



UTMACH

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**“ANÁLISIS HIDROLÓGICO PARA EL CONTROL DE INUNDACIONES
MEDIANTE LA APLICACIÓN DE SISTEMAS URBANOS DE DRENAJE
SOSTENIBLES, EN EL CANTÓN MACHALA”**

**HIDALGO GARCIA ANDREA ESTHEFANIA
INGENIERA CIVIL**

**MACHALA
2019**



UTMACH

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**“ANÁLISIS HIDROLÓGICO PARA EL CONTROL DE
INUNDACIONES MEDIANTE LA APLICACIÓN DE SISTEMAS
URBANOS DE DRENAJE SOSTENIBLES, EN EL CANTÓN
MACHALA”**

**HIDALGO GARCIA ANDREA ESTHEFANIA
INGENIERA CIVIL**

**MACHALA
2019**



UTMACH

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

TRABAJO TITULACIÓN
TRABAJO EXPERIMENTAL

“ANÁLISIS HIDROLÓGICO PARA EL CONTROL DE INUNDACIONES MEDIANTE
LA APLICACIÓN DE SISTEMAS URBANOS DE DRENAJE SOSTENIBLES, EN EL
CANTÓN MACHALA”

HIDALGO GARCIA ANDREA ESTHEFANIA
INGENIERA CIVIL

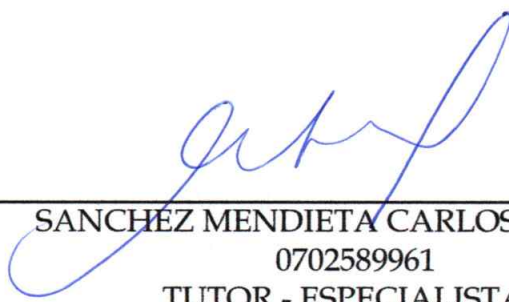
SANCHEZ MENDIETA CARLOS EUGENIO

MACHALA, 16 DE SEPTIEMBRE DE 2019

MACHALA
2019

Nota de aceptación:

Quienes suscriben, en nuestra condición de evaluadores del trabajo de titulación denominado "ANÁLISIS HIDROLÓGICO PARA EL CONTROL DE INUNDACIONES MEDIANTE LA APLICACIÓN DE SISTEMAS URBANOS DE DRENAJE SOSTENIBLES, EN EL CANTÓN MACHALA", hacemos constar que luego de haber revisado el manuscrito del precitado trabajo, consideramos que reúne las condiciones académicas para continuar con la fase de evaluación correspondiente.



SANCHEZ MENDIETA CARLOS EUGENIO
0702589961
TUTOR - ESPECIALISTA 1



ESPINOZA CORREA JESUS ENRIQUE
0703391557
ESPECIALISTA 2



MEDINA SANCHEZ YUDY PATRICIA
0703642850
ESPECIALISTA 3

Machala, 16 de septiembre de 2019

TRABAJO DE TITULACION

INFORME DE ORIGINALIDAD

4%

INDICE DE SIMILITUD

4%

FUENTES DE
INTERNET

0%

PUBLICACIONES

0%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

zh.scribd.com

Fuente de Internet

1%

2

pirhua.udep.edu.pe

Fuente de Internet

1%

3

heh.be

Fuente de Internet

<1%

4

repositorio.upct.es

Fuente de Internet

<1%

5

documents.mx

Fuente de Internet

<1%

6

bibliotecadigital.univalle.edu.co

Fuente de Internet

<1%

7

icc.org.gt

Fuente de Internet

<1%

8

bdigital.unal.edu.co

Fuente de Internet

<1%

9

tesis.ucsm.edu.pe

Fuente de Internet

<1%

CLÁUSULA DE CESIÓN DE DERECHO DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO DIGITAL INSTITUCIONAL

La que suscribe, HIDALGO GARCIA ANDREA ESTHEFANIA, en calidad de autora del siguiente trabajo escrito titulado "ANÁLISIS HIDROLÓGICO PARA EL CONTROL DE INUNDACIONES MEDIANTE LA APLICACIÓN DE SISTEMAS URBANOS DE DRENAJE SOSTENIBLES, EN EL CANTÓN MACHALA", otorga a la Universidad Técnica de Machala, de forma gratuita y no exclusiva, los derechos de reproducción, distribución y comunicación pública de la obra, que constituye un trabajo de autoría propia, sobre la cual tiene potestad para otorgar los derechos contenidos en esta licencia.

La autora declara que el contenido que se publicará es de carácter académico y se enmarca en las disposiciones definidas por la Universidad Técnica de Machala.

Se autoriza a transformar la obra, únicamente cuando sea necesario, y a realizar las adaptaciones pertinentes para permitir su preservación, distribución y publicación en el Repositorio Digital Institucional de la Universidad Técnica de Machala.

La autora como garante de la autoría de la obra y en relación a la misma, declara que la universidad se encuentra libre de todo tipo de responsabilidad sobre el contenido de la obra y que asume la responsabilidad frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros de manera exclusiva.

Aceptando esta licencia, se cede a la Universidad Técnica de Machala el derecho exclusivo de archivar, reproducir, convertir, comunicar y/o distribuir la obra mundialmente en formato electrónico y digital a través de su Repositorio Digital Institucional, siempre y cuando no se lo haga para obtener beneficio económico.

Machala, 16 de septiembre de 2019



HIDALGO GARCIA ANDREA ESTHEFANIA
0706735537

TRABAJO DE TITULACION

por Andrea Hidalgo

Fecha de entrega: 11-sep-2019 10:20a.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 1170836960

Nombre del archivo: (9.2M)

Total de palabras: 38931

Total de caracteres: 156889

TRABAJO DE TITULACION

INFORME DE ORIGINALIDAD

4%

INDICE DE SIMILITUD

4%

FUENTES DE
INTERNET

0%

PUBLICACIONES

0%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

zh.scribd.com

Fuente de Internet

1%

2

pirhua.udep.edu.pe

Fuente de Internet

1%

3

heh.be

Fuente de Internet

<1%

4

repositorio.upct.es

Fuente de Internet

<1%

5

documents.mx

Fuente de Internet

<1%

6

bibliotecadigital.univalle.edu.co

Fuente de Internet

<1%

7

icc.org.gt

Fuente de Internet

<1%

8

bdigital.unal.edu.co

Fuente de Internet

<1%

9

tesis.ucsm.edu.pe

Fuente de Internet

<1%

10

www3.uah.es

Fuente de Internet

<1%

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias

< 40 words

Excluir bibliografía

Activo

DEDICATORIA

A mis padres Graciela y Máximo, por ser mi guía y entregarme su amor, confianza y ser incondicionales.

A mis hermanos Francisco, Michelle y Melany, y sobrinos Danna, Isaac y Dereck, por estar presentes acompañándome y brindándome su apoyo moral.

A toda mi familia que ha estado presente con sus consejos y palabras de aliento.

Ustedes han sido el pilar fundamental para alcanzar esta importante meta.

Andrea E. Hidalgo García

AGRADECIMIENTO

Agradezco primero a Dios por brindarme la vida y la sabiduría para lograr cada una de las metas que me he propuesto.

A mi familia por su apoyo incondicional y ser mi pilar fundamental.

A cada una de las personas que he conocido durante el transcurso de mi carrera universitaria, compañeros, amigos y docentes, de todos ustedes he aprendido y me llevo gratos recuerdos.

A mi tutor Ing. Carlos Sánchez, quien con su experiencia y conocimientos me ha guiado en la realización de este trabajo de titulación.

A mis amigos Christian y Joffre con quienes compartí dentro y fuera de las aulas, gracias por todo su apoyo colegas.

Andrea E. Hidalgo García

RESUMEN

“ANÁLISIS HIDROLÓGICO PARA EL CONTROL DE INUNDACIONES MEDIANTE LA APLICACIÓN DE SISTEMAS URBANOS DE DRENAJE SOSTENIBLES, EN EL CANTÓN MACHALA”

Autora: Andrea Esthefanía Hidalgo García

Tutor: Ing. Carlos Sánchez Mendieta, M. Sc.

En el presente trabajo de titulación de tipo experimental se realiza una modelación hidrológica para simular la escorrentía superficial generada en una zona urbana ubicada al norte del cantón Machala, con el fin de identificar la ocurrencia de inundaciones debido a la impermeabilidad del suelo, y con la premisa que el sistema de drenaje del cantón está trabajando a su máxima capacidad.

En este cantón, así como en otros lugares del mundo, debido al crecimiento poblacional se ha generado un aumento de la infraestructura urbana, por lo cual, el suelo permeable ha sido reemplazado por superficies impermeables que afectan al proceso natural del agua, provocando la disminución de evaporación e infiltración, por consiguiente, se reduce la recarga de aguas subterráneas y aumenta el volumen de escorrentía superficial.

Los efectos negativos de reemplazar las superficies permeables por otras totalmente impermeables son notables cuando ocurren eventos de lluvia intensos. Tal es el caso, que en la zona urbana del cantón Machala cuando ocurren lluvias intensas, el sistema de alcantarillado tiene que transportar, además de las aguas residuales, los elevados caudales de escorrentía y en mucho de los casos su capacidad es superada y colapsa, ocasionando inundaciones que generan impactos sociales y económicos.

El modelo hidrológico se realizó en SWMM 5.1, este software es de código abierto y ha sido ampliamente utilizado para desarrollar modelos hidrológicos e hidráulicos a nivel mundial, además tiene módulos de control LID para implementar sistemas de drenaje sostenibles, tales como jardines de lluvia, barriles de lluvia, techos verdes, zanjas de infiltración y pavimentos permeables.

El modelo requiere como información básica la topografía e hidrología del sitio de estudio, por lo tanto, para conocer la topografía se realizó un levantamiento altimétrico y los datos recolectados fueron procesados en el Sistema de Información Geográfico

ArcGIS 10.5, resultando un DEM con una resolución por píxel de 19.25 x 19.25. Con respecto a la información hidrológica se utiliza una tormenta de diseño como el hietograma, obtenido mediante el método del bloque alterno a partir de las curvas IDF (Intensidad-Duración-Frecuencia), estas curvas han sido definidas con las ecuaciones representativas de la estación pluviométrica M0072 MACHALA AEROPUERTO, del libro "Estudios de Lluvias Intensas" del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología del Ecuador INAMHI.

En el modelo realizado en SWMM 5.1 se tienen cuatro elementos principales: pluviómetro, subcuencas, conducciones y uniones. Las conducciones, que representan a las calles por donde drena la escorrentía superficial, han sido establecidas en función del drenaje natural de la cuenca y de las principales calles que previamente han sido identificadas con problemas de inundación.

Se ejecutó el modelo hidrológico para periodos de retorno de 5, 10 y 25 años, como resultado se obtuvo que en cada uno de estos periodos la escorrentía superficial genera inundaciones y supera el nivel en algunas calles, establecido en 0.20 m de profundidad. Para realizar el análisis se selecciona el periodo de retorno de 25 años, cuyo caudal pico es de 10.50 m³/s y el volumen de inundación es de 43 464 m³.

Para el control del volumen de inundación se propone la aplicación de dos Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible de tipo control en la fuente, como el pavimento permeable y el barril de lluvia.

Los resultados obtenidos con la aplicación de los SUDS demuestran que su implementación en esta zona urbana da resultados positivos, sobre todo la aplicación del pavimento permeable, ya que se reduce en un 57.64 % el volumen de inundación.

PALABRAS CLAVES: modelación hidrológica, impermeabilidad, inundación, Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible SUDS, Storm Water Management Model SWMM.

ABSTRACT

“HYDROLOGICAL ANALYSIS FOR FLOOD CONTROL BY THE APPLICATION OF SUSTAINABLE URBAN DRAINAGE SYSTEMS, IN THE CANTÓN MACHALA”

Autora: Andrea Esthefanía Hidalgo García

Tutor: Ing. Carlos Sánchez Mendieta, M. Sc.

In the present experimental titling work a hydrological modeling is performed to simulate the surface runoff generated in an urban area located north of the Machala canton, in order to identify the occurrence of floods due to the impermeability of the soil, and with the premise that the canton drainage system is working at maximum capacity.

In this canton, as well as in other parts of the world, due to population growth, an increase in urban infrastructure has been generated, therefore, permeable soil has been replaced by impermeable surfaces that alter the natural process of water, causing the decrease evaporation and infiltration, consequently, the recharge of groundwater is reduced and the volume of surface runoff increases.

The negative effects of replacing permeable surfaces with totally impermeable ones are notable when heavy rain events occur. Such is the case, that in the urban area of the Machala canton when heavy rains occur, the sewerage system has to transport, in addition to wastewater, high runoff flows and in many cases its capacity is exceeded and collapses, causing floods that generate social and economic impacts.

The hydrological model was made in SWMM 5.1, this software is open source and has been widely used to develop hydrological and hydraulic models worldwide, also has LID control modules to implement sustainable drainage systems, such as rain gardens, barrels of rain, green roofs, infiltration ditches and permeable pavements.

The model requires as basic information the topography and hydrology of the study site, therefore, to know the topography an altimetric survey was carried out and the data collected were processed in the ArcGIS 10.5 Geographic Information System, resulting in a DEM with a resolution by 19.25 x 19.25 pixel. With respect to hydrological information, a design storm is used, such as the hietogram, obtained by means of the alternate block method based on the IDF (Intensity-Duration-Frequency) curves, these curves have been defined with the equations representative of the pluviometric station

M0072 MACHALA AEROPUERTO, from the book "Estudios de Lluvias Intensas" of the Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología del Ecuador INAMHI.

In the model made in SWMM 5.1 there are four main elements: rain gauge, sub-basins, pipes and joints. The pipes, which represent the streets through which the surface runoff drains, have been established based on the natural drainage of the basin and the main streets that have previously been identified with flood problems.

The hydrological model was executed for return periods of 5, 10 and 25 years, as a result it was obtained that in each of these periods the surface runoff generates floods and exceeds the level in some streets, established at 0.20 m deep. To perform the analysis, the 25-year return period is selected, whose peak flow is 10.50 m³ / s and the flood volume is 43 464 m³.

For the control of the volume of flooding, the application of two Urban Sustainable Drainage Systems of control type at the source, such as permeable pavement and rain barrel, is proposed.

The results obtained with the application of the SUDS show that its implementation in this urban area gives positive results, especially the application of permeable pavement, since the volume of flooding is reduced by 57.64%.

KEYWORDS: hydrological modeling, impermeability, flood, Urban Systems of Sustainable Drainage SUDS, Storm Water Management Model SWMM.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTO	IV
RESUMEN	V
ABSTRACT	VII
ÍNDICE DE CONTENIDOS	IX
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	XI
ÍNDICE DE FIGURAS	XI
ÍNDICE DE TABLAS	XII
ÍNDICE DE GRÁFICOS	XII
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1 ANTECEDENTES	3
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	5
1.3 OBJETIVOS	9
1.4 ALCANCES	9
1.5 JUSTIFICACIÓN	10
1.6 DEFINICIONES	11
1.7 SISTEMAS URBANOS DE DRENAJE SOSTENIBLE SUDS	15
1.7.1 Técnicas de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible SUDS	16
1.7.1.1 Superficies permeables	16
1.7.1.2 Depósito de detención temporal	19
1.8 EPA STORM WATER MANAGEMENT MODEL (EPA SWMM)	20
1.8.1 Bloques de cálculo de SWMM	20
1.8.2 Métodos conceptuales computacionales	21
1.8.2.1 Escorrentía superficial	21
1.8.2.2 Infiltración	22
1.8.2.3 Enrutamiento del flujo	22
1.8.3 Aplicaciones de SWMM	23
1.8.4 LID Controls de SWMM 5.1	24
1.9 MODELACIÓN HIDROLÓGICA	25
1.9.1 Lluvia de proyecto	25
1.9.1.1 Curva Intensidad-Duración-Frecuencia	25
1.9.1.2 Tormenta de diseño	26
1.9.2 Escorrentía	26
1.9.2.1 Infiltración	27
1.9.2.2 Almacenamiento en depresiones	27
II. MÉTODOS Y MATERIALES	29
2.1 METODOLOGÍA	29
2.1.1 Diseño general de la investigación	29
2.1.2 Características del cantón Machala	30
2.1.3 Datos de inundaciones en el cantón Machala	33
2.1.4 Recolección de información de campo	35
1.1.1 Información topográfica: integración y procesamiento	36
1.1.2 Selección de la cuenca urbana	36

1.1.3	Información Hidrológica	37
1.1.3.1	Curvas Intensidad-Duración-Frecuencia IDF	37
1.1.3.2	Hietogramas de precipitación	38
1.1.4	Información para la construcción del modelo en EPA SWMM 5.1	39
1.1.4.1	Parámetros de Infiltración: método de Horton	39
1.1.4.2	Porcentaje de impermeabilidad, % Imperv	39
1.1.4.3	Coeficiente de rugosidad de Manning, N	39
1.1.4.4	Altura de almacenamiento en depresión, Dstore.....	40
1.1.4.5	Porcentaje de suelo impermeable sin depresiones	41
1.1.4.6	Flujo entre sub áreas	41
1.1.4.7	Porcentaje de escorrentía entre áreas	41
1.1.4.8	Sección de las conducciones	41
1.1.5	Modelación en EPA SWMM 5.1	41
1.1.5.1	Construcción del modelo hidrológico	41
1.1.5.2	Creación de los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible	44
1.1.5.3	Aplicación de los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible	48
2.2	MATERIALES	49
III.	RESULTADOS	50
3.1	CARACTERÍSTICAS MORFOMÉTRICAS DE LA CUENCA	50
3.1.1	Área.....	50
3.1.2	Perímetro	50
3.1.3	Altura máxima y mínima	50
3.1.4	Pendiente media	50
3.2	MODELO EN SWMM 5.1	51
3.3	SIMULACIONES EN SWMM 5.1.....	52
3.3.1	Escenario 1: Sin medidas de drenaje sostenible	52
3.3.2	Escenario 2: Aplicando medidas de drenaje sostenible	56
3.3.3	Resumen de los escenarios	60
3.4	FUTURAS INVESTIGACIONES.....	63
IV.	CONCLUSIONES	64
V.	RECOMENDACIONES	66
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	67
	ANEXOS	72

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Inundación registrada en una zona urbana del cantón Machala	7
Ilustración 2. Barrios de Machala anegados por la lluvia intensa.....	7
Ilustración 3. Desborde del canal El Macho.....	8

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa Preliminar de Zonas de Amenazas por Inundación del Cantón Machala Prov. de El Oro.	6
Figura 2. Cambios causados por la urbanización en la transformación lluvia-escorrentía	13
Figura 3. Esquema de la terminología empleada para sistemas de drenaje sostenible.	15
Figura 4. Esquema de Técnicas SUDS	16
Figura 5. Esquema de tipos de pavimentos permeables.....	17
Figura 6. Diagrama de un sistema de pavimento permeable	17
Figura 7. Ventajas y desventajas de los pavimentos permeables.....	19
Figura 8. Esquema funcional de un barril de lluvia	19
Figura 9. Ventajas y desventajas de los barriles de lluvia	20
Figura 10. Bloques de cálculo de SWMM	21
Figura 11. Vista conceptual de la escorrentía superficial en SWMM	22
Figura 12. Esquema de las Aplicaciones de SWMM	23
Figura 13. Tipos de LID Controls disponibles en SWMM 5.1	24
Figura 14. Ubicación del cantón Machala	30
Figura 15. Cobertura y Uso de suelo del cantón Machala (2008-2011).....	32
Figura 16. Cuencas Hidrográficas del cantón Machala	33
Figura 17. Localización del estudio	35
Figura 18. Proceso general para construir un modelo en EPA SWMM 5.1	42
Figura 19. Ventana para editar las propiedades de las subcuencas	42
Figura 20. Ventana para editar las propiedades de las conducciones.....	43
Figura 21. Ventana para editar las propiedades de las intersecciones.....	43
Figura 22. Ventana para editar las propiedades del pluviómetro	43
Figura 23. Menú para añadir SUDS en SWMM 5.1	44
Figura 24. Parámetros aplicados en las capas del pavimento permeable.....	47
Figura 25. Parámetros aplicados en las capas del barril de lluvia	47
Figura 26. Ventana de propiedades de la subcuencas para agregar los SUDS.....	48
Figura 27. Ventana para agregar los SUDS	48
Figura 28. Sistema de drenaje modelado en SWMM 5.1	51
Figura 29. Reporte de continuidad de escorrentía.....	52
Figura 30. Reporte de enrutamiento de flujo.....	53
Figura 31. Perfil de elevación de las uniones U1 a U9.....	54
Figura 32. Perfil de elevación de las uniones U10 a U20.....	55
Figura 33. Perfil de elevación de las uniones U20 a U8.....	55
Figura 34. Perfil de elevación de las uniones U28 a U19.....	56
Figura 35. Reporte de continuidad de escorrentía aplicando SUDS.....	56
Figura 36. Reporte de enrutamiento de flujo aplicando SUDS.....	57

Figura 37. Perfil de elevación de las uniones U1 a U9.....	58
Figura 38. Perfil de elevación de las uniones U10 a U20.....	59
Figura 39. Perfil de elevación de las uniones U20 a U8.....	59
Figura 40. Perfil de elevación de las uniones U28 a U19.....	60

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Pérdidas por almacenamiento en depresiones	28
Tabla 2. Principales parámetros climáticos del cantón Machala.....	31
Tabla 3. Cobertura y uso de suelo del cantón Machala (2008-2011)	31
Tabla 4. Reportes de inundaciones de la SNGR ocurridos en Machala, 2007 – 2012	34
Tabla 5. Reportes de inundaciones en medios de comunicación ocurridos en Machala	35
Tabla 6. Intensidad máxima en 24 horas. Estación M0072.....	37
Tabla 7. Parámetros de infiltración, método de Horton	39
Tabla 8. Superficie permeable e impermeable de la zona de estudio.	39
Tabla 9. Coeficiente n de Mannig para escorrentía superficial, SWMM	40
Tabla 10. Flujo entre subareas.....	41
Tabla 11. Parámetros aplicados en el sistema pavimento permeable	46
Tabla 12. Clasificación de las cuencas según su tamaño, Campos 1998	50
Tabla 13. Altura máxima y mínima de la cuenca	50
Tabla 14. Clasificación de pendientes medias.....	51
Tabla 15. Caudal pico y volumen de inundación para Tr= 5, 10 y 25 años	52
Tabla 16. Resumen de los resultados, Escenario 1 y 2	60

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Curvas IDF para TR= 25 años, Estación M0072	38
Gráfico 2. Hietograma de precipitación, TR= 25 años.....	38
Gráfico 3. Escorrentía en mm de cada subcuenca, Escenario 1 y 2	60
Gráfico 4. Infiltración en mm de cada subcuenca, Escenario 1 y 2	61
Gráfico 5. Caudal de escorrentía generado en cada subcuenca, Escenario 1 y 2	62

I. Introducción

“Las inundaciones causadas por las lluvias y las tormentas, que en las últimas dos décadas y debido al cambio climático han incrementado de manera inusitada su intensidad, son los eventos que afectan con mayor fuerza las zonas urbanas. De modo que el fenómeno de las inundaciones catastróficas se evidencia actualmente en los cinco continentes.”[1]

“América del Sur es afectada por los efectos recurrentes de fenómenos climáticos cíclicos como El Niño o La Niña, que inciden en forma diferenciada en cada uno de los países, en los cuales el drenaje urbano superficial y subsuperficial es uno de los aspectos menos atendidos en la gestión de los recursos hídricos, ya que los mecanismos hidrológicos en los medios urbanos son complejos y poco conocidos.”[2]

Ecuador es uno de los países que sufre las consecuencias del El Niño y La Niña, principalmente en la región Costa, en donde el relieve de la zona es oportuno para que se generen inundaciones.

Las zonas urbanas se han visto mayormente afectadas debido a que en ellas la cobertura natural del suelo ha sido sustituida por superficies impermeables, esta modificación impide la infiltración del agua y aumentan la escorrentía, para la cual en muchos de los casos los sistemas de drenaje urbano convencionales no han sido diseñados y resultan ineficientes.

“El interés por minimizar los costos asociados al manejo de aguas de lluvia, tanto en calidad como en cantidad, así como potenciales impactos aguas abajo hace surgir la alternativa de la detención e infiltración de estas aguas en todo el trayecto en que escurre. Para este fin de retraso y/o minimización de escorrentía superficial, se están utilizando cada vez más infraestructuras verdes de drenaje pluvial en los contextos urbanos como pavimentos permeables, estanques, jardines en los tejados, etc.”[2]

Las alternativas de infraestructura verde mencionadas son conocidas bajo diferentes nominaciones, como Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible, Desarrollo de Bajo Impacto, Mejores Prácticas de Gestión, entre otras. Pero su objetivo sigue siendo el mismo, darle un nuevo enfoque al tratamiento de las aguas pluviales en el medio urbano con el fin de reducir sus impactos negativos.

En el presenta trabajo se analiza una zona urbana del Cantón Machala, Provincia de El Oro, en la cual se han registrado problemas de inundación. El análisis se realiza mediante estudios de ingeniería y de modelaciones en el software EPA SWMM 5.1.

Las modelaciones se presentan en dos escenarios, en el primero se muestran los resultados de la simulación del estado actual de la zona urbana y su respuesta ante un evento de precipitación de 24 horas de duración en un periodo de retorno de 25 años, y en el segundo se simula la zona urbana bajo las mismas condiciones, pero esta vez aplicando medidas de drenaje sostenibles, como los pavimentos permeables en aceras y barriles de lluvia en las viviendas.

La comparación de los resultados de los dos escenarios indica que la aplicación de estos Sistemas Urbanos de drenaje Sostenible en esta zona urbana resulta eficiente ya que reducen en un 57.64% del volumen de inundación.

1.1 Antecedentes

“Muchos países e innumerables ciudades trabajan actualmente en la formulación de estrategias que fomenten y fortalezcan la resiliencia urbana en el tema de las inundaciones. En ese escenario de alcance mundial, algunos investigadores proponen un fuerte cambio en la visión de la ciudad, que desmantele el modelo tradicional de la gestión del agua pluvial.” [1]

“En consecuencia, se han propuesto e implementado una serie de estrategias de gestión de aguas pluviales urbanas en los últimos años, especialmente las que controlan el área impermeable total. Ejemplos de estas medidas incluyen el Diseño Urbano Sensible al Agua (WSUD) en Australia, los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) en el Reino Unido y las Mejores Prácticas de Gestión (BMP) y Desarrollo de Bajo Impacto (LID) en los EE. UU.”[3]

Pero, además de establecer estrategias para el diseño de los sistemas de drenaje, es necesario contar con políticas que ayuden con el control y manejo adecuado de las aguas pluviales. Como es el caso de la política pública australiana denominada “Ciudades Sensibles al Agua”, la cual “surgió bajo un enfoque apartado del tradicional manejo de las aguas pluviales urbanas —sumideros superficiales y tuberías subterráneas, e intentó desde sus orígenes dar respuesta a tres problemas que afrontan las ciudades de ese país y de otras regiones del mundo: i) inundaciones catastróficas producto del cambio climático; ii) contaminación incontrolada de las fuentes de agua; y iii) necesidad de acceso al agua por parte de una población urbana en fuerte y constante crecimiento.” [4]

En Ecuador, así como en otros países de América del Sur la gestión de las aguas urbanas o de escorrentía se lo realiza por métodos convencionales, como el alcantarillado.

En nuestro país son pocas las investigaciones o proyectos en los que se implementen Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS), ejemplo de ello son los trabajos de titulación: “Diseño de un sistema de almacenamiento temporal de aguas de drenaje urbano” realizado por Karla García [5], “Análisis hidráulico de un sistema de drenaje urbano para el control de inundaciones, aplicando medidas sostenibles. Subcuenca del colector Caicedo, ciudad de Quito.” realizado por Mayte Rojas [6], ambos de la Universidad Central del Ecuador, y “Diseño de un Sistema de Drenaje Sostenible para la Gestión de Agua Lluvia en el Valle De Los Chillos” realizado por Alejandro Flores [7], de la Universidad Internacional SEK.

En los trabajos mencionados el principal objetivo es reducir los caudales punta de las escorrentías que se producen en las áreas impermeables durante los episodios de lluvia, tratando así de mitigar el riesgo de inundación y de restaurar el ciclo natural del agua.

Para el cantón Machala que se ubica en una zona de pendientes bajas a nulas, con una altura máxima de aproximadamente 12 msnm, no se conoce que exista un proyecto de drenaje sostenible que complemente al drenaje convencional. Actualmente, el drenaje de las aguas urbanas se realiza por medio de un sistema de alcantarillado combinado, es decir, transporta aguas servidas y pluviales, y el cual fue construido hace muchos años atrás.

De este sistema de alcantarillado no se dispone de mucha información y es probable que la capacidad es insuficiente para satisfacer las necesidades del crecimiento poblacional, y a su vez de la impermeabilización del suelo. Pues el cantón sufre de constantes inundaciones sobre todo en el temporal invernal, en donde, las precipitaciones anegan las principales calles y sectores del cantón, causando molestias y pérdidas a los ciudadanos.

Además, en el cantón Machala se encuentran dos canales o esteros conocidos como Huayla y El Macho en los que lamentablemente desemboca el sistema de alcantarillado, y que por la ubicación del cantón incorporan otro problema cuando es pleamar, ya que el sistema no puede vaciarse y trabaja a presión.

1.2 Planteamiento del problema

“En el mundo, las inundaciones son consideradas como el desastre natural más dañino y peligroso. Según datos de la United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, de los desastres que se presentan en el orbe relacionados con el agua, 50% corresponde a inundaciones. El número de eventos ha crecido a una velocidad vertiginosa, particularmente en áreas urbanas, impactando de manera negativa el funcionamiento normal de los sectores social, de servicio, económico y financiero.”[8]

El crecimiento de la población produce cambios en la superficie terrestre, ya que genera un aumento de la infraestructura urbana, que sumado al cambio climático produce la alteración del funcionamiento del ciclo hidrológico. Tal y como lo indica L. Oudin, B. Salavati, C. Furusho-percot, P. Ribstein, and M. Saadi, “los procesos hidrológicos locales pueden ser profundamente modificados en entornos urbanos; el desarrollo de áreas impermeables altera la infiltración superficial del agua, lo que resulta en un aumento de la escorrentía superficial y una disminución de la evapotranspiración y la recarga de las aguas subterráneas.” [9]

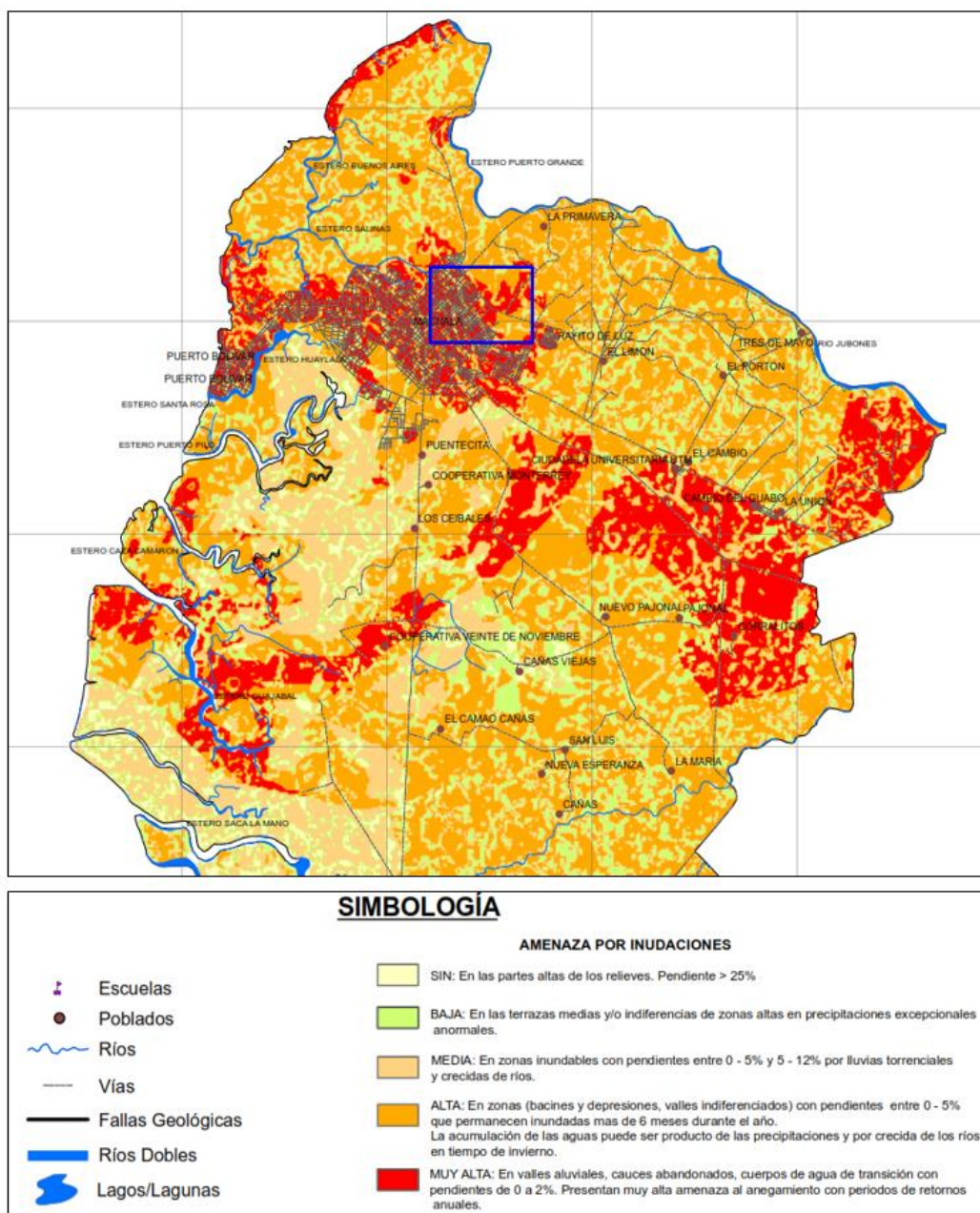
Es decir, al aumentar las superficies impermeables tales como los edificios, viviendas, carreteras y otras áreas pavimentadas se reduce la capacidad de permeabilidad del suelo y en episodios lluviosos el volumen de agua que escurre por la superficie aumenta, provocando el colapso de los sistemas de drenaje e inundaciones que generan impactos sociales y económicos.

Este caso se presenta frecuentemente durante el temporal invernal en las zonas urbanas del cantón Machala específicamente en el sector norte, adyacente al Canal El Macho, en donde por las intensas precipitaciones la escorrentía superficial anega las calles y viviendas, colapsa el sistema de alcantarillado combinado, y además en condiciones de marea alta provoca que se desborde el canal, perjudicando aún más a la población.

La Secretaria Nacional de Gestión de Riesgos en el Mapa Preliminar de Amenazas por Inundación del Cantón Machala Provincia de El Oro ha identificado a toda la zona urbana del cantón como “Zonas de Amenazas por Inundación”. Ver Figura 1.

Del mismo modo, se incluye al riesgo de inundación en el inventario de problemas del “Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial 2018 del GAD Municipal del Cantón Machala, teniendo que el territorio presenta susceptibilidades para este riesgo del 13% para muy alta y el 44% para alta”. [10]

Figura 1. Mapa Preliminar de Zonas de Amenazas por Inundación del Cantón Machala Prov. de El Oro.



Fuente: Secretaria Nacional de Gestión de Riesgos

Estos eventos y sus consecuencias han sido registrados en varios medios de comunicación del cantón y la provincia, tal y como se indica a continuación:

El Universo el día 30 de enero del 2016 hace conocer que “Varias calles de la capital de El Oro amanecieron anegadas tras una intensa lluvia que se registró, aproximadamente, de 05:30 a 08:00... entre ellas la avenida 25 de Junio, una de las principales de la ciudad. La avenida Las Palmeras, que conduce hacia el Estadio 9 de Mayo y la Feria Mundial del Banano, también se llenó de agua, así como las calles 10 de Agosto y Marcel Laniado.” [11]

Ilustración 1. Inundación registrada en una zona urbana del cantón Machala



Fuente: Diario El Universo

El mismo año, pero esta vez el 27 de febrero el diario El Universo publica “Con siete horas de lluvia que soportó la capital orense se registraron afectaciones en calles, vías, viviendas. Se movilizaron equipos y personal del Municipio de Machala para realizar la limpieza del canal El Macho (norte de la urbe), que se desbordó al amanecer.” [12]

En la misma fecha, el diario El Comercio en su página digital ha informado “una fuerte lluvia se precipitó sobre Machala y varios cantones orenses. Al unirse con la marea alta, gran parte de la capital orense amaneció bajo el agua. En barrios como Miraflores, el nivel del agua superó un metro de altura. Allí se reportó el colapso del sistema de drenaje de aguas lluvias, lo que se repitió en otras barriadas. En la avenida Circunvalación o en la calle 18 de Octubre se vio a personas que se movilizaban en canoas, para acudir a sus lugares de trabajo.”[13]

Ilustración 2. Barrios de Machala anegados por la lluvia intensa



Fuente: Diario El Comercio

Otro evento lluvioso que causó graves inundaciones ocurrió el 25 de marzo de 2017, el medio digital El Telégrafo ha comunicado que “Las lluvias, acompañadas de truenos y rayos, caídas en las últimas horas en la provincia de El Oro dejaron secuelas graves. Los cantones más afectados son Piñas, Balsas, Las Lajas, Santa Rosa, Arenillas y Machala, en este último, la madrugada de ayer se desbordó el canal El Macho e inundó los barrios Las Katias y Ursesa 2. En el coliseo de deportes Machala hay 15 albergados. En El Macho, el agua sobrepasaba el metro de altura, por lo que las viviendas se volvieron inhabitables. Los sectores Venecia, Miraflores y 18 de Noviembre aún permanecían anegados, las aguas no descendían, pese a que la marea bajó dos veces.” [14]

Ilustración 3. Desborde del canal El Macho



Fuente: Diario El Telégrafo

Es evidente que el sistema de alcantarillado no es suficiente para drenar el agua de escorrentía durante la temporada de lluvia, siendo imperioso realizar un estudio que permita plantear alternativas para minimizar los caudales que van al sistema de drenaje y así controlar o mitigar las inundaciones, por esta razón se presenta el siguiente trabajo experimental.

¿Qué proyectos existen en los que se haya analizado la ocurrencia de inundaciones en el cantón Machala y para su control se implementen Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenibles (SUDS)?

1.3 Objetivos

Objetivo General

Analizar las áreas inundables urbanas ubicadas al norte del cantón Machala mediante estudios de ingeniería y de modelaciones que permitan la implementación de alternativas urbano sostenibles de control al riesgo de inundación.

Objetivo Específicos

- Recopilar información o datos de inundaciones de las zonas urbanas del cantón Machala.
- Identificar una cuenca urbana representativa del cantón Machala mediante sus características topográficas e hidrológicas, utilizando un sistema de información geográfica y estudios de ingeniería.
- Representar la ocurrencia de inundaciones en la cuenca urbana mediante un software de modelación hidrológica.
- Proponer alternativas para controlar el peligro de inundación mediante Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenibles.

1.4 Alcances

En esta investigación se pretende realizar un análisis hidrológico de una zona urbana del cantón Machala, en donde previamente se han identificado áreas inundables debido a la ocurrencia de precipitaciones intensas y de la escorrentía en las superficies impermeables.

El análisis se realiza mediante un modelo hidrológico en el software EPA SWMM 5.1, para el cual ha sido necesario disponer de información topográfica e hidrográfica de la zona de estudio.

A partir de los resultados obtenidos del modelo hidrológico se propone la aplicación de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenibles SUDS, con el objetivo de controlar el riesgo de inundación.

1.5 Justificación

Las inundaciones urbanas son un problema que provocan pérdidas materiales, económicas y en el peor de los casos, que son muy lamentables, pérdidas de seres vivos como personas y animales.

El Cantón Machala debido a que su topografía es plana el 54.47% es vulnerable a inundaciones, el restante está ocupado por zonas que permanecen inundadas como son las piscinas camaroneras y manglares. “De acuerdo al Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial 2018 del GAD Municipal del Cantón Machala, los eventos más peligrosos ocurren entre los meses de Diciembre a Abril y los sectores más propensos a sufrir de inundaciones son los ubicados al norte de la ciudad.” [10]

Es trascendental y necesario realizar estudios para implementar alternativas que permitan controlar el riesgo de inundación de este importante cantón, y capital de la Provincia de El Oro, en la que habitan 252 739 personas.

Por consiguiente, en el presente proyecto se analiza una zona urbana del sector norte del cantón Machala, en la que previamente se han registrado áreas inundables, es decir, existen áreas propensas a inundarse. Para aplicar sistemas urbanos de drenaje sostenibles como una alternativa de diseño al sistema de drenaje convencional, y que a la vez aporten a la restauración del ciclo hidrológico.

1.6 Definiciones

Áreas inundables

“Las áreas inundables son aquellas que, debido a su geomorfología, posición en la cuenca, pendiente, características del suelo, condiciones meteorológicas u otras condiciones, suelen cubrirse de agua de forma recurrente o permanente”. [15]

Sistema de Información Geográfica (SIG)

“Los Sistemas de Información Geográfica son sistemas basados en computadora diseñados para capturar, almacenar, analizar y mostrar datos relacionados con las posiciones en la superficie de la Tierra. El SIG permite que se muestren múltiples capas de diferentes tipos de información en un solo mapa. Esto permite una identificación, análisis y comprensión más fáciles de patrones y relaciones.”[16]

“Los SIG son amplia y mundialmente implementados por instituciones gubernamentales, no-gubernamentales y académicos, como una herramienta indispensable para la planeación territorial, manejo integrado de cuencas, evaluación y mitigación de desastres, así como para la conservación de recursos naturales.” [17]

“Se ha desarrollado el advenimiento de herramientas de sistemas de información geográfica (SIG) para identificar cuencas hidrológicas utilizando modelos digitales de elevación (DEM). De esta manera, gran parte de la información del mapa topográfico tradicional ahora se puede recopilar y procesar digitalmente utilizando datos basados en SIG. La técnica se ha utilizado cada vez más para delinear las cuencas de los ríos y extraer automáticamente los parámetros morfométricas empleados en los modelos hidrológicos.”[18]

“La zonificación de áreas susceptibles a la inundación, por lo general, implica la integración de los SIG; en ésta, se usan datos topográficos, edafológicos, hidrológicos, climáticos, de vegetación y uso de suelo, con la modelación hidrológica e hidráulica.” [17]

Cuenca

“Una cuenca es una zona de la superficie terrestre en donde (si fuera impermeable) las gotas de lluvia que caen sobre ella tienden a ser drenadas por el sistema de corrientes hacia un mismo punto de salida.”[19]

Ciclo Hidrológico

“El ciclo del agua o ciclo hidrológico es el proceso mediante el cual se realiza el abastecimiento de agua para plantas, los animales y el hombre. Su fundamento es que toda gota de agua, en cualquier momento en que se considere, recorre un circuito cerrado. Este recorrido puede cerrarse por distintas vías; el ciclo hidrológico no tiene un camino único.” [20]

“El agua que cae directamente al suelo será la que recorra propiamente el ciclo hidrológico, dando lugar al escurrimiento superficial o escorrentía que llega a los cauces de los ríos y, a través de estos, al mar. Una parte de la que se precipita a la tierra, se evapora directamente desde el suelo, otra por infiltración, satisface la humedad del suelo y cuando lo satura produce el flujo subsuperficial que como el superficial, también llega a los cauces de los ríos; asimismo por percolación llega a los mantos de agua subterráneos y a través del flujo subterráneo alimenta el caudal base de los ríos. Por último, desde la superficie del mar y desde las demás superficies líquidas hay otra etapa de evaporación que cierra el ciclo y es donde termina la hidrología y vuelve a empezar la meteorología.” [20]

La urbanización y su impacto en el ciclo hidrológico

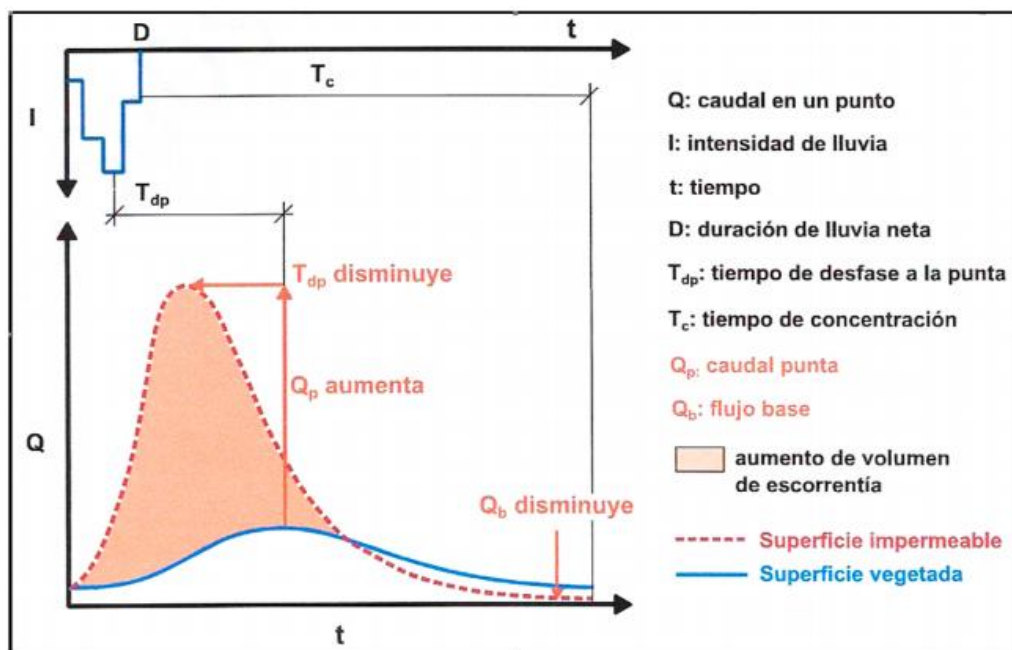
“En marzo de 2012, la población mundial superó los 7 mil millones personas por primera vez, lo que representa una duplicación de la población mundial en menos de 50 años. Se prevé que el 83% del mundo desarrollado y el 53% del mundo en desarrollo vivirán en áreas urbanas para el 2030.” [21] Provocando que “la cobertura del suelo urbano aumente en 1.2 millones de km², casi triplicando el área del suelo urbano global alrededor del año 2000. El aumento de la urbanización asociada con el crecimiento de la población es uno de los principales cambios que afectan el uso de la tierra en las grandes ciudades.” [22]

El incremento de la urbanización ocasiona varios cambios en la superficie a la que se extiende, ya que reemplaza el suelo natural por áreas pavimentadas o impermeables, lo cual “tiene una singular incidencia en el balance infiltración-escorrentía, de manera que en un área natural la infiltración representa entre el 80% y el 90% del agua precipitada y la escorrentía entre el 10% y el 20%, en un área residencial (densidad media baja) la infiltración puede suponer entre el 50% y el 60% y la escorrentía entre el 40% y el 50%, mientras que en un área altamente urbanizada la infiltración es del 0% al 10% y la escorrentía aumenta hasta el 90%-100%.”[23]

Como consecuencia de la reducción de la infiltración y aumento de la escorrentía en las zonas urbanizadas se produce el “incremento de las velocidades del flujo superficial y dentro de la red de drenaje, así como el aumento del caudal pico y la disminución del tiempo para alcanzarlo. Los mayores volúmenes de escorrentía producen fallos hidráulicos en la red, además de la disminución de la capacidad hidráulica producida por el ingreso de sedimentos. Esto genera inundaciones pluviales cada vez más recurrentes, causando detrimento económico en las ciudades.”[24]

“En términos hidrológicos, con la impermeabilización del suelo no solo se incrementa el volumen de la escorrentía, sino que, además, se modifica sustancialmente el hidrograma de tormenta al redistribuirse el flujo de agua procedente de la lluvia.”[23]

Figura 2. Cambios causados por la urbanización en la transformación lluvia-escorrentía



Fuente: [23]

Sistema de drenaje urbano

“Un sistema de drenaje urbano es un conjunto de elementos y estructuras encaminadas a captar, transportar y descargar los recursos hídricos urbanos, siendo su mayor propósito el de proteger a la población de las enfermedades y evitar contratiempos dentro de la vida cotidiana por efecto de inundaciones u otros problemas que se puedan suscitar dentro de las ciudades.” [6]

Existen diversas clasificaciones de los sistemas de drenaje urbano, de acuerdo a su planteamiento se tiene:

- **Sistemas convencionales**

“Son el enfoque tradicional que se utiliza para gestionar las aguas pluviales de la ciudad, se basa en desalojar las aguas pluviales a través de canales superficiales y un drenaje a base de tuberías, y a su vez es mediante un sistema de drenaje combinado, donde las aguas pluviales se mezclan con las aguas de descarga doméstica e industriales.”[25]

Este tipo de sistemas al igual que la urbanización altera el funcionamiento normal de la cuenca y del ciclo hidrológico, ya que el agua al ser transportada por tuberías o conductos genera el aumento del caudal pico, el cual llega en menos tiempo a la parte baja de la cuenca, provocando inundaciones y contaminación aguas abajo.

