necesario tener un criterio bien formado del comportamiento del flujo para poder advertir inconsistencias en el proceso de simulación.

La implementación de la alternativa escogida debe priorizar la construcción de las calles para derivar la escorrentía a la Av. Tangarará y posteriormente desarrollar el sistema de descarga a gravedad es quien alivia en gran medida la problemática existente en la cuenca urbana.

El concreto con el que se diseñe la rápida, debe ser capaz de soportar velocidades superiores a 14 m/s. No obstante, teniendo en cuenta la naturaleza de los suelos eólicos y fluviales por los que atraviesa la alternativa de solución, el agua que se transporte a través de los conductos podría arrastrar sedimentos que al llegar al río Chira generen problemas de

erosión. Por lo tanto, podría ser necesaria una reducción de energía con el uso de caídas con gradas, dados de disipación o incrementando la rugosidad de la rápida con el uso de enchapados de piedra.

Aguas abajo de la rápida, se requiere de aproximadamente 100 m de conducción abierta para poder estabilizar el flujo y el resalto generado por el cambio de pendiente.

Teniendo en cuenta la expansión urbana hacia el oeste de la ciudad de Sullana, se recomienda la realización de un estudio de drenaje pluvial integral que abarque todo el sector oeste para evaluar estructuras de drenaje mayor que permitan evacuar la escorrentía generada de manera directa hacia el río Chira y mitigar posibles problemas de inundaciones.

Referencias bibliográficas

Alegret Breña, E., & Martínez Valdés, Y. (2019). Coeficiente de Hazen-Williams en función del número de Reynolds y la rugosidad relativa. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 41-55. Obtenido de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1680-03382019000300041&lng=es&tlng=es

Anta, J., Naves, A., & Naves, J. (2019). *Introducción al cálculo de redes de saneamiento con SWMM.* A Coruña: Universidade da Coruña, Servizo de Publicacións. doi:https://doi.org/10.17979/spudc.9788497497336

Briceño, V. (2018). *Cuenca hidrográfica*. Recuperado el 21 de 03 de 2021, de https://www.euston96.com/cuenca-hidrografica/

Castilla, A., & Galvis, G. (1993). *Bombas y estaciones de bombeo.* Cali: Ultragraf Editores.

Cateriano, F., & Menacho, L. (2019). Diseño de drenaje pluvial de la cuenca Ignacio Merino de Piura usando el programa SWMM. Perú: Universidad de Piura.

CENEPRED. (2017). Informe de evaluación de riesgo por inundación pluvial en el centro poblado de Sullana, distrito y provincia de Sullana, departamento de Piura. Perú.

Centro Nacional para Enfermedades Infecciosas Emergentes y Zoonóticas. (2016). Ciclo de vida del mosquito.

Chow , V. T., Maidment, D., & Mays, L. (1994). *Hidrología aplicada.* Bogotá: McGRAW-HILL.

Comisión Nacional del Agua. (2019). Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Coyoacán, México.

Del Chira Noticias. (03 de marzo de 2016). Publicación de estado. Sullana. Obtenido de https://www.facebook.com/delchiranoticias/photos/a.852779244748076/1334827316543264

Diario El Regional de Piura. (25 de febrero de 2017). Sullana soporta intensa lluvia y canal vía rebasó su capacidad. Sullana. Obtenido de https://bit.ly/3kOXUU2

Dirección de Obras Hidráulicas. (2013). Manual de Drenaje Urbano. Chile.

Dirección Regional de Salud Piura. (2017). *Sala de situación de salud de Piura: Semana Epidemiológica N° 52 -2017.* Piura. Recuperado el 03 de febrero de 2021, de https://bit.ly/3rj4iDz

Farías, M., & Ruiz, M. (2018). *Determinación de ecuación Intensidad-Duración-Frecuencia en presencia de ENSO y Niño Costero. Caso: ciudad de Piura.* Piura.

Fattorelli, S., & Fernandez, P. (2011). *Diseño Hidrológico* (2° ed.). WASA-GN.

French, R. (1988). *Hidraulica de canales abiertos.* Ciudad de México: McGRAW-HILL.

Granda, R. (2013). Análisis numérico de la red de drenaje pluvial de la Urb. Angamos. Perú: Universidad de Piura.

GUENAA - EMCALI EICE ESP Diseño - Construcción. (2012). Sumideros y/o Captación Superficial de Aguas Lluvias en Vías Urbanas (NDC-SE-RA-015). Colombia.

Heras, S. (2011). *Fluidos, bombas e instalaciones hidráulica.* Barcelona: Iniciativa digital Politécnica.

Hernández, M. (2018). Diseño del drenaje pluvial y evaluación de impacto ambiental en Urb. El Chilcal de la ciudad de Piura. Perú: Universidad de Piura.

INEI. (2017). *Compendio Estadístico Piura.* Piura. Obtenido de https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1505/libro.pdf

INEI. (2018). *Departamento de Piura: Resultados definitivos 2017*. Recuperado el 06 de julio de 2021, de https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1553

Ingemecánica. (s.f.). Cálculo de Instalaciones de Bombeo de Agua. Obtenido de https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn206.html

Instituto Geofísico del Perú (IGP). (2017). Desarrollo y uso de sistemas numéricos de pronóstico estacional. *Generación de información y monitoreo del Fenómeno El Niño*.

Instituto Geofísico del Perú. (2019). Zonificación Sísmica - Geotécnica de la ciudad de Sullana. Lima, Perú.

Instituto Nacional de Defensa Civil - INDECI. (2017). *Compendio Estadístico del INDECI 2017 – Gestión Reactiva.* Lima: INDECI. Dirección de Políticas, Planes y Evaluación.

Linsley, R., Kohler, M., & Paulus, J. (1997). *Hidrlogía para ingenieros* (2° ed.). Bogotá: McGRAW-HILL.

Martínez, A., & Takahashi, K. (2017). ¿El Niño costero o Fenómeno El Niño? *Revista Moneda: Importancia de la tasa de interés de referencia del BCRP, 170*, 34 -37.

Mataix, C. (1986). *Mecánica de Fluidos y Máquinas Hidráulicas.* Madrid: Ediciones del Castillo, S.A.

Ministerio de Transporte y Comunicaciones. (2008). *Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje.* Lima.

Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2018). Manual de Carreteras. Perú.

Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2006). Drenaje pluvial urbano. Perú: Normas Legales.

Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2020). Plan de Desarrollo Urbano - Sullana. Piura, Perú.

Montero, K. (2019). Caracterización de ENSO y El Niño costero entre los años 1950-2018 en la región Piura. Piura, Perú.

Ordoñez, J. (2012). *Cartilla Técnica: ¿Qué es una cuenca hidrológica?* (1° ed.). Lima: Sociedad Geográfica de Lima.

Pérez, R. (2013). *Diseño y construcción de alcantarillados sanitario, pluvial y drenaje en carreteras* (1° ed.). Bogotá: Ecoe Ediciones.

Rocha Felices, A. (2011). El impacto del fenómeno de El Niño en zonas Urbanas. *Revista técnica Ingeniería Civil*, 29 - 37.

Rocha, A. (2007). *Hidraulica de tuberías y canales* (1° ed.). Lima.

Rojas, P., & Humpiri, V. (2016). Evaluacion, diseño y modelamiento del sistema de drenaje pluvial de la ciudad de Juliaca con la aplicación del software SWMM. Perú: Universidad Nacional del Altiplano .

Rosell Campos, F. (2009). *Historia del saneamiento de Valladolid.* España: Ayuntamiento de valladolid.

Rossman, L. (2017). Storm Water Management Model - Reference Manual. *Hydraulics, II*. Cincinnati: Office of Research and Development.

Rossman, L., & Huber, W. (2016). Storm Water Management Model - Reference Manual. *Hydrology (Revised), I*. Cincinnati: Office of Research and Development.

Sanchis, G. (2016). Modelo matemático de la red de saneamiento del distrito Esmeralda en Bogotá, Colombia. España: Universidad Politécnica de Valencia.

SENAMHI. (2014). *El fenómeno EL NIÑO en el Perú.*

SENAMHI. (2018). Lluvias en Ica se originaron por trasvase de humedad de la sierra a la costa. Perú. Obtenido de https://www.senamhi.gob.pe/?&p=prensa&n=866

SENAMHI. (2019). *Popularización de la meteorología en la Educación Básica Regular - Secundaria. Guía para el docente* (2° ed ed.). Lima.

SIGRID-CENEPRED. (2019). *SIGRIDv.3.0*. Recuperado el 06 de julio de 2021, de https://sigrid.cenepred.gob.pe/sigridv3/mapa

Streeter, V., Wylie, E., & Bedford, K. (2000). *Mecánica de fluidos* (9° ed.). Bogotá: McGRAW-HILL.

Trapote, & Fernández. (2016). Técnicas de Drenaje Urbano Sostenible. España: Instituto Universitario del Agua y de las Ciencias Ambientales.

Tropote, A., & Fernández , H. (2015). *Memoria del proyecto: Técnicas de Drenaje Urbano Sostenible.* Aliante, España.

U.S Environmental Protection Agency (EPA). (2005). Manual SWMM, Modelo de gestión de agua. (GMMF, Trad.)

Unidad de Gestión de la Cuenca Catamayo-Chira. (2005). Caracterización hídrica y adecuación entre la oferta y la demanda - Caracterización territorial y documentación básica. Loja - Piura: CONSORCIO ATA-UNP-UNL.

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

Villón, M. (2007). *Hidraulica de Canales* (2° ed.). Lima: Villón.

White, F. (2004). *Mecánica de Fluidos.* Madrid: McGRAW-HILL.

Apéndices

UNIVERSITAS STUDIORUM PIURENSIS

Apéndice A. Modelos de distribución para la serie de la estación Mallares-Sullana

