



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA SEDE AZOGUES

**UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y
CONSTRUCCIÓN**

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

TRABAJO DE TITULACIÓN PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL

*MODELIZACIÓN DE SEDIMENTOS DE UNA RED DE
ALCANTARILLADO MEDIANTE PROGRAMA SWMM*

AUTOR:

MARÍA JOSÉ QUEZADA CALLE

TUTOR:

ING. CRISTIÁN ARTURO VINTIMILLA ULLOA, MSc.

AZOGUES- ECUADOR

2018

APROBACIÓN DEL TUTOR

En calidad de tutor del trabajo de titulación, presentado por la Sra. María José Quezada Calle para optar por el título de INGENIERA CIVIL, doy fe que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a presentación pública y evaluación por parte del jurado examinador que se designe.

En la ciudad de Azogues, a los 28 días del mes de Noviembre de 2018.



Ing. Cristián Arturo Vintimilla Ulloa MSc.

DOCENTE DE LA UNIDAD ACADEMICA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

CI: 0105001564

CERTIFICADO DE AUTORIA

El presente trabajo investigativo de proyecto profesional de grado previo a la obtención del título de Ingeniera Civil, cuyo tema es “MODELIZACIÓN DE SEDIMENTOS DE UNA RED DE ALCANTARILLADO MEDIANTE PROGRAMA SWMM”, corresponden al trabajo de investigación del autor, además certifico que he cumplido con todas las observaciones realizadas por el tribunal evaluador.



María José Quezada Calle

ESTUDIANTE

CI: 0107131450

Agradecimiento

Agradezco a Dios y a la Virgen Santísima porque me han llenado de fortaleza, sabiduría y dedicación para culminar mi trabajo de titulación, a mis padres que me han apoyado incondicionalmente durante toda mi vida universitaria y a mis amigos con quienes he compartido gratos momentos dentro y fuera del área estudiantil.

Agradezco también a mi tutor, Ing. Cristián Vintimilla Ulloa, por su paciencia y apoyo absoluto para que el desarrollo y culminación de mi trabajo de titulación hayan cumplido mis objetivos.

Dedicatoria

Dedico este trabajo de titulación a mi abuelita Dalila (†), quien fue la persona que me inculcó durante cada momento de su vida, a que me esfuerce y alcance un título universitario; a mi esposo, mis padres, mi hermana y mis tíos, quienes me apoyaron de diversas formas y fueron un pilar importante para que haya culminado mis estudios satisfactoriamente.

Resumen

El propósito de este trabajo de titulación consiste en modelizar sedimentos de una parte del sistema de alcantarillado combinado de la ciudad de Biblián utilizando el software de libre distribución “SWMM 5.1”, para lo cual es necesario ingresar características de las cuencas, pozos de revisión, conductos, precipitaciones (hietogramas de diseño) y concentración de sedimentos para toda el área de estudio; los datos se obtienen a partir de trabajo en campo y recopilación de información bibliográfica. Mediante análisis numérico, a partir de los resultados obtenidos bajo 6 simulaciones con precipitaciones de periodos de retorno diferentes (3, 5, 10, 20, 30 y 50 años), es posible identificar conductos que pueden sedimentar material que arrastrado por las aguas lluvias ingresan a la red de alcantarillado.

Los resultados revelan que no existe problemas de sedimentación en la red, más bien la cantidad mínima de material que llega a depositarse ayuda a que durante eventos de precipitación posteriores el material que ingresa a la red sea transportado con mayor facilidad (Butler & Davies, 2011). También se identifica que varios conductos trabajan a presión, condición no aceptable para redes de alcantarillado, por lo que el sistema ya no es eficiente al 100%, siendo esta la principal causa de inundaciones. Adicionalmente se identifican tramos con velocidades superiores a 2,5 m/s que pueden provocar erosión en los conductos.

Es importante contar con información hidrológica y datos de acumulación y arrastre de sedimentos de la zona para que los resultados generados estén mucho más acordes a la realidad y no exista la necesidad de emplear información bibliográfica generalizada. También es significativo optar por nuevas metodologías de diseño en las que intervienen varios parámetros que dan paso a creación de redes de alcantarillado más eficientes.

Palabras clave: SWMM, sedimentación, alcantarillado, erosión, presión.

Abstract

The purpose of this graduation work is to model sediments of a part of the combined sewer system of the city of Biblián using the software of free distribution "SWMM 5.1", and to do it, it is necessary to enter characteristics of the basins, revision wells, ducts, precipitations (design hietograms) and concentration of sediments for the entire study area; the data is obtained from field work and literature review. Through numerical analysis, from the results obtained under 6 simulations with rainfall of different return periods (3, 5, 10, 20, 30 and 50 years), it is possible to identify ducts that can sediment material that, dragged by rainwater, enter to the sewerage network.

The results reveal that there are no problems of sedimentation in the network, rather the minimum amount of material that is deposited helps that, during later precipitation events, the material that enters the network is transported easily (Butler & Davies, 2011). It is also identified that several ducts work under pressure, a condition not acceptable for sewerage networks, so the system is no longer 100% efficient, this being the main cause of flooding. Additionally, stretches identified with speeds faster than 2.5 m / s may be the cause of erosion in the ducts.

It is important to have hydrological information, besides accumulation and sediment data from the area, so that the results generated can be much more in line with reality and, in this way, there is no need to use generalized literature review. It is also significant to choose new design methodologies that involve several parameters that lead to the creation of more efficient sewerage networks.

Keywords: SWMM, sedimentation, sewerage, erosion, pressure.

Índice

Aprobación del tutor	
Certificado de autoria	
Agradecimiento	
Dedicatoria	
Resumen	
Abstract	
CAPITULO I	1
1.1 Introducción	1
1.2 Justificación.....	1
1.3 Hipótesis.....	2
1.4 Objetivos	2
1.4.1 Objetivo General	2
1.4.2 Objetivos Específicos	3
1.5 Metodología	3
CAPÍTULO II	5
Fundamentación Teórica	5
2.1 Sistemas de alcantarillado combinado.....	5
2.1.1 Alcantarillado combinado	5
2.1.2 Aguas residuales y aguas lluvias	5
2.1.3 Componentes de un sistema de alcantarillado.....	6
2.1.4 Parámetros hidráulicos e hidrológicos para modelización de un sistema de alcantarillado combinado	6
2.2 Sedimentación de partículas	7
2.2.1 Problemas en sistemas de alcantarillado debido a la sedimentación	7
2.3 Precipitación y escurrimiento	9
2.4 Programa computacional EPA SWMM (Storm Water Management Model).....	9
2.4.1 Modelización numérica e hidrológica	9

2.4.2 Software Storm Water Management Model (SWMM)	9
2.4.3 Componentes visuales de EPA SWMM.....	11
2.4.4 Componentes no visuales de EPA SWMM.....	12
2.4.5 Escorrentía superficial.....	14
2.4.6 Infiltración.....	14
2.4.7 Modelos hidráulicos de transporte.....	15
2.4.7.1 Flujo uniforme.....	16
2.4.7.2 Onda cinemática.....	16
2.4.7.3 Onda dinámica	16
2.4.8 Transporte de agentes contaminantes.....	18
CAPITULO III	19
Desarrollo Metodológico.....	19
3.1 Localización geográfica de la zona de estudio	19
3.2 Datos iniciales para la red de alcantarillado combinado.	21
3.3 Descripción del sistema de alcantarillado combinado sometido a estudio.....	23
3.4 Precipitaciones.....	23
3.4.1 Periodos de retorno.....	26
3.4.2 Duración del evento.....	26
3.4.3 Hietogramas de diseño	27
3.5 Sedimentación	28
3.5.1 Procedimientos estadísticos para escorrentía promedio	29
3.5.2 Concentración de sedimentos.....	31
3.6 Modelización del sistema en SWMM	33
3.6.1 Parámetros para cuencas	33
3.6.2 Parámetros para conductos (tuberías).....	34
3.6.3 Parámetros para nodos (pozos de registro).....	35
3.7 Calibración de la modelización	35
3.8 Escenarios de estudio	36
3.9 Volumen de sólidos propensos a sedimentación	37

3.9.1 Velocidad de sedimentación.....	37
CAPÍTULO IV	39
Análisis de resultados.....	39
4.1 Velocidades en los conductos.....	39
4.2 Capacidades de los conductos	48
4.3 Resultados de sedimentación.....	61
CAPÍTULO V	80
5.1 Conclusiones	80
5.2 Recomendaciones.....	82
Bibliografía.....	83
Anexos.....	a
Anexo A1: Ensayos de laboratorio.....	a
Anexo A2: Registro fotográfico de trabajo en campo.....	c
Anexo A3: Área de influencia para alcantarillado combinado delimitado a modelizar	e
Anexo A4: Áreas impermeables de cuencas influentes en red de alcantarillado a modelizar	f
Anexo A5: Cuencas influentes en la red de alcantarillado combinado de Biblián para modelizar	g
Anexo A6: Áreas tributarias sanitarias influentes	h
Anexo AA7: Resultados máximos de capacidades, caudales y velocidades en los conductos para los diferentes periodos de retorno simulados.	i
Anexo A8: Detalle de códigos de pozos de revisión y tuberías ingresadas en SWMM 5.1.....	u

Índice de tablas

Tabla 1. Parámetros hidráulicos e hidrológicos	7
Tabla 2. Módulos de análisis de EPA SWMM	11
Tabla 3. Curvas de Intensidad – Duración - Frecuencia (IDF) de estación Cañar M003126	
Tabla 4. Hietogramas para escenarios de simulación en SWMM.....	27
Tabla 5. Distribución Gumbel.....	30
Tabla 6. Precipitación anual.....	31
Tabla 7. Valores típicos de suministro de sedimentos (κ)	32
Tabla 8. Concentraciones de sedimento para escenarios de simulación	32
Tabla 9. Coeficientes de Manning de acuerdo al tipo de material	34
Tabla 10. Resultados de calibración	35
Tabla 11. Porcentajes y longitudes de conductos de acuerdo a resultados de velocidades40	
Tabla 12. Conductos con problemas de erosión.	41
Tabla 13. Porcentajes y longitudes de conductos de acuerdo a resultados de capacidades	49
Tabla 14. Conductos con capacidades superiores a 75%	50
Tabla 15. Porcentajes y longitudes de conductos de acuerdo a resultados de sedimentación	63
Tabla 16. Conductos con sedimentación.....	64
Tabla 17. Problemas en conductos.....	78
Tabla 18. Granulometría de material que ingresa a red de alcantarillado.....	a
Tabla 19. Resultados máximos generados por SWMM 5.1 en simulación para periodo de retorno de 3 años.....	i
Tabla 20. Resultados máximos generados por SWMM 5.1 en simulación para periodo de retorno de 5 años.....	k
Tabla 21. Resultados máximos generados por SWMM 5.1 en simulación para periodo de retorno de 10 años.....	m
Tabla 22. Resultados máximos generados por SWMM 5.1 en simulación para periodo de retorno de 20 años.....	o
Tabla 23. Resultados máximos generados por SWMM 5.1 en simulación para periodo de retorno de 30 años.....	q
Tabla 24. Resultados máximos generados por SWMM 5.1 en simulación para periodo de retorno de 50 años.....	s

Índice de figuras

Figura 1. Componentes visuales de EPA SWMM.....	12
Figura 2. Modelo de una cuenca, esquema aplicado en EPA SWMM.	14
Figura 3. Ubicación geográfica de la provincia del Cañar y Cantón Biblián.....	19
Figura 4. Zona de estudio delimitada en la ciudad de Biblián.	20
Figura 5. Zona de estudio.....	20
Figura 6. Ubicación de estaciones meteorológicas en mapa de isotermas.....	24
Figura 7. Ubicación de estaciones meteorológicas en mapa de isotermas.....	24
Figura 8. Precipitación máxima 24 HR. Creado a partir de datos de los Anuarios Meteorológicos del Ecuador.	25
Figura 9. Hietogramas de diseño para los diferentes periodos de retorno (T)	28
Figura 10. CN compuesto para área impermeable conectada al sistema de drenaje.....	34
Figura 11. Esquema de la red de alcantarillado combinado en SWMM 5.1.....	36
Figura 12. Resultado de velocidades en conductos. Simulación en SWMM 5.1. Periodo de retorno de 3 años.	42
Figura 13. Resultado de velocidades en conductos. Simulación en SWMM 5.1. Periodo de retorno de 5 años.	43
Figura 14. Resultado de velocidades en conductos. Simulación en SWMM 5.1. Periodo de retorno de 10 años.	44
Figura 15. Resultado de velocidades en conductos. Simulación en SWMM 5.1. Periodo de retorno de 20 años.	45
Figura 16. Resultado de velocidades en conductos. Simulación en SWMM 5.1. Periodo de retorno de 30 años.	46
Figura 17. Resultado de velocidades en conductos. Simulación en SWMM 5.1. Periodo de retorno de 50 años.	47
Figura 18. Resultado de capacidades en conductos. Simulación en SWMM 5.1. Periodo de retorno de 3 años.	51
Figura 19. Resultado de capacidades en conductos. Simulación en SWMM 5.1. Periodo de retorno de 5 años.	52
Figura 20. Resultado de capacidades en conductos. Simulación en SWMM 5.1. Periodo de retorno de 10 años.	53
Figura 21. Resultado de capacidades en conductos. Simulación en SWMM 5.1. Periodo de retorno de 20 años.	54
Figura 22. Resultado de capacidades en conductos. Simulación en SWMM 5.1. Periodo de retorno de 30 años.	55

Figura 23. Resultado de capacidades en conductos. Simulación en SWMM 5.1. Periodo de retorno de 50 años.	56
Figura 24. Perfil de elevación máxima del agua entre pozos de revisión J24 y J97. Ubicación: Av. Eloy Alfaro entre Primero de Febrero y Tomás Sacoto.....	57
Figura 25. Perfil de elevación máxima del agua entre pozos de revisión J85 y J82. Ubicación: calle Primero de Agosto entre 3 de Noviembre y Tomás Sacoto.....	58
Figura 26. Perfil de elevación máxima del agua entre pozos de revisión J56 y J67. Ubicación: calle Mariscal Sucre entre Av. Alberto Ochoa y Tomás Sacoto.	59
Figura 27. Perfil de elevación máxima del agua entre pozos de revisión J11 y J69. Ubicación: Av. Alberto Ochoa entre Primero de Mayo y 3 de Noviembre.	60
Figura 28. Diagrama velocidad cortante – velocidad de caída. No existe sedimentación	62
Figura 29. Diagrama velocidad cortante - velocidad de caída. Se desprecia sedimentación	62
Figura 30. Diagrama velocidad cortante - velocidad de caída. Existe sedimentación	62
Figura 31. Resultados de concentración de sedimentos en conductos. Simulación en SWMM 5.1. Periodo de retorno de 3 años.....	65
Figura 32. Resultados de concentración de sedimentos en conductos. Simulación en SWMM 5.1. Periodo de retorno de 5 años.....	66
Figura 33. Resultados de concentración de sedimentos en conductos. Simulación en SWMM 5.1. Periodo de retorno de 10 años.....	67
Figura 34. Resultados de concentración de sedimentos en conductos. Simulación en SWMM 5.1. Periodo de retorno de 20 años.....	68
Figura 35. Resultados de concentración de sedimentos en conductos. Simulación en SWMM 5.1. Periodo de retorno de 30 años.....	69
Figura 36. Resultados de concentración de sedimentos en conductos. Simulación en SWMM 5.1. Periodo de retorno de 30 años.....	70
Figura 37. Conductos propensos a sedimentación para periodo de retorno de 3 años.....	71
Figura 38. Conductos propensos a sedimentación para periodo de retorno de 5 años.....	72
Figura 39. Conductos propensos a sedimentación para periodo de retorno de 10 años....	73
Figura 40. Conductos propensos a sedimentación para periodo de retorno de 20 años....	74
Figura 41. Conductos propensos a sedimentación para periodo de retorno de 30 años....	75
Figura 42. Conductos propensos a sedimentación para periodo de retorno de 50 años....	76
Figura 43. Problemas en conductos	79
Figura 44. Toma de muestra para ensayo granulométrico.	a
Figura 45. Tamizado de material en laboratorio.	a
Figura 46. Muestra de material para determinación de densidad.....	b
Figura 47. Ejecución de ensayo mediante el uso de picnómetro.	b

Figura 48. Sumidero taponado del cual se obtuvo la muestra de material a ensayar.....	c
Figura 49. Equipo empleado para levantamiento de pozos de revisión.....	c
Figura 50. Exploración de pozos de revisión en la zona de estudio visibles para verificación de profundidades.....	d
Figura 51. Área de influencia para alcantarillado combinado delimitado a modelizar.....	e
Figura 52. Áreas impermeables de cuencas influyentes en red de alcantarillado combinado delimitado para estudio	f
Figura 53. Cuencas para red de alcantarillado combinado de Biblián delimitado para modelizar	g
Figura 54. Áreas tributarias sanitarias influyentes en el sistema de alcantarillado combinado delimitado.....	h
Figura 55. Fracción de red de alcantarillado combinado de Biblián. Lámina: 1/5	u
Figura 56. Fracción de red de alcantarillado combinado de Biblián. Lámina: 2/5	v
Figura 57. Fracción de red de alcantarillado combinado de Biblián. Lámina: 3/5	w
Figura 58. Fracción de red de alcantarillado combinado de Biblián. Lámina: 4/5	x
Figura 59. Fracción de red de alcantarillado combinado de Biblián. Lámina: 5/5	y

CAPITULO I

1.1 Introducción

Cuando ocurren altas precipitaciones y los sistemas de alcantarillado no han sido ejecutados considerando todas las condiciones de diseño, ni han recibido limpieza de sedimentos, estos suelen colapsar provocando inundaciones. Las redes de alcantarillado combinado conducen materia orgánica y partículas sólidas de las cuáles una parte suele asentarse en las tuberías; el depósito de partículas en una red provoca cambios en el comportamiento hidráulico y disminuye el área de paso del flujo.

El tema de investigación se resolverá recopilando información necesaria del sistema de alcantarillado combinado de la ciudad de Biblián, cuyos datos técnicos son facilitados por el GAD Municipal de mencionado lugar, también es necesario obtener datos de precipitación y sedimentación. La información bibliográfica, datos de la red de alcantarillado, el manual de manejo del software SWMM (Storm Water Management Model) y calibración del mismo, permite modelizar diversos escenarios; los resultados permiten identificar las zonas más susceptibles a problemas de sedimentación de material que ingresa a la red cuando es arrastrado por el agua lluvia; además el análisis permitirá obtener una visión general de las condiciones que provocan que una red de alcantarillado colapse.

1.2 Justificación

La modelización de la concentración de sedimentos en el área de estudio del sistema de alcantarillado combinado de la ciudad de Biblián, mediante el uso del software de libre distribución SWMM, es trascendental, porque permite conocer el comportamiento de partículas sólidas en las tuberías que pueden generar inundaciones en épocas de lluvia, causando inconvenientes en el tránsito vehicular y peatonal, además el colapso de las redes de tipo combinado exponen líquido contaminado con desechos orgánicos que pueden provocar graves enfermedades a los habitantes.

En nuestra zona, el uso de programas computacionales de modelización numérica no han tenido mayor relevancia, estos se emplean constantemente en otros países, proporcionando información útil que un diseño convencional no puede proveer. El software SWMM de libre distribución es versátil y de fácil interpretación que trabaja a partir de criterios hidráulicos e hidrológicos, permite crear diversos escenarios considerando precipitaciones con diferentes periodos de retorno, caudales y características de sedimentación, siendo posible el análisis hidráulico a partir de 3 métodos: onda cinemática, onda dinámica o flujo uniforme.

Este software se convierte en una herramienta fundamental que aporta información eficiente para la planificación territorial integral de una localidad, en planes de mitigación para evitar arrastres considerables de sedimentos por medios eólicos o hidráulicos, permitirá conocer cómo se comporta la red, si existen diseños inadecuados permitiendo exponer posibles correcciones que se podrían dar al sistema de alcantarillado combinado.

1.3 Hipótesis

Mediante modelización numérica a partir del programa computacional de libre distribución SWMM 5.1, aplicando diferentes escenarios de análisis con variados caudales líquidos, sólidos y precipitaciones en diferentes periodos de retorno, es posible determinar zonas de acumulación de sedimentos dentro del sistema de alcantarillado combinado del área de estudio en la ciudad de Biblián, que está en relación directa con las inundaciones generadas en épocas de lluvia.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

- Modelizar la distribución de sedimentos en una red de alcantarillado combinado aplicando criterios hidráulicos e hidrológicos, mediante el programa computacional de libre distribución SWMM.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Recopilar información básica, fundamentación teórica, manual de funcionamiento del programa computacional y datos técnicos del sistema de alcantarillado combinado en la zona de estudio.
- Procesar datos hidrológicos para estimar caudales líquidos y sólidos en diferentes periodos de retorno.
- Configurar el sistema de alcantarillado combinado en el programa computacional SWMM, introduciendo los datos del sistema existente, características de los sedimentos y precipitaciones.
- Ejecutar una calibración hidráulica para que el programa trabaje adecuadamente aplicando cálculos hidráulicos.
- Generar escenarios de estudio sobre el modelo SWMM, combinando parámetros líquidos y sólidos.
- Analizar los resultados obtenidos a partir de los escenarios modelizados.