- **Sistemas no convencionales o sostenibles**

Son sistemas diseñados para sustituir o complementar los sistemas de drenaje convencionales, permiten controlar y aprovechar el volumen de escorrentía durante las precipitaciones, y son una alternativa amigable con el medio ambiente ya que tratan de recuperar o simular el ciclo natural del agua.

En este contexto es necesaria la Gestión Integral de los Recursos Hídricos, la cual “promueve una transformación del modelo de gestión a través de cambios en la gobernanza, de modo que los sistemas de agua urbanos puedan transitar de un enfoque lineal no integrado a sistemas de agua urbanos que estén imbricados en los nuevos desarrollos urbanos sostenibles.”[26]

Entre los objetivos del desarrollo de sistemas urbanos sostenibles esta: “reducir los flujos de aguas pluviales (a través de una urbanización más permeable), reducir la contaminación del agua utilizada en el medio urbano, evitar la contaminación del agua pluvial poco contaminada, reducir el consumo de agua de suministro, y minimizar la generación de agua residual, evitando su mezcla con agua pluvial, lo que redundaría en una reducción de costes de transporte y tratamiento.”[26]

Las técnicas de sistemas de drenaje sostenible han sido desarrolladas en varios países y son conocidas con diferente terminología, tal y como se indica en la Figura 3.

Figura 3. Esquema de la terminología empleada para sistemas de drenaje sostenible.



Fuente: Adaptación de [27].

1.7 Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible SUDS

“Los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) se originaron en Escocia, se cree que en 1997 fue Jim Conlin de Scottish Water, empresa que provee servicios de agua y alcantarillado en Escocia, quien acuñó este término para describir la tecnología de aguas pluviales. Pero en el año 2000 con la publicación de una serie de documentos de diseño fue cuando el termino se formalizó.”[27]

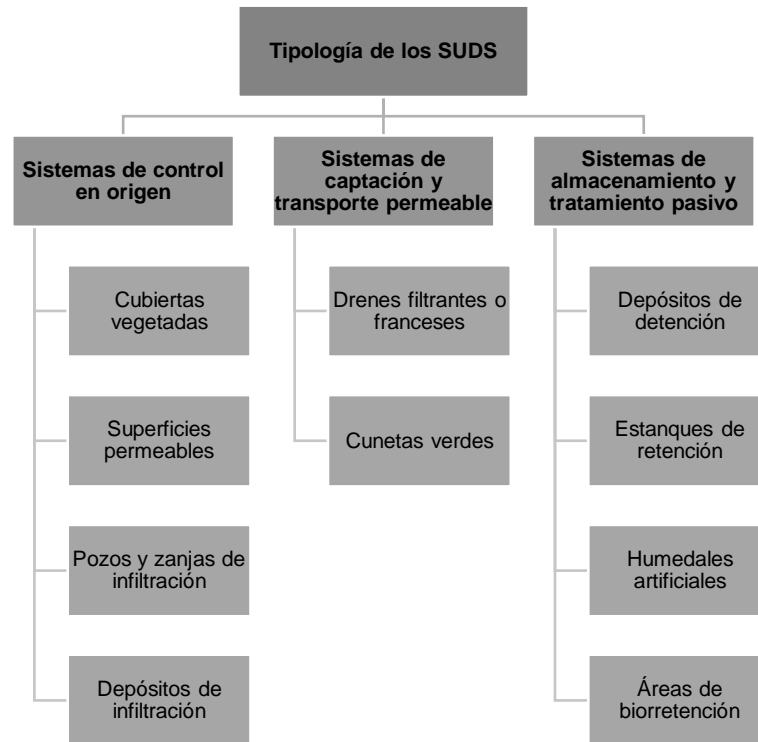
“En la práctica del Reino Unido, los SUDS consisten en una gama de tecnologías y técnicas utilizadas para drenar las aguas pluviales / superficiales de una manera más sostenible que las soluciones convencionales.”[27]

Los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible son estrategias “diseñadas para gestionar los riesgos ambientales resultantes de la escorrentía urbana y contribuir siempre que sea posible a la mejora de la ecología urbana. Los objetivos de los SUDS, son minimizar los impactos del desarrollo urbano sobre la cantidad y calidad de los escurrimientos y maximizar oportunidades de biodiversidad.” [28]

1.7.1 Técnicas de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible SUDS

Existen una variedad de técnicas de sistemas de drenaje sostenible, a continuación, se mencionan las que se encontraron con frecuencia en la literatura revisada.

Figura 4. Esquema de Técnicas SUDS



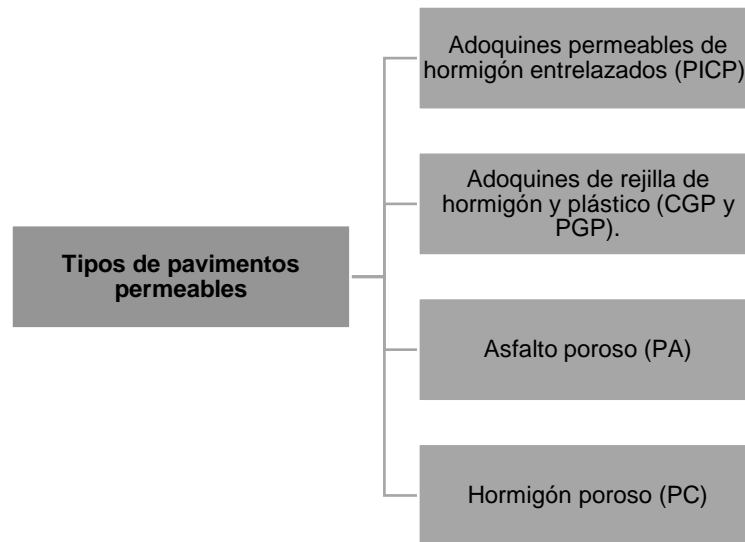
Fuente: Elaboración propia.

1.7.1.1 Superficies permeables

“Las superficies permeables se encuentran en la tipología de sistemas de infiltración o control en el origen, las cuales son estrategias que apuntan a la captura del agua de lluvia para su tratamiento, en el mismo lugar en que se generan, junto a la aplicación de técnicas y obras que permiten y facilitan la infiltración y el almacenamiento.”[29]

Un ejemplo de estas superficies son los pavimentos permeables, que “forman parte del conjunto de medidas que pueden llevarse a cabo para atender criterios de sustentabilidad ambiental en materia de construcción de infraestructura para el transporte, en particular los relacionados con la conservación, el aprovechamiento y manejo de las aguas de lluvia. Se recomienda su uso en zonas de baja pendiente tales como estacionamientos, vías con tráfico ligero u ocasional y andenes, entre otros, en los que su nivel freático se encuentre muy por debajo del fondo de la zona de almacenamiento para que este no interfiera ni disminuya el volumen de acopio.”[30]

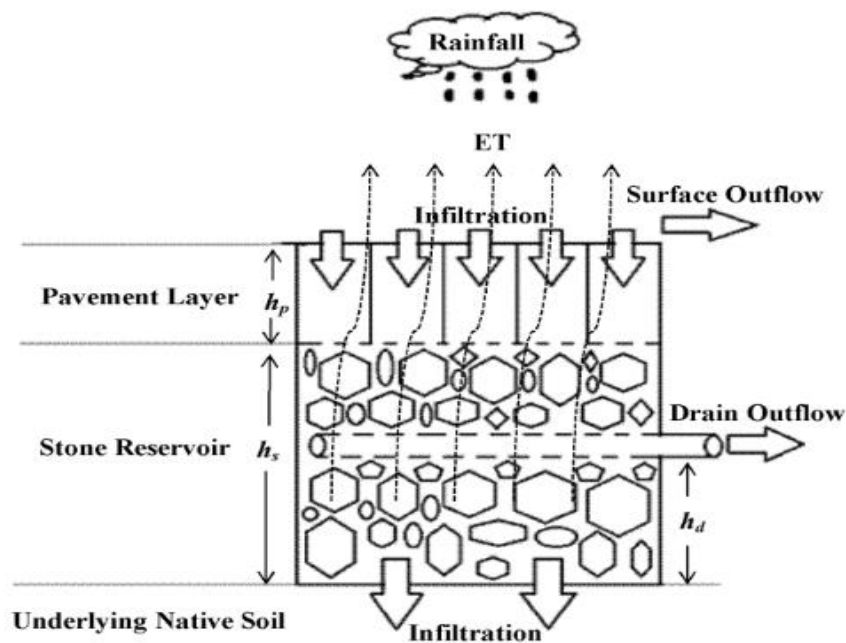
Figura 5. Esquema de tipos de pavimentos permeables



Fuente. Adaptación de [31].

“Los sistemas de pavimentos permeables están constituidos principalmente por: una capa superficial de concreto permeable, asfalto poroso o diferentes tipos de adoquines estructurales; una capa subsuperficial de agregado grueso o piedra, la cual proporciona almacenamiento temporal al flujo máximo y controla el volumen de agua; y una tubería perforada sobre el fondo de depósito de piedra, que servirá de drenaje en caso de que el almacenamiento llegue a su nivel máximo, la tubería puede ser omitida cuando el subsuelo es altamente permeable y con bajos contenido de arcilla.”[32]

Figura 6. Diagrama de un sistema de pavimento permeable



Fuente. [32]

“Los pavimentos permeables pueden reducir más del 90% del volumen total de escorrentía, en buen estado de funcionamiento tienen tasas de infiltración desde 130 mm / h hasta varios miles de mm / h y pueden gestionar la escorrentía de eventos de lluvia en exceso de una tormenta de 1 en 100 años.”[31]

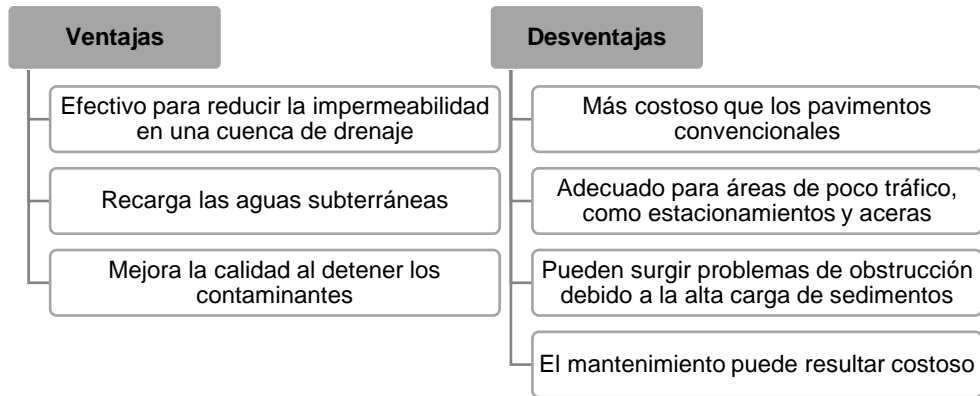
Se hace énfasis en la expresión “buen estado de funcionamiento” ya que los pavimentos permeables a medida que pasan los años van perdiendo capacidad de infiltración debido a la obstrucción por sedimentos. J. Mullaney and T. Lucke, en su artículo de revisión de literatura internacional, indican que “hay hipótesis de que la vida efectiva de un sistema de pavimento permeable podría estar entre 15 y 35 años, pero que la experiencia de los últimos 20 años ha demostrado que tienden a obstruirse entre los 5 y 10 años después de la construcción.” [31] Un ejemplo de ello, es el experimento realizado por M. Kamali, M. Delkash, and M. Tajrishy, quienes concluyeron que “el exceso de escorrentía no se observó durante los primeros cinco años hidrológicos con coeficiente de escorrentía cero. Pero el coeficiente de escorrentía en el sexto año aumentó al 15%. Y durante el séptimo período, el coeficiente de escorrentía aumentó del 15% al 35%.”[33]

“Por esta razón, es importante que cuando se implemente pavimentos permeables se realicen inspecciones regulares para garantizar el rendimiento óptimo, identificar posibles problemas e implementar soluciones. El mantenimiento puede reducir el riesgo de obstrucción y se ha demostrado que mejora las tasas de infiltración. Los procedimientos de mantenimiento incluyen mangueras de alta presión, barrer o aspirar para eliminar sedimentos y restaurar/mantener la porosidad.”[31]

El pavimento permeable además de contribuir con la infiltración de agua de lluvia y por ende reducir la escorrentía, también puede ayudar a mitigar el efecto de isla de calor urbano a través del enfriamiento por evaporación. H. Li, J. Harvey, and Z. Ge, indican que “el vacío de aire y la permeabilidad se correlacionan positivamente con la velocidad de evaporación de estos materiales de capa superficial permeable y materiales de grava permeables. Se puede concluir que aumentar el vacío de aire y la permeabilidad es una forma de mejorar la exposición a la humedad de la atmósfera y mejorar la evaporación de los materiales del pavimento.”[34]

“La aplicación de pavimentos permeables es una práctica popular en la última década tanto en Europa como en los Estados Unidos. Por otro lado, en Australia, los sistemas de pavimentación permeables constituyen una tecnología emergente, donde existen varias instalaciones durante más de 10 años.”[35]

Figura 7. Ventajas y desventajas de los pavimentos permeables



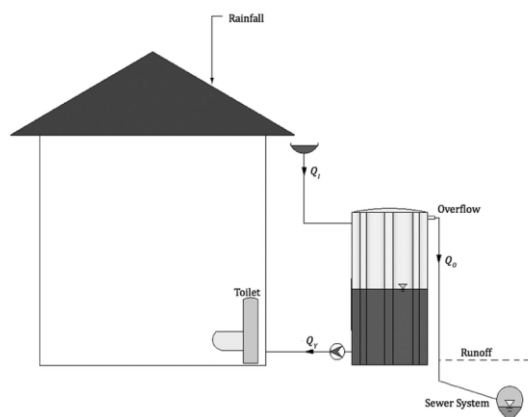
Fuente. Adaptación de [36]

1.7.1.2 Depósito de detención temporal

“Como ejemplo de depósito de detención temporal tenemos a lo barriles de lluvia (o cisternas), los cuales son contenedores que recogen la escorrentía del techo durante los eventos de tormenta y pueden liberar o reutilizar el agua de lluvia durante los períodos secos.”[37]

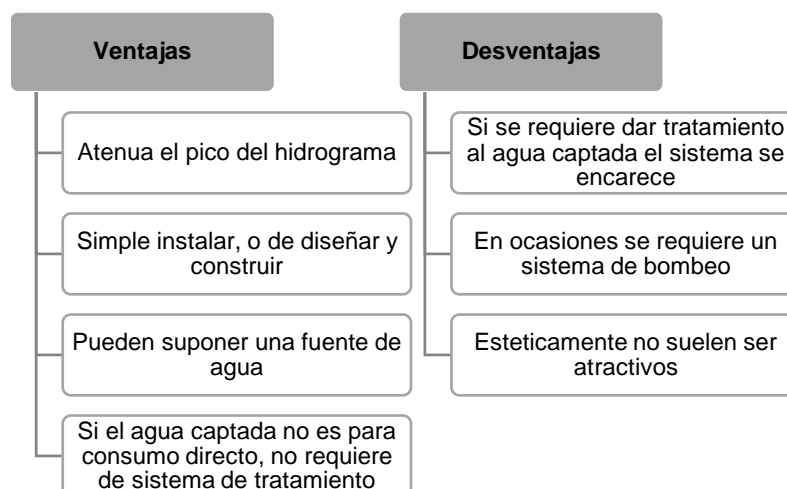
Los sistemas de barril de lluvia están compuestos por tres componentes básicos: captación que comúnmente coincide con el techo, tanque en forma de cisterna/barril donde el agua de lluvia recolectada es temporalmente almacenada, y un sistema de bombeo para permitir la distribución del agua a través de una red de tubería doble. Como el agua de lluvia es interceptada por el techo, un sistema de canales y bajantes lo conduce al tanque. Si el volumen de agua de lluvia capturado es mayor que la capacidad del tanque, el exceso se descarga al sistema de alcantarillado o a la calle.[38]

Figura 8. Esquema funcional de un barril de lluvia



Fuente: [38]

Figura 9. Ventajas y desventajas de los barriles de lluvia



Fuente. Adaptación de [39]

1.8 EPA Storm Water Management Model (EPA SWMM)

“El modelo SWMM fue desarrollado en 1971 por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (US EPA, por sus siglas en inglés) es un modelo dinámico de lluvia y escorrentía utilizado para la simulación de la cantidad y calidad de la hidrología superficial/subsuperficial de áreas principalmente urbanas/suburbanas.”[40]

“El software SWMM 5.1 es una herramienta computacional que permite simular el comportamiento de los escurrimientos pluviales dividiendo el área de estudio en pequeñas microcuencas homogéneas, que cuentan con sus propios parámetros hidrológicos, tales como precipitación variable a través del tiempo, área, pendiente, parámetros de permeabilidad, almacenamiento en depresión, entre otros. Además, permite definir las características hidráulicas de la red hidrosanitaria, lo que se traduce en el análisis del flujo de agua a través de conducciones abiertas y cerradas con variedad de geometrías, modelado de elementos especiales.”[25]

“Debido a lo cual este modelo es ampliamente utilizada a nivel mundial por ser una herramienta potencial para desarrollar análisis de modelos hidrológicas e hidráulicas, y también porque “en la versión 5.1.007 implementó módulos de control LID (Desarrollo de Bajo Impacto) para simular el rendimiento hidrológico de las soluciones de control de la fuente, tales como jardines de lluvia, techos verdes, zanjas de infiltración y pavimentos permeables.”[41]

1.8.1 Bloques de cálculo de SWMM

Los principales bloques de cálculo son:[42]

Figura 10. Bloques de cálculo de SWMM



Fuente. Adaptación de [42]

1.8.2 Métodos conceptuales computacionales

SWMM es un modelo de simulación basado en fenómenos físicos, que utiliza una solución discreta en el tiempo del fenómeno. En su formulación emplea los principios de conservación de la masa, de la energía y de la cantidad de movimiento siempre que sea posible. Los procesos físicos que tiene la capacidad de simular son cinco: escorrentía superficial, infiltración, aguas subterráneas, deshielo y enrutamiento de flujo.[42]

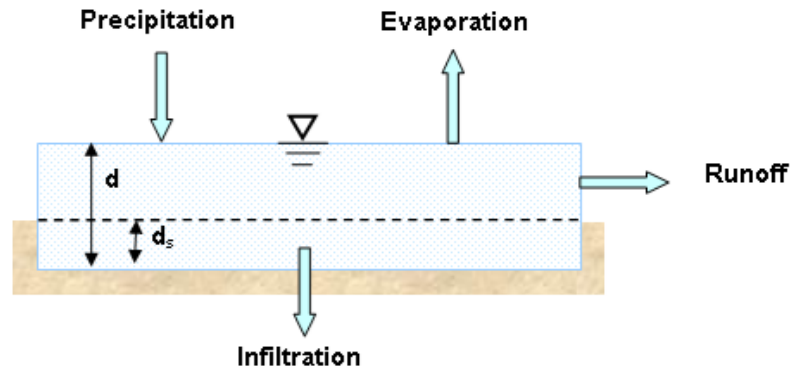
A continuación, solo se describen los procesos físicos que se emplean en la simulación del modelo de este proyecto.

1.8.2.1 Escorrentía superficial

“La vista conceptual de la escorrentía superficial utilizada por SWMM se ilustra en la Figura 11. Cada superficie de subcuencas se trata como un depósito no lineal. El flujo de entrada proviene de la precipitación y de cualquier subcuenca situada aguas arriba. Hay varios flujos de salida, que incluyen infiltración, evaporación y escorrentía superficial. La capacidad máxima de este depósito es el almacenamiento en depresión, que es el almacenamiento en superficie debido a la inundación del terreno, el mojado superficial de la superficie del suelo y los caudales interceptados en la escorrentía superficial por las irregularidades del terreno. La escorrentía superficial por unidad de área, Q , ocurre solo cuando la profundidad del agua en el depósito excede el almacenamiento máximo de depresión, dp , en cuyo caso el flujo de salida viene dado por la ecuación de Manning. La profundidad del agua sobre la subcuenca (d) se

actualiza continuamente con el tiempo mediante la resolución numérica del balance de caudales en la subcuenca.”[37][42]

Figura 11. Vista conceptual de la escorrentía superficial en SWMM



Fuente. Adaptación de [37]

1.8.2.2 Infiltración

La infiltración es el proceso de lluvia que penetra la superficie del suelo en la zona de suelo no saturado de las áreas de subcuencas permeables. SWMM 5.1 ofrece cinco opciones para modelar la infiltración:[37]

- La ecuación de Horton
- La ecuación modificada de Horton
- El método de Green-Ampt
- El método modificado de Green-Ampt
- El método del Número de Curva

1.8.2.3 Enrutamiento del flujo

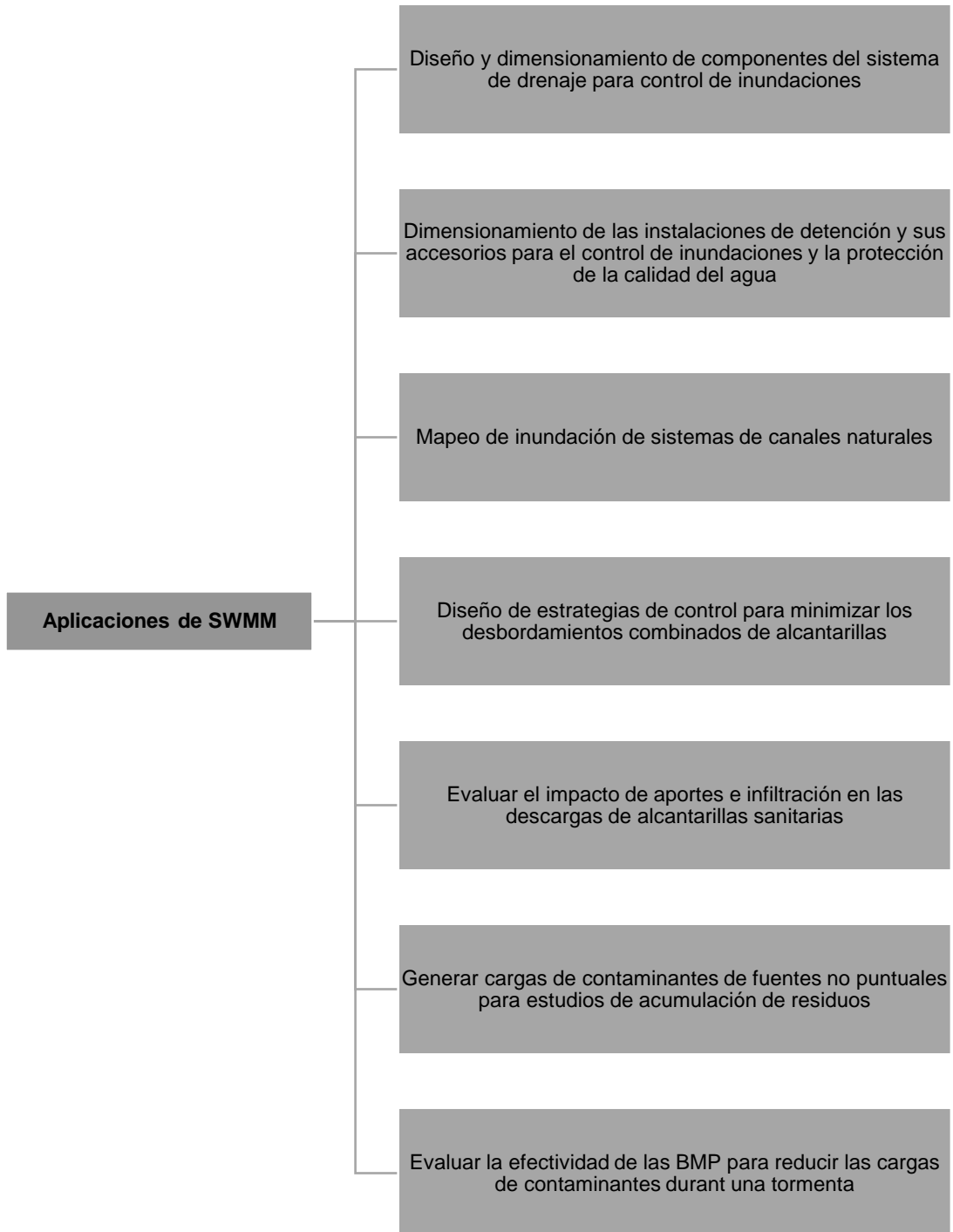
El enrutamiento del flujo dentro de los conductos representados en SWMM se rige por la conservación de las ecuaciones de masa y momento para un flujo gradualmente variable como para el flujo transitorio (es decir, las ecuaciones de flujo de Saint Venant). Se puede elegir entre tres modelos el nivel de sofisticación utilizado para resolver estas ecuaciones:[37][42]

- Flujo uniforme o constante
- Onda cinemática
- Onda dinámica

1.8.3 Aplicaciones de SWMM

Desde su inicio, SWMM se ha utilizado en miles de estudios de alcantarillado y aguas pluviales en todo el mundo. Las aplicaciones típicas incluyen:[37]

Figura 12. Esquema de las Aplicaciones de SWMM

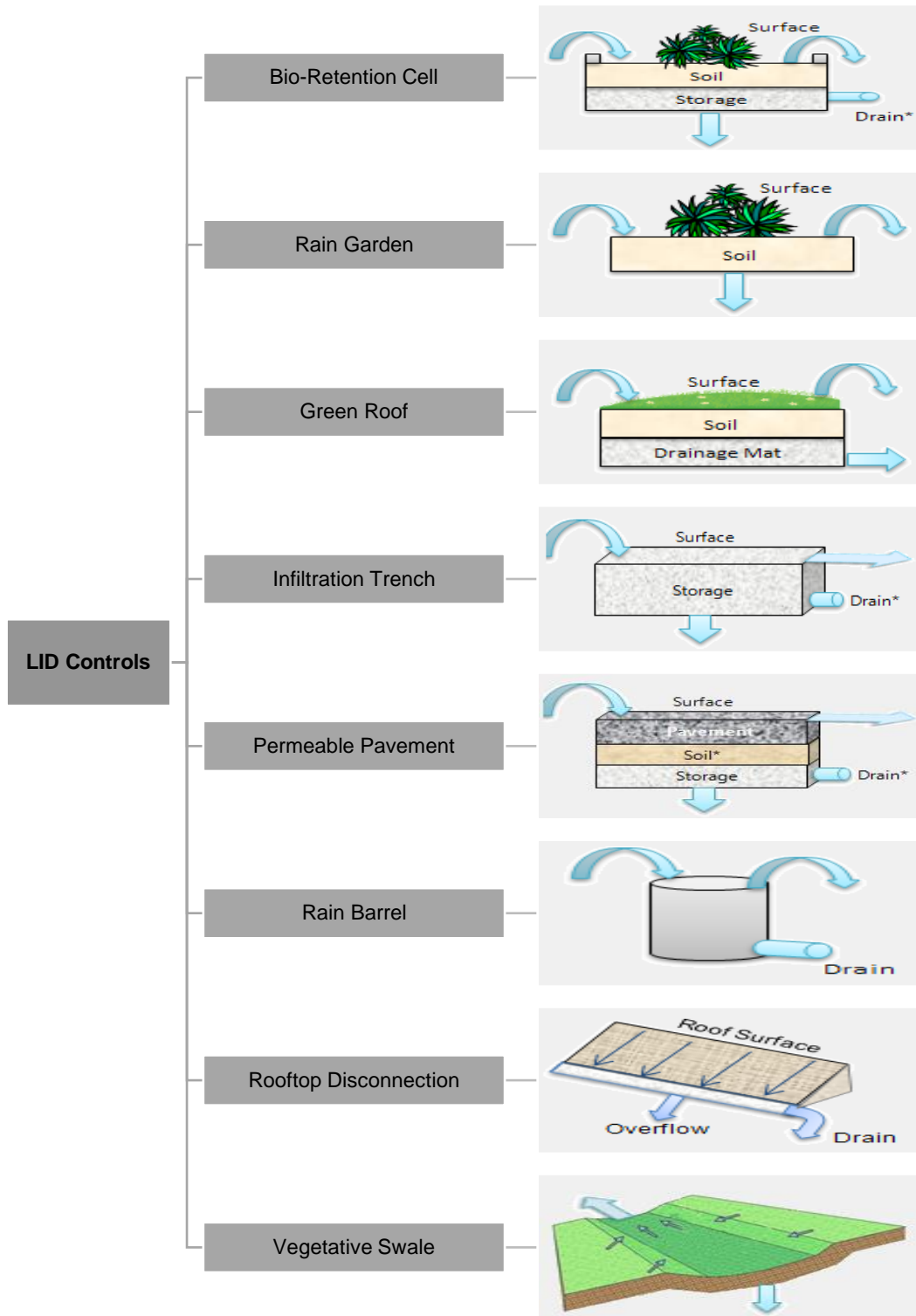


Fuente. Adaptación de [37]

1.8.4 LID Controls de SWMM 5.1

SWMM 5.1 tiene disponible ocho tipos de LID Controls, cada una con características diferentes.

Figura 13. Tipos de LID Controls disponibles en SWMM 5.1



Fuente: Elaboración propia.

1.9 Modelación Hidrológica

1.9.1 Lluvia de proyecto

La lluvia de proyecto se puede definir como una lluvia tipo, o lluvia sintética que se puede asociar a un cierto periodo de retorno, y se admite que el caudal de escorrentía calculado a partir de esta lluvia de proyecto tiene el mismo periodo de retorno. [42]

1.9.1.1 Curva Intensidad-Duración-Frecuencia

“La curva IDF representa el comportamiento pluviométrico de una zona. Una curva IDF establece la relación intensidad media máxima para cada duración de precipitación, en un determinado nivel de probabilidad o periodo de retorno. La ventaja de trabajar en cuencas urbanas es que los periodos de retorno que se suelen considerar en zonas urbanas (5, 10 años) son bajos, por lo que la longitud de la serie temporal para obtener una curva IDF fiable puede ser de tan solo 20 a 30 años, mientras que estudios para periodos de retorno altos (100 a 500 años) recurren necesariamente a extrapolaciones de tipo estadístico que pueden ser en algún caso arriesgadas.”[42]

“Para obtener las curvas IDF se debe realizar el siguiente proceso:

- (i) considerar todas las precipitaciones registradas a lo largo de un gran número de años, a nivel de hietograma y en intervalos de registro de al menos 10 minutos,
- (ii) ordenar estas precipitaciones, chascándolas en base a los diferentes intervalos de referencia (10, 15, 20, 25, 30 minutos, etc.)
- (iii) obtener, para cada intervalo de referencia, la serie de Intensidades Medias Máximas Anuales para cada año de registro,
- (iv) obtener a partir de una distribución de extremos, como por ejemplo una ley tipo Gumbel, para cada intervalo de referencia, las Intensidades Medias Máximas Anuales para cada periodo de retorno, y finalmente
- (v) en base a los datos anteriores definir la familia de curvas Intensidad-Duración-Frecuencia de la estación de estudio, a partir de los puntos con igual periodo de retorno.”[42]

Para realizar las curvas IDF con el proceso antes descrito es necesario disponer de un amplio registro de precipitaciones, pero para la zona de estudio esos datos son escasos.

Lo favorable es que en nuestro país disponemos del libro “Estudios de Lluvias Intensas en Ecuador” elaborado en 1999 por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología INAMHI, en este libro se dispone de ecuaciones representativas para obtener curvas IDF. Estas ecuaciones están determinadas a partir de registros de 35 años (1964-1998) en estaciones pluviométricas ubicadas en distintas partes del Ecuador, en función de 24 horas de precipitación y para varios periodos de retorno. [43]

1.9.1.2 Tormenta de diseño

“Las tormentas de diseño son una herramienta muy empleada para los estudios hidrológicos, son la entrada de los modelos de simulación hidrológica ya que su transformación mediante procedimientos lluvia-escorrentía permite conocer los caudales resultantes.” [44]

Una forma de tormenta de diseño es el hietograma, a partir de las curvas IDF, para obtenerlo se ha empleado comúnmente el método de los bloques alternos. “Este método especifica la profundidad de precipitación que ocurre en n intervalos de tiempo sucesivos de duración Δt sobre una duración total de $Td=n\Delta t$.”[45]

“Después de seleccionar el periodo de retorno de diseño y tener la curva IDF, se lee en ella la intensidad para cada intervalo de duración y se calcula la profundidad de precipitación multiplicando la intensidad y la duración. Luego, la cantidad de precipitación correspondiente a cada intervalo de duración es la diferencia entre los valores sucesivos de profundidad de precipitación. Y para formar el hietograma de diseño los bloques o incrementos se redistribuyen de forma ordenada, de manera que el bloque de lluvia de mayor intensidad quede en el centro de la duración total y los demás se ubican en forma alternada hacia la derecha y hacia la izquierda del bloque central.”[45]

1.9.2 Escorrentía

“La escorrentía se define como una lámina de agua que se desplaza sobre la superficie terrestre. En el programa de modelación que se ha utilizado, SWMM, la escorrentía se produce en las subcuencas, las cuales son asumidas como un depósito no lineal.”[42]

Este modelo de depósito no lineal aplica la ecuación de la Conservación de la Masa y una ecuación tipo Onda Cinemática para calcular el caudal de escorrentía a la salida de cada subcuenca. Para este cálculo se requieren varios parámetros tales como el área y ancho característico de las subcuencas, la rugosidad superficial, entre otros. Además, de los cuatro mecanismos de pérdidas que se aplican en un modelo hidrológico

(intercepción, evapotranspiración, almacenamiento en depresiones, infiltración), SMWW considera dos: infiltración y almacenamiento en depresiones.[42]

1.9.2.1 Infiltración

La infiltración es el proceso por el cual el agua ingresa a las diferentes capas del suelo, producido por la acción de las fuerzas gravitacionales y capilares. Para determinarlas existen diferentes métodos, empíricos y de medición. [6]

Método de Horton

La ecuación de Horton se desarrolla a partir de proponer que la variación de la capacidad de infiltración en cualquier momento, es proporcional a la diferencia entre la capacidad actual de infiltración en el terreno y la capacidad límite asintótica de infiltración que presenta ese terreno.[42]

$$\frac{df}{dt} = -k(f - f_{\infty}) \quad \text{Ecuación 1}$$

Si aceptamos que a tiempo cero la capacidad de infiltración del terreno es de valor f_0 , podemos integrar la ecuación anterior para obtener:

$$f = f_{\infty} + (f_0 - f_{\infty})e^{-kt} \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde

f : capacidad de infiltración actual (mm/h)

f_{∞} : capacidad de infiltración del terreno para tiempo infinito (mm/h)

f_0 : capacidad de infiltración inicial (mm/h)

k : constante de proporcionalidad

1.9.2.2 Almacenamiento en depresiones

“El almacenamiento en depresiones es una pérdida que representa la capacidad máxima de almacenamiento de un depósito, en este caso la subcuenca. Calcular esta pérdida es difícil, su magnitud se mide en mm, pero existen datos de campo experimentales que la relacionan con la pendiente media de la cuenca, como se indica en la siguiente ecuación.” [37][42]

$$d_p = 0.7696 I^{-0.49} \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde

d_p : pérdida por almacenamiento de depresiones, mm

I : pendiente media de la cuenca, %

E. Salvadore, J. Bronders, and O. Batelaan, en su artículo de revisión de modelación de cuencas urbanizadas, indican que “la capacidad de almacenamiento de agua de depresión de las superficies naturales varía de 0.5 mm a 15 mm, y para superficies impermeables este rango se reduce a 0.2 mm y 3.2 mm.”[46]

Y Flumen, instituto de investigación hidrológica, en su Manual del Curso de análisis y rehabilitación de redes de alcantarillado mediante el código SWMM 5.0 recomienda los siguientes valores para las pérdidas por almacenamiento en depresiones.[42]

Tabla 1. Pérdidas por almacenamiento en depresiones

Tipo de terreno	Retención total	Valor recomendado
Impermeable:		
Viales y áreas pavimentadas	1.3 a 3.8	2.5
Tejados planos	2.5 a 7.5	2.5
Tejados inclinados	1.3 a 2.5	1.2
Permeable:		
Césped	5 a 12.5	8-9
Áreas de arbolado	5 a 12.5	10

Fuente. Adaptación de [42]

II. Métodos y Materiales

2.1 Metodología

2.1.1 Diseño general de la investigación

"La investigación puede ser definida como una serie de métodos para resolver problemas cuyas soluciones necesitan ser obtenidas a través de una serie de operaciones lógicas, tomando como punto de partida datos objetivos." [47]

"Hacer una investigación implica considerar diferentes métodos, técnicas e instrumentos para la construcción del conocimiento científico. Esto significa un compromiso con la calidad del tipo de conocimiento que se produce." [48]

En concordancia con lo anterior, en el desarrollo del presente trabajo de titulación se empleó la *investigación aplicada* en sus tres tipos *histórica, descriptiva y experimental*.

Para la investigación histórica se ha realizado una búsqueda de información en las páginas web y en las oficinas de instituciones públicas encargadas de registrar los datos de fenómenos meteorológicos como las inundaciones y atender sus consecuencias, además de indagar en noticias publicadas por los medios de comunicación, tanto locales como nacionales.

La información histórica del sitio de estudio es importante para el análisis ya que es un referente que permite identificar los puntos críticos a lo largo del tiempo y que al ser integrada con la información actual o de campo, se puedan determinar las de zonas de mayor riesgo de inundación. Para recopilar estudios preliminares se acudió a instituciones públicas como: Alcaldía de Machala, Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología INAMHI, la Secretaria Nacional de Gestión de Riesgos Zona 7. También es necesario disponer de información bibliográfica, ya que de ella se tiene conocimiento de los estudios o trabajos que se hayan realizado, a nivel nacional e internacional, referentes al tema que se está abordando. Esta información ha sido recopilada de libros, revistas, artículos, tesis y manuales.

En el caso de la investigación descriptiva se realizó la validación, integración y análisis de la información obtenida en la investigación histórica y la recopilada en el sitio de estudio para caracterizar el sistema territorial.

Por último, en la investigación experimental se evaluó e identificó mediante las condiciones hidrológicas, topográficas y el uso de software las zonas donde se producen

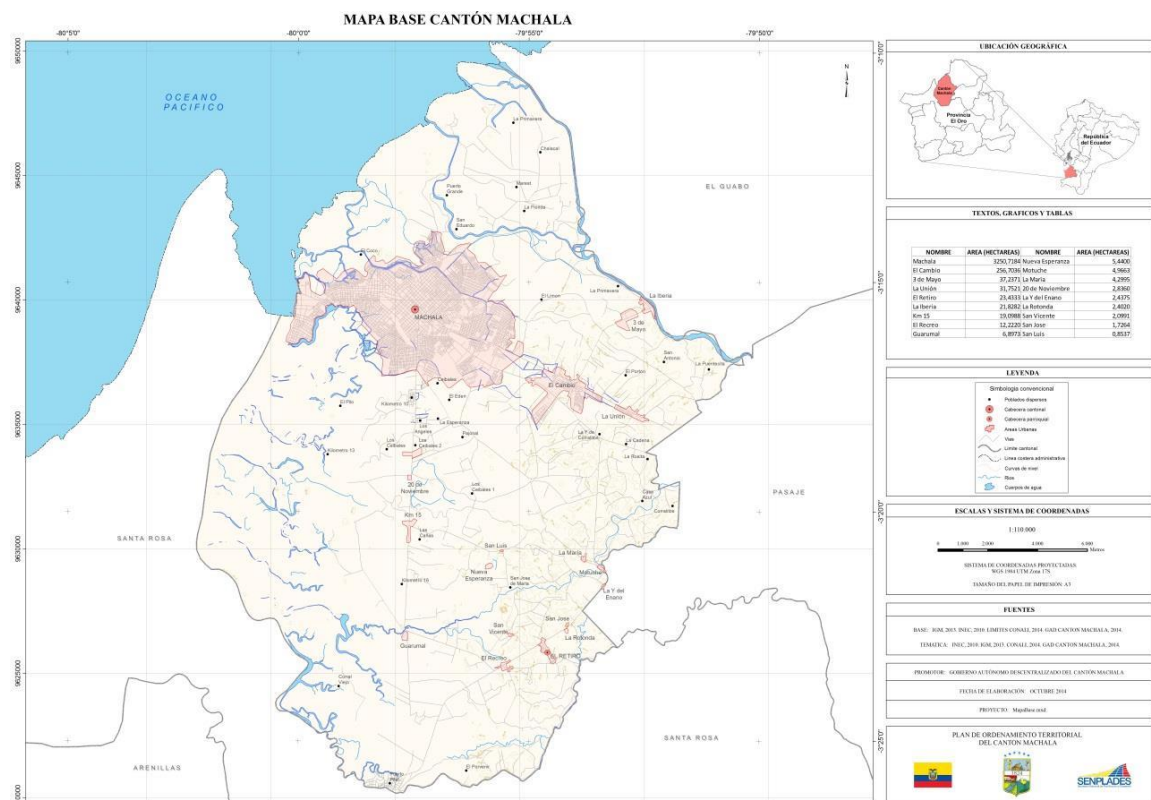
inundaciones. Y se implementaron alternativas para dar solución a los problemas encontrados.