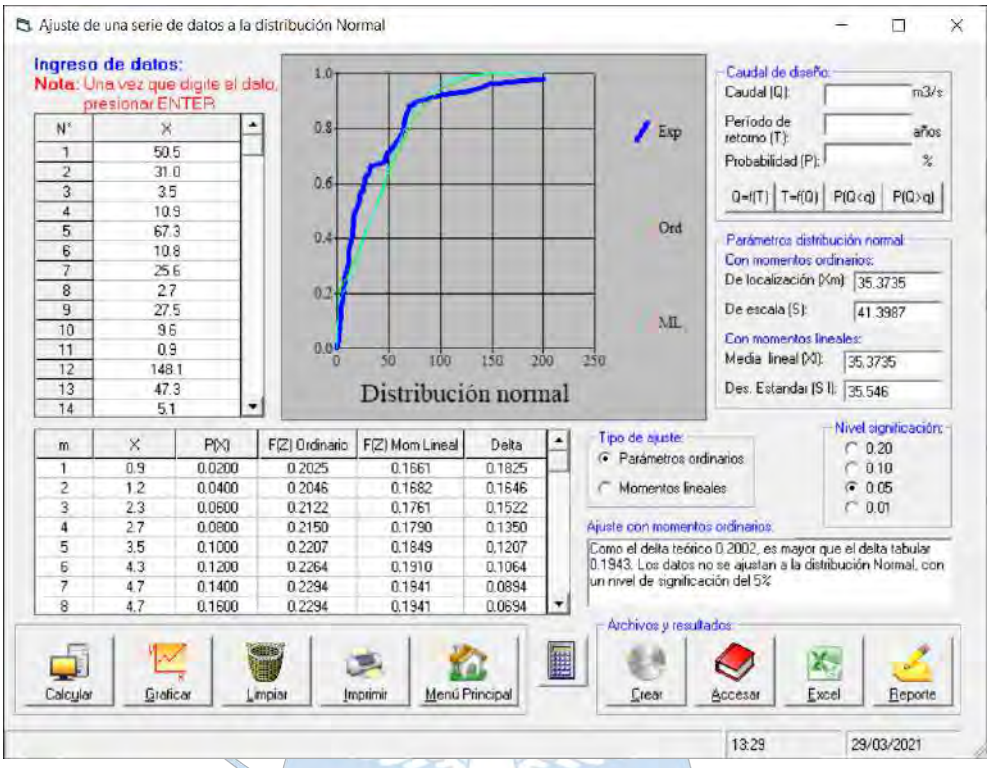


Figura 1. Modelo de distribución Normal de Mallares

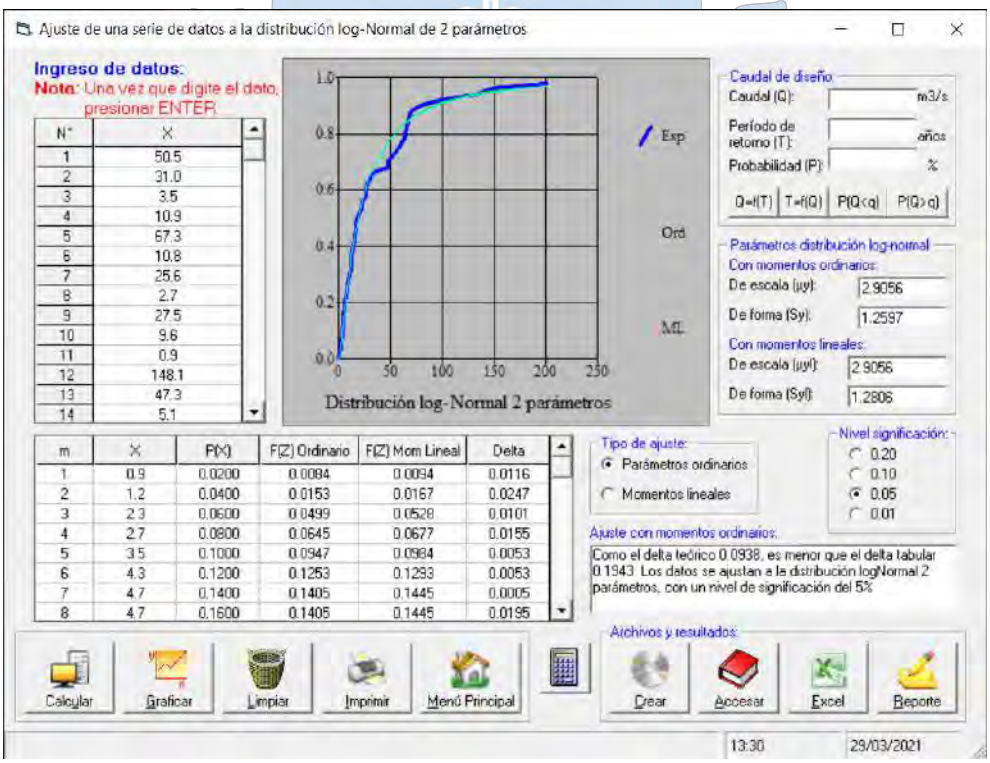


Figura 2. Modelo de distribución Log-Normal de 2 parámetros de Mallares

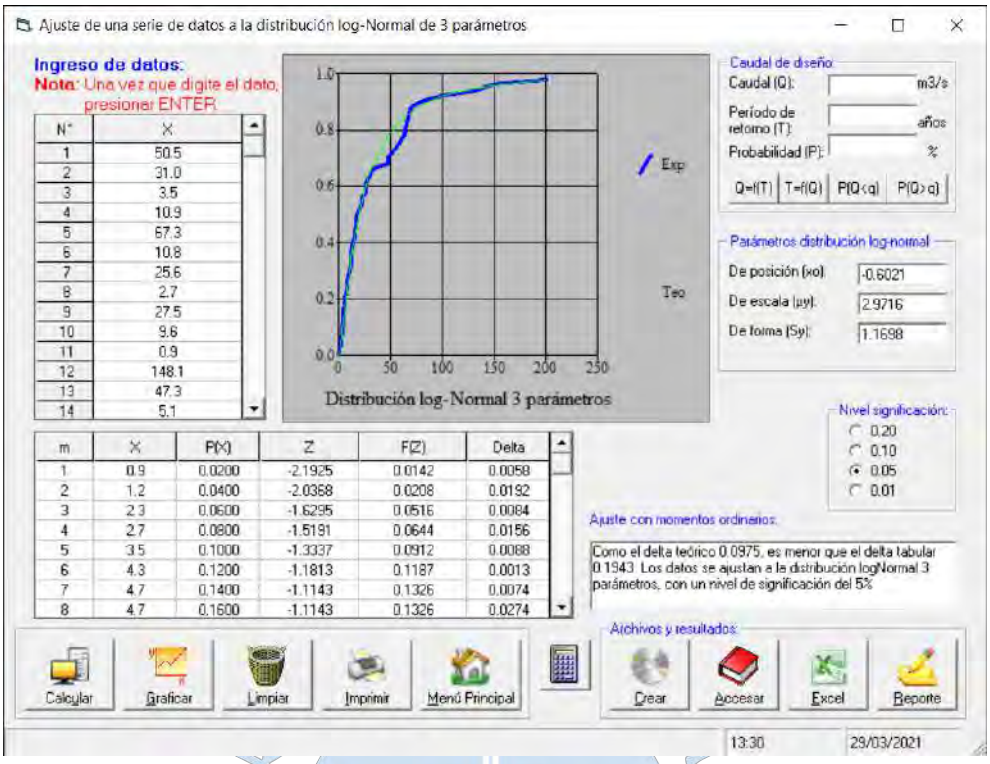


Figura 3. Modelo de distribución Log-Normal de 3 parámetros de Mallares

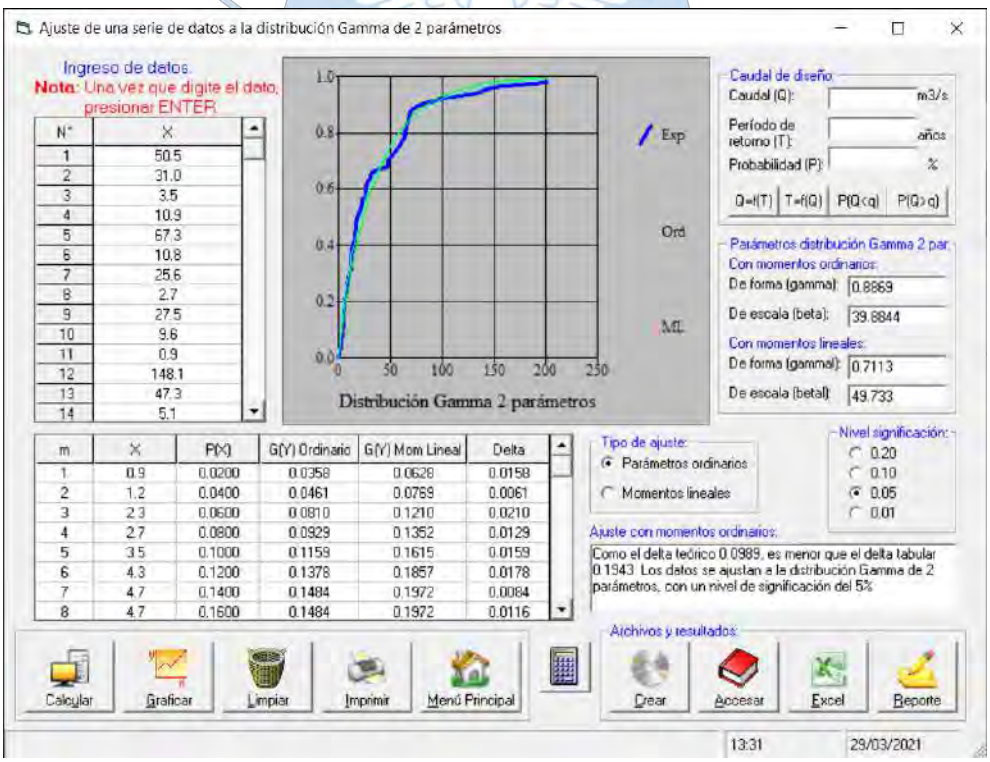


Figura 4. Modelo de distribución Gamma de 2 parámetros de Mallares

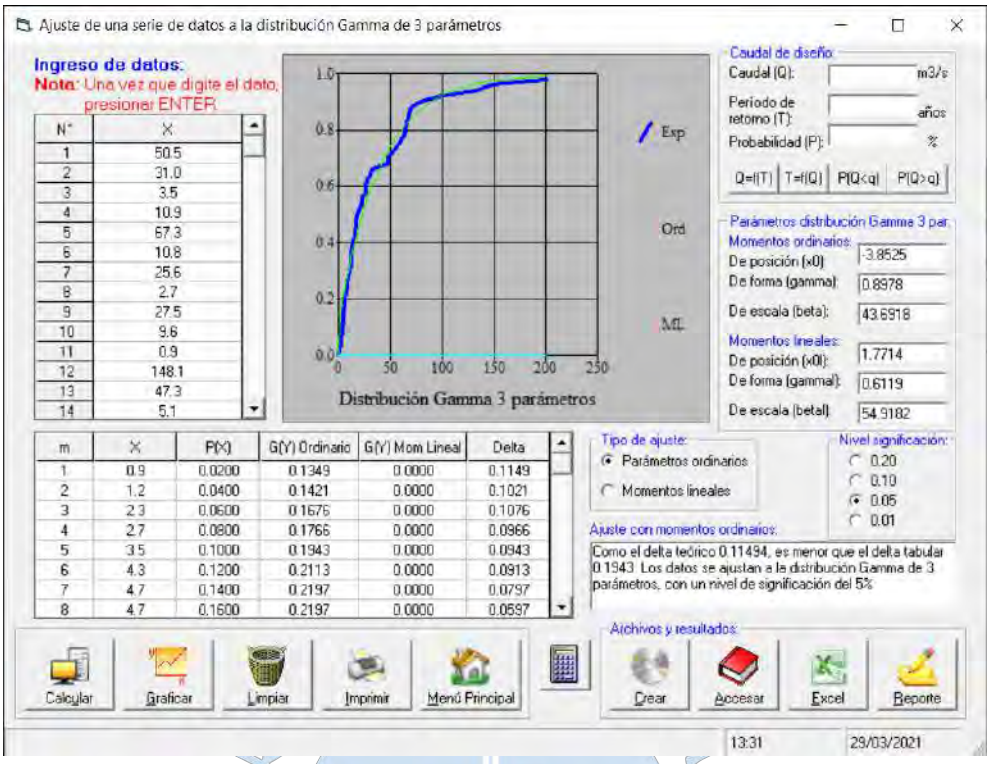


Figura 5. Modelo de distribución Gamma de 3 parámetros de Mallares

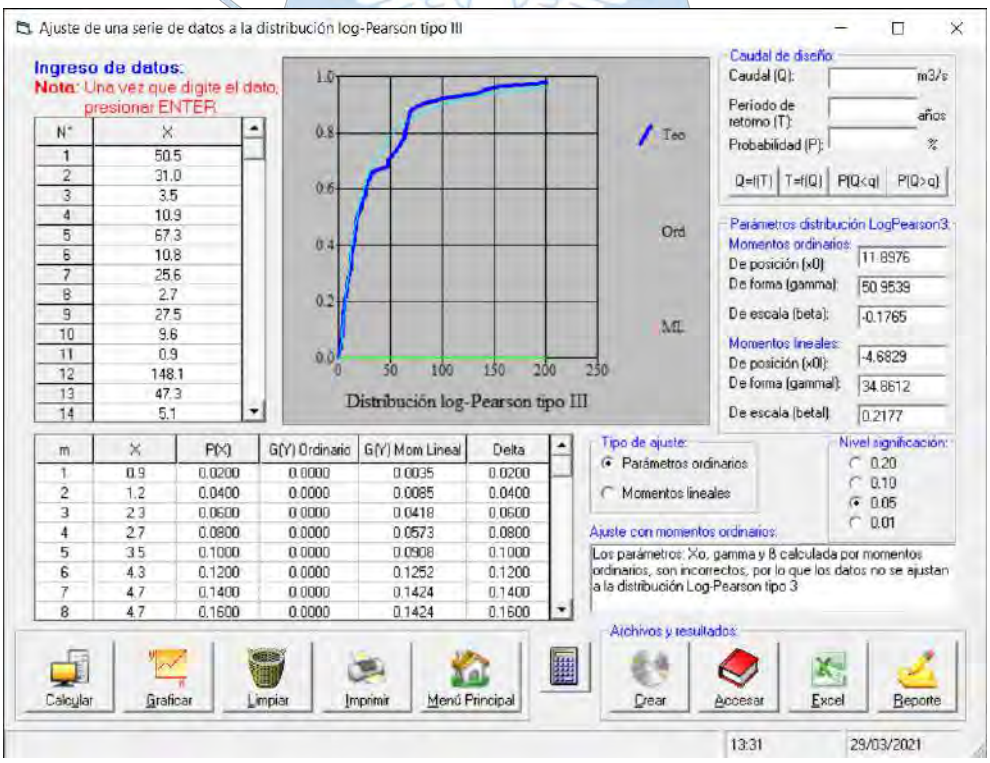


Figura 6. Modelo de distribución Log-Pearson tipo III de Mallares

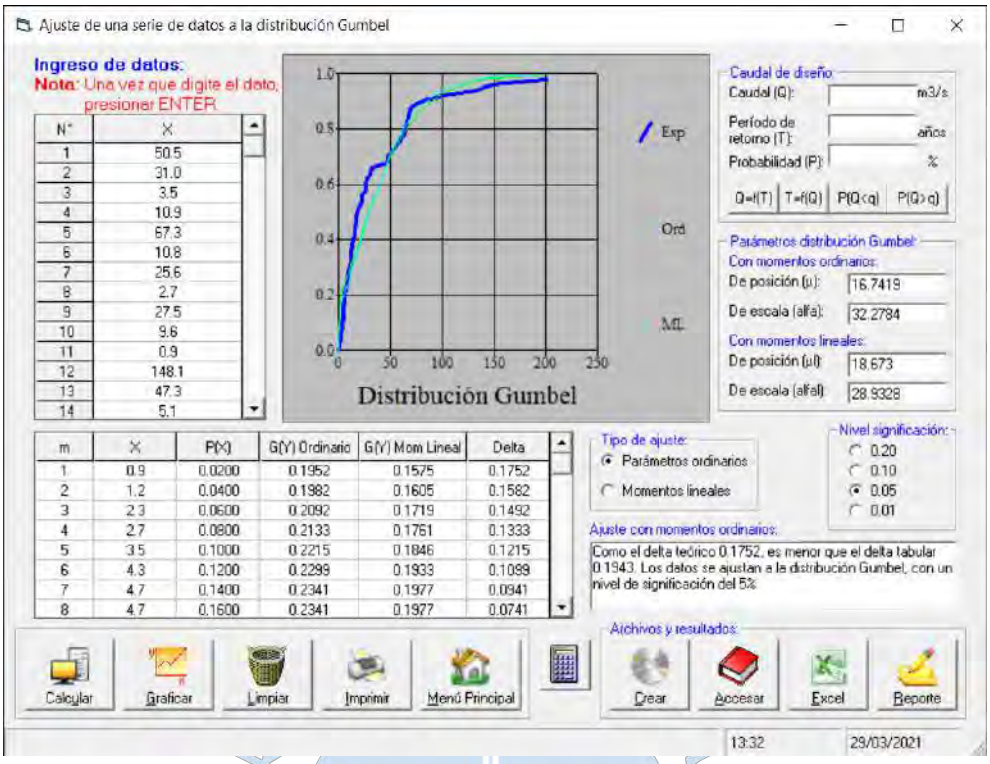


Figura 7. Modelo de distribución Gumbel de Mallares

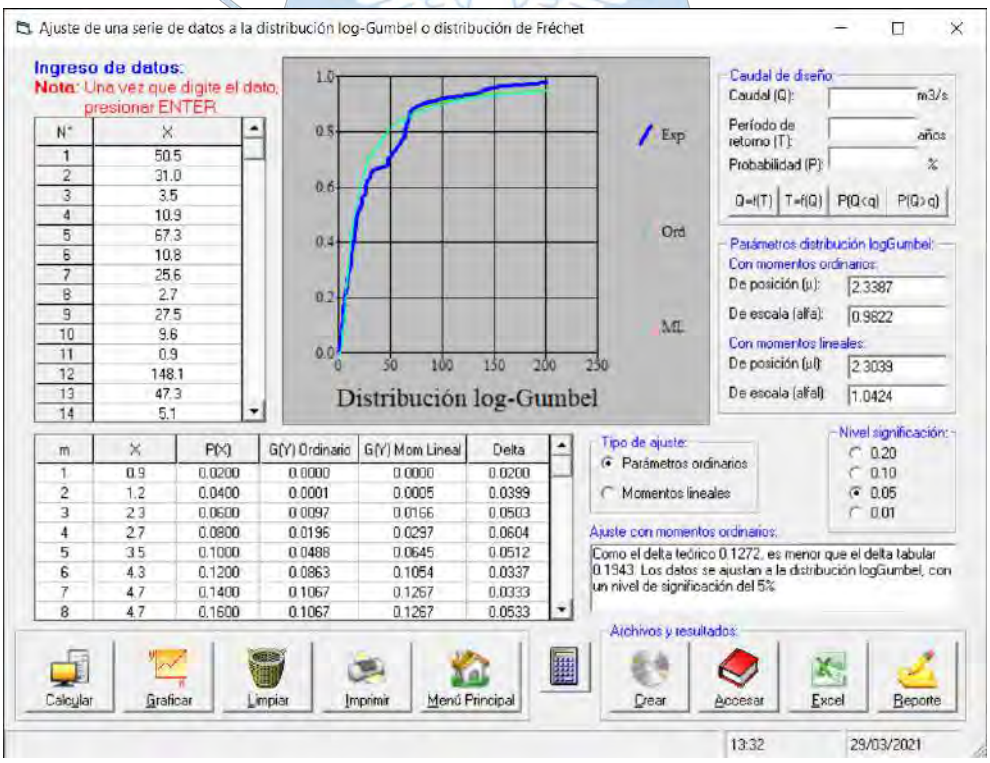


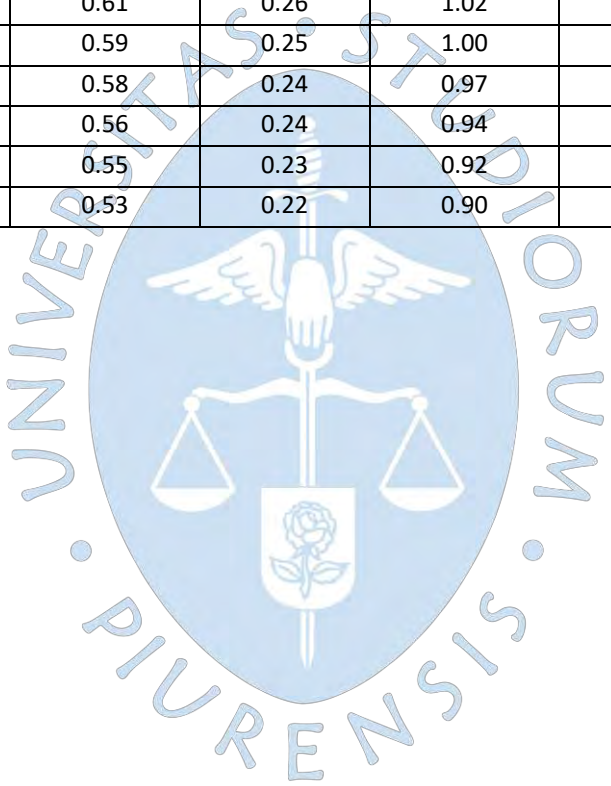
Figura 8. Modelo de distribución Log-Gumbel de Mallare

Apéndice B. Hietogramas de diseño

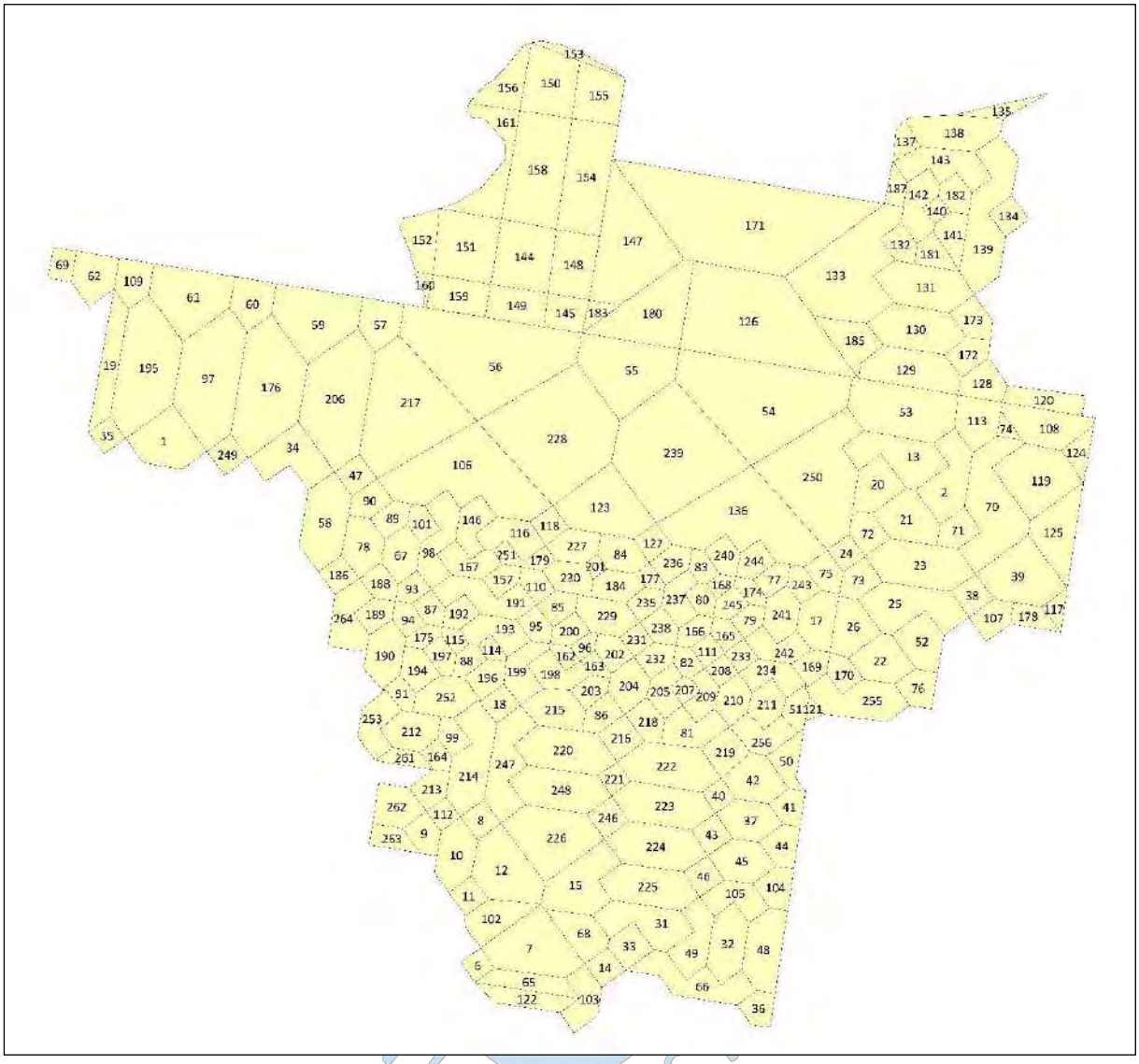
Tiempo (min)	Tr = 10 años		Tr = 25 años		Tr = 50 años	
	Precipitación ordenada (mm)	Intensidad parcial (mm/h)	Precipitación ordenada (mm)	Intensidad parcial (mm/h)	Precipitación ordenada (mm)	Intensidad parcial (mm/h)
15	0.13	0.54	0.23	0.91	0.31	1.22
30	0.14	0.55	0.23	0.93	0.31	1.26
45	0.14	0.57	0.24	0.96	0.32	1.29
60	0.15	0.58	0.25	0.98	0.33	1.32
75	0.15	0.60	0.25	1.01	0.34	1.36
90	0.15	0.62	0.26	1.04	0.35	1.40
105	0.16	0.63	0.27	1.07	0.36	1.44
120	0.16	0.65	0.28	1.10	0.37	1.49
135	0.17	0.67	0.28	1.14	0.38	1.53
150	0.17	0.70	0.29	1.17	0.40	1.58
165	0.18	0.72	0.30	1.21	0.41	1.63
180	0.19	0.74	0.31	1.25	0.42	1.69
195	0.19	0.77	0.32	1.30	0.44	1.75
210	0.20	0.80	0.34	1.34	0.45	1.81
225	0.21	0.83	0.35	1.39	0.47	1.88
240	0.21	0.86	0.36	1.45	0.49	1.95
255	0.22	0.89	0.38	1.50	0.51	2.03
270	0.23	0.93	0.39	1.57	0.53	2.11
285	0.24	0.97	0.41	1.63	0.55	2.20
300	0.25	1.01	0.43	1.71	0.58	2.30
315	0.27	1.06	0.45	1.79	0.60	2.41
330	0.28	1.11	0.47	1.87	0.63	2.52
345	0.29	1.17	0.49	1.97	0.66	2.65
360	0.31	1.23	0.52	2.07	0.70	2.79
375	0.32	1.30	0.55	2.18	0.74	2.95
390	0.34	1.37	0.58	2.31	0.78	3.12
405	0.36	1.46	0.61	2.45	0.83	3.31
420	0.39	1.55	0.65	2.61	0.88	3.52
435	0.41	1.65	0.70	2.78	0.94	3.75
450	0.44	1.77	0.75	2.98	1.01	4.02
465	0.48	1.90	0.80	3.21	1.08	4.32
480	0.51	2.06	0.87	3.46	1.17	4.67
495	0.56	2.23	0.94	3.76	1.27	5.07
510	0.61	2.44	1.03	4.11	1.38	5.54
525	0.67	2.68	1.13	4.51	1.52	6.08
540	0.74	2.96	1.25	4.99	1.68	6.73
555	0.83	3.31	1.39	5.57	1.88	7.51
570	0.93	3.72	1.57	6.27	2.11	8.45
585	1.06	4.24	1.79	7.14	2.41	9.63
600	1.22	4.89	2.06	8.24	2.78	11.11

Tiempo (min)	Tr = 10 años		Tr = 25 años		Tr = 50 años	
	Precipitación ordenada (mm)	Intensidad parcial (mm/h)	Precipitación ordenada (mm)	Intensidad parcial (mm/h)	Precipitación ordenada (mm)	Intensidad parcial (mm/h)
615	1.43	5.74	2.42	9.66	3.26	13.03
630	1.71	6.86	2.89	11.55	3.89	15.57
645	2.10	8.40	3.54	14.15	4.77	19.08
660	2.66	10.62	4.47	17.88	6.03	24.12
675	3.50	13.99	5.89	23.57	7.94	31.78
690	4.89	19.54	8.23	32.91	11.09	44.38
705	7.44	29.75	12.53	50.10	16.89	67.56
720	13.05	52.20	21.97	87.90	29.63	118.53
735	9.63	38.51	16.21	64.84	21.86	87.44
750	5.95	23.80	10.02	40.07	13.51	54.03
765	4.10	16.40	6.90	27.61	9.31	37.23
780	3.03	12.12	5.10	20.41	6.88	27.52
795	2.35	9.40	3.96	15.84	5.34	21.35
810	1.89	7.57	3.18	12.74	4.29	17.18
825	1.56	6.26	2.63	10.53	3.55	14.21
840	1.32	5.29	2.23	8.90	3.00	12.00
855	1.14	4.55	1.91	7.66	2.58	10.32
870	0.99	3.97	1.67	6.68	2.25	9.01
885	0.88	3.50	1.48	5.90	1.99	7.96
900	0.78	3.13	1.32	5.26	1.77	7.10
915	0.70	2.81	1.18	4.74	1.60	6.39
930	0.64	2.55	1.07	4.30	1.45	5.80
945	0.58	2.33	0.98	3.93	1.32	5.29
960	0.54	2.14	0.90	3.61	1.22	4.86
975	0.49	1.98	0.83	3.33	1.12	4.49
990	0.46	1.84	0.77	3.09	1.04	4.17
1005	0.43	1.71	0.72	2.88	0.97	3.88
1020	0.40	1.60	0.67	2.69	0.91	3.63
1035	0.38	1.50	0.63	2.53	0.85	3.41
1050	0.35	1.41	0.59	2.38	0.80	3.21
1065	0.33	1.33	0.56	2.25	0.76	3.03
1080	0.32	1.26	0.53	2.13	0.72	2.87
1095	0.30	1.20	0.50	2.02	0.68	2.72
1110	0.28	1.14	0.48	1.92	0.65	2.59
1125	0.27	1.09	0.46	1.83	0.62	2.47
1140	0.26	1.04	0.44	1.75	0.59	2.35
1155	0.25	0.99	0.42	1.67	0.56	2.25
1170	0.24	0.95	0.40	1.60	0.54	2.16
1185	0.23	0.91	0.38	1.53	0.52	2.07
1200	0.22	0.88	0.37	1.47	0.50	1.99
1215	0.21	0.84	0.35	1.42	0.48	1.91

Tiempo (min)	Tr = 10 años		Tr = 25 años		Tr = 50 años	
	Precipitación ordenada (mm)	Intensidad parcial (mm/h)	Precipitación ordenada (mm)	Intensidad parcial (mm/h)	Precipitación ordenada (mm)	Intensidad parcial (mm/h)
1230	0.20	0.81	0.34	1.37	0.46	1.84
1245	0.20	0.78	0.33	1.32	0.44	1.78
1260	0.19	0.76	0.32	1.27	0.43	1.72
1275	0.18	0.73	0.31	1.23	0.41	1.66
1290	0.18	0.71	0.30	1.19	0.40	1.61
1305	0.17	0.69	0.29	1.15	0.39	1.56
1320	0.17	0.66	0.28	1.12	0.38	1.51
1335	0.16	0.64	0.27	1.09	0.37	1.46
1350	0.16	0.63	0.26	1.05	0.36	1.42
1365	0.15	0.61	0.26	1.02	0.35	1.38
1380	0.15	0.59	0.25	1.00	0.34	1.34
1395	0.14	0.58	0.24	0.97	0.33	1.31
1410	0.14	0.56	0.24	0.94	0.32	1.27
1425	0.14	0.55	0.23	0.92	0.31	1.24
1440	0.13	0.53	0.22	0.90	0.30	1.21



Apéndice C. Cálculo del coeficiente de escorrentía – Diagnóstico



Nota: Los nombres relacionados a la columna de áreas aportantes de los apéndices C, D, E y F, sigue la distribución mostrada.