1.5 Metodología

Este trabajo de titulación busca realizar la modelización de sedimentos a partir del programa computacional de libre distribución SWMM 5.1 empleando criterios hidráulicos, hidrológicos y numéricos, para obtener resultados de comportamiento de los sedimentos bajo diversos escenarios de simulación. Se realizará un análisis numérico de datos para estimación de zonas vulnerables a sedimentación.

A partir de la información facilitada por el GAD Municipal del cantón Biblián, y trabajo de campo, se obtiene datos y estudios técnicos que maneja la institución para conocer las características del sistema. Los datos necesarios de la red de alcantarillado combinado existente para una modelización adecuada son: características de las cuencas, diámetros, cotas de fondo y ubicación de pozos, longitud y geometría de tuberías y tipo de material empleado en los componentes del sistema; también es necesario la recopilación de información a través del INAMHI para estimación de caudales de aguas lluvias y caudales sólidos, adicionalmente se necesitan caudales de aguas residuales, pendientes, coeficiente de rugosidad de Manning, entre otros datos.

La modelización inicia con el ingreso de toda la información recabada, como datos de tuberías, pozos, caudales líquidos, sólidos y configuración de criterios de cálculo. Se realiza la calibración del sistema comparando resultados que presente el software SWMM con estimaciones hidráulicas ejecutadas a mano; luego se generan 6 escenarios con variadas combinaciones de gastos líquidos y sólidos en diferentes periodos de retorno. Al modelizar los escenarios, el programa despliega resultados que permiten identificar los parámetros hidráulicos con los que trabaja el sistema de alcantarillado.

Se recopila y procesa la información obtenida por el programa SWMM, se organiza la información en tablas y gráficos para estimar las posibles zonas vulnerables a acumulación de sedimentos.

CAPÍTULO II

Fundamentación Teórica

2.1 Sistemas de alcantarillado combinado

2.1.1 Alcantarillado combinado

Es un sistema de traslado de aguas de tipo convencional, trabaja a gravedad y conduce aguas servidas y aguas lluvias a través de una misma conducción. Los sistemas de alcantarillado combinado transportan también sedimentos de carga orgánica que viene simultáneamente con las aguas servidas y material granular que arrastran las aguas lluvias; este flujo se dirige a la red de alcantarillado y mencionadas partículas pueden depositarse según las condiciones que presente el sistema. INEN 005-9-1 (1992) manifiesta. “Los sedimentos son partículas sólidas provenientes de rocas o de un medio biológico, que son o han sido transportados por el agua u otro agente atmosférico” (p.38).

2.1.2 Aguas residuales y aguas lluvias

Aguas residuales

Son de procedencia doméstica e industrial, resultantes de cocinas, inodoros, lavabos u otras actividades que generen aguas contaminadas nocivas para el ser humano. Por lo general este tipo de aguas presentan materia orgánica biodegradable, materia inorgánica, organismos patógenos y nutrientes. Por otro lado las aguas residuales industriales son el resultado de procesos industriales que eliminan grandes cantidades de material contaminante como plomo, níquel, cobre, mercurio, grasas y otros elementos que requieren ser eliminados antes de ingresar al sistema de alcantarillado (CONAGUA, 2009).

Aguas lluvia

Proceden de precipitaciones que se forman en la zona de ubicación de la red de alcantarillado. Estas aguas pueden venir acompañadas de sustancias tóxicas y sólidos en suspensión (CONAGUA, 2009).

2.1.3 Componentes de un sistema de alcantarillado

Un sistema de alcantarillado está formado por tuberías, conexiones, anillos y obras accesorias. La red de atarjeas es un grupo de conductos que transporta las aguas servidas hacia los colectores e interceptores siguiendo la pendiente del terreno. Éstas se sitúan en el centro de las calles, cuya finalidad es recibir las aguas de los albañales. La red debe seguir la pendiente natural del terreno siempre y cuando cumpla con los parámetros de velocidades máximas, mínimas y condición mínima de tirante. Dos tramos de red de atarjeas se acoplan mediante los llamados pozos de visita que permiten el acceso para limpieza y mantenimiento del sistema de alcantarillado (CONAGUA, 2009).

Los colectores e interceptores son tuberías que conducen las aguas recibidas hacia un emisor en la planta de tratamiento o sistema aplicado al proyecto. Los emisores reciben las aguas servidas de los colectores y las conducen hacia la planta de tratamiento. Los emisores serán de gravedad cuando se llevan las aguas residuales por conductos cerrados. Los pozos de visita permiten el ingreso de personal encargado del mantenimiento del sistema cuando sea requerido. Estos elementos se sitúan cuando existe cambio de pendiente, cambio de dirección o diámetro. El ingreso se realiza al retirar una tapa ubicada en el centro de la calle o vía (CONAGUA, 2009).

2.1.4 Parámetros hidráulicos e hidrológicos para modelización de un sistema de alcantarillado combinado

En la tabla 1 se enlistan los parámetros necesarios para una modelización adecuada. En la actualidad las modelización es hidráulicas son soluciones técnicas eficientes. Para estos sistemas es importante considerar parámetros hidráulicos e

hidrológicos correspondientes a los sistemas separados sanitario y pluvial (EMAAP-Q, 2009).

Tabla 1. *Parámetros hidráulicos e hidrológicos*

Hidráulico (Alcantarillado sanitario)	Hidrológico (Alcantarillado pluvial)
Distancia mínima a quebradas	Área de drenaje
Cálculo de caudales	Curvas de intensidad – duración – frecuencia
Diámetro interno mínimo	Precipitación de diseño
Aporte de sedimentos	Intensidad
Velocidad mínima y máxima	Variabilidad areal
Pendiente mínima y máxima	Coefficiente de escorrentía
Profundidad hidráulica máxima	Tiempo de concentración
Profundidad mínima y máxima a la cota clave	

Nota. Fuente: EMAAP-Q, 2009, p.138.

2.2 Sedimentación de partículas

“La sedimentación es un proceso natural por el cual las partículas más pesadas que el agua, que se encuentra en suspensión, son removidas por la acción de la gravedad” (Pérez, 2005, p.2).

2.2.1 Problemas en sistemas de alcantarillado debido a la sedimentación

En los sistemas de alcantarillado combinado, la sedimentación se puede producir debido a características del diseño de las redes, de los sedimentos y del flujo de las aguas servidas en tiempos sin presencia de precipitación, provocando acumulación de partículas. La sedimentación disminuye la sección transversal y aumenta la rugosidad en las tuberías que forman parte de un sistema de alcantarillado, pudiendo generar deficiencia hidráulica e inundaciones. Durante precipitaciones, el aumento

de caudal y velocidad excesiva puede ocasionar erosión y re-suspensión de sólidos sedimentados en los conductos en épocas secas (Seco y Valentín, 2012).

Las partículas de menor peso o baja densidad son transportadas sin mayor dificultad, ya que se mantienen en suspensión, mientras que las de mayor peso suelen depositarse cuando la velocidad de flujo no puede arrastrar dichas partículas, y éstas se moverán cuando se produzcan precipitaciones que aumenten la velocidad y cantidad de flujo en un sistema. La normativa vigente en el país (INEN 005.9.1) recomienda como velocidad mínima 0,9 m/s para sistemas de alcantarillado pluvial y 0,6 m/s en sistemas de alcantarillado sanitario.

Los sistemas de alcantarillado trabajan a gravedad (flujo superficial libre). El transporte de aguas implica la presencia de partículas con variada granulometría; el tamaño de dichas partículas depende de aspectos topográficos, geomorfológicos, cobertura vegetal, erosividad de la cuenca y materia orgánica. Para controlar la presencia de partículas sedimentables, se debe mantener un control de la erosión en áreas de drenaje y un incesante barrido de calles. Al producirse lluvias intensas, se producen inundaciones dejando expuesto líquidos contaminados que pueden ocasionar enfermedades y dificultar el normal tránsito en los habitantes (EMAAP-Q, 2009).

Fuentes de partículas sedimentables

Las principales fuentes de sólidos sedimentables son (Ashley, 2004):

- Atmósfera
- Tejados, calles, parqueaderos, etc.
- Alcantarillado residual.
- Medio ambiente y proceso dentro del drenaje.

Al producirse precipitaciones, los materiales depositados en las superficies urbanizadas son arrastrados hasta el sistema de alcantarillado ocasionando problemas hidráulicos, erosión o desgaste de las tuberías (Rossman & Huber, 2016).

Las áreas impermeables generan mayor carga de sedimentos que áreas permeables (Méndez et al., 2014).

2.3 Precipitación y escurrimiento

“La precipitación es la caída del agua en estado líquido (lluvia) o sólido (nieve y granizo) hacia la superficie terrestre” (Gámez, 2009, p.57).

“El escurrimiento es el agua proveniente de la precipitación que circula sobre o bajo la superficie terrestre y que llega a una corriente para finalmente ser drenada hasta la salida de la cuenca” (Aparicio, 1989, p.27).

2.4 Programa computacional EPA SWMM (Storm Water Management Model)

2.4.1 Modelización numérica e hidrológica

Una modelización numérica es un instrumento que permite conseguir respuestas cuantitativas a varias preguntas asociadas a un problema. Una modelización hidrológica permite simular procesos de lluvia-escorrentía en una cuenca en la que parámetros hidrológicos e hidráulicos están relacionados directamente (Menéndez y Re, 2009).

2.4.2 Software Storm Water Management Model (SWMM)

Es un modelo de simulación fundamentado a partir de fenómenos físicos; es un modelo dinámico que simula precipitaciones, considerando la cantidad y calidad de agua, especialmente en sistemas de alcantarillado urbano. El software presenta un módulo hidrológico que funciona a partir de cuencas, en donde el agua producto de la precipitación se transforma en escorrentía, y un módulo hidráulico que examina el trayecto de las aguas a través del sistema de alcantarillado generado; además el software permite estimar el progreso de cantidad, calidad del agua de escorrentía, caudal, nivel de agua en pozos y calidad de agua en conductos y/o canales (Rossman, 2015).

Ventajas de Storm Water Management Model, SWMM

SWMM permite diseñar redes de drenaje para prevenir inundaciones incluyendo en las modelizaciones cargas contaminantes para analizar la acumulación de residuos (sedimentos). Las principales ventajas que presenta el software SWMM son (Rossman, 2015):

Generación y transporte de escorrentía superficial

- Manipulación de sistemas de tamaño indeterminado.
- Diversidad de geometrías para conductos.
- Modeliza elementos especiales como: vertederos, elementos de almacenamiento, tratamiento, bombas, orificios.
- Considera concentraciones de material contaminante y caudales externos para obtener la calidad de aguas superficiales.
- Análisis mediante 3 métodos: onda dinámica, onda cinemática o flujo uniforme.

Producción y evolución de cargas contaminantes

- Acumulación de contaminantes en tiempo seco y el arrastre durante precipitaciones.
- Contribución de contaminantes durante precipitaciones.
- Reducción de acumulación por limpieza de calles y buenas prácticas de gestión (BMPs)
- Ingreso de flujos sanitarios u otros en tiempo seco.
- Seguimiento de sustancias relacionadas con la calidad del agua.
- Reducción de concentración de contaminantes mediante tratamientos o procesos naturales.

En la tabla 2 se resumen los cuatro módulos de análisis con los que trabaja SWMM para modelizar escenarios bajo diferentes criterios (Rossman, 2015).

Tabla 2. *Módulos de análisis de EPA SWMM*

Módulo	Descripción
Atmosférico	Analiza la lluvia y contaminantes. Se emplea la opción pluviómetro (rain gages) para representar la lluvia en todo el sistema.
Superficie de suelo	Se representan a través de la opción cuenca (subcatchment), capta la precipitación y genera flujos de salida en forma de infiltración, escorrentía superficial y cargas de contaminantes.
Aguas subterráneas	Capta las infiltraciones, se aplica la opción acuíferos (aquifers).
Transporte	Presenta una red con elementos de transporte, de almacenamiento y de tratamiento, que llevan aguas hasta puntos de vertido. Se emplea opciones nudos y líneas (node y link).

Nota. Fuente: Rossman, 2015, p.46.

2.4.3 Componentes visuales de EPA SWMM

Los componentes visuales que presenta SWMM son: los pluviómetros (rain gages) en los cuales es posible ingresar datos de precipitaciones a emplear dentro de la simulación, las cuencas (subcatchments) son unidades hidrológicas sobre las cuales la escorrentía se dirige hasta el punto de descarga, los nudos de conexión (junction nodes) unen conducciones, por estos ingresan aportes externos y salen flujos internos, representan cauces naturales, pozos de registro o uniones entre conductos; los nudos de vertido representan el punto de salida de las aguas que son conducidas por un sistema, los conductos son encargados de transportar el agua, existen variadas formas de sección transversal. (Ver figura 1) (Rossman, 2015).

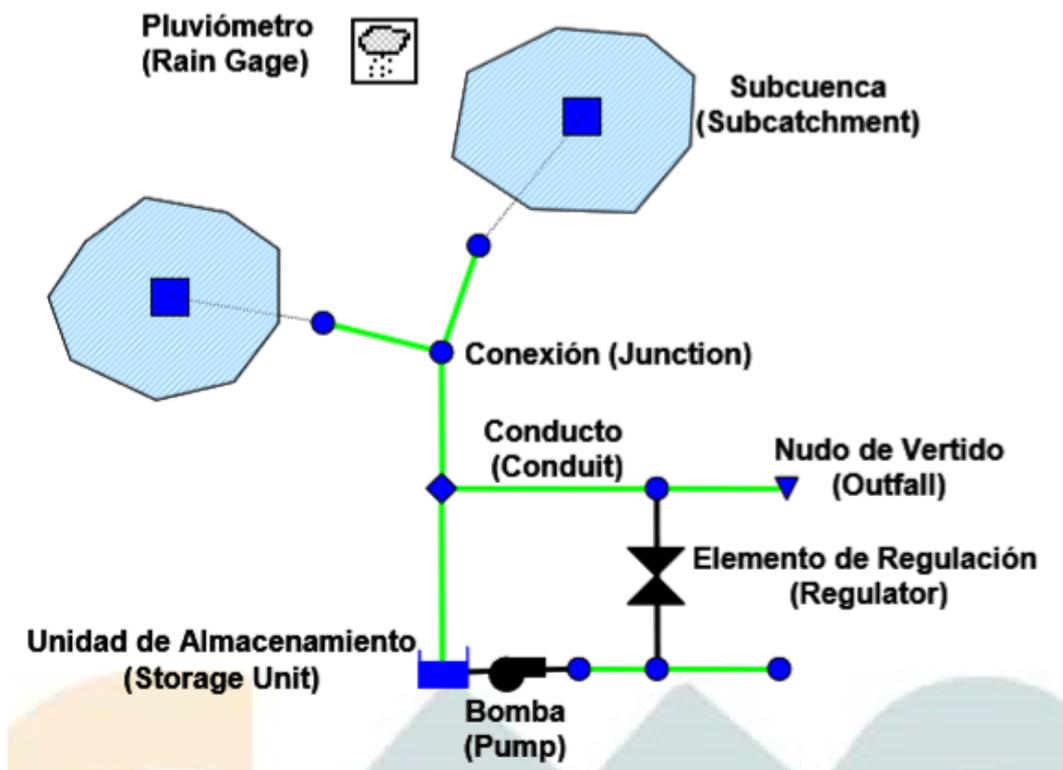


Figura 1. Componentes visuales de EPA SWMM

Nota. Recuperado de “Modelo de gestión de aguas pluviales, SWMM. 5.0 vE. Manual de usuario. Traducido al español por GMMF”, de Rossman, L., 2005, p.37.

2.4.4 Componentes no visuales de EPA SWMM

Hidrogramas unitarios

Permiten evaluar las infiltraciones y entradas de caudal cuando ocurren precipitaciones, se presentan hidrogramas a corto, medio y largo plazo (Rossman, 2015).

Aportes externos de caudal

- **Aportes directos.** Son caudales que ingresan directamente al nudo.
- **Caudales de tiempo seco.** Constante ingreso de caudal de aguas negras.
- **Entradas e infiltraciones en relación con la lluvia.** Caudales de agua lluvia que ingresan directamente a un sistema de saneamiento (Rossman, 2015).

Agentes contaminantes

SWMM permite analizar un sinnúmero de contaminantes, para ello es necesaria la siguiente información: nombre del contaminante, unidades de concentración, concentración en aguas subterráneas, en aguas lluvia, en procesos de entrada directa o infiltración y coeficiente de decaimiento (Rossman, 2015).

Usos de suelo

Esta opción permite dar características tanto de acumulación como de arrastre de contaminantes en las diferentes cuencas de un sistema modelizado (Rossman, 2015).

Acumulación de agentes contaminantes

“Se considera como la masa (kg) por unidad de área de las cuencas. El contaminante depende del número de días secos previos a las precipitaciones” (Rossman, 2015, pp. 65-66). SWMM considera tres opciones para obtener la acumulación de contaminantes: función potencia, función exponencial y función de saturación (Rossman & Huber, 2016).

Arrastre de agentes contaminantes

Se puede establecer aplicando: arrastre exponencial, curva de flujo de arrastre o la opción seleccionada en este caso de estudio: Concentración Media del Evento (EMC), en la que se emplea la ecuación 1 (Rossman & Huber, 2016).

$$w = k_w \cdot q f_{LU} A \quad (1)$$

Dónde: K_w = concentración EMC (masa/seg) y $q f_{LU} A$ = fracción de escorrentía total.

Series temporales de datos

Permite describir características de objetos de un sistema que varían con el tiempo, por ejemplo se ingresan datos de lluvia e hidrogramas. El tiempo puede estar definido en horas arbitrarias o asignar fechas y horas específicas. SWMM considera constante los intervalos en una serie temporal por ello no es adecuado introducir datos en los que no existe precipitación (Rossman, 2015).

2.4.5 Escorrentía superficial

SWMM convierte el exceso de precipitación en escorrentía superficial. Las cuencas son tratadas como superficies rectangulares que tienen una pendiente constante S , ancho W y altura $d-d_s$, cuyas aguas se dirigen hacia un solo punto (nudo). Partiendo de la conservación de la masa, el cambio de la profundidad “ d ” con respecto al tiempo, es igual al residuo entre los flujos de entrada y salida, (Ver figura 2 y ecuación 2) (Rossman & Huber, 2016).

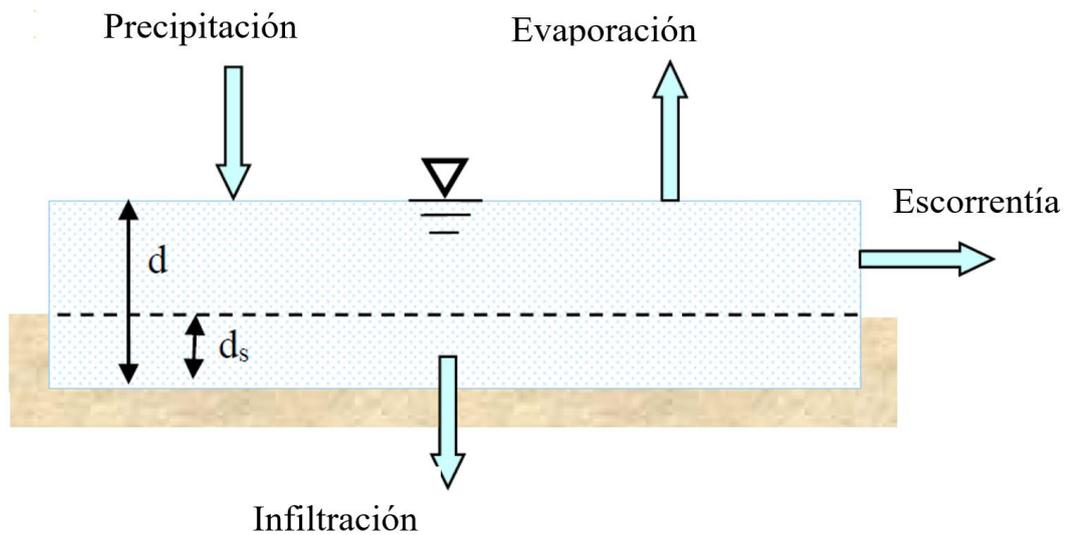


Figura 2. Modelo de una cuenca, esquema aplicado en EPA SWMM.
Nota. Fuente: Rossman & Huber, 2016, p.52.

$$\frac{\partial d}{\partial t} = i - e - f - q \quad (2)$$

Dónde: i = lluvia + nieve, e = evaporación, f = infiltración y q = escorrentía, se expresan en flujo por unidad de área. A partir de la ecuación de Manning se determina el flujo de escorrentía (l/s), al suponer que el flujo es uniforme (Rossman & Huber, 2016).

2.4.6 Infiltración

“La infiltración es el fenómeno por el cual el agua lluvia penetra la superficie del terreno de los suelos no saturado de las áreas permeables de la cuenca” (Rossman, 2015, p.73).

Se presentan cinco modelos para infiltración (Rossman, 2015):

- **Método de Horton.** La infiltración disminuye exponencialmente durante un episodio de precipitación.
- **Método Horton modificado.** Emplea la infiltración acumulada, realiza una estimación más precisa.
- **Método Green-Ampt.** Presenta un frente húmedo que parte el suelo con contenido de humedad inicial del suelo saturado.
- **Método Green-Ampt modificado.** Aporta con resultados más certeros cuando existen precipitaciones de baja intensidad.
- **Método del Número de Curva.** La infiltración se obtiene a partir de los números de curva, considerando la lluvia acumulada y capacidad de infiltración. SWMM considera únicamente las pérdidas por infiltración.