2.1.2 Características del cantón Machala

“El cantón Machala pertenece a la Provincia de El Oro y según la información entregada por el GAD Municipal, cuenta con una extensión aproximada de 37.275,23 ha, que equivale al 6,49% de la superficie total de la Provincia. Dentro de este territorio se ubica la capital provincial que lleva el mismo nombre del cantón y la parroquia rural El Retiro.”[10]

“El Cantón Machala, al norte limita con el cantón El Guabo, al sur con el cantón Santa Rosa, al Este con el cantón Pasaje y al Oeste con el Archipiélago de Jambelí (cantón Santa Rosa) y el Océano Pacífico.”[10]

Figura 14. Ubicación del cantón Machala



Fuente: [10]

- **Caracterización general del relieve**

“El relieve que presenta el cantón Machala se caracteriza por ser plano, es así que aproximadamente el 94,17% del territorio se ubica entre 0 y 20 metros sobre el nivel del mar.”[10]

- **Información climática**

Tabla 2. Principales parámetros climáticos del cantón Machala

Parámetros Climáticos	
Precipitación media mensual	102 mm
Precipitación media multianuales	621,8 mm
Evaporación promedio mensual	94 mm
Humedad relativa	75%
Temperatura ambiental media mensual	24,0 °C
Temperatura ambiental mínima mensual	23,20 °C

Fuente: [10]

- **Suelo**

“En el Cantón Machala existe un solo tipo de formación geológica correspondiente a arcillas marinas de estuario, que generan suelos azonales plásticos, con buena fertilidad y apto para la agricultura. Sin embargo, la sobreutilización del suelo, mediante el monocultivo y la contaminación provocada por actividades antrópicas, camaroneras y minería, ha ido degradando progresivamente el suelo y disminuyendo su fertilidad y potencial agrícola.”[10]

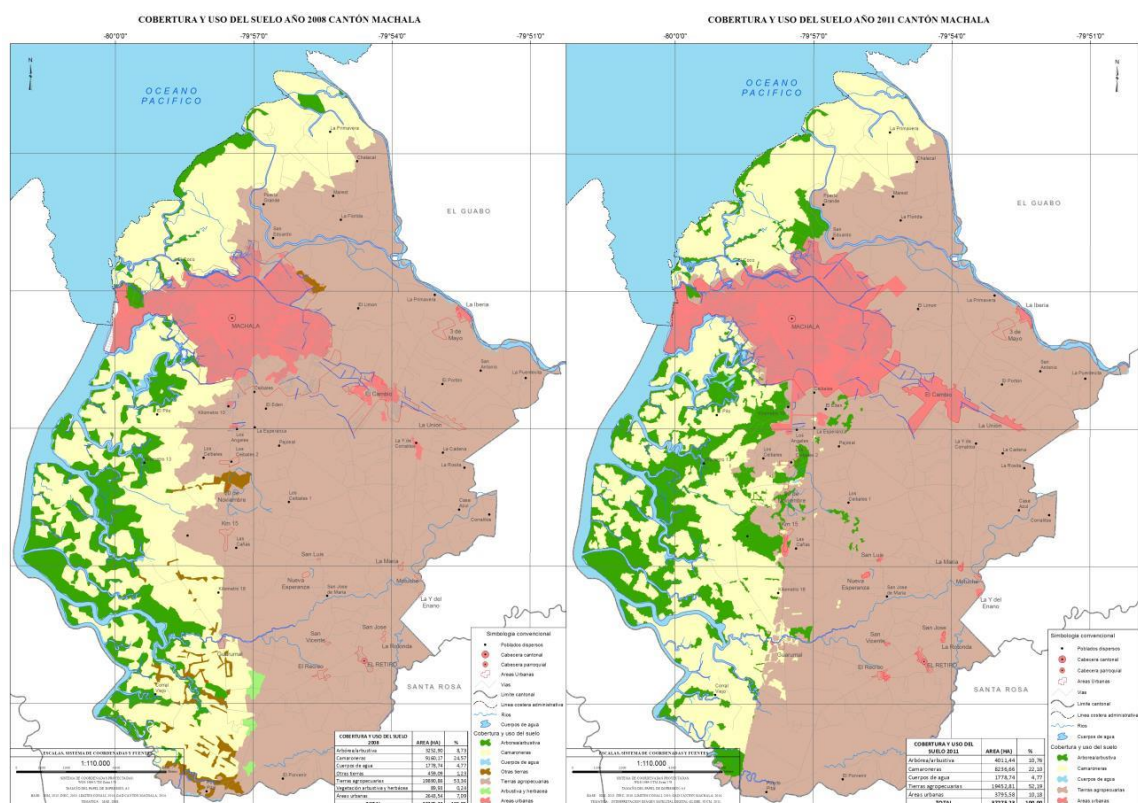
- **Cobertura y Uso de suelo**

Tabla 3. Cobertura y uso de suelo del cantón Machala (2008-2011)

COBERTURA Y USO DEL SUELO	2008		2011	
	ÁREA (HA)	%	ÁREA (HA)	%
Árborea/arbustiva	3.252,9	8,73	4.011,44	10,76
Camaroneras	9.160,17	24,57	8.236,66	22,10
Cuerpos de agua	1.778,74	4,77	1.778,74	4,77
Otras tierras	459,09	1,23	0	0,00
Tierras agropecuarias	19.890,86	53,36	19.452,81	52,19
Vegetación arbustiva y herbacea	89,93	0,24	0	0,00
Áreas urbanas	2.643,54	7,09	3.795,58	10,18
TOTAL	37.275,23	100,00	37.275,23	100,00

Fuente: [10]

Figura 15. Cobertura y Uso de suelo del cantón Machala (2008-2011)



Fuente: [10]

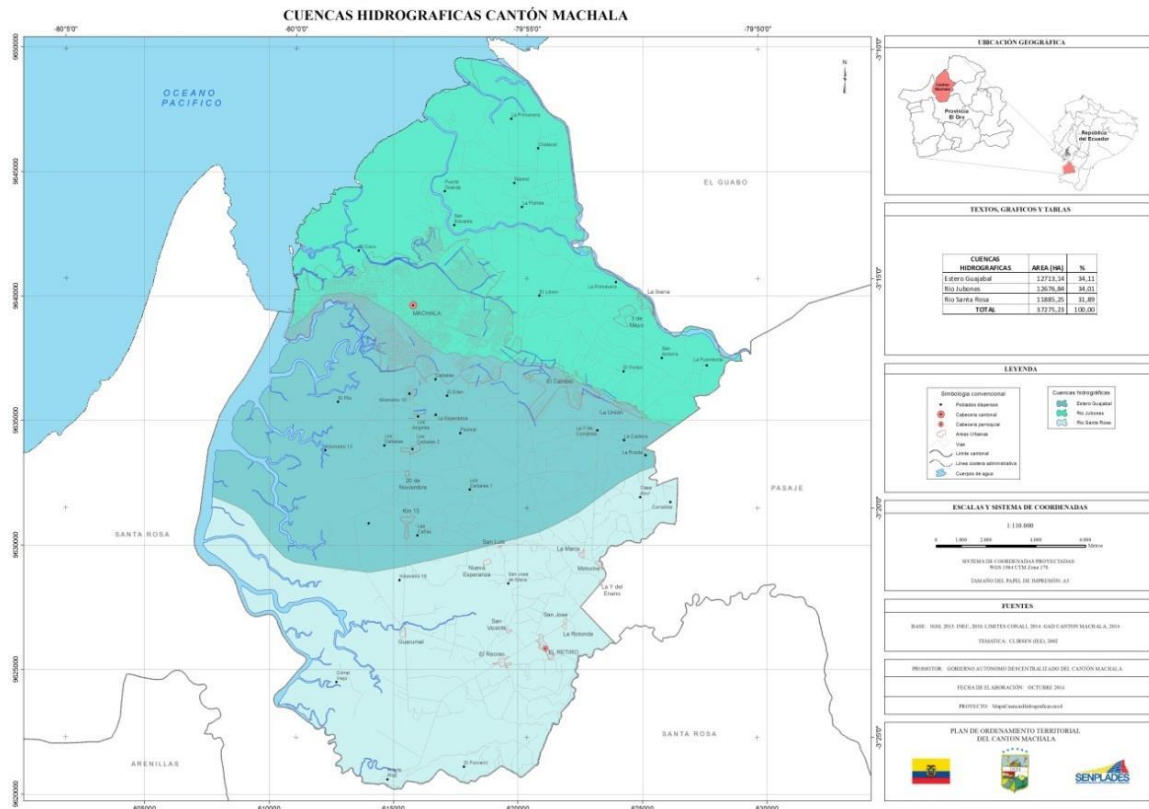
- Hidrología

El 36,06 % de la superficie del Cantón Machala (13.429 ha) se ubica dentro de la Cuenca del Estero Guajabal, correspondiente a la parte central del cantón, en los sitios Los Ceibales, Nuevo Pajonal, Corralitos, Cañas Viejas, Km 15, San Luis, el Sur de Machala y la Unión.

Por otro lado, al norte del cantón en donde se ubican los sitios La Primavera, El Limón, La Iberia, El Portón y la parte norte de Machala se encuentran en la subcuenca y cuenca del Río Jubones, ocupando una extensión de 11.960 ha (32,09 % de la superficie del cantón).

La parte sur del cantón se encuentra sobre las subcuencas de los ríos Santa Rosa, Buenavista y Motuche todas estas incluidas en la cuenca del río Santa Rosa, con una superficie de 11.885 ha equivalente al 31,89 % del área total del cantón, y forma parte de esta los poblados La María, La Y del Enano, San José, El Retiro, El Recreo, Motuche, Guarumal principalmente.

Figura 16. Cuencas Hidrográficas del cantón Machala



Fuente: [10]

2.1.3 Datos de inundaciones en el cantón Machala

“Las inundaciones pluviales de la ciudad de Machala se originan debido a que la cuenca de drenaje se desarrolla en una zona de llanura de pendientes bajas a nulas, que frente a precipitaciones extraordinarias como las evidenciadas en el fenómeno de El Niño, provocan anegamientos y acumulaciones.”[10]

“El crecimiento de la ciudad y debido a la falta de planificación, han generado interrupción de los cursos naturales o cambio del uso del suelo, originando zonas de inundación o propensas a anegamiento. Los eventos más peligrosos de naturaleza climática ocurren entre los meses de Diciembre a Abril, durante la temporada lluviosa, y son las inundaciones de origen pluvial y en menor escala de tipo fluvial.”[10]

La Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos del Ecuador (SNGR) en el reporte de inundaciones desde el año 2007 hasta el 2012, indica que se han presentado 29 eventos de inundación en el cantón Machala, ver Tabla 4.[49] De estos eventos 19 se han registrado en las parroquias urbanas Machala, La Providencia y Nueve de Mayo, y entre

las causas figuran: lluvias intensas, lluvia pernitaz, colapso del sistema de alcantarillado, desbordamiento de canales y drenaje tapado.

Tabla 4. Reportes de inundaciones de la SNGR ocurridos en Machala, 2007 – 2012

Parroquia	Fecha	Hora	Causas
Machala	05/01/2007	0:00	Lluvia pernitaz
El Retiro	08/01/2007	8:00	Lluvia
Puerto Bolívar	06/07/2007	5:00	Rotura tubería
Machala	29/02/2008	23:00	Lluvia intensa y colapso de alcantarillado
Machala	07/03/2008	19:30	Lluvia intensa y colapso de alcantarillado
La Providencia	07/03/2008	19:30	Fuertes lluvias y desbordamiento de canales
Machala	07/03/2008	19:30	Fuertes lluvia y drenaje tapado
La Providencia	07/03/2008	19:30	Fuertes lluvias y desbordamiento de canales
Machala y La Providencia	07/03/2008	19:30	Lluvia intensa y colapso de alcantarillado
Machala	07/03/2008	19:30	Fuertes lluvia y drenaje tapado
La Providencia	07/03/2008	19:30	Fuertes lluvias y desbordamiento de canales
Machala	03/07/2008	19:30	Fuerte lluvia y colapso de alcantarillado
La Providencia	03/07/2008	19:30	Fuertes lluvias y desbordamiento de canales
Machala	03/07/2008	19:30	Fuerte lluvia y drenaje tapado
La Providencia	07/03/2008	19:30	Fuertes lluvias y desbordamiento de canales
El Retiro	12/01/2009	2:30	Colapso de alcantarillado
El Retiro	12/01/2009	2:30	Colapso de alcantarillado
Machala	05/02/2008	17:35	Fuertes lluvias y desbordamiento de canales
El Retiro	01/12/2009	02:30	Causa no fue de origen meteorológico
Machala	21/01/2011	09:40	Lluvia pernitaz
Machala	27/01/2011	05:00	Fuerte lluvia
Machala	13/02/2011	10:30	Lluvia de mediana intensidad
9 de Mayo	19/04/2012	6:00	Intensa lluvia
Machala	19/04/2012	6:00	Intensa lluvia

Fuente: [49]

En medios de comunicación como El Universo, El Comercio y El Telégrafo, también se han reportado las inundaciones ocurridas en los últimos años en el cantón Machala. Ver Tabla 5.

Tabla 5. Reportes de inundaciones en medios de comunicación ocurridos en Machala

Parroquia	Calle/Sector	Fecha	Causa
Machala	Av. 25 de Junio	30/01/2016	Lluvia intensa
Jubones	Av. Las Palmeras	30/01/2016	Lluvia intensa
Jubones	Marcel Laniado	30/01/2016	Lluvia intensa
La Providencia	10 de Agosto	30/01/2016	Lluvia intensa
Jubones	Canal El Macho	27/02/2016	Lluvia intensa y desborde del canal
Machala	Machala Central	11/01/2017	Lluvia intensa y colapso de alcantarillado
Jubones	Federico Páez	22/03/2017	Lluvia intensa
Jubones	El Macho	25/03/2017	Lluvia intensa y desborde del canal
La Providencia	Las Katias	25/03/2017	Lluvia intensa y desborde del canal

Fuente: [11] [12] [13][14]

2.1.4 Recolección de información de campo

Es preciso conocer las particularidades de la zona de estudio, como el espacio público, las viviendas, la población. Por consiguiente, se realizó el reconocimiento visual y levantamiento topográfico, con el fin de tener una visión general de la infraestructura y configuración del terreno, respectivamente.

Se efectuó la recolección de información de campo con el levantamiento topográfico del sector noreste del cantón Machala, específicamente en las parroquias urbanas Jubones, La Providencia y Machala.

Figura 17. Localización del estudio



Fuente: Google Earth

1.1.1 Información topográfica: integración y procesamiento

La información topográfica recopilada en campo fue integrada y procesada en un Sistema de Información Geográfica (SIG), para este caso se ha empleado el software ArcGIS versión 10.5.

Del procesamiento se obtuvo el Modelo Digital de Elevaciones (DEM) con una resolución por pixel de 19.65 x 19.65.

En HEC-GeoHMS, herramienta desarrollada por el Centro de Ingeniería Hidrológica (HEC) para procesamiento geoespacial en ArcGIS, a partir del DEM y con la opción "Preprocessing" se crearon las cuencas y la red de drenaje del sistema hidrológico.

1.1.2 Selección de la cuenca urbana

De las cuencas creadas y con la opción "Projet Setup" de HEC-GeoHMS se seleccionó y generó una cuenca con sus respectivas subcuencas y red de drenaje, cuya superficie total se encuentra en la zona urbana del cantón Machala y en la que previamente se han identificado áreas inundables.

La cuenca urbana seleccionada se encuentra ubicada en las parroquias urbanas Jubones, La Providencia y Machala, específicamente desde la Circunvalación Norte y el margen izquierdo al canal El Macho (aguas abajo) hasta la Av. 25 de Junio y Av. Las Palmeras.

Finalmente, con las herramientas del ArcToolBox de ArcGIS se obtuvieron las características morfométricas de la cuenca urbana.

Del proceso realizado como ya se mencionó se obtuvo la cuenca, subcuencas y red de drenaje, pero debido a la limitada información de niveles, las subcuencas presentaban formas muy irregulares y no podían ser empleadas en la modelación. Por lo tanto, se optó por dibujar las subcuencas y también la red de drenaje acorde a la red de drenaje natural y a las calles de la zona de estudio.

1.1.3 Información Hidrológica

1.1.3.1 Curvas Intensidad-Duración-Frecuencia IDF

Las curvas Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) son elaboradas con las ecuaciones representativas del libro “Estudios de Lluvias Intensas en Ecuador”.

La estación pluviométrica utilizada es la **M0072 MACHALA AEROPUERTO**, cuyas ecuaciones representativas son:

- 5 (min) < 30 (min)

$$I_{TR} = 43.085t^{0.3912}Id_{TR} \quad \text{Ecuación 4}$$

- 30 (min) < 1440 (min)

$$I_{TR} = 94.664t^{0.6276}Id_{TR} \quad \text{Ecuación 5}$$

En donde:

I_{TR} : Intensidad de precipitación para cualquier periodo de retorno en mm/h.

Id_{TR} : Intensidad diaria para un periodo de retorno dado en mm/h.

TR : Periodo de retorno.

t : Tiempo de duración de la lluvia en minutos.

Tabla 6. Intensidad máxima en 24 horas. Estación M0072

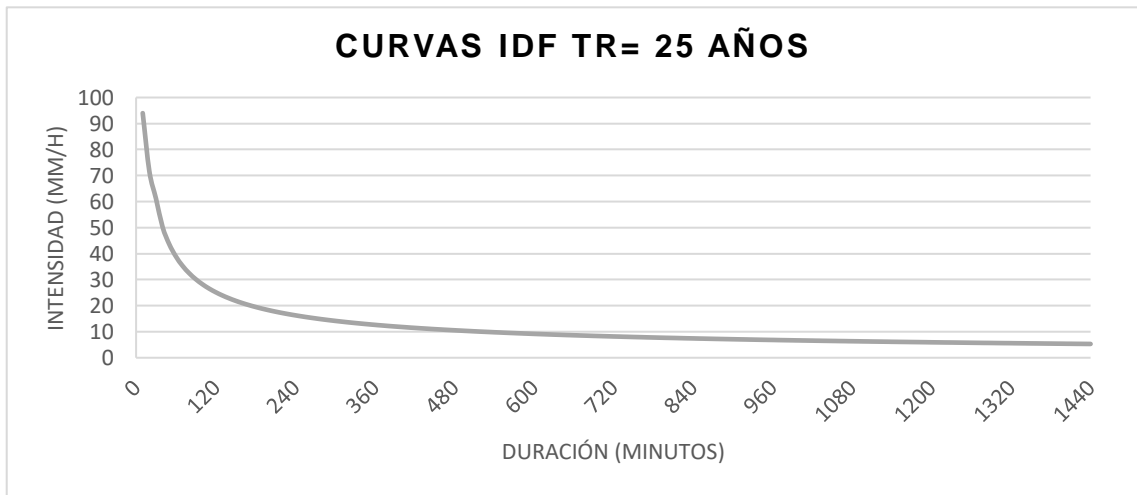
Años	5	10	25	50	100
Id_{TR}	4.01	4.64	5.37	5.88	6.37

Fuente: [43]

Se calcularon las curvas IDF para todos los periodos de retorno de mencionados en la Tabla 2, ver en Anexo 1.

A continuación, se presentan la curva IDF a partir de la cual se construyó el hietograma que se utilizó para el análisis hidrológico y aplicación de los sistemas de drenaje urbano en SWMM.

Gráfico 1. Curvas IDF para TR= 25 años, Estación M0072

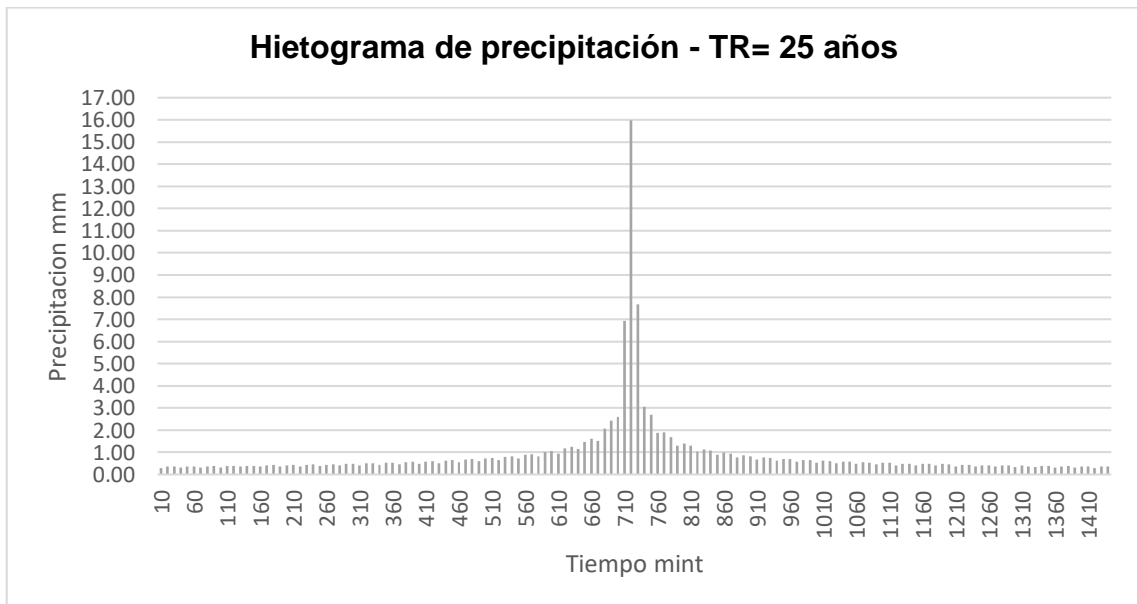


Fuente: Elaboración propia.

1.1.3.2 Hietogramas de precipitación

“Se realizaron los hietogramas con el método del bloque alterno, descrito en la sección 1.9.1.1, para los periodos de retorno de 5, 10 y 25 años. Los intervalos de duración de 10 minutos con el fin de obtener información más detallada de la evolución de la lluvia en el tiempo.” [42] Los datos y gráficos de todos los hietogramas se pueden ver en Anexo 1, a continuación, se presenta el hietograma para el periodo de retorno de 25 años.

Gráfico 2. Hietograma de precipitación, TR= 25 años



Fuente: Elaboración propia.

1.1.4 Información para la construcción del modelo en EPA SWMM 5.1

1.1.4.1 Parámetros de Infiltración: método de Horton

La infiltración se determina por el método de Horton, sus parámetros se escogieron del Manual de SWMM 5.1 de acuerdo al tipo de suelo, que para este caso es arcilloso.

Tabla 7. Parámetros de infiltración, método de Horton

Parámetro	Valor
Tasa de Infiltración Máxima	25 mm/h
Tasa de Infiltración Mínima	0.50 mm/h
Constante de decaimiento	4

Fuente: [37]

1.1.4.2 Porcentaje de impermeabilidad, % Imperv

El porcentaje de impermeabilidad se determinó en función de la superficie de cada subcuenca de la zona de estudio, se identificaron tres tipos superficie impermeable: viviendas, aceras y calles. En ArcGIS se interceptaron los archivos .shp de las subcuencas y de las superficies de uso suelo. De manera global el área impermeable de la cuenca es de 96.07 %. Los porcentajes de impermeabilidad de cada subcuenca se pueden ver en el Anexo 2.

1.1.4.3 Coeficiente de rugosidad de Manning, N

Los coeficientes de rugosidad de Manning fueron determinados a partir de los coeficientes de Manning para escorrentía superficial de la Tabla 9, proporcionada por el manual de SWMM, y en función de las superficies permeables e impermeables de la zona de estudio, indicadas en la Tabla 8.

Tabla 8. Superficie permeable e impermeable de la zona de estudio.

Superficie	Tipo	Área		%	Coef. N
		ha	km2		
Permeable	Pasto natural	12.15	0.12	3.97	0.13
	Hierba corta				0.15
Impermeable	Viviendas	214.55	2.15	70.05	0.012
	Aceras	19.06	0.19	6.22	0.012
	Calles	60.54	0.61	19.76	0.011

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 9. Coeficiente *n* de Mannig para escorrentía superficial, SWMM

Superficie	<i>n</i>
Asfalto liso	0.011
Hormigón liso	0.012
Revestimiento de hormigón basto	0.013
Madera pulida	0.014
Arcilla vitrificada	0.015
Fundición de hierro	0.015
Tuberías de metal corrugado	0.024
Superficie de escombrera	0.024
Terreno improductivo (libre de residuos)	0.05
Terreno cultivado	
Cubierta de residuos < 20%	0.06
Cubierta de residuos > 20%	0.17
Pasto natural	0.13
Hierba	
Corta, pradera	0.15
Densa	0.24
Hierba <i>Bermuda</i>	0.41
Bosque	
Con cubierta ligera de arbustos	0.40
Con cubierta densa de arbustos	0.80
<i>Fuente: [37]</i>	

Los coeficientes de rugosidad de Manning, son:

- Para la superficie permeable

$$N\text{-Perv} = 0.140$$

- Para la superficie impermeable

$$N\text{-Imperv} = 0.012$$

1.1.4.4 Altura de almacenamiento en depresión, *Dstore*

De lo descrito en la sección 1.9.2.2 se adoptan los siguientes valores para el proyecto.

- Para la superficie permeable:

$$D\text{store-Perv} = 7.5 \text{ mm}$$

- Para la superficie impermeable:

$$D\text{store-Imperv} = 1.6 \text{ mm}$$

1.1.4.5 Porcentaje de suelo impermeable sin depresiones

De este parámetro no se dispone de mucha información, en una fuente solo se encontró que su valor es difícil de determinar en campo o con fórmulas empíricas, pero que generalmente se usa un valor que oscila entre 20% y 25%. [6] Para este trabajo se utilizará un valor de 25%.

1.1.4.6 Flujo entre sub áreas

Es el sentido del flujo interno entre las áreas impermeables y permeables de la cuenca. Se puede elegir entre tres opciones descritas en la Tabla 7, de las cuales se ha seleccionado la opción OUTLET, asumiendo que ambas áreas aportan directamente a la descarga. [37]

Tabla 10. Flujo entre subareas

IMPERV.	Flujo desde permeable hacia impermeable.
PERV.	Flujo desde impermeable a permeable.
OUTLET.	Ambas áreas aportan directamente a la descarga.

Fuente: [37]

1.1.4.7 Porcentaje de escorrentía entre áreas

Este porcentaje está relacionado con el flujo entre sub áreas y con la pendiente de la cuenca, se refiere a la cantidad de escurrimiento que se transportara con la opción escogida. Para el proyecto se ha escogido el 100%.

1.1.4.8 Sección de las conducciones

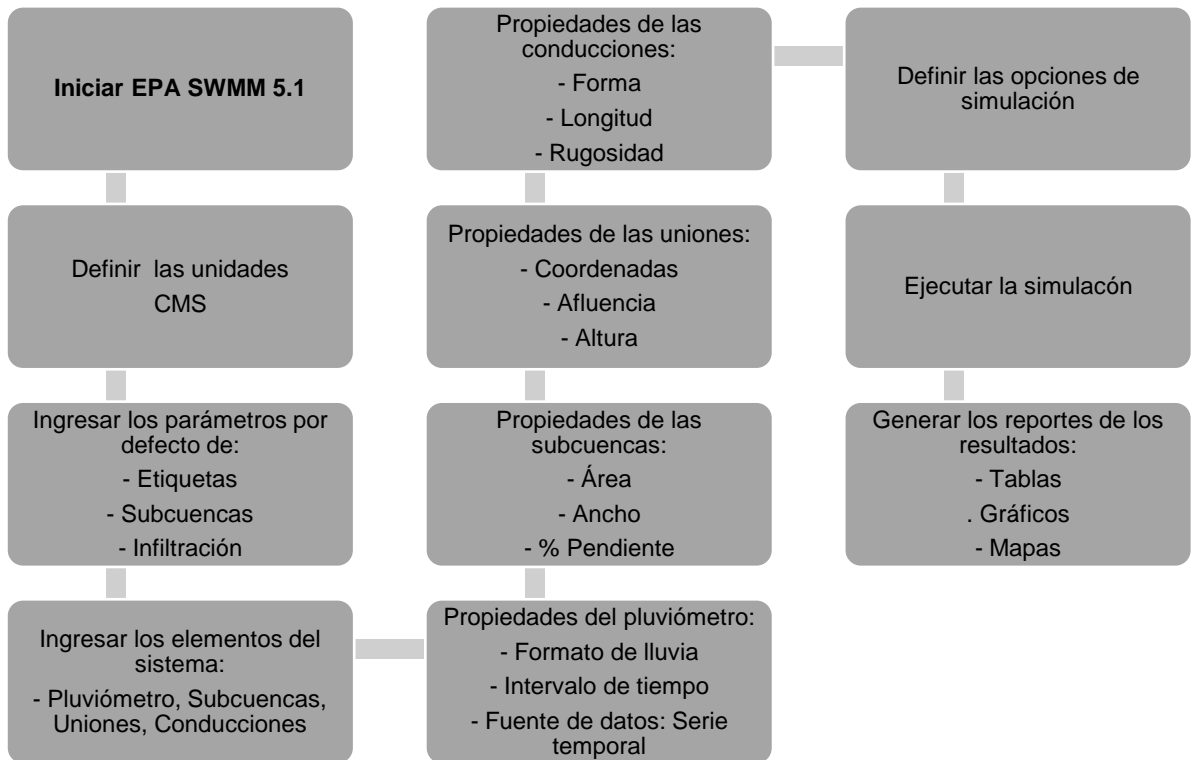
En el proyecto las conducciones son las calles por donde drena la escorrentía superficial. En el programa SWMM 5.1 además de las secciones establecidas, hay la opción de determinar una sección transversal irregular, en este caso utilizando esta opción se determinó una sección de 5 m de ancho, 0.20 m de altura y 2% de bombeo para todas las calles. Ver Anexo 3.

1.1.5 Modelación en EPA SWMM 5.1

1.1.5.1 Construcción del modelo hidrológico

Definidos los parámetros hidrológicos y las características de las subcuencas, conducciones e intersecciones se realiza el modelo en SWMM 5.1 siguiendo el proceso detallado en la Figura 18. La información ingresada para cada subcuenca, conducción e intersección se puede ver en el Anexo 3.

Figura 18. Proceso general para construir un modelo en EPA SWMM 5.1



Fuente: Elaboración propia.

Figura 19. Ventana para editar las propiedades de las subcuencas

Property	Value
Name	S1
X-Coordinate	616954.246
Y-Coordinate	9638884.874
Description	
Tag	
Rain Gage	LLUVIA1
Outlet	S2
Area	1.42900577117
Width	177.07
% Slope	3.99
% Imperv	94.45
N-Imperv	0.012
N-Perv	0.14
Dstore-Imperv	1.6
Dstore-Perv	7.5
%Zero-Imperv	25
Subarea Routing	OUTLET
Percent Routed	100
Infiltration Data	HORTON
Groundwater	NO
Snow Pack	
LID Controls	0

Rain gage assigned to subcatchment

Fuente: SWMM 5.1

Figura 20. Ventana para editar las propiedades de las conducciones

Property	Value
Name	C1
Inlet Node	U1
Outlet Node	U2
Description	
Tag	
Shape	IRREGULAR
Max. Depth	0.20
Length	77.143870074
Roughness	0.011
Inlet Offset	0
Outlet Offset	0
Initial Flow	0

Maximum depth of cross section (m)

Fuente: SWMM 5.1

Figura 21. Ventana para editar las propiedades de las intersecciones

Property	Value
Name	U1
X-Coordinate	616707.437
Y-Coordinate	9639442.559
Description	
Tag	
Inflows	NO
Treatment	NO
Invert El.	4.19
Max. Depth	0

Click to specify any pollutant removal supplied at the junction

Fuente: SWMM 5.1

Figura 22. Ventana para editar las propiedades del pluviómetro

Property	Value
Name	LLUVIA1
X-Coordinate	615412.599
Y-Coordinate	9640693.969
Description	
Tag	
Rain Format	INTENSITY
Time Interval	0:10
Snow Catch Factor	1.0
Data Source	TIMESERIES
TIME SERIES:	
- Series Name	25AÑOS_10MINT
DATA FILE:	

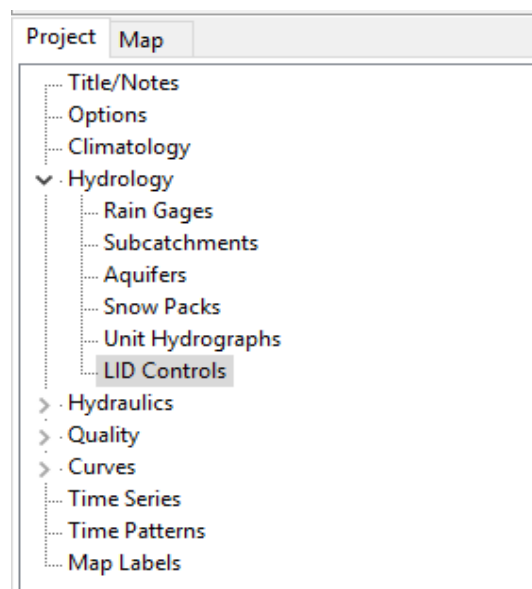
Data recording time interval at rain gage

Fuente: SWMM 5.1

1.1.5.2 Creación de los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible

Los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenibles se crean en la en la ventana “Project”, opción “Hydrology”, complemento “LID Controls”.

Figura 23. Menú para añadir SUDS en SWMM 5.1



Fuente: SWMM 5.1.

De las ocho opciones de LID Controls que se tienen disponibles en SWMM 5.1 mencionados en la sección 1.8.4, se han creado dos: pavimento permeable y barril de lluvia. Cada uno de los LID tiene componentes dispuestos en capas, en los que se deben ingresar los valores requeridos de los diferentes parámetros.

Pavimento permeable

El pavimento permeable que se utiliza es un sistema continuo, a continuación, se describen los componentes y parámetros que se han considerado en su estructura.

- Superficie

Describe las propiedades de la superficie del pavimento permeable.

- Altura de la berma o profundidad de almacenamiento (Berm Height): Cuando hay paredes o bermas confinadas, esta es la profundidad máxima a la que el agua puede acumularse sobre la superficie de la unidad antes de que se produzca un desbordamiento (en pulgadas o

mm). [37] Se ha considerado que no existe almacenamiento en superficie.

- Volumen de vegetación (Vegetative Volume): La fracción del volumen dentro de la profundidad de almacenamiento llena de vegetación.[37] No existe vegetación, por lo tanto, este parámetro es 0.
- Rugosidad de la superficie (Surface Roughness): coeficiente de rugosidad sobre la cubierta superficial del pavimento.[37] Se adopta el coeficiente de rugosidad de Manning de 0.017.
- Pendiente de la superficie (Surface Slope): Se considera una superficie plana, 0%.

- **Pavimento**

Las propiedades de relación de vacíos y permeabilidad son tomadas del pavimento permeable diseñado en el trabajo de titulación “Propuesta de un pavimento de concreto permeable para estacionamientos en zonas urbanas, que evite el estancamiento de aguas pluviales” realizado en la UTMACH.[50]

- Espesor (Thickness): El grosor de la capa del pavimento (pulgadas o mm). El valor que se utiliza es de 150 mm.
- Relación de vacíos (Void Ratio): El volumen de espacios vacíos en relación con el volumen de sólidos en el pavimento para sistemas continuos o para el material de relleno utilizado en sistemas modulares. Los valores típicos para pavimentos son 0.12 a 0.21.[37] De acuerdo al pavimento permeable utilizado este valor es de 0.15. [50]
- Fracción de superficie impermeable (Impervious Surface Fraction): Proporción de material de pavimentado impermeable del área total para sistemas modulares; 0 para sistemas continuos de pavimento poroso.[37]
- Permeabilidad (Permeability): Permeabilidad del hormigón o asfalto utilizado en sistemas continuos o conductividad hidráulica del material de relleno (grava o arena) utilizado en sistemas modulares (in/hr o mm/hr).[37] De acuerdo al pavimento permeable utilizado este valor es de 73.37 mm/s.[50]
- Factor de obstrucción (Clogging Factor): valor con el que se obstruye completamente el pavimento, impidiendo el ingreso de la escorrentía. Se usa el valor de 0, porque se ha ignorado la obstrucción.

- **Almacenamiento**

Describe las propiedades de la capa de piedra triturada o grava utilizada en los sistemas de pavimento permeables.

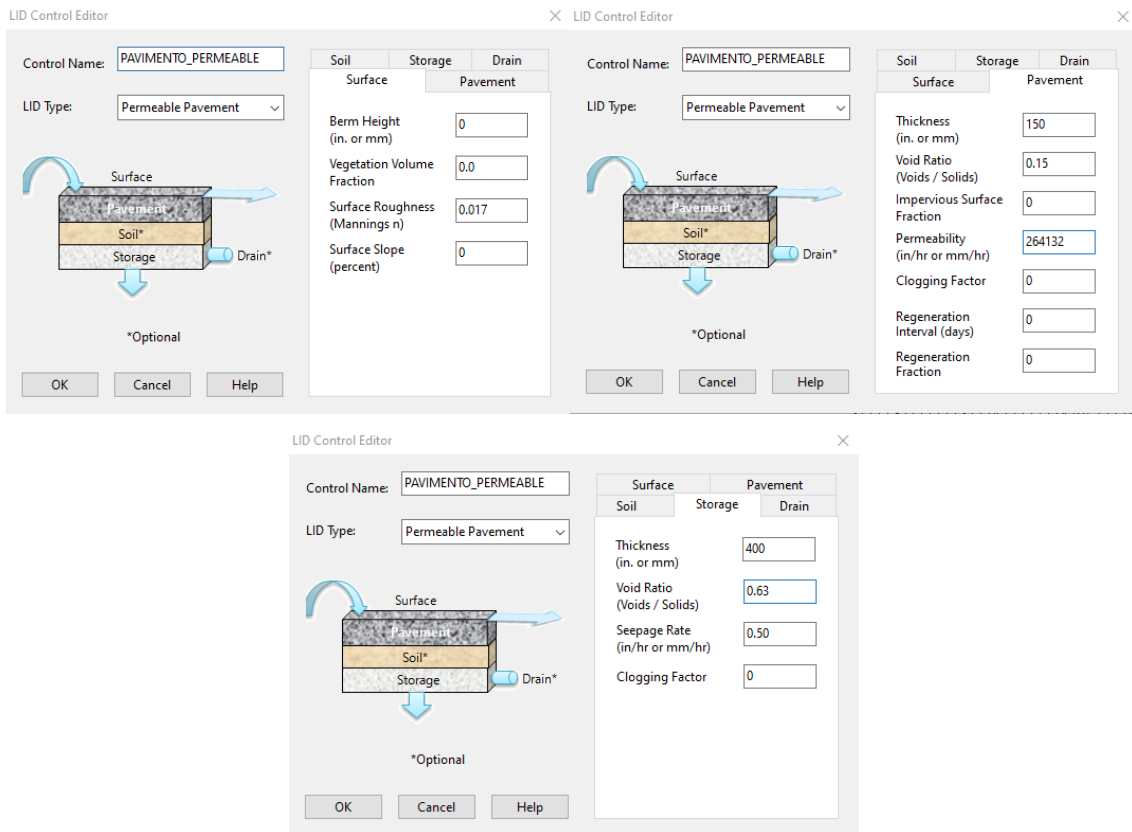
- **Espesor (Thickness):** Grosor de la capa de piedra triturada o grava, típicamente de 6 a 18 pulgadas (150 a 450 mm) de espesor.
Se asume que se utiliza una capa de grava con espesor de 400 mm, con la finalidad de tener mayor capacidad de almacenamiento considerando que el suelo natural es una arcilla con capacidad lenta de infiltración.
- **Relación de vacíos (Void Ratio):** El volumen del espacio vacío relativo al volumen de sólidos en la capa. Los valores típicos varían de 0.5 a 0.75 para lechos de grava.[37] Se adopta el valor de 0.63, correspondiente a una porosidad del 39%.
- **Tasa de filtración (Seepage Rate):** La velocidad a la que el agua se filtra en el suelo nativo debajo de la capa (en pulgadas/hora o mm/hora). Esto sería típicamente la conductividad hidráulica saturada de la subcaptación circundante si se usa la infiltración Green-Ampt o la tasa mínima de infiltración para Horton infiltración. Si hay un piso o revestimiento impermeable debajo de la capa, use un valor de 0.[37] El valor de la tasa de infiltración mínima del suelo para este caso es de 0.50 mm/hr.
- **Factor de obstrucción (Clogging Factor):** valor con el que se obstruye completamente la capa de almacenamiento, impidiendo el ingreso de la escorrentía. Se usa el valor de 0, porque se ha ignorado la obstrucción.

Tabla 11. Parámetros aplicados en el sistema pavimento permeable

Componente	Parámetro	Valores
Surface	Berm Height	0
	Vegetative Volume	0
	Surface Roughness	0.017
	Surface Slope	0
Pavement	Thickness	150 mm
	Void Ratio	0.15
	Impervious Surface Fraction	0
	Permeability	73.37 mm/s
	Clogging Factor	0
Storage	Thickness	400 mm
	Void Ratio	0.63
	Seepage Rate	0.50 mm/h
	Clogginp Factor	0

Fuente: Elaboración propia.

Figura 24. Parámetros aplicados en las capas del pavimento permeable

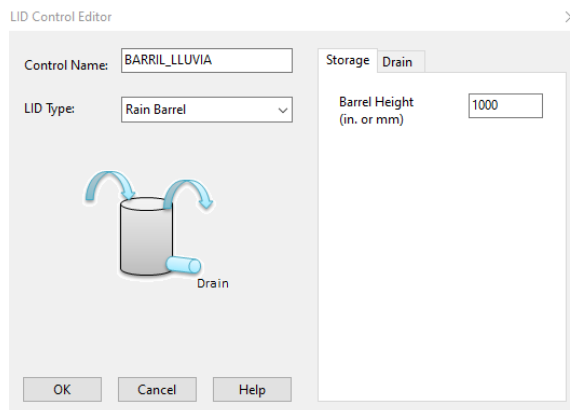


Fuente: SWMM 5.1.

Barril de lluvia

Este LID tiene solo dos capas, la de almacenamiento y la de drenaje. En la capa de almacenamiento se define la altura de barril, que será de 1000 mm. Y en la capa de drenaje los parámetros del sistema de drenaje, que en este caso no se aplican.

Figura 25. Parámetros aplicados en las capas del barril de lluvia

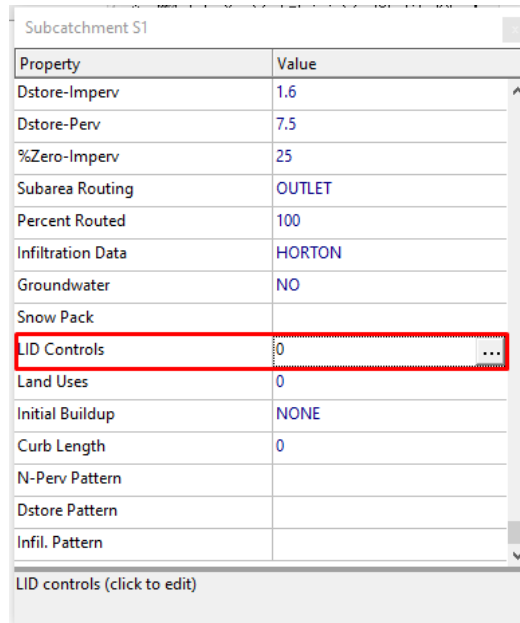


Fuente: SWMM 5.1

1.1.5.3 Aplicación de los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible

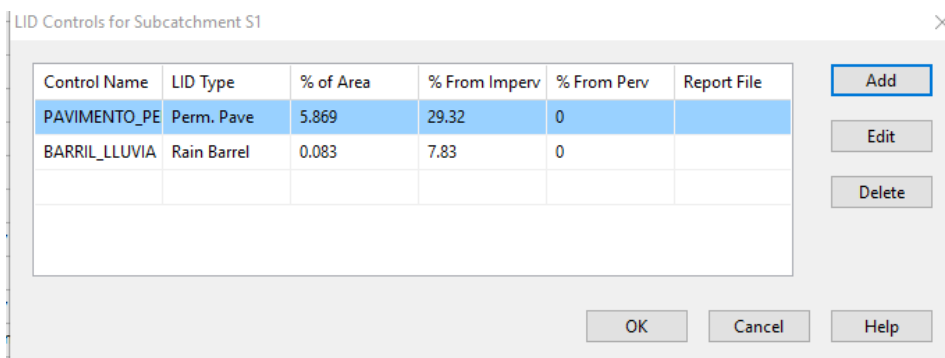
Los sistemas urbanos de drenaje creados son aplicados manualmente, abriendo la ventana de propiedades de cada subcuenca y seleccionando la opción "LID Controls" se despliega la ventana para agregar los SUDS o LID.

Figura 26. Ventana de propiedades de la subcuencas para agregar los SUDS



Fuente: SWMM 5.1

Figura 27. Ventana para agregar los SUDS



Fuente: SWMM 5.1

El pavimento permeable se coloca en el área que corresponde a las aceras, debido a que este material está recomendado para ser utilizado en lugares en donde no este expuesto constantemente a cargas elevadas. También pudo haberse aplicado en parqueaderos, pero por no disponer de un valor de esta área no se aplicó. Se debe tener en cuenta que luego de aplicar el pavimento permeable es necesario corregir el ancho de las subcuenca, ya que este disminuye por estar ocupado por el pavimento.

El barril de lluvia es colocado uno por predio o vivienda, ya que su función es captar un volumen de agua mientras ocurre la precipitación y almacenarla para posteriormente utilizarla o devolverla al sistema de drenaje, cuando haya culminado la precipitación. Para su aplicación se consideró un número de viviendas por cada subcuenca.

En el Anexo 4, se pueden ver las tablas correspondientes a la información ocupada en la aplicación de los SUDS.

2.2 Materiales

Para llevar a cabo el proyecto fue necesario realizar trabajo de campo y de gabinete, y se utilizaron los siguientes materiales.

Trabajo de campo

Levantamiento topográfico

- Nivel
- Trípode
- Regla

Trabajo de gabinete

Procesamiento en los softwares

- ArcMAP 10.5
- HEC-GeoHMS
- EPA SWMM 5.1

III. Resultados

3.1 Características morfométricas de la cuenca

3.1.1 Área

El área es un parámetro que está directamente relacionado con el caudal que se genera en la cuenca.[51] Para la cuenca del proyecto el área es de 302.76 ha, es decir, 3.03 km².

De acuerdo a la clasificación por tamaño de la Tabla 10, la cuenca objeto de estudio es “Muy pequeña”.

Tabla 12. Clasificación de las cuencas según su tamaño, Campos 1998

Área de la cuenca (km ²)	Clasificación
< 25	Muy pequeña
25 a 250	Pequeña
250 a 500	Intermedia pequeña
500 a 2500	Intermedia grande
2500 a 5000	Grande
> 5000	Muy grande

Fuente: [51]

3.1.2 Perímetro

El perímetro es la dimensión de la línea que limita la cuenca, a lo largo de la divisoria topográfica de aguas.[51] La cuenca tiene un perímetro de 8.95 km.

3.1.3 Altura máxima y mínima

Tabla 13. Altura máxima y mínima de la cuenca

Altura Máxima	6.22 m
Altura Mínima	2.92 m

Fuente: Elaboración propia

3.1.4 Pendiente media

La pendiente media de la cuenca es de 3.99%, de acuerdo a la Tabla 11, el relieve de la cuenca es de tipo suave.