Área Aportante	Área Total (m²)	Coeficientes de escorrentía por tipo de suelo (10/25/50 años)						Tr = 10 años	Tr = 25 años	Tr = 50 años
		Techo	Adoquín	Asfalto	Trocha	Parque	Tierra			
		0.83/ 0.88/ 0.92	0.83/ 0.88/ 0.92	0.81/ 0.86/ 0.90	0.37/ 0.40/ 0.44	0.37/ 0.40/ 0.44	0.10/ 0.10/ 0.10			
		Área por tipo de suelo (m²)						c	c	c
1	6268.67	1087.51			3290.43		1890.73	0.37	0.39	0.42
2	6044.61	2871.52			1897.94	1275.15		0.59	0.63	0.67
6	1247.80	1177.87					69.93	0.79	0.84	0.87
7	9077.50				1876.47	352.23	6848.79	0.17	0.17	0.18
8	1772.73	379.21			1393.52			0.47	0.50	0.54
9	2138.38	1460.97			677.42			0.68	0.73	0.77

Área Aportante	Área Total (m²)	Coeficientes de escorrentía por tipo de suelo (10/25/50 años)						Tr = 10 años	Tr = 25 años	Tr = 50 años
		Techo	Adoquín	Asfalto	Trocha	Parque	Tierra			
		0.83/ 0.88/ 0.92	0.83/ 0.88/ 0.92	0.81/ 0.86/ 0.90	0.37/ 0.40/ 0.44	0.37/ 0.40/ 0.44	0.10/ 0.10/ 0.10			
		Área por tipo de suelo (m²)						c	c	c
10	4556.96	3405.15			1151.81			0.71	0.76	0.80
11	1708.05	503.87			1204.18			0.51	0.54	0.58
12	7916.51	985.01			3018.41	3913.09		0.43	0.46	0.50
13	7016.85	3098.04			2113.98	1804.82		0.57	0.61	0.65
14	1769.10	1062.94			706.16			0.65	0.69	0.73
15	7198.54	343.65			2792.01	4062.88		0.39	0.42	0.46
17	3975.63	2797.60			1178.03			0.69	0.74	0.78
18	1748.70	237.56			1511.14			0.43	0.47	0.51
19	4870.18	3589.92			1280.26			0.71	0.75	0.79
20	4003.95	1489.47			1167.97	1346.51		0.54	0.58	0.62
21	5118.07	2059.67			1343.28	1715.12		0.56	0.59	0.63
22	4417.16	1421.97			1065.82	1929.38		0.52	0.55	0.59
23	8300.82	3620.33			4680.49			0.57	0.61	0.65
24	1540.22	284.54			1255.67			0.45	0.49	0.53
25	7665.37	3382.39			2525.87	1757.10		0.57	0.61	0.65
26	4108.18	1693.23			1169.17	1245.78		0.56	0.60	0.64
31	6127.49	2948.43			1704.54	1474.53		0.59	0.63	0.67
32	4944.73	3821.05			1123.68			0.73	0.77	0.81
33	2550.22	924.13			642.82	983.27		0.54	0.57	0.61
34	6002.58	197.07			3282.91		2522.60	0.27	0.29	0.31
35	1512.45	264.50			1247.95			0.45	0.48	0.52
36	1972.69	1258.83			713.86			0.66	0.71	0.75
37	4073.43	2951.90			1121.53			0.70	0.75	0.79
38	2013.89	491.63			1522.26			0.48	0.52	0.56
39	7848.54	1304.36			3673.41		2870.78	0.35	0.37	0.40
40	1311.52	738.06			573.46			0.63	0.67	0.71
41	1958.12	1357.00			601.12			0.69	0.73	0.77
42	4504.73	3379.43			1125.30			0.72	0.76	0.80
43	1917.02	1120.78			796.24			0.64	0.68	0.72
44	2514.88	1773.34			741.54			0.69	0.74	0.78
45	4331.30	1601.08			2730.21			0.54	0.58	0.62
46	1829.18	1164.16			665.02			0.66	0.71	0.75
47	1934.67	215.73			1484.48		234.46	0.39	0.42	0.45
48	5733.81	4021.67			1712.15			0.69	0.74	0.78
49	4316.06	2259.91			1102.65	953.51		0.61	0.65	0.69
50	2457.93	1197.65			1260.28			0.59	0.63	0.67
51	1698.61	811.07			887.54			0.59	0.63	0.67
52	4118.73	1711.09			1130.05	1277.58		0.56	0.60	0.64
53	10932.52	2261.36		533.66			8137.50	0.29	0.30	0.31

Área Aportante	Área Total (m²)	Coeficientes de escorrentía por tipo de suelo (10/25/50 años)						Tr = 10 años	Tr = 25 años	Tr = 50 años
		Techo	Adoquín	Asfalto	Trocha	Parque	Tierra			
		0.83/ 0.88/ 0.92	0.83/ 0.88/ 0.92	0.81/ 0.86/ 0.90	0.37/ 0.40/ 0.44	0.37/ 0.40/ 0.44	0.10/ 0.10/ 0.10			
		Área por tipo de suelo (m²)						c	c	c
54	24754.29	11402.52		1586.29			11765.49	0.48	0.51	0.53
55	11625.95	2125.40		1206.26			8294.29	0.31	0.32	0.33
56	25458.14			898.27			24559.87	0.13	0.13	0.13
57	3702.71	517.98		210.77			2973.97	0.24	0.25	0.26
58	7334.70	2580.26			1807.05		2947.40	0.42	0.45	0.47
59	9815.27			440.00			9375.27	0.13	0.13	0.14
60	3708.20			211.77			3496.43	0.14	0.14	0.15
61	8970.19			414.02			8556.17	0.13	0.14	0.14
62	3846.54	198.63		219.09			3428.82	0.18	0.18	0.19
65	3240.05				835.35		2404.70	0.17	0.18	0.19
66	6226.18	2965.98			1799.26	1460.94		0.59	0.63	0.67
67	3256.02	2713.27			542.75			0.75	0.80	0.84
68	3761.62	400.20			1812.43	645.86	903.13	0.35	0.38	0.41
69	1544.97			117.03			1427.94	0.15	0.16	0.16
70	11315.67	4904.70			5218.15		1192.82	0.54	0.58	0.61
71	2357.40	1500.00			857.40			0.66	0.71	0.75
72	2376.31	1398.73			977.58			0.64	0.68	0.72
73	2374.14	1460.28			913.87			0.65	0.70	0.74
74	702.72				388.41		314.31	0.25	0.27	0.29
75	2145.22	1281.80			863.43			0.64	0.69	0.73
76	2448.64	1690.34			758.30			0.69	0.73	0.77
77	1670.83	1368.64			302.18			0.75	0.79	0.83
78	3957.37	1781.97			2175.40			0.58	0.62	0.66
79	1537.23	948.00	58.77		530.46			0.67	0.71	0.75
80	1478.73	767.76			264.10	446.86		0.61	0.65	0.69
81	3816.67	1467.90			2348.77			0.55	0.58	0.62
82	1377.28	731.49			265.98	379.81		0.61	0.65	0.69
83	1455.17	821.65			263.28	370.23		0.63	0.67	0.71
84	3037.14	2413.66		260.86	362.61			0.77	0.82	0.86
85	1924.31	358.71			902.33	663.27		0.46	0.49	0.53
86	2111.20	712.04		299.61	1099.55			0.59	0.63	0.67
87	1581.32	982.76			598.56			0.66	0.70	0.74
88	1450.70	829.88			261.72	359.10		0.63	0.67	0.71
89	1974.81	1580.77			394.04			0.74	0.78	0.82
90	2201.50	857.97			1343.52			0.55	0.59	0.63
91	1403.54	339.67			1063.87			0.48	0.52	0.56
93	1475.99	753.46			722.53			0.60	0.65	0.69
94	1590.04	1283.79			306.25			0.74	0.79	0.83
95	1774.50	552.23			1222.27			0.51	0.55	0.59

Área Aportante	Área Total (m²)	Coeficientes de escorrentía por tipo de suelo (10/25/50 años)						Tr = 10 años	Tr = 25 años	Tr = 50 años
		Techo	Adoquín	Asfalto	Trocha	Parque	Tierra			
		0.83/ 0.88/ 0.92	0.83/ 0.88/ 0.92	0.81/ 0.86/ 0.90	0.37/ 0.40/ 0.44	0.37/ 0.40/ 0.44	0.10/ 0.10/ 0.10			
		Área por tipo de suelo (m²)						c	c	c
96	945.48	521.75			207.78	215.96		0.62	0.66	0.70
97	14544.88				2565.61		11979.26	0.15	0.15	0.16
98	4803.42	3001.08			1802.34			0.66	0.70	0.74
99	1694.15	1325.52			368.64			0.73	0.78	0.82
101	1628.25	1337.64			290.61			0.75	0.79	0.83
102	3947.81	2228.05				846.93	872.84	0.57	0.60	0.64
103	3353.08	919.66			2340.80		92.61	0.49	0.52	0.56
104	2497.88	1674.46			823.42			0.68	0.72	0.76
105	3495.08	2561.18			933.90			0.71	0.75	0.79
106	18357.38	1563.75			7006.47		9787.15	0.27	0.28	0.30
107	2372.49	1477.94			894.55			0.66	0.70	0.74
108	5615.45	3685.29		470.23	1459.93			0.71	0.75	0.79
109	2983.81	328.31		178.20			2477.29	0.22	0.23	0.24
110	1718.06	447.41			1162.80	107.85		0.49	0.52	0.56
111	1271.38	969.06	57.57		244.75			0.74	0.79	0.83
112	1249.96	161.62			1088.34			0.43	0.46	0.50
113	4055.31	526.50		223.09			3305.73	0.23	0.24	0.25
114	888.91	485.51			200.99	202.41		0.62	0.66	0.70
115	924.64	512.62			203.43	208.59		0.63	0.67	0.71
116	3712.90	2514.47			755.83	442.60		0.68	0.73	0.77
117	1058.07	483.95			574.13			0.58	0.62	0.66
118	1682.05	354.35			1327.69			0.47	0.50	0.54
119	8421.04	6239.02			2182.02			0.71	0.76	0.80
120	3144.27			413.36			2730.92	0.19	0.20	0.21
121	492.66						492.66	0.10	0.10	0.10
122	3081.86	3081.86						0.83	0.88	0.92
123	9310.31	1365.20		303.74	4040.12		3601.25	0.35	0.37	0.39
124	1695.66	912.23			783.43			0.62	0.66	0.70
125	5936.31	4753.46			1182.86			0.74	0.78	0.82
126	25431.74			887.93			24543.81	0.12	0.13	0.13
127	1633.43	356.23		1277.20				0.81	0.86	0.90
128	2876.44			224.36			2652.08	0.16	0.16	0.16
129	6999.44	2168.80		504.05			4326.58	0.38	0.40	0.41
130	7252.15	5119.21			2132.94			0.69	0.74	0.78
131	7254.38	5394.03			1860.35			0.71	0.76	0.80
132	1909.66	1521.00			388.66			0.74	0.78	0.82
133	16201.53	14612.30			1589.23			0.78	0.83	0.87
134	1824.59	989.51			835.08			0.62	0.66	0.70
135	1456.88	1038.78			418.10			0.70	0.74	0.78

Área Aportante	Área Total (m²)	Coeficientes de escorrentía por tipo de suelo (10/25/50 años)						Tr = 10 años	Tr = 25 años	Tr = 50 años
		Techo	Adoquín	Asfalto	Trocha	Parque	Tierra			
		0.83/ 0.88/ 0.92	0.83/ 0.88/ 0.92	0.81/ 0.86/ 0.90	0.37/ 0.40/ 0.44	0.37/ 0.40/ 0.44	0.10/ 0.10/ 0.10			
		Área por tipo de suelo (m²)						c	c	c
136	17790.05	1499.83		204.26	6159.98		9925.99	0.26	0.28	0.30
137	1284.11				437.15		846.96	0.19	0.20	0.22
138	5785.40	3437.01					2348.39	0.53	0.56	0.59
139	10350.67	7221.42			3129.25			0.69	0.73	0.77
140	847.43	264.30			276.85	306.28		0.51	0.55	0.59
141	2440.02	1581.91			321.63	536.49		0.67	0.71	0.75
142	3760.20	2874.27			885.92			0.72	0.77	0.81
143	5274.51	3634.33			1640.18			0.69	0.73	0.77
144	7820.32						7820.32	0.10	0.10	0.10
145	2863.13			2863.13				0.81	0.86	0.90
146	2955.56	2047.65			708.03	199.88		0.69	0.73	0.77
147	14933.38						14933.38	0.10	0.10	0.10
148	5802.32						5802.32	0.10	0.10	0.10
149	4174.01			294.95			3879.06	0.15	0.15	0.16
150	6940.54						6940.54	0.10	0.10	0.10
151	8434.37						8434.37	0.10	0.10	0.10
152	3639.80						3639.80	0.10	0.10	0.10
153	1161.39						1161.39	0.10	0.10	0.10
154	10652.95						10652.95	0.10	0.10	0.10
155	5233.56						5233.56	0.10	0.10	0.10
156	3926.20						3926.20	0.10	0.10	0.10
157	1693.51	1363.92			329.59			0.74	0.79	0.83
158	12693.63						12693.63	0.10	0.10	0.10
159	4199.47			299.15			3900.32	0.15	0.15	0.16
160	599.64						599.64	0.10	0.10	0.10
161	6050.78						6050.78	0.10	0.10	0.10
162	943.55	510.53			206.92	226.10		0.62	0.66	0.70
163	939.74	516.14			201.69	221.91		0.62	0.66	0.70
164	1328.71	921.04			407.67			0.69	0.73	0.77
165	1508.23	846.35	661.88					0.83	0.88	0.92
166	1671.45	1040.59	630.87					0.83	0.88	0.92
167	2983.11	2058.68			565.34	359.09		0.69	0.73	0.77
168	895.80	480.87			206.71	208.22		0.62	0.66	0.70
169	1844.40	1157.51			686.89			0.66	0.70	0.74
170	1889.50	1154.01			735.49			0.65	0.69	0.73
171	34861.04						34861.04	0.10	0.10	0.10
172	2324.34				1126.17		1198.17	0.23	0.25	0.26
173	2501.47				720.17		1781.30	0.18	0.19	0.20
174	1212.15	790.06			422.09			0.67	0.71	0.75

Área Aportante	Área Total (m²)	Coeficientes de escorrentía por tipo de suelo (10/25/50 años)						Tr = 10 años	Tr = 25 años	Tr = 50 años
		Techo	Adoquín	Asfalto	Trocha	Parque	Tierra			
		0.83/ 0.88/ 0.92	0.83/ 0.88/ 0.92	0.81/ 0.86/ 0.90	0.37/ 0.40/ 0.44	0.37/ 0.40/ 0.44	0.10/ 0.10/ 0.10			
		Área por tipo de suelo (m²)						c	c	c
175	1215.00	790.56			424.45			0.67	0.71	0.75
176	14892.36				5891.15		9001.21	0.21	0.22	0.23
177	909.77	199.43		710.34				0.81	0.86	0.90
178	1841.27	1339.43			501.84			0.70	0.75	0.79
179	988.19	236.68			751.51			0.48	0.51	0.55
180	10264.32			487.25			9777.07	0.13	0.14	0.14
181	2042.28	1464.93			247.79	329.57		0.70	0.74	0.78
182	1979.07	1638.99			340.07			0.75	0.80	0.84
183	1127.29			5.50	154.72		967.07	0.14	0.14	0.15
184	2701.72	701.13		241.07	362.09	1397.44		0.53	0.57	0.61
185	3971.93	3371.29			600.64			0.76	0.81	0.85
186	1740.79	836.91			903.88			0.59	0.63	0.67
187	1342.51	825.82			516.70			0.65	0.70	0.74
188	1907.29	1011.39			895.90			0.61	0.65	0.69
189	1948.29	1500.96			447.34			0.72	0.77	0.81
190	4129.43	3366.12			763.31			0.74	0.79	0.83
191	5214.71	2733.64			2481.07			0.61	0.65	0.69
192	1672.92	1325.81			347.10			0.73	0.78	0.82
193	3533.91	2317.22			776.81	439.88		0.67	0.71	0.75
194	2446.76	1557.64			889.13			0.66	0.71	0.75
195	13977.47	3470.21			2944.58		7562.68	0.34	0.36	0.38
196	2246.17	1747.94			498.23			0.73	0.77	0.81
197	1708.93	1426.82			282.11			0.75	0.80	0.84
198	3010.63	2095.11			675.26	240.26		0.69	0.73	0.77
199	3445.81	990.13			2455.68			0.50	0.54	0.58
200	1745.36	1403.36			342.01			0.74	0.79	0.83
201	586.59	391.79			194.80			0.68	0.72	0.76
202	1967.96	1494.86		217.63	255.47			0.77	0.82	0.86
203	1713.53	1320.92			392.61			0.72	0.77	0.81
204	3215.56	1140.53		2075.04				0.82	0.87	0.91
205	2447.04	1676.86			570.83	199.35		0.69	0.73	0.77
206	14937.64				2566.42		12371.22	0.15	0.15	0.16
207	1036.06	375.41			259.50	401.15		0.54	0.57	0.61
208	1223.98	934.84			289.14			0.72	0.77	0.81
209	2232.09	1648.88			583.21			0.71	0.75	0.79
210	2647.36	1660.37			986.99			0.66	0.70	0.74
211	2551.79	2007.98			543.80			0.73	0.78	0.82
212	3774.20	1936.63			647.27	1190.30		0.61	0.65	0.69
213	2160.67	1480.03			680.64			0.69	0.73	0.77

Área Aportante	Área Total (m²)	Coeficientes de escorrentía por tipo de suelo (10/25/50 años)						Tr = 10 años	Tr = 25 años	Tr = 50 años
		Techo	Adoquín	Asfalto	Trocha	Parque	Tierra			
		0.83/ 0.88/ 0.92	0.83/ 0.88/ 0.92	0.81/ 0.86/ 0.90	0.37/ 0.40/ 0.44	0.37/ 0.40/ 0.44	0.10/ 0.10/ 0.10			
		Área por tipo de suelo (m²)						c	c	c
214	7462.95	5561.28			1901.67			0.71	0.76	0.80
215	4116.60	1411.30			2705.30			0.53	0.56	0.60
216	2408.62	755.11		1653.52				0.82	0.87	0.91
217	19273.36				5930.39		13342.97	0.18	0.19	0.20
218	2315.42	869.78		279.66	1165.98			0.60	0.64	0.68
219	2764.31	1799.71			964.60			0.67	0.71	0.75
220	7397.31	5462.35		229.79	1705.18			0.72	0.77	0.81
221	1223.51	179.89		1043.62				0.81	0.86	0.90
222	7474.37	5624.32		226.28	1623.76			0.73	0.78	0.82
223	7128.04	5267.58		236.43	1624.03			0.72	0.77	0.81
224	7538.02	3194.61			4343.41			0.56	0.60	0.64
225	6822.29	5330.61			1491.68			0.73	0.78	0.82
226	9635.17	1709.43			4358.82	3566.93		0.45	0.49	0.53
227	2946.67	2336.38			610.29			0.73	0.78	0.82
228	23657.44				5736.37		17921.07	0.17	0.17	0.18
229	3817.30	1027.59		235.69	1259.78	1294.25		0.52	0.56	0.60
230	2759.47	809.67			578.59	1371.20		0.50	0.54	0.58
231	1285.06	213.46		1071.60				0.81	0.86	0.90
232	1941.89	1465.58		223.65	252.66			0.77	0.82	0.86
233	1276.61	710.42	57.77		508.41			0.65	0.69	0.73
234	3077.61	2484.47			593.14			0.74	0.79	0.83
235	1707.71	398.69		1208.34		100.69		0.79	0.84	0.88
236	2147.86	1670.22		223.47	254.17			0.77	0.82	0.86
237	2680.96	1945.06	56.19		463.55	216.16		0.71	0.76	0.80
238	1961.76	1123.20	617.36	221.20				0.83	0.88	0.92
239	23311.59	3347.58		5820.91			14143.10	0.38	0.40	0.42
240	1954.79	1458.55			496.23			0.71	0.76	0.80
241	3100.15	2576.72	59.81		463.63			0.76	0.81	0.85
242	3034.91	1720.91	1314.01					0.83	0.88	0.92
243	1646.92	1349.30			297.62			0.75	0.79	0.83
244	2009.61	1221.34			788.27			0.65	0.69	0.73
245	1529.57	1225.59			303.97			0.74	0.78	0.82
246	1967.48	527.79		1439.69				0.82	0.87	0.91
247	6698.31	2181.14			4517.17			0.52	0.56	0.60
248	7104.24	5176.70		231.85	1695.68			0.72	0.76	0.80
249	1841.23	196.78			1434.25		210.21	0.39	0.42	0.45
250	17494.21	2359.83			4091.54		11042.84	0.26	0.28	0.29
251	905.44	507.10			199.91	198.43		0.63	0.67	0.71
252	4152.73	1666.62			2486.11			0.55	0.59	0.63

Área Aportante	Área Total (m²)	Coeficientes de escorrentía por tipo de suelo (10/25/50 años)						Tr = 10 años	Tr = 25 años	Tr = 50 años
		Techo	Adoquín	Asfalto	Trocha	Parque	Tierra			
		0.83/ 0.88/ 0.92	0.83/ 0.88/ 0.92	0.81/ 0.86/ 0.90	0.37/ 0.40/ 0.44	0.37/ 0.40/ 0.44	0.10/ 0.10/ 0.10			
		Área por tipo de suelo (m²)						c	c	c
253	3475.79	2028.20			1164.24	283.35		0.64	0.68	0.72
255	6460.43	1536.68			2158.70		2765.05	0.36	0.39	0.41
256	3381.83	1054.29			2327.54			0.51	0.55	0.59
261	1389.39				451.05	938.34		0.37	0.40	0.44
262	3579.11	1449.80			2129.31			0.56	0.59	0.63
263	1855.26	1509.06			346.20			0.74	0.79	0.83
264	4418.33	1922.10			2496.23			0.57	0.61	0.65
Coeficiente de escorrentía de la cuenca Poder Judicial								**0.437**	**0.464**	**0.489**