Se aplica la ecuación 3, expuesta por NRCS (Servicio de Conservación de Recursos Naturales) para obtener el flujo de escorrentía (Rossman & Huber, 2016):

$$Q = \frac{P^2}{P * S_{max}} \quad (3)$$

Dónde: Q= flujo de escorrentía (mm), P= precipitación total (mm), S_{max} = capacidad máxima de almacenamiento del suelo (ecuación 4); se puede considerar como la diferencia de volumen de agua que existe entre un suelo saturado al 100% y un suelo drenado al 100%.

$$S_{max} = 25.4 \left(\frac{1000}{CN} \right) - 10 \quad (4)$$

Para este método es necesario obtener el número de curva a partir de tablas impuestas por la NRCS, de acuerdo a las condiciones del área de estudio.

2.4.7 Modelos hidráulicos de transporte

El software SWMM resuelve ecuaciones de flujo inestable unidimensional, aplica ecuaciones diferenciales parciales de cantidad de movimiento y conservación de la masa (ecuaciones de Saint Venant), la simulación se puede

realizar por medio de tres métodos de análisis: flujo uniforme, onda cinemática y onda dinámica, esta última se aplicada en este caso de estudio (Rossman, 2015).

2.4.7.1 Flujo uniforme

Emplean la ecuación de Manning, que relaciona caudal, sección, radio hidráulico y pendiente, se recurre a este módulo cuando los nudos tienen una sola línea que conduce al agua, puede aplicarse para un análisis preliminar.

2.4.7.2 Onda cinemática

Emplea la ecuación de la continuidad y una ecuación simplificada de la cantidad de movimiento, ignorando las fuerzas de inercia y presión, el caudal se obtiene a partir de la ecuación de Manning, si existen inundaciones el sistema va a mantenerse estancado hasta que el agua ingrese a los conductos. El caudal y área varían en el interior del conducto. Aplicado a sistemas ramificados en donde los nudos tengan un solo conducto de salida.

2.4.7.3 Onda dinámica

Emplea ecuaciones unidimensionales de Saint Venant (ecuación de continuidad, cantidad de movimiento y continuidad de los volúmenes) para adquirir mejores resultados, este módulo permite trabajar con un flujo presurizado, el exceso de agua puede perderse o estancarse e ingresar nuevamente al sistema. En este modelo hidráulico de transporte, cuando las tuberías adquieren la condición de flujo a presión, se usan las ecuaciones Hazen-Williams o Darcy-Weisbach para obtener las pérdidas por fricción.

Ecuaciones que rigen en el modelo hidráulico de transporte "Onda Dinámica"

Rossman (2017) expone las ecuaciones de Saint Venant aplicadas por SWMM; las ecuaciones de continuidad y momento se indican en las ecuaciones 5 y 6 respectivamente.

- Continuidad:
$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \quad (5)$$

$$\text{- Momento} \quad \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial(Q^2/A)}{\partial x} + gA \frac{\partial H}{\partial x} + gAS_f = 0 \quad (6)$$

Dónde: x= distancia (m), t= tiempo (s), A= área sección transversal del flujo (m²), Q= Tasa de flujo (l/s), H= carga de agua en el conducto (Z+ Y) (m), Z= cota del fondo del conducto (m), Y= tirante hidráulico (m), S_f= pendiente hidráulica y g= aceleración (m²/s).

Al combinar la ecuación de continuidad y momento, se obtiene la expresión de momento para calcular la trayectoria del flujo en un conducto (ecuación 7):

$$\frac{\partial Q}{\partial t} = 2U \frac{\partial A}{\partial t} + U^2 \frac{\partial A}{\partial x} - gA \frac{\partial H}{\partial x} - gAS_f \quad (7)$$

Dónde: Q= Tasa de flujo (l/s), t= tiempo (s), U= velocidad de flujo = Q/A (m/s), A= área sección transversal del flujo (m²), x= distancia (m), g= aceleración (m²/s), H= tirante hidráulico (m) y S_f= pendiente hidráulica.

La ecuación de conservación de flujo para un nudo (ecuación 8), considera el nudo y la mitad de cada uno de los conductos que se conectan a él (Rossman, 2017):

$$\frac{\partial V}{\partial t} = \frac{\partial V}{\partial H} \frac{\partial H}{\partial t} = A_s \frac{\partial H}{\partial t} = \sum Q \quad (8)$$

Dónde: V= volumen en el nudo (m³), t= tiempo (s), H= tirante hidráulico (m) A_s= área del nudo más el área de la mitad de cada conducto conectado (m²) y $\sum Q$ = flujo neto (l/s).

Las versiones anteriores de SWMM aplican un método explícito de Euler directo para resolver ecuaciones; SWMM 5.1 aplica un método implícito de Euler (Rossman, 2017).

2.4.8 Transporte de agentes contaminantes

El transporte unidimensional de agentes contaminantes en un conducto se expresa mediante la ecuación 9 (Rossman & Huber, 2016).

- Conservación de la masa

$$\frac{\partial c}{\partial t} = -\frac{\partial(uc)}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left(D \frac{\partial c}{\partial x} \right) + r(c) \quad (9)$$

Dónde: c = concentración del contaminante (ML^{-3}), u = velocidad longitudinal (LT^{-1}), D = coeficiente de dispersión longitudinal (L^2/T), $r(c)$ = representa cualquier reacción que modifica la concentración del contaminante independientemente del movimiento del fluido ($ML^{-3}T^{-1}$), x = distancia longitudinal (L) y t = tiempo (T).

La expresión de transporte que rige en un nudo se indica en la ecuación 10:

$$C_{Nj} = \frac{\sum_{i \rightarrow j} C_{L2i} q_{2i} + W_j}{\sum_{i \rightarrow j} q_{2i} + Q_j} \quad (10)$$

Dónde: C_{Nj} = concentración en el nudo j (ML^{-3}), C_{L2i} = concentración al final del conducto i , que se conecta con el nudo j (ML^{-3}), q_{2i} = caudal al final del conducto i (L^3T^{-1}), W_j = tasa de flujo de masa de fuentes externas en el nudo j (MT^{-1}) y Q_j = caudal de fuentes externas (L^3T^{-1}).

CAPITULO III

Desarrollo Metodológico

3.1 Localización geográfica de la zona de estudio

La ciudad de Biblián se localiza en la provincia del Cañar, Ecuador (ver figura 3). El área total de influencia para el estudio es de 41 hectáreas; se considera un área para la modelización de 23 hectáreas de la zona urbana, delimitada por las calles Tomás Sacoto, Primero de Febrero, Francisco Calderón y Av. Eloy Alfaro, lugar en el que se presentan constantemente problemas de inundaciones (ver figuras 4 y 5).

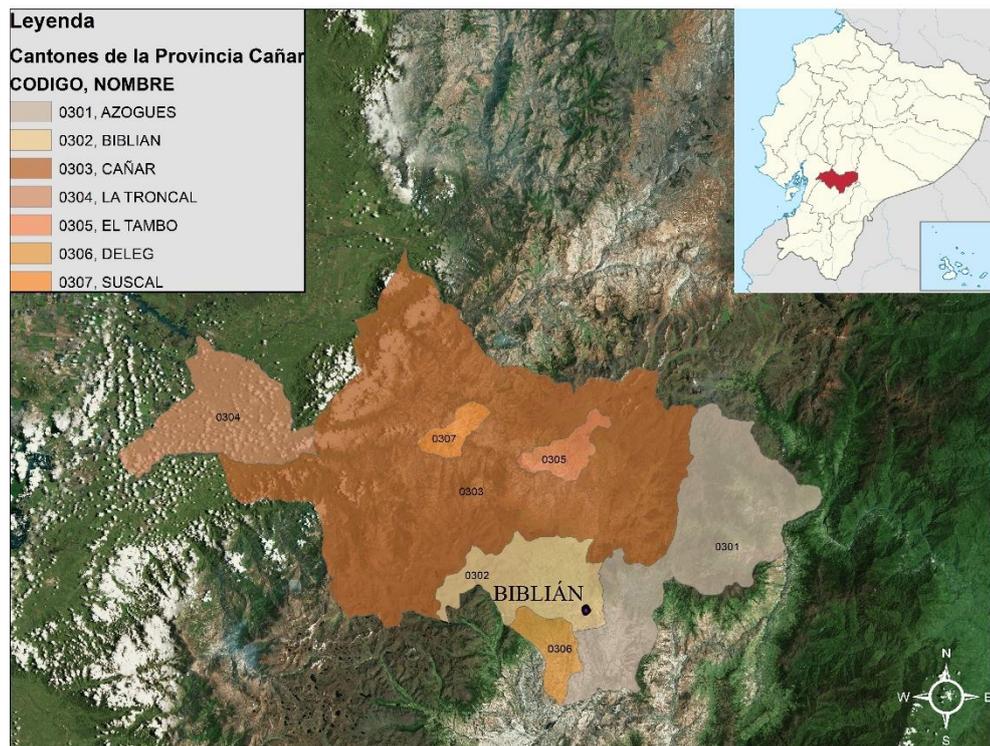


Figura 3. Ubicación geográfica de la provincia del Cañar y Cantón Biblián

Nota: Elaborado por el autor. División política de la provincia del Cañar recuperado de <http://gis.uazuay.edu.ec/te>

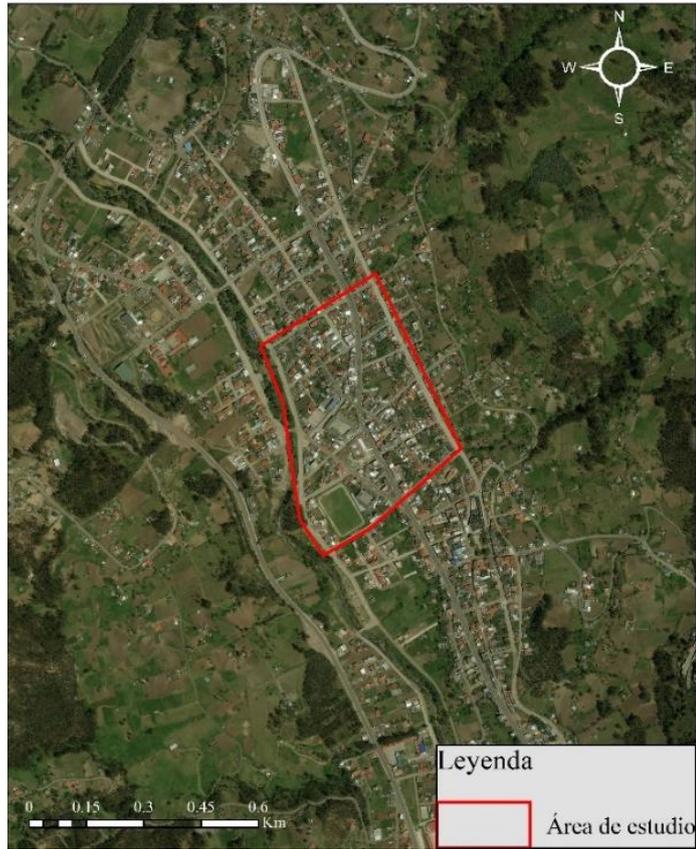


Figura 4. Zona de estudio delimitada en la ciudad de Biblián.
 Nota: Elaborado por el autor. Imagen satelital recuperada de Bing



Figura 5. Zona de estudio
 Nota: Elaborado por el autor. Imagen satelital recuperada de Bing

3.2 Datos iniciales para la red de alcantarillado combinado.

Se considera para la simulación, las redes de alcantarillado combinado limitadas por las calles Primero de Febrero, Francisco Calderón, Tomás Sacoto y Av. Eloy Alfaro, (ver Figura 5) zona en la cual se presentan constantes problemas de inundación durante fuertes precipitaciones. Es importante indicar que los conductos que se encuentran conectados a la red y no están dentro del área de delimitación para la simulación, son considerados con el fin de obtener datos que serán ingresados en los nudos que unen los conductos mencionados.

Densidad poblacional

Se obtiene la densidad de cada cuadra que forma parte del estudio, contabilizando las viviendas existentes y considerando un promedio 3,6 habitantes por hogar en Biblián, según el último censo desarrollado en el 2010 en el Ecuador.

Dotación

En el informe de agua no contabilizada facilitado por el GAD Municipal del cantón Biblián, se indica una dotación promedio de consumo de 208 l/hab/día.

Áreas tributarias

Las áreas tributarias o de drenaje se forman trazando diagonales o bisectrices en las manzanas de la zona de estudio (López, 2011). Al existir zonas fuera del área de estudio del sistema de alcantarillado delimitado que aportan aguas, también se recoge información referente a mencionadas áreas.

Caudales

Caudal de aguas residuales

El coeficiente de retorno para aguas residuales domésticas puede tener rangos entre un 65 - 85%; en el caso de estudio se toma un 85%, considerando esta condición como el caso más desfavorable (López, 2011). Para el aporte de aguas institucionales, se considera 0.5 l/s-ha, para aguas comerciales se aplica un valor de 0.5 l/s-ha, el caudal de infiltración acoge un valor de 0.3 l/s-ha, el caudal de

conexiones erradas corresponde 2 l/s-ha (EMAAP-Q, 2009). A continuación se indican las fórmulas empleadas para la obtención de los caudales residuales.

- Caudal de aguas residuales domésticas (ecuación 11), (López, 2011):

$$Q = \frac{CR * C * D * A}{86400} \quad (11)$$

Dónde: Q= caudal de aguas residuales domésticas (l/s), CR= coeficiente de retorno, C= dotación (l/hab-día), D= densidad poblacional (hab/ha) y A= área de drenaje (ha).

- El caudal medio diario es la suma de los caudales domésticos, institucionales y comerciales.

- Caudal máximo horario

Babbitt para poblaciones menores a 1000 habitantes (ecuación 12):

$$Q_{max \text{ horario}} = \bar{Q} * \frac{5}{P^{0.2}} \quad (12)$$

Dónde: $Q_{max \text{ horario}}$ = caudal máximo horario (l/s), \bar{Q} = caudal medio diario (l/s) y P = Población expresada en miles de habitantes.

- El caudal de diseño es la suma de los caudales: máximo horario, de infiltración y de conexiones erradas.

Caudal de aguas lluvias

A partir de datos de precipitación, y características de las cuencas del sistema a analizar, SWMM obtiene los caudales aplicando ecuaciones completas de Saint Venant.

3.3 Descripción del sistema de alcantarillado combinado sometido a estudio

Se realizaron múltiples visitas de campo a la zona de estudio, para verificar dimensiones y obtener datos faltantes de la red de alcantarillado; mediante un levantamiento con estación total se obtuvo coordenadas y cotas de los pozos de registro. Además fue necesario realizar una verificación de viviendas u obras que influyen dentro del área de estudio para identificación de zonas permeables e impermeables.

La parte de la red de alcantarillado combinado de la ciudad de Biblián presenta ausencia de pozos de registro en cambios de dirección, cruces de tuberías o conductos. Los conductos son de hormigón y PVC, con diámetros entre los 150 y 600 mm, además existen embaulados de mampostería de piedra con secciones de hasta 1 metro por 1 metro.

3.4 Precipitaciones

La estación meteorológica Biblián, no posee datos de precipitación continuo, por lo tanto no existen curvas IDF (Intensidad – Duración – Frecuencia). Cuatro estaciones meteorológicas cercanas al lugar de estudio (estaciones Biblián, Cañar, Paute y Gualaceo) se identifican en dos mapas temáticos de isotermas (temperaturas) e isoyetas (precipitaciones) para seleccionar la estación más adecuada que permita adoptar la curva IDF para el estudio. En la figura 6 se presentan las cuatro estaciones contrastadas con los niveles de isotermas y en la figura 7 se muestran las cuatro estaciones contrastadas con los niveles de isoyetas, se verifica así una correlación entre las estaciones, ya que las diferencias entre pisos térmicos y pluviosidad entre las estaciones no son abismales.

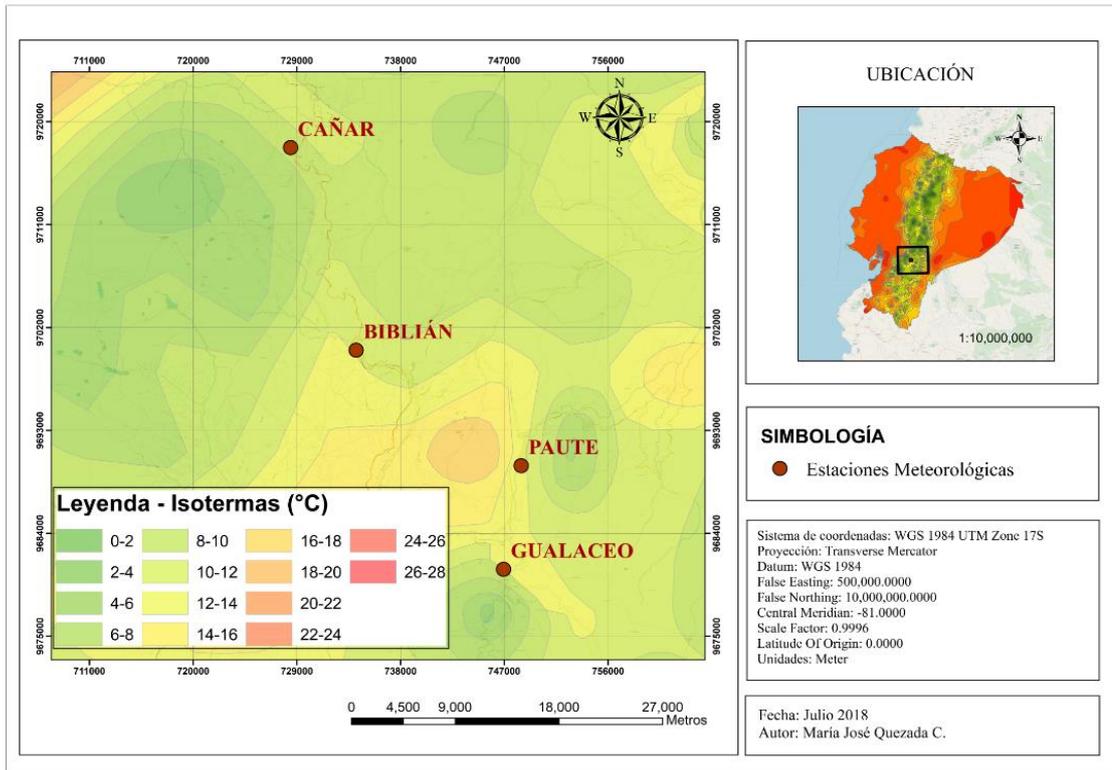


Figura 6. Ubicación de estaciones meteorológicas en mapa de isothermas.
 Nota: Elaborado por el autor.

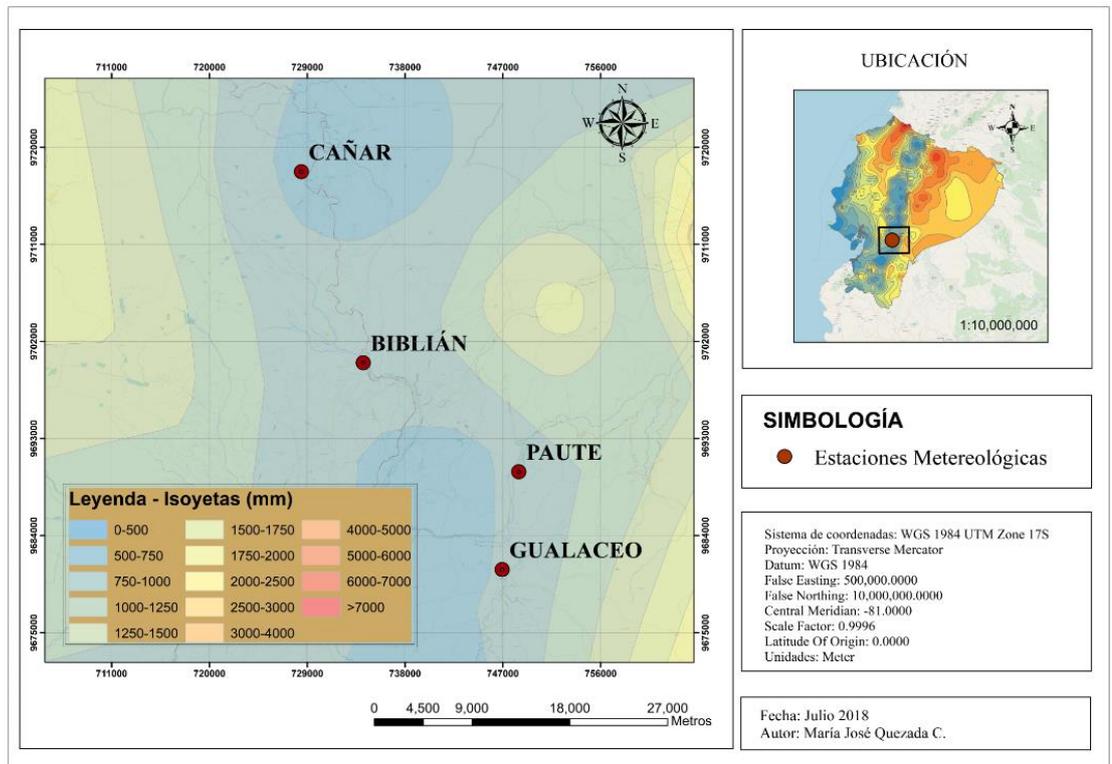


Figura 7. Ubicación de estaciones meteorológicas en mapa de isoyetas.
 Nota: Elaborado por el autor.