Tabla 14. Clasificación de pendientes medias

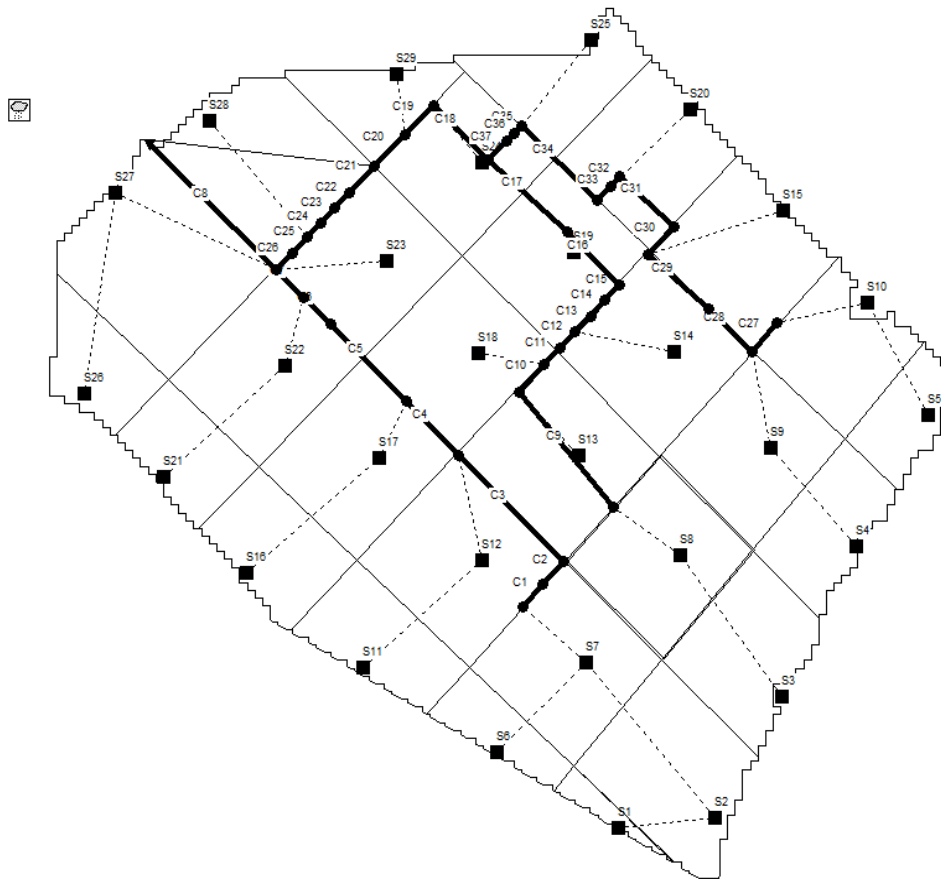
Pendiente (%)	Clasificación
0 - 3	Plano
3 - 7	Suave
7 - 12	Mediano
12 - 35	Accidentado
35 - 50	Fuerte
50 - 75	Muy Fuerte
> 75	Escarpado

Fuente: [51]

3.2 Modelo en SWMM 5.1

El modelo conceptualizado en SWMM 5.1 está compuesto por 29 subcuencas o áreas de drenaje, 37 conducciones que representa las calles por donde drena la escorrentía, 38 nodos ubicados en las esquinas o intersecciones de las calles en las que se dispone de cotas. Y un pluviómetro en el que se seleccionará la serie de tiempo de acuerdo al periodo de retorno que se requiera simular.

Figura 28. Sistema de drenaje modelado en SWMM 5.1



Fuente: Elaboración propia en SWMM 5.1

3.3 Simulaciones en SWMM 5.1

Para tener conocimiento del comportamiento de la escorrentía en el sistema de drenaje modelado se realizó las simulaciones para los periodos de retorno de 5, 10 y 25 años, los resultados de cada periodo se pueden ver en el Anexo 5.

Tabla 15. Caudal pico y volumen de inundación para $T_r=5, 10$ y 25 años

Periodo de retorno	Caudal Pico (m ³ /s)	Volumen de inundación (m ³)
5 años	7.32	28 601
10 años	8.81	35 347
25 años	10.50	43 464

Fuente: Elaboración propia.

De estos periodos de retorno para el análisis y aplicación de las medidas SUDS se escogió el de 25 años. A continuación, se presenta los resultados de las modelaciones para el periodo de retorno seleccionado.

3.3.1 Escenario 1: Sin medidas de drenaje sostenible

En esta simulación se obtiene el siguiente reporte de continuidad de escorrentía.

Figura 29. Reporte de continuidad de escorrentía

*****	Volume	Depth
Runoff Quantity Continuity	hectare-m	mm
*****	-----	-----
Total Precipitation	6.413	21.183
Evaporation Loss	0.000	0.000
Infiltration Loss	0.228	0.754
Surface Runoff	5.834	19.270
Final Storage	0.370	1.223
Continuity Error (%)	-0.299	

Fuente: Elaboración propia.

De este reporte se obtiene que:

- La precipitación total que cae en la cuenca es de 64 130 m³ que equivale a 21.183 mm de profundidad de lluvia.
- Las pérdidas por infiltración son de 2 280 m³ que equivale a 0.754 mm de profundidad en las áreas permeables.
- La escorrentía superficial que se produce es de 58 340 m³ que equivale a 19.27 mm.
- El almacenamiento final es de 3 700 m³ equivalente a 1.223 mm.

- El error de continuidad generado en este reporte es aceptable, ya que su valor es de -0.299 %.

También se ha obtenido el reporte de continuidad de enrutamiento de flujo, el cual representa las pérdidas y almacenamientos ocurridos en el sistema de drenaje, que para el estudio está compuesto por las calles e intersecciones.

Figura 30. Reporte de enrutamiento de flujo

***** Flow Routing Continuity *****	Volume hectare-m -----	Volume 10^6 ltr -----
Dry Weather Inflow	0.000	0.000
Wet Weather Inflow	5.833	58.333
Groundwater Inflow	0.000	0.000
RDII Inflow	0.000	0.000
External Inflow	0.000	0.000
External Outflow	1.472	14.723
Flooding Loss	4.346	43.464
Evaporation Loss	0.000	0.000
Exfiltration Loss	0.000	0.000
Initial Stored Volume	0.000	0.000
Final Stored Volume	0.017	0.166
Continuity Error (%)	-0.033	

Fuente: Elaboración propia.

De este reporte se obtiene que:

- El aporte en tiempo mojado, es decir, la escorrentía es de 58 333 m³.
- Para este caso no es necesario considerar aportes por aguas subterráneas, y tampoco se ha considerado aportes externos.
- La descarga externa que realiza el sistema es de 14 723 m³, esta descarga se refiere al volumen que ha escurrido por las calles hasta el punto final del sistema de drenaje modelado.
- La descarga interna es de 43 464 m³. Esta descarga se refiere al volumen de agua que sobrepasa los niveles de las calles e intersecciones, provocando inundaciones que requieren de control.
- El volumen final por almacenamiento en las depresiones es de 166 m³.
- El error de continuidad generado en este reporte es aceptable, ya que es de -0.033 %.

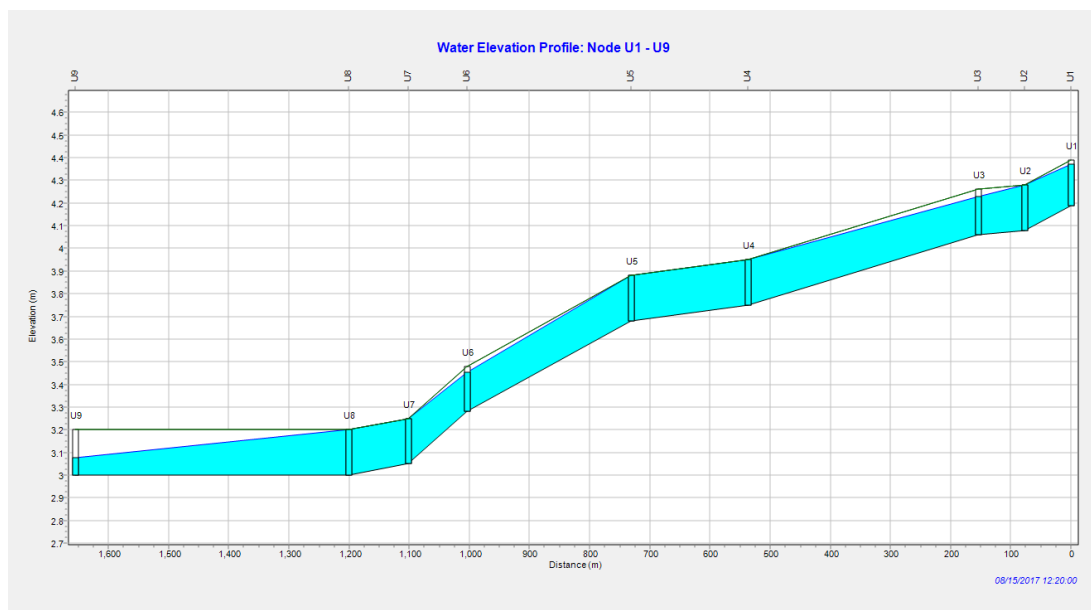
En esta simulación sin aplicar medidas de drenaje sostenible se tiene que 33 de las 37 conducciones o calles tienen sobrecarga, es decir, que en ambas o en al menos una de sus uniones el agua ha llegado al nivel máximo, derivando un volumen de inundación. De estas conducciones con sobrecarga 12 son las más críticas ya que están a su

máxima capacidad, es decir, que el agua ha llegado a igualar o sobrepasar los 0.20 m de profundidad de las calles y en ambas uniones existe inundación. Este resultado se puede ver en las tablas del Anexo 5 y en el plano del Anexo 8, las conducciones críticas y los nodos en los que se generan inundación se colorean de rojo.

A continuación, se presenta el perfil de elevación del agua en las conducciones y nodos en el momento más crítico.

En la Figura 31, se presenta el perfil de las uniones U1 a U9, y las conducciones C1 a C8, este perfil corresponde a la calle 10 de Agosto (U1-U3) y Marcel Laniado (U3-U9).

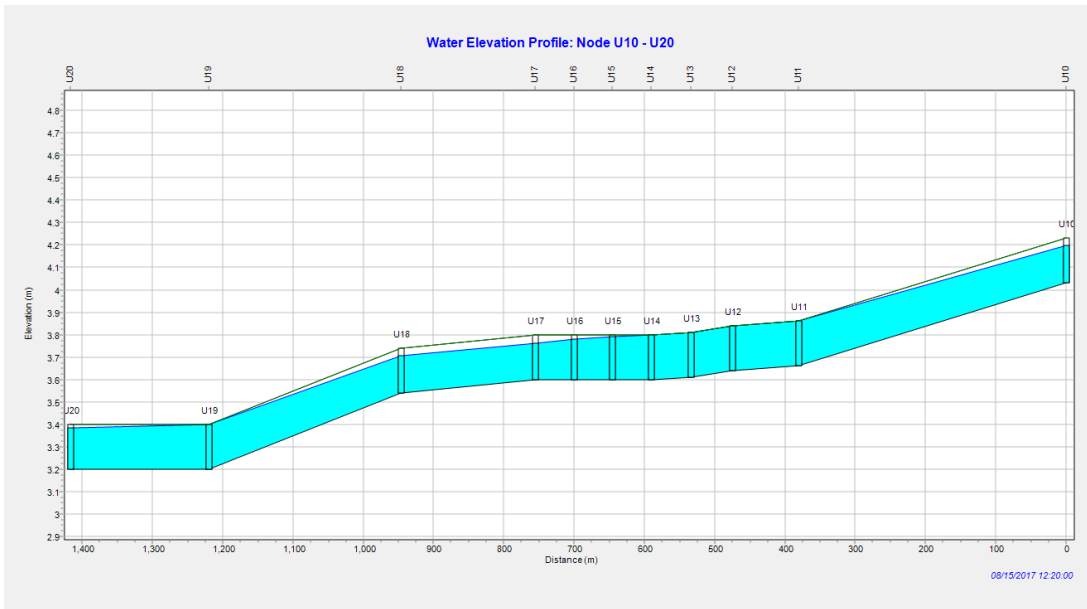
Figura 31. Perfil de elevación de las uniones U1 a U9



Fuente: Elaboración propia en SWMM 5.1

En la Figura 32, se presenta el perfil de las uniones U10 a U20, y las conducciones C9 a C18, este perfil corresponde a las calles: 8va Norte C (U10-U11), Buenavista (U11-U17) y 11ava Norte (U17-U20).

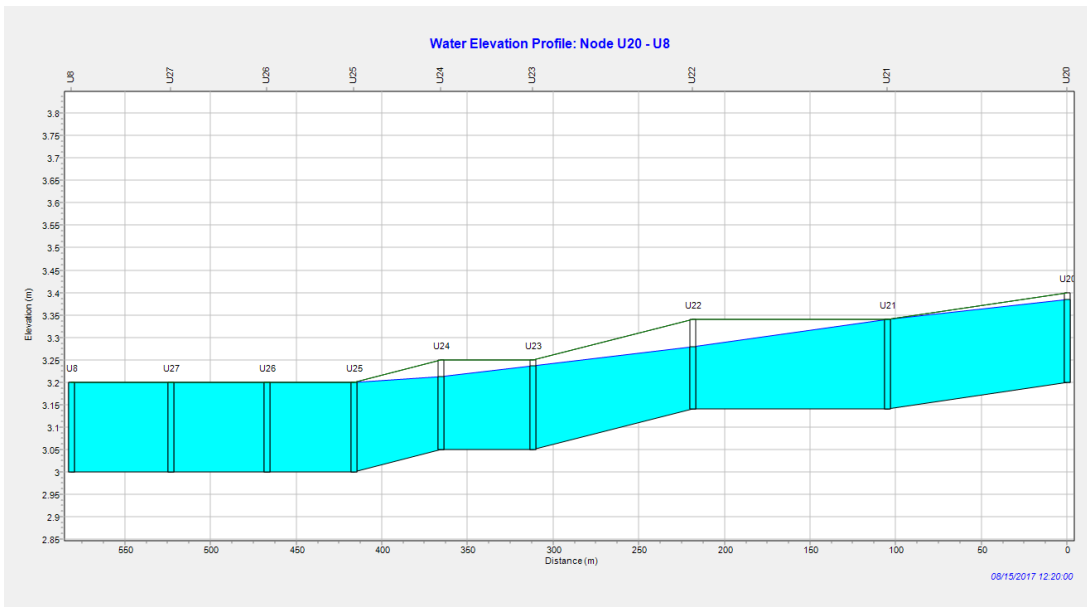
Figura 32. Perfil de elevación de las uniones U10 a U20



Fuente: Elaboración propia en SWMM 5.1

En la Figura 33, se presenta el perfil de las uniones U20 a U8, y las conducciones C19 a C26, este perfil corresponde a la calle Guayas.

Figura 33. Perfil de elevación de las uniones U20 a U8

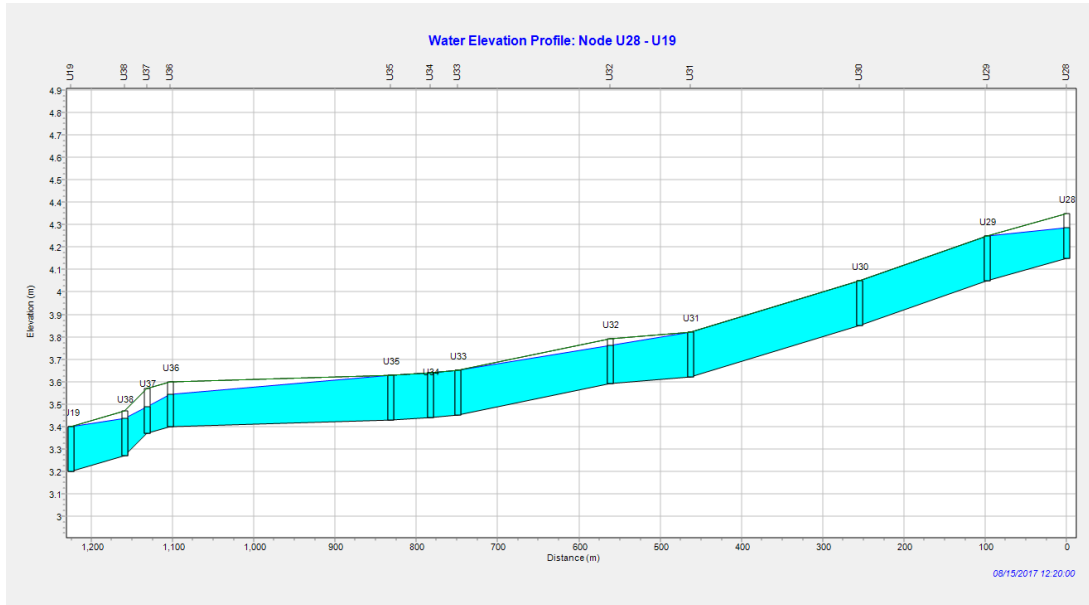


Fuente: Elaboración propia en SWMM 5.1

Y en la Figura 34, se presenta el perfil de las uniones U28 a U19, y las conducciones C27 a C37, este perfil corresponde a las calles: 10 de Agosto (U28-U29), 11va Norte B

(U29-U31), Buenavista (U31-U32), 11ava Norte C (U32-U33), Tarqui (U33-U35), 11ava Norte B (U35-U36) y Juan Montalvo (U36-U19).

Figura 34. Perfil de elevación de las uniones U28 a U19



Fuente: Elaboración propia en SWMM 5.1

3.3.2 Escenario 2: Aplicando medidas de drenaje sostenible

Al realizar la simulación con las medidas de drenaje sostenible, antes mencionadas, se obtienen los siguientes resultados en el reporte de continuidad de escorrentía.

Figura 35. Reporte de continuidad de escorrentía aplicando SUDS

***** Runoff Quantity Continuity *****	Volume hectare-m	Depth mm
	-----	-----
Total Precipitation	6.413	21.183
Evaporation Loss	0.000	0.000
Infiltration Loss	0.736	2.432
Surface Runoff	3.174	10.484
Final Storage	2.522	8.330
Continuity Error (%)	-0.295	

Fuente: SWMM 5.1

De este reporte se obtiene que:

- La precipitación total que cae en la cuenca es de 64 130 m³ que equivale a 21.183 mmm de profundidad de lluvia.

- Las pérdidas por infiltración son de 7 360 m³ que equivale a 2.432 mm de profundidad en las áreas permeables.
- La escorrentía superficial que se produce es de 31 740 m³ que equivale a 10.484 mm.
- El almacenamiento final es de 25 422 m³ equivalente a 8.330 mm.
- El error de continuidad generado en este reporte es aceptable, ya que su valor es de -0.295 %.

También se ha obtenido el reporte de continuidad de enrutamiento de flujo, el cual representa las pérdidas y almacenamientos ocurridos en el sistema de drenaje, que para el estudio está compuesto por las calles e intersecciones.

Figura 36. Reporte de enrutamiento de flujo aplicando SUDS

***** Flow Routing Continuity *****	Volume hectare-m -----	Volume 10^6 ltr -----
Dry Weather Inflow	0.000	0.000
Wet Weather Inflow	3.173	31.727
Groundwater Inflow	0.000	0.000
RDII Inflow	0.000	0.000
External Inflow	0.000	0.000
External Outflow	1.304	13.038
Flooding Loss	1.841	18.410
Evaporation Loss	0.000	0.000
Exfiltration Loss	0.000	0.000
Initial Stored Volume	0.000	0.000
Final Stored Volume	0.030	0.304
Continuity Error (%)	-0.082	

Fuente: Elaboración propia.

De este reporte se obtiene que:

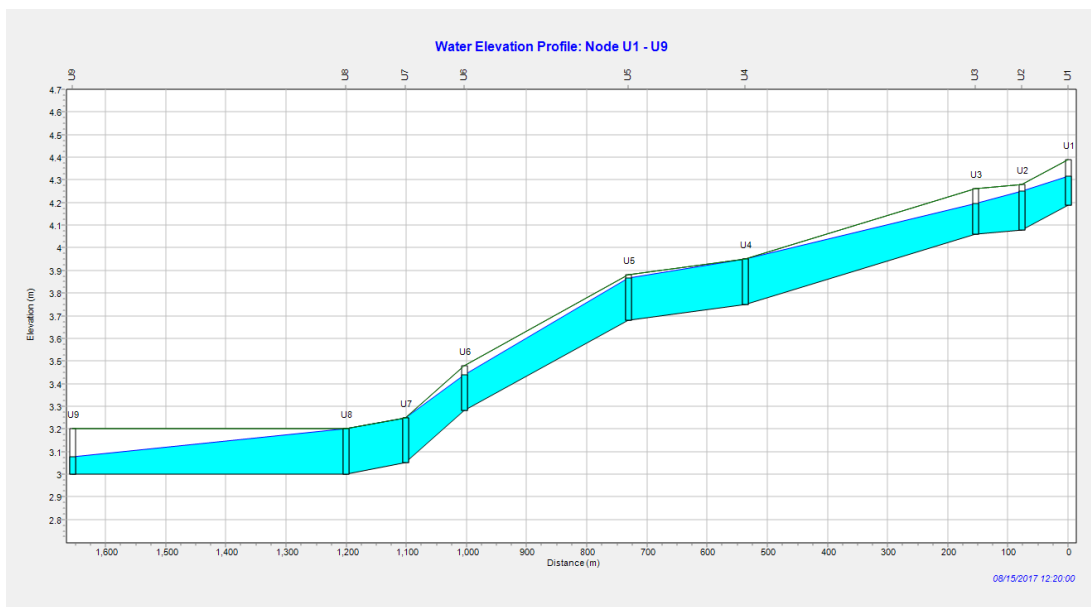
- El aporte en tiempo mojado, es decir, la escorrentía es de 31 727 m³.
- La descarga externa que realiza el sistema es de 13 038 m³, esta descarga se refiere al volumen que ha escurrido por las calles hasta el punto final del sistema de drenaje modelado.
- La descarga interna es de 18 410 m³. Esta descarga se refiere al volumen de agua que sobrepasa los niveles de las calles e intersecciones, provocando inundaciones.
- El volumen final por almacenamiento en las depresiones es de 304 m³.
- El error de continuidad generado en este reporte es aceptable, ya que su valor es de -0.082 %.

En esta simulación aplicando medidas de drenaje sostenible se tiene que 28 de las 37 conducciones o calles tienen sobrecarga, es decir, que en ambas o en al menos una de sus uniones el agua ha llegado al nivel máximo, derivando un volumen de inundación. De estas conducciones con sobrecarga 9 son las más críticas ya que están a su máxima capacidad, es decir, que el agua ha llegado a igualar o sobrepasar los 0.20 m de profundidad de las calles y en ambas uniones existe inundación. Este resultado se puede ver en las tablas del Anexo 6 y en el plano del Anexo 8, las conducciones críticas y los nodos en los que se generan inundación se colorean de rojo.

A continuación, se presenta el perfil de elevación del agua en las conducciones y nodos en el momento más crítico.

En la Figura 37, se presenta el perfil de las uniones U1 a U9, y las conducciones C1 a C8, este perfil corresponde a la calle 10 de Agosto (U1-U3) y Marcel Laniado (U3-U9).

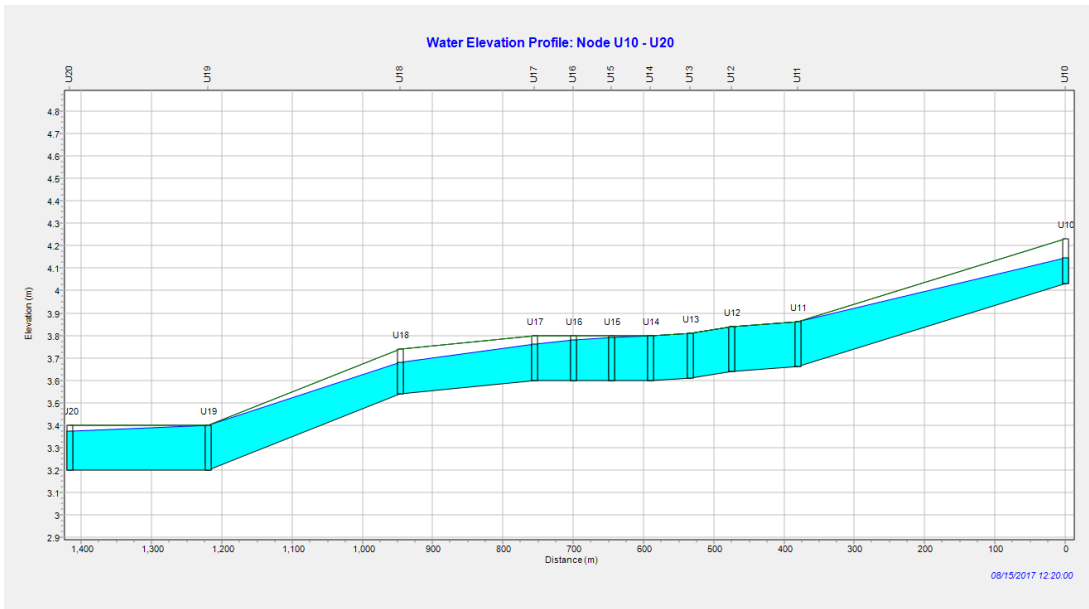
Figura 37. Perfil de elevación de las uniones U1 a U9



Fuente: Elaboración propia en SWMM 5.1

En la Figura 38, se presenta el perfil de las uniones U10 a U20, y las conducciones C9 a C18, este perfil corresponde a las calles: 8va Norte C (U10-U11), Buenavista (U11-U17) y 11ava Norte (U17-U20).

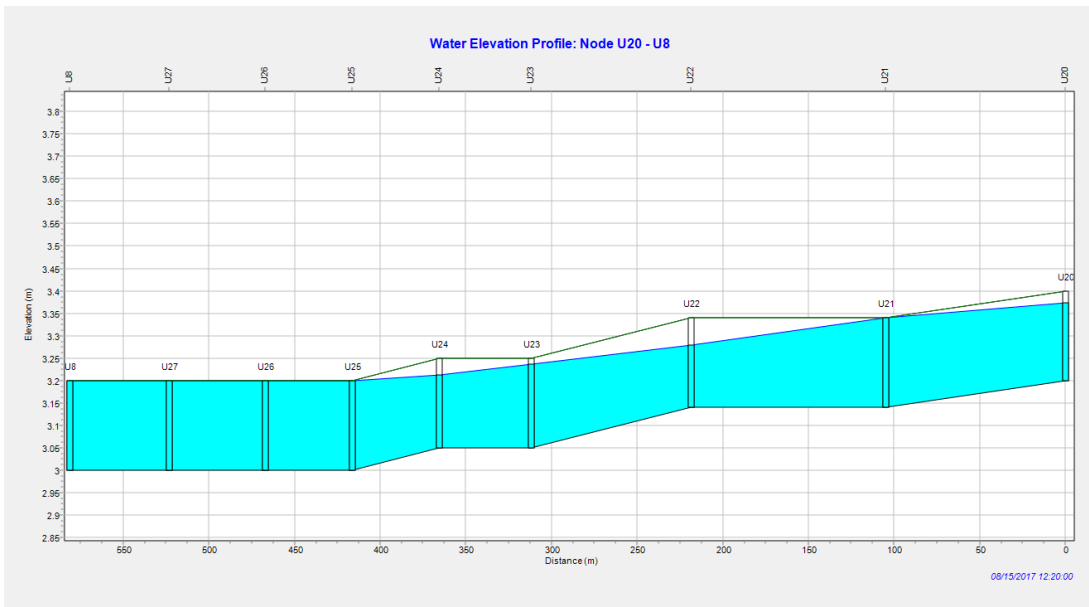
Figura 38. Perfil de elevación de las uniones U10 a U20



Fuente: Elaboración propia en SWMM 5.1

En la Figura 39, se presenta el perfil de las uniones U20 a U8, y las conducciones C19 a C26, este perfil corresponde a la calle Guayas.

Figura 39. Perfil de elevación de las uniones U20 a U8

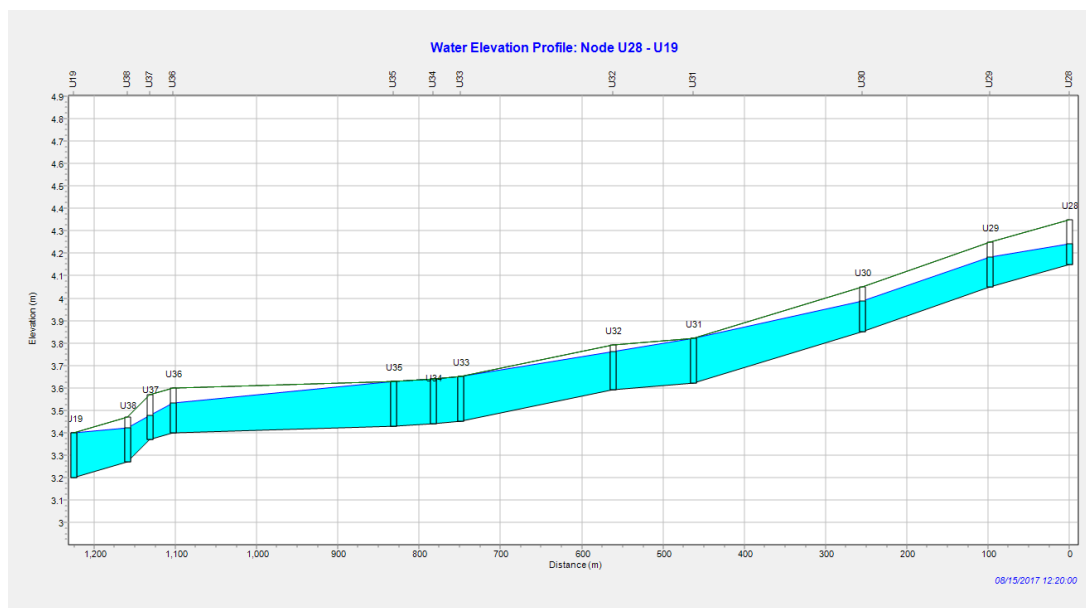


Fuente: Elaboración propia en SWMM 5.1

Y en la Figura 40, se presenta el perfil de las uniones U28 a U19, y las conducciones C27 a C37, este perfil corresponde a las calles: 10 de Agosto (U28-U29), 11va Norte B

(U29-U31), Buenavista (U31-U32), 11ava Norte C (U32-U33), Tarqui (U33-U35), 11ava Norte B (U35-U36) y Juan Montalvo (U36-U19).

Figura 40. Perfil de elevación de las uniones U28 a U19



Fuente: Elaboración propia en SWMM 5.1

3.3.3 Resumen de los escenarios

De los resultados obtenidos para los escenarios 1 y 2, sin aplicación de SUDS y aplicando SUDS, respectivamente. Se puede notar que el número de conducciones y nodos con problemas críticos de inundación no se reduce significativamente y que se mantiene un volumen de inundación. Pero sin embargo este último en el escenario 2, representa el 42.36 % del volumen que se genera en el escenario 1, es decir, hay una reducción de 57.64 %.

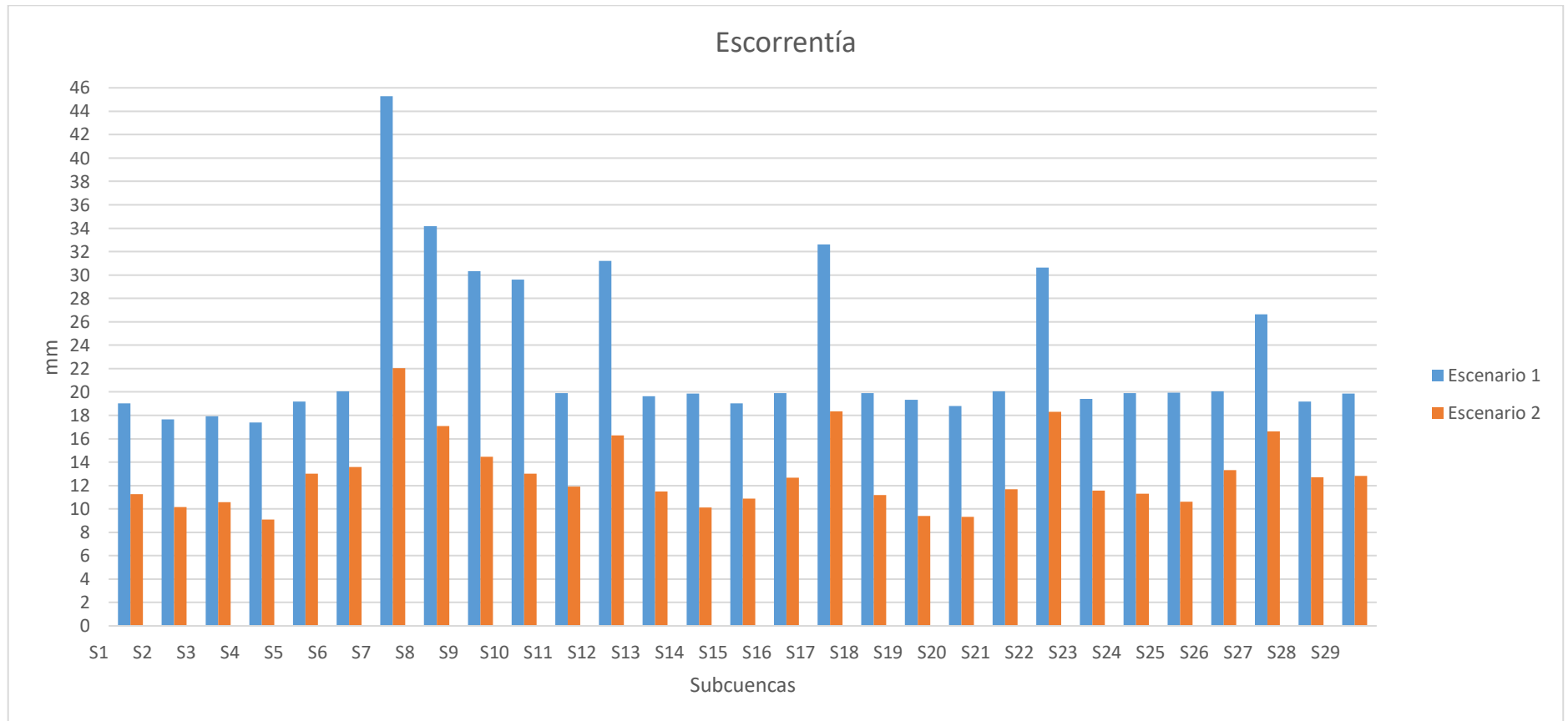
Tabla 16. Resumen de los resultados, Escenario 1 y 2

Escenarios	Conduction		Nodo inundado	Inundación m3	Caudal Pico m3/s	Escurritía mm	Infiltración mm
	Sobrecarga	Criticas					
Escenario 1	33	12	20	43464	10.50	19.27	0.754
Escenario 2	28	9	16	18410	5.91	10.484	2.432

Fuente: Elaboración propia

En el Gráfico 3 se muestran los datos de escorrentía para cada subcuenca y se puede notar la diferencia de escorrentía entre ambos escenarios.

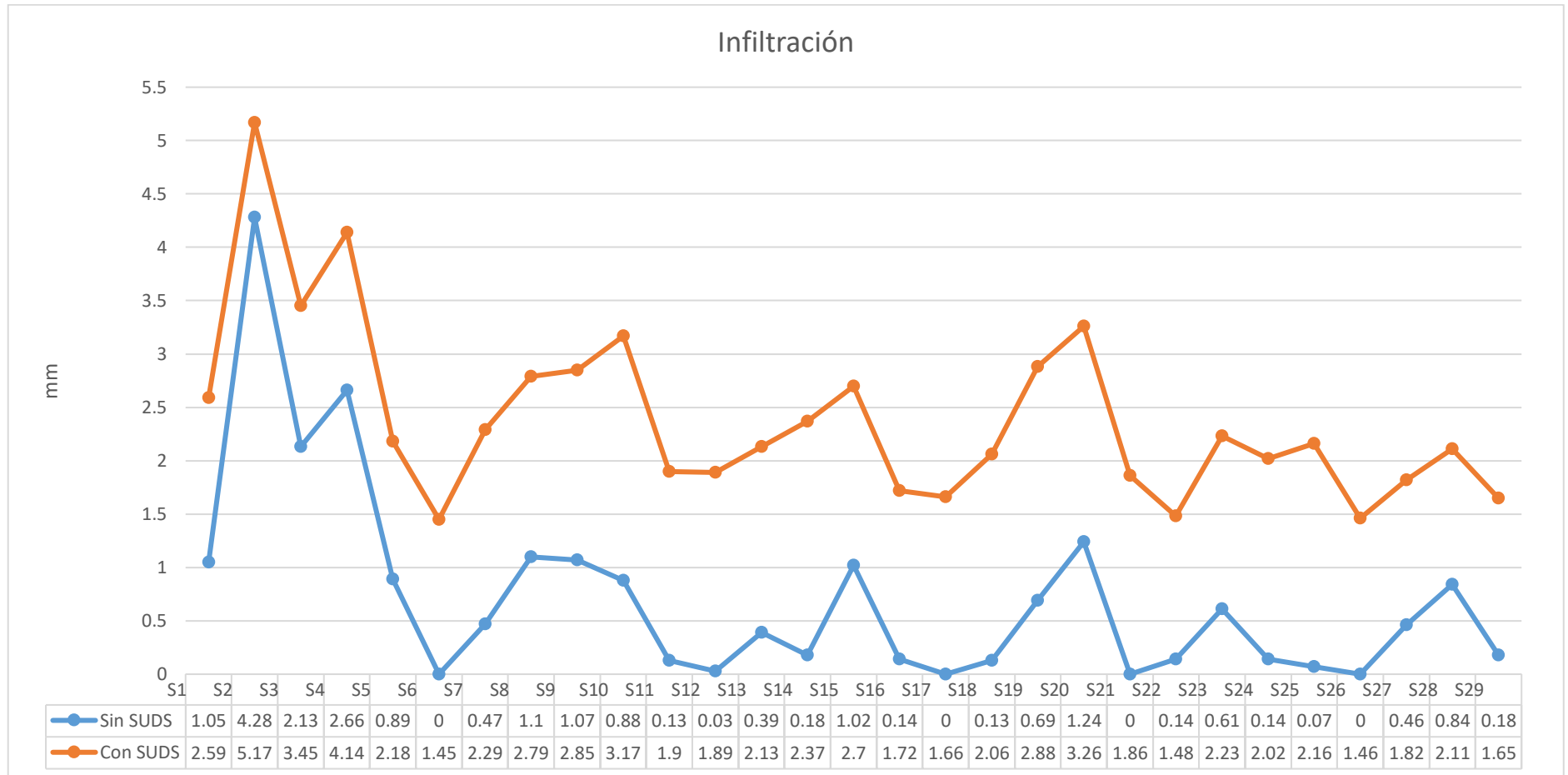
Gráfico 3. Escorrentía en mm de cada subcuenca, Escenario 1 y 2



Fuente: Elaboración propia

En el Gráfico 4 se observan los datos de infiltración para cada subcuenca y se puede notar la diferencia entre ambos escenarios.

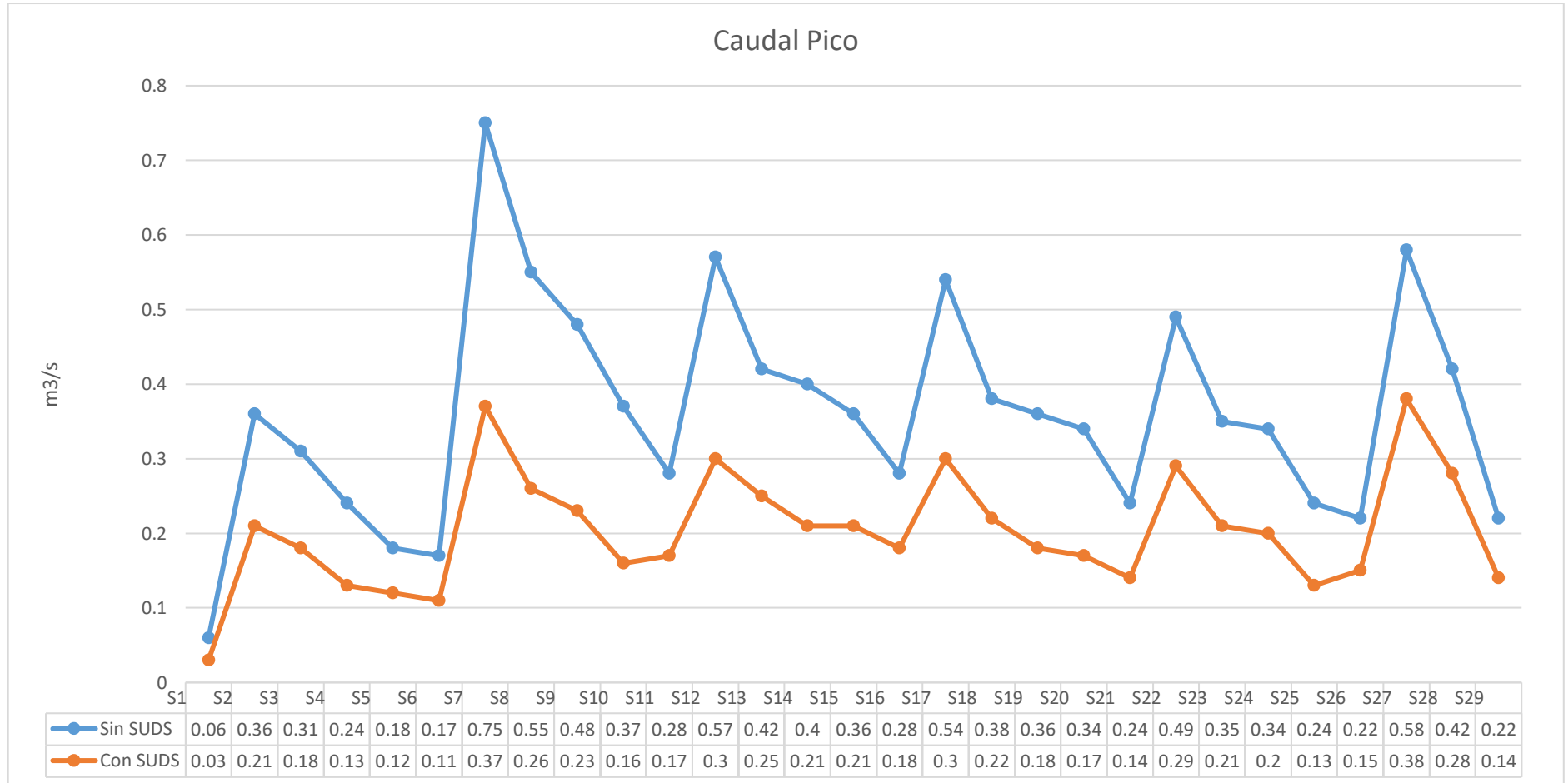
Gráfico 4. Infiltración en mm de cada subcuenca, Escenario 1 y 2



Fuente: Elaboración propia

En el Gráfico 5 se muestran los datos del caudal pico generado en cada subcuenca.

Gráfico 5. Caudal de escorrentía generado en cada subcuenca, Escenario 1 y 2



Fuente: Elaboración propia

3.4 Futuras investigaciones

Se sugiere continuar con la investigación ya que se requiere:

- Ampliar el levantamiento de la información de campo de la cuenca urbana objeto de este estudio, para calibrar y validar el modelo hidrológico realizado en SWMM y la implementación de los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible seleccionados.
- Recopilar información hidráulica del sistema de alcantarillado del cantón Machala y evaluar su funcionamiento.
- Realizar estudios geotécnicos, hidrológicos e hidráulicos para diseñar un pavimento permeable que se ajuste a los criterios técnicos y económicos del sitio estudiado, y demostrar su funcionamiento en SWMM.

IV. Conclusiones

- El cantón Machala está expuesto a constantes inundaciones debido a que se encuentra en una zona de pendientes bajas a nulas y a la falta de planificación del crecimiento urbano. De acuerdo a los datos encontrados, la mayoría de las inundaciones registradas en la zona urbana ocurren en las parroquias urbanas Jubones, La Providencia y Machala, entre los meses de Diciembre a Abril y son ocasionadas por precipitaciones intensas y por el colapso del sistema de alcantarillado.
- Se identificó una cuenca urbana representativa de 302.76 ha con sus respectivas características morfométricas, del levantamiento topográfico y procesamiento de los datos en ArcGIS 10.5. Y su información hidrológica se presenta en forma de hietogramas para periodos de retorno de 5, 10 y 25 años con intervalos de 10 minutos, obtenidos a partir de las curvas IDF realizadas con las ecuaciones representativas de la estación pluviométrica M0072 MACHALA AEROPUERTO.
- La cuenca urbana fue modelada en el software de modelación hidrológica-hidráulica EPA SWMM 5.1 y está compuesta por 29 subcuencas (áreas de drenaje), 37 conducciones (calles), 38 uniones (intersecciones) y un pluviómetro. El modelo hidrológico ha sido ejecutado para periodos de retorno de 5, 10 y 25 años, los resultados indican que en todos los periodos ocurren inundaciones ya que los volúmenes de escorrentía superficial son elevados y la profundidad limite considerada como la altura de la acera es superada. De los periodos de retorno mencionados, se seleccionó el de 25 años para realizar el análisis y propuestas para el control de la inundación.
- Se ha propuesto para el control de las inundaciones la aplicación de dos Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible, como el pavimento permeable y barril de lluvia. Estos SUDS son de tipo control en la fuente y fueron seleccionados porque la zona de estudio está totalmente urbanizada y no hay espacio para implementar otras medidas sostenibles como las zanjas de infiltración o para la construcción de un depósito de detención.
- Los resultados de las simulaciones para el periodo de retorno de 25 años han sido presentados en dos escenarios: el Escenario 1 que corresponde a la simulación sin aplicar medidas de drenaje sostenible, y el Escenario 2 correspondiente a la simulación aplicando medidas de drenaje sostenibles.
- En el Escenario 1, se tiene que las subcuencas generan un caudal pico de 10.50 m³/s y el volumen de inundación es de 43 464 m³, producto de 12 conducciones y 20 uniones que están a sobrecarga. Estos resultados se reflejan en la realidad,

ya que las calles e intersecciones que presentan inundación en el modelo coinciden con calles en las que ya se han registrado inundaciones, como la Av. Marcel Laniado, Guayas y 10 de Agosto.