UNIVERSITAS STUDIORUM PIURENSIS

Apéndice D. Cálculo del coeficiente de escorrentía – Línea Base y alternativas

Área Aportante	Área Total (m²)	Coeficientes de escorrentía por tipo de suelo (10/25/50 años)					Tr = 10 años	Tr = 25 años	Tr = 50 años
		Techo	Adoquín	Asfalto	Parque	Tierra			
		0.83/ 0.88/ 0.92	0.83/ 0.88/ 0.92	0.81/ 0.86/ 0.90	0.37/ 0.40/ 0.44	0.10/ 0.10/ 0.10			
		Área por tipo de suelo (m²)					c	c	c
1	6268.67	1560.19		3290.43		945.37	0.65	0.69	0.72
2	6044.61	2871.52		1897.94	1275.15	0.00	0.73	0.77	0.81
6	1247.80	1195.35		0.00		34.97	0.80	0.85	0.88
7	9077.50	1712.20		1876.47	352.23	3424.40	0.38	0.40	0.41
8	1772.73	379.21		1393.52		0.00	0.81	0.86	0.90
9	2138.38	1460.97		677.42		0.00	0.82	0.87	0.91
10	4556.96	3405.15		1151.81		0.00	0.82	0.87	0.91
11	1708.05	503.87		1204.18		0.00	0.82	0.87	0.91
12	7916.51	985.01		3018.41	3913.09	0.00	0.59	0.64	0.68
13	7016.85	3098.04		2113.98	1804.82	0.00	0.71	0.75	0.79
14	1769.10	1062.94		706.16		0.00	0.82	0.87	0.91
15	7198.54	343.65		2792.01	4062.88	0.00	0.56	0.60	0.64
17	3975.63	2797.60		1178.03		0.00	0.82	0.87	0.91
18	1748.70	237.56		1511.14		0.00	0.81	0.86	0.90
19	4870.18	3589.92		1280.26		0.00	0.82	0.87	0.91
20	4003.95	1489.47		1167.97	1346.51	0.00	0.67	0.71	0.75
21	5118.07	2059.67		1343.28	1715.12	0.00	0.67	0.71	0.75
22	4417.16	1421.97		1065.82	1929.38	0.00	0.62	0.67	0.71
23	8300.82	3620.33		4680.49		0.00	0.82	0.87	0.91
24	1540.22	284.54		1255.67		0.00	0.81	0.86	0.90
25	7665.37	3382.39		2525.87	1757.10	0.00	0.72	0.76	0.80
26	4108.18	1693.23		1169.17	1245.78	0.00	0.68	0.73	0.77
31	6127.49	2948.43		1704.54	1474.53	0.00	0.71	0.76	0.80
32	4944.73	3821.05		1123.68		0.00	0.83	0.88	0.92
33	2550.22	924.13		642.82	983.27	0.00	0.65	0.69	0.73
34	6002.58	827.72		3282.91		1261.30	0.58	0.61	0.64
35	1512.45	264.50		1247.95		0.00	0.81	0.86	0.90
36	1972.69	1258.83		713.86		0.00	0.82	0.87	0.91
37	4073.43	2951.90		1121.53		0.00	0.82	0.87	0.91
38	2013.89	491.63		1522.26		0.00	0.81	0.86	0.90
39	7848.54	2022.05		3673.41		1435.39	0.61	0.65	0.68
40	1311.52	738.06		573.46		0.00	0.82	0.87	0.91
41	1958.12	1357.00		601.12		0.00	0.82	0.87	0.91
42	4504.73	3379.43		1125.30		0.00	0.83	0.88	0.92
43	1917.02	1120.78		796.24		0.00	0.82	0.87	0.91
44	2514.88	1773.34		741.54		0.00	0.82	0.87	0.91
45	4331.30	1601.08		2730.21		0.00	0.82	0.87	0.91
46	1829.18	1164.16		665.02		0.00	0.82	0.87	0.91

Área Aportante	Área Total (m²)	Coeficientes de escorrentía por tipo de suelo (10/25/50 años)					Tr = 10 años	Tr = 25 años	Tr = 50 años
		Techo	Adoquín	Asfalto	Parque	Tierra			
		0.83/ 0.88/ 0.92	0.83/ 0.88/ 0.92	0.81/ 0.86/ 0.90	0.37/ 0.40/ 0.44	0.10/ 0.10/ 0.10			
		Área por tipo de suelo (m²)					c	c	c
47	1934.67	274.34		1484.48		117.23	0.75	0.79	0.83
48	5733.81	4021.67		1712.15		0.00	0.82	0.87	0.91
49	4316.06	2259.91		1102.65	953.51	0.00	0.72	0.77	0.81
50	2457.93	1197.65		1260.28		0.00	0.82	0.87	0.91
51	1698.61	811.07		887.54		0.00	0.82	0.87	0.91
52	4118.73	1711.09		1130.05	1277.58	0.00	0.68	0.73	0.77
53	10932.52	4295.73		533.66		4068.75	0.40	0.42	0.44
54	24754.29	14343.89		1586.29		5882.74	0.56	0.59	0.61
55	11625.95	4198.98		1206.26		4147.14	0.42	0.44	0.46
56	25458.14	6139.97		898.27		12279.94	0.28	0.29	0.30
57	3702.71	1261.47		210.77		1486.98	0.37	0.39	0.40
58	7334.70	3317.11		1807.05		1473.70	0.60	0.63	0.66
59	9815.27	2343.82		440.00		4687.64	0.28	0.30	0.31
60	3708.20	874.11		211.77		1748.22	0.29	0.30	0.32
61	8970.19	2139.04		414.02		4278.08	0.28	0.30	0.31
62	3846.54	1055.84		219.09		1714.41	0.32	0.34	0.35
65	3240.05	601.18		835.35		1202.35	0.40	0.42	0.44
66	6226.18	2965.98		1799.26	1460.94	0.00	0.72	0.76	0.80
67	3256.02	2713.27		542.75		0.00	0.83	0.88	0.92
68	3761.62	625.99		1812.43	645.86	451.57	0.60	0.64	0.67
69	1544.97	356.98		117.03		713.97	0.30	0.31	0.33
70	11315.67	5202.91		5218.15		596.41	0.76	0.81	0.84
71	2357.40	1500.00		857.40		0.00	0.82	0.87	0.91
72	2376.31	1398.73		977.58		0.00	0.82	0.87	0.91
73	2374.14	1460.28		913.87		0.00	0.82	0.87	0.91
74	702.72	78.58		388.41		157.15	0.56	0.60	0.62
75	2145.22	1281.80		863.43		0.00	0.82	0.87	0.91
76	2448.64	1690.34		758.30		0.00	0.82	0.87	0.91
77	1670.83	1368.64		302.18		0.00	0.83	0.88	0.92
78	3957.37	1781.97		2175.40		0.00	0.82	0.87	0.91
79	1537.23	948.00	58.77	530.46		0.00	0.82	0.87	0.91
80	1478.73	767.76		264.10	446.86	0.00	0.69	0.73	0.77
81	3816.67	1467.90		2348.77		0.00	0.82	0.87	0.91
82	1377.28	731.49		265.98	379.81	0.00	0.70	0.74	0.78
83	1455.17	821.65		263.28	370.23	0.00	0.71	0.75	0.79
84	3037.14	2413.66		623.48		0.00	0.83	0.88	0.92
85	1924.31	358.71		902.33	663.27	0.00	0.66	0.71	0.75
86	2111.20	712.04		1399.16		0.00	0.82	0.87	0.91
87	1581.32	982.76		598.56		0.00	0.82	0.87	0.91

Área Aportante	Área Total (m²)	Coeficientes de escorrentía por tipo de suelo (10/25/50 años)					Tr = 10 años	Tr = 25 años	Tr = 50 años
		Techo	Adoquín	Asfalto	Parque	Tierra			
		0.83/ 0.88/ 0.92	0.83/ 0.88/ 0.92	0.81/ 0.86/ 0.90	0.37/ 0.40/ 0.44	0.10/ 0.10/ 0.10			
		Área por tipo de suelo (m²)					c	c	c
88	1450.70	829.88		261.72	359.10	0.00	0.71	0.76	0.80
89	1974.81	1580.77		394.04		0.00	0.83	0.88	0.92
90	2201.50	857.97		1343.52		0.00	0.82	0.87	0.91
91	1403.54	339.67		1063.87		0.00	0.81	0.86	0.90
93	1475.99	753.46		722.53		0.00	0.82	0.87	0.91
94	1590.04	1283.79		306.25		0.00	0.83	0.88	0.92
95	1774.50	552.23		1222.27		0.00	0.82	0.87	0.91
96	945.48	521.75		207.78	215.96	0.00	0.72	0.77	0.81
97	14544.88	2994.82		2565.61		5989.63	0.35	0.37	0.39
98	4803.42	3001.08		1802.34		0.00	0.82	0.87	0.91
99	1694.15	1325.52		368.64		0.00	0.83	0.88	0.92
101	1628.25	1337.64		290.61		0.00	0.83	0.88	0.92
102	3947.81	2446.26		0.00	846.93	436.42	0.60	0.64	0.68
103	3353.08	942.82		2340.80		46.31	0.80	0.85	0.89
104	2497.88	1674.46		823.42		0.00	0.82	0.87	0.91
105	3495.08	2561.18		933.90		0.00	0.82	0.87	0.91
106	18357.38	4010.54		7006.47		4893.58	0.52	0.55	0.57
107	2372.49	1477.94		894.55		0.00	0.82	0.87	0.91
108	5615.45	3685.29		1930.16		0.00	0.82	0.87	0.91
109	2983.81	947.64		178.20		1238.64	0.35	0.37	0.39
110	1718.06	447.41		1162.80	107.85	0.00	0.79	0.84	0.88
111	1271.38	969.06	57.57	244.75		0.00	0.83	0.88	0.92
112	1249.96	161.62		1088.34		0.00	0.81	0.86	0.90
113	4055.31	1352.93		223.09		1652.86	0.36	0.38	0.40
114	888.91	485.51		200.99	202.41	0.00	0.72	0.77	0.81
115	924.64	512.62		203.43	208.59	0.00	0.72	0.77	0.81
116	3712.90	2514.47		755.83	442.60	0.00	0.77	0.82	0.86
117	1058.07	483.95		574.13		0.00	0.82	0.87	0.91
118	1682.05	354.35		1327.69		0.00	0.81	0.86	0.90
119	8421.04	6239.02		2182.02		0.00	0.82	0.87	0.91
120	3144.27	682.73		413.36		1365.46	0.33	0.35	0.36
121	492.66	123.17		0.00		246.33	0.26	0.27	0.28
122	3081.86	3081.86		0.00		0.00	0.83	0.88	0.92
123	9310.31	2265.51		4343.86		1800.63	0.60	0.63	0.66
124	1695.66	912.23		783.43		0.00	0.82	0.87	0.91
125	5936.31	4753.46		1182.86		0.00	0.83	0.88	0.92
126	25431.74	6135.95		887.93		12271.90	0.28	0.29	0.30
127	1633.43	356.23		1277.20		0.00	0.81	0.86	0.90
128	2876.44	663.02		224.36		1326.04	0.30	0.32	0.33

Área Aportante	Área Total (m²)	Coeficientes de escorrentía por tipo de suelo (10/25/50 años)					Tr = 10 años	Tr = 25 años	Tr = 50 años
		Techo	Adoquín	Asfalto	Parque	Tierra			
		0.83/ 0.88/ 0.92	0.83/ 0.88/ 0.92	0.81/ 0.86/ 0.90	0.37/ 0.40/ 0.44	0.10/ 0.10/ 0.10			
		Área por tipo de suelo (m²)					c	c	c
129	6999.44	3250.45		504.05		2163.29	0.47	0.50	0.52
130	7252.15	5119.21		2132.94		0.00	0.82	0.87	0.91
131	7254.38	5394.03		1860.35		0.00	0.82	0.87	0.91
132	1909.66	1521.00		388.66		0.00	0.83	0.88	0.92
133	16201.53	14612.30		1589.23		0.00	0.83	0.88	0.92
134	1824.59	989.51		835.08		0.00	0.82	0.87	0.91
135	1456.88	1038.78		418.10		0.00	0.82	0.87	0.91
136	17790.05	3981.32		6364.24		4962.99	0.50	0.53	0.56
137	1284.11	211.74		437.15		423.48	0.45	0.47	0.49
138	5785.40	4024.11		0.00		1174.19	0.60	0.63	0.66
139	10350.67	7221.42		3129.25		0.00	0.82	0.87	0.91
140	847.43	264.30		276.85	306.28	0.00	0.66	0.70	0.74
141	2440.02	1581.91		321.63	536.49	0.00	0.73	0.77	0.81
142	3760.20	2874.27		885.92		0.00	0.83	0.88	0.92
143	5274.51	3634.33		1640.18		0.00	0.82	0.87	0.91
144	7820.32	1955.08		0.00		3910.16	0.26	0.27	0.28
145	2863.13	0.00		2863.13		0.00	0.81	0.86	0.90
146	2955.56	2047.65		708.03	199.88	0.00	0.79	0.84	0.88
147	14933.38	3733.34		0.00		7466.69	0.26	0.27	0.28
148	5802.32	1450.58		0.00		2901.16	0.26	0.27	0.28
149	4174.01	969.77		294.95		1939.53	0.30	0.31	0.32
150	6940.54	1735.13		0.00		3470.27	0.26	0.27	0.28
151	8434.37	2108.59		0.00		4217.19	0.26	0.27	0.28
152	3639.80	909.95		0.00		1819.90	0.26	0.27	0.28
153	1161.39	290.35		0.00		580.70	0.26	0.27	0.28
154	10652.95	2663.24		0.00		5326.48	0.26	0.27	0.28
155	5233.56	1308.39		0.00		2616.78	0.26	0.27	0.28
156	3926.20	981.55		0.00		1963.10	0.26	0.27	0.28
157	1693.51	1363.92		329.59		0.00	0.83	0.88	0.92
158	12693.63	3173.41		0.00		6346.81	0.26	0.27	0.28
159	4199.47	975.08		299.15		1950.16	0.30	0.31	0.32
160	599.64	149.91		0.00		299.82	0.26	0.27	0.28
161	6050.78	1512.69		0.00		3025.39	0.26	0.27	0.28
162	943.55	510.53		206.92	226.10	0.00	0.72	0.76	0.80
163	939.74	516.14		201.69	221.91	0.00	0.72	0.76	0.80
164	1328.71	921.04		407.67		0.00	0.82	0.87	0.91
165	1508.23	846.35	661.88	0.00		0.00	0.83	0.88	0.92
166	1671.45	1040.59	630.87	0.00		0.00	0.83	0.88	0.92
167	2983.11	2058.68		565.34	359.09	0.00	0.77	0.82	0.86

Área Aportante	Área Total (m²)	Coeficientes de escorrentía por tipo de suelo (10/25/50 años)					Tr = 10 años	Tr = 25 años	Tr = 50 años
		Techo	Adoquín	Asfalto	Parque	Tierra			
		0.83/ 0.88/ 0.92	0.83/ 0.88/ 0.92	0.81/ 0.86/ 0.90	0.37/ 0.40/ 0.44	0.10/ 0.10/ 0.10			
		Área por tipo de suelo (m²)					c	c	c
168	895.80	480.87		206.71	208.22	0.00	0.72	0.76	0.80
169	1844.40	1157.51		686.89		0.00	0.82	0.87	0.91
170	1889.50	1154.01		735.49		0.00	0.82	0.87	0.91
171	34861.04	8715.26		0.00		17430.52	0.26	0.27	0.28
172	2324.34	299.54		1126.17		599.08	0.53	0.56	0.58
173	2501.47	445.33		720.17		890.65	0.42	0.44	0.46
174	1212.15	790.06		422.09		0.00	0.82	0.87	0.91
175	1215.00	790.56		424.45		0.00	0.82	0.87	0.91
176	14892.36	2250.30		5891.15		4500.61	0.48	0.50	0.53
177	909.77	199.43		710.34		0.00	0.81	0.86	0.90
178	1841.27	1339.43		501.84		0.00	0.82	0.87	0.91
179	988.19	236.68		751.51		0.00	0.81	0.86	0.90
180	10264.32	2444.27		487.25		4888.54	0.28	0.30	0.31
181	2042.28	1464.93		247.79	329.57	0.00	0.75	0.80	0.84
182	1979.07	1638.99		340.07		0.00	0.83	0.88	0.92
183	1127.29	241.77		160.22		483.54	0.34	0.35	0.37
184	2701.72	701.13		603.16	1397.44	0.00	0.59	0.63	0.67
185	3971.93	3371.29		600.64		0.00	0.83	0.88	0.92
186	1740.79	836.91		903.88		0.00	0.82	0.87	0.91
187	1342.51	825.82		516.70		0.00	0.82	0.87	0.91
188	1907.29	1011.39		895.90		0.00	0.82	0.87	0.91
189	1948.29	1500.96		447.34		0.00	0.83	0.88	0.92
190	4129.43	3366.12		763.31		0.00	0.83	0.88	0.92
191	5214.71	2733.64		2481.07		0.00	0.82	0.87	0.91
192	1672.92	1325.81		347.10		0.00	0.83	0.88	0.92
193	3533.91	2317.22		776.81	439.88	0.00	0.77	0.82	0.86
194	2446.76	1557.64		889.13		0.00	0.82	0.87	0.91
195	13977.47	5360.88		2944.58		3781.34	0.52	0.55	0.57
196	2246.17	1747.94		498.23		0.00	0.83	0.88	0.92
197	1708.93	1426.82		282.11		0.00	0.83	0.88	0.92
198	3010.63	2095.11		675.26	240.26	0.00	0.79	0.84	0.88
199	3445.81	990.13		2455.68		0.00	0.82	0.87	0.91
200	1745.36	1403.36		342.01		0.00	0.83	0.88	0.92
201	586.59	391.79		194.80		0.00	0.82	0.87	0.91
202	1967.96	1494.86		473.10		0.00	0.83	0.88	0.92
203	1713.53	1320.92		392.61		0.00	0.83	0.88	0.92
204	3215.56	1140.53		2075.04		0.00	0.82	0.87	0.91
205	2447.04	1676.86		570.83	199.35	0.00	0.79	0.84	0.88
206	14937.64	3092.80		2566.42		6185.61	0.35	0.37	0.39

Área Aportante	Área Total (m²)	Coeficientes de escorrentía por tipo de suelo (10/25/50 años)					Tr = 10 años	Tr = 25 años	Tr = 50 años
		Techo	Adoquín	Asfalto	Parque	Tierra			
		0.83/ 0.88/ 0.92	0.83/ 0.88/ 0.92	0.81/ 0.86/ 0.90	0.37/ 0.40/ 0.44	0.10/ 0.10/ 0.10			
		Área por tipo de suelo (m²)					c	c	c
207	1036.06	375.41		259.50	401.15	0.00	0.65	0.69	0.73
208	1223.98	934.84		289.14		0.00	0.83	0.88	0.92
209	2232.09	1648.88		583.21		0.00	0.82	0.87	0.91
210	2647.36	1660.37		986.99		0.00	0.82	0.87	0.91
211	2551.79	2007.98		543.80		0.00	0.83	0.88	0.92
212	3774.20	1936.63		647.27	1190.30	0.00	0.68	0.73	0.77
213	2160.67	1480.03		680.64		0.00	0.82	0.87	0.91
214	7462.95	5561.28		1901.67		0.00	0.82	0.87	0.91
215	4116.60	1411.30		2705.30		0.00	0.82	0.87	0.91
216	2408.62	755.11		1653.52		0.00	0.82	0.87	0.91
217	19273.36	3335.74		5930.39		6671.48	0.43	0.45	0.47
218	2315.42	869.78		1445.64		0.00	0.82	0.87	0.91
219	2764.31	1799.71		964.60		0.00	0.82	0.87	0.91
220	7397.31	5462.35		1934.97		0.00	0.82	0.87	0.91
221	1223.51	179.89		1043.62		0.00	0.81	0.86	0.90
222	7474.37	5624.32		1850.04		0.00	0.83	0.88	0.92
223	7128.04	5267.58		1860.46		0.00	0.82	0.87	0.91
224	7538.02	3194.61		4343.41		0.00	0.82	0.87	0.91
225	6822.29	5330.61		1491.68		0.00	0.83	0.88	0.92
226	9635.17	1709.43		4358.82	3566.93	0.00	0.65	0.69	0.73
227	2946.67	2336.38		610.29		0.00	0.83	0.88	0.92
228	23657.44	4480.27		5736.37		8960.54	0.39	0.41	0.43
229	3817.30	1027.59		1495.47	1294.25	0.00	0.67	0.71	0.75
230	2759.47	809.67		578.59	1371.20	0.00	0.60	0.64	0.68
231	1285.06	213.46		1071.60		0.00	0.81	0.86	0.90
232	1941.89	1465.58		476.31		0.00	0.83	0.88	0.92
233	1276.61	710.42	57.77	508.41		0.00	0.82	0.87	0.91
234	3077.61	2484.47		593.14		0.00	0.83	0.88	0.92
235	1707.71	398.69		1208.34	100.69	0.00	0.79	0.84	0.88
236	2147.86	1670.22		477.64		0.00	0.83	0.88	0.92
237	2680.96	1945.06	56.19	463.55	216.16	0.00	0.79	0.84	0.88
238	1961.76	1123.20	617.36	221.20		0.00	0.83	0.88	0.92
239	23311.59	6883.35		5820.91		7071.55	0.48	0.50	0.53
240	1954.79	1458.55		496.23		0.00	0.82	0.87	0.91
241	3100.15	2576.72	59.81	463.63		0.00	0.83	0.88	0.92
242	3034.91	1720.91	1314.01	0.00		0.00	0.83	0.88	0.92
243	1646.92	1349.30		297.62		0.00	0.83	0.88	0.92
244	2009.61	1221.34		788.27		0.00	0.82	0.87	0.91
245	1529.57	1225.59		303.97		0.00	0.83	0.88	0.92