De acuerdo a la ubicación de la zona de estudio, cualquiera de las estaciones Cañar, Paute o Gualaceo son valederas. Al analizar información de los anuarios meteorológicos del Ecuador, la precipitación en Biblián es aproximadamente el doble que en la ciudad de Cañar, como se observa en la figura 8, por lo tanto se opta emplear la información de la estación meteorológica Cañar – M0031, para generar hietogramas de precipitación para los periodos de retorno necesarios. Los datos de los hietogramas que se obtienen a partir de las curvas IDF de la estación Cañar, deben ser duplicados.

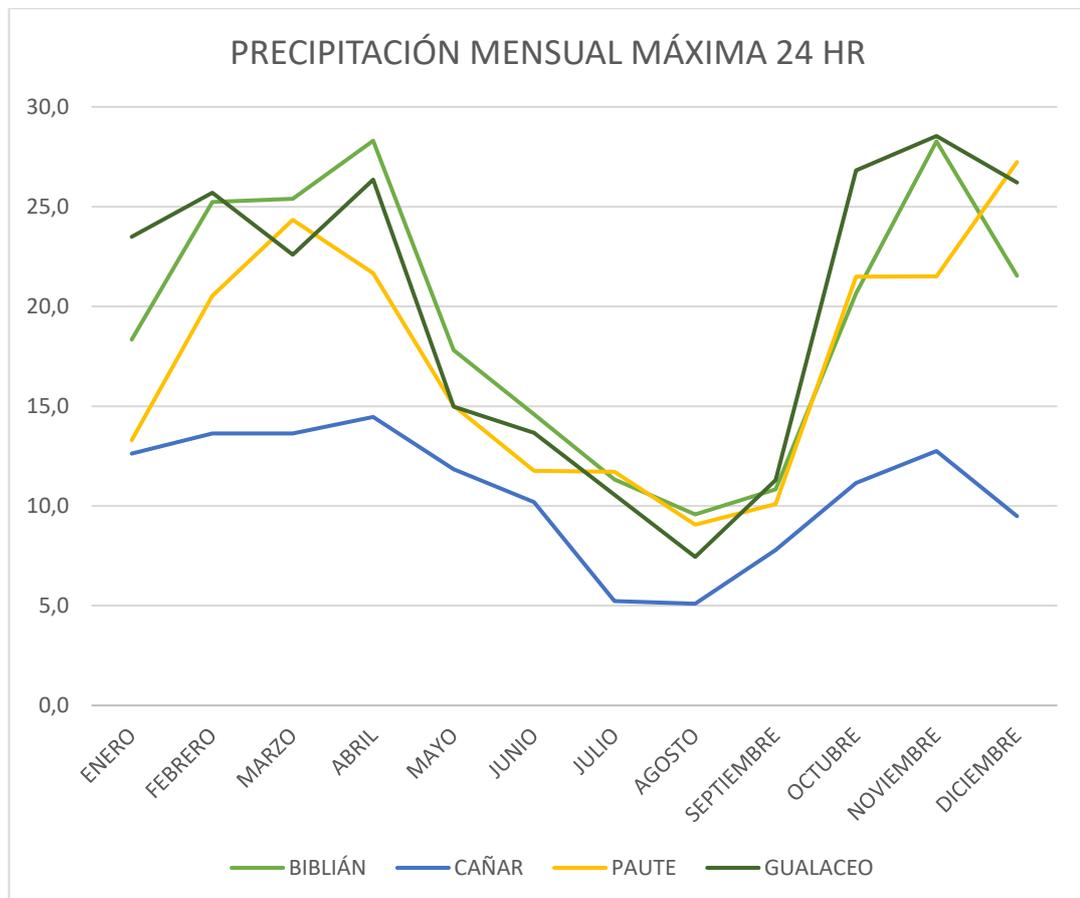


Figura 8. Precipitación máxima 24 HR. Creado a partir de datos de los Anuarios Meteorológicos del Ecuador.

En la publicación: Determinación de Ecuaciones para el Cálculo de Intensidades Máximas de Precipitación, del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), se obtienen las curvas IDF de la estación Cañar, cuyos datos se exponen en la tabla 3 y desde los cuales se pueden generar los hietogramas de precipitación para cada periodo de retorno.

Tabla 3. *Curvas de Intensidad – Duración - Frecuencia (IDF) de estación Cañar M0031*

Periodo de retorno T (años)						
<i>t (min)</i>	2	5	10	25	50	100
5	50.6	63.8	76	95.8	114.1	135.9
10	33	41.5	49.5	62.4	74.3	88.6
15	25.6	32.3	38.5	48.6	57.8	68.9
20	21.5	27.1	32.2	40.6	48.4	57.7
30	18.8	22.3	25.4	30.3	34.5	39.3
60	11	13.1	14.9	17.7	20.2	23
120	6.8	8	9.1	10.7	12.1	13.7
360	2.8	3.3	3.8	4.4	5	5.7
1440	0.9	1.1	1.2	1.5	1.6	1.9
INTENSIDAD MÁXIMA (mm/h)						

Nota: Horizontalmente se presentan los periodos de retorno y verticalmente la duración en minutos, al elegir una duración y periodo de retorno se obtiene la intensidad máxima en mm/h, para ese tiempo en el periodo de retorno elegido. Recuperado de “*Determinación de ecuaciones para el cálculo de intensidad máximas e precipitación. Actualización del estudio de lluvias intensas*”, de Guachamín, A., et al, 2015, p. 43, Quito, Ecuador.

3.4.1 Periodos de retorno

Se trabajan 6 escenarios de estudio con diferentes periodos de retorno: 3, 5, 10, 20, 30 y 50 años, mismos que suelen usarse para diseñar sistemas de alcantarillado.

3.4.2 Duración del evento

Para determinar la duración mínima del evento de precipitación, se aplica la ecuación 13 para obtener el tiempo de concentración mínimo de la cuenca, a sabiendas de que el área total de la cuenca en estudio corresponde a 41 hectáreas:

$$T_{c_{min}} = 0.1637 * A + 8.68 = 15.39 \approx 15 \text{ min} \quad (13)$$

Dónde: $T_{c_{min}}$ = tiempo de concentración mínimo de la cuenca (minutos) y A = área de la cuenca (ha) (López, 2011).

El tiempo de concentración mínimo es 15 minutos, valor correcto al conocer que para cuencas urbanas el tiempo de concentración no debe ser menor al tiempo indicado (López, 2011). La duración del evento en la simulación SWMM 5.1, será 15 minutos.

3.4.3 Hietogramas de diseño

Se aplica el método de bloque alterno (Chow, Maidment & Mays, 1994) para desarrollar los hietogramas de diseño para las simulaciones a realizar, los resultados se indican en la tabla 4 y figura 9.

Tabla 4. *Hietogramas para escenarios de simulación en SWMM*

	Periodo de retorno T (años)					
	3	5	10	20	30	50
Duración t (min)	Precipitación i (mm/h)					
5	24.44	27.81	33.14	39.48	43.74	49.77
10	112.09	127.53	151.95	181.03	200.57	228.20
15	33.95	38.63	46.02	54.83	60.75	69.12

Nota: La ecuación para el intervalo de tiempo entre 5 y 30 minutos es: $i = 114.851 * T^{0.2527} * t^{-0.6183}$

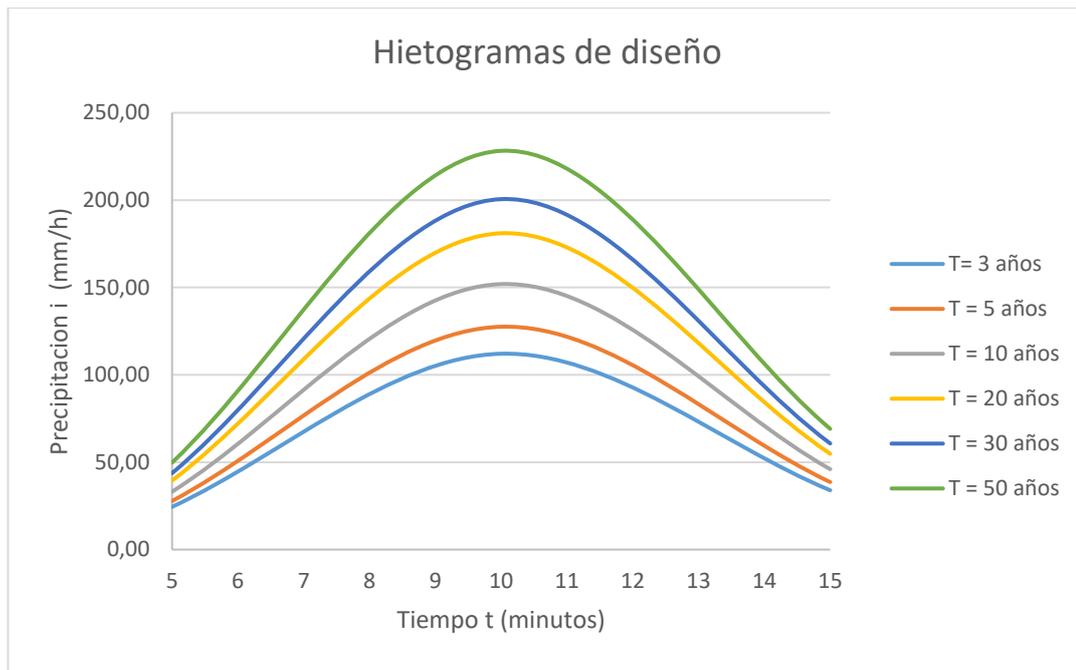


Figura 9. Hietogramas de diseño para los diferentes periodos de retorno (T)

3.5 Sedimentación

Se trabaja con concentración de sedimentos provenientes de las áreas impermeables de la zona de estudio, es decir con material que es arrastrado hasta los conductos mediante el agua lluvia. Debido a la falta de aforos, se trabaja con formulaciones expuestas en el libro “Urban Drainage, 3rd Edition, David Butler and John W. Davies”, con el fin de obtener la concentración de sedimentos (mg/l) para la aplicación correspondiente en SWMM (arrastre de sedimento, mediante Concentración Media del Evento). Fue necesario realizar análisis estadísticos de las precipitaciones anuales de la estación meteorológica Biblián, además se acude a la Empresa Pública Municipal Mancomunada de Aseo Integral del Pueblo Cañari, EMMAIPC-EP en Biblián, para adquirir información respecto del barrido de calles en las zonas de interés, factores esenciales para la aplicación adecuada de las fórmulas para estimar concentraciones de sedimentos. Se considera el suministro de sedimento $k= 2$ (g/m².día), valor tomado de la tabla 7, y 5 los días a la semana en los que se realizan barridos de calles (f_s).

3.5.1 Procedimientos estadísticos para escorrentía promedio

Con la información disponible de precipitación anual de la estación Biblián M0137, obtenidos de los anuarios meteorológicos del INAMHI, aplicando criterios estadísticos a partir de variados periodos de retorno, es posible obtener los datos de precipitación anual para cada periodo considerado en el estudio. Se aplica el método de probabilidad empírica de Weibull para obtener periodos de retorno correspondientes a datos de las precipitaciones anuales de los anuarios meteorológicos, posteriormente mediante la distribución Gumbel, es posible conseguir datos de precipitaciones anuales para los periodos de retorno de interés, se presentan los resultados obtenidos en la tabla 6, los mismos deben ser afectados por un coeficiente de escorrentía para luego obtener concentraciones de sedimentos.

Periodo de retorno

“Se entiende como el intervalo promedio de tiempo en años, dentro del cual un evento de magnitud x puede ser excedido o igualado por lo menos una vez en promedio” (Villón, 2007, p.21).

La probabilidad empírica de Weibull (ecuación 14) permite obtener la probabilidad de ocurrencia de los datos ordenados de mayor a menor.

$$T = \frac{n+1}{m} \quad (14)$$

Dónde: T = periodo de retorno, n = número de datos y m = número de orden.

Distribución Gumbel

Permite obtener valores máximo o extremos para un periodo de retorno establecido. La información es adoptada del libro de Hidrología Estadística de Máximo Villón, 2007, pp. 250 – 253. La ecuación 15 permite obtener las precipitaciones anuales de acuerdo a los periodos de retorno aplicados; la formulación es conocida como Evento de Diseño (Plaza, 2010, p.7), los resultados se indican en la tabla 5.

$$X_T = \mu - \alpha \ln \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right] \quad (15)$$

Dónde: α = parámetro de escala (ecuación 16), μ = parámetro de posición (ecuación 17) y T = periodo de retorno (años)

$$\alpha = \frac{\sqrt{6}}{\pi} S \quad (16)$$

$$\mu = \bar{X} - 0.45 S \quad (17)$$

Dónde: S= desviación estándar y \bar{X} = media aritmética

Tabla 5. *Distribución Gumbel*

PROBABILIDAD EMPÍRICA DE WEIBULL				DISTRIBUCIÓN DE GUMBEL			
Año	m	Precipitación (mm)	T (años)	F(x)	XT	Error absoluto (mm)	Error relativo (%)
2008	1	1468.4	14	0.97	1342.06	-126.34	8.60
1994	2	1250.6	7	0.88	1226.58	-24.02	1.92
2011	3	1182.6	4.7	0.82	1156.01	-26.59	2.25
2007	4	1133.3	3.5	0.76	1103.50	-29.80	2.63
2005	5	1041.5	2.8	0.61	1060.54	19.04	1.83
2003	6	1005.2	2	0.53	1023.28	18.08	1.80
1995	7	999.2	2	0.52	989.54	-9.66	0.97
1993	8	998.9	1.75	0.52	957.88	-41.02	4.11
2006	9	986.4	1.6	0.49	927.15	-59.25	6.01
2000	10	892.3	1.4	0.28	896.22	3.92	0.44
2012	11	823.7	1.3	0.14	863.63	39.93	4.85
1992	12	782.3	1.2	0.08	826.78	44.48	5.69
1990	13	731.4	1.1	0.03	778.74	47.34	6.47
n	13					PROMEDIO	3.66 %

Nota. El error relativo de 3.66 %, permite aplicar la información obtenida en el presente trabajo de titulación. Media Aritmética: $\bar{X} = 1022.75$, Desviación Estándar: $S = 202.22$, Parámetro de escala: $\alpha = 157.67$ y Parámetro de posición: $\mu = 931.75$.

Las precipitaciones anuales de acuerdo a los periodos de retorno de interés se indican en la tabla 6.

Tabla 6. *Precipitación anual*

Periodo de retorno - T (años)	Precipitación anual (mm)
3	1074.1
5	1168.3
10	1286.6
20	1400.1
30	1465.4
50	1547.0

3.5.2 Concentración de sedimentos

Butler & Davies (2011) indican que una aproximación correcta para la estimación de la carga de sedimentos “es suponer que la tasa de suministro de sedimento a la cuenca (κ) es constante y que la remoción por lluvia y barrido de calles es proporcional a la cantidad en la superficie (χ)” (p. 410).

La tasa de lavado de sedimentos se obtiene mediante la ecuación 18 (Butler & Davies, 2011):

$$\zeta = \kappa \frac{b_r}{b_s + b_r} \quad (18)$$

Dónde: ζ = tasa de lavado ($\text{g/m}^2 \cdot \text{día}$), κ = suministro de sedimento ($\text{g/m}^2 \cdot \text{d}$), b_r = lavado por lluvia. (Butler y Clark (1995) recomiendan un valor de 0.05, (citado en Butler & Davies, 2011, p.411) y b_s = frecuencia y eficiencia de barrido de calles (ecuación 19).

$$b_s = f_s / 10 \quad (19)$$

Dónde: f_s = número de veces que se realiza el barrido de calles por semana (días).

En la tabla 7 se presentan valores típicos de suministro de sedimentos:

Tabla 7. *Valores típicos de suministro de sedimentos (κ)*

Uso de suelo	Suministro de sedimento (g/m ² área impermeable por día)
Suburbano	0.25
Urbano	2
Industrial	10

Nota. Adaptado de: “*Urban Drainage*”, de Butler, D & Davies, J., p. 411, Oxon, Inglaterra.

A partir de la información alcanzada es posible conseguir las concentraciones de sedimentos para cada periodo de retorno a simular. Cada precipitación anual obtenida es afectada por el coeficiente de escorrentía “0.4”, para generar valores de escorrentía anual. Se considera a toda la zona de estudio como: residencial unifamiliar, con casas contiguas y predominio de jardines, mencionado coeficiente se toma de la tabla D.4.5. Coeficiente de escorrentía o impermeabilidad, publicado en RAS-2.000. Al obtener la escorrentía anual es importante conseguir un valor de escorrentía promedio, que se obtiene al dividir la escorrentía anual (mm/año) para 365, con el fin de adquirir la escorrentía promedio en mm/día.

Finalmente la concentración de sedimento se obtiene al dividir la tasa de lavado en g/m².día, para la escorrentía promedio en mm/día, los resultados se indican en la tabla 8.

Tabla 8. *Concentraciones de sedimento para escenarios de simulación*

Periodo de retorno T (años)	Escorrentía promedio (mm/día)	Concentración de sedimento (mg/l)
3	1.18	154.5
5	1.28	142.0
10	1.41	129.0
20	1.53	118.5
30	1.61	113.2
50	1.70	107.2

Nota. Los valores de concentración intervienen en las zonas impermeables, de toda la zona de estudio. Los datos son ingresados dentro de la opción arrastre, “Concentración Media del Evento (EMC)” dentro de SWMM para modelizar sedimentos. La reducción de la concentración de sedimentos conforme aumenta el periodo de retorno se debe al incremento de la escorrentía superficial.

3.6 Modelización del sistema en SWMM

Se trabaja con el programa SWMM versión 5.1 aplicando el modelo hidráulico de transporte “Onda Dinámica”.

3.6.1 Parámetros para cuencas

Todas las cuencas van a recibir precipitaciones de una misma serie de tiempo; para cada una de ellas se ingresan datos necesarios para obtención de resultados reales como: áreas, longitudes, pendientes, porcentajes de áreas impermeables, coeficientes, uso de suelo, nudo o cuenca de descarga, características de infiltración, etc., que son obtenidos del estudio realizado en la zona de análisis.

El almacenamiento en depresión para áreas impermeables corresponde a 1.25 mm, y para áreas permeables 2.5 mm; el coeficiente de Manning para áreas impermeables corresponde a un valor de 0.012, para zonas de hormigón liso, 0.011 para asfalto liso, 0.015 para tejados (arcilla vitrificada); para las áreas permeables se adopta un valor de 0.15 para zonas con hierba corta o pradera y 0.024 para vías de tierra. Los valores son obtenidos de la tabla A.5 y A.6 (Rossman, 2005). Para toda la zona de estudio el porcentaje de área que no presenta almacenamiento en depresión es el 0 %. El porcentaje de área impermeable de las cuencas varía en cada una de ellas; en todas las cuencas influirán los datos de concentración de sedimentos. Se considera una pendiente del 30% en los techos de las viviendas, al tener áreas permeables e impermeables en las diferentes cuencas, se obtienen a partir de promedios ponderados los valores de pendiente de las diferentes cuencas.

El modelo de infiltración aplicado será el Número de Curva, cada cuenca tiene su propio valor de acuerdo a las características del lugar, dichos valores son obtenidos a partir de la figura 10, conociendo previamente el número de curva (CN) de las áreas permeables e impermeables.

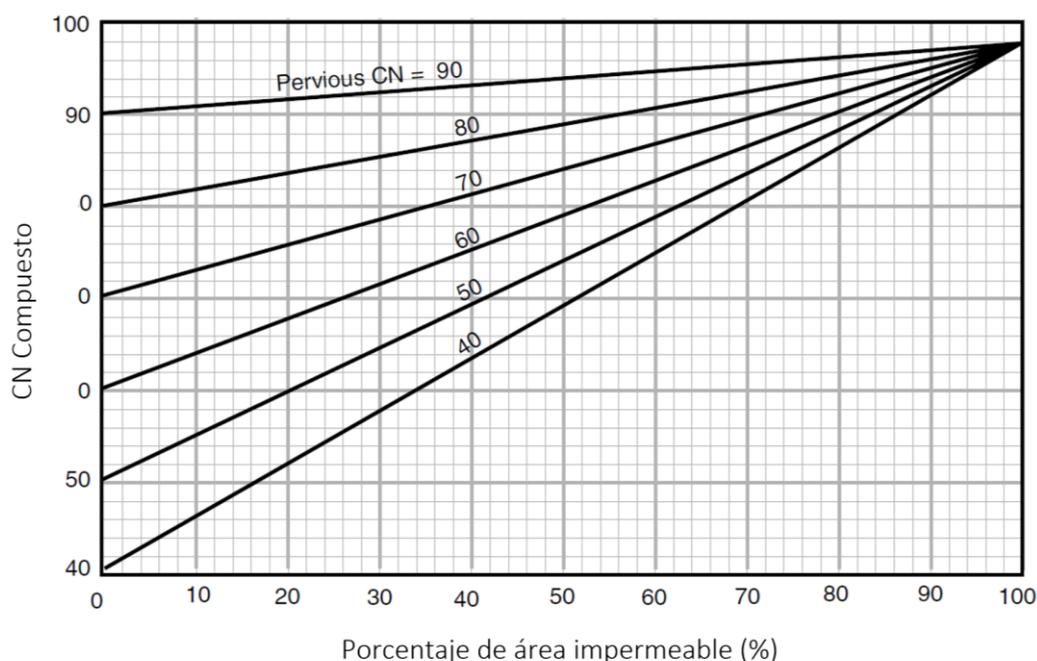


Figura 10. CN compuesto para área impermeable conectada al sistema de drenaje.