- En el Escenario 2, se tiene que las subcuencas generan un caudal pico de 5.91 m³/s y el volumen de inundación es de 18 410 m³, producto de 9 conducciones y 16 uniones que están a sobrecarga. Estos resultados indican que la aplicación de los SUDS reducen en un 57.64 % el volumen de inundación.
- Los parámetros de los SUDS utilizados en este trabajo experimental han sido tomados de otras investigaciones y del manual de SWMM. Por lo tanto, cabe destacar que es importante realizar previamente estudios geotécnicos, hidrológicos e hidráulicos para que el análisis se aproxime más a la realidad, y se cumpla con criterios técnicos y económicos. Sobre todo, para el sistema de pavimento permeable ya que su implementación puede resultar costosa en caso de sobreestimar el espesor de sus capas.

V. Recomendaciones

- Los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible son técnicas que reducen el volumen de escorrentía generado por la impermeabilización del suelo debido a la urbanización. Por lo cual, debemos considerar su aplicación en las áreas urbanas y suburbanas de nuestra localidad, para disminuir el volumen de agua que se descarga en los sistemas de alcantarillado y controlar las inundaciones.
- Evaluar la capacidad del actual sistema de alcantarillado sanitario del cantón Machala empleando el software SWMM, así como en la ciudad de Guayaquil. En la cual, EMAPAG e Interagua han utilizado el software para realizar el ajuste y revisión del “PLAN MAESTRO DE AGUA POTABLE, ALCANTARILLADO SANITARIO Y ALCANTARILLADO PLUVIAL”.

Referencias Bibliográficas

- [1] Molina Prieto Luis Fernando, “Resiliencia a inundaciones: nuevo paradigma para el diseño urbano,” *Rev. Arquít.*, vol. 18, pp. 82–94, 2016.
- [2] C. Fernández Illescas and S. Buss, “Ocurrencia y gestión de inundaciones en América Latina y el Caribe: Factores claves y experiencia adquirida,” 2016.
- [3] F. Kong, Y. Ban, H. Yin, P. James, and I. Dronova, “Modeling stormwater management at the city district level in response to changes in land use and low impact development,” *Environ. Model. Softw.*, vol. 95, pp. 132–142, Sep. 2017.
- [4] Tara McCallum, “Conceptualising Urban Water Regulation-The Melbourne System,” Melbourne, Australia, 2014.
- [5] K. F. García Vásconez, “Diseño de un sistema de almacenamiento temporal de aguas de drenaje urbano,” Quito: UCE, 2015.
- [6] M. M. Rojas Rada, “ANÁLISIS HIDRÁULICO DE UN SISTEMA DE DRENAJE URBANO PARA EL CONTROL DE INUNDACIONES, APLICANDO MEDIDAS SOSTENIBLES. SUBCUENCA DEL COLECTOR CAICEDO, CIUDAD DE QUITO,” UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR, 2017.
- [7] A. H. Flores Vega, “DISEÑO DE UN SISTEMA DE DRENAJE SOSTENIBLE PARA LA GESTIÓN DE AGUA LLUVIA EN EL VALLE DE LOS CHILLOS,” Universidad Internacional SEK, 2017.
- [8] R. E. Hernández Uribe, H. Barrios Piña, and A. I. Ramírez, “Análisis de riesgo por inundación: metodología y aplicación a la cuenca Atemajac,” *Tecnol. y Ciencias del Agua*, vol. VIII, no. 3, pp. 5–25, 2017.
- [9] L. Oudin, B. Salavati, C. Furusho-Percot, P. Ribstein, and M. Saadi, “Hydrological impacts of urbanization at the catchment scale,” *J. Hydrol.*, vol. 559, pp. 774–786, Apr. 2018.
- [10] G. M. D. C. MACHALA, “PLAN DE DESARROLLO Y ORDENAMIENTO ACTUALIZACIÓN 2018 TERRITORIAL DEL CANTÓN MACHALA,” Machala, 2018.
- [11] ELUNIVERSO, “Intensa lluvia en Machala causó inundación en varios sectores,” Machala, 30-Jan-2016.
- [12] EL UNIVERSO, “Inundaciones en sectores de El Oro por precipitaciones,”

Machala, 27-Feb-2016.

- [13] EL COMERCIO, "Machala soportó la lluvia más fuerte del año," Machala, 27-Feb-2016.
- [14] EL TELÉGRAFO, "Fuertes lluvias dejan inundaciones y deslaves en 6 cantones de El Oro," Machala, 25-Mar-2017.
- [15] S. Ornés, Y. Parra, R. Martínez, and C. Padrón, "Áreas inundables como espacios públicos estructurantes de la ciudad," *MULTICIENCIAS*, vol. 13, no. 2, pp. 122–131, 2013.
- [16] E. Lepuschitz, "Geographic information systems in mountain risk and disaster management," *Appl. Geogr.*, vol. 63, pp. 212–219, Sep. 2015.
- [17] M. Ellis, E. A.; Romero, J. A.; Hernández, I. U.; Gallo, and C. A.; Alanís, "Evaluación geográfica de áreas susceptibles a inundación en la cuenca del río Tuxpan, Veracruz," *Av. en Investig. Agropecu.*, vol. 16, no. 1, pp. 7–28, 2012.
- [18] M. Y. Esper Angillieri and O. M. Fernández, "Morphometric analysis of river basins using GIS and remote sensing of an Andean section of Route 150, Argentina. A comparison between manual and automated delineation of basins," *Rev. Mex. Ciencias Geológicas*, vol. 34, no. 2, pp. 150–156, 2017.
- [19] F. J. Aparicio Mijares, *FUNDAMENTOS DE HIDROLOGÍA DE SUPERFICIE*, Primera re. México, 1992.
- [20] L. E. Maderey Rascón and A. Jiménez Román, *Principios de Hidrogeografía. Estudio Del Ciclo Hidrológico - Google Libros*, Primera ed. México: Universidad Nacional Autónoma de México, 2005.
- [21] S. J. McGrane, "Impacts of urbanisation on hydrological and water quality dynamics, and urban water management: a review," *Hydrol. Sci. J.*, vol. 61, no. 13, pp. 2295–2311, Oct. 2016.
- [22] C. Li, M. Liu, Y. Hu, T. Shi, X. Qu, and M. T. Walter, "Effects of urbanization on direct runoff characteristics in urban functional zones," *Sci. Total Environ.*, vol. 643, pp. 301–311, Dec. 2018.
- [23] A. Trapote Jaume, "Gestión de las aguas pluviales en entornos urbanos mediante técnicas de Drenaje Sostenible," *J. Eng. Technol.*, vol. 5, no. 2, pp. 26–40, 2016.
- [24] D. M. Rey Valencia and J. D. C. Zambrano Nájera, "Estudio de la respuesta hidrológica en la cuenca urbana de montaña San Luis-Palagrande," *Rev. UIS Ing.*,

vol. 13, no. 1, pp. 115–126, Feb. 2018.

- [25] E. B. M. González, S. E. A. Alonso, and C. C. Ramírez, “MODELACIÓN HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA DEL MANEJO DE LAS AGUAS PLUVIALES URBANAS EN LA PARTE ALTA DE LA SUBCUENCA DEL RÍO SAN JUAN DE DIOS, GUADALAJARA, JALISCO.” *Vivienda y Comunidades Sustentables*, no. 2, pp. 83–104, Jul. 2017.
- [26] J. J. Suárez López, J. Puertas, J. Anta, A. Jácome, and J. M. Álvarez-Campana, “Integrated management of water resources in urban water system: Water Sensitive Urban Development as a strategic approach,” *Ing. del agua*, vol. 18, no. 1, pp. 111–123, Aug. 2014.
- [27] T. D. Fletcher *et al.*, “SUDS, LID, BMPs, WSUD and more – The evolution and application of terminology surrounding urban drainage,” *Urban Water J.*, vol. 12, no. 7, pp. 525–542, Oct. 2015.
- [28] G. A. Villalba *et al.*, “Techos verdes. Contribución de Carpobrotus Acinaciformis al manejo integrado de escurrimientos superficiales urbanos,” *Rev. la Fac. Ciencias Agrar.*, vol. 49, no. 2, pp. 169–181, 2017.
- [29] P. A. Zapperi, “Caracterización del escurrimiento urbano en la ciudad de Bahía Blanca,” *Rev. Univ. Geogr.*, vol. 23, no. 2, pp. 125–150, 2014.
- [30] E. Cárdenas Gutiérrez, Á. Albitar Rodríguez, and J. Jaimes Jaramillo, “Pavimentos permeables. Una aproximación convergente en la construcción de vialidades urbanas y en la preservación del recurso agua,” *Cienc. ergo sum*, vol. 24, no. 2, pp. 173–180, 2017.
- [31] J. Mullaney and T. Lucke, “Practical Review of Pervious Pavement Designs,” *CLEAN - Soil, Air, Water*, vol. 42, no. 2, pp. 111–124, Feb. 2014.
- [32] S. Zhang and Y. Guo, “SWMM Simulation of the Storm Water Volume Control Performance of Permeable Pavement Systems,” *J. Hydrol. Eng.*, vol. 20, no. 8, p. 06014010, Aug. 2015.
- [33] M. Kamali, M. Delkash, and M. Tajrishy, “Evaluation of permeable pavement responses to urban surface runoff,” *J. Environ. Manage.*, vol. 187, pp. 43–53, Feb. 2017.
- [34] H. Li, J. Harvey, and Z. Ge, “Experimental investigation on evaporation rate for enhancing evaporative cooling effect of permeable pavement materials,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 65, pp. 367–375, Aug. 2014.

- [35] V. Ioannidou, S. Arthur, V. Ioannidou, and S. Arthur, "Hydrological Response of a Permeable Pavement Laboratory Rig for Stormwater Management," *Proceedings*, vol. 2, no. 11, p. 607, Aug. 2018.
- [36] N. G. Gogate, P. P. Kalbar, and P. M. Raval, "Assessment of stormwater management options in urban contexts using Multiple Attribute Decision-Making," *J. Clean. Prod.*, vol. 142, pp. 2046–2059, Jan. 2017.
- [37] L. A. Rossman, "Storm Water Management Model User's Manual Version 5.1," Cincinnati, 2015.
- [38] A. Campisano, F. V. Catania, and C. Modica, "Evaluating the SWMM LID Editor rain barrel option for the estimation of retention potential of rainwater harvesting systems," *Urban Water J.*, vol. 14, no. 8, pp. 876–881, Sep. 2017.
- [39] "Depósitos de lluvia – SuD Sostenible." [Online]. Available: <http://sudsostenible.com/tipologia-de-las-tecnicas/medidas-estructurales/depositos-de-lluvia/>. [Accessed: 03-Aug-2019].
- [40] C.-L. Huang, N.-S. Hsu, H.-J. Liu, and Y.-H. Huang, "Optimization of low impact development layout designs for megacity flood mitigation," *J. Hydrol.*, vol. 564, pp. 542–558, Sep. 2018.
- [41] A. Palla and I. Gnecco, "Hydrologic modeling of Low Impact Development systems at the urban catchment scale," *J. Hydrol.*, vol. 528, pp. 361–368, Sep. 2015.
- [42] M. Gómez, "Curso de análisis y rehabilitación de redes de alcantarillado mediante el código SWMM 5.0," Barcelona, 2007.
- [43] L. Rodríguez Fiallos, *ESTUDIO DE LLUVIAS INTENSAS*. Quito: INSTITUTO DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA, 1999.
- [44] R. Balbastre Soldevila, "Análisis comparativo de metodologías de cálculo de tormentas de diseño para su aplicación en hidrología urbana," Universitat Politècnica de València, 2018.
- [45] E. D. Cubides, G. E. Santos, E. D. Cubides, and G. E. Santos, "Control de escorrentías urbanas mediante Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS): Pozos/Zanjas de infiltración," *Entre Cienc. e Ing.*, vol. 12, no. 24, p. 32, Dec. 2018.
- [46] E. Salvadore, J. Bronders, and O. Batelaan, "Hydrological modelling of urbanized

- catchments: A review and future directions,” *J. Hydrol.*, vol. 529, pp. 62–81, Oct. 2015.
- [47] T. Grajales, “EL CONCEPTO DE INVESTIGACION,” 2000.
- [48] D. De Salas, S. Alfaro, M. Martínez, V. Manuel, P. Morales, and C. Margarita, “UNA GUÍA PARA LA ELABORACIÓN DE ESTUDIOS DE CASO,” *Razón y Palabra*, vol. 75, 2011.
- [49] S. Serrano Vincenti, A. Reisancho Puetate, M. J. Borbor-Córdova, and A. M. Stewart-Ibarra, “Análisis de inundaciones costeras por precipitaciones intensas, cambio climático y fenómeno de El Niño. Caso de estudio: Machala.,” *LA GRANJA Rev. CIENCIAS LA VIDA*, vol. 24, no. 2, pp. 53–68, 2016.
- [50] M. F. Guaman Zambrano, “Propuesta de un pavimento de concreto permeable para estacionamientos en zonas urbanas, que evite el estancamiento de aguas pluviales,” Universidad Técnica de Machala, 2019.
- [51] M. A. Camino, M. J. Bó, J. L. Cionchi, A. López de Armentia, J. L. Del Río, and S. G. De Marco, “Estudio morfométrico de las cuencas de drenaje de la vertiente sur del sudeste de la provincia de Buenos Aires (Argentina),” *Rev. Univ. Geogr.*, vol. 27, no. 1, pp. 73–97, 2018.

Anexos

Anexo 1:
Curvas I-D-F
Hietogramas

CURVAS IDF

Estación **M0072 MACHALA AEROPUERTO**

INTERVALOS	ECUACIONES				
5 (min) < 30 (min)	ITR=	43.085	*t [^]	-0.3912	IdTR
30 (min) < 1440 (min)	ITR=	94.664	*t [^]	-0.6276	IdTR

	Idtr	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
5 años	4.010	70.189	53.519	45.669	37.487	32.588	29.064	26.384	24.263	22.534	21.093	19.868	18.812
10 años	4.640	81.216	61.927	52.844	43.376	37.708	33.631	30.529	28.075	26.075	24.406	22.989	21.768
25 años	5.370	93.994	71.670	61.158	50.200	43.640	38.922	35.333	32.492	30.177	28.246	26.606	25.192
50 años	5.880	102.921	78.477	66.966	54.968	47.785	42.618	38.688	35.578	33.043	30.929	29.133	27.585
100 años	6.370	111.498	85.016	72.546	59.549	51.767	46.170	41.912	38.543	35.797	33.506	31.561	29.883

	Idtr	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240
5 años	4.010	17.890	17.077	16.354	15.704	15.118	14.585	14.099	13.652	13.241	12.860	12.506	12.176
10 años	4.640	20.701	19.760	18.923	18.172	17.493	16.877	16.314	15.797	15.321	14.880	14.470	14.089
25 años	5.370	23.958	22.869	21.900	21.031	20.246	19.532	18.880	18.282	17.731	17.221	16.747	16.306
50 años	5.880	26.233	25.041	23.980	23.028	22.168	21.387	20.674	20.019	19.415	18.856	18.338	17.854
100 años	6.370	28.419	27.128	25.978	24.947	24.016	23.169	22.396	21.687	21.033	20.428	19.866	19.342

	Idtr	250	260	270	280	290	300	310	320	330	340	350	360
5 años	4.010	11.868	11.580	11.309	11.053	10.813	10.585	10.369	10.165	9.970	9.785	9.609	9.440
10 años	4.640	13.733	13.399	13.085	12.790	12.511	12.248	11.998	11.762	11.537	11.323	11.118	10.924
25 años	5.370	15.893	15.507	15.144	14.802	14.480	14.175	13.886	13.612	13.352	13.104	12.868	12.642
50 años	5.880	17.403	16.980	16.582	16.208	15.855	15.521	15.205	14.905	14.620	14.348	14.090	13.843
100 años	6.370	18.853	18.394	17.964	17.559	17.176	16.814	16.472	16.147	15.838	15.544	15.264	14.996

	Idtr	370	380	390	400	410	420	430	440	450	460	470	480
5 años	4.010	9.280	9.126	8.978	8.836	8.701	8.570	8.444	8.323	8.207	8.094	7.986	7.881
10 años	4.640	10.737	10.559	10.388	10.225	10.067	9.916	9.771	9.631	9.496	9.366	9.240	9.119
25 años	5.370	12.427	12.220	12.023	11.833	11.651	11.476	11.308	11.146	10.990	10.840	10.694	10.554
50 años	5.880	13.607	13.381	13.165	12.957	12.758	12.566	12.382	12.205	12.034	11.869	11.710	11.556
100 años	6.370	14.741	14.496	14.262	14.037	13.821	13.614	13.414	13.222	13.037	12.858	12.686	12.519

	ldtr	490	500	510	520	530	540	550	560	570	580	590	600
5 años	4.010	7.780	7.682	7.587	7.495	7.406	7.319	7.236	7.154	7.075	6.998	6.924	6.851
10 años	4.640	9.002	8.889	8.779	8.672	8.569	8.469	8.372	8.278	8.187	8.098	8.012	7.927
25 años	5.370	10.418	10.287	10.160	10.037	9.918	9.802	9.690	9.581	9.475	9.372	9.272	9.175
50 años	5.880	11.408	11.264	11.125	10.990	10.859	10.733	10.610	10.491	10.375	10.262	10.153	10.046
100 años	6.370	12.358	12.203	12.052	11.906	11.764	11.627	11.494	11.365	11.239	11.117	10.999	10.883

	ldtr	610	620	630	640	650	660	670	680	690	700	710	720
5 años	4.010	6.780	6.712	6.645	6.579	6.515	6.453	6.393	6.334	6.276	6.219	6.164	6.110
10 años	4.640	7.846	7.766	7.688	7.613	7.539	7.467	7.397	7.329	7.262	7.196	7.133	7.070
25 años	5.370	9.080	8.988	8.898	8.811	8.725	8.642	8.561	8.482	8.404	8.329	8.255	8.183
50 años	5.880	9.942	9.841	9.743	9.647	9.554	9.463	9.374	9.287	9.202	9.120	9.039	8.960
100 años	6.370	10.771	10.662	10.555	10.451	10.350	10.251	10.155	10.061	9.969	9.880	9.792	9.706

	ldtr	730	740	750	760	770	780	790	800	810	820	830	840
5 años	4.010	6.058	6.006	5.956	5.907	5.858	5.811	5.765	5.719	5.675	5.631	5.589	5.547
10 años	4.640	7.009	6.950	6.892	6.834	6.779	6.724	6.670	6.618	6.567	6.516	6.467	6.418
25 años	5.370	8.112	8.043	7.976	7.910	7.845	7.782	7.720	7.659	7.600	7.541	7.484	7.428
50 años	5.880	8.883	8.807	8.733	8.661	8.590	8.521	8.453	8.387	8.321	8.258	8.195	8.134
100 años	6.370	9.623	9.541	9.461	9.383	9.306	9.231	9.157	9.085	9.015	8.946	8.878	8.811

	ldtr	850	860	870	880	890	900	910	920	930	940	950	960
5 años	4.010	5.506	5.466	5.426	5.387	5.349	5.312	5.275	5.239	5.204	5.169	5.135	5.101
10 años	4.640	6.371	6.324	6.279	6.234	6.190	6.146	6.104	6.062	6.021	5.981	5.941	5.902
25 años	5.370	7.373	7.319	7.266	7.214	7.163	7.113	7.064	7.016	6.968	6.922	6.876	6.831
50 años	5.880	8.073	8.014	7.956	7.900	7.844	7.789	7.735	7.682	7.630	7.579	7.529	7.480
100 años	6.370	8.746	8.682	8.619	8.558	8.497	8.438	8.380	8.322	8.266	8.211	8.157	8.103

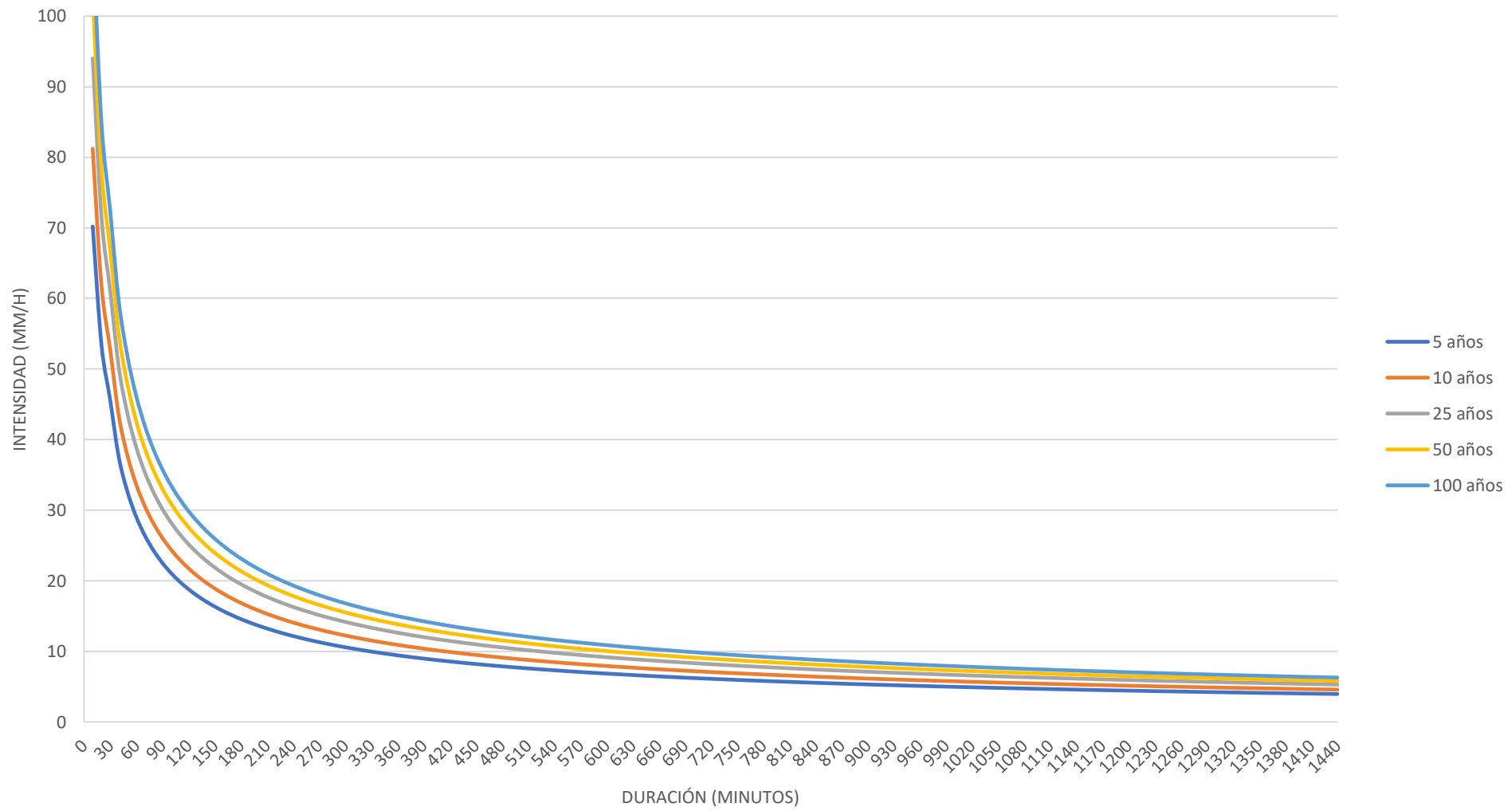
	ldtr	970	980	990	1000	1010	1020	1030	1040	1050	1060	1070	1080
5 años	4.010	5.068	5.035	5.003	4.972	4.941	4.911	4.881	4.851	4.822	4.793	4.765	4.738
10 años	4.640	5.864	5.827	5.790	5.753	5.717	5.682	5.647	5.613	5.580	5.547	5.514	5.482
25 años	5.370	6.787	6.743	6.700	6.658	6.617	6.576	6.536	6.496	6.457	6.419	6.381	6.344
50 años	5.880	7.431	7.384	7.337	7.291	7.245	7.201	7.157	7.113	7.071	7.029	6.987	6.947
100 años	6.370	8.051	7.999	7.948	7.898	7.849	7.801	7.753	7.706	7.660	7.615	7.570	7.526

	ldtr	1090	1100	1110	1120	1130	1140	1150	1160	1170	1180	1190	1200
5 años	4.010	4.710	4.683	4.657	4.631	4.605	4.579	4.554	4.530	4.505	4.481	4.458	4.434
10 años	4.640	5.450	5.419	5.388	5.358	5.328	5.299	5.270	5.241	5.213	5.185	5.158	5.131
25 años	5.370	6.308	6.272	6.236	6.201	6.167	6.133	6.099	6.066	6.033	6.001	5.970	5.938
50 años	5.880	6.907	6.867	6.828	6.790	6.752	6.715	6.678	6.642	6.606	6.571	6.537	6.502
100 años	6.370	7.482	7.440	7.397	7.356	7.315	7.275	7.235	7.196	7.157	7.119	7.081	7.044

	ldtr	1210	1220	1230	1240	1250	1260	1270	1280	1290	1300	1310	1320
5 años	4.010	4.411	4.389	4.366	4.344	4.322	4.301	4.279	4.258	4.238	4.217	4.197	4.177
10 años	4.640	5.104	5.078	5.052	5.027	5.001	4.976	4.952	4.927	4.903	4.880	4.856	4.833
25 años	5.370	5.907	5.877	5.847	5.817	5.788	5.759	5.731	5.703	5.675	5.647	5.620	5.594
50 años	5.880	6.469	6.435	6.402	6.370	6.338	6.306	6.275	6.244	6.214	6.184	6.154	6.125
100 años	6.370	7.008	6.971	6.936	6.901	6.866	6.832	6.798	6.765	6.732	6.699	6.667	6.635

	ldtr	1330	1340	1350	1360	1370	1380	1390	1400	1410	1420	1430	1440
5 años	4.010	4.157	4.138	4.118	4.099	4.081	4.062	4.044	4.025	4.008	3.990	3.972	3.955
10 años	4.640	4.810	4.788	4.765	4.743	4.722	4.700	4.679	4.658	4.637	4.617	4.596	4.576
25 años	5.370	5.567	5.541	5.515	5.490	5.465	5.440	5.415	5.391	5.367	5.343	5.319	5.296
50 años	5.880	6.096	6.067	6.039	6.011	5.984	5.956	5.929	5.903	5.876	5.850	5.825	5.799
100 años	6.370	6.604	6.573	6.542	6.512	6.482	6.453	6.423	6.395	6.366	6.338	6.310	6.283

CURVAS IDF



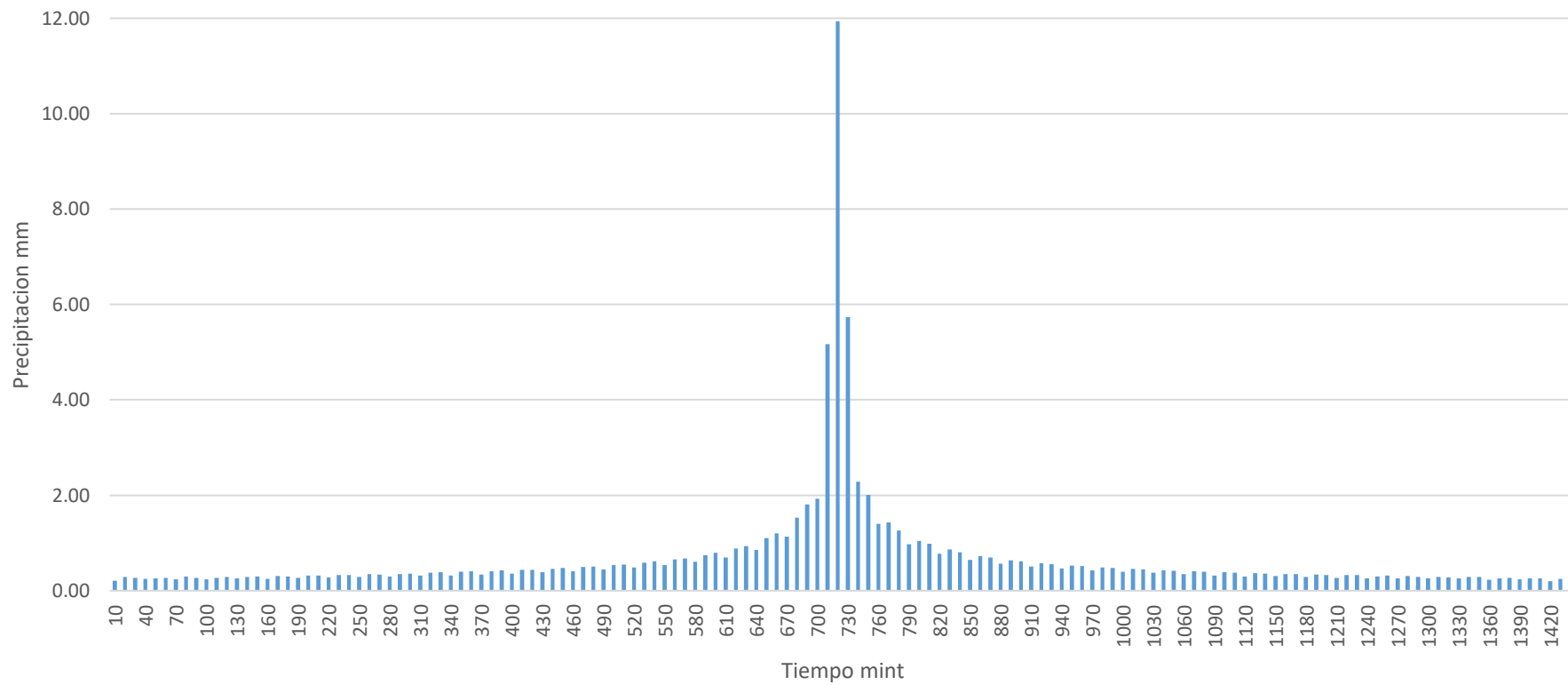
Hietograma de Precipitación - Período de Retorno 5 años

t	t	Intensidad	Precipitación	Dif. Precip.	Dif. Precip. Ordenado
minutos	horas	mm/h	mm	mm	mm
10	0.17	70.189	11.93	11.93	0.21
20	0.33	53.519	17.66	5.73	0.29
30	0.50	45.669	22.83	5.17	0.27
40	0.67	37.487	25.12	2.29	0.25
50	0.83	32.588	27.05	1.93	0.26
60	1.00	29.064	29.06	2.01	0.27
70	1.17	26.384	30.87	1.81	0.24
80	1.33	24.263	32.27	1.40	0.30
90	1.50	22.534	33.80	1.53	0.27
100	1.67	21.093	35.23	1.43	0.24
110	1.83	19.868	36.36	1.13	0.27
120	2.00	18.812	37.62	1.26	0.29
130	2.17	17.89	38.82	1.20	0.26
140	2.33	17.077	39.79	0.97	0.29
150	2.50	16.354	40.89	1.10	0.30
160	2.67	15.704	41.93	1.04	0.25
170	2.83	15.118	42.78	0.85	0.31
180	3.00	14.585	43.76	0.98	0.30
190	3.17	14.099	44.69	0.93	0.27
200	3.33	13.652	45.46	0.77	0.32
210	3.50	13.241	46.34	0.88	0.32
220	3.67	12.86	47.20	0.86	0.28
230	3.83	12.506	47.90	0.70	0.33
240	4.00	12.176	48.70	0.80	0.33
250	4.17	11.868	49.49	0.79	0.29
260	4.33	11.58	50.14	0.65	0.35
270	4.50	11.309	50.89	0.75	0.34
280	4.67	11.053	51.62	0.73	0.30
290	4.83	10.813	52.23	0.61	0.35
300	5.00	10.585	52.93	0.70	0.36
310	5.17	10.369	53.61	0.68	0.32
320	5.33	10.165	54.18	0.57	0.38
330	5.50	9.97	54.84	0.66	0.39
340	5.67	9.785	55.48	0.64	0.32
350	5.83	9.609	56.02	0.54	0.40
360	6.00	9.44	56.64	0.62	0.41
370	6.17	9.28	57.26	0.62	0.34
380	6.33	9.126	57.77	0.51	0.41
390	6.50	8.978	58.36	0.59	0.43
400	6.67	8.836	58.94	0.58	0.36
410	6.83	8.701	59.43	0.49	0.44
420	7.00	8.57	59.99	0.56	0.44
430	7.17	8.444	60.54	0.55	0.39
440	7.33	8.323	61.01	0.47	0.46
450	7.50	8.207	61.55	0.54	0.48
460	7.67	8.094	62.08	0.53	0.41
470	7.83	7.986	62.53	0.45	0.50
480	8.00	7.881	63.05	0.52	0.51

t	t	Intensidad	Precipitación	Dif. Precip.	Dif. Precip. Ordenado
minutos	horas	mm/h	mm	mm	mm
490	8.17	7.78	63.56	0.51	0.45
500	8.33	7.682	63.99	0.43	0.54
510	8.50	7.587	64.49	0.50	0.55
520	8.67	7.495	64.98	0.49	0.49
530	8.83	7.406	65.39	0.41	0.59
540	9.00	7.319	65.87	0.48	0.62
550	9.17	7.236	66.35	0.48	0.54
560	9.33	7.154	66.75	0.40	0.66
570	9.50	7.075	67.21	0.46	0.68
580	9.67	6.998	67.67	0.46	0.61
590	9.83	6.924	68.06	0.39	0.75
600	10.00	6.851	68.51	0.45	0.79
610	10.17	6.78	68.95	0.44	0.70
620	10.33	6.712	69.33	0.38	0.88
630	10.50	6.645	69.77	0.44	0.93
640	10.67	6.579	70.20	0.43	0.85
650	10.83	6.515	70.56	0.36	1.10
660	11.00	6.453	70.98	0.42	1.20
670	11.17	6.393	71.41	0.43	1.13
680	11.33	6.334	71.76	0.35	1.53
690	11.50	6.276	72.17	0.41	1.81
700	11.67	6.219	72.58	0.41	1.93
710	11.83	6.164	72.92	0.34	5.17
720	12.00	6.11	73.32	0.40	11.93
730	12.17	6.058	73.73	0.41	5.73
740	12.33	6.006	74.05	0.32	2.29
750	12.50	5.956	74.45	0.40	2.01
760	12.67	5.907	74.84	0.39	1.40
770	12.83	5.858	75.16	0.32	1.43
780	13.00	5.811	75.54	0.38	1.26
790	13.17	5.765	75.93	0.39	0.97
800	13.33	5.719	76.23	0.30	1.04
810	13.50	5.675	76.61	0.38	0.98
820	13.67	5.631	76.98	0.37	0.77
830	13.83	5.589	77.30	0.32	0.86
840	14.00	5.547	77.66	0.36	0.80
850	14.17	5.506	78.02	0.36	0.65
860	14.33	5.466	78.33	0.31	0.73
870	14.50	5.426	78.68	0.35	0.70
880	14.67	5.387	79.03	0.35	0.57
890	14.83	5.349	79.33	0.30	0.64
900	15.00	5.312	79.68	0.35	0.62
910	15.17	5.275	80.02	0.34	0.51
920	15.33	5.239	80.31	0.29	0.58
930	15.50	5.204	80.66	0.35	0.56
940	15.67	5.169	81.00	0.34	0.47
950	15.83	5.135	81.29	0.29	0.53
960	16.00	5.101	81.62	0.33	0.52
970	16.17	5.068	81.95	0.33	0.43
980	16.33	5.035	82.22	0.27	0.49

t	t	Intensidad	Precipitación	Dif. Precip.	Dif. Precip. Ordenado
minutos	horas	mm/h	mm	mm	mm
990	16.50	5.003	82.55	0.33	0.48
1000	16.67	4.972	82.88	0.33	0.40
1010	16.83	4.941	83.16	0.28	0.46
1020	17.00	4.911	83.49	0.33	0.45
1030	17.17	4.881	83.81	0.32	0.38
1040	17.33	4.851	84.07	0.26	0.43
1050	17.50	4.822	84.39	0.32	0.42
1060	17.67	4.793	84.69	0.30	0.35
1070	17.83	4.765	84.96	0.27	0.41
1080	18.00	4.738	85.28	0.32	0.40
1090	18.17	4.71	85.58	0.30	0.32
1100	18.33	4.683	85.84	0.26	0.39
1110	18.50	4.657	86.15	0.31	0.38
1120	18.67	4.631	86.46	0.31	0.30
1130	18.83	4.605	86.71	0.25	0.37
1140	19.00	4.579	87.00	0.29	0.36
1150	19.17	4.554	87.30	0.30	0.31
1160	19.33	4.53	87.56	0.26	0.35
1170	19.50	4.505	87.85	0.29	0.35
1180	19.67	4.481	88.14	0.29	0.29
1190	19.83	4.458	88.40	0.26	0.34
1200	20.00	4.434	88.68	0.28	0.33
1210	20.17	4.411	88.97	0.29	0.27
1220	20.33	4.389	89.23	0.26	0.33
1230	20.50	4.366	89.50	0.27	0.33
1240	20.67	4.344	89.79	0.29	0.26
1250	20.83	4.322	90.03	0.24	0.30
1260	21.00	4.301	90.32	0.29	0.32
1270	21.17	4.279	90.59	0.27	0.26
1280	21.33	4.258	90.82	0.23	0.31
1290	21.50	4.238	91.12	0.30	0.29
1300	21.67	4.217	91.38	0.26	0.26
1310	21.83	4.197	91.62	0.24	0.29
1320	22.00	4.177	91.89	0.27	0.28
1330	22.17	4.157	92.16	0.27	0.26
1340	22.33	4.138	92.40	0.24	0.29
1350	22.50	4.118	92.66	0.26	0.29
1360	22.67	4.099	92.92	0.26	0.23
1370	22.83	4.081	93.17	0.25	0.26
1380	23.00	4.062	93.43	0.26	0.27
1390	23.17	4.044	93.70	0.27	0.24
1400	23.33	4.025	93.90	0.20	0.26
1410	23.50	4.008	94.19	0.29	0.26
1420	23.67	3.99	94.44	0.25	0.20
1430	23.83	3.972	94.65	0.21	0.25
1440	24.00	3.955	94.92	0.27	0.27

Hietograma de precipitación - TR=5 años



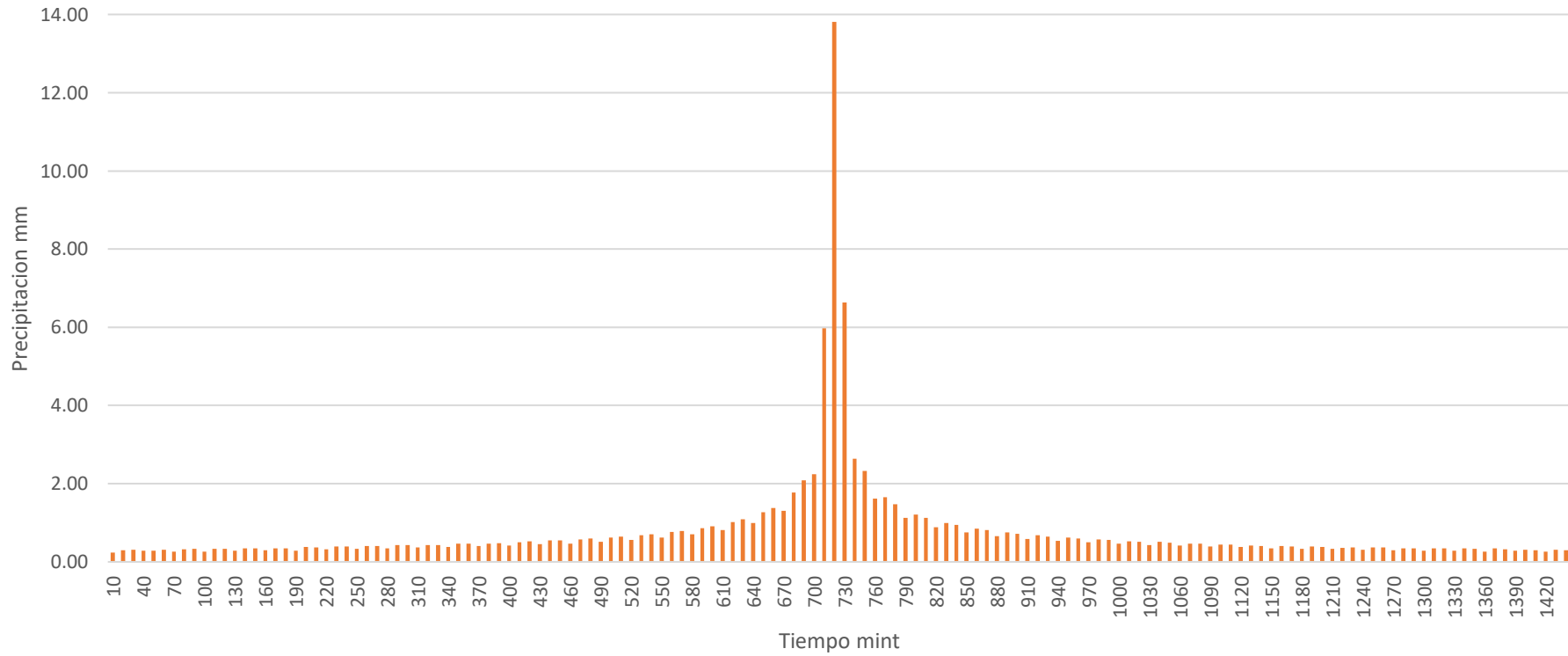
Hietograma de Precipitación - Período de Retorno 10 años

t	t	Intensidad	Precipitacion	Dif. Precip.	Dif. Precip. Ordenado
minutos	horas	mm/h	mm	mm	mm
10	0.17	81.216	13.81	13.81	0.24
20	0.33	61.927	20.44	6.63	0.30
30	0.50	52.844	26.42	5.98	0.31
40	0.67	43.376	29.06	2.64	0.28
50	0.83	37.708	31.30	2.24	0.29
60	1.00	33.631	33.63	2.33	0.31
70	1.17	30.529	35.72	2.09	0.26
80	1.33	28.075	37.34	1.62	0.32
90	1.50	26.075	39.11	1.77	0.33
100	1.67	24.406	40.76	1.65	0.26
110	1.83	22.989	42.07	1.31	0.33
120	2.00	21.768	43.54	1.47	0.33
130	2.17	20.701	44.92	1.38	0.29
140	2.33	19.76	46.04	1.12	0.34
150	2.50	18.923	47.31	1.27	0.35
160	2.67	18.172	48.52	1.21	0.30
170	2.83	17.493	49.51	0.99	0.35
180	3.00	16.877	50.63	1.12	0.35
190	3.17	16.314	51.72	1.09	0.29
200	3.33	15.797	52.60	0.88	0.38
210	3.50	15.321	53.62	1.02	0.37
220	3.67	14.88	54.61	0.99	0.32
230	3.83	14.47	55.42	0.81	0.39
240	4.00	14.089	56.36	0.94	0.39
250	4.17	13.733	57.27	0.91	0.33
260	4.33	13.399	58.02	0.75	0.40
270	4.50	13.085	58.88	0.86	0.41
280	4.67	12.79	59.73	0.85	0.35
290	4.83	12.511	60.43	0.70	0.43
300	5.00	12.248	61.24	0.81	0.43
310	5.17	11.998	62.03	0.79	0.37
320	5.33	11.762	62.69	0.66	0.43
330	5.50	11.537	63.45	0.76	0.43
340	5.67	11.323	64.20	0.75	0.38
350	5.83	11.118	64.82	0.62	0.46
360	6.00	10.924	65.54	0.72	0.46
370	6.17	10.737	66.25	0.71	0.40
380	6.33	10.559	66.84	0.59	0.47
390	6.50	10.388	67.52	0.68	0.48
400	6.67	10.225	68.20	0.68	0.42
410	6.83	10.067	68.76	0.56	0.50
420	7.00	9.916	69.41	0.65	0.52
430	7.17	9.771	70.06	0.65	0.45
440	7.33	9.631	70.60	0.54	0.55
450	7.50	9.496	71.22	0.62	0.55
460	7.67	9.366	71.84	0.62	0.47
470	7.83	9.24	72.35	0.51	0.57
480	8.00	9.119	72.95	0.60	0.60

t	t	Intensidad	Precipitacion	Dif. Precip.	Dif. Precip. Ordenado
minutos	horas	mm/h	mm	mm	mm
490	8.17	9.002	73.55	0.60	0.51
500	8.33	8.889	74.05	0.50	0.62
510	8.50	8.779	74.62	0.57	0.65
520	8.67	8.672	75.19	0.57	0.56
530	8.83	8.569	75.66	0.47	0.68
540	9.00	8.469	76.22	0.56	0.71
550	9.17	8.372	76.77	0.55	0.62
560	9.33	8.278	77.23	0.46	0.76
570	9.50	8.187	77.78	0.55	0.79
580	9.67	8.098	78.31	0.53	0.70
590	9.83	8.012	78.76	0.45	0.86
600	10.00	7.927	79.27	0.51	0.91
610	10.17	7.846	79.79	0.52	0.81
620	10.33	7.766	80.22	0.43	1.02
630	10.50	7.688	80.72	0.50	1.09
640	10.67	7.613	81.23	0.51	0.99
650	10.83	7.539	81.65	0.42	1.27
660	11.00	7.467	82.14	0.49	1.38
670	11.17	7.397	82.62	0.48	1.31
680	11.33	7.329	83.04	0.42	1.77
690	11.50	7.262	83.51	0.47	2.09
700	11.67	7.196	83.98	0.47	2.24
710	11.83	7.133	84.38	0.40	5.98
720	12.00	7.07	84.84	0.46	13.81
730	12.17	7.009	85.30	0.46	6.63
740	12.33	6.95	85.69	0.39	2.64
750	12.50	6.892	86.15	0.46	2.33
760	12.67	6.834	86.59	0.44	1.62
770	12.83	6.779	86.97	0.38	1.65
780	13.00	6.724	87.41	0.44	1.47
790	13.17	6.67	87.84	0.43	1.12
800	13.33	6.618	88.22	0.38	1.21
810	13.50	6.567	88.65	0.43	1.12
820	13.67	6.516	89.07	0.42	0.88
830	13.83	6.467	89.44	0.37	0.99
840	14.00	6.418	89.85	0.41	0.94
850	14.17	6.371	90.28	0.43	0.75
860	14.33	6.324	90.62	0.34	0.85
870	14.50	6.279	91.05	0.43	0.81
880	14.67	6.234	91.45	0.40	0.66
890	14.83	6.19	91.80	0.35	0.75
900	15.00	6.146	92.19	0.39	0.72
910	15.17	6.104	92.60	0.41	0.59
920	15.33	6.062	92.93	0.33	0.68
930	15.50	6.021	93.33	0.40	0.65
940	15.67	5.981	93.72	0.39	0.54
950	15.83	5.941	94.05	0.33	0.62
960	16.00	5.902	94.43	0.38	0.60
970	16.17	5.864	94.82	0.39	0.50
980	16.33	5.827	95.15	0.33	0.57

t	t	Intensidad	Precipitacion	Dif. Precip.	Dif. Precip. Ordenado
minutos	horas	mm/h	mm	mm	mm
990	16.50	5.79	95.54	0.39	0.56
1000	16.67	5.753	95.90	0.36	0.46
1010	16.83	5.717	96.22	0.32	0.53
1020	17.00	5.682	96.59	0.37	0.51
1030	17.17	5.647	96.96	0.37	0.43
1040	17.33	5.613	97.27	0.31	0.51
1050	17.50	5.58	97.65	0.38	0.49
1060	17.67	5.547	98.02	0.37	0.42
1070	17.83	5.514	98.31	0.29	0.47
1080	18.00	5.482	98.68	0.37	0.46
1090	18.17	5.45	99.03	0.35	0.39
1100	18.33	5.419	99.33	0.30	0.44
1110	18.50	5.388	99.68	0.35	0.44
1120	18.67	5.358	100.03	0.35	0.38
1130	18.83	5.328	100.33	0.30	0.42
1140	19.00	5.299	100.68	0.35	0.41
1150	19.17	5.27	101.03	0.35	0.34
1160	19.33	5.241	101.31	0.28	0.40
1170	19.50	5.213	101.65	0.34	0.39
1180	19.67	5.185	101.99	0.34	0.33
1190	19.83	5.158	102.28	0.29	0.39
1200	20.00	5.131	102.62	0.34	0.38
1210	20.17	5.104	102.95	0.33	0.33
1220	20.33	5.078	103.24	0.29	0.36
1230	20.50	5.052	103.57	0.33	0.37
1240	20.67	5.027	103.91	0.34	0.31
1250	20.83	5.001	104.17	0.26	0.37
1260	21.00	4.976	104.50	0.33	0.37
1270	21.17	4.952	104.83	0.33	0.30
1280	21.33	4.927	105.09	0.26	0.35
1290	21.50	4.903	105.41	0.32	0.35
1300	21.67	4.88	105.75	0.34	0.28
1310	21.83	4.856	106.01	0.26	0.34
1320	22.00	4.833	106.33	0.32	0.34
1330	22.17	4.81	106.64	0.31	0.29
1340	22.33	4.788	106.92	0.28	0.34
1350	22.50	4.765	107.21	0.29	0.33
1360	22.67	4.743	107.52	0.31	0.26
1370	22.83	4.722	107.80	0.28	0.34
1380	23.00	4.7	108.10	0.30	0.32
1390	23.17	4.679	108.41	0.31	0.28
1400	23.33	4.658	108.67	0.26	0.31
1410	23.50	4.637	108.97	0.30	0.30
1420	23.67	4.617	109.28	0.31	0.26
1430	23.83	4.596	109.52	0.24	0.31
1440	24.00	4.576	109.82	0.30	0.30