Área Aportante	Área Total (m²)	Coeficientes de escorrentía por tipo de suelo (10/25/50 años)					Tr = 10 años	Tr = 25 años	Tr = 50 años
		Techo	Adoquín	Asfalto	Parque	Tierra			
		0.83/ 0.88/ 0.92	0.83/ 0.88/ 0.92	0.81/ 0.86/ 0.90	0.37/ 0.40/ 0.44	0.10/ 0.10/ 0.10			
		Área por tipo de suelo (m²)					c	c	c
246	1967.48	527.79		1439.69		0.00	0.82	0.87	0.91
247	6698.31	2181.14		4517.17		0.00	0.82	0.87	0.91
248	7104.24	5176.70		1927.54		0.00	0.82	0.87	0.91
249	1841.23	249.33		1434.25		105.10	0.75	0.79	0.83
250	17494.21	5120.54		4091.54		5521.42	0.46	0.49	0.51
251	905.44	507.10		199.91	198.43	0.00	0.72	0.77	0.81
252	4152.73	1666.62		2486.11		0.00	0.82	0.87	0.91
253	3475.79	2028.20		1164.24	283.35	0.00	0.79	0.83	0.87
255	6460.43	2227.94		2158.70		1382.53	0.58	0.61	0.64
256	3381.83	1054.29		2327.54		0.00	0.82	0.87	0.91
261	1389.39	0.00		451.05	938.34	0.00	0.51	0.55	0.59
262	3579.11	1449.80		2129.31		0.00	0.82	0.87	0.91
263	1855.26	1509.06		346.20		0.00	0.83	0.88	0.92
264	4418.33	1922.10		2496.23		0.00	0.82	0.87	0.91
Coeficiente de escorrentía de la cuenca Poder Judicial							**0.595**	**0.631**	**0.659**

Apéndice E. Determinación del número de curva (CN) en áreas permeables - Diagnóstico

Área Aportante	Área Total (m²)	Área impermeable (%)	Área permeable (%)	Área permeable (m²)			CN de área permeable
				Trocha	Parque	Tierra	
				72	49	45	
1	6268.7	17.3	82.7	3290.4		1890.7	62.1
2	6044.6	47.5	52.5	1897.9	1275.1		62.8
6	1247.8	94.4	5.6			69.9	45.0
7	9077.5	0.0	100.0	1876.5	352.2	6848.8	50.7
8	1772.7	21.4	78.6	1393.5			72.0
9	2138.4	68.3	31.7	677.4			72.0
10	4557.0	74.7	25.3	1151.8			72.0
11	1708.1	29.5	70.5	1204.2			72.0
12	7916.5	12.4	87.6	3018.4	3913.1		59.0
13	7016.8	44.2	55.8	2114.0	1804.8		61.4
14	1769.1	60.1	39.9	706.2			72.0
15	7198.5	4.8	95.2	2792.0	4062.9		58.4
17	3975.6	70.4	29.6	1178.0			72.0
18	1748.7	13.6	86.4	1511.1			72.0
19	4870.2	73.7	26.3	1280.3			72.0
20	4003.9	37.2	62.8	1168.0	1346.5		59.7
21	5118.1	40.2	59.8	1343.3	1715.1		59.1
22	4417.2	32.2	67.8	1065.8	1929.4		57.2
23	8300.8	43.6	56.4	4680.5			72.0
24	1540.2	18.5	81.5	1255.7			72.0
25	7665.4	44.1	55.9	2525.9	1757.1		62.6
26	4108.2	41.2	58.8	1169.2	1245.8		60.1
31	6127.5	48.1	51.9	1704.5	1474.5		61.3
32	4944.7	77.3	22.7	1123.7			72.0
33	2550.2	36.2	63.8	642.8	983.3		58.1
34	6002.6	3.3	96.7	3282.9		2522.6	60.3
35	1512.5	17.5	82.5	1248.0			72.0
36	1972.7	63.8	36.2	713.9			72.0
37	4073.4	72.5	27.5	1121.5			72.0
38	2013.9	24.4	75.6	1522.3			72.0
39	7848.5	16.6	83.4	3673.4		2870.8	60.2
40	1311.5	56.3	43.7	573.5			72.0
41	1958.1	69.3	30.7	601.1			72.0
42	4504.7	75.0	25.0	1125.3			72.0
43	1917.0	58.5	41.5	796.2			72.0
44	2514.9	70.5	29.5	741.5			72.0
45	4331.3	37.0	63.0	2730.2			72.0
46	1829.2	63.6	36.4	665.0			72.0
47	1934.7	11.2	88.8	1484.5		234.5	68.3
48	5733.8	70.1	29.9	1712.1			72.0
49	4316.1	52.4	47.6	1102.6	953.5		61.3

Área Aportante	Área Total (m²)	Área impermeable (%)	Área permeable (%)	Área permeable (m²)			CN de área permeable
				Trocha	Parque	Tierra	
				72	49	45	
50	2457.9	48.7	51.3	1260.3			72.0
51	1698.6	47.7	52.3	887.5			72.0
52	4118.7	41.5	58.5	1130.1	1277.6		59.8
53	10932.5	25.6	74.4			8137.5	45.0
54	24754.3	52.5	47.5			11765.5	45.0
55	11626.0	28.7	71.3			8294.3	45.0
56	25458.1	3.5	96.5			24559.9	45.0
57	3702.7	19.7	80.3			2974.0	45.0
58	7334.7	35.2	64.8	1807.0		2947.4	55.3
59	9815.3	4.5	95.5			9375.3	45.0
60	3708.2	5.7	94.3			3496.4	45.0
61	8970.2	4.6	95.4			8556.2	45.0
62	3846.5	10.9	89.1			3428.8	45.0
65	3240.1	0.0	100.0	835.4		2404.7	52.0
66	6226.2	47.6	52.4	1799.3	1460.9		61.7
67	3256.0	83.3	16.7	542.7			72.0
68	3761.6	10.6	89.4	1812.4	645.9	903.1	60.3
69	1545.0	7.6	92.4			1427.9	45.0
70	11315.7	43.3	56.7	5218.2		1192.8	67.0
71	2357.4	63.6	36.4	857.4			72.0
72	2376.3	58.9	41.1	977.6			72.0
73	2374.1	61.5	38.5	913.9			72.0
74	702.7	0.0	100.0	388.4		314.3	59.9
75	2145.2	59.8	40.2	863.4			72.0
76	2448.6	69.0	31.0	758.3			72.0
77	1670.8	81.9	18.1	302.2			72.0
78	3957.4	45.0	55.0	2175.4			72.0
79	1537.2	65.5	34.5	530.5			72.0
80	1478.7	51.9	48.1	264.1	446.9		57.5
81	3816.7	38.5	61.5	2348.8			72.0
82	1377.3	53.1	46.9	266.0	379.8		58.5
83	1455.2	56.5	43.5	263.3	370.2		58.6
84	3037.1	88.1	11.9	362.6			72.0
85	1924.3	18.6	81.4	902.3	663.3		62.3
86	2111.2	47.9	52.1	1099.6			72.0
87	1581.3	62.1	37.9	598.6			72.0
88	1450.7	57.2	42.8	261.7	359.1		58.7
89	1974.8	80.0	20.0	394.0			72.0
90	2201.5	39.0	61.0	1343.5			72.0
91	1403.5	24.2	75.8	1063.9			72.0
93	1476.0	51.0	49.0	722.5			72.0
94	1590.0	80.7	19.3	306.2			72.0

Área Aportante	Área Total (m²)	Área impermeable (%)	Área permeable (%)	Área permeable (m²)			CN de área permeable
				Trocha	Parque	Tierra	
				72	49	45	
95	1774.5	31.1	68.9	1222.3			72.0
96	945.5	55.2	44.8	207.8	216.0		60.3
97	14544.9	0.0	100.0	2565.6		11979.3	49.8
98	4803.4	62.5	37.5	1802.3			72.0
99	1694.2	78.2	21.8	368.6			72.0
101	1628.3	82.2	17.8	290.6			72.0
102	3947.8	56.4	43.6		846.9	872.8	47.0
103	3353.1	27.4	72.6	2340.8		92.6	71.0
104	2497.9	67.0	33.0	823.4			72.0
105	3495.1	73.3	26.7	933.9			72.0
106	18357.4	8.5	91.5	7006.5		9787.2	56.3
107	2372.5	62.3	37.7	894.5			72.0
108	5615.4	74.0	26.0	1459.9			72.0
109	2983.8	17.0	83.0			2477.3	45.0
110	1718.1	26.0	74.0	1162.8	107.9		70.0
111	1271.4	80.7	19.3	244.8			72.0
112	1250.0	12.9	87.1	1088.3			72.0
113	4055.3	18.5	81.5			3305.7	45.0
114	888.9	54.6	45.4	201.0	202.4		60.5
115	924.6	55.4	44.6	203.4	208.6		60.4
116	3712.9	67.7	32.3	755.8	442.6		63.5
117	1058.1	45.7	54.3	574.1			72.0
118	1682.0	21.1	78.9	1327.7			72.0
119	8421.0	74.1	25.9	2182.0			72.0
120	3144.3	13.1	86.9			2730.9	45.0
121	492.7	0.0	100.0			492.7	45.0
122	3081.9	100.0	0.0				-
123	9310.3	17.9	82.1	4040.1		3601.3	59.3
124	1695.7	53.8	46.2	783.4			72.0
125	5936.3	80.1	19.9	1182.9			72.0
126	25431.7	3.5	96.5			24543.8	45.0
127	1633.4	100.0	0.0				-
128	2876.4	7.8	92.2			2652.1	45.0
129	6999.4	38.2	61.8			4326.6	45.0
130	7252.1	70.6	29.4	2132.9			72.0
131	7254.4	74.4	25.6	1860.3			72.0
132	1909.7	79.6	20.4	388.7			72.0
133	16201.5	90.2	9.8	1589.2			72.0
134	1824.6	54.2	45.8	835.1			72.0
135	1456.9	71.3	28.7	418.1			72.0
136	17790.1	9.6	90.4	6160.0		9926.0	55.3
137	1284.1	0.0	100.0	437.1		847.0	54.2

Área Aportante	Área Total (m²)	Área impermeable (%)	Área permeable (%)	Área permeable (m²)			CN de área permeable
				Trocha	Parque	Tierra	
				72	49	45	
138	5785.4	59.4	40.6			2348.4	45.0
139	10350.7	69.8	30.2	3129.2			72.0
140	847.4	31.2	68.8	276.9	306.3		59.9
141	2440.0	64.8	35.2	321.6	536.5		57.6
142	3760.2	76.4	23.6	885.9			72.0
143	5274.5	68.9	31.1	1640.2			72.0
144	7820.3	0.0	100.0			7820.3	45.0
145	2863.1	100.0	0.0				-
146	2955.6	69.3	30.7	708.0	199.9		66.9
147	14933.4	0.0	100.0			14933.4	45.0
148	5802.3	0.0	100.0			5802.3	45.0
149	4174.0	7.1	92.9			3879.1	45.0
150	6940.5	0.0	100.0			6940.5	45.0
151	8434.4	0.0	100.0			8434.4	45.0
152	3639.8	0.0	100.0			3639.8	45.0
153	1161.4	0.0	100.0			1161.4	45.0
154	10653.0	0.0	100.0			10653.0	45.0
155	5233.6	0.0	100.0			5233.6	45.0
156	3926.2	0.0	100.0			3926.2	45.0
157	1693.5	80.5	19.5	329.6			72.0
158	12693.6	0.0	100.0			12693.6	45.0
159	4199.5	7.1	92.9			3900.3	45.0
160	599.6	0.0	100.0			599.6	45.0
161	6050.8	0.0	100.0			6050.8	45.0
162	943.5	54.1	45.9	206.9	226.1		60.0
163	939.7	54.9	45.1	201.7	221.9		60.0
164	1328.7	69.3	30.7	407.7			72.0
165	1508.2	100.0	0.0				-
166	1671.5	100.0	0.0				-
167	2983.1	69.0	31.0	565.3	359.1		63.1
168	895.8	53.7	46.3	206.7	208.2		60.5
169	1844.4	62.8	37.2	686.9			72.0
170	1889.5	61.1	38.9	735.5			72.0
171	34861.0	0.0	100.0			34861.0	45.0
172	2324.3	0.0	100.0	1126.2		1198.2	58.1
173	2501.5	0.0	100.0	720.2		1781.3	52.8
174	1212.1	65.2	34.8	422.1			72.0
175	1215.0	65.1	34.9	424.4			72.0
176	14892.4	0.0	100.0	5891.1		9001.2	55.7
177	909.8	100.0	0.0				-
178	1841.3	72.7	27.3	501.8			72.0
179	988.2	24.0	76.0	751.5			72.0

Área Aportante	Área Total (m²)	Área impermeable (%)	Área permeable (%)	Área permeable (m²)			CN de área permeable
				Trocha	Parque	Tierra	
				72	49	45	
180	10264.3	4.7	95.3			9777.1	45.0
181	2042.3	71.7	28.3	247.8	329.6		58.9
182	1979.1	82.8	17.2	340.1			72.0
183	1127.3	0.5	99.5	154.7		967.1	48.7
184	2701.7	34.9	65.1	362.1	1397.4		53.7
185	3971.9	84.9	15.1	600.6			72.0
186	1740.8	48.1	51.9	903.9			72.0
187	1342.5	61.5	38.5	516.7			72.0
188	1907.3	53.0	47.0	895.9			72.0
189	1948.3	77.0	23.0	447.3			72.0
190	4129.4	81.5	18.5	763.3			72.0
191	5214.7	52.4	47.6	2481.1			72.0
192	1672.9	79.3	20.7	347.1			72.0
193	3533.9	65.6	34.4	776.8	439.9		63.7
194	2446.8	63.7	36.3	889.1			72.0
195	13977.5	24.8	75.2	2944.6		7562.7	52.6
196	2246.2	77.8	22.2	498.2			72.0
197	1708.9	83.5	16.5	282.1			72.0
198	3010.6	69.6	30.4	675.3	240.3		66.0
199	3445.8	28.7	71.3	2455.7			72.0
200	1745.4	80.4	19.6	342.0			72.0
201	586.6	66.8	33.2	194.8			72.0
202	1968.0	87.0	13.0	255.5			72.0
203	1713.5	77.1	22.9	392.6			72.0
204	3215.6	100.0	0.0				-
205	2447.0	68.5	31.5	570.8	199.3		66.0
206	14937.6	0.0	100.0	2566.4		12371.2	49.6
207	1036.1	36.2	63.8	259.5	401.1		58.0
208	1224.0	76.4	23.6	289.1			72.0
209	2232.1	73.9	26.1	583.2			72.0
210	2647.4	62.7	37.3	987.0			72.0
211	2551.8	78.7	21.3	543.8			72.0
212	3774.2	51.3	48.7	647.3	1190.3		57.1
213	2160.7	68.5	31.5	680.6			72.0
214	7463.0	74.5	25.5	1901.7			72.0
215	4116.6	34.3	65.7	2705.3			72.0
216	2408.6	100.0	0.0				-
217	19273.4	0.0	100.0	5930.4		13343.0	53.3
218	2315.4	49.6	50.4	1166.0			72.0
219	2764.3	65.1	34.9	964.6			72.0
220	7397.3	76.9	23.1	1705.2			72.0
221	1223.5	100.0	0.0				-

Área Aportante	Área Total (m²)	Área impermeable (%)	Área permeable (%)	Área permeable (m²)			CN de área permeable
				Trocha	Parque	Tierra	
				72	49	45	
222	7474.4	78.3	21.7	1623.8			72.0
223	7128.0	77.2	22.8	1624.0			72.0
224	7538.0	42.4	57.6	4343.4			72.0
225	6822.3	78.1	21.9	1491.7			72.0
226	9635.2	17.7	82.3	4358.8	3566.9		61.6
227	2946.7	79.3	20.7	610.3			72.0
228	23657.4	0.0	100.0	5736.4		17921.1	51.5
229	3817.3	33.1	66.9	1259.8	1294.2		60.3
230	2759.5	29.3	70.7	578.6	1371.2		55.8
231	1285.1	100.0	0.0				-
232	1941.9	87.0	13.0	252.7			72.0
233	1276.6	60.2	39.8	508.4			72.0
234	3077.6	80.7	19.3	593.1			72.0
235	1707.7	94.1	5.9		100.7		49.0
236	2147.9	88.2	11.8	254.2			72.0
237	2681.0	74.6	25.4	463.6	216.2		64.7
238	1961.8	100.0	0.0				-
239	23311.6	39.3	60.7			14143.1	45.0
240	1954.8	74.6	25.4	496.2			72.0
241	3100.2	85.0	15.0	463.6			72.0
242	3034.9	100.0	0.0				-
243	1646.9	81.9	18.1	297.6			72.0
244	2009.6	60.8	39.2	788.3			72.0
245	1529.6	80.1	19.9	304.0			72.0
246	1967.5	100.0	0.0				-
247	6698.3	32.6	67.4	4517.2			72.0
248	7104.2	76.1	23.9	1695.7			72.0
249	1841.2	10.7	89.3	1434.2		210.2	68.5
250	17494.2	13.5	86.5	4091.5		11042.8	52.3
251	905.4	56.0	44.0	199.9	198.4		60.5
252	4152.7	40.1	59.9	2486.1			72.0
253	3475.8	58.4	41.6	1164.2	283.4		67.5
255	6460.4	23.8	76.2	2158.7		2765.1	56.8
256	3381.8	31.2	68.8	2327.5			72.0
261	1389.4	0.0	100.0	451.1	938.3		56.5
262	3579.1	40.5	59.5	2129.3			72.0
263	1855.3	81.3	18.7	346.2			72.0
264	4418.3	43.5	56.5	2496.2			72.0

Apéndice F Determinación del número de curva (CN) en áreas permeables - Línea base y alternativas

Área Aportante	Área Total (m²)	Área impermeable (%)	Área permeable (%)	Área permeable (m²)		CN de área permeable
				Parque	Tierra	
				49	45	
1	6268.7	77.4	22.6		945.4	45.0
2	6044.6	78.9	21.1	1275.1		49.0
6	1247.8	95.8	4.2		35.0	45.0
7	9077.5	39.5	60.5	352.2	3424.4	45.4
8	1772.7	100.0	0.0			-
9	2138.4	100.0	0.0			-
10	4557.0	100.0	0.0			-
11	1708.1	100.0	0.0			-
12	7916.5	50.6	49.4	3913.1		49.0
13	7016.8	74.3	25.7	1804.8		49.0
14	1769.1	100.0	0.0			-
15	7198.5	43.6	56.4	4062.9		49.0
17	3975.6	100.0	0.0			-
18	1748.7	100.0	0.0			-
19	4870.2	100.0	0.0			-
20	4003.9	66.4	33.6	1346.5		49.0
21	5118.1	66.5	33.5	1715.1		49.0
22	4417.2	56.3	43.7	1929.4		49.0
23	8300.8	100.0	0.0			-
24	1540.2	100.0	0.0			-
25	7665.4	77.1	22.9	1757.1		49.0
26	4108.2	69.7	30.3	1245.8		49.0
31	6127.5	75.9	24.1	1474.5		49.0
32	4944.7	100.0	0.0			-
33	2550.2	61.4	38.6	983.3		49.0
34	6002.6	68.5	31.5		1261.3	45.0
35	1512.5	100.0	0.0			-
36	1972.7	100.0	0.0			-
37	4073.4	100.0	0.0			-
38	2013.9	100.0	0.0			-
39	7848.5	72.6	27.4		1435.4	45.0
40	1311.5	100.0	0.0			-
41	1958.1	100.0	0.0			-
42	4504.7	100.0	0.0			-
43	1917.0	100.0	0.0			-
44	2514.9	100.0	0.0			-
45	4331.3	100.0	0.0			-
46	1829.2	100.0	0.0			-
47	1934.7	90.9	9.1		117.2	45.0

Área Aportante	Área Total (m²)	Área impermeable (%)	Área permeable (%)	Área permeable (m²)		CN de área permeable
				Parque	Tierra	
				49	45	
48	5733.8	100.0	0.0			-
49	4316.1	77.9	22.1	953.5		49.0
50	2457.9	100.0	0.0			-
51	1698.6	100.0	0.0			-
52	4118.7	69.0	31.0	1277.6		49.0
53	10932.5	44.2	55.8		4068.7	45.0
54	24754.3	64.4	35.6		5882.7	45.0
55	11626.0	46.5	53.5		4147.1	45.0
56	25458.1	27.6	72.4		12279.9	45.0
57	3702.7	39.8	60.2		1487.0	45.0
58	7334.7	69.9	30.1		1473.7	45.0
59	9815.3	28.4	71.6		4687.6	45.0
60	3708.2	29.3	70.7		1748.2	45.0
61	8970.2	28.5	71.5		4278.1	45.0
62	3846.5	33.1	66.9		1714.4	45.0
65	3240.1	44.3	55.7		1202.4	45.0
66	6226.2	76.5	23.5	1460.9		49.0
67	3256.0	100.0	0.0			-
68	3761.6	64.8	35.2	645.9	451.6	47.4
69	1545.0	30.7	69.3		714.0	45.0
70	11315.7	92.1	7.9		596.4	45.0
71	2357.4	100.0	0.0			-
72	2376.3	100.0	0.0			-
73	2374.1	100.0	0.0			-
74	702.7	66.5	33.5		157.2	45.0
75	2145.2	100.0	0.0			-
76	2448.6	100.0	0.0			-
77	1670.8	100.0	0.0			-
78	3957.4	100.0	0.0			-
79	1537.2	100.0	0.0			-
80	1478.7	69.8	30.2	446.9		49.0
81	3816.7	100.0	0.0			-
82	1377.3	72.4	27.6	379.8		49.0
83	1455.2	74.6	25.4	370.2		49.0
84	3037.1	100.0	0.0			-
85	1924.3	65.5	34.5	663.3		49.0
86	2111.2	100.0	0.0			-
87	1581.3	100.0	0.0			-
88	1450.7	75.2	24.8	359.1		49.0
89	1974.8	100.0	0.0			-
90	2201.5	100.0	0.0			-
91	1403.5	100.0	0.0			-