Nota. Recuperado de “Urban Hydrology for Small Watersheds, Technical Release 55, Second Ed.”, by Cronshey, R., et al, 1999, p. 10, Washington, DC, United States.

3.6.2 Parámetros para conductos (tuberías)

Es necesario la introducción de longitudes, formas, dimensiones de la sección transversal de cada tramo de tubería, los nudos a los que están conectados y los coeficientes de Manning de cada tipo de tubería de acuerdo al material. Los coeficientes de Manning para las tuberías del sistema de alcantarillado combinado se exponen en la tabla 9.

Tabla 9. Coeficientes de Manning de acuerdo al tipo de material

Tipo de material	Coefficiente n de Manning
PVC	0.011
Mampostería de piedra	0.022
Hormigón	0.013

Nota. Fuente: “Normas para el estudio y diseño de agua potable y disposición de aguas residuales para poblaciones mayores a 1000 habitantes.”, de Instituto Ecuatoriano de Normalización, 1992, p. 103, Quito, Ecuador.

3.6.3 Parámetros para nodos (pozos de registro)

Es preciso indicar que el nudo recibe caudales externos, siendo en este caso de estudio los caudales de aguas residuales, también es obligatorio ingresar la cota de fondo del pozo de registro y su respectiva profundidad.

3.7 Calibración de la modelización

Se calibra la red, realizando cálculos en un 10% de las tuberías que conforman el sistema, dividiendo previamente el área de estudio en 10 zonas regulares. A partir de los caudales sanitarios se compara los resultados de los tirantes obtenidos por el programa y los resultados conseguidos a mano, como se observa en la tabla 10.

Tabla 10. Resultados de calibración

VERIFICACIÓN DE TIRANTES (Y)										
Conducto	D (m)	Caudal Sanitario (lt/s)	SWMM V (m/s)				SWMM tirante (m)	Cálculo tirante (m)	Error absoluto	Error relativo
				A(m ²)	A/D ²	y/D				
C4	0.6	6.49	1.83	0.0035	0.009 9	0.038 2	0.0230	0.0229	0.0000	0.16%
C16	0.4	2.45	0.73	0.0034	0.021 0	0.063 6	0.0255	0.0254	-0.0001	0.31%
C21	0.6	22.45	1.59	0.0141	0.039 2	0.097 2	0.0582	0.0583	0.0001	0.16%
C42	0.8	25.95	0.75	0.0346			0.0433	0.0433	-0.0001	0.12%
C52	0.6	6.21	2.38	0.0026	0.007 2	0.031 0	0.0186	0.0186	0.0000	0.11%
C57	0.5	22.59	0.75	0.0301			0.0602	0.0602	0.0000	0.07%
C63	0.4	0.83	0.33	0.0025	0.015 7	0.052 3	0.0210	0.0209	-0.0001	0.45%
C69	0.3	0.86	0.65	0.0013	0.014 7	0.050 0	0.0146	0.0150	0.0004	2.67%
C91	0.6	116.98	1.89	0.0619	0.171 9	0.271	0.1626	0.1626	0.0000	0.03%
C96	0.3	4.44	0.86	0.0052	0.057 4	0.126 0	0.0376	0.0378	0.0002	0.53%
									Promedio	0.46%

Nota. El error promedio es de 0.46%

Fórmulas aplicadas

$$A = \frac{Q}{V} \quad (20)$$

Dónde: A= área del fluido (m²), Q= caudal (lt/s) y V= velocidad (m/s).

Los valores de Y/D son obtenidos a partir de interpolaciones con datos del apéndice A del libro de Hidráulica de Canales Abiertos, de Ven Te Chow, 2004. Al realizar la calibración correspondiente, se determina que el programa genera valores apropiados, se presenta un promedio de error de 0.5%.

3.8 Escenarios de estudio

La red de alcantarillado combinado a modelizar consta de 148 cuencas, 99 conductos, 99 pozos de registro (nudos), un pluviómetro en el cual se ingresan los datos de precipitación de duración igual a 15 minutos, el método de infiltración es el Número de Curva, el arrastre de sedimento se produce a partir de la Concentración Media del Evento (EMC) y el modelo hidráulico de transporte aplicado es “Onda Dinámica”. Se simulan 6 escenarios de estudio con periodos de retorno de 3, 5, 10, 20, 30 y 50 años, todos comparten las mismas características de la red de alcantarillado combinado y las cuencas que intervienen. En la figura 11 se muestra la representación de la red de alcantarillado combinado en SWMM 5.1.

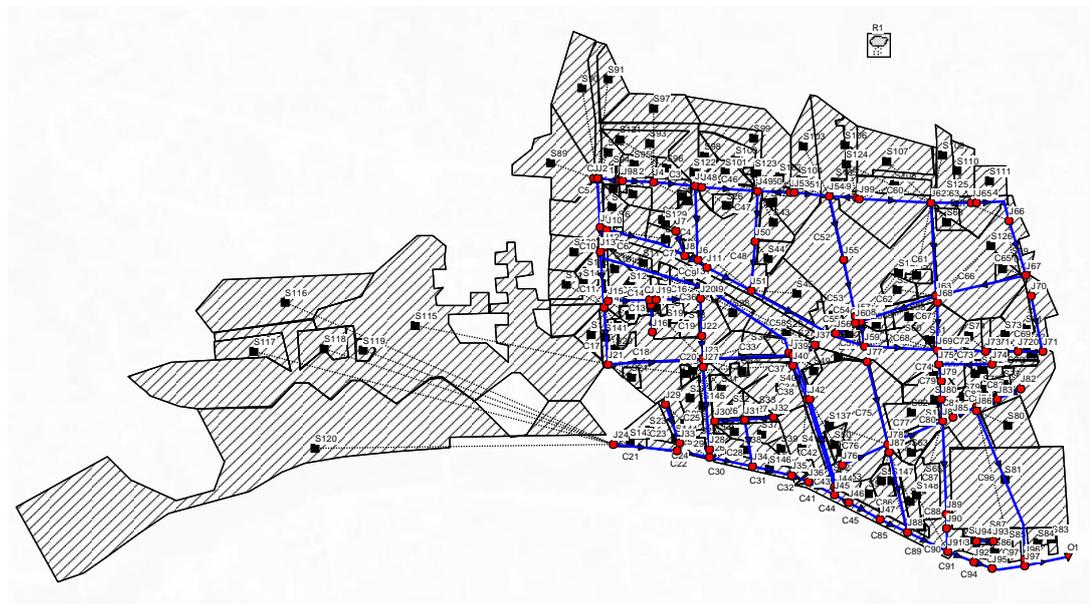


Figura 11. Esquema de la red de alcantarillado combinado en SWMM 5.1
Nota: Obtenido de SWMM 5.1, se presentan cuencas, nudos y conductos.

3.9 Volumen de sólidos propensos a sedimentación

Es fundamental la realización de ensayos de laboratorio con el material que ingresa al sistema de alcantarillado, para obtener granulometría y densidad, con la finalidad de aplicar formulaciones para conseguir la velocidad de sedimentación del material que ingresan en la red; aplicando criterios establecidos por Sadat-Herlbar et al., 2009, la velocidad de sedimentación es de 0,14 m/s.

3.9.1 Velocidad de sedimentación

Es una característica básica para la correcta estimación del transporte de sedimentos; la velocidad de sedimentación mantiene relación directa con la densidad y viscosidad del fluido, densidad, forma, textura y tamaño de la partícula. Esta se entiende también como una velocidad descendiente de una partícula en un fluido de densidad baja en equilibrio, es decir, que la suma de las fuerzas de gravedad, flotación y arrastre del fluido son iguales a cero (Sadat-Herlbar, Amiri-Tokaldany, Darby & Shafaie, 2009).

Sadat-Herlbar et al. (2009), proponen una nueva relación para identificar la velocidad de sedimentación con porcentajes de error muy reducidos (ecuaciones 21 y 22), dónde: v_s = velocidad de sedimentación (m/s), ν = viscosidad cinemática del fluido ($0.000001007 \text{ m}^2/\text{s}$), d = diámetro de la partícula (m), g = aceleración gravitacional (m/s^2), s = densidad relativa (ρ_s/ρ , [$\text{kg}/\text{m}^3/\text{kg}/\text{m}^3$]), ρ_s = densidad del sedimento (kg/m^3), ρ = densidad del fluido ($998.23 \text{ kg}/\text{m}^3$) y D_{gr} = diámetro efectivo.

$$v_s = 0.33 \frac{\nu}{d} \left(\frac{d^3 g (s-1)}{\nu^2} \right)^{0.963} \quad D_{gr} \leq 10 \quad (21)$$

$$v_s = 0.51 \frac{\nu}{d} \left(\frac{d^3 g (s-1)}{\nu^2} \right)^{0.553} \quad D_{gr} > 10 \quad (22)$$

La ecuación 23 permite obtener el diámetro efectivo, dónde: D_{gr} = diámetro efectivo, ν = viscosidad cinemática del fluido (m^2/s), d = diámetro de partícula (m), g = aceleración gravitacional (m/s^2) y s = densidad relativa (ρ_s/ρ , [$\text{kg}/\text{m}^3/\text{kg}/\text{m}^3$]) (Sadat-Herlbar et al., 2009).

$$D_{gr} = d \left(\frac{g(s-1)}{v^2} \right)^{1/3} \quad (23)$$

La ecuación 24 representa la velocidad de corte, donde: u_* = velocidad de corte (m/s), τ_b = esfuerzo cortante (N/m^2) y ρ = densidad del fluido (kg/m^3) y la ecuación 25 representa el esfuerzo cortante, donde τ_b = esfuerzo cortante (N/m^2), ρ = densidad del fluido (kg/m^3), g = aceleración gravitacional (m/s^2), R_h = radio hidráulico (m) y S_f = pendiente de la tubería (m/m) (R H S M, Shirazi, 2013, p. 25).

$$u_* = \sqrt{\frac{\tau_b}{\rho}} \quad (24)$$

$$\tau_b = \rho g R_h S_f \quad (25)$$

A partir de estas formulaciones es posible identificar los conductos que son propensos a sedimentación, esto se alcanza al analizar los diagramas de la velocidad cortante de cada conducto problemático (capacidades superiores al 75%) con la velocidad de caída de los sedimentos.

Es preciso obtener la concentración total de sedimento (mg/l) durante el tiempo en que la velocidad cortante es superior a la velocidad de caída (condición que manifiesta la existencia de transporte de sedimento; posteriormente el material se sedimentará cuando la velocidad de caída supere a la velocidad cortante), inmediatamente, se obtiene el volumen líquido total durante el tiempo de análisis; de allí se calcula el peso sólido multiplicando el volumen líquido por la concentración de sedimento, finalmente se calcula el volumen del sedimento al dividir el peso del sólido para la densidad del sedimento.

Para realizar el análisis conclusivo, se calcula el volumen del conducto y se compara con el volumen de sedimento en porcentaje para identificar zonas propensas a sedimentación.

CAPÍTULO IV

Análisis de resultados

Se presentan los resultados obtenidos de 6 simulaciones con diferentes periodos de retorno; se identifica que varios conductos llegan a trabajar a presión porque las dimensiones de las tuberías no son óptimas para transportar el agua hasta su zona de descarga, siendo la causa de inundaciones. Además existen conductos con velocidades superiores a las permitidas, pudiendo existir erosión en las mismas. Se presentan los tramos de conductos que presentan sedimentación, cuya condición se obtiene al relacionar la velocidad de caída de las partículas con la velocidad cortante en conductos que trabajen a más del 75% de su capacidad. También se presenta un análisis que permite identificar conductos problemáticos al analizar conjuntamente velocidades, capacidades y sedimentación, clasificando a los conductos dentro de niveles asociados con problemas que afectan al elemento.

4.1 Velocidades en los conductos

Criterios indican que las velocidades mínimas de diseño de redes de alcantarillado deben estar entre 0.45 m/s y 0.5 m/s; a partir de una investigación llevada a cabo en Holanda se manifiesta que velocidades entre 2.5 m/s y 4 m/s generan mayor erosión que velocidades comprendidas entre 4 m/s y 5 m/s, es importante considerar que la velocidad máxima de diseño no supere los 5 m/s, para asegurar la vida útil del sistema. (UNATSABAR, 2005)

En los resultados presentados para cada periodo de retorno (figuras 12 – 17), los conductos de color azul tienen velocidades inferiores a 0.5 m/s en los cuales puede presentarse sedimentación según el criterio común de diseño de sistemas de alcantarillado, los conductos de color celeste y verde tienen velocidades óptimas que no provocan problema alguno, los conductos expresados de color amarillo, tomate y rojo presentan velocidades que generan erosión, es importante tomar en cuenta que las velocidades de los conductos de color tomate, causan menor erosión que los plasmados de amarillo y rojo.

En la tabla 11 se resume el análisis de velocidades, indicando el porcentaje y la longitud de los conductos que posiblemente tienen problemas de sedimentación, no presentan problemas o provocan erosión. A partir de lo obtenido se puede indicar que en el sector del sistema de alcantarillado analizado existen posibles problemas de sedimentación en un 2% de la longitud total de los conductos, si se considera que las velocidades inferiores a 0.5 m/s causan este problema; más de la mitad de los conductos presentan velocidades normales que no afectan o causan problemas, mientras que alrededor de un 40% de la longitud total muestran posibles problemas de erosión debido a las altas velocidades que se presentan.

Considerando los resultados del periodo de retorno de 3 años, 1579.37 metros de conductos, es decir, 30.27% de la longitud total de los conductos analizados (5216.91 m) presentan posibles problemas de erosión constantes, valor que genera inquietud debido a que esta condición puede provocar rupturas o desgastes en los conductos, generando así contaminación que no es detectable sin realizar análisis o verificaciones; en un periodo de retorno extremo (50 años), 2295.75 metros de conducto presentarán seguramente estos problemas, es decir, 44.01% de la longitud total de conductos analizados, estos resultados indican que los conductos que pueden estar afectados cubren un importante porcentaje de la parte de la red de alcantarillado combinado estudiado, por lo cual estas condiciones pueden afectar considerablemente a toda el área de influencia.

Tabla 11. *Porcentajes y longitudes de conductos de acuerdo a resultados de velocidades*

T (años)	Posible sedimentación		Sin problema		Erosión	
	%	L(m)	%	L(m)	%	L(m)
3 años	1.61	84.20	68.11	3553.34	30.27	1579.37
5 años	1.72	89.82	63.84	3330.52	34.44	1796.57
10 años	1.61	84.20	57.89	3020.24	40.49	2112.47
20 años	1.63	85.26	57.69	3009.78	40.67	2121.87
30 años	2.08	108.54	55.34	2886.87	42.58	2221.50
50 años	1.08	56.36	54.91	2864.80	44.01	2295.75

Nota: Tabla elaborada a partir de resultados obtenidos mediante SWMM 5.1. El porcentaje representado está en relación con la longitud de los conductos.

En la tabla 12 se identifican conductos con velocidades que pueden provocar erosión; se organiza la información clasificando a los conductos de acuerdo a su

ubicación y repetición de velocidades erosivas en cada uno de los diferentes periodos de retorno. A partir de los resultados alcanzados, hay que priorizar aquellos conductos que presentan velocidades erosivas desde periodos de retorno de 3, 5, y 10 años, catalogándolos como los conductos más problemáticos bajo esta condición. Adicionalmente es sustancial indicar que los conductos no expuestos en la tabla 12, no presentan problema alguno con respecto a velocidades, a excepción de los conductos C1 y C35 que presentan velocidades inferiores a la mínima recomendada (0.5 m/s).

Tabla 12. *Conductos con problemas de erosión.*

Ubicación	Velocidades que provocan erosión					
	Periodo de retorno T (años)					
	3, 5, 10, 20, 30, 50	5, 10, 20, 30, 50	10, 20, 30, 50	20, 30, 50	30, 50	50
3 de Noviembre	C61, C74, C78, C79					
Benjamín Ochoa	C52					C57
Av. Nicolás Muñoz	C34, C43		C38	C40		
Carlos Guevara	C47, C48					
Primero de Mayo	C4, C19				C25	
Primero de Febrero	C5					
Francisco Calderón	C3					
Av. Alberto Ochoa	C9, C58, C68		C36			
Av. Verdeloma	C33		C18			
Primero de Agosto	C77					
Av. Eloy Alfaro	C21, C22, C30, C31, C32, C44, C45, C85, C89, C91, C94, C95, C98		C41			
Entre Av. Eloy Alfaro y Primero de Mayo						C23

Nota: Existen 6 periodos de retorno: 3, 5, 10, 20, 30 y 50 años.

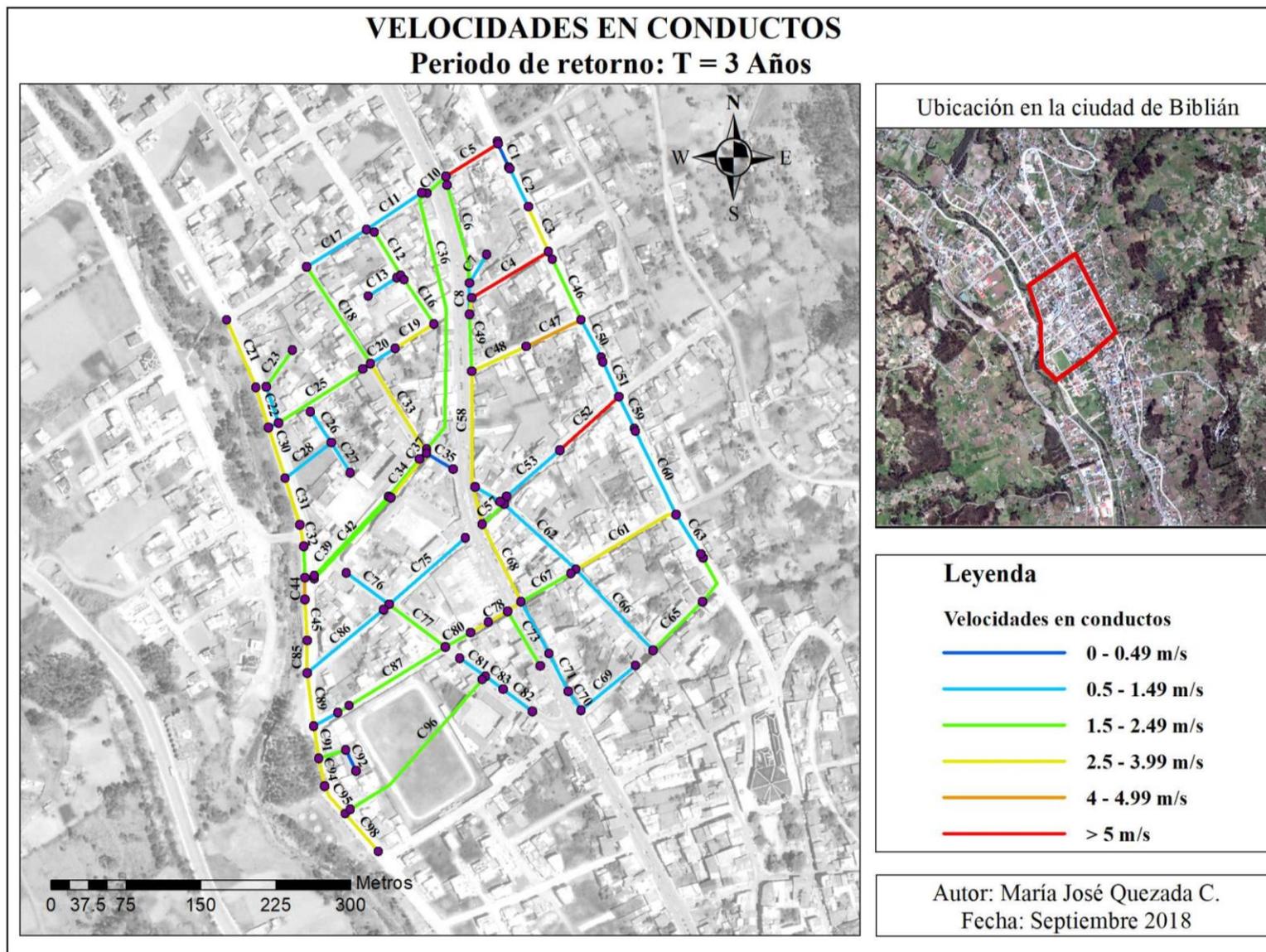


Figura 12. Resultado de velocidades en conductos. Simulación en SWMM 5.1. Periodo de retorno de 3 años.

Nota: Elaborado por el autor.