Hietograma de precipitación - TR= 10 años



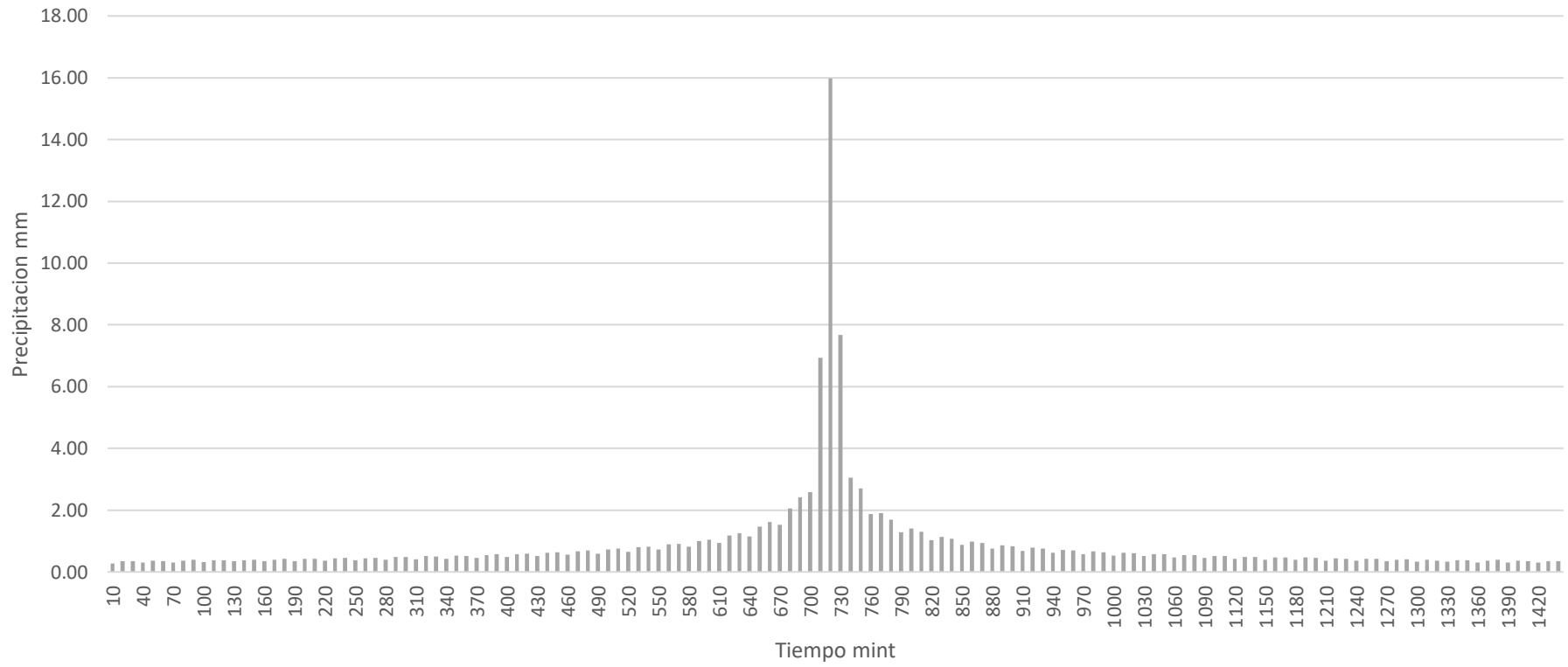
Hietograma de Precipitación - Período de Retorno 25 años

t	t	Intensidad	Precipitación	Dif. Precip.	Dif. Precip. Ordenado
minutos	horas	mm/h	mm	mm	mm
10	0.17	93.994	15.98	15.98	0.28
20	0.33	71.67	23.65	7.67	0.35
30	0.50	61.158	30.58	6.93	0.35
40	0.67	50.2	33.63	3.05	0.31
50	0.83	43.64	36.22	2.59	0.36
60	1.00	38.922	38.92	2.70	0.35
70	1.17	35.333	41.34	2.42	0.31
80	1.33	32.492	43.21	1.87	0.37
90	1.50	30.177	45.27	2.06	0.39
100	1.67	28.246	47.17	1.90	0.32
110	1.83	26.606	48.69	1.52	0.38
120	2.00	25.192	50.38	1.69	0.38
130	2.17	23.958	51.99	1.61	0.35
140	2.33	22.869	53.28	1.29	0.38
150	2.50	21.9	54.75	1.47	0.39
160	2.67	21.031	56.15	1.40	0.35
170	2.83	20.246	57.30	1.15	0.40
180	3.00	19.532	58.60	1.30	0.43
190	3.17	18.88	59.85	1.25	0.35
200	3.33	18.282	60.88	1.03	0.42
210	3.50	17.731	62.06	1.18	0.43
220	3.67	17.221	63.20	1.14	0.37
230	3.83	16.747	64.14	0.94	0.44
240	4.00	16.306	65.22	1.08	0.45
250	4.17	15.893	66.27	1.05	0.38
260	4.33	15.507	67.15	0.88	0.44
270	4.50	15.144	68.15	1.00	0.46
280	4.67	14.802	69.13	0.98	0.40
290	4.83	14.48	69.94	0.81	0.48
300	5.00	14.175	70.88	0.94	0.49
310	5.17	13.886	71.79	0.91	0.41
320	5.33	13.612	72.55	0.76	0.51
330	5.50	13.352	73.44	0.89	0.50
340	5.67	13.104	74.30	0.86	0.43
350	5.83	12.868	75.02	0.72	0.53
360	6.00	12.642	75.85	0.83	0.52
370	6.17	12.427	76.67	0.82	0.46
380	6.33	12.22	77.35	0.68	0.55
390	6.50	12.023	78.15	0.80	0.57
400	6.67	11.833	78.93	0.78	0.48
410	6.83	11.651	79.58	0.65	0.58
420	7.00	11.476	80.33	0.75	0.59
430	7.17	11.308	81.08	0.75	0.51
440	7.33	11.146	81.70	0.62	0.62
450	7.50	10.99	82.43	0.73	0.64
460	7.67	10.84	83.14	0.71	0.56
470	7.83	10.694	83.73	0.59	0.67
480	8.00	10.554	84.43	0.70	0.69

t	t	Intensidad	Precipitación	Dif. Precip.	Dif. Precip. Ordenado
minutos	horas	mm/h	mm	mm	mm
490	8.17	10.418	85.12	0.69	0.59
500	8.33	10.287	85.69	0.57	0.73
510	8.50	10.16	86.36	0.67	0.75
520	8.67	10.037	87.02	0.66	0.65
530	8.83	9.918	87.58	0.56	0.80
540	9.00	9.802	88.22	0.64	0.82
550	9.17	9.69	88.86	0.64	0.72
560	9.33	9.581	89.39	0.53	0.89
570	9.50	9.475	90.01	0.62	0.91
580	9.67	9.372	90.63	0.62	0.81
590	9.83	9.272	91.14	0.51	1.00
600	10.00	9.175	91.75	0.61	1.05
610	10.17	9.08	92.34	0.59	0.94
620	10.33	8.988	92.85	0.51	1.18
630	10.50	8.898	93.43	0.58	1.25
640	10.67	8.811	94.01	0.58	1.15
650	10.83	8.725	94.49	0.48	1.47
660	11.00	8.642	95.06	0.57	1.61
670	11.17	8.561	95.63	0.57	1.52
680	11.33	8.482	96.10	0.47	2.06
690	11.50	8.404	96.65	0.55	2.42
700	11.67	8.329	97.20	0.55	2.59
710	11.83	8.255	97.66	0.46	6.93
720	12.00	8.183	98.20	0.54	15.98
730	12.17	8.112	98.72	0.52	7.67
740	12.33	8.043	99.17	0.45	3.05
750	12.50	7.976	99.70	0.53	2.70
760	12.67	7.91	100.22	0.52	1.87
770	12.83	7.845	100.65	0.43	1.90
780	13.00	7.782	101.17	0.52	1.69
790	13.17	7.72	101.67	0.50	1.29
800	13.33	7.659	102.09	0.42	1.40
810	13.50	7.6	102.60	0.51	1.30
820	13.67	7.541	103.09	0.49	1.03
830	13.83	7.484	103.50	0.41	1.14
840	14.00	7.428	103.99	0.49	1.08
850	14.17	7.373	104.48	0.49	0.88
860	14.33	7.319	104.88	0.40	0.98
870	14.50	7.266	105.36	0.48	0.94
880	14.67	7.214	105.83	0.47	0.76
890	14.83	7.163	106.23	0.40	0.86
900	15.00	7.113	106.70	0.47	0.83
910	15.17	7.064	107.16	0.46	0.68
920	15.33	7.016	107.56	0.40	0.78
930	15.50	6.968	108.00	0.44	0.75
940	15.67	6.922	108.47	0.47	0.62
950	15.83	6.876	108.85	0.38	0.71
960	16.00	6.831	109.30	0.45	0.70
970	16.17	6.787	109.75	0.45	0.57
980	16.33	6.743	110.11	0.36	0.66

t	t	Intensidad	Precipitación	Dif. Precip.	Dif. Precip. Ordenado
minutos	horas	mm/h	mm	mm	mm
990	16.50	6.7	110.55	0.44	0.64
1000	16.67	6.658	110.99	0.44	0.53
1010	16.83	6.617	111.36	0.37	0.62
1020	17.00	6.576	111.79	0.43	0.61
1030	17.17	6.536	112.22	0.43	0.51
1040	17.33	6.496	112.58	0.36	0.58
1050	17.50	6.457	113.00	0.42	0.57
1060	17.67	6.419	113.42	0.42	0.47
1070	17.83	6.381	113.77	0.35	0.55
1080	18.00	6.344	114.19	0.42	0.54
1090	18.17	6.308	114.62	0.43	0.45
1100	18.33	6.272	114.97	0.35	0.52
1110	18.50	6.236	115.37	0.40	0.52
1120	18.67	6.201	115.77	0.40	0.42
1130	18.83	6.167	116.12	0.35	0.49
1140	19.00	6.133	116.53	0.41	0.49
1150	19.17	6.099	116.92	0.39	0.40
1160	19.33	6.066	117.26	0.34	0.47
1170	19.50	6.033	117.64	0.38	0.47
1180	19.67	6.001	118.04	0.40	0.40
1190	19.83	5.97	118.39	0.35	0.47
1200	20.00	5.938	118.76	0.37	0.45
1210	20.17	5.907	119.14	0.38	0.36
1220	20.33	5.877	119.48	0.34	0.44
1230	20.50	5.847	119.86	0.38	0.43
1240	20.67	5.817	120.24	0.38	0.36
1250	20.83	5.788	120.56	0.32	0.42
1260	21.00	5.759	120.94	0.38	0.42
1270	21.17	5.731	121.33	0.39	0.35
1280	21.33	5.703	121.64	0.31	0.40
1290	21.50	5.675	122.01	0.37	0.41
1300	21.67	5.647	122.37	0.36	0.34
1310	21.83	5.62	122.68	0.31	0.40
1320	22.00	5.594	123.07	0.39	0.37
1330	22.17	5.567	123.42	0.35	0.34
1340	22.33	5.541	123.73	0.31	0.38
1350	22.50	5.515	124.09	0.36	0.38
1360	22.67	5.49	124.46	0.37	0.31
1370	22.83	5.465	124.77	0.31	0.36
1380	23.00	5.44	125.12	0.35	0.39
1390	23.17	5.415	125.47	0.35	0.31
1400	23.33	5.391	125.77	0.30	0.37
1410	23.50	5.367	126.12	0.35	0.35
1420	23.67	5.343	126.47	0.35	0.30
1430	23.83	5.319	126.75	0.28	0.35
1440	24.00	5.296	127.10	0.35	0.35

Hietograma de precipitación - TR= 25 años



Anexo 2:
Porcentaje de
impermeabilidad de las
subcuencas

Porcentaje de Impermeabilidad para cada Subcuenca

Subcuenca	Área Total	Área Impermeable	Impermeabilidad
	ha	ha	%
S1	1.43	1.35	94.45
S2	13.78	10.70	77.62
S3	10.66	9.47	88.80
S4	7.86	6.76	86.01
S5	5.06	4.82	95.30
S6	4.41	4.41	100
S7	12.89	12.59	97.68
S8	12.51	11.82	94.47
S9	12.01	11.36	94.59
S10	9.26	8.84	95.51
S11	8.15	8.10	99.34
S12	14.46	14.44	99.86
S13	13.96	13.67	97.93
S14	13.4	13.27	99.06
S15	11.78	11.15	94.63
S16	8.29	8.23	99.27
S17	13.09	13.09	100
S18	12.38	12.30	99.34
S19	11.67	11.25	96.37
S20	11.47	10.72	93.48
S21	6.66	6.66	100
S22	12.42	12.33	99.30
S23	11.65	11.27	96.77
S24	10.86	10.78	99.25
S25	7.88	7.85	99.61
S26	6.25	6.25	100
S27	17.69	17.27	97.65
S28	14.78	14.13	95.57
S29	6.05	5.99	99.05
TOTAL	302.76	290.87	96.07

Anexo 3:
Parámetros de las
subcuencas,
conducciones y uniones

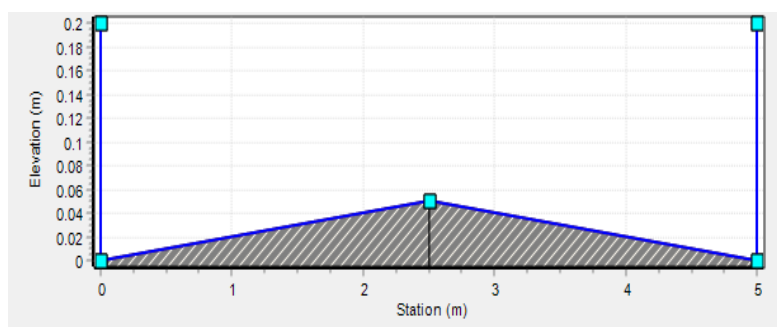
Parámetros de las subcuencas

Subcuenca	Área	Ancho	Impermeabilidad	Pendiente	Coef. Manning		Almacenamiento en depresiones (mm)		%Zero-Imperv	Punto de descarga	Pluviometro	Horton		
	ha	m			%	%	Impermeable	Permeable				Impermeable	Permeable	Infil. Max mm/h
S1	1.43	177.07	94.45	3.99	0.012	0.14	1.6	7.5	25	S2	LLUVIA1	25	3	4
S2	13.78	344.52	77.62	3.99	0.012	0.14	1.6	7.5	25	S7	LLUVIA1	25	3	4
S3	10.66	305.97	88.80	3.99	0.012	0.14	1.6	7.5	25	S8	LLUVIA1	25	3	4
S4	7.86	330.79	86.01	3.99	0.012	0.14	1.6	7.5	25	S9	LLUVIA1	25	3	4
S5	5.06	275.08	95.30	3.99	0.012	0.14	1.6	7.5	25	S10	LLUVIA1	25	3	4
S6	4.41	275.74	100.00	3.99	0.012	0.14	1.6	7.5	25	S7	LLUVIA1	25	3	4
S7	12.89	362.95	97.68	3.99	0.012	0.14	1.6	7.5	25	U1	LLUVIA1	25	3	4
S8	12.51	362.32	94.47	3.99	0.012	0.14	1.6	7.5	25	U10	LLUVIA1	25	3	4
S9	12.01	356.64	94.59	3.99	0.012	0.14	1.6	7.5	25	U29	LLUVIA1	25	3	4
S10	9.26	307.77	95.51	3.99	0.012	0.14	1.6	7.5	25	U28	LLUVIA1	25	3	4
S11	8.15	336.17	99.34	3.99	0.012	0.14	1.6	7.5	25	S12	LLUVIA1	25	3	4
S12	14.46	372.93	99.86	3.99	0.012	0.14	1.6	7.5	25	U4	LLUVIA1	25	3	4
S13	13.96	366.35	97.93	3.99	0.012	0.14	1.6	7.5	25	U11	LLUVIA1	25	3	4
S14	13.4	355.73	99.06	3.99	0.012	0.14	1.6	7.5	25	U14	LLUVIA1	25	3	4
S15	11.78	365.93	94.63	3.99	0.012	0.14	1.6	7.5	25	U31	LLUVIA1	25	3	4
S16	8.29	333.35	99.27	3.99	0.012	0.14	1.6	7.5	25	S17	LLUVIA1	25	3	4
S17	13.09	345.49	100.00	3.99	0.012	0.14	1.6	7.5	25	U5	LLUVIA1	25	3	4
S18	12.38	339.35	99.34	3.99	0.012	0.14	1.6	7.5	25	U12	LLUVIA1	25	3	4
S19	11.67	346.80	96.37	3.99	0.012	0.14	1.6	7.5	25	U18	LLUVIA1	25	3	4
S20	11.47	332.78	93.48	3.99	0.012	0.14	1.6	7.5	25	U34	LLUVIA1	25	3	4
S21	6.66	297.96	100.00	3.99	0.012	0.14	1.6	7.5	25	S22	LLUVIA1	25	3	4
S22	12.42	318.87	99.30	3.99	0.012	0.14	1.6	7.5	25	U7	LLUVIA1	25	3	4
S23	11.65	321.13	96.77	3.99	0.012	0.14	1.6	7.5	25	U8	LLUVIA1	25	3	4
S24	10.86	338.84	99.25	3.99	0.012	0.14	1.6	7.5	25	U20	LLUVIA1	25	3	4
S25	7.88	214.02	99.61	3.99	0.012	0.14	1.6	7.5	25	U36	LLUVIA1	25	3	4
S26	6.25	262.66	100.00	3.99	0.012	0.14	1.6	7.5	25	S27	LLUVIA1	25	3	4
S27	17.69	403.62	97.65	3.99	0.012	0.14	1.6	7.5	25	U8	LLUVIA1	25	3	4
S28	14.78	353.15	95.57	3.99	0.012	0.14	1.6	7.5	25	U26	LLUVIA1	25	3	4
S29	6.05	295.63	99.05	3.99	0.012	0.14	1.6	7.5	25	U21	LLUVIA1	25	3	4

Parámetros de las conducciones

Conducción	Longitud (m)	Inicio	Fin	Coef. Rugosidad	Sección	
					Ancho (m)	Alto (m)
C1	77.14	U1	U2	0.011	5.00	0.20
C2	77.26	U2	U3	0.011	5.00	0.20
C3	382.71	U3	U4	0.011	5.00	0.20
C4	193.69	U4	U5	0.011	5.00	0.20
C5	273.61	U5	U6	0.011	5.00	0.20
C6	97.77	U6	U7	0.011	5.00	0.20
C7	98.86	U7	U8	0.011	5.00	0.20
C8	454.34	U8	U9	0.011	5.00	0.20
C9	380.42	U10	U11	0.011	5.00	0.20
C10	95.12	U11	U12	0.011	5.00	0.20
C11	58.63	U12	U13	0.011	5.00	0.20
C12	56.47	U13	U14	0.011	5.00	0.20
C13	55.51	U14	U15	0.011	5.00	0.20
C14	54.46	U15	U16	0.011	5.00	0.20
C15	55.46	U16	U17	0.011	5.00	0.20
C16	189.82	U17	U18	0.011	5.00	0.20
C17	274.02	U18	U19	0.011	5.00	0.20
C18	196.79	U19	U20	0.011	5.00	0.20
C19	105.1	U20	U21	0.011	5.00	0.20
C20	113.37	U21	U22	0.011	5.00	0.20
C21	93.45	U22	U23	0.011	5.00	0.20
C22	53.86	U23	U24	0.011	5.00	0.20
C23	50.87	U24	U25	0.011	5.00	0.20
C24	50.47	U25	U26	0.011	5.00	0.20
C25	56.47	U26	U27	0.011	5.00	0.20
C26	57.82	U27	U8	0.011	5.00	0.20
C27	98.09	U28	U29	0.011	5.00	0.20
C28	156.76	U29	U30	0.011	5.00	0.20
C29	208.32	U30	U31	0.011	5.00	0.20
C30	98.32	U31	U32	0.011	5.00	0.20
C31	188.24	U32	U33	0.011	5.00	0.20
C32	33.42	U33	U34	0.011	5.00	0.20
C33	48.57	U34	U35	0.011	5.00	0.20
C34	271.53	U35	U36	0.011	5.00	0.20
C35	28.86	U36	U37	0.011	5.00	0.20
C36	27.11	U37	U38	0.011	5.00	0.20
C37	66.28	U38	U19	0.011	5.00	0.20

Sección de las conducciones o calles



Parámetros de las uniones

Unión	Cota
U1	4.19
U2	4.08
U3	4.06
U4	3.75
U5	3.68
U6	3.28
U7	3.05
U8	3.00
U9	3.00
U10	4.03
U11	3.66
U12	3.64
U13	3.61
U14	3.60
U15	3.60
U16	3.60
U17	3.60
U18	3.54
U19	3.20
U20	3.20
U21	3.14
U22	3.14
U23	3.05
U24	3.05
U25	3.00
U26	3.00
U27	3.00
U28	4.15
U29	4.05
U30	3.85
U31	3.62
U32	3.59
U33	3.45
U34	3.44
U35	3.43
U36	3.40
U37	3.37
U38	3.27

Anexo 4:
**Parámetros para la
aplicación de los SUDS**

Ancho de las subcuencas después de aplicar los SUDS

Subcuencas	Long. Flujo	Sin SUDS			Con SUDS		
		Área		Ancho	Área SUDS	Área	Ancho
		m	ha	m2	m	m2	m2
S1	80.70	1.43	14290.06	177.07	838.65	13451.41	166.68
S2	400.00	13.78	137809.09	344.52	8196.30	129612.78	324.03
S3	348.55	10.66	106644.78	305.97	6300.29	100344.49	287.89
S4	237.60	7.86	78595.64	330.79	5443.30	73152.34	307.88
S5	183.90	5.06	50587.45	275.08	2457.94	48129.51	261.72
S6	159.84	4.41	44075.02	275.74	2103.63	41971.39	262.58
S7	355.04	12.89	128861.19	362.95	8085.62	120775.56	340.17
S8	345.19	12.51	125069.94	362.32	7969.99	117099.95	339.23
S9	336.88	12.01	120145.05	356.64	8028.77	112116.28	332.81
S10	300.88	9.26	92601.34	307.77	7701.71	84899.63	282.17
S11	242.37	8.15	81478.37	336.17	4921.87	76556.50	315.87
S12	387.83	14.46	144635.04	372.93	8926.61	135708.43	349.92
S13	380.98	13.96	139573.51	366.35	8532.19	131041.32	343.96
S14	376.75	13.4	134021.76	355.73	10074.33	123947.43	328.99
S15	321.80	11.78	117756.73	365.93	7482.94	110273.79	342.68
S16	248.58	8.29	82863.85	333.35	4458.33	78405.53	315.41
S17	378.77	13.09	130861.44	345.49	7133.40	123728.04	326.66
S18	364.87	12.38	123820.30	339.35	8153.80	115666.51	317.01
S19	336.43	11.67	116673.54	346.80	9243.16	107430.38	319.32
S20	344.79	11.47	114740.54	332.78	8899.14	105841.40	306.97
S21	223.47	6.66	66585.67	297.96	4152.44	62433.23	279.38
S22	389.40	12.42	124168.20	318.87	5577.11	118591.09	304.55
S23	362.77	11.65	116496.44	321.13	6795.82	109700.62	302.40
S24	320.52	10.86	108604.53	338.84	6947.58	101656.95	317.16
S25	376.25	7.88	80524.96	214.02	5568.81	74956.14	199.22
S26	238.07	6.25	62531.82	262.66	3026.91	59504.91	249.95
S27	438.17	17.69	176852.85	403.62	8446.87	168405.98	384.34
S28	418.54	14.78	147807.45	353.15	7072.46	140734.99	336.25
S29	204.60	6.05	60486.76	295.63	3023.54	57463.21	280.86

Pavimento Permeable

Subcuenca	Área total	Área Aceras Reemplazada por el Pavimento Permeable			Área Impermeable Tratada	
	ha	ha	m2	%	ha	%
S1	1.43	0.0839	838.65	5.86	0.42	29.32
S2	13.78	0.8196	8196.30	5.95	4.10	29.74
S3	10.66	0.6300	6300.29	5.91	3.15	29.55
S4	7.86	0.5443	5443.30	6.93	2.72	34.63
S5	5.06	0.2458	2457.94	4.86	1.23	24.29
S6	4.41	0.2104	2103.63	4.77	1.05	23.85
S7	12.89	0.8086	8085.62	6.27	4.04	31.36
S8	12.51	0.7970	7969.99	6.37	3.98	31.85
S9	12.01	0.8029	8028.77	6.69	4.01	33.43
S10	9.26	0.7702	7701.71	8.32	3.85	41.59
S11	8.15	0.4922	4921.87	6.04	2.46	30.20
S12	14.46	0.8927	8926.61	6.17	4.46	30.87
S13	13.96	0.8532	8532.19	6.11	4.27	30.56
S14	13.4	1.0074	10074.33	7.52	5.04	37.59
S15	11.78	0.7483	7482.94	6.35	3.74	31.76
S16	8.29	0.4458	4458.33	5.38	2.23	26.89
S17	13.09	0.7133	7133.40	5.45	3.57	27.25
S18	12.38	0.8154	8153.80	6.59	4.08	32.93
S19	11.67	0.9243	9243.16	7.92	4.62	39.60
S20	11.47	0.8899	8899.14	7.76	4.45	38.79
S21	6.66	0.4152	4152.44	6.23	2.08	31.17
S22	12.42	0.5577	5577.11	4.49	2.79	22.45
S23	11.65	0.6796	6795.82	5.83	3.40	29.17
S24	10.86	0.6948	6947.58	6.40	3.47	31.99
S25	7.88	0.5569	5568.81	7.07	2.78	35.34
S26	6.25	0.3027	3026.91	4.84	1.51	24.22
S27	17.69	0.8447	8446.87	4.77	4.22	23.87
S28	14.78	0.7072	7072.46	4.79	3.54	23.93
S29	6.05	0.3024	3023.54	5.00	1.51	24.99

Barril de lluvia

Subcuenca	Área total	Area ocupada por el barril de lluvia			Área Impermeable Tratada	
	ha	# de viviendas	m2	%	m2	%
S1	1.43	15.00	11.85	0.083	559.49	3.91
S2	13.78	105.00	82.95	0.060	3916.43	2.84
S3	10.66	105.00	82.95	0.078	3916.43	3.67
S4	7.86	105.00	82.95	0.106	3916.43	4.98
S5	5.06	10.00	7.90	0.016	372.99	0.74
S6	4.41	20.00	15.80	0.036	745.99	1.69
S7	12.89	120.00	94.80	0.074	4475.92	3.47
S8	12.51	100.00	79.00	0.063	3729.93	2.98
S9	12.01	105.00	82.95	0.069	3916.43	3.26
S10	9.26	105.00	82.95	0.090	3916.43	4.23
S11	8.15	50.00	39.50	0.048	1864.97	2.29
S12	14.46	120.00	94.80	0.066	4475.92	3.10
S13	13.96	120.00	94.80	0.068	4475.92	3.21
S14	13.4	110.00	86.90	0.065	4102.93	3.06
S15	11.78	100.00	79.00	0.067	3729.93	3.17
S16	8.29	50.00	39.50	0.048	1864.97	2.25
S17	13.09	100.00	79.00	0.060	3729.93	2.85
S18	12.38	100.00	79.00	0.064	3729.93	3.01
S19	11.67	110.00	86.90	0.074	4102.93	3.52
S20	11.47	100.00	79.00	0.069	3729.93	3.25
S21	6.66	50.00	39.50	0.059	1864.97	2.80
S22	12.42	110.00	86.90	0.070	4102.93	3.30
S23	11.65	120.00	94.80	0.081	4475.92	3.84
S24	10.86	100.00	79.00	0.073	3729.93	3.43
S25	7.88	70.00	55.30	0.070	2610.95	3.31
S26	6.25	50.00	39.50	0.063	1864.97	2.98
S27	17.69	120.00	94.80	0.054	4475.92	2.53
S28	14.78	120.00	94.80	0.064	4475.92	3.03
S29	6.05	60.00	47.40	0.078	2237.96	3.70

Anexo 5:
Resultados de las
simulaciones para el
Escenario 1

Periodo de retorno de 5 años

Reporte de continuidad de escorrentía

	Volume hectare-m	Depth mm
Runoff Quantity Continuity		
Total Precipitation	4.789	15.820
Evaporation Loss	0.000	0.000
Infiltration Loss	0.201	0.664
Surface Runoff	4.243	14.016
Final Storage	0.358	1.183
Continuity Error (%)	-0.269	

Elementos	Entrada (m3)	Salida (m3)
Precipitacion	47890	
Evaporacion		
Infiltracion		2010
Escorrentia		42430
Almacenamiento		3580
Total	47890	48020
% Error		-0.271

Reporte de continuidad de enrutamiento de flujo

	Volume hectare-m	Volume 10^6 ltr
Flow Routing Continuity		
Dry Weather Inflow	0.000	0.000
Wet Weather Inflow	4.242	42.425
Groundwater Inflow	0.000	0.000
RDII Inflow	0.000	0.000
External Inflow	0.000	0.000
External Outflow	1.368	13.680
Flooding Loss	2.860	28.601
Evaporation Loss	0.000	0.000
Exfiltration Loss	0.000	0.000
Initial Stored Volume	0.000	0.000
Final Stored Volume	0.016	0.162
Continuity Error (%)	-0.041	

Elementos	Entrada (m3)	Salida (m3)
Escurrimiento	42425	
Descarga		13680
Inundación		28601
Depositos		162
Total	42425	42443
Error		-0.042

Subcuencas

Subcatchment	Total Precip	Total Runon	Total Evap	Total Infiltr	Imperv Runoff	Perv Runoff	Total Runoff	Total Runoff	Peak Runoff	Runoff
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	10^6 ltr	m3/s	Coeff
S1	15.82	0	0	0.88	13.86	0	13.86	0.2	0.04	0.876
S2	15.82	1.44	0	3.86	12.49	0	12.49	1.72	0.25	0.724
S3	15.82	0	0	1.77	13.01	0	13.01	1.39	0.21	0.822
S4	15.82	0	0	2.21	12.61	0	12.61	0.99	0.17	0.797
S5	15.82	0	0	0.74	13.98	0	13.98	0.71	0.13	0.884
S6	15.82	0	0	0	14.67	0	14.67	0.65	0.12	0.927
S7	15.82	18.37	0	0.45	32.25	0.3	32.55	4.19	0.52	0.952
S8	15.82	11.09	0	1.06	24.31	0.33	24.64	3.08	0.37	0.916
S9	15.82	8.25	0	1.03	21.66	0.19	21.85	2.63	0.33	0.908
S10	15.82	7.64	0	0.85	21.29	0.14	21.42	1.98	0.26	0.913
S11	15.82	0	0	0.1	14.56	0	14.56	1.19	0.2	0.92
S12	15.82	8.2	0	0.03	22.81	0	22.81	3.3	0.41	0.95
S13	15.82	0	0	0.33	14.34	0	14.34	2	0.29	0.906
S14	15.82	0	0	0.15	14.5	0	14.5	1.94	0.28	0.917
S15	15.82	0	0	0.85	13.86	0	13.86	1.63	0.25	0.876
S16	15.82	0	0	0.12	14.55	0	14.55	1.21	0.2	0.92
S17	15.82	9.21	0	0	23.85	0	23.85	3.12	0.38	0.953
S18	15.82	0	0	0.1	14.55	0	14.55	1.8	0.26	0.919
S19	15.82	0	0	0.57	14.12	0	14.12	1.65	0.25	0.892
S20	15.82	0	0	1.03	13.69	0	13.69	1.57	0.24	0.866
S21	15.82	0	0	0	14.66	0	14.66	0.98	0.17	0.927
S22	15.82	7.86	0	0.13	22.34	0.02	22.36	2.78	0.34	0.944
S23	15.82	0	0	0.51	14.17	0	14.17	1.65	0.24	0.896
S24	15.82	0	0	0.12	14.54	0	14.54	1.58	0.24	0.919
S25	15.82	0	0	0.06	14.58	0	14.58	1.15	0.17	0.922
S26	15.82	0	0	0	14.66	0	14.66	0.92	0.15	0.927
S27	15.82	5.18	0	0.44	19.35	0.02	19.37	3.43	0.41	0.922
S28	15.82	0	0	0.7	13.99	0	13.99	2.07	0.29	0.884
S29	15.82	0	0	0.15	14.52	0	14.52	0.88	0.15	0.918
Caudal Pico (m3)									7.32	

Periodo de retorno de 5 años

Conducciones

Link	Hour of Maximum	Maximun Velocity (V)	Max/Full	Altura maxima (h)
	Flow	m/sec	Depth	m
C1	12:20	0.69	0.88	0.176
C2	12:20	0.63	0.92	0.184
C3	12:26	0.61	0.92	0.184
C4	12:12	0.56	0.99	0.198
C5	12:21	1.06	0.91	0.182
C6	12:22	1.04	0.92	0.184
C7	12:44	0.61	1	0.200
C8	12:27	0.32	0.69	0.138
C9	12:21	0.5	0.85	0.170
C10	12:41	0.43	1	0.200
C11	12:24	0.61	1	0.200
C12	13:00	0.36	1	0.200
C13	12:00	0.36	0.98	0.196
C14	12:01	0.38	0.93	0.186
C15	12:02	0.4	0.86	0.172
C16	12:07	0.47	0.79	0.158
C17	12:14	0.67	0.89	0.178
C18	15:18	0.36	0.96	0.192
C19	12:12	0.54	0.96	0.192
C20	11:58	0.5	0.85	0.170
C21	12:03	0.53	0.82	0.164
C22	12:02	0.49	0.87	0.174
C23	12:02	0.47	0.91	0.182
C24	0:48	0.12	1	0.200
C25	0:46	0.12	1	0.200
C26	0:47	0.12	1	0.200
C27	12:20	0.45	0.7	0.140
C28	12:20	0.84	0.84	0.168
C29	12:21	0.73	0.93	0.186
C30	12:10	0.63	0.93	0.186
C31	12:22	0.59	0.93	0.186
C32	12:49	0.47	1	0.200
C33	12:10	0.44	0.85	0.170
C34	12:05	0.41	1	0.200
C35	12:12	0.92	0.63	0.126
C36	12:12	0.84	0.68	0.136
C37	12:13	0.61	0.9	0.180

Conducciones con sobrecarga

Conduit	Hours Both Ends	Hours Upstream	Hours Dnstream	Hours Above Normal
	Full	Full	Full	Flow
C1	0.01	0.01	0.1	0.01
C2	0.01	0.1	0.01	0.44
C3	0.01	0.01	0.71	0.01
C4	0.01	0.71	0.01	0.66
C6	0.01	0.01	1.24	0.01
C7	1.24	1.24	8.15	1.05
C8	0.01	8.15	0.01	26.25
C9	0.01	0.01	0.57	0.01
C10	0.3	0.57	0.3	0.36
C11	0.3	0.3	1	0.1
C12	1	1	1.36	0.64
C13	0.01	1.36	0.01	13.18
C14	0.01	0.01	0.01	13.06
C15	0.01	0.01	0.01	13.16
C17	0.01	0.01	4.2	0.01
C18	0.01	4.2	0.01	20.6
C19	0.01	0.01	0.9	0.01
C20	0.01	0.9	0.01	20.22
C22	0.01	0.01	0.01	19.01
C23	0.01	0.01	17.12	0.01
C24	9.9	17.12	9.9	5.27
C25	8.28	9.9	8.28	7.37
C26	8.13	8.28	8.15	7.42
C29	0.01	0.01	0.52	0.01
C30	0.01	0.52	0.01	0.66
C31	0.01	0.01	0.67	0.01
C32	0.67	0.67	1.01	0.42
C34	0.01	1.14	0.01	1.49
C33	1	1.01	1.14	1.02
C37	0.01	0.01	4.2	0.01

Periodo de retorno de 5 años

Nudos

Node	Type	Hour of Maximum	Maximum Depth	Maximum HGL
		Depth	Meters	Meters
U1	JUNCTION	12:20	0.15	4.34
U2	JUNCTION	12:19	0.2	4.28
U3	JUNCTION	12:26	0.17	4.23
U4	JUNCTION	12:10	0.2	3.95
U5	JUNCTION	12:20	0.2	3.88
U6	JUNCTION	12:22	0.17	3.45
U7	JUNCTION	12:03	0.2	3.25
U8	JUNCTION	7:42	0.2	3.2
U10	JUNCTION	12:21	0.14	4.17
U11	JUNCTION	12:06	0.2	3.86
U12	JUNCTION	12:06	0.2	3.84
U13	JUNCTION	12:01	0.2	3.81
U14	JUNCTION	11:59	0.2	3.8
U15	JUNCTION	12:05	0.19	3.79
U16	JUNCTION	13:21	0.18	3.78
U17	JUNCTION	13:22	0.16	3.76
U18	JUNCTION	12:14	0.15	3.7
U19	JUNCTION	11:06	0.2	3.4
U20	JUNCTION	12:11	0.18	3.38
U21	JUNCTION	11:56	0.2	3.34
U22	JUNCTION	12:03	0.14	3.28
U23	JUNCTION	12:00	0.19	3.24
U24	JUNCTION	11:59	0.16	3.21
U25	JUNCTION	7:38	0.2	3.2
U26	JUNCTION	7:39	0.2	3.2
U27	JUNCTION	7:41	0.2	3.2
U28	JUNCTION	12:20	0.12	4.27
U29	JUNCTION	12:20	0.17	4.22
U30	JUNCTION	12:21	0.17	4.02
U31	JUNCTION	12:09	0.2	3.82
U32	JUNCTION	12:22	0.17	3.76
U33	JUNCTION	12:09	0.2	3.65
U34	JUNCTION	12:05	0.2	3.64
U35	JUNCTION	12:05	0.2	3.63
U36	JUNCTION	12:12	0.14	3.54
U37	JUNCTION	12:12	0.11	3.48
U38	JUNCTION	12:12	0.16	3.43
U9	OUTFALL	10:00	0.08	3.08

Nudos con inundación

Node	Hour of Maximum	Hours	Total Flood Volume
	Flooding	Flooded	10 ⁶ ltr
U2	12:20	0.09	0.006
U4	12:21	0.71	0.629
U7	12:20	1.24	1.437
U8	12:10	8.15	6.089
U11	12:19	0.56	0.353
U12	12:10	0.3	0.045
U13	12:15	1	0.546
U14	12:10	1.36	0.758
U19	12:13	4.19	3.934
U21	12:11	0.9	0.327
U25	12:02	17.12	11.672
U26	12:10	9.9	1.506
U27	7:41	1.51	0.005
U31	12:18	0.52	0.374
U33	12:21	0.67	0.142
U34	12:12	1.01	0.623
U35	12:05	1.14	0.155
Vol. Flooding			28.601

Periodo de retorno de 10 años

Reporte de continuidad de escorrentía

	Volume hectare-m	Depth mm
***** Runoff Quantity Continuity *****		
Total Precipitation	5.541	18.303
Evaporation Loss	0.000	0.000
Infiltration Loss	0.222	0.734
Surface Runoff	4.973	16.426
Final Storage	0.362	1.196
Continuity Error (%)	-0.285	

Elementos	Entrada (m3)	Salida (m3)
Precipitacion	55410	
Evaporacion		
Infiltracion		2220
Escorrentía		49730
Almacenamiento		3620
Total	55410	55570
% Error		-0.289

Reporte de continuidad de enrutamiento de flujo

	Volume hectare-m	Volume 10^6 ltr
***** Flow Routing Continuity *****		
Dry Weather Inflow	0.000	0.000
Wet Weather Inflow	4.972	49.724
Groundwater Inflow	0.000	0.000
RDII Inflow	0.000	0.000
External Inflow	0.000	0.000
External Outflow	1.423	14.234
Flooding Loss	3.535	35.347
Evaporation Loss	0.000	0.000
Exfiltration Loss	0.000	0.000
Initial Stored Volume	0.000	0.000
Final Stored Volume	0.016	0.164
Continuity Error (%)	-0.040	

Elementos	Entrada (m3)	Salida (m3)
Escurrimiento	49724	
Descarga		14234
Inundación		35347
Depositos		164
Total	49724	49745
Error		-0.04