Área Aportante	Área Total (m²)	Área impermeable (%)	Área permeable (%)	Área permeable (m²)		CN de área permeable
				Parque	Tierra	
				49	45	
93	1476.0	100.0	0.0			-
94	1590.0	100.0	0.0			-
95	1774.5	100.0	0.0			-
96	945.5	77.2	22.8	216.0		49.0
97	14544.9	38.2	61.8		5989.6	45.0
98	4803.4	100.0	0.0			-
99	1694.2	100.0	0.0			-
101	1628.3	100.0	0.0			-
102	3947.8	62.0	38.0	846.9	436.4	47.6
103	3353.1	97.9	2.1		46.3	45.0
104	2497.9	100.0	0.0			-
105	3495.1	100.0	0.0			-
106	18357.4	60.0	40.0		4893.6	45.0
107	2372.5	100.0	0.0			-
108	5615.4	100.0	0.0			-
109	2983.8	37.7	62.3		1238.6	45.0
110	1718.1	93.7	6.3	107.9		49.0
111	1271.4	100.0	0.0			-
112	1250.0	100.0	0.0			-
113	4055.3	38.9	61.1		1652.9	45.0
114	888.9	77.2	22.8	202.4		49.0
115	924.6	77.4	22.6	208.6		49.0
116	3712.9	88.1	11.9	442.6		49.0
117	1058.1	100.0	0.0			-
118	1682.0	100.0	0.0			-
119	8421.0	100.0	0.0			-
120	3144.3	34.9	65.1		1365.5	45.0
121	492.7	25.0	75.0		246.3	45.0
122	3081.9	100.0	0.0			-
123	9310.3	71.0	29.0		1800.6	45.0
124	1695.7	100.0	0.0			-
125	5936.3	100.0	0.0			-
126	25431.7	27.6	72.4		12271.9	45.0
127	1633.4	100.0	0.0			-
128	2876.4	30.8	69.2		1326.0	45.0
129	6999.4	53.6	46.4		2163.3	45.0
130	7252.1	100.0	0.0			-
131	7254.4	100.0	0.0			-
132	1909.7	100.0	0.0			-
133	16201.5	100.0	0.0			-
134	1824.6	100.0	0.0			-
135	1456.9	100.0	0.0			-

Área Aportante	Área Total (m²)	Área impermeable (%)	Área permeable (%)	Área permeable (m²)		CN de área permeable
				Parque	Tierra	
				49	45	
136	17790.1	58.2	41.8		4963.0	45.0
137	1284.1	50.5	49.5		423.5	45.0
138	5785.4	69.6	30.4		1174.2	45.0
139	10350.7	100.0	0.0			-
140	847.4	63.9	36.1	306.3		49.0
141	2440.0	78.0	22.0	536.5		49.0
142	3760.2	100.0	0.0			-
143	5274.5	100.0	0.0			-
144	7820.3	25.0	75.0		3910.2	45.0
145	2863.1	100.0	0.0			-
146	2955.6	93.2	6.8	199.9		49.0
147	14933.4	25.0	75.0		7466.7	45.0
148	5802.3	25.0	75.0		2901.2	45.0
149	4174.0	30.3	69.7		1939.5	45.0
150	6940.5	25.0	75.0		3470.3	45.0
151	8434.4	25.0	75.0		4217.2	45.0
152	3639.8	25.0	75.0		1819.9	45.0
153	1161.4	25.0	75.0		580.7	45.0
154	10653.0	25.0	75.0		5326.5	45.0
155	5233.6	25.0	75.0		2616.8	45.0
156	3926.2	25.0	75.0		1963.1	45.0
157	1693.5	100.0	0.0			-
158	12693.6	25.0	75.0		6346.8	45.0
159	4199.5	30.3	69.7		1950.2	45.0
160	599.6	25.0	75.0		299.8	45.0
161	6050.8	25.0	75.0		3025.4	45.0
162	943.5	76.0	24.0	226.1		49.0
163	939.7	76.4	23.6	221.9		49.0
164	1328.7	100.0	0.0			-
165	1508.2	100.0	0.0			-
166	1671.5	100.0	0.0			-
167	2983.1	88.0	12.0	359.1		49.0
168	895.8	76.8	23.2	208.2		49.0
169	1844.4	100.0	0.0			-
170	1889.5	100.0	0.0			-
171	34861.0	25.0	75.0		17430.5	45.0
172	2324.3	61.3	38.7		599.1	45.0
173	2501.5	46.6	53.4		890.7	45.0
174	1212.1	100.0	0.0			-
175	1215.0	100.0	0.0			-
176	14892.4	54.7	45.3		4500.6	45.0
177	909.8	100.0	0.0			-

Área Aportante	Área Total (m²)	Área impermeable (%)	Área permeable (%)	Área permeable (m²)		CN de área permeable
				Parque	Tierra	
				49	45	
178	1841.3	100.0	0.0			-
179	988.2	100.0	0.0			-
180	10264.3	28.6	71.4		4888.5	45.0
181	2042.3	83.9	16.1	329.6		49.0
182	1979.1	100.0	0.0			-
183	1127.3	35.7	64.3		483.5	45.0
184	2701.7	48.3	51.7	1397.4		49.0
185	3971.9	100.0	0.0			-
186	1740.8	100.0	0.0			-
187	1342.5	100.0	0.0			-
188	1907.3	100.0	0.0			-
189	1948.3	100.0	0.0			-
190	4129.4	100.0	0.0			-
191	5214.7	100.0	0.0			-
192	1672.9	100.0	0.0			-
193	3533.9	87.6	12.4	439.9		49.0
194	2446.8	100.0	0.0			-
195	13977.5	59.4	40.6		3781.3	45.0
196	2246.2	100.0	0.0			-
197	1708.9	100.0	0.0			-
198	3010.6	92.0	8.0	240.3		49.0
199	3445.8	100.0	0.0			-
200	1745.4	100.0	0.0			-
201	586.6	100.0	0.0			-
202	1968.0	100.0	0.0			-
203	1713.5	100.0	0.0			-
204	3215.6	100.0	0.0			-
205	2447.0	91.9	8.1	199.3		49.0
206	14937.6	37.9	62.1		6185.6	45.0
207	1036.1	61.3	38.7	401.1		49.0
208	1224.0	100.0	0.0			-
209	2232.1	100.0	0.0			-
210	2647.4	100.0	0.0			-
211	2551.8	100.0	0.0			-
212	3774.2	68.5	31.5	1190.3		49.0
213	2160.7	100.0	0.0			-
214	7463.0	100.0	0.0			-
215	4116.6	100.0	0.0			-
216	2408.6	100.0	0.0			-
217	19273.4	48.1	51.9		6671.5	45.0
218	2315.4	100.0	0.0			-
219	2764.3	100.0	0.0			-

Área Aportante	Área Total (m²)	Área impermeable (%)	Área permeable (%)	Área permeable (m²)		CN de área permeable
				Parque	Tierra	
				49	45	
220	7397.3	100.0	0.0			-
221	1223.5	100.0	0.0			-
222	7474.4	100.0	0.0			-
223	7128.0	100.0	0.0			-
224	7538.0	100.0	0.0			-
225	6822.3	100.0	0.0			-
226	9635.2	63.0	37.0	3566.9		49.0
227	2946.7	100.0	0.0			-
228	23657.4	43.2	56.8		8960.5	45.0
229	3817.3	66.1	33.9	1294.2		49.0
230	2759.5	50.3	49.7	1371.2		49.0
231	1285.1	100.0	0.0			-
232	1941.9	100.0	0.0			-
233	1276.6	100.0	0.0			-
234	3077.6	100.0	0.0			-
235	1707.7	94.1	5.9	100.7		49.0
236	2147.9	100.0	0.0			-
237	2681.0	91.9	8.1	216.2		49.0
238	1961.8	100.0	0.0			-
239	23311.6	54.5	45.5		7071.6	45.0
240	1954.8	100.0	0.0			-
241	3100.2	100.0	0.0			-
242	3034.9	100.0	0.0			-
243	1646.9	100.0	0.0			-
244	2009.6	100.0	0.0			-
245	1529.6	100.0	0.0			-
246	1967.5	100.0	0.0			-
247	6698.3	100.0	0.0			-
248	7104.2	100.0	0.0			-
249	1841.2	91.4	8.6		105.1	45.0
250	17494.2	52.7	47.3		5521.4	45.0
251	905.4	78.1	21.9	198.4		49.0
252	4152.7	100.0	0.0			-
253	3475.8	91.8	8.2	283.4		49.0
255	6460.4	67.9	32.1		1382.5	45.0
256	3381.8	100.0	0.0			-
261	1389.4	32.5	67.5	938.3		49.0
262	3579.1	100.0	0.0			-
263	1855.3	100.0	0.0			-
264	4418.3	100.0	0.0			-

Apéndice G. Panel fotográfico después de la lluvia del 02/03/2021 en la zona de estudio y parte de sus alrededores

Figura 1. Vista satelital de la zona de estudio

Figura 2. Calle Alfonso Romero y Camino - Esquina del colegio María Auxiliadora

Figura 3. Frontis del colegio María Auxiliadora

Figura 4. Avenida Tangarará - Poder Judicial

Figura 5. Avenida Tangarará - Poder Judicial

Figura 6. Avenida Tangarará - Poder Judicial

Figura 7. Intersección de la avenida Tangarará con la avenida Martínez de Compañón y Bujanda

Figura 8. Avenida Tangarará - Berma central

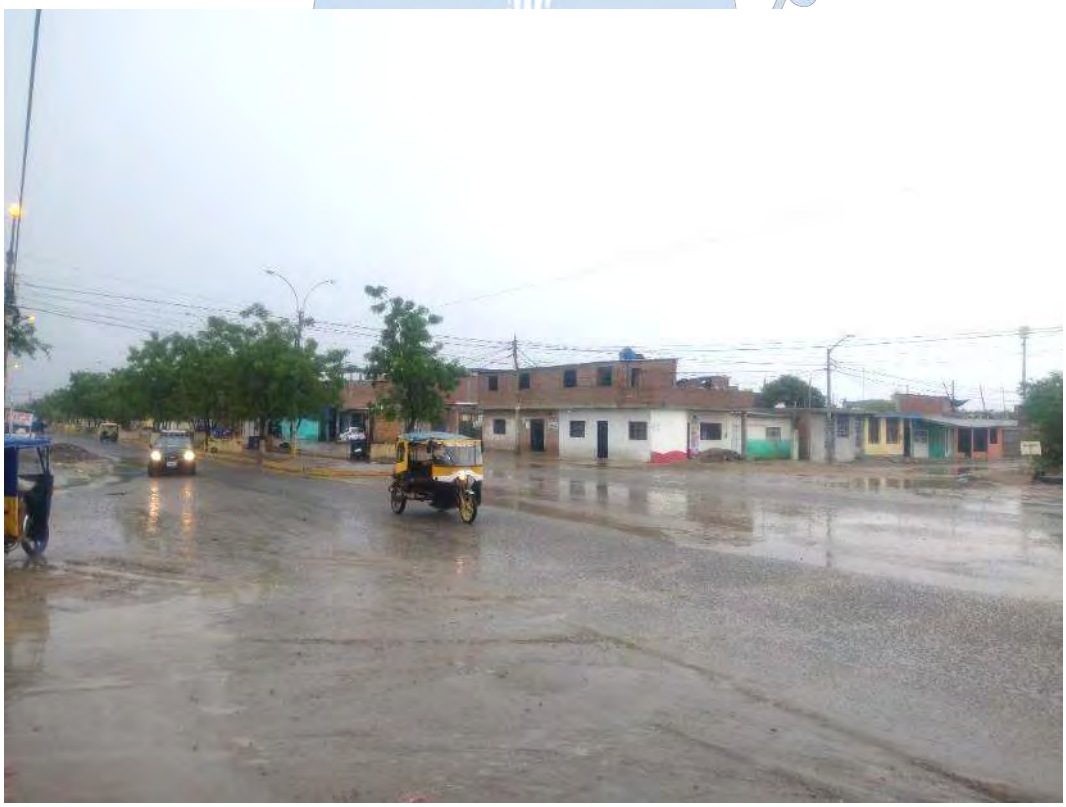


Figura 9. Intersección avenida Tangarará con la calle San Hilarión

Figura 10. Intersección avenida Tangarará con la calle San Hilarión

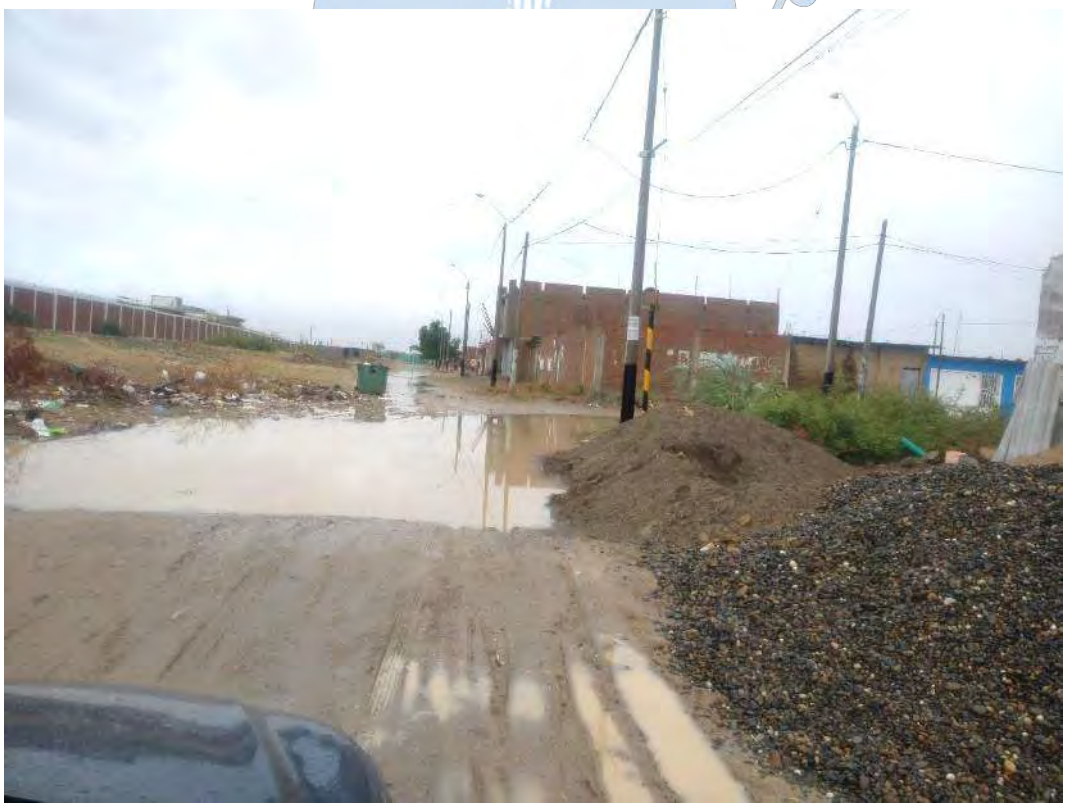


Figura 11. Calle San Hilarión

Figura 12. Calle San Hilarión

Figura 13. Frontis de la Universidad Nacional de Frontera (UNF)