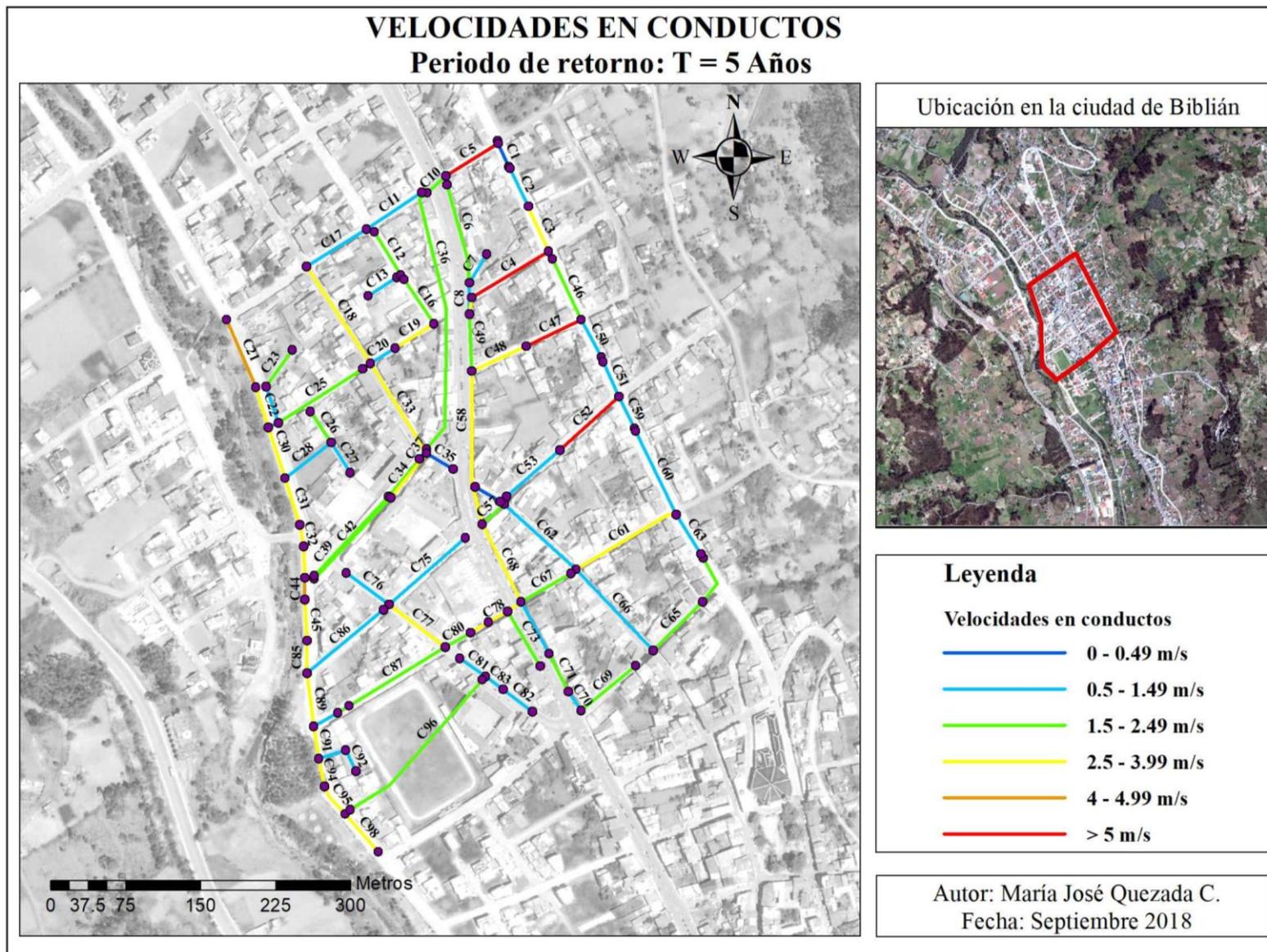
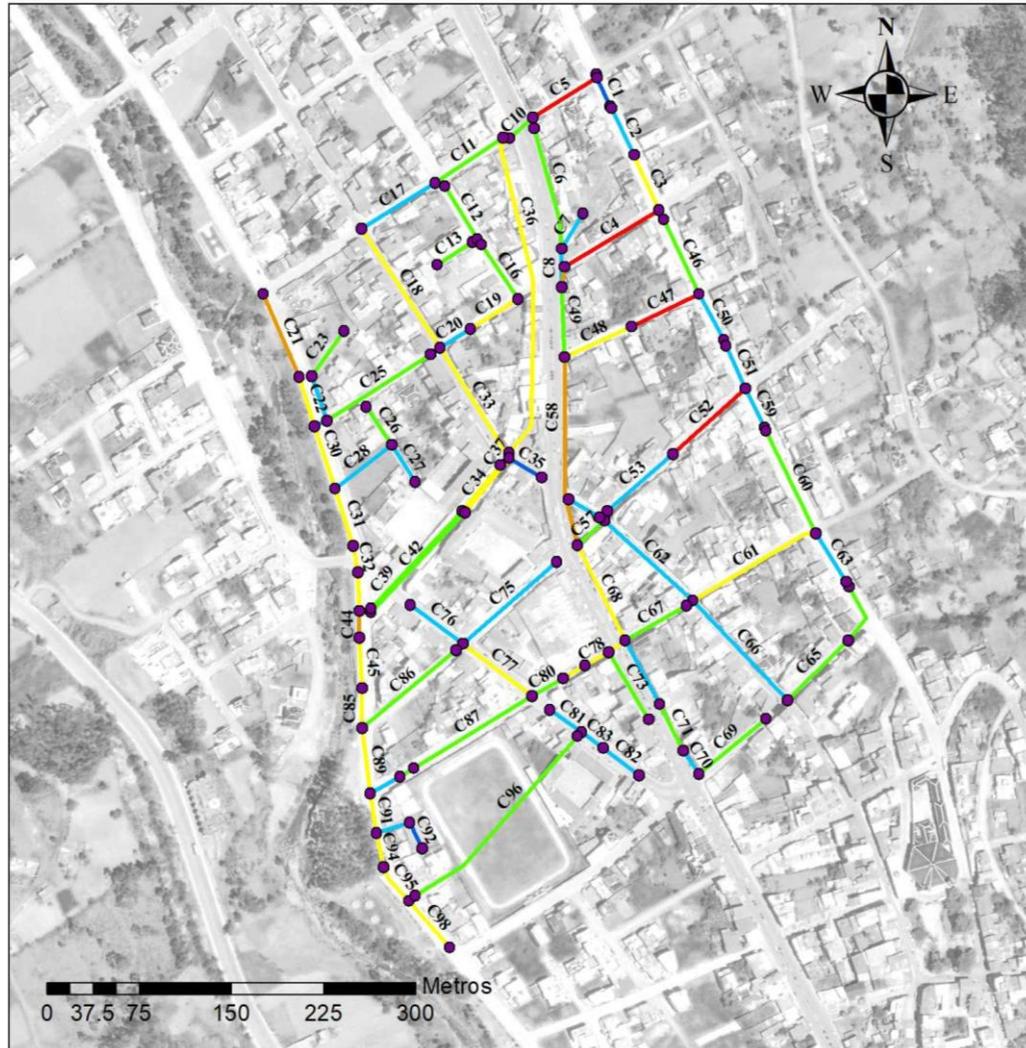


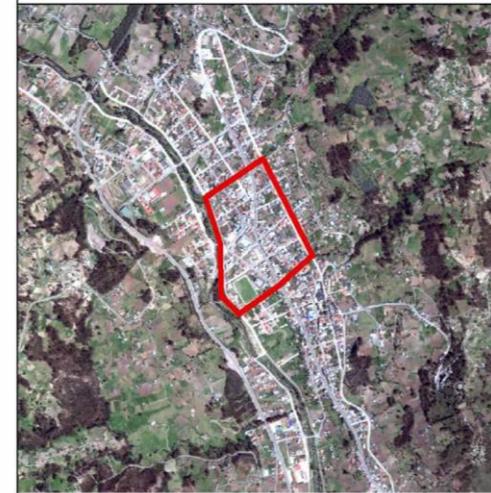
Figura 13. Resultado de velocidades en conductos. Simulación en SWMM 5.1. Periodo de retorno de 5 años.

Nota: Elaborado por el autor.

VELOCIDADES EN CONDUCTOS Periodo de retorno: T = 10 Años

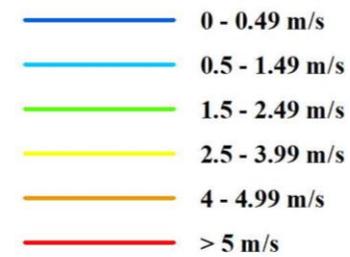


Ubicación en la ciudad de Biblián



Leyenda

Velocidades en conductos



Autor: María José Quezada C.
Fecha: Septiembre 2018

Figura 14. Resultado de velocidades en conductos. Simulación en SWMM 5.1. Periodo de retorno de 10 años.

Nota: Elaborado por el autor.

VELOCIDADES EN CONDUCTOS Periodo de retorno: T = 20 Años

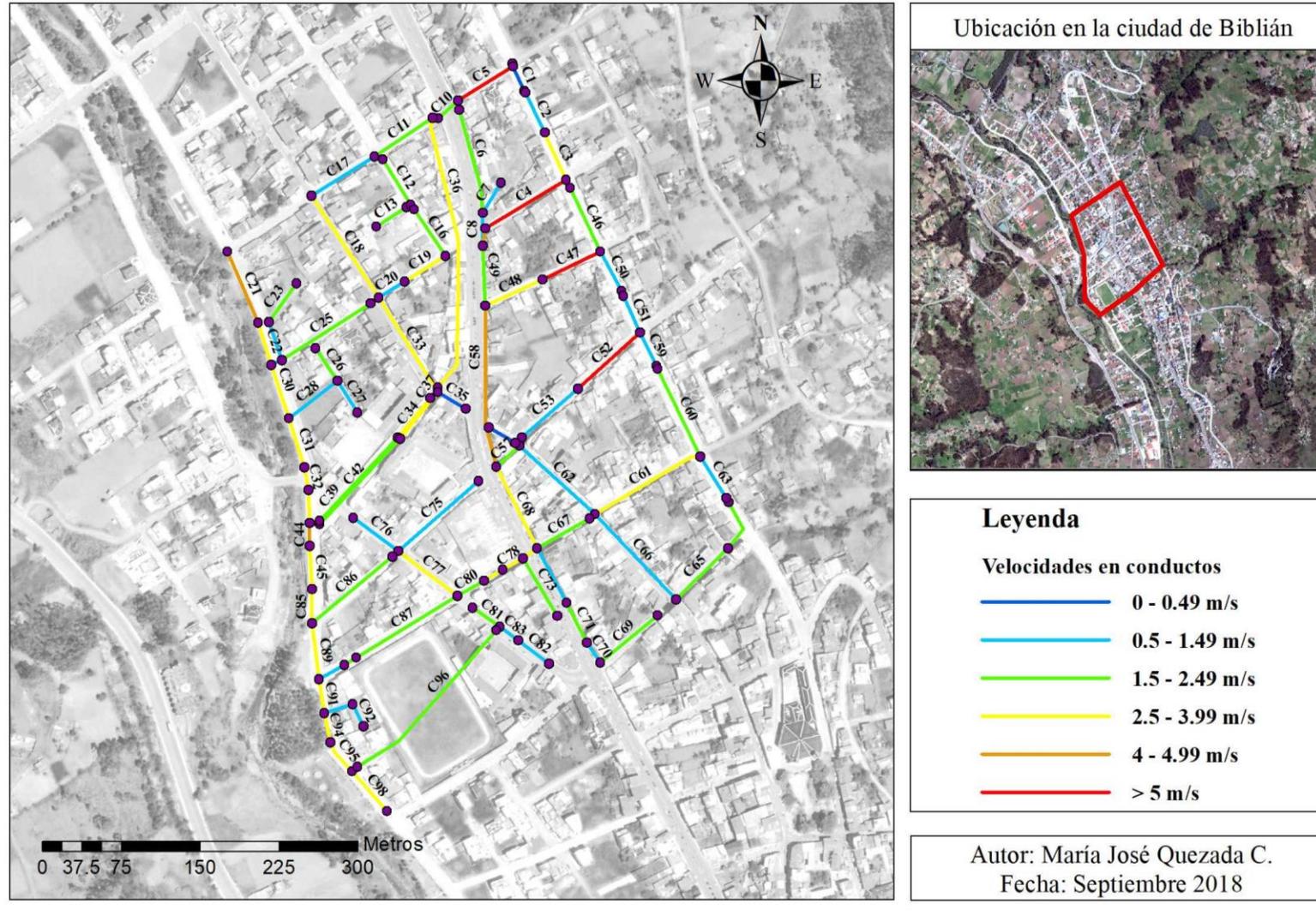


Figura 15. Resultado de velocidades en conductos. Simulación en SWMM 5.1. Periodo de retorno de 20 años.

Nota: Elaborado por el autor.

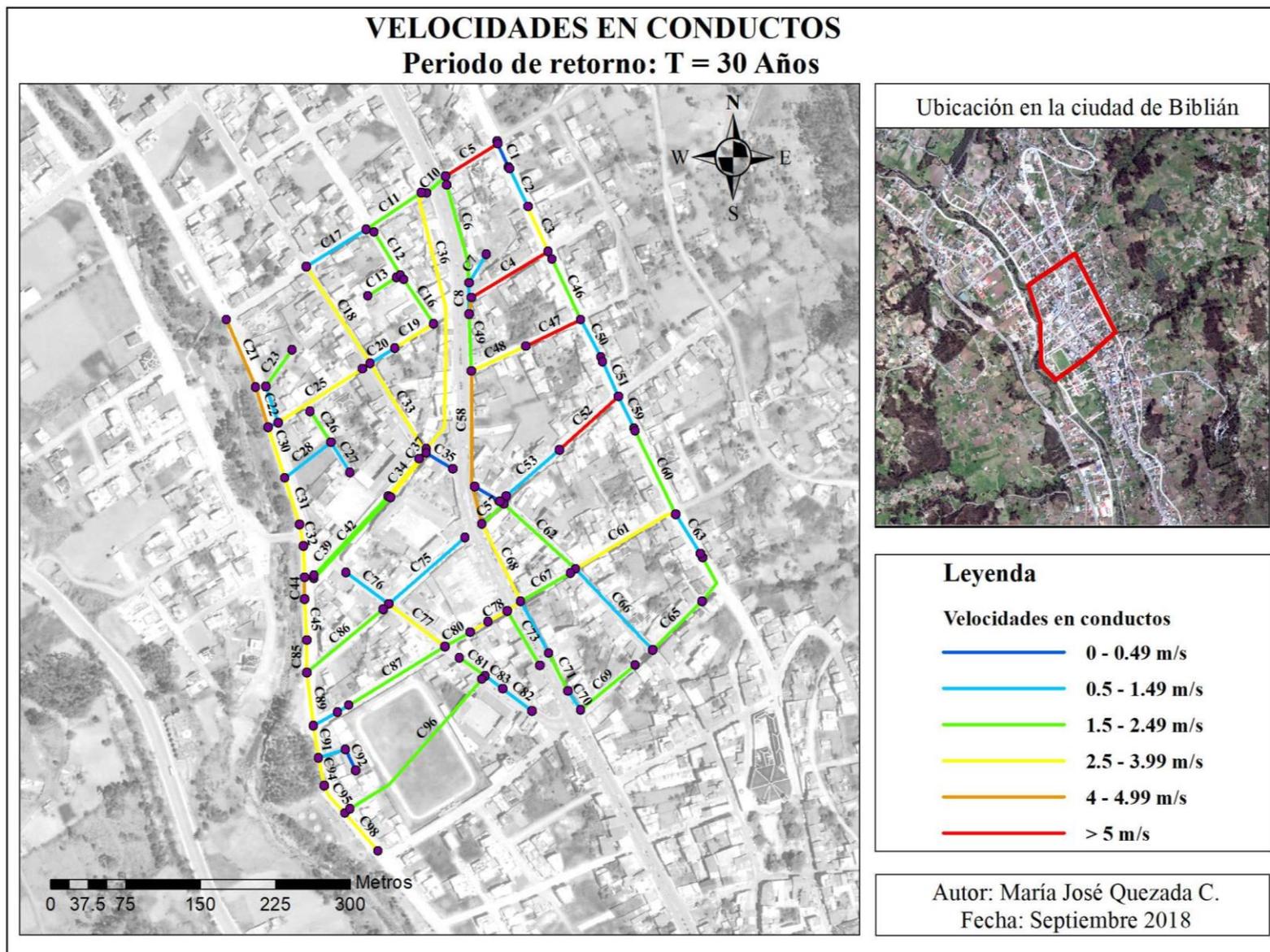


Figura 16. Resultado de velocidades en conductos. Simulación en SWMM 5.1. Periodo de retorno de 30 años.

Nota: Elaborado por el autor.

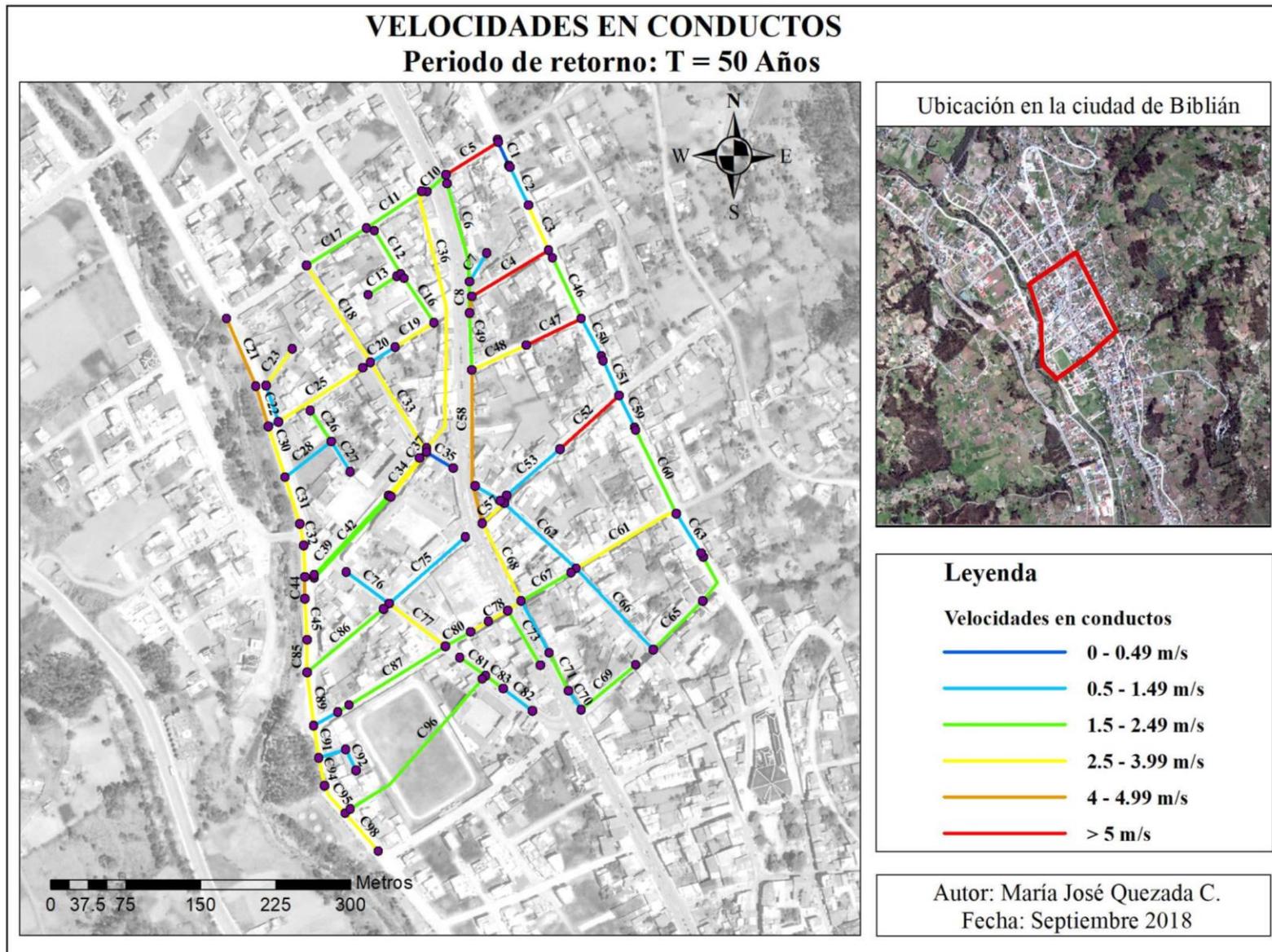


Figura 17. Resultado de velocidades en conductos. Simulación en SWMM 5.1. Periodo de retorno de 50 años.

Nota: Elaborado por el autor.

4.2 Capacidades de los conductos

En todos los escenarios de estudio se presentan conductos que trabajan a presión bajo las precipitaciones impuestas; conforme el periodo de retorno aumenta también se incrementa el número de conductos trabajando al 100% de su capacidad, siendo estos los que están conectados a los conductos ya colapsados en simulaciones anteriores. Estas condiciones generan inundaciones en las zonas de ubicación de los conductos, afectando a los habitantes del lugar debido a la expulsión del agua por sumideros o pozos de registro.

En las figuras 18 a la 23, se enseñan los resultados obtenidos de capacidades, es importante considerar lo siguiente: los conductos indicados de color azul, celeste y verde trabajan, sin superar el 75% de la capacidad de la tubería, los conductos señalados de color amarillo trabajan con capacidades entre un 75% y 90% y los conductos de color rojo están trabajando entre un 90% y 100% de su capacidad, condición que provoca inundaciones en ciertos sectores.

Con los resultados expuestos en la tabla 13 se puede mencionar que en un periodo de retorno de 3 años, un 7.63% de la longitud de los conductos analizados, trabajan con capacidades comprendidas entre 75% y 90%, y un 25.77% trabajan a capacidades límite de 90% a 100%; por lo tanto tomando en consideración trabajos de capacidad superiores al 90%, en un periodo de retorno de 3 años, 25.77% de los conductos trabajan en condiciones no esperadas que provocan presión en los conductos e inundaciones, exponiendo agua contaminada en varios sectores urbanos de manera frecuente. Al aumentar los periodos de retorno obviamente estos porcentajes se amplían, acrecentando la cantidad de conductos problemáticos y zonas inundadas. En general el porcentaje de longitud de conductos trabajando a presión supera el 25%, condición no aceptada para sistemas de alcantarillado, por ende esta situación provoca problemas de inundación.