Subcuencas

Subcatchment	Total Precip	Total Runon	Total Evap	Total Infiltr	Imperv Runoff	Perv Runoff	Total Runoff	Total Runoff	Peak Runoff	Runoff
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	10^6 ltr	m3/s	Coeff
S1	18.3	0	0	1.02	16.21	0	16.21	0.23	0.05	0.886
S2	18.3	1.68	0	4.22	14.61	0.03	14.64	2.02	0.3	0.732
S3	18.3	0	0	2.05	15.22	0	15.22	1.62	0.26	0.832
S4	18.3	0	0	2.56	14.76	0	14.76	1.16	0.21	0.806
S5	18.3	0	0	0.86	16.35	0	16.35	0.83	0.15	0.894
S6	18.3	0	0	0	17.16	0	17.16	0.76	0.14	0.938
S7	18.3	21.52	0	0.46	37.76	0.43	38.19	4.92	0.63	0.959
S8	18.3	12.98	0	1.08	28.45	0.56	29	3.63	0.45	0.927
S9	18.3	9.65	0	1.05	25.34	0.38	25.72	3.09	0.4	0.92
S10	18.3	8.93	0	0.87	24.91	0.28	25.19	2.33	0.31	0.925
S11	18.3	0	0	0.12	17.04	0	17.04	1.39	0.24	0.931
S12	18.3	9.6	0	0.03	26.69	0.01	26.7	3.86	0.48	0.957
S13	18.3	0	0	0.38	16.78	0	16.78	2.34	0.35	0.917
S14	18.3	0	0	0.17	16.97	0	16.97	2.27	0.34	0.927
S15	18.3	0	0	0.98	16.22	0	16.22	1.91	0.3	0.886
S16	18.3	0	0	0.13	17.03	0	17.03	1.41	0.24	0.93
S17	18.3	10.78	0	0	27.91	0	27.91	3.65	0.46	0.96
S18	18.3	0	0	0.12	17.02	0	17.02	2.11	0.32	0.93
S19	18.3	0	0	0.66	16.52	0	16.52	1.93	0.3	0.902
S20	18.3	0	0	1.19	16.02	0	16.02	1.84	0.29	0.875
S21	18.3	0	0	0	17.15	0	17.15	1.14	0.2	0.937
S22	18.3	9.2	0	0.14	26.14	0.05	26.19	3.25	0.41	0.952
S23	18.3	0	0	0.59	16.58	0	16.58	1.93	0.29	0.906
S24	18.3	0	0	0.14	17.01	0	17.01	1.85	0.29	0.929
S25	18.3	0	0	0.07	17.07	0	17.07	1.34	0.2	0.932
S26	18.3	0	0	0	17.15	0	17.15	1.07	0.18	0.937
S27	18.3	6.06	0	0.45	22.64	0.09	22.73	4.02	0.49	0.933
S28	18.3	0	0	0.81	16.37	0	16.37	2.42	0.35	0.894
S29	18.3	0	0	0.17	16.99	0	16.99	1.03	0.18	0.928
Caudal Pico (m3)									8.81	

Periodo de retorno de 10 años

Conducciones

Link	Hour of Maximum	Maximun Velocity (V)	Max/Full	Altura maxima (h)
	Flow	m/sec	Depth	m
C1	12:20	0.79	0.91	0.182
C2	12:13	0.66	0.92	0.184
C3	12:32	0.61	0.92	0.184
C4	12:10	0.56	1	0.200
C5	12:23	1.08	0.93	0.186
C6	12:24	1.07	0.93	0.186
C7	12:41	0.61	1	0.200
C8	10:46	0.32	0.69	0.138
C9	12:21	0.58	0.88	0.176
C10	12:46	0.43	1	0.200
C11	12:27	0.61	1	0.200
C12	13:08	0.36	1	0.200
C13	11:55	0.35	0.98	0.196
C14	11:56	0.37	0.93	0.186
C15	11:57	0.4	0.86	0.172
C16	12:05	0.47	0.81	0.162
C17	12:14	0.72	0.91	0.182
C18	15:49	0.36	0.97	0.194
C19	12:11	0.57	0.97	0.194
C20	11:55	0.5	0.85	0.170
C21	12:01	0.53	0.82	0.164
C22	12:00	0.49	0.87	0.174
C23	11:59	0.47	0.91	0.182
C24	1:05	0.12	1	0.200
C25	1:05	0.13	1	0.200
C26	1:06	0.13	1	0.200
C27	12:20	0.48	0.77	0.154
C28	12:20	0.89	0.92	0.184
C29	12:21	0.82	0.97	0.194
C30	12:08	0.62	0.93	0.186
C31	12:20	0.59	0.93	0.186
C32	12:54	0.47	1	0.200
C33	12:10	0.44	0.86	0.172
C34	12:02	0.4	1	0.200
C35	12:12	0.95	0.65	0.130
C36	12:12	0.87	0.7	0.140
C37	12:13	0.64	0.91	0.182

Conducciones con sobrecarga

Conduit	Hours Both Ends	Hours Upstream	Hours Dnstream	Hours Above Normal
	Full	Full	Full	Flow
C1	0.01	0.01	0.33	0.01
C2	0.01	0.33	0.01	0.56
C3	0.01	0.01	0.84	0.01
C4	0.2	0.84	0.2	0.71
C5	0.01	0.2	0.01	0.01
C6	0.01	0.01	1.4	0.01
C7	1.4	1.4	10.13	1.22
C8	0.01	10.13	0.01	26.76
C9	0.01	0.01	0.69	0.01
C10	0.39	0.69	0.39	0.47
C11	0.39	0.39	1.16	0.19
C12	1.16	1.16	1.58	0.82
C13	0.01	1.58	0.01	16.03
C14	0.01	0.01	0.01	15.89
C15	0.01	0.01	0.01	16
C17	0.01	0.01	5.22	0.01
C18	0.01	5.22	0.01	21.53
C19	0.01	0.01	1.05	0.01
C20	0.01	1.05	0.01	21.14
C22	0.01	0.01	0.01	19.9
C23	0.01	0.01	18.18	0.01
C24	11.79	18.18	11.79	3
C25	10.34	11.79	10.34	5.89
C26	10.13	10.34	10.13	5.94
C29	0.01	0.01	0.63	0.01
C30	0.01	0.63	0.01	0.78
C31	0.01	0.01	0.8	0.01
C32	0.8	0.8	1.18	0.53
C34	0.01	1.32	0.01	1.73
C33	1.18	1.18	1.32	1.19
C37	0.01	0.01	5.22	0.01

Periodo de retorno de 10 años

Nudos

Node	Type	Hour of Maximum	Maximum Depth	Maximum HGL
		Depth	Meters	Meters
U1	JUNCTION	12:20	0.17	4.36
U2	JUNCTION	12:12	0.2	4.28
U3	JUNCTION	12:32	0.17	4.23
U4	JUNCTION	12:07	0.2	3.95
U5	JUNCTION	12:12	0.2	3.88
U6	JUNCTION	12:24	0.17	3.45
U7	JUNCTION	12:00	0.2	3.25
U8	JUNCTION	6:56	0.2	3.2
U10	JUNCTION	12:21	0.15	4.18
U11	JUNCTION	12:04	0.2	3.86
U12	JUNCTION	12:04	0.2	3.84
U13	JUNCTION	11:58	0.2	3.81
U14	JUNCTION	11:54	0.2	3.8
U15	JUNCTION	12:00	0.19	3.79
U16	JUNCTION	13:30	0.18	3.78
U17	JUNCTION	13:31	0.16	3.76
U18	JUNCTION	12:14	0.16	3.7
U19	JUNCTION	10:36	0.2	3.4
U20	JUNCTION	12:11	0.19	3.39
U21	JUNCTION	11:54	0.2	3.34
U22	JUNCTION	12:01	0.14	3.28
U23	JUNCTION	11:58	0.19	3.24
U24	JUNCTION	11:57	0.16	3.21
U25	JUNCTION	6:53	0.2	3.2
U26	JUNCTION	6:54	0.2	3.2
U27	JUNCTION	6:56	0.2	3.2
U28	JUNCTION	12:20	0.13	4.28
U29	JUNCTION	12:20	0.18	4.23
U30	JUNCTION	12:21	0.19	4.04
U31	JUNCTION	12:06	0.2	3.82
U32	JUNCTION	12:20	0.17	3.76
U33	JUNCTION	12:07	0.2	3.65
U34	JUNCTION	12:01	0.2	3.64
U35	JUNCTION	12:02	0.2	3.63
U36	JUNCTION	12:11	0.14	3.54
U37	JUNCTION	12:12	0.11	3.49
U38	JUNCTION	12:12	0.16	3.43
U9	OUTFALL	8:27	0.08	3.08

Nudos con Inundación

Node	Hour of Maximum	Hours	Total Flood Volume
	Flooding	Flooded	10^6 ltr
U2	12:20	0.33	0.091
U4	12:20	0.84	0.91
U5	12:20	0.2	0.017
U7	12:20	1.4	1.837
U8	12:10	10.13	7.465
U11	12:19	0.69	0.583
U12	12:10	0.39	0.098
U13	12:15	1.16	0.644
U14	12:10	1.58	0.945
U19	12:13	5.21	4.817
U21	12:11	1.05	0.428
U25	12:00	18.18	13.829
U26	12:10	11.79	1.912
U27	6:56	3.88	0.006
U31	12:17	0.63	0.635
U33	12:19	0.8	0.171
U34	12:10	1.18	0.781
U35	12:02	1.32	0.178
Vol. Flooding			35.347

Periodo de retorno de 25 años

Reporte de continuidad de escorrentía

	Volume hectare-m	Depth mm
***** Runoff Quantity Continuity *****		
Total Precipitation	6.413	21.183
Evaporation Loss	0.000	0.000
Infiltration Loss	0.228	0.754
Surface Runoff	5.834	19.270
Final Storage	0.370	1.223
Continuity Error (%)	-0.299	

Elementos	Entrada (m3)	Salida (m3)
Precipitacion	64130	
Evaporacion		
Infiltracion		2280
Escorrentia		58340
Almacenamiento		3700
Total	64130	64320
% Error		-0.296

Reporte de continuidad de enrutamiento de flujo

	Volume hectare-m	Volume 10^6 ltr
***** Flow Routing Continuity *****		
Dry Weather Inflow	0.000	0.000
Wet Weather Inflow	5.833	58.333
Groundwater Inflow	0.000	0.000
RDI Inflow	0.000	0.000
External Inflow	0.000	0.000
External Outflow	1.472	14.723
Flooding Loss	4.346	43.464
Evaporation Loss	0.000	0.000
Exfiltration Loss	0.000	0.000
Initial Stored Volume	0.000	0.000
Final Stored Volume	0.017	0.166
Continuity Error (%)	-0.033	

Elementos	Entrada (m3)	Salida (m3)
Escurrimiento	58333	
Descarga		14723
Inundación		43464
Depositos		166
Total	58333	58353
Error		-0.034

Subcuencas

Subcatchment	Total Precip	Total Runon	Total Evap	Total Infiltr	Imperv Runoff	Perv Runoff	Total Runoff	Total Runoff	Peak Runoff	Runoff
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	10^6 ltr	m3/s	Coeff
S1	21.18	0	0	1.05	18.94	0.07	19.01	0.27	0.06	0.897
S2	21.18	1.97	0	4.28	17.08	0.58	17.66	2.43	0.36	0.763
S3	21.18	0	0	2.13	17.79	0.12	17.91	1.91	0.31	0.845
S4	21.18	0	0	2.66	17.24	0.15	17.4	1.37	0.24	0.821
S5	21.18	0	0	0.89	19.11	0.05	19.17	0.97	0.18	0.905
S6	21.18	0	0	0	20.05	0	20.05	0.88	0.17	0.947
S7	21.18	25.74	0	0.47	44.71	0.58	45.28	5.84	0.75	0.965
S8	21.18	15.27	0	1.1	33.34	0.82	34.16	4.27	0.55	0.937
S9	21.18	11.38	0	1.07	29.71	0.6	30.32	3.64	0.48	0.931
S10	21.18	10.47	0	0.88	29.14	0.47	29.6	2.74	0.37	0.935
S11	21.18	0	0	0.13	19.91	0.01	19.92	1.62	0.28	0.94
S12	21.18	11.22	0	0.03	31.2	0.02	31.21	4.51	0.57	0.963
S13	21.18	0	0	0.39	19.61	0.02	19.63	2.74	0.42	0.927
S14	21.18	0	0	0.18	19.83	0.01	19.85	2.66	0.4	0.937
S15	21.18	0	0	1.02	18.96	0.06	19.02	2.24	0.36	0.898
S16	21.18	0	0	0.14	19.9	0.01	19.9	1.65	0.28	0.94
S17	21.18	12.6	0	0	32.62	0	32.62	4.27	0.54	0.966
S18	21.18	0	0	0.13	19.89	0.01	19.9	2.46	0.38	0.939
S19	21.18	0	0	0.69	19.3	0.04	19.34	2.26	0.36	0.913
S20	21.18	0	0	1.24	18.72	0.07	18.8	2.16	0.34	0.887
S21	21.18	0	0	0	20.05	0	20.05	1.33	0.24	0.946
S22	21.18	10.75	0	0.14	30.55	0.07	30.63	3.8	0.49	0.959
S23	21.18	0	0	0.61	19.38	0.04	19.42	2.26	0.35	0.917
S24	21.18	0	0	0.14	19.88	0.01	19.89	2.16	0.34	0.939
S25	21.18	0	0	0.07	19.95	0	19.95	1.57	0.24	0.942
S26	21.18	0	0	0	20.04	0	20.04	1.25	0.22	0.946
S27	21.18	7.09	0	0.46	26.46	0.17	26.64	4.71	0.58	0.942
S28	21.18	0	0	0.84	19.13	0.05	19.18	2.84	0.42	0.906
S29	21.18	0	0	0.18	19.86	0.01	19.87	1.2	0.22	0.938
Caudal Pico (m3)									10.50	

Periodo de retorno de 25 años

Conducciones

Link	Hour of Maximum	Maximun Velocity (V)	Max/Full	Altura maxima (h)
	Flow	m/sec	Depth	m
C1	12:20	0.9	0.96	0.192
C2	12:09	0.68	0.92	0.184
C3	12:36	0.61	0.92	0.184
C4	12:07	0.56	1	0.200
C5	12:28	1.08	0.93	0.186
C6	12:29	1.07	0.93	0.186
C7	12:33	0.61	1	0.200
C8	14:20	0.32	0.69	0.138
C9	12:21	0.67	0.92	0.184
C10	12:50	0.43	1	0.200
C11	12:30	0.61	1	0.200
C12	13:01	0.36	1	0.200
C13	11:46	0.34	0.98	0.196
C14	11:47	0.36	0.93	0.186
C15	12:09	0.39	0.86	0.172
C16	12:05	0.47	0.83	0.166
C17	12:13	0.76	0.93	0.186
C18	16:31	0.36	0.98	0.196
C19	12:11	0.6	0.98	0.196
C20	11:53	0.5	0.85	0.170
C21	11:59	0.53	0.82	0.164
C22	11:57	0.48	0.87	0.174
C23	11:57	0.47	0.91	0.182
C24	1:16	0.12	1	0.200
C25	1:17	0.13	1	0.200
C26	1:18	0.13	1	0.200
C27	12:20	0.51	0.85	0.170
C28	12:20	0.96	1	0.200
C29	12:24	0.9	1	0.200
C30	12:06	0.62	0.93	0.186
C31	12:18	0.59	0.93	0.186
C32	12:56	0.47	1	0.200
C34	12:10	0.44	0.87	0.174
C33	13:18	0.39	1	0.200
C35	12:12	0.98	0.67	0.134
C36	12:12	0.89	0.73	0.146
C37	12:13	0.68	0.92	0.184

Conducciones con sobrecarga

Conduit	Hours Both Ends	Hours Upstream	Hours Dnstream	Hours Above Normal
	Full	Full	Full	Flow
C1	0.01	0.01	0.47	0.01
C2	0.01	0.47	0.01	0.67
C3	0.01	0.01	0.97	0.01
C4	0.34	0.97	0.34	0.85
C5	0.01	0.34	0.01	0.01
C6	0.01	0.01	1.6	0.01
C7	1.6	1.6	12.89	1.42
C8	0.01	12.89	0.01	27.26
C9	0.01	0.01	0.79	0.01
C10	0.47	0.79	0.47	0.59
C11	0.47	0.47	1.34	0.27
C12	1.34	1.34	1.91	1.01
C13	0.01	1.91	0.01	18.34
C14	0.01	0.01	0.01	18.29
C15	0.01	0.01	0.01	18.32
C17	0.01	0.01	6.59	0.01
C18	0.01	6.59	0.01	22.37
C19	0.01	0.01	1.22	0.01
C20	0.01	1.22	0.01	21.93
C22	0.01	0.01	0.01	20.71
C23	0.01	0.01	19.08	0.01
C24	14.11	19.08	14.11	2.5
C25	12.9	14.11	12.9	3.58
C26	12.89	12.9	12.89	3.67
C27	0.01	0.01	0.03	0.01
C28	0.03	0.03	0.17	0.01
C29	0.17	0.17	0.74	0.05
C30	0.01	0.74	0.01	0.89
C31	0.01	0.01	0.92	0.01
C32	0.92	0.92	1.37	0.65
C34	0.01	1.53	0.01	2.05
C33	1.37	1.37	1.53	1.09
C37	0.01	0.01	6.59	0.01

Periodo de retorno de 25 años

Nudos

Node	Type	Hour of Maximum	Maximum Depth	Maximum HGL
		Depth	Meters	Meters
U1	JUNCTION	12:20	0.18	4.37
U2	JUNCTION	12:08	0.2	4.28
U3	JUNCTION	12:36	0.17	4.23
U4	JUNCTION	12:04	0.2	3.95
U5	JUNCTION	12:08	0.2	3.88
U6	JUNCTION	12:28	0.17	3.45
U7	JUNCTION	11:56	0.2	3.25
U8	JUNCTION	6:14	0.2	3.2
U10	JUNCTION	12:21	0.17	4.2
U11	JUNCTION	12:02	0.2	3.86
U12	JUNCTION	12:02	0.2	3.84
U13	JUNCTION	11:54	0.2	3.81
U14	JUNCTION	11:46	0.2	3.8
U15	JUNCTION	11:52	0.19	3.79
U16	JUNCTION	11:51	0.18	3.78
U17	JUNCTION	13:42	0.16	3.76
U18	JUNCTION	12:13	0.17	3.71
U19	JUNCTION	9:55	0.2	3.4
U20	JUNCTION	12:10	0.19	3.39
U21	JUNCTION	11:51	0.2	3.34
U22	JUNCTION	11:59	0.14	3.28
U23	JUNCTION	11:56	0.19	3.24
U24	JUNCTION	11:54	0.16	3.21
U25	JUNCTION	6:11	0.2	3.2
U26	JUNCTION	6:12	0.2	3.2
U27	JUNCTION	6:13	0.2	3.2
U28	JUNCTION	12:20	0.14	4.29
U29	JUNCTION	12:19	0.2	4.25
U30	JUNCTION	12:14	0.2	4.05
U31	JUNCTION	12:04	0.2	3.82
U32	JUNCTION	12:18	0.17	3.76
U33	JUNCTION	12:04	0.2	3.65
U34	JUNCTION	11:57	0.2	3.64
U35	JUNCTION	11:57	0.2	3.63
U36	JUNCTION	12:11	0.15	3.55
U37	JUNCTION	12:12	0.12	3.49
U38	JUNCTION	12:12	0.17	3.44
U9	OUTFALL	7:08	0.08	3.08

Nudos con Inundación

Node	Hour of Maximum	Hours	Total Flood Volume
	Flooding	Flooded	10^6 ltr
U2	12:20	0.47	0.249
U4	12:20	0.97	1.203
U5	12:20	0.34	0.102
U7	12:20	1.6	2.254
U8	12:10	12.89	9.314
U11	12:17	0.79	0.875
U12	12:10	0.47	0.171
U13	12:17	1.34	0.747
U14	12:10	1.91	1.172
U19	12:13	6.59	5.989
U21	12:11	1.22	0.548
U25	13:05	19.08	16.093
U26	12:10	14.11	2.404
U27	6:13	1.75	0
U29	12:20	0.03	0.001
U30	12:20	0.17	0.028
U31	12:14	0.74	0.951
U33	12:17	0.92	0.196
U34	12:10	1.37	0.962
U35	13:19	1.53	0.203
Vol. Flooding			43.462

Anexo 6:
Resultados de las
simulaciones para el
Escenario 2

Periodo de retorno de 5 años

Subcuencas

Reporte de continuidad de escorrentía

	Volume hectare-m	Depth mm
Runoff Quantity Continuity	-----	-----
Total Precipitation	4.789	15.820
Evaporation Loss	0.000	0.000
Infiltration Loss	0.719	2.374
Surface Runoff	2.262	7.470
Final Storage	1.822	6.018
Continuity Error (%)	-0.269	

Elementos	Entrada (m3)	Salida (m3)
Precipitacion	47890	
Evaporacion		
Infiltracion		7190
Escorrentia		22620
Almacenamiento		18220
Total	47890	48030
% Error		-0.269

Reporte de continuidad de enrutamiento de flujo

	Volume hectare-m	Volume 10^6 ltr
Flow Routing Continuity	-----	-----
Dry Weather Inflow	0.000	0.000
Wet Weather Inflow	2.260	22.603
Groundwater Inflow	0.000	0.000
RDII Inflow	0.000	0.000
External Inflow	0.000	0.000
External Outflow	1.122	11.217
Flooding Loss	1.112	11.119
Evaporation Loss	0.000	0.000
Exfiltration Loss	0.000	0.000
Initial Stored Volume	0.000	0.000
Final Stored Volume	0.029	0.289
Continuity Error (%)	-0.099	

Elementos	Entrada (m3)	Salida (m3)
Escurrimiento	22603	
Descarga		11217
Inundación		11119
Depositos		289
Total	22603	22625
Error		-0.097

Subcatchment	Total Precip	Total Runon	Total Evap	Total Infiltr	Imperv Runoff	Perv Runoff	Total Runoff	Total Runoff	Peak Runoff	Runoff
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	10^6 ltr	m3/s	Coeff
S1	15.82	0	0	2.54	12.22	0	8.16	0.12	0.02	0.516
S2	15.82	0.85	0	5.02	10.47	0	7.06	0.97	0.15	0.423
S3	15.82	0	0	3.36	11.4	0	7.62	0.81	0.13	0.481
S4	15.82	0	0	4.04	10.78	0	6.51	0.51	0.09	0.411
S5	15.82	0	0	2.13	12.61	0	9.46	0.48	0.09	0.598
S6	15.82	0	0	1.42	13.28	0	9.89	0.44	0.08	0.625
S7	15.82	10.93	0	2.23	22.5	0.53	15.24	1.96	0.24	0.57
S8	15.82	6.49	0	2.71	17.77	0.27	11.85	1.48	0.18	0.531
S9	15.82	4.26	0	2.77	15.73	0.05	10.01	1.2	0.16	0.499
S10	15.82	5.17	0	3.09	16.19	0.16	8.93	0.83	0.11	0.426
S11	15.82	0	0	1.87	12.83	0	8.66	0.71	0.12	0.548
S12	15.82	4.88	0	1.84	17.41	0.06	11.55	1.67	0.21	0.558
S13	15.82	0	0	2.09	12.6	0	8.34	1.16	0.17	0.527
S14	15.82	0	0	2.32	12.37	0	7.34	0.98	0.15	0.464
S15	15.82	0	0	2.64	12.09	0	7.87	0.93	0.15	0.497
S16	15.82	0	0	1.69	13.01	0	9.22	0.76	0.13	0.583
S17	15.82	5.84	0	1.62	18.57	0.09	13.07	1.71	0.21	0.604
S18	15.82	0	0	2.02	12.66	0	8.11	1	0.15	0.513
S19	15.82	0	0	2.81	11.91	0	6.77	0.79	0.12	0.428
S20	15.82	0	0	3.18	11.56	0	6.7	0.77	0.12	0.424
S21	15.82	0	0	1.83	12.87	0	8.5	0.57	0.1	0.537
S22	15.82	4.56	0	1.44	17.54	0.03	13.06	1.62	0.2	0.641
S23	15.82	0	0	2.18	12.51	0	8.38	0.98	0.15	0.53
S24	15.82	0	0	1.98	12.71	0	8.21	0.89	0.14	0.519
S25	15.82	0	0	2.11	12.57	0	7.71	0.61	0.09	0.487
S26	15.82	0	0	1.43	13.26	0	9.7	0.61	0.1	0.613
S27	15.82	3.43	0	1.77	16.09	0	11.84	2.09	0.26	0.615
S28	15.82	0	0	2.06	12.63	0	9.22	1.36	0.2	0.583
S29	15.82	0	0	1.61	13.08	0	9.33	0.56	0.1	0.59
Caudal Pico (m3)									4.12	

Periodo de retorno de 5 años

Conducciones

Link	Hour of Maximum	Maximun Velocity (V)	Max/Full	Altura maxima (h)
	Flow	m/sec	Depth	m
C1	12:20	0.49	0.61	0.122
C2	12:21	0.46	0.64	0.128
C3	12:25	0.36	0.75	0.150
C4	12:27	0.52	0.87	0.174
C5	12:27	0.91	0.75	0.150
C6	12:29	0.78	0.85	0.170
C7	12:46	0.61	1	0.200
C8	11:49	0.32	0.69	0.138
C9	12:21	0.29	0.73	0.146
C10	12:20	0.39	0.97	0.194
C11	12:19	0.54	0.98	0.196
C12	12:35	0.36	1	0.200
C13	12:10	0.39	0.98	0.196
C14	12:11	0.4	0.93	0.186
C15	12:12	0.43	0.86	0.172
C16	12:17	0.47	0.74	0.148
C17	12:21	0.54	0.83	0.166
C18	13:50	0.36	0.94	0.188
C19	12:12	0.48	0.94	0.188
C20	12:09	0.51	0.85	0.170
C21	12:14	0.53	0.82	0.164
C22	12:13	0.49	0.88	0.176
C23	12:12	0.47	0.91	0.182
C24	18:56	0.1	1	0.200
C25	18:57	0.12	1	0.200
C26	18:57	0.12	1	0.200
C27	12:13	0.31	0.49	0.098
C28	12:16	0.63	0.57	0.114
C29	12:20	0.43	0.73	0.146
C30	12:21	0.55	0.82	0.164
C31	12:24	0.5	0.87	0.174
C32	12:21	0.43	1	0.200
C33	12:22	0.44	0.82	0.164
C34	12:18	0.41	1	0.200
C35	12:22	0.83	0.57	0.114
C36	12:23	0.74	0.63	0.126
C37	12:23	0.5	0.87	0.174

Conducciones con sobrecarga

Conduit	Hours Both Ends	Hours Upstream	Hours Dnstream	Hours Above Normal
	Full	Full	Full	Flow
C6	0.01	0.01	0.56	0.01
C7	0.56	0.56	3.59	0.37
C8	0.01	3.59	0.01	23.53
C11	0.01	0.01	0.41	0.01
C12	0.41	0.41	0.62	0.04
C13	0.01	0.62	0.01	5.68
C14	0.01	0.01	0.01	5.6
C15	0.01	0.01	0.01	5.69
C17	0.01	0.01	1.72	0.01
C18	0.01	1.72	0.01	18.56
C19	0.01	0.01	0.43	0.01
C20	0.01	0.43	0.01	18.04
C22	0.01	0.01	0.01	16.32
C23	0.01	0.01	9.73	0.01
C24	4.31	9.73	4.31	9.45
C25	3.6	4.31	3.6	11.8
C26	3.59	3.6	3.59	11.93
C31	0.01	0.01	0.01	0.01
C32	0.01	0.01	0.32	0.01
C34	0.01	0.41	0.01	0.65
C33	0.32	0.32	0.41	0.34
C37	0.01	0.01	1.72	0.01

Periodo de retorno de 5 años

Nudos

Node	Type	Hour of Maximum	Maximun Depth	Maximum HGL
		Depth	Meters	Meters
U1	JUNCTION	12:20	0.1	4.29
U2	JUNCTION	12:21	0.14	4.22
U3	JUNCTION	12:25	0.11	4.17
U4	JUNCTION	12:27	0.18	3.94
U5	JUNCTION	12:26	0.16	3.84
U6	JUNCTION	12:29	0.14	3.42
U7	JUNCTION	12:13	0.2	3.25
U8	JUNCTION	12:20	0.1	4.13
U10	JUNCTION	12:18	0.19	3.85
U11	JUNCTION	12:17	0.19	3.83
U12	JUNCTION	12:10	0.2	3.81
U13	JUNCTION	12:10	0.2	3.8
U14	JUNCTION	12:16	0.19	3.79
U15	JUNCTION	12:15	0.18	3.78
U16	JUNCTION	12:48	0.16	3.76
U17	JUNCTION	12:20	0.13	3.67
U18	JUNCTION	12:06	0.2	3.4
U19	JUNCTION	12:10	0.17	3.37
U20	JUNCTION	12:07	0.2	3.34
U21	JUNCTION	12:14	0.14	3.28
U22	JUNCTION	12:11	0.19	3.24
U23	JUNCTION	12:10	0.16	3.21
U24	JUNCTION	10:32	0.2	3.2
U25	JUNCTION	10:56	0.2	3.2
U26	JUNCTION	12:13	0.08	4.23
U27	JUNCTION	12:13	0.11	4.16
U28	JUNCTION	12:20	0.11	3.97
U29	JUNCTION	12:21	0.18	3.8
U30	JUNCTION	12:24	0.15	3.74
U31	JUNCTION	12:19	0.2	3.65
U32	JUNCTION	12:18	0.2	3.64
U33	JUNCTION	12:18	0.2	3.63
U34	JUNCTION	12:22	0.12	3.53
U35	JUNCTION	12:23	0.1	3.47
U36	JUNCTION	12:21	0.15	3.42
U37	JUNCTION	10:56	0.2	3.2
U38	JUNCTION	9:12	0.2	3.2
U9	OUTFALL	11:49	0.08	3.08

Nudos con sobrecarga

Node	Hour of Maximum	Hours	Total Flood Volume
	Flooding	Flooded	10 ⁶ ltr
U7	12:26	0.56	0.24
U13	12:19	0.41	0.131
U14	12:17	0.62	0.23
U19	12:22	1.72	1.58
U21	12:12	0.43	0.096
U26	12:10	4.31	0.703
U27	10:56	2.76	0
U33	12:19	0.01	0
U34	12:21	0.32	0.088
U35	12:18	0.41	0.059
U8	12:15	3.59	2.823
U25	12:13	9.73	5.172
Vol. Flooding			11.122

Periodo de retorno de 10 años

Reporte de continuidad de escorrentía

	Volume hectare-m	Depth mm
*****	-----	-----
Runoff Quantity Continuity		
*****	-----	-----
Total Precipitation	5.541	18.303
Evaporation Loss	0.000	0.000
Infiltration Loss	0.727	2.400
Surface Runoff	2.670	8.820
Final Storage	2.160	7.134
Continuity Error (%)	-0.279	

Elementos	Entrada (m3)	Salida (m3)
Precipitacion	55410	
Evaporacion		
Infiltracion		7270
Escorrentia		26700
Almacenamiento		21600
Total	55410	55570
% Error		-0.279

Reporte de continuidad de enrutamiento de flujo

	Volume hectare-m	Volume 10^6 ltr
*****	-----	-----
Flow Routing Continuity		
*****	-----	-----
Dry Weather Inflow	0.000	0.000
Wet Weather Inflow	2.669	26.689
Groundwater Inflow	0.000	0.000
RDII Inflow	0.000	0.000
External Inflow	0.000	0.000
External Outflow	1.217	12.170
Flooding Loss	1.425	14.246
Evaporation Loss	0.000	0.000
Exfiltration Loss	0.000	0.000
Initial Stored Volume	0.000	0.000
Final Stored Volume	0.030	0.296
Continuity Error (%)	-0.085	

Elementos	Entrada (m3)	Salida (m3)
Escorrimento	26689	
Descarga		12170
Inundación		14246
Depositos		296
Total	26689	26712
Error		-0.086

Subcuencas

Subcatchment	Total Precip	Total Runon	Total Evap	Total Infilt	Imperv Runoff	Perv Runoff	Total Runoff	Total Runoff	Peak Runoff	Runoff
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	10^6 ltr	m3/s	Coeff
S1	18.3	0	0	2.56	14.3	0	9.55	0.14	0.03	0.522
S2	18.3	0.99	0	5.08	12.25	0	8.26	1.14	0.18	0.428
S3	18.3	0	0	3.4	13.35	0	8.91	0.95	0.15	0.487
S4	18.3	0	0	4.08	12.61	0	7.61	0.6	0.11	0.416
S5	18.3	0	0	2.15	14.76	0	11.06	0.56	0.1	0.604
S6	18.3	0	0	1.43	15.54	0	11.57	0.51	0.1	0.632
S7	18.3	12.79	0	2.26	26.33	0.85	18.21	2.35	0.29	0.586
S8	18.3	7.6	0	2.75	20.8	0.61	14.17	1.77	0.22	0.547
S9	18.3	4.98	0	2.8	18.41	0.35	12.01	1.44	0.19	0.516
S10	18.3	6.04	0	3.13	18.95	0.49	10.76	1	0.13	0.442
S11	18.3	0	0	1.88	15.02	0	10.14	0.83	0.14	0.554
S12	18.3	5.71	0	1.87	20.37	0.22	13.68	1.98	0.25	0.57
S13	18.3	0	0	2.11	14.74	0	9.76	1.36	0.21	0.533
S14	18.3	0	0	2.34	14.48	0	8.59	1.15	0.18	0.469
S15	18.3	0	0	2.66	14.15	0	9.21	1.08	0.18	0.503
S16	18.3	0	0	1.71	15.22	0	10.78	0.89	0.15	0.589
S17	18.3	6.83	0	1.64	21.73	0.25	15.46	2.02	0.25	0.615
S18	18.3	0	0	2.04	14.82	0	9.49	1.18	0.18	0.519
S19	18.3	0	0	2.84	13.94	0	7.93	0.92	0.15	0.433
S20	18.3	0	0	3.22	13.53	0	7.84	0.9	0.14	0.428
S21	18.3	0	0	1.84	15.06	0	9.94	0.66	0.12	0.543
S22	18.3	5.33	0	1.46	20.53	0.17	15.41	1.91	0.24	0.652
S23	18.3	0	0	2.2	14.65	0	9.81	1.14	0.18	0.536
S24	18.3	0	0	2	14.87	0	9.6	1.04	0.17	0.525
S25	18.3	0	0	2.13	14.71	0	9.02	0.71	0.11	0.493
S26	18.3	0	0	1.44	15.51	0	11.35	0.71	0.12	0.62
S27	18.3	4.01	0	1.79	18.84	0.15	14.01	2.48	0.31	0.628
S28	18.3	0	0	2.09	14.78	0	10.79	1.6	0.24	0.59
S29	18.3	0	0	1.63	15.31	0	10.92	0.66	0.12	0.596
Caudal Pico (m3)									4.94	

Periodo de retorno de 10 años

Conducciones

Link	Hour of Maximum	Maximun Velocity (V)	Max/Full	Altura maxima (h)
	Flow	m/sec	Depth	m
C1	12:20	0.53	0.67	0.134
C2	12:21	0.5	0.7	0.140
C3	12:25	0.4	0.82	0.164
C4	12:24	0.56	0.94	0.188
C5	12:24	0.98	0.82	0.164
C6	12:26	0.89	0.88	0.176
C7	12:49	0.61	1	0.200
C8	13:28	0.32	0.69	0.138
C9	12:20	0.33	0.77	0.154
C10	12:24	0.42	1	0.200
C11	12:15	0.59	1	0.200
C12	12:40	0.36	1	0.200
C13	12:08	0.39	0.98	0.196
C14	12:09	0.4	0.93	0.186
C15	12:09	0.43	0.86	0.172
C16	12:14	0.47	0.75	0.150
C17	12:18	0.57	0.85	0.170
C18	14:03	0.36	0.94	0.188
C19	12:12	0.49	0.94	0.188
C20	12:05	0.51	0.85	0.170
C21	12:10	0.53	0.82	0.164
C22	12:09	0.49	0.88	0.176
C23	12:09	0.47	0.91	0.182
C24	20:20	0.1	1	0.200
C25	20:20	0.11	1	0.200
C26	20:21	0.12	1	0.200
C27	12:12	0.33	0.52	0.104
C28	12:15	0.68	0.61	0.122
C29	12:19	0.47	0.8	0.160
C30	12:20	0.59	0.89	0.178
C31	12:23	0.56	0.91	0.182
C32	12:29	0.47	1	0.200
C33	12:19	0.44	0.82	0.164
C34	12:14	0.43	1	0.200
C35	12:19	0.85	0.58	0.116
C36	12:19	0.76	0.64	0.128
C37	12:19	0.52	0.88	0.176

Conducciones con sobrecarga

Conduit	Hours Both Ends	Hours Upstream	Hours Dnstream	Hours Above Normal
	Full	Full	Full	Flow
C3	0.01	0.01	0.12	0.01
C4	0.01	0.12	0.01	0.13
C6	0.01	0.01	0.73	0.01
C7	0.73	0.73	4.46	0.53
C8	0.01	4.46	0.01	24.27
C9	0.01	0.01	0.17	0.01
C10	0.01	0.17	0.01	0.23
C11	0.01	0.01	0.54	0.01
C12	0.54	0.54	0.74	0.17
C13	0.01	0.74	0.01	7.11
C14	0.01	0.01	0.01	7.01
C15	0.01	0.01	0.01	7.09
C17	0.01	0.01	2.04	0.01
C18	0.01	2.04	0.01	19.5
C19	0.01	0.01	0.56	0.01
C20	0.01	0.56	0.01	19.06
C22	0.01	0.01	0.01	17.71
C23	0.01	0.01	11.98	0.01
C24	5.31	11.98	5.31	9.27
C25	4.46	5.31	4.46	11.72
C26	4.46	4.46	4.46	11.83
C30	0.01	0.01	0.01	0.2
C31	0.01	0.01	0.24	0.01
C32	0.24	0.24	0.46	0.01
C34	0.01	0.54	0.01	0.79
C33	0.45	0.46	0.54	0.48
C37	0.01	0.01	2.04	0.01

Periodo de retorno de 10 años

Nudos

Node	Type	Hour of Maximum	Maximun Depth	Maximum HGL
		Depth	Meters	Meters
U1	JUNCTION	12:20	0.11	4.3
U2	JUNCTION	12:21	0.16	4.24
U3	JUNCTION	12:25	0.12	4.19
U4	JUNCTION	12:21	0.2	3.95
U5	JUNCTION	12:23	0.17	3.86
U6	JUNCTION	12:26	0.15	3.43
U7	JUNCTION	12:09	0.2	3.25
U8	JUNCTION	12:20	0.11	4.14
U10	JUNCTION	12:12	0.2	3.86
U11	JUNCTION	12:13	0.2	3.84
U12	JUNCTION	12:08	0.2	3.81
U13	JUNCTION	12:07	0.2	3.8
U14	JUNCTION	12:13	0.19	3.79
U15	JUNCTION	12:13	0.18	3.78
U16	JUNCTION	12:54	0.16	3.76
U17	JUNCTION	12:18	0.14	3.68
U18	JUNCTION	12:01	0.2	3.4
U19	JUNCTION	12:11	0.17	3.38
U20	JUNCTION	12:03	0.2	3.34
U21	JUNCTION	12:10	0.14	3.28
U22	JUNCTION	12:07	0.19	3.24
U23	JUNCTION	12:06	0.16	3.21
U24	JUNCTION	10:01	0.2	3.2
U25	JUNCTION	10:28	0.2	3.2
U26	JUNCTION	12:12	0.08	4.24
U27	JUNCTION	12:13	0.12	4.17
U28	JUNCTION	12:19	0.12	3.97
U29	JUNCTION	12:20	0.19	3.81
U30	JUNCTION	12:23	0.16	3.75
U31	JUNCTION	12:15	0.2	3.65
U32	JUNCTION	12:14	0.2	3.64
U33	JUNCTION	12:15	0.2	3.63
U34	JUNCTION	12:19	0.13	3.53
U35	JUNCTION	12:19	0.1	3.47
U36	JUNCTION	12:17	0.15	3.42
U37	JUNCTION	10:28	0.2	3.2
U38	JUNCTION	8:21	0.2	3.2
U9	OUTFALL	12:56	0.08	3.08

Nudos con Inundación

Node	Hour of Maximum	Hours	Total Flood Volume
	Flooding	Flooded	10 ⁶ ltr
U4	12:21	0.12	0.013
U7	12:25	0.73	0.518
U11	12:12	0.17	0.022
U13	12:15	0.54	0.242
U14	12:14	0.74	0.318
U19	12:19	2.04	1.931
U21	12:11	0.56	0.156
U26	12:10	5.31	0.89
U27	10:28	1.74	0
U33	12:15	0.24	0.02
U34	12:20	0.46	0.191
U35	12:15	0.54	0.078
U8	12:11	4.46	3.444
U25	12:09	11.98	6.425
Vol. Flooding			14.248

Periodo de retorno de 25 años

Reporte de continuidad de escorrentía

	Volume hectare-m	Depth mm

Runoff Quantity Continuity	-----	-----

Total Precipitation	6.413	21.183
Evaporation Loss	0.000	0.000
Infiltration Loss	0.736	2.432
Surface Runoff	3.174	10.484
Final Storage	2.522	8.330
Continuity Error (%)	-0.295	

Elementos	Entrada (m3)	Salida (m3)
Precipitacion	64130	
Evaporacion		
Infiltracion		7360
Escorrentia		31740
Almacenamiento		25220
Total	64130	64320
% Error		-0.296

Reporte de continuidad de enrutamiento de flujo

	Volume hectare-m	Volume 10^6 ltr

Flow Routing Continuity	-----	-----

Dry Weather Inflow	0.000	0.000
Wet Weather Inflow	3.173	31.927
Groundwater Inflow	0.000	0.000
RDI Inflow	0.000	0.000
External Inflow	0.000	0.000
External Outflow	1.304	13.038
Flooding Loss	1.841	18.410
Evaporation Loss	0.000	0.000
Exfiltration Loss	0.000	0.000
Initial Stored Volume	0.000	0.000
Final Stored Volume	0.030	0.304
Continuity Error (%)	-0.082	

Elementos	Entrada (m3)	Salida (m3)
Escurrimiento	31727	
Descarga		13038
Inundación		18410
Depositos		304
Total	31727	31752
Error		-0.079

Subcuencas

Subcatchment	Total Precip	Total Runon	Total Evap	Total Infiltr	Imperv Runoff	Perv Runoff	Total Runoff	Total Runoff	Peak Runoff	Runoff
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	10^6 ltr	m3/s	Coeff
S1	21.18	0	0	2.59	16.7	0.13	11.28	0.16	0.03	0.532
S2	21.18	1.17	0	5.17	14.32	0.51	10.17	1.4	0.21	0.455
S3	21.18	0	0	3.45	15.6	0.17	10.58	1.13	0.18	0.5
S4	21.18	0	0	4.14	14.73	0.21	9.1	0.72	0.13	0.43
S5	21.18	0	0	2.18	17.25	0.1	13.03	0.66	0.12	0.615
S6	21.18	0	0	1.45	18.16	0.05	13.58	0.6	0.11	0.641
S7	21.18	15.52	0	2.29	31.3	1.29	22.05	2.84	0.37	0.601
S8	21.18	9.02	0	2.79	24.44	1.05	17.09	2.14	0.26	0.566
S9	21.18	5.95	0	2.85	21.64	0.73	14.46	1.74	0.23	0.533
S10	21.18	7.12	0	3.17	22.19	0.91	13	1.2	0.16	0.459
S11	21.18	0	0	1.9	17.55	0.07	11.92	0.97	0.17	0.563
S12	21.18	6.72	0	1.89	23.85	0.43	16.28	2.35	0.3	0.583
S13	21.18	0	0	2.13	17.23	0.08	11.5	1.6	0.25	0.543
S14	21.18	0	0	2.37	16.92	0.09	10.13	1.36	0.21	0.478
S15	21.18	0	0	2.7	16.54	0.12	10.88	1.28	0.21	0.514
S16	21.18	0	0	1.72	17.79	0.07	12.67	1.05	0.18	0.598
S17	21.18	8.02	0	1.66	25.44	0.44	18.36	2.4	0.3	0.629
S18	21.18	0	0	2.06	17.32	0.08	11.17	1.38	0.22	0.527
S19	21.18	0	0	2.88	16.29	0.11	9.38	1.09	0.18	0.443
S20	21.18	0	0	3.26	15.82	0.14	9.31	1.07	0.17	0.439
S21	21.18	0	0	1.86	17.6	0.07	11.69	0.78	0.14	0.552
S22	21.18	6.27	0	1.48	24.03	0.33	18.29	2.27	0.29	0.666
S23	21.18	0	0	2.23	17.12	0.09	11.56	1.35	0.21	0.546
S24	21.18	0	0	2.02	17.38	0.08	11.3	1.23	0.2	0.533
S25	21.18	0	0	2.16	17.19	0.08	10.62	0.84	0.13	0.502
S26	21.18	0	0	1.46	18.13	0.05	13.31	0.83	0.15	0.628
S27	21.18	4.71	0	1.82	22.04	0.35	16.61	2.94	0.38	0.641
S28	21.18	0	0	2.11	17.27	0.09	12.71	1.88	0.28	0.6
S29	21.18	0	0	1.65	17.89	0.07	12.82	0.78	0.14	0.605
Caudal Pico (m3)									5.91	

Periodo de retorno de 25 años

Conducciones

Link	Hour of Maximum	Maximun Velocity (V)	Max/Full	Altura maxima (h)
	Flow	m/sec	Depth	m
C3	12:20	0.59	0.75	0.150
C2	12:21	0.55	0.78	0.156
C3	12:24	0.47	0.85	0.170
C4	12:18	0.56	0.97	0.194
C5	12:21	1.02	0.86	0.172
C6	12:23	0.97	0.9	0.180
C7	12:50	0.61	1	0.200
C8	12:14	0.32	0.69	0.138
C9	12:20	0.39	0.79	0.158
C10	12:29	0.43	1	0.200
C11	12:15	0.61	1	0.200
C12	12:45	0.36	1	0.200
C13	12:05	0.38	0.98	0.196
C14	12:06	0.39	0.93	0.186
C15	12:07	0.42	0.86	0.172
C16	12:11	0.47	0.76	0.152
C17	12:15	0.6	0.86	0.172
C18	14:21	0.36	0.95	0.190
C19	12:12	0.51	0.95	0.190
C20	12:00	0.51	0.85	0.170
C21	12:06	0.53	0.82	0.164
C22	12:04	0.49	0.87	0.174
C23	12:04	0.47	0.91	0.182
C24	22:25	0.1	1	0.200
C25	7:31	0.11	1	0.200
C26	22:27	0.11	1	0.200
C27	12:13	0.36	0.57	0.114
C28	12:14	0.72	0.67	0.134
C29	12:19	0.52	0.84	0.168
C30	12:15	0.62	0.93	0.186
C31	12:26	0.59	0.93	0.186
C32	12:35	0.47	1	0.200
C33	12:15	0.44	0.83	0.166
C34	12:11	0.44	1	0.200
C35	12:16	0.88	0.6	0.120
C36	12:16	0.79	0.65	0.130
C37	12:16	0.55	0.89	0.178

Conducciones con sobrecarga

Conduit	Hours Both Ends	Hours Upstream	Hours Dnstream	Hours Above Normal
	Full	Full	Full	Flow
C3	0.01	0.01	0.36	0.01
C4	0.01	0.36	0.01	0.36
C6	0.01	0.01	0.87	0.01
C7	0.87	0.87	5.59	0.68
C8	0.01	5.59	0.01	24.96
C9	0.01	0.01	0.31	0.01
C10	0.09	0.31	0.09	0.28
C11	0.09	0.09	0.67	0.01
C12	0.67	0.67	0.9	0.3
C13	0.01	0.9	0.01	9.06
C14	0.01	0.01	0.01	8.92
C15	0.01	0.01	0.01	9.04
C17	0.01	0.01	2.48	0.01
C18	0.01	2.48	0.01	20.37
C19	0.01	0.01	0.69	0.01
C20	0.01	0.69	0.01	20
C22	0.01	0.01	0.01	18.8
C23	0.01	0.01	14.91	0.01
C24	6.67	14.91	6.67	7.8
C25	5.59	6.67	5.59	10.68
C26	5.59	5.59	5.59	10.83
C29	0.01	0.01	0.2	0.01
C30	0.01	0.2	0.01	0.34
C31	0.01	0.01	0.39	0.01
C32	0.39	0.39	0.6	0.1
C34	0.01	0.69	0.01	0.96
C33	0.59	0.6	0.69	0.63
C37	0.01	0.01	2.48	0.01

Periodo de retorno de 25 años

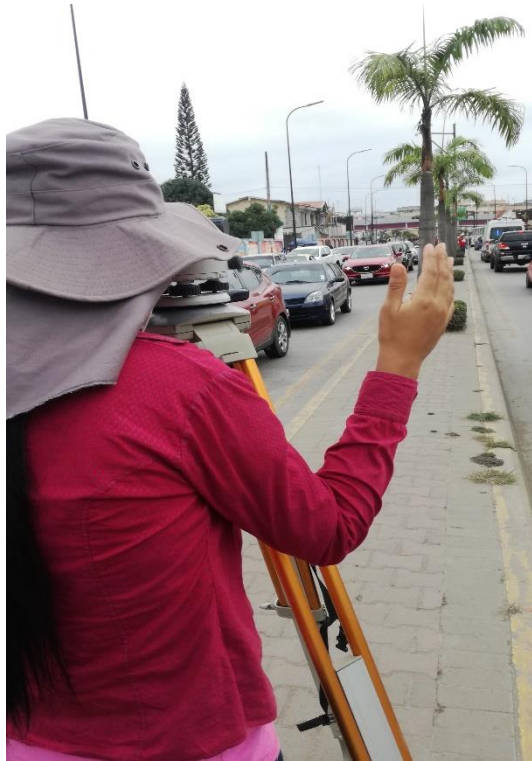
Nudos

Node	Type	Hour of Maximum	Maximum Depth	Maximum HGL
		Depth	Meters	Meters
U1	JUNCTION	12:20	0.13	4.32
U2	JUNCTION	12:21	0.17	4.25
U3	JUNCTION	12:24	0.14	4.2
U4	JUNCTION	12:15	0.2	3.95
U5	JUNCTION	12:20	0.19	3.87
U6	JUNCTION	12:23	0.16	3.44
U7	JUNCTION	12:07	0.2	3.25
U8	JUNCTION	12:20	0.12	4.15
U10	JUNCTION	12:09	0.2	3.86
U11	JUNCTION	12:10	0.2	3.84
U12	JUNCTION	12:05	0.2	3.81
U13	JUNCTION	12:05	0.2	3.8
U14	JUNCTION	12:11	0.19	3.79
U15	JUNCTION	12:10	0.18	3.78
U16	JUNCTION	13:00	0.16	3.76
U17	JUNCTION	12:15	0.14	3.68
U18	JUNCTION	11:52	0.2	3.4
U19	JUNCTION	12:11	0.18	3.38
U20	JUNCTION	11:59	0.2	3.34
U21	JUNCTION	12:06	0.14	3.28
U22	JUNCTION	12:03	0.19	3.24
U23	JUNCTION	12:02	0.16	3.21
U24	JUNCTION	7:35	0.2	3.2
U25	JUNCTION	9:58	0.2	3.2
U26	JUNCTION	12:13	0.09	4.24
U27	JUNCTION	12:13	0.13	4.19
U28	JUNCTION	12:19	0.14	3.99
U29	JUNCTION	12:14	0.2	3.82
U30	JUNCTION	12:25	0.17	3.76
U31	JUNCTION	12:12	0.2	3.65
U32	JUNCTION	12:11	0.2	3.64
U33	JUNCTION	12:12	0.2	3.63
U34	JUNCTION	12:15	0.13	3.53
U35	JUNCTION	12:16	0.11	3.48
U36	JUNCTION	12:14	0.15	3.42
U37	JUNCTION	9:58	0.2	3.2
U38	JUNCTION	7:30	0.2	3.2
U9	OUTFALL	12:14	0.08	3.08

Nudos con Inundación

Node	Hour of Maximum	Hours	Total Flood Volume
	Flooding	Flooded	10 ⁶ ltr
U4	12:21	0.36	0.138
U7	12:21	0.87	0.825
U11	12:09	0.31	0.111
U12	12:10	0.09	0.004
U13	12:15	0.67	0.342
U14	12:11	0.9	0.422
U19	12:15	2.48	2.359
U21	12:11	0.69	0.221
U26	12:10	6.67	1.14
U27	9:58	1.9	0
U31	12:17	0.2	0.036
U33	12:25	0.39	0.071
U34	12:17	0.6	0.291
U35	12:12	0.69	0.099
U8	12:10	5.59	4.209
U25	12:42	14.91	8.144
Vol. Flooding			18.412

Anexo 7:
**Memoria fotográfica del
levantamiento
topográfico**



Levantamiento con nivel en la Av. Circunvalación Norte.