Figura 14. Intersección calle San Hilarión con la avenida Saint Jones

Figura 15. Calle Saint Jones - Cerca del frontis de la UNF

Figura 16. Avenida Otawa - Al lado de la UNP - Sede Sullana

Apéndice H. Datos de diseño de la rápida – Alternativa 3

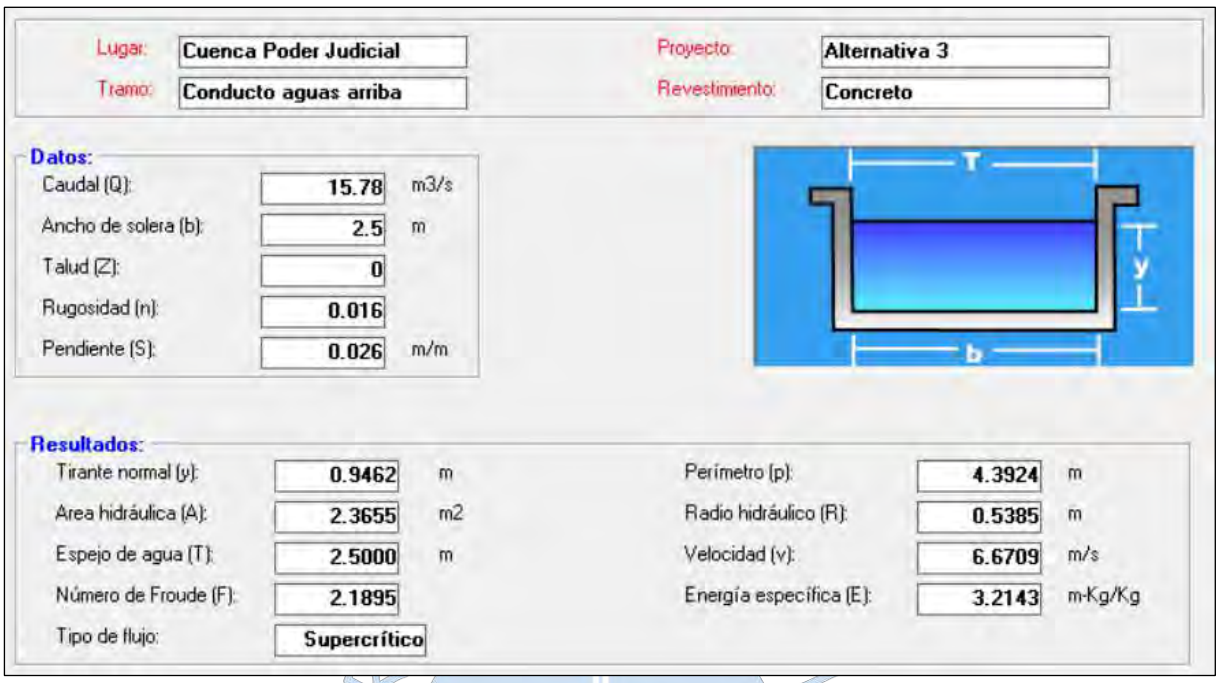


Figura 1. Tirante normal del conducto aguas arriba de la rápida

Figura 2. Tirante normal en la rápida

Figura 3. Tirante normal en el canal aguas debajo de la rápida

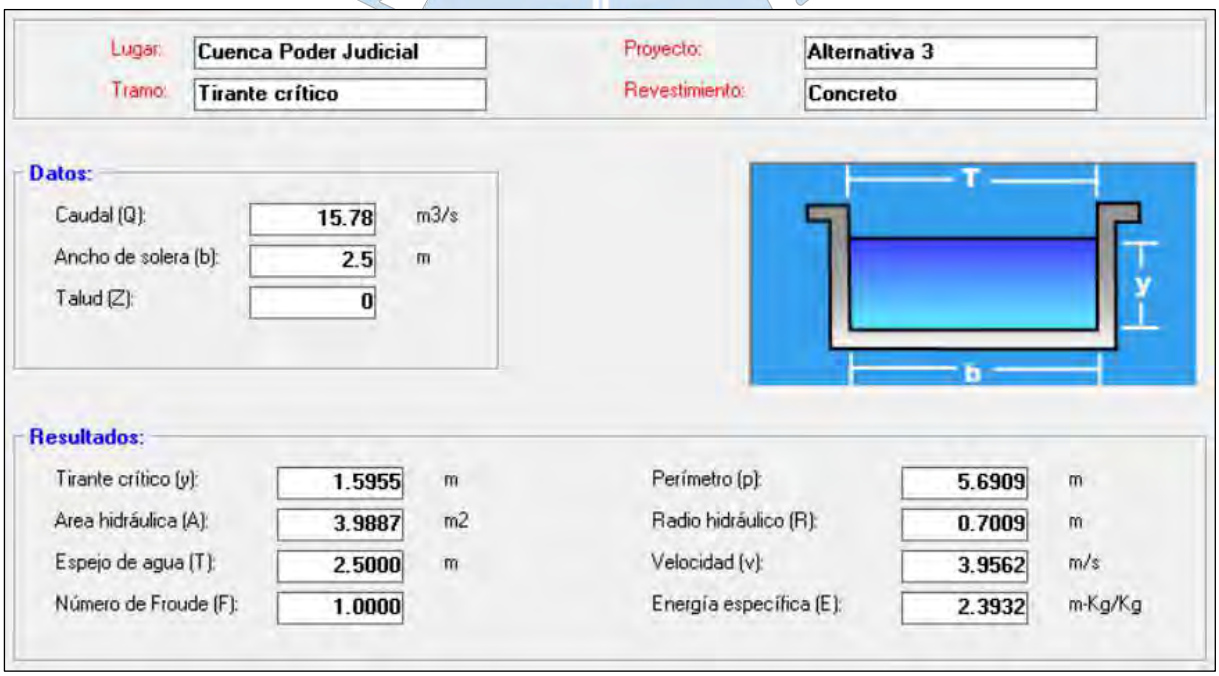


Figura 4. Tirante crítico de la sección evaluada

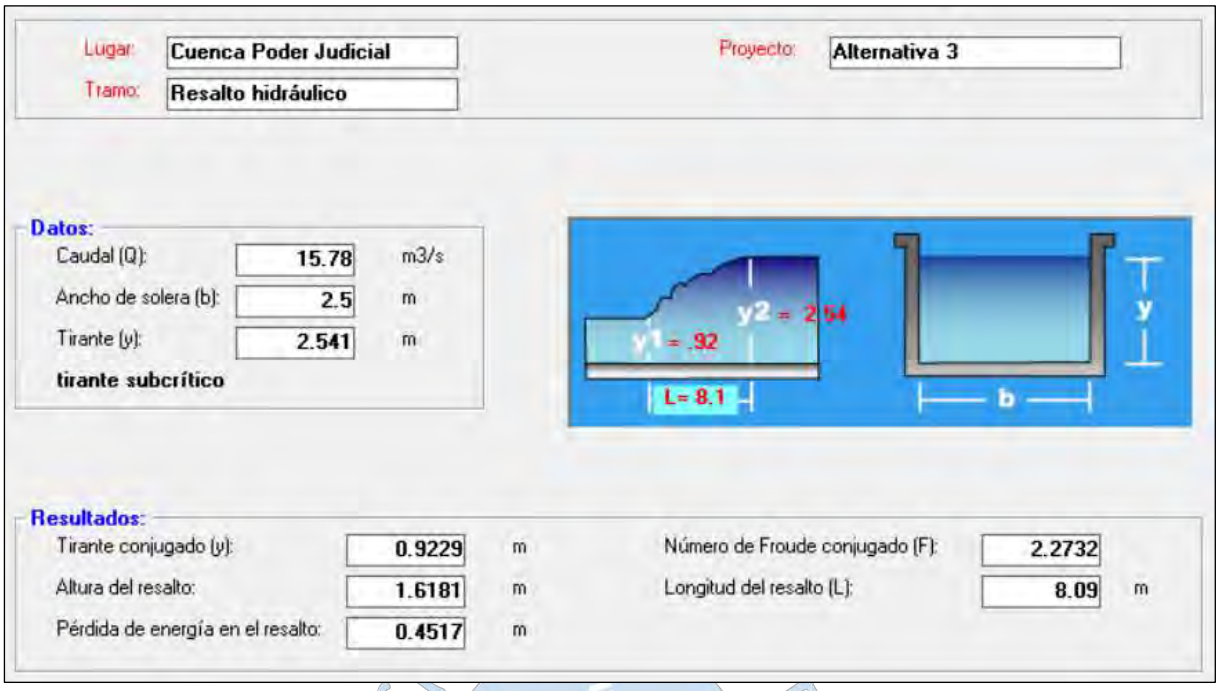


Figura 5. Resalto hidráulico barrido en el canal aguas debajo de la rápida

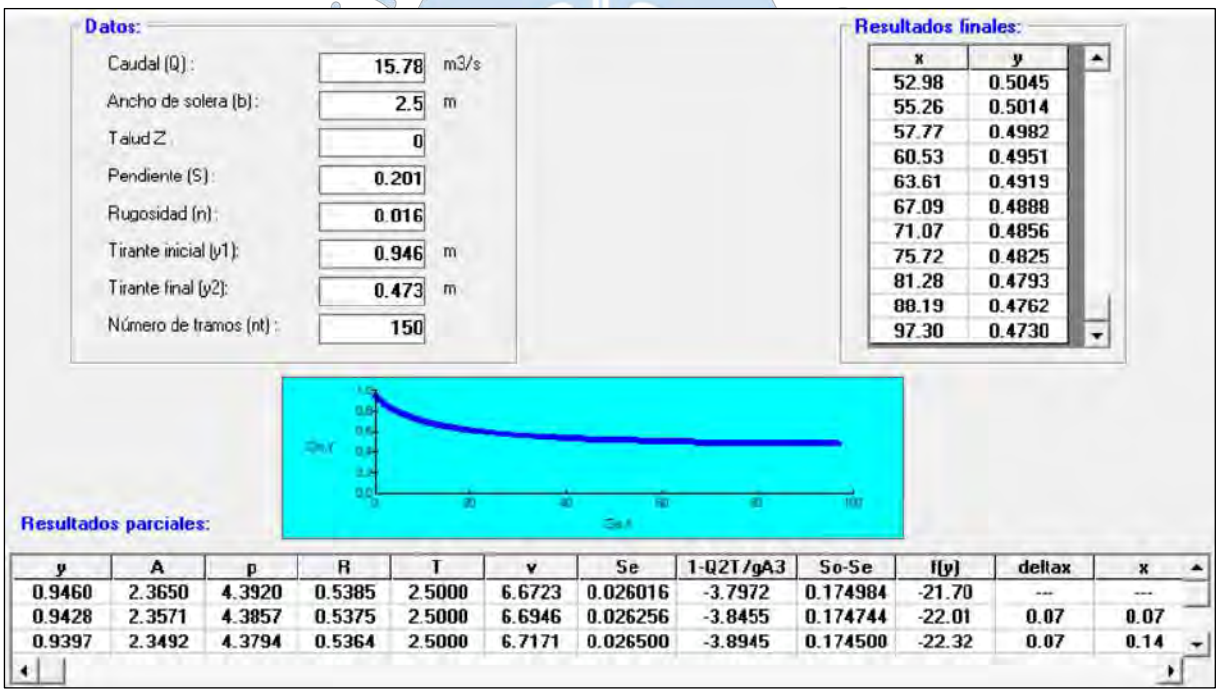


Figura 6. Longitud de la curva S2 formada en la rápida (Long = 97.30 m)

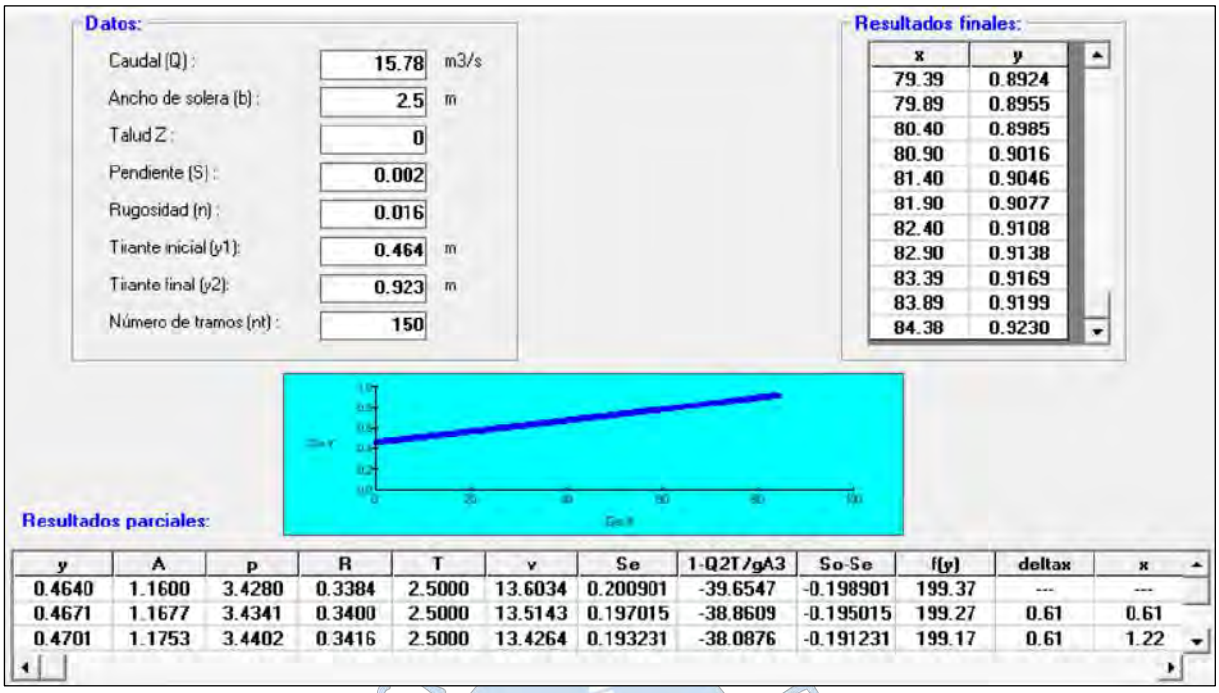


Figura 7. Longitud de la curva M3 formada entre el tirante aguas abajo de la rápida y el tirante de inicio de la rápida (Long = 84.40 m)

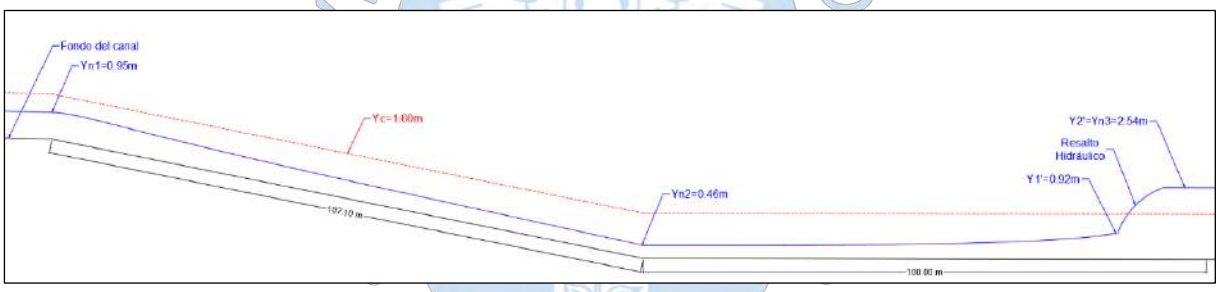


Figura 8. Niveles de agua formados en la estructura

UNIVERSITAS STUDIORUM PIURENSIS

Anexos

UNIVERSITAS STUDIORUM PIURENSIS

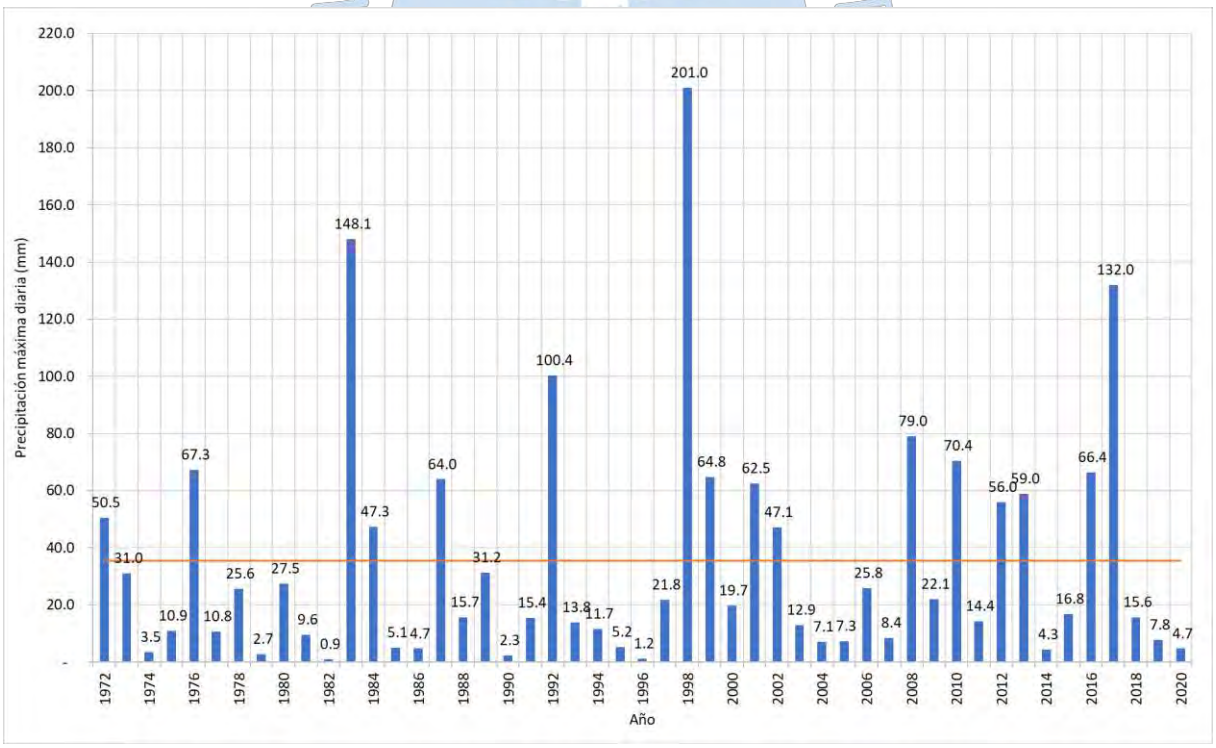
Anexo A. Registro de precipitación máxima diaria anual (mm)

Los datos mostrados a continuación son precipitaciones máximas diarias obtenidos por SENAMHI desde 1972 hasta 2020 para las estaciones Miraflores y Mallares.

Año	Estación Miraflores (Piura)	Estación Mallares (Sullana)
1972	65.3	50.5
1973	30.2	31.0
1974	2.4	3.5
1975	7.0	10.9
1976	18.1	67.3
1977	14.1	10.8
1978	31.9	25.6
1979	4.5	2.7
1980	30.3	27.5
1981	18.4	9.6
1982	2.2	0.9
1983	151.4	148.1
1984	13.0	47.3
1985	15.9	5.1
1986	6.1	4.7
1987	34.9	64.0
1988	5.1	15.7
1989	10.1	31.2
1990	2.4	2.3
1991	1.5	15.4
1992	107.1	100.4
1993		13.8
1994	19.5	11.7
1995	10.4	5.2
1996	7.2	1.2
1997	20.8	21.8
1998	173.6	201.0
1999	16.0	64.8
2000	7.3	19.7
2001	61.5	62.5
2002	91.5	47.1
2003	16.0	12.9
2004	6.2	7.1
2005	9.5	7.3
2006	17.2	25.8

Año	Estación Miraflores (Piura)	Estación Mallares (Sullana)
2007	6.8	8.4
2008	12.6	79.0
2009	11.8	22.1
2010	26.2	70.4
2011	8.6	14.4
2012	24.1	56.0
2013	23.1	59.0
2014	7.9	4.3
2015	36.3	16.8
2016	63.0	66.4
2017	94.2	132.0
2018	4.0	15.6
2019	9.4	7.8
2020	10.4	4.7

El gráfico de barras mostrado a continuación ha sido construido con la información de la precipitación máxima diaria de la estación mallares para cada año correspondiente.

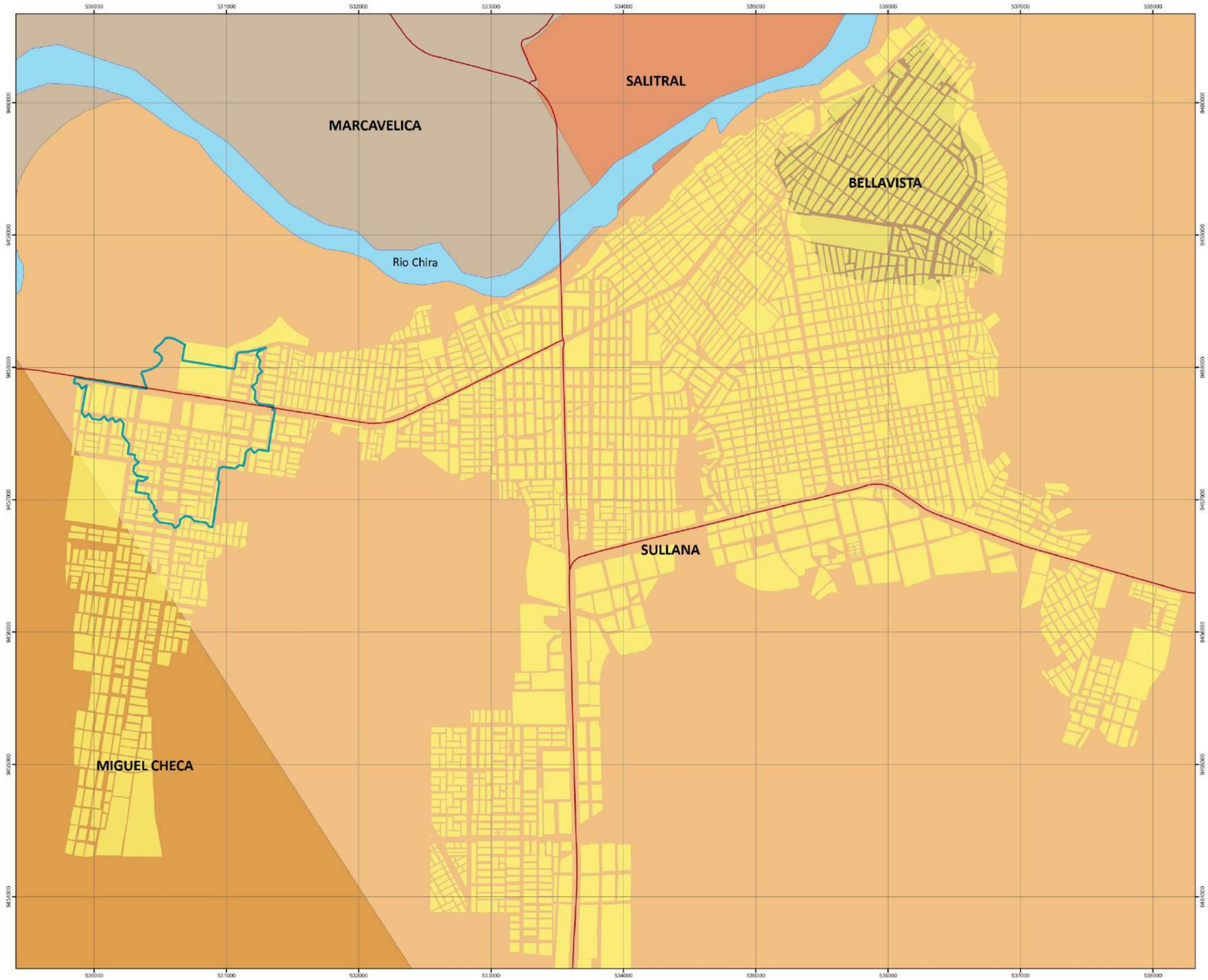


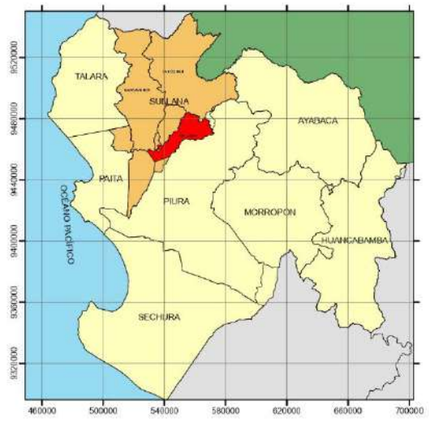
Planos

UNIVERSITAS STUDIORUM PIURENSIS

Plano 01. Ubicación (U-01)

* Nota: Plano original presentado en formato A1.





Leyenda

- Cuenca urbana Poder Judicial
- Red vial nacional
- Río Chira
- Manzanas

Distritos

- Bellavista
- Marcavelica
- Miguel Checa
- Salitral
- Sullana

UNIVERSIDAD DE PIURA

FACULTAD DE INGENIERÍA

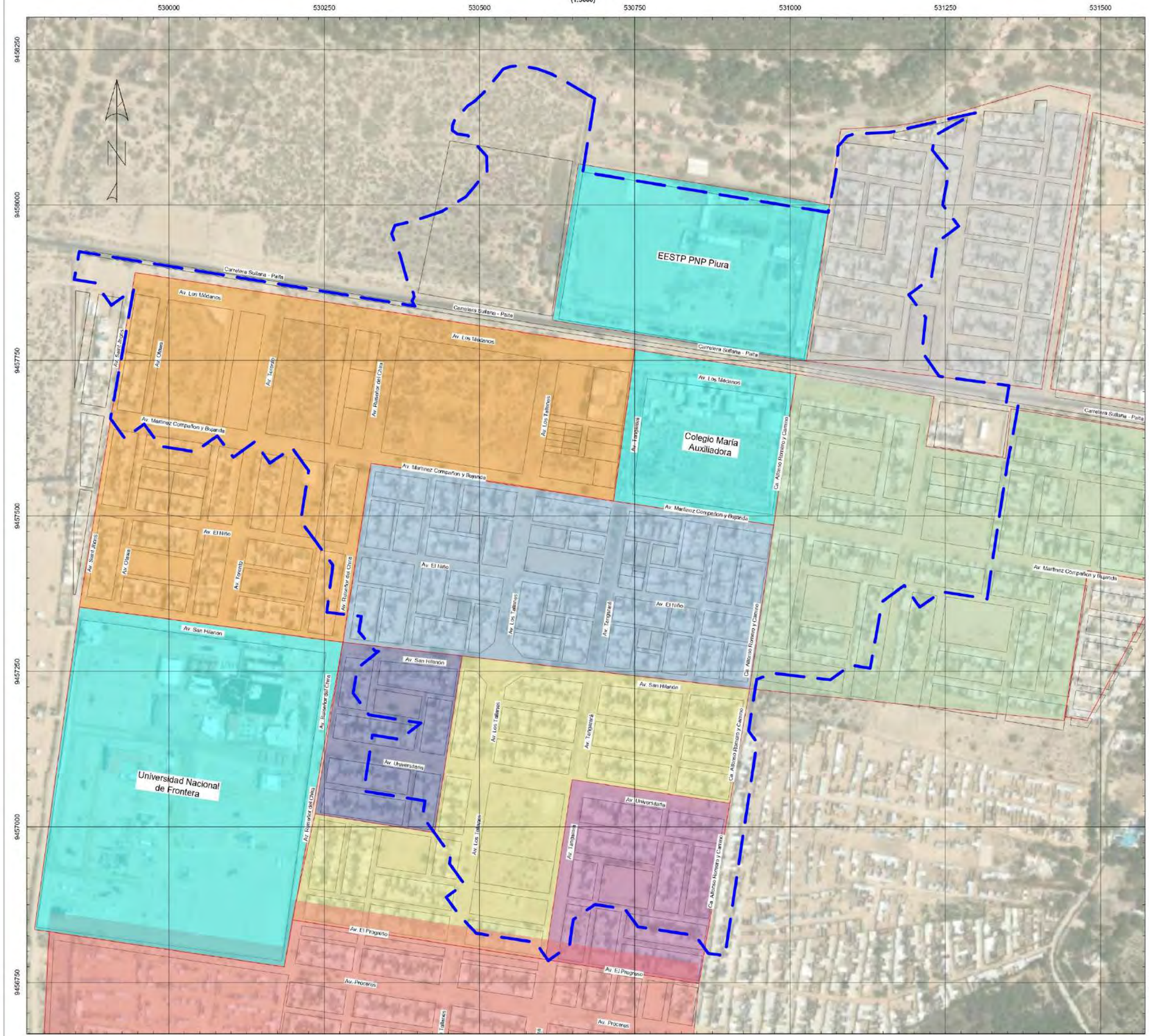
TESIS:
DISEÑO DE DRENAJE PLUVIAL EN LA CUENCA NUEVO SULLANA DE LA CIUDAD DE SULLANA USANDO EL PROGRAMA SWMM

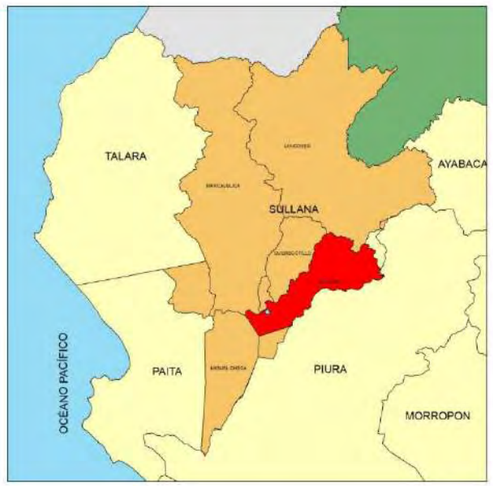
TESISTAS: YGC - DMR	PLANO: UBICACIÓN Y LOCALIZACIÓN DE LA CUENCA PODER JUDICIAL	UBICACIÓN: DISTRITO : SULLANA; PROVINCIA : SULLANA; REGIÓN : PIURA	LAMINA: U-01
REVISOR: MFZ	FECHA: DICIEMBRE 2021 / ESCALA: INDICADA	PÁGINA: 1/1	

Plano 02. Catastro urbano (CU-01)

* Nota: Plano original presentado en formato A1.