Es hasta cierto punto permisible que un sistema trabaje a presión cuando se presentan periodos de retorno superiores a 30 años o más, pero en periodos cortos de 3, 5 o 10 años, está condición visualiza una deficiencia de la red de alcantarillado.

Tabla 13. *Porcentajes y longitudes de conductos de acuerdo a resultados de capacidades*

T (años)	Capacidad normal 0% - 75%		Capacidad alta 75% - 90%		Capacidad al límite 90% - 100%	
	%	L(m)	%	L(m)	%	L(m)
3 años	66.59	3474.19	7.63	398.09	25.77	1344.63
5 años	65.30	3406.88	6.58	343.02	28.12	1467.01
10 años	57.24	2986.02	6.12	319.16	36.64	1911.73
20 años	53.20	2775.23	5.31	277.19	41.49	2164.49
30 años	52.54	2740.80	5.42	282.73	42.04	2193.38
50 años	52.13	2719.64	5.83	303.89	42.04	2193.38

Nota: Tabla elaborada a partir de resultados obtenidos mediante SWMM 5.1. El porcentaje representado está en relación con la longitud de los conductos.

En la tabla 14, se presentan los conductos con trabajos superiores a los 75% de su capacidad, organizados de acuerdo a su ubicación y repetición de capacidades en los periodos de retorno estudiados. A partir de los resultados es evidente que la mayoría de conductos con problemas de capacidades presentan esta molestia desde periodos de retorno cortos de 3, 5 o 10 años, característica negativa dentro de un sistema de alcantarillado; al ocurrir grandes precipitaciones las zonas en las cuales se ubican los conductos problemáticos sufren inundaciones constantes, resultados que corroboran la realidad del sistema de alcantarillado.

Es pertinente dar mayor importancia a los conductos ubicados en la calle Mariscal Sucre, Av. Alberto Ochoa, calle Primero de Agosto y Av. Eloy Alfaro, zonas en las cuales existe mayor cantidad de líquido contaminado expuesto cuando se presentan intensas precipitaciones, causando problemas de salubridad y tránsito vehicular y peatonal. Además existen pozos de revisión que conectan conductos trabajando al 100% de su capacidad y no son accesibles, pues están cubiertos de una capa de rodadura que de alguna forma provocan una excesiva presión en la zona, que en algún momento puede desencadenar problemas en los conductos y generar problemas graves de contaminación y daño en la estructura del lugar.

Al relacionar los resultados obtenidos con el de velocidades, es necesario poner mayor interés en la Av. Alberto Ochoa, zona del Parque de la Madre (Av. Alberto Ochoa, Benjamín Ochoa y Mariscal Sucre), Av. Verdeloma y Av. Eloy Alfaro, conductos que presenta mayores problemas al tener velocidades erosivas y presión en los conductos.

Tabla 14. *Conductos con capacidades superiores a 75%*

Ubicación	Capacidades comprendida entre 75% - 100%					
	Periodo de retorno T (años)					
	3 a 50	5 a 50	10 a 50	20 a 50	30 a 50	50
3 de Noviembre	C80, C87, C88, C90					C79
Benjamín Ochoa	C54, C57, C86					
Av. Nicolás Muñoz	C40, C42, C43	C34				
Primero de Mayo		C29		C19, C20		
Mariscal Sucre	C55, C56, C62					
Av. Alberto Ochoa	C85, C68, C73			C49		
Velasco Ibarra					C13	
Av. Verdeloma				C18, C33, C35		
Primero de Agosto	C77, C81, C83					
Av. Eloy Alfaro	C22, C30, C31, C32, C41, C44, C45, C85, C89, C91, C94, C95, C98		C21			
Sector Estadio	C84, C91, C92, C96, C97					
Entre Av. Eloy Alfaro y Primero de Mayo			C23, C28	C24		

CAPACIDADES EN CONDUCTOS

Periodo de retorno: T = 3 Años

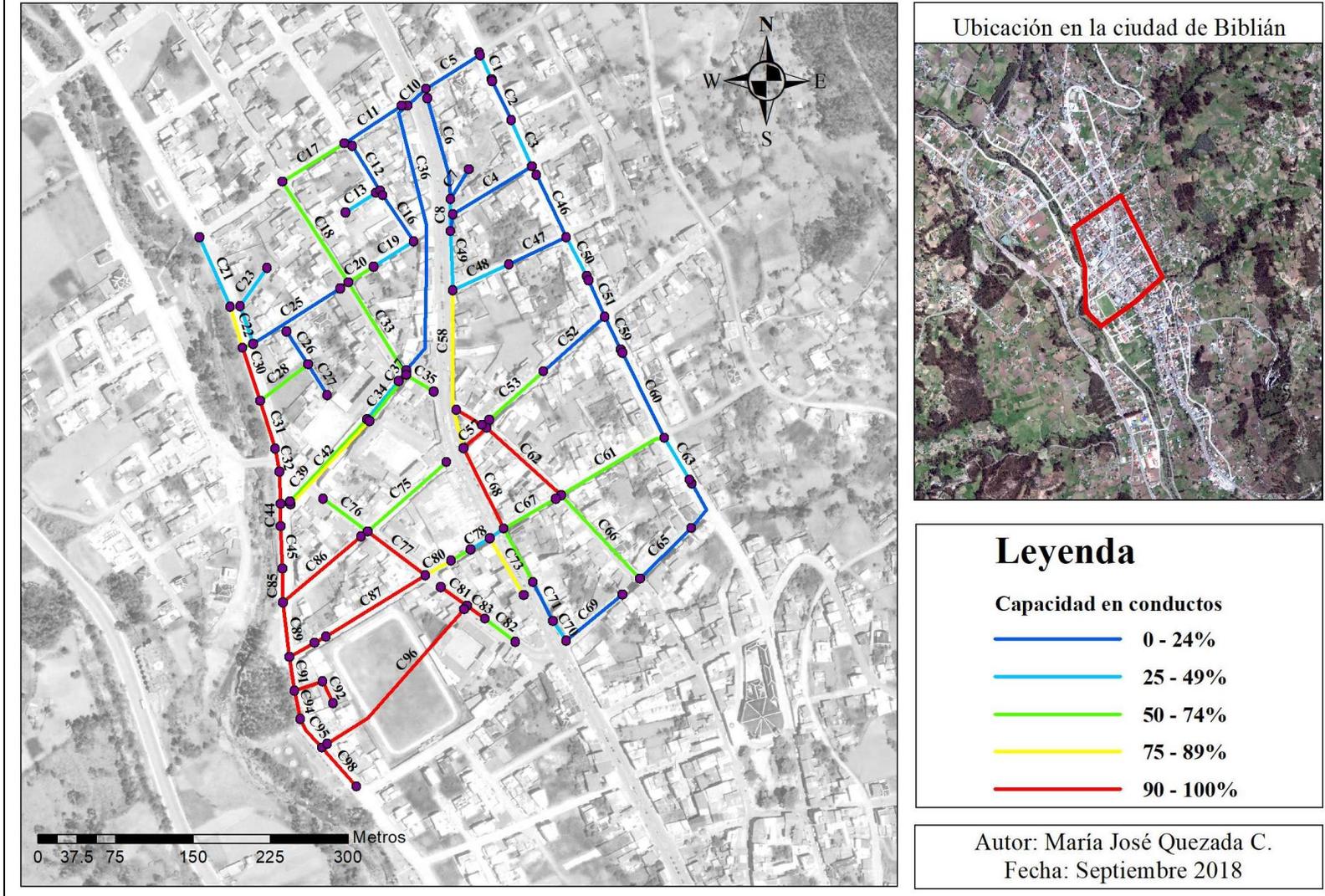


Figura 18. Resultado de capacidades en conductos. Simulación en SWMM 5.1. Periodo de retorno de 3 años.

Nota: Elaborado por el autor.

CAPACIDADES EN CONDUCTOS

Periodo de retorno: T = 5 Años

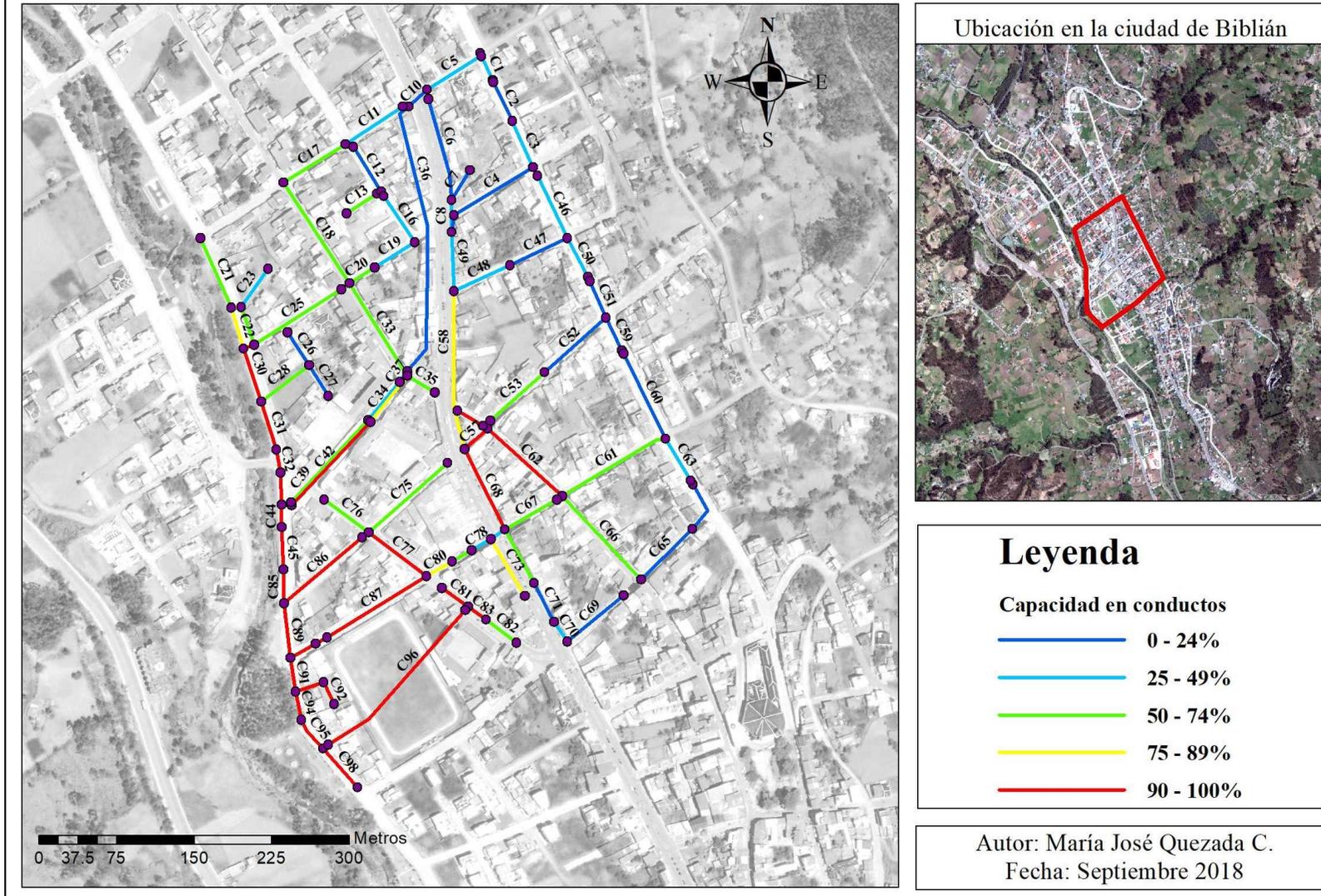


Figura 19. Resultado de capacidades en conductos. Simulación en SWMM 5.1. Periodo de retorno de 5 años.

Nota: Elaborado por el autor

CAPACIDADES EN CONDUCTOS

Periodo de retorno: T = 10 Años

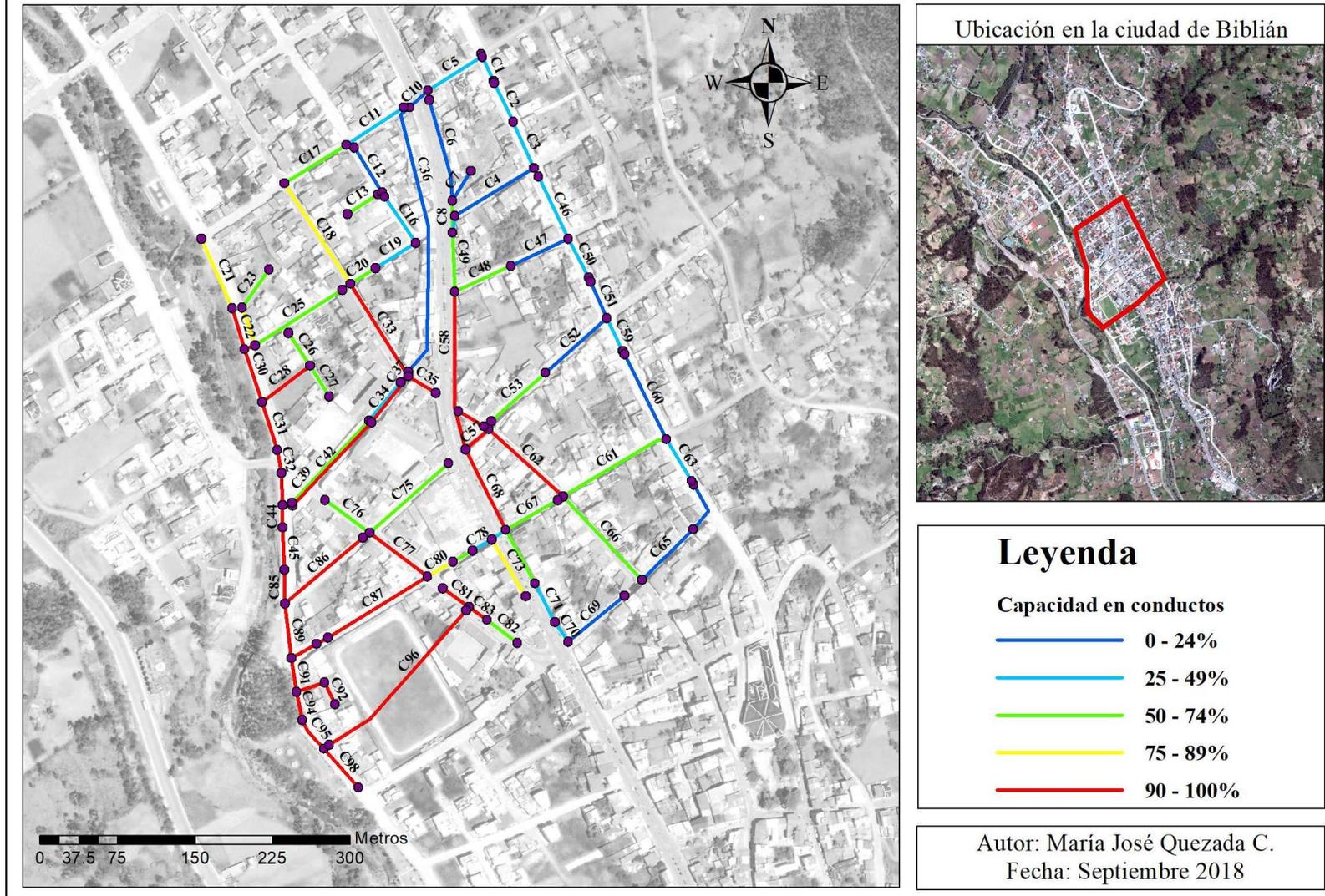


Figura 20. Resultado de capacidades en conductos. Simulación en SWMM 5.1. Periodo de retorno de 10 años.

Nota: Elaborado por el autor.

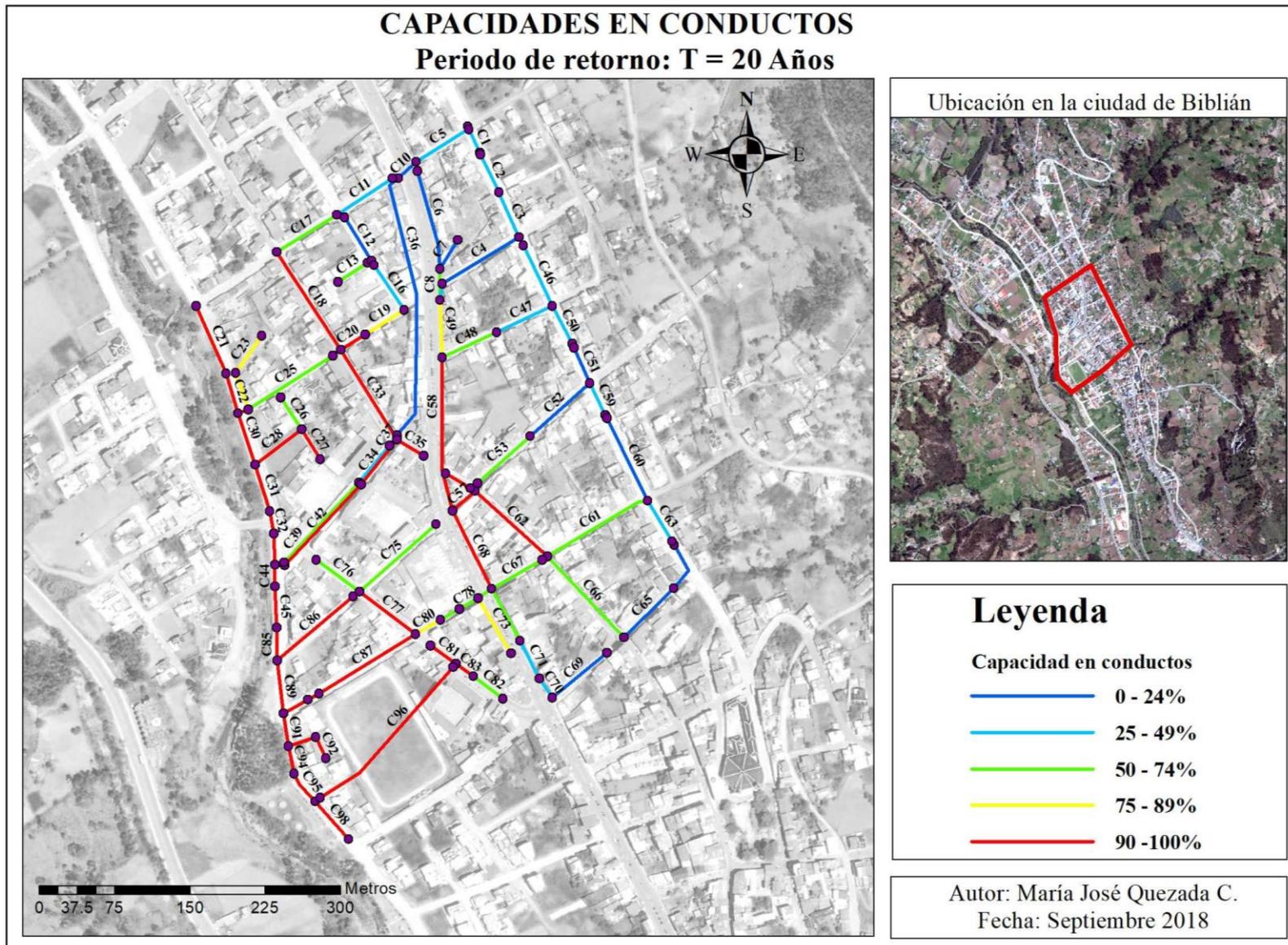


Figura 21. Resultado de capacidades en conductos. Simulación en SWMM 5.1. Periodo de retorno de 20 años.

Nota: Elaborado por el autor.