Levantamiento con nivel en la calle Guayas.



Levantamiento con nivel en la calle Av. 11ava Norte, sector del Parque Centenario.



Levantamiento con nivel en la calle Av. de Las Palmeras

Anexo 8:

Planos

MODELO DIGITAL DE ELEVACIONES

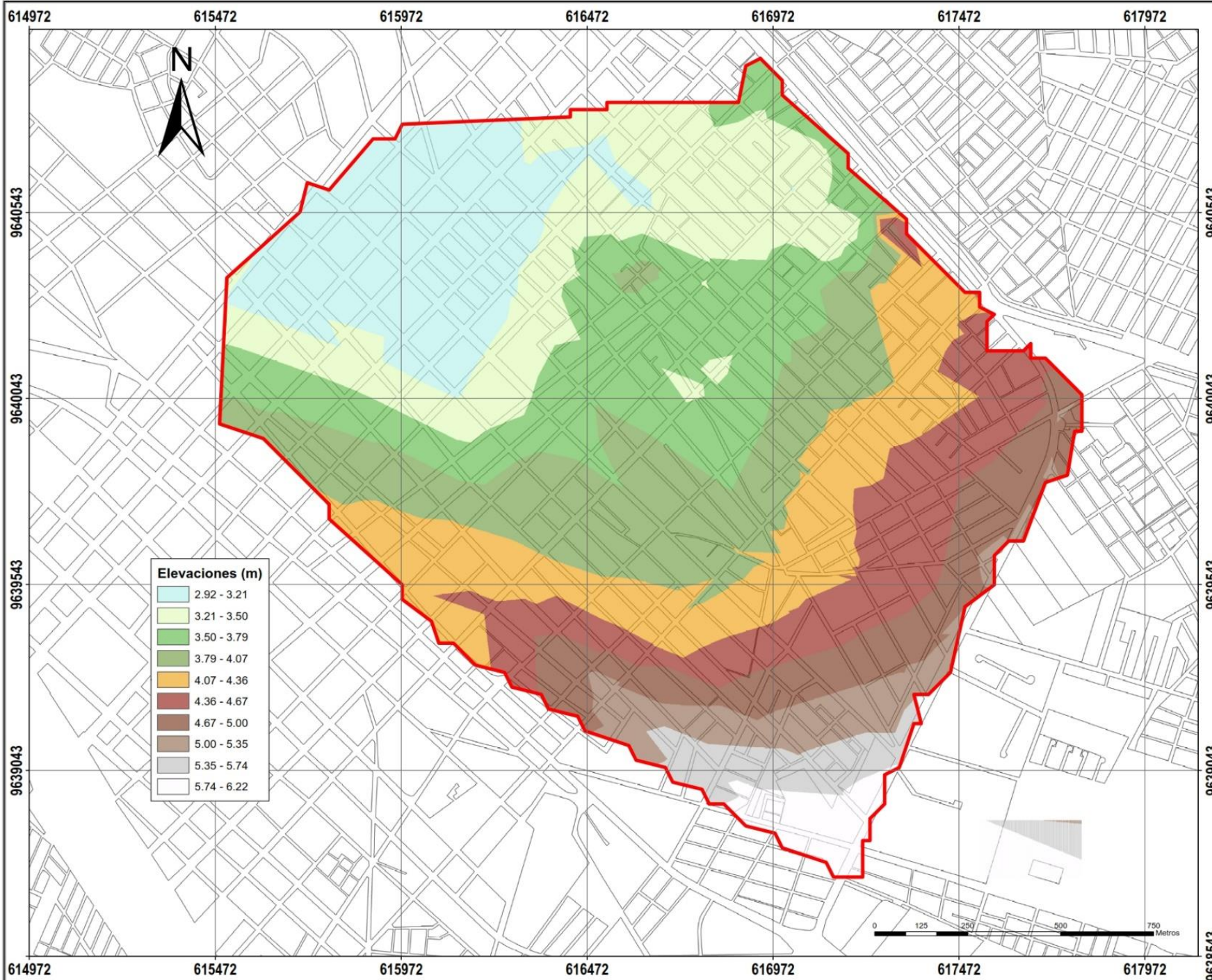


Lámina:

PLANO DE UBICACIÓN

Sector: Noreste	Parroquia: Jubones
Provincia: El Oro	Cantón: Machala

Levantamiento realizado con Sistema de Coordenadas
WGS 84 - Proy.Cart. - UTM Zona: 17 Sur

Proyecto/Práctica:

"Análisis Hidrológico Para El Control De Inundaciones Mediante La Aplicación De Sistemas Urbanos De Drenaje Sostenibles En El Cantón Machala"

Contiene:

Modelo Digital de Elevaciones de la Cuenca Urbana

Revisado por:

Ing. Carlos Eugenio Sánchez Mendieta,
M. Sc.

Elaborado por:

Andrea Estefanía Hidalgo García

Detalles:

Cuenca Urbana
 Manzanas

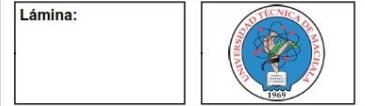
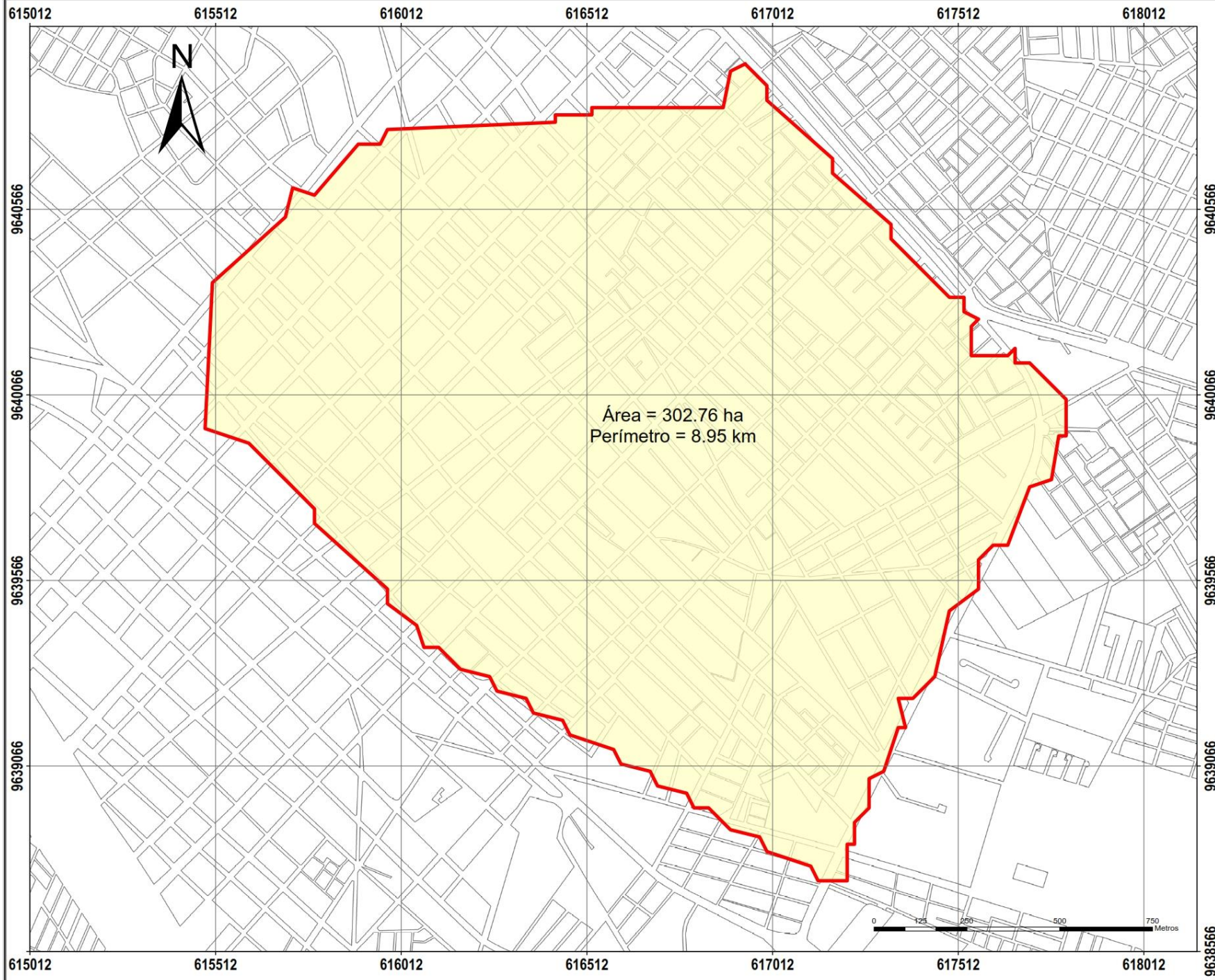
Fecha: 06/09/2019

No. de Plano

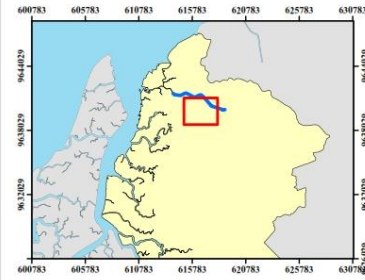
Escala: 1:5,000

1/8

ÁREA Y PERÍMETRO DE LA CUENCA URBANA



PLANO DE UBICACIÓN



Sector: Noreste
Parroquia: Jubones

Provincia: El Oro
Cantón: Machala

Levantamiento realizado con Sistema de Coordenadas
WGS 84 - Proy.Cart. - UTM Zona: 17 Sur

Proyecto/Práctica:
"Análisis Hidrológico Para El Control De Inundaciones Mediante La Aplicación De Sistemas Urbanos De Drenaje Sostenibles En El Cantón Machala"

Contiene:
Área y Perímetro de la Cuenca Urbana

Revisado por:
Ing. Carlos Eugenio Sánchez Mendieta,
M. Sc.

Elaborado por:
Andrea Estefanía Hidalgo García

Detalles:

- Área de la cuenca
- Perímetro de la cuenca
- Manzanas

Fecha: 06/09/2019
No. de Plano

Escala: 1:5,000
2/8

Facultad de Ingeniería Civil- UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MACHALA



ÁREA PERMEABLE E IMPERMEABLE DE LA CUENCA URBANA

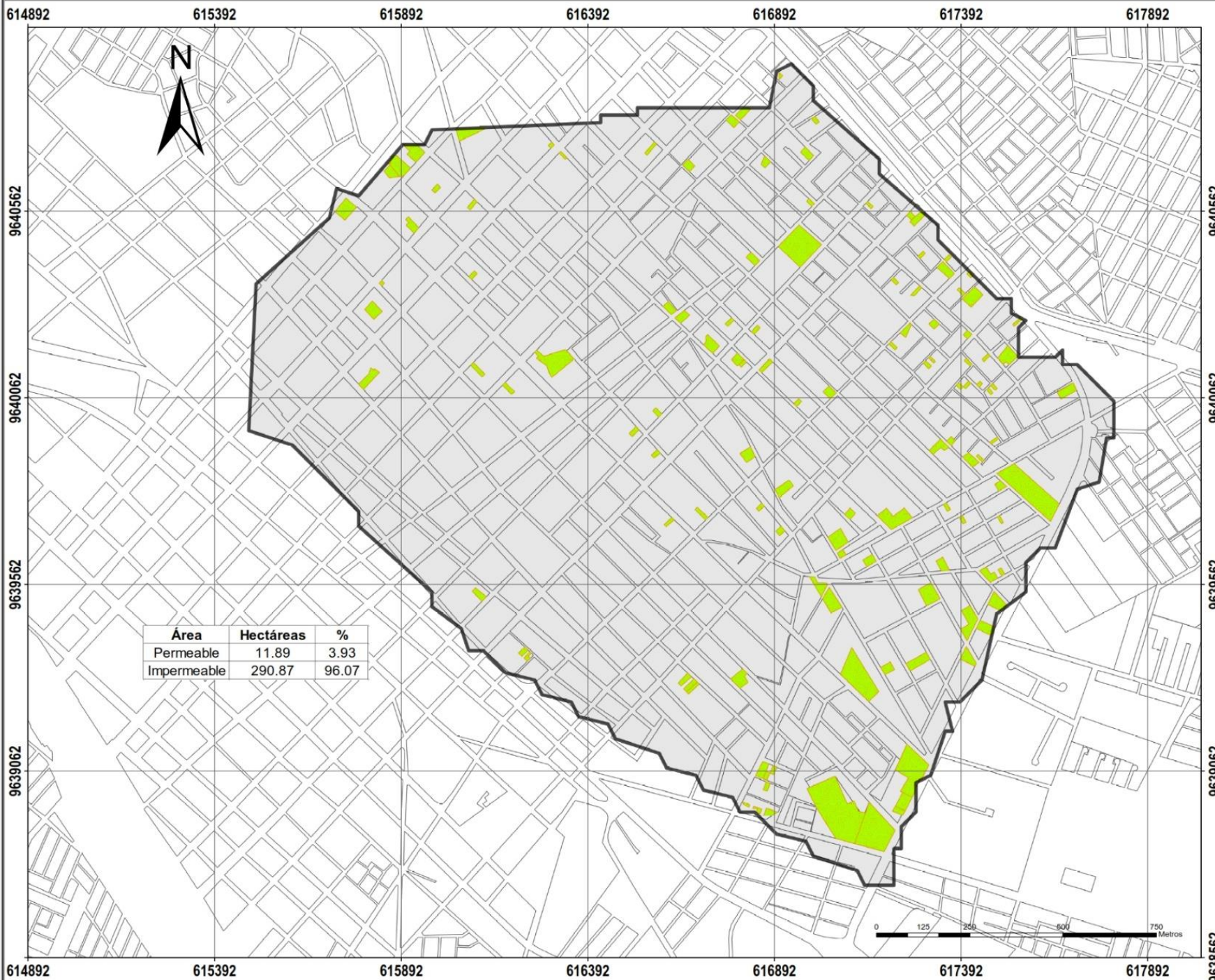


Lámina:

PLANO DE UBICACIÓN

Sector:
Noreste

Parroquia:
Jubones

Provincia:
El Oro

Cantón:
Machala

Levantamiento realizado con Sistema de Coordenadas
WGS 84 - Proj.Cart. - UTM Zona: 17 Sur

Proyecto/Práctica:

"Análisis Hidrológico Para El Control De Inundaciones Mediante La Aplicación De Sistemas Urbanos De Drenaje Sostenibles En El Cantón Machala"

Contiene:

Área Permeable e Impermeable de la Cuenca Urbana

Revisado por:

Ing. Carlos Eugenio Sánchez Mendieta,
M. Sc.

Elaborado por:

Andrea Estefanía Hidalgo García

Detalles:

- Cuenca Urbana
- Área Permeable
- Área Impermeable
- Manzanas

Fecha: 06/09/2019

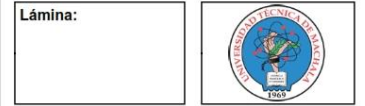
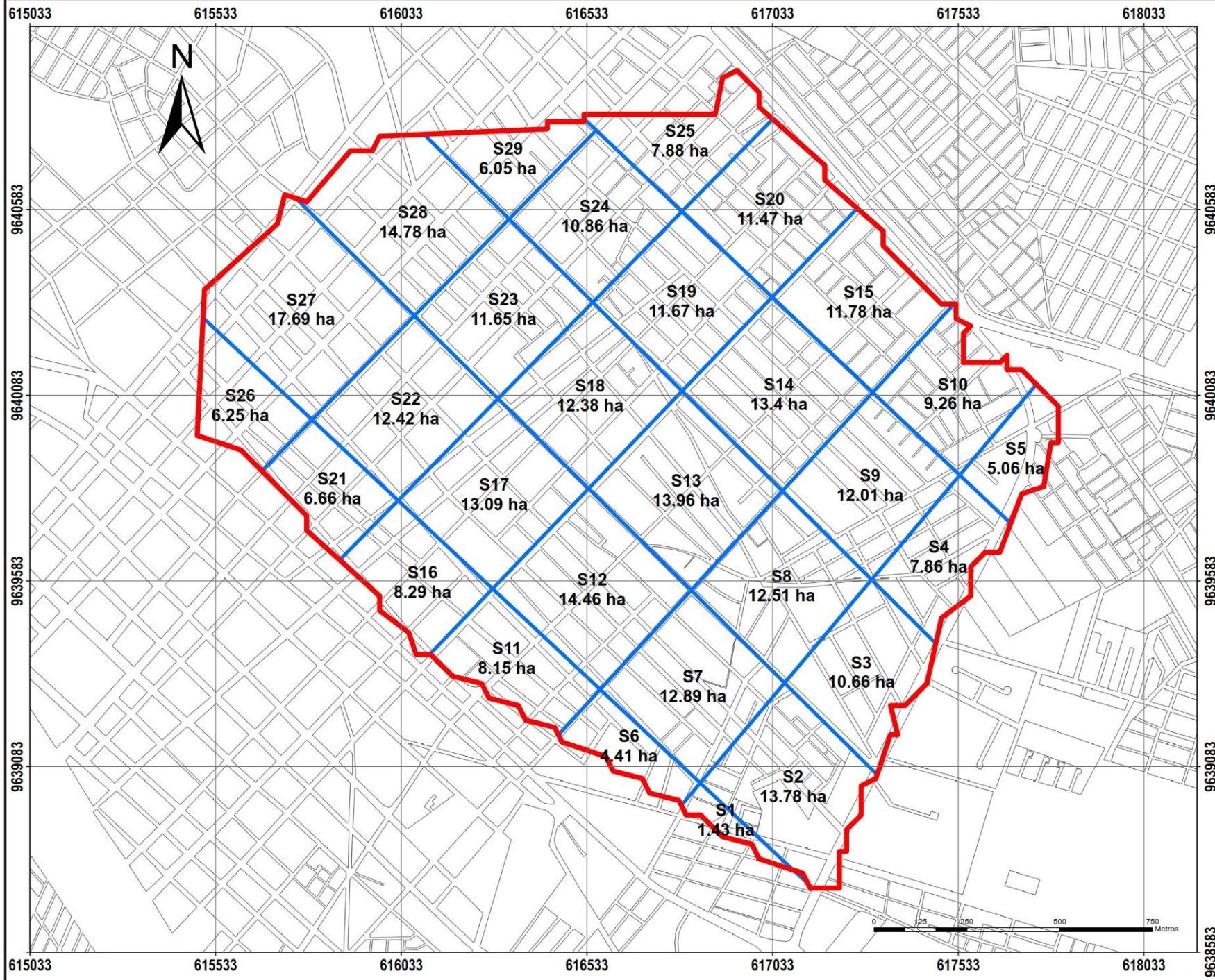
No. de Plano

Escala: 1:5,000

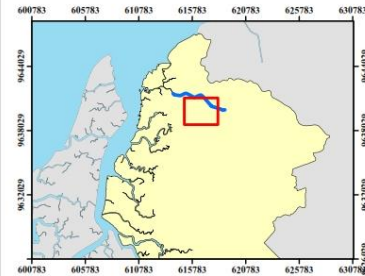
3/8

Facultad de Ingeniería Civil- UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MACHALA

CUENCA URBANA Y SUBCUENCAS



PLANO DE UBICACIÓN



Sector: Noreste
Parroquia: Jubones

Provincia: El Oro
Cantón: Machala

Levantamiento realizado con Sistema de Coordenadas WGS 84 - Proj.Cart. - UTM Zona: 17 Sur

Proyecto/Práctica:
"Análisis Hidrológico Para El Control De Inundaciones Mediante La Aplicación De Sistemas Urbanos De Drenaje Sostenibles En El Cantón Machala"

Contiene:
Cuenca Urbana y Subcuencas o Áreas de Drenaje

Revisado por:
Ing. Carlos Eugenio Sánchez Mendieta, M. Sc.

Elaborado por:
Andrea Estefanía Hidalgo García

Detalles:

- ▭ Cuenca Urbana
- ▭ Subcuencas
- ▭ Manzanas

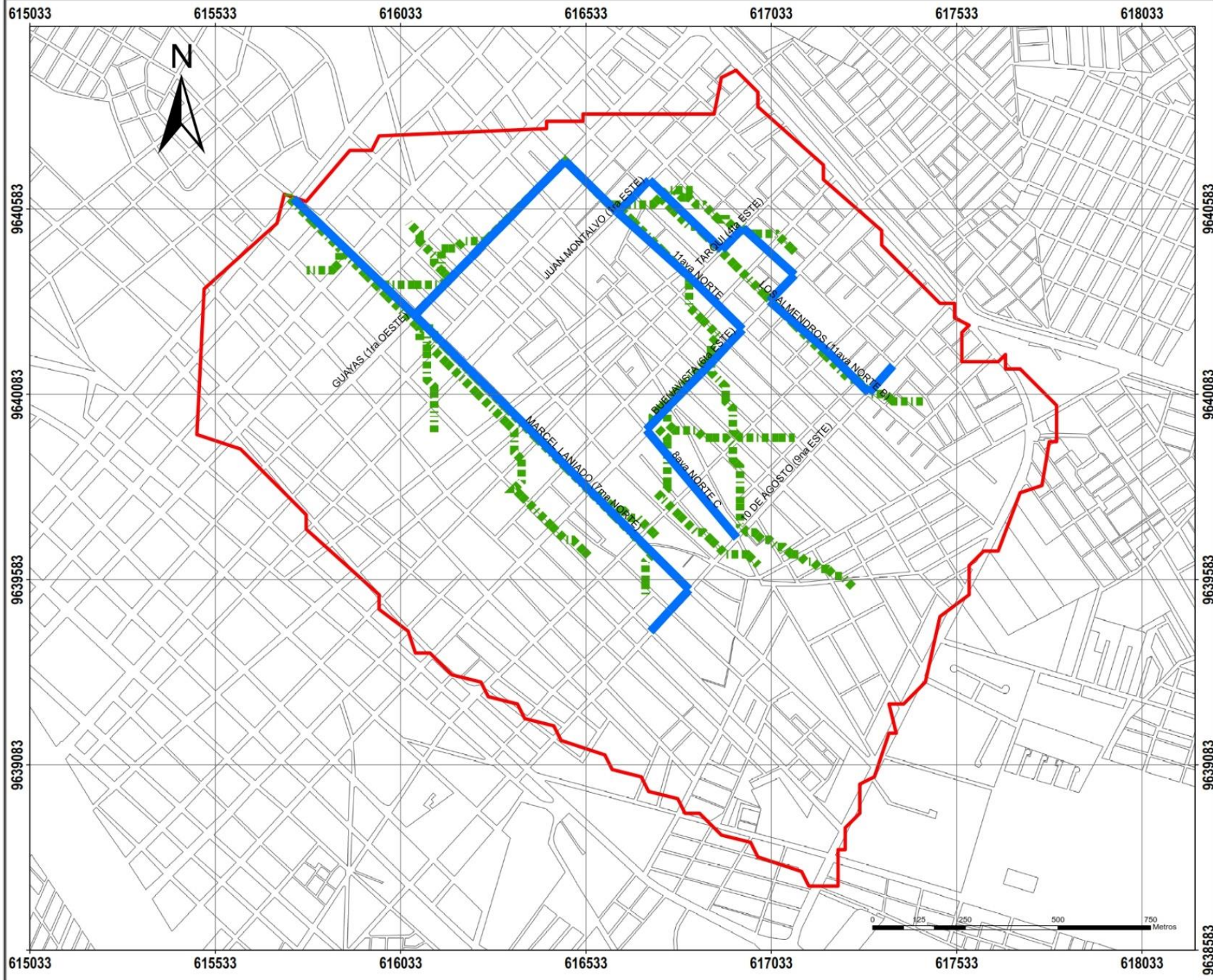
Fecha: 06/09/2019
No. de Plano

Escala: 1:5,000
4/8

Facultad de Ingeniería Civil- UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MACHALA



CUENCA URBANA CON DRENAJE NATURAL Y DRENAJE MODELADO



PLANO DE UBICACIÓN



Sector: Noreste
Parroquia: Jubones

Provincia: El Oro
Cantón: Machala

Levantamiento realizado con Sistema de Coordenadas WGS 84 - Proj.Cart. - UTM Zona: 17 Sur

Proyecto/Práctica:

"Análisis Hidrológico Para El Control De Inundaciones Mediante La Aplicación De Sistemas Urbanos De Drenaje Sostenibles En El Cantón Machala"

Contiene:

Cuenca Urbana con Drenaje Natural y Drenaje Modelado

Revisado por:

Ing. Carlos Eugenio Sánchez Mendieta, M. Sc.

Elaborado por:

Andrea Esthelfania Hidalgo García

Detalles:

- Cuenca Urbana
- Drenaje Natural
- Drenaje Modelado
- Manzanas

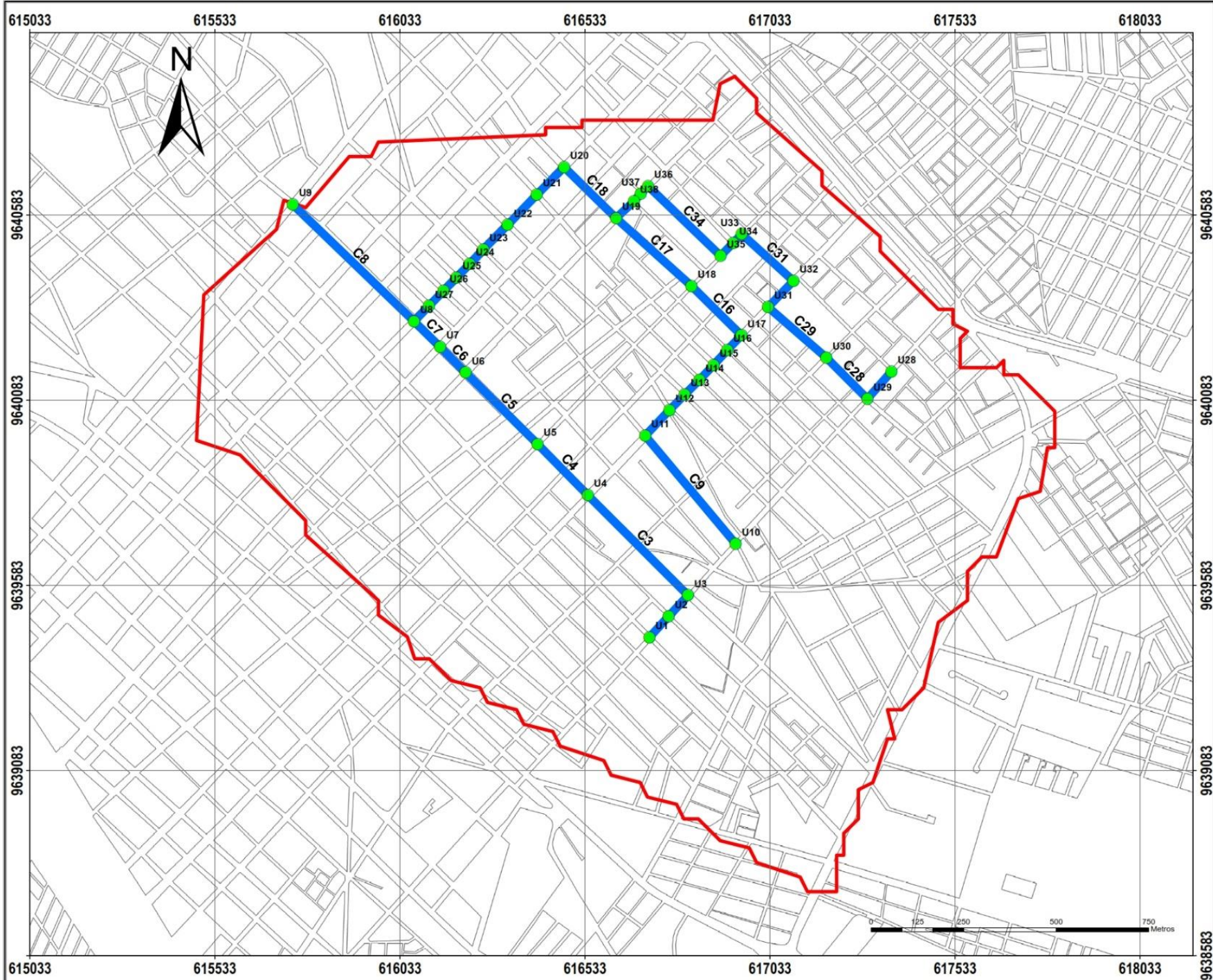
Fecha: 06/09/2019
No. de Plano

Escala: 1:5,000
5/8

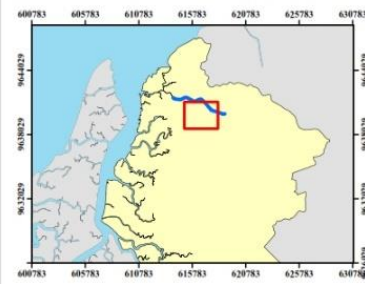
Facultad de Ingeniería Civil- UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MACHALA



CUENCA URBANA CON ELEMENTOS DEL DRENAJE MODELADO



PLANO DE UBICACIÓN



Sector: Noreste
Parroquia: Jubones

Provincia: El Oro
Cantón: Machala

Levantamiento realizado con Sistema de Coordenadas WGS 84 - Proj.Cart. - UTM Zona: 17 Sur

Proyecto/Práctica:

"Análisis Hidrológico Para El Control De Inundaciones Mediante La Aplicación De Sistemas Urbanos De Drenaje Sostenibles En El Cantón Machala"

Contiene:

Cuenca Urbana con los Elementos del Drenaje Modelado (Conducciones y Uniones)

Revisado por:

Ing. Carlos Eugenio Sánchez Mendieta, M. Sc.

Elaborado por:

Andrea Estefanía Hidalgo García

Detalles:

- Cuenca Urbana
- Drenaje Modelado
- Uniones
- Manzanas
- C = Conducción o Calle
- U = Unión o Intersección

Fecha: 06/09/2019
No. de Plano

Escala: 1:5.000
6/8

Facultad de Ingeniería Civil- UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MACHALA



NIVEL DE AGUA EN CALLES E INTERSECCIONES, RESULTADO DE LA SIMULACIÓN SIN APLICAR SISTEMAS URBANOS DE DRENAJE SOSTENIBLE

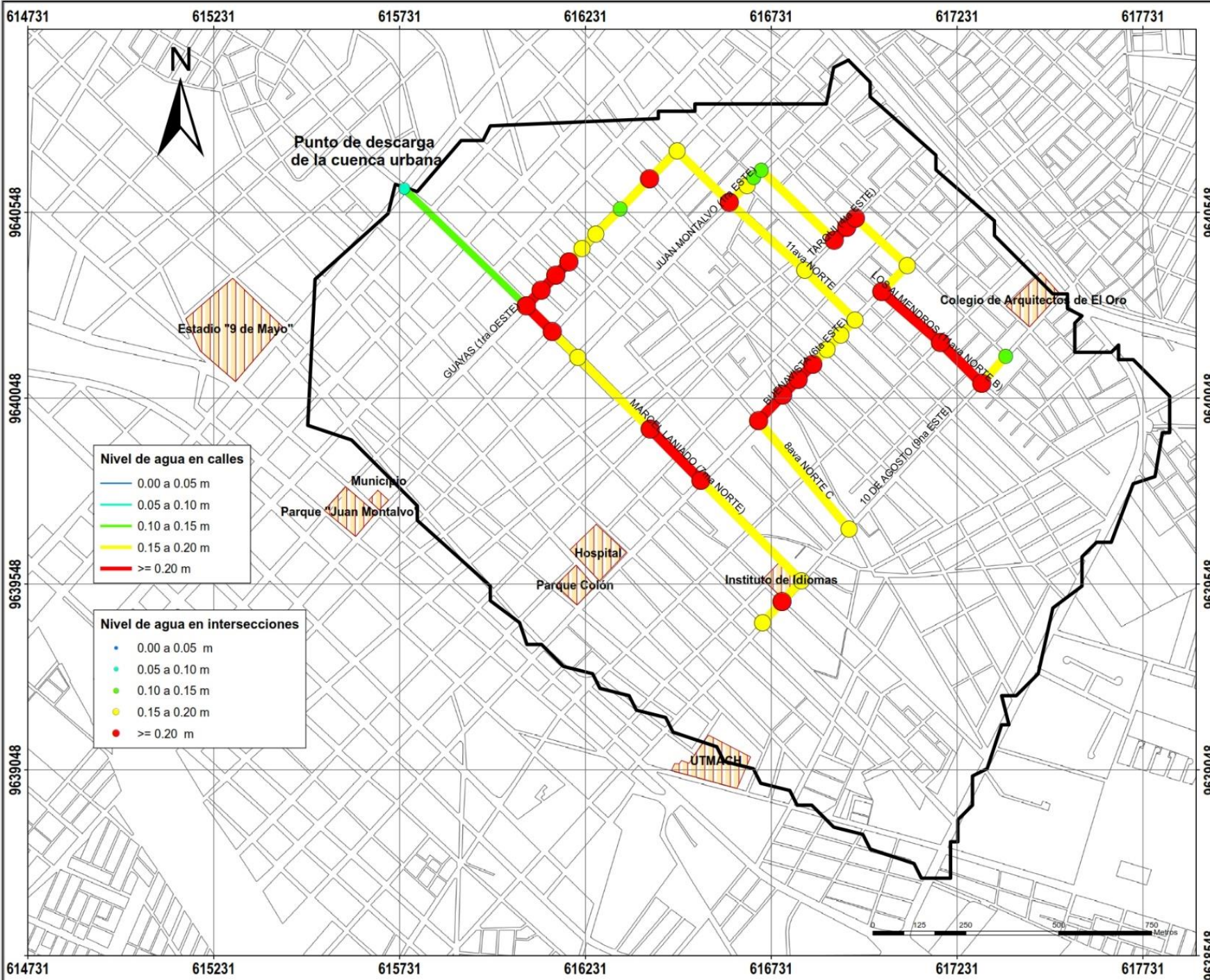




Lámina:



PLANO DE UBICACIÓN



Sector: Noreste	Parroquia: Jubones
Provincia: El Oro	Cantón: Machala

Levantamiento realizado con Sistema de Coordenadas WGS 84 - Proj.Cart. - UTM Zona: 17 Sur

Proyecto/Práctica:
"Análisis Hidrológico Para El Control De Inundaciones Mediante La Aplicación De Sistemas Urbanos De Drenaje Sostenibles En El Cantón Machala"

Contiene:
Escenario 1 - Nivel de agua en Calles e Intersecciones, resultados de la simulación realizada en SWMM 5.1


Revisado por:
Ing. Carlos Eugenio Sánchez Mendieta, M. Sc.

Elaborado por:
Andrea Estefanía Hidalgo García

Detalles:

- Cuenca Urbana
- Puntos de referencia
- Manzanas

Fecha: 06/09/2019	No. de Plano 7/8
Escala: 1:5,000	



Facultad de Ingeniería Civil- UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MACHALA

NIVEL DE AGUA EN CALLES E INTERSECCIONES, RESULTADO DE LA SIMULACIÓN APLICANDO SISTEMAS URBANOS DE DRENAJE SOSTENIBLE

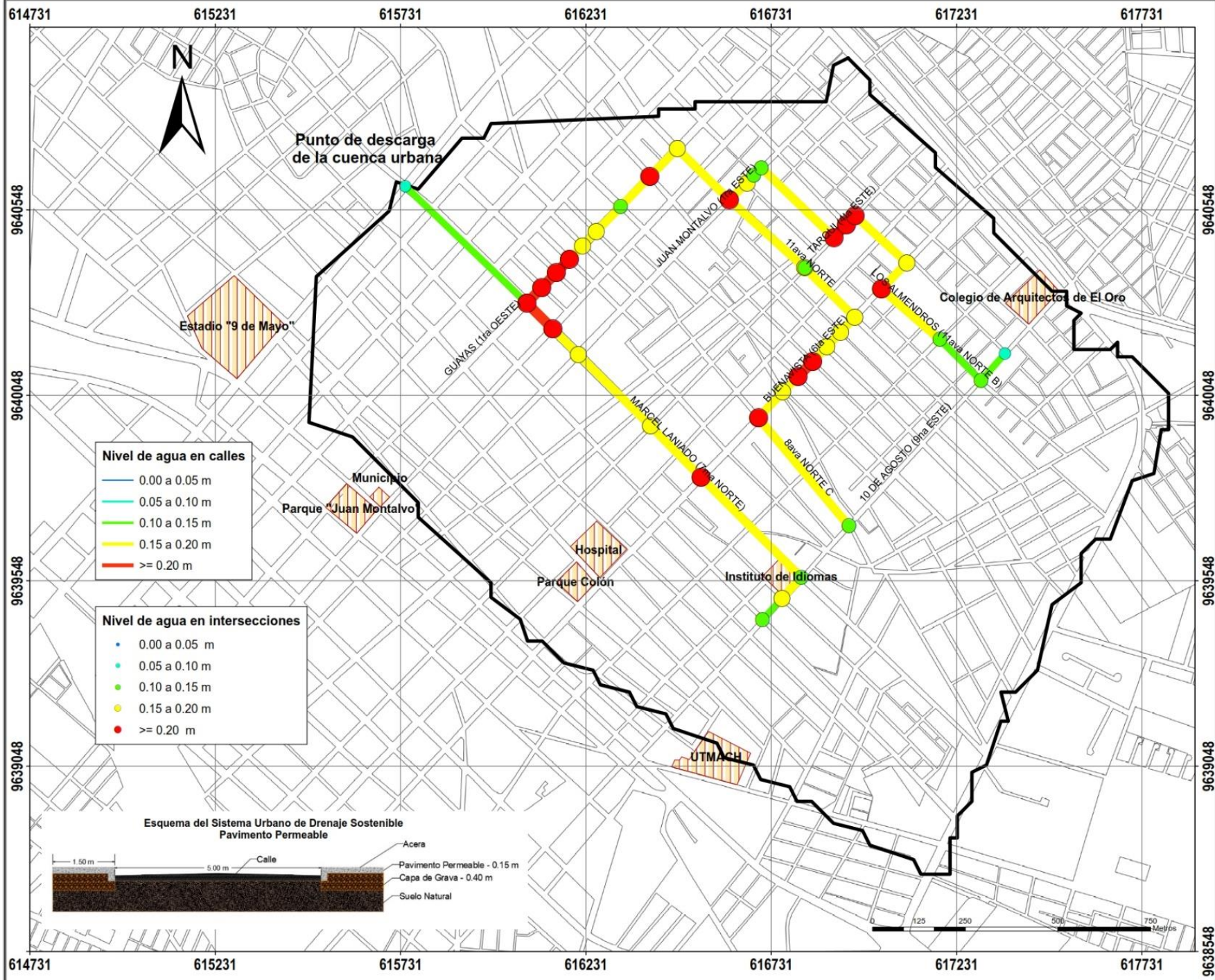


Lámina:

PLANO DE UBICACIÓN

Sector: Noreste Parroquia: Jubones

Provincia: El Oro Cantón: Machala

Levantamiento realizado con Sistema de Coordenadas WGS 84 - Proj.Cart. - UTM Zona: 17 Sur

Proyecto/Práctica:

"Análisis Hidrológico Para El Control De Inundaciones Mediante La Aplicación De Sistemas Urbanos De Drenaje Sostenibles En El Cantón Machala"

Contiene:

Escenario 2 - Nivel de agua en Calles e Intersecciones, resultados de la simulación realizada en SWMM 5.1 aplicando SUDS

Revisado por:

Ing. Carlos Eugenio Sánchez Mendieta, M. Sc.

Elaborado por:

Andrea Estefanía Hidalgo García

Detalles:

- Cuenca Urbana
- Puntos de referencia
- Manzanas

Fecha: 06/09/2019 No. de Plano: 8/8

Escala: 1:5,000