VISTA EN PLANTA
(1:3000)





Leyenda
Cuenca urbana
Manzanas
Urb. Popular Villa Perú Canadá
Urb. Popular Nueva Esperanza
Urb. Popular Nuevo Sullana
Urb. Popular Isaías Vasquez M.
Urb. Popular Nuevo Horizonte A
Programa Techo Propio
Urb. Popular Nuevo Horizonte B
Urb. Popular Virgen de las Mercedes
Instituciones varias

Metros
100 0 100 200
1:3000

UNIVERSIDAD DE PIURA

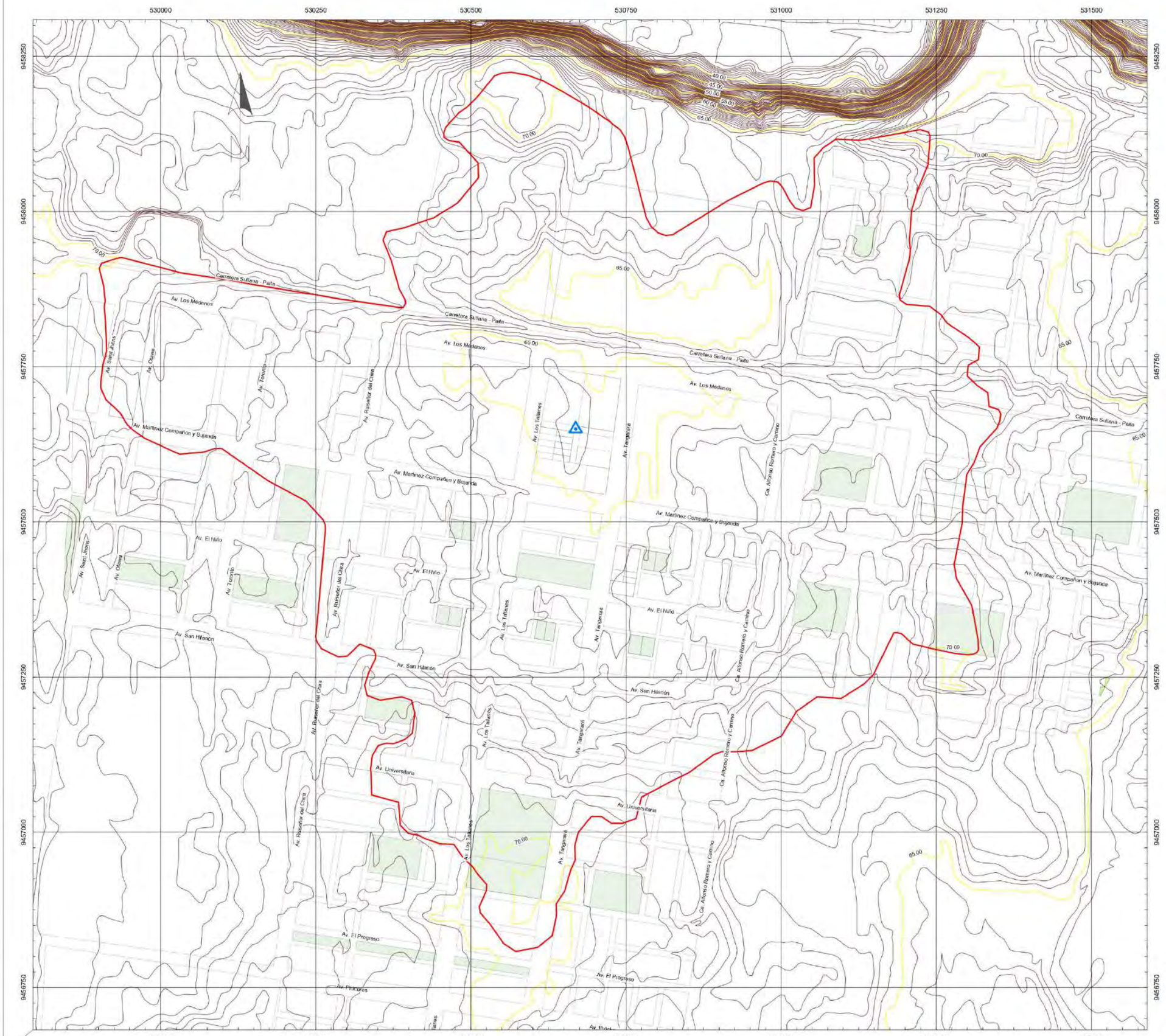
FACULTAD DE INGENIERÍA

TESIS:
DISEÑO DE DRENAJE PLUVIAL EN LA CUENCA NUEVO SULLANA DE LA CIUDAD DE SULLANA USANDO EL PROGRAMA SWMM

TESISTAS: YGC - DMR	PLANO: CATASTRO URBANO ZONA DE ESTUDIO	UBICACIÓN: DISTRITO : SULLANA PROVINCIA : SULLANA REGIÓN : PIURA	LAMINA: **CU-01**
REVISOR: MFZ	FECHA: DICIEMBRE 2021	ESCALA: 1:3000	PÁGINA: 1/1

Plano 03. Diagnóstico – Cuenca hidrográfica (C-01)

* Nota: Plano original presentado en formato A1.



Leyenda
Cuenca hidrográfica
Manzanas
Curvas de nivel mayores
Curvas de nivel menores
Punto de drenaje ciego

Metros
100 0 100 200
1:3000

UNIVERSIDAD DE PIURA

FACULTAD DE INGENIERÍA

TESIS:
DISEÑO DE DRENAJE PLUVIAL EN LA CUENCA NUEVO SULLANA DE LA CIUDAD DE SULLANA USANDO EL PROGRAMA SWMM

TESISTAS: YQC - DMR	PLANO: DELIMITACIÓN DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA PODER JUDICIAL	UBICACIÓN: DISTRITO : SULLANA; PROVINCIA : SULLANA; REGIÓN : PIURA	LAMINA: C-01
REVISOR: MFZ	FECHA: DICIEMBRE 2021	ESCALA: 1:3000	PÁGINA: 1/2

Plano 04. Diagnóstico – Cuenca urbana (C-02)

* Nota: Plano original presentado en formato A1.

Leyenda
Cuenca urbana
Manzanas
Curvas de nivel mayores
Curvas de nivel menores
Punto de drenaje ciego

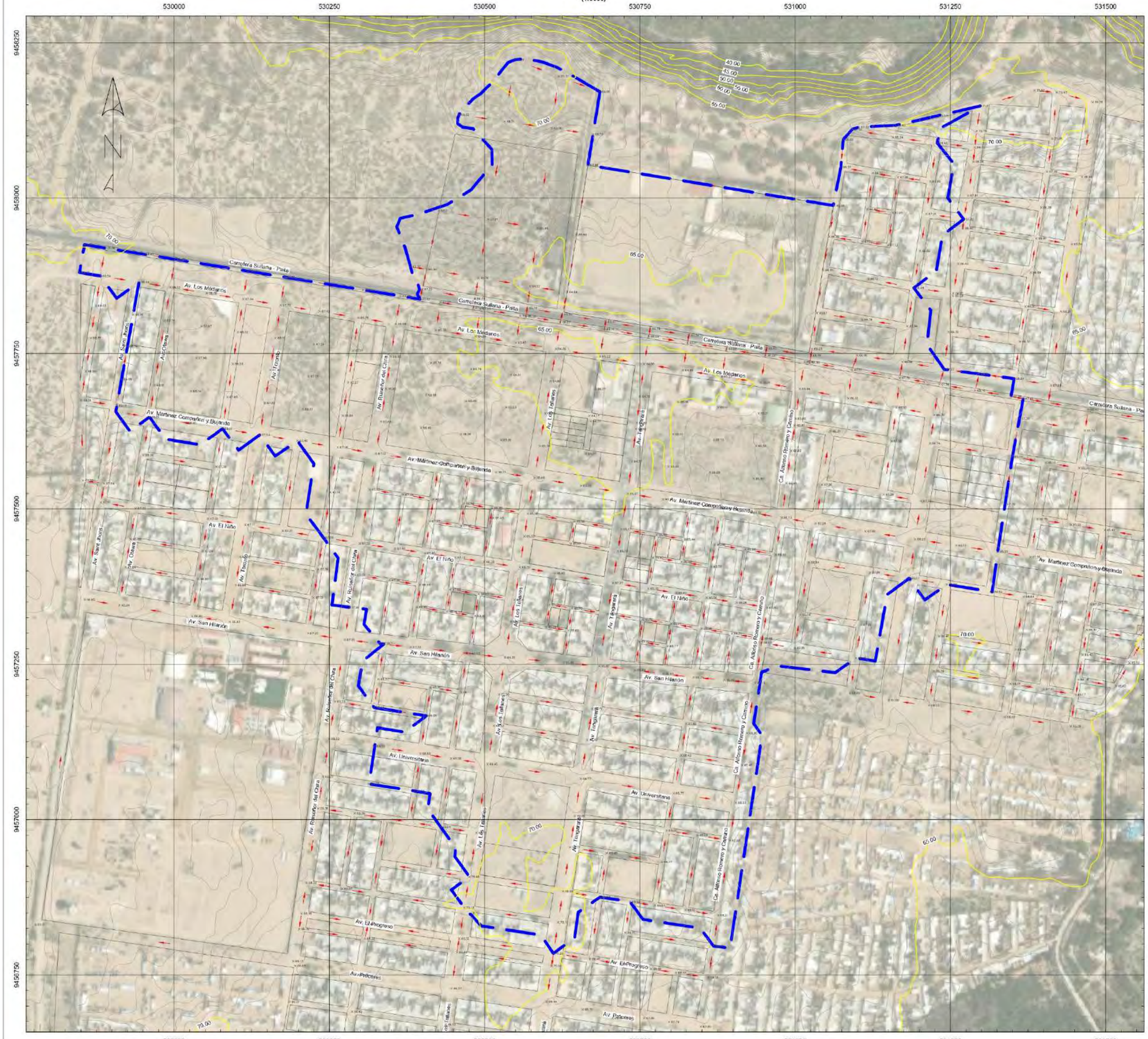
Metros
100 0 100 200
1:3000

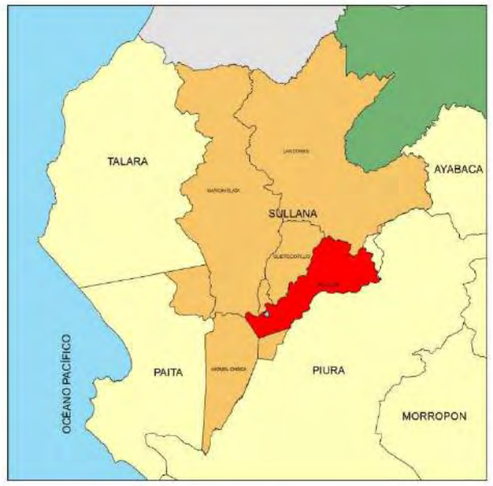
UNIVERSIDAD DE PIURA	FACULTAD DE INGENIERÍA		
	TESIS: DISEÑO DE DRENAJE PLUVIAL EN LA CUENCA NUEVO SULLANA DE LA CIUDAD DE SULLANA USANDO EL PROGRAMA SWMM		
TESISTAS: YGC - DMR	PLANO: DELIMITACIÓN DE LA CUENCA URBANA PODER JUDICIAL	UBICACIÓN: DISTRITO : SULLANA; PROVINCIA : SULLANA; REGIÓN : PIURA	LAMINA: C-02
REVISOR: MFZ	FECHA: DICIEMBRE 2021	ESCALA: 1:5000	PÁGINA: 2/2

Plano 05. Diagnóstico – Dirección del flujo (FD-01)

* Nota: Plano original presentado en formato A1.

VISTA EN PLANTA
(1:3000)





Leyenda
Cuenca urbana
Manzanas
Curvas de nivel mayores
Curvas de nivel menores
Dirección del flujo

Metros
100 0 100 200
1:3000

FACULTAD DE INGENIERÍA

UNIVERSIDAD DE PIURA

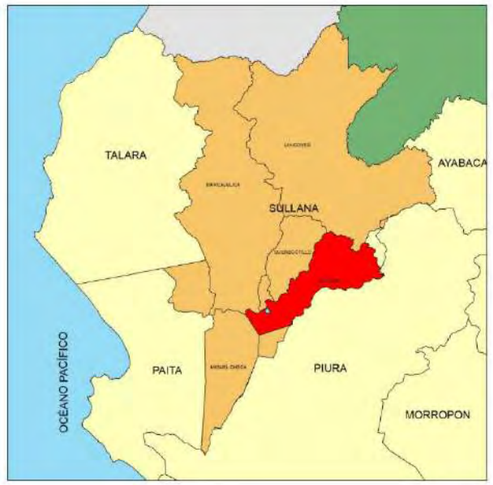
TESIS:
DISEÑO DE DRENAJE PLUVIAL EN LA CUENCA NUEVO SULLANA DE LA CIUDAD DE SULLANA USANDO EL PROGRAMA SWMM

TESISTAS: YGC - DMR	PLANO: DIRECCIÓN DEL FLUJO EN LA CUENCA PODER JUDICIAL DIAGNÓSTICO	UBICACIÓN: DISTRITO : SULLANA PROVINCIA : SULLANA REGIÓN : PIURA	LAMINA: **FD-01**
REVISOR: MFZ	FECHA: DICIEMBRE 2021 / ESCALA: 1:3000	PÁGINA: 1/1	

Plano 06. Propuesta – Dirección del flujo (FP-01)

* Nota: Plano original presentado en formato A1.

VISTA EN PLANTA
(1:3000)



Leyenda
Cuenca urbana
Manzanas
Curvas de nivel mayores
Curvas de nivel menores
Dirección del flujo

Metros
100 0 100 200
1:3000

FACULTAD DE INGENIERÍA

UNIVERSIDAD DE PIURA

TESIS:
DISEÑO DE DRENAJE PLUVIAL EN LA CUENCA NUEVO SULLANA DE LA CIUDAD DE SULLANA USANDO EL PROGRAMA SWMM

TESISTAS: YGC - DMR	PLANO: DIRECCIÓN DEL FLUJO EN LA CUENCA PODER JUDICIAL PROPUESTA	UBICACIÓN: DISTRITO : SULLANA; PROVINCIA : SULLANA; REGIÓN : PIURA	LAMINA: **FP-01**
REVISOR: MFZ	FECHA: DICIEMBRE 2021	ESCALA: 1:3000	PÁGINA: 1/1

Plano 07. Propuesta – Sistemas de drenaje urbano sostenible (DS-01)

* Nota: Plano original presentado en formato A1.

VISTA EN PLANTA
(1:3000)

Leyenda

- Cuenca urbana
- Manzanas
- Áreas verdes
- Parques de infiltración
- Franjas de infiltración

Metros
100 0 100 200
1:3000

UNIVERSIDAD DE PIURA

FACULTAD DE INGENIERÍA

TESIS:
DISEÑO DE DRENAJE PLUVIAL EN LA CUENCA NUEVO SULLANA DE LA CIUDAD DE SULLANA USANDO EL PROGRAMA SWMM

TESISTAS: YQC - DMR

REVISOR: MFZ

PLANO: SISTEMAS URBANOS DE DRENAJE SOSTENIBLE PROPUESTOS ALTERNATIVA 03

UBICACIÓN: DISTRITO : SULLANA; PROVINCIA : SULLANA; REGIÓN : PIURA

FECHA: DICIEMBRE 2021

ESCALA: 1:3000

PÁGINA: 1/1

LAMINA: **DS-01**

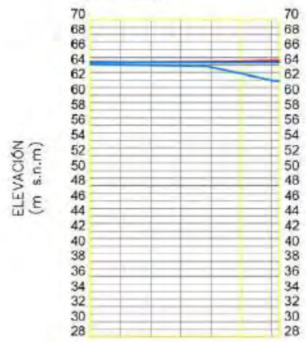
Plano 08. Propuesta – Sistema de evacuación por gravedad (SG -01)

* Nota: Plano original presentado en formato A1.

VISTA EN PLANTA
(1:4000)

	Leyenda
	Vista en planta
----	Cuenca urbana
——	Manzanas
——	Curvas de nivel mayores
——	Curvas de nivel menores
○	Pozos de inspección
——	Canal de captación
——	Conducto enterrado
——	Rápida
	Perfil
——	Terreno
——	Conducto/rápida/canal

PERFIL DEL CANAL DE CAPTACIÓN
(EH: 1/2500)
(EV: 1/500)



Progresiva (ml.)	Cota Terreno (m s.n.m.)	Cota Rasante (m s.n.m.)	Pendiente	H excavación (m)
	64.39	64.02	0.4%	0.37
	64.40	63.94		0.46
	64.44	63.86		0.58
	64.48	63.69	4.3%	0.79
0+100	64.53	62.84		1.69
	64.57	61.99		2.58

PERFIL DEL SISTEMA DE EVACUACIÓN - CONDUCTOS ENTERRADOS Y RÁPIDA
(EH: 1/2500)
(EV: 1/500)

Progresiva (ml.)	Cota Terreno (m s.n.m.)	Cota Rasante (m s.n.m.)	Pendiente	H excavación (m)
	64.99		1.5%	3.29
	65.32	61.66	0.2%	3.65
	65.36	61.62	0.2%	3.73
	65.45	61.58		3.86
0+100	65.55	61.54	0.2%	4.00
	65.64	61.50		4.13
	65.71	61.46		4.24
	65.73	61.42		4.31
	65.79	61.38		4.41
0+200	65.90	61.34		4.55
	66.05	61.30		4.75
	66.19	61.26	0.2%	4.93
	66.34	61.22		5.12
	66.49	61.18		5.31
0+300	66.64	61.14		5.50
	66.77	61.10		5.66
	66.89	61.06		5.83
	66.98	61.02		5.93
	67.05	60.98		6.06
0+400	67.25	60.94	0.2%	6.30
	67.42	60.90	0.2%	6.52
	67.07	60.86		6.21
	66.92	60.82		6.09
	66.95	60.78		6.17
0+500	67.05	60.74		6.30
	66.78	60.70		6.08
	67.05	60.66		6.39
	67.95	60.62	0.2%	7.32
	68.09	60.58		7.51
0+600	67.41	60.54		6.86
	67.20	60.50	0.2%	6.70
	67.02	60.46		6.56
	66.66	60.42		6.23
	66.80	60.38		6.42
0+700	67.14	60.34		6.79
	68.47	60.30		8.16
	69.20	60.26		8.93
	68.79	60.22	0.2%	8.57
	67.97	60.18		7.78
0+800	67.37	60.14		7.22
	66.50	60.10		6.40
	66.12	60.06		6.06
	65.95	60.02		5.93
	65.38	59.98		5.40
0+900	65.52	59.94	2.6%	5.57
	65.04	59.55		5.49
	64.43	59.04		5.39
	63.84	58.53		5.31
	62.59	58.02		4.57
1+000	61.79	57.51		4.28
	61.44	57.00		4.44
	62.28	56.49		5.77
	62.30	55.97	2.6%	6.32
	61.80	55.46		6.33
1+100	61.08	54.95		6.13
	58.92	54.44		4.48
	57.38	53.65	20.1%	4.32
	55.45	49.04		6.41
	52.99	45.03		7.96
1+200	48.83	41.02		7.80
	43.39	37.01		6.38
	36.74	33.00	0.2%	3.74
	35.38	32.96		2.42

UNIVERSIDAD DE PIURA

FACULTAD DE INGENIERÍA

TESIS: DISEÑO DE DRENAJE PLUVIAL EN LA CUENCA NUEVO SULLANA DE LA CIUDAD DE SULLANA USANDO EL PROGRAMA SWMM

TESISTAS: YGC - DMR	PLANO: SISTEMA DE EVACUACIÓN POR GRAVEDAD ALTERNATIVA 03 VISTA EN PLANTA Y PERFIL		UBICACIÓN: DISTRITO : SULLANA; PROVINCIA : SULLANA; REGIÓN : PIURA	LÁMINA: SG-01
REVISOR: MFZ	FECHA: DICIEMBRE 2021	ESCALA: INDICADA	PÁGINA: 1/1	