CAPACIDADES EN CONDUCTOS Periodo de retorno: T = 30 Años

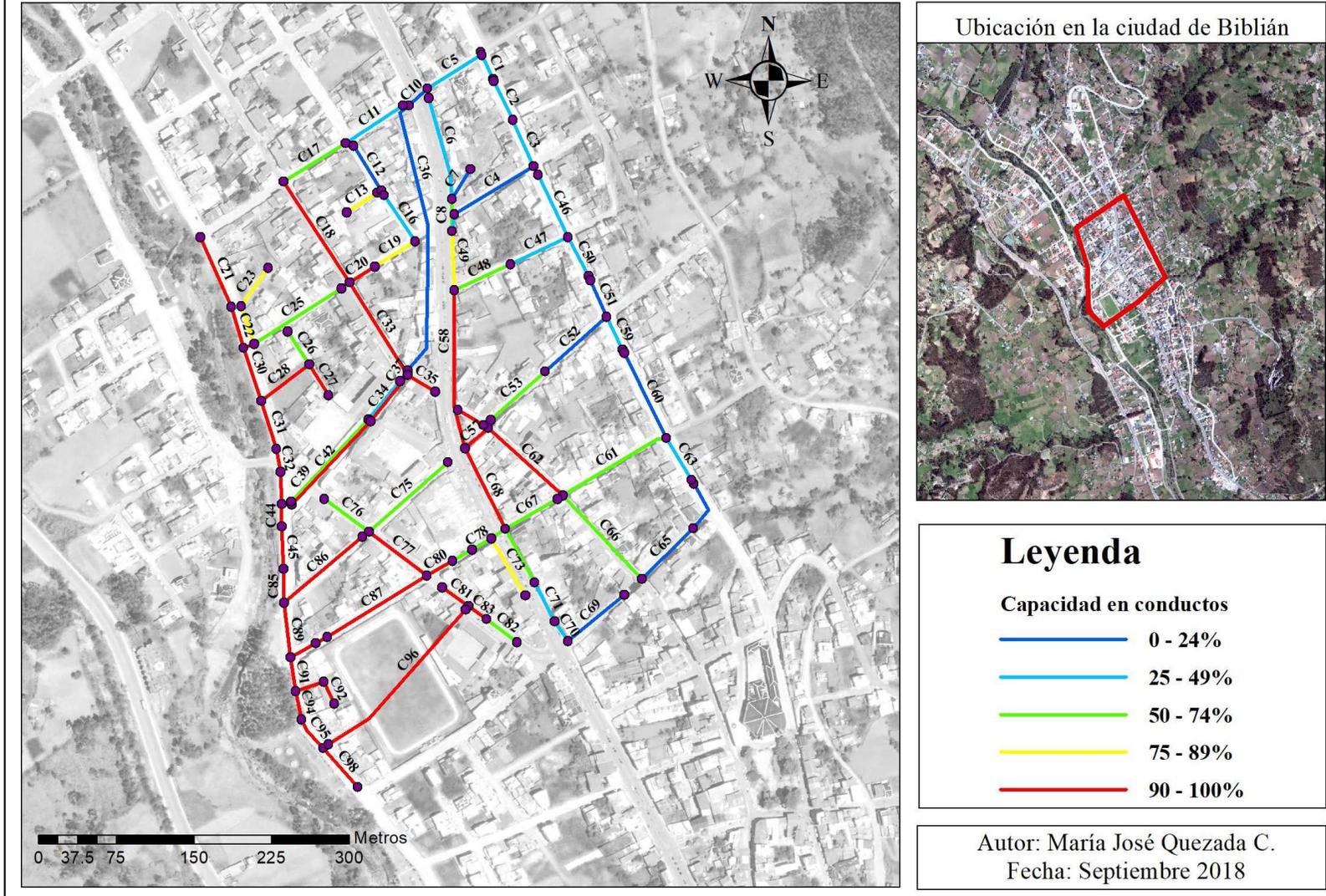
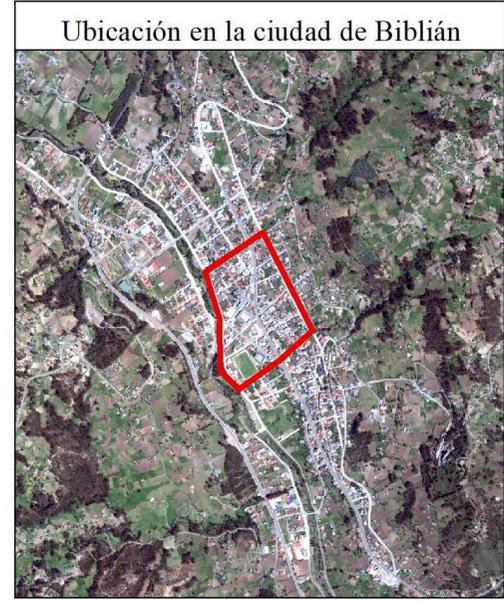
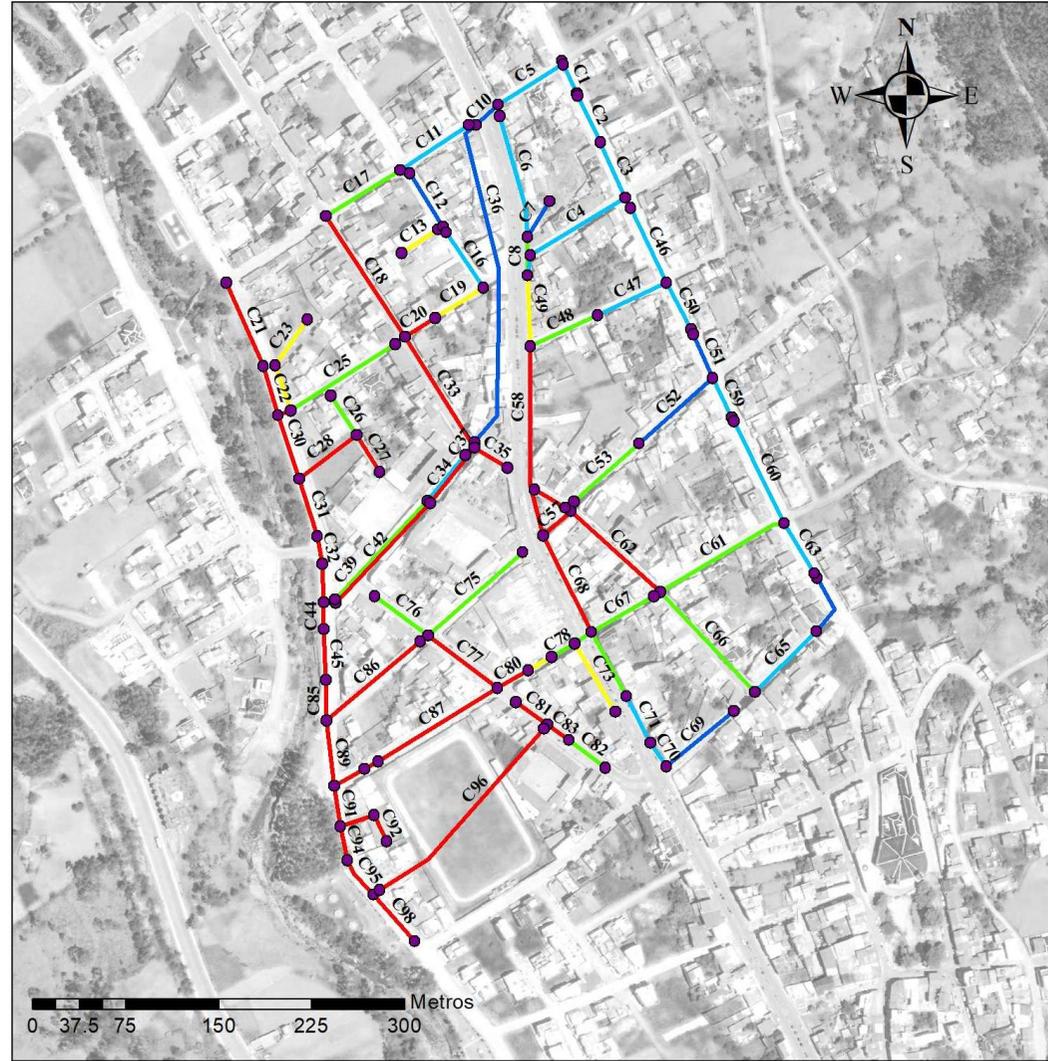


Figura 22. Resultado de capacidades en conductos. Simulación en SWMM 5.1. Periodo de retorno de 30 años.

Nota: Elaborado por el autor.

CAPACIDADES EN CONDUCTOS
Periodo de retorno: T = 50 Años



Leyenda

Capacidad en conductos

	0 - 24%
	25 - 49%
	50 - 74%
	75 - 89%
	90 - 100%

Autor: María José Quezada C.
 Fecha: Septiembre 2018

Figura 23. Resultado de capacidades en conductos. Simulación en SWMM 5.1. Periodo de retorno de 50 años.
 Nota: Elaborado por el autor.

En las figuras que se muestran a continuación, se presentan perfiles de los tramos de conductos más críticos en donde las inundaciones afectan el tránsito vehicular y peatonal y generan trabajos a presión en los conductos; se enseña cómo el nivel de agua cambia considerando ciertos periodos de retorno.

En la figura 24 se presentan 3 perfiles de elevación máxima del agua entre los pozos de revisión J24 – J97 (Av. Eloy Alfaro entre Primero de Febrero y Tomás Sacoto), pertinentes a los periodos de retorno de 3, 10 y 50 años, en donde es visible cómo los conductos conectados a los que trabajan al 100% de su capacidad con el incremento del periodo de retorno entran a trabajar bajo presión.

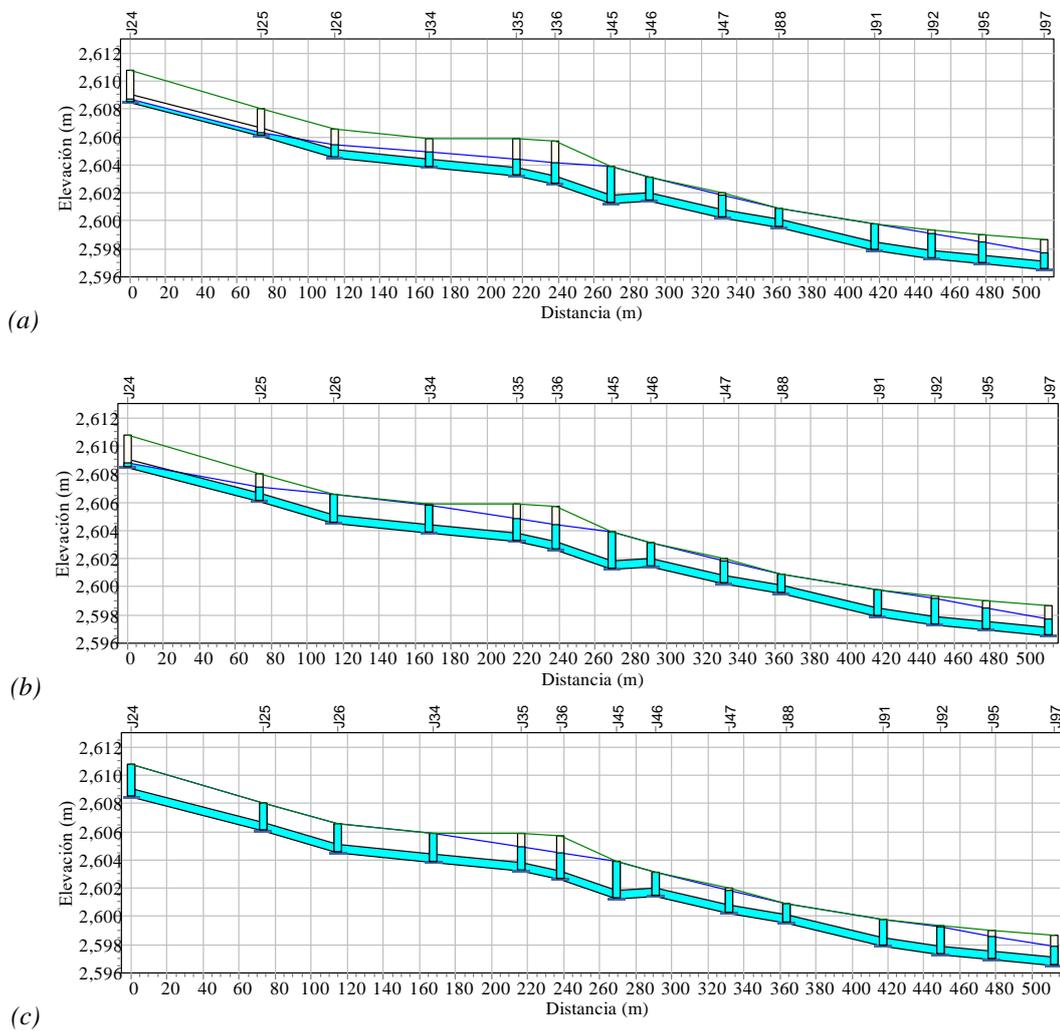


Figura 24. Perfil de elevación máxima del agua entre pozos de revisión J24 y J97. Ubicación: Av. Eloy Alfaro entre Primero de Febrero y Tomás Sacoto.

Perfiles obtenidos de SWMM 5.1, (a) 17 minutos de simulación, periodo de retorno de 3 años, (b) 16 minutos de simulación, periodo de retorno de 10 años, (c) 14 minutos de simulación, periodo de retorno de 50 años.

En la figura 25 se presentan 3 perfiles de elevación máxima del agua entre los pozos de revisión J85 – J82 (Calle Primero de Agosto entre 3 de Noviembre y Tomás Sacoto), de los periodos de retorno de 3, 10 y 50 años, es significativo indicar que en esta zona las inundaciones afectan el normal tránsito vehicular y peatonal, es el área más conflictiva durante tormentas intensas, se observa que el nivel de agua en los conductos es similar durante todas las simulaciones realizadas.

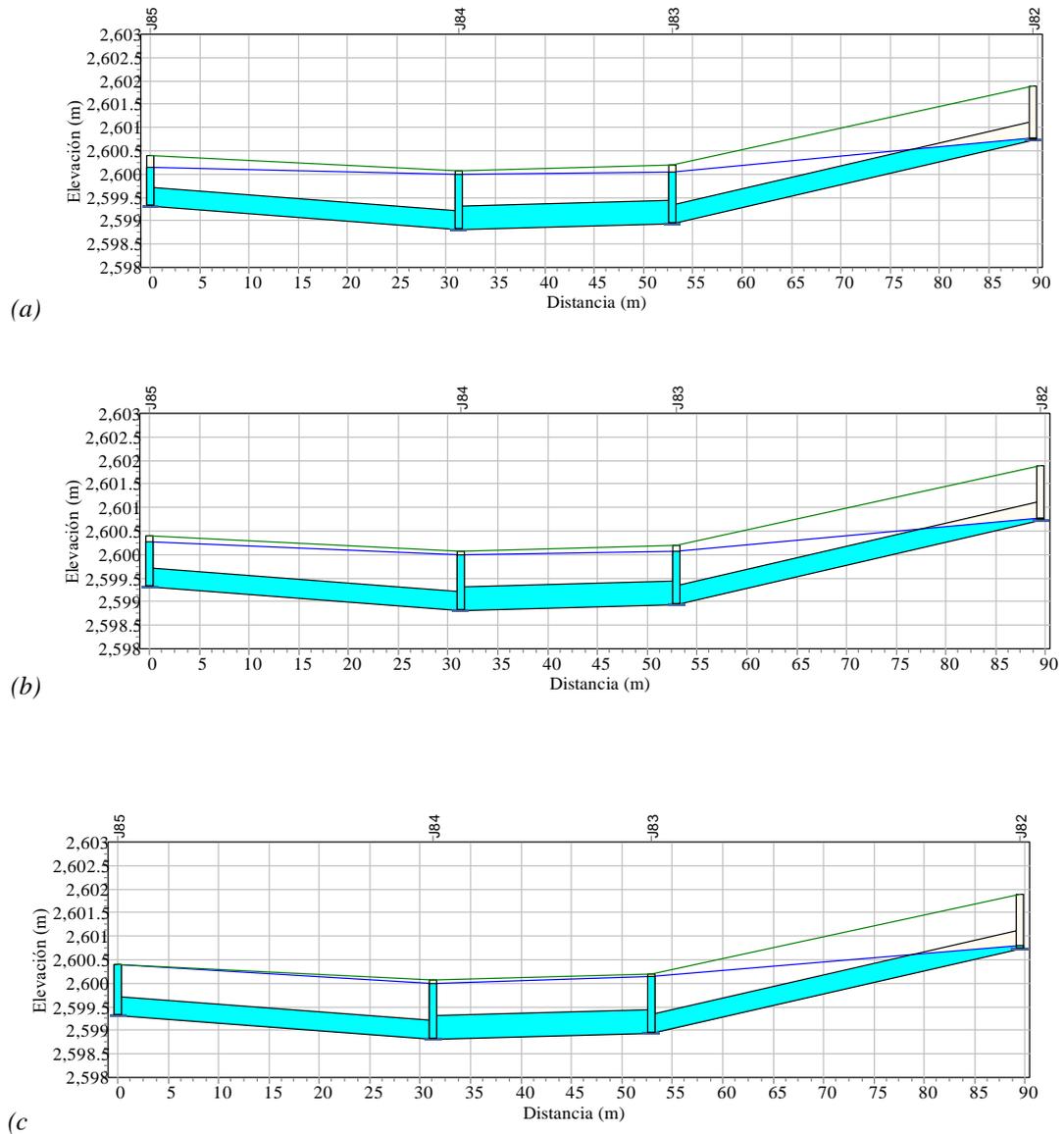


Figura 25. Perfil de elevación máxima del agua entre pozos de revisión J85 y J82. Ubicación: calle Primero de Agosto entre 3 de Noviembre y Tomás Sacoto.

Perfiles obtenidos de SWMM 5.1, (a) 15 minutos de simulación, periodo de retorno de 3 años, (b) 15 minutos de simulación, periodo de retorno de 10 años, (c) 13 minutos de simulación, periodo de retorno de 50 años.

En la figura 26 se presentan 3 perfiles de elevación máxima del agua entre los pozos de revisión J56 – J67 (Calle Mariscal Sucre entre Av. Alberto Ochoa y Tomás Sacoto), correspondientes a los periodos de retorno de 3, 10 y 50 años, en los cuales nuevamente no existe variación extrema del nivel de agua conforme se incrementan los periodos de retorno.

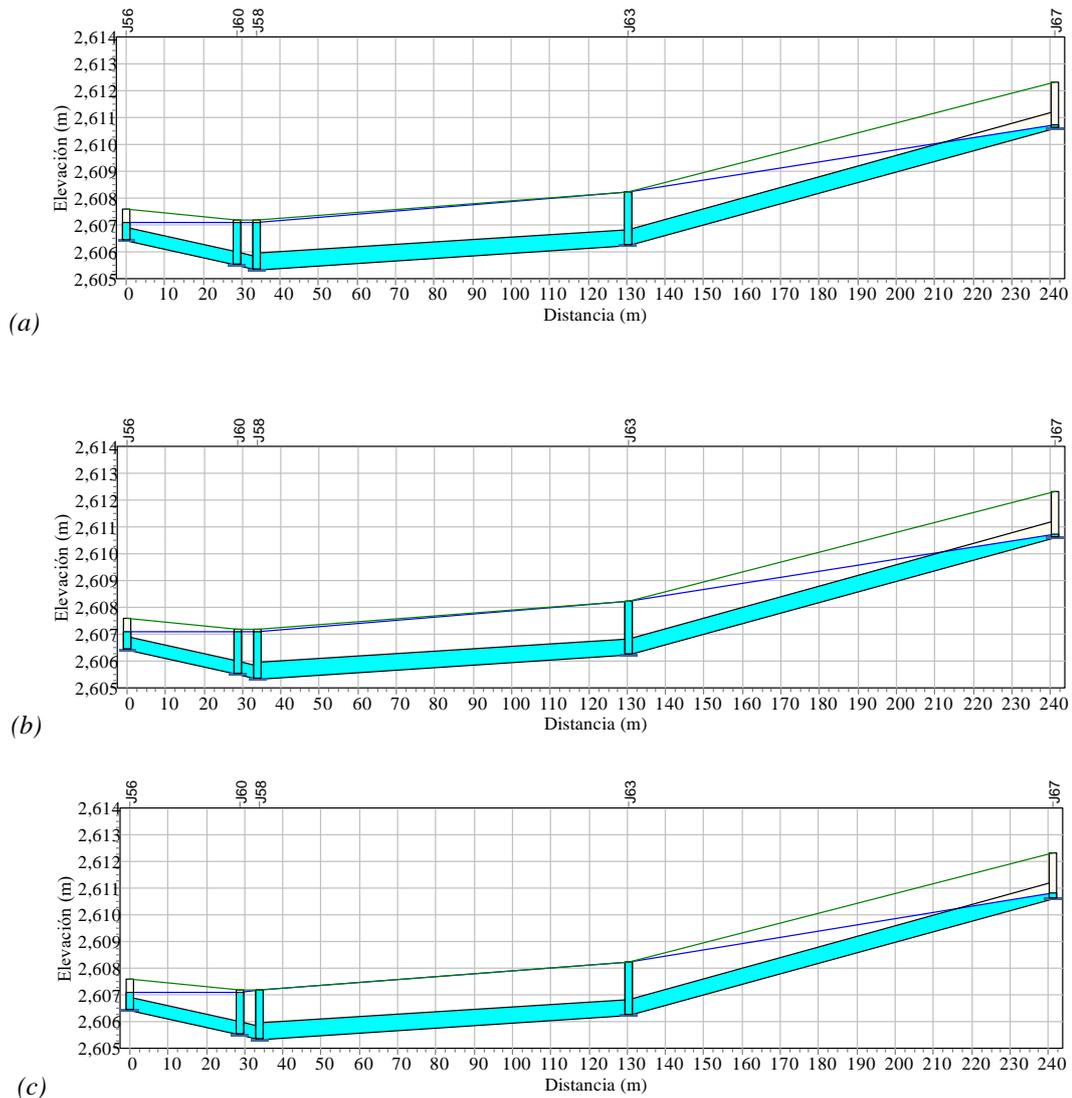


Figura 26. Perfil de elevación máxima del agua entre pozos de revisión J56 y J67. Ubicación: calle Mariscal Sucre entre Av. Alberto Ochoa y Tomás Sacoto.

Perfiles obtenidos de SWMM 5.1, (a) 15 minutos de simulación, periodo de retorno de 3 años, (b) 14 minutos de simulación, periodo de retorno de 10 años, (c) 15 minutos de simulación, periodo de retorno de 50 años.

En la figura 27 se presentan 3 perfiles de elevación máxima del agua entre los pozos de revisión J11 – J73 (Av. Alberto Ochoa entre Primero de Mayo y 3 de Noviembre.), correspondientes a los periodos de retorno de 3, 10 y 50 años, de igual forma las inundaciones afectan a la zona de ubicación de los pozos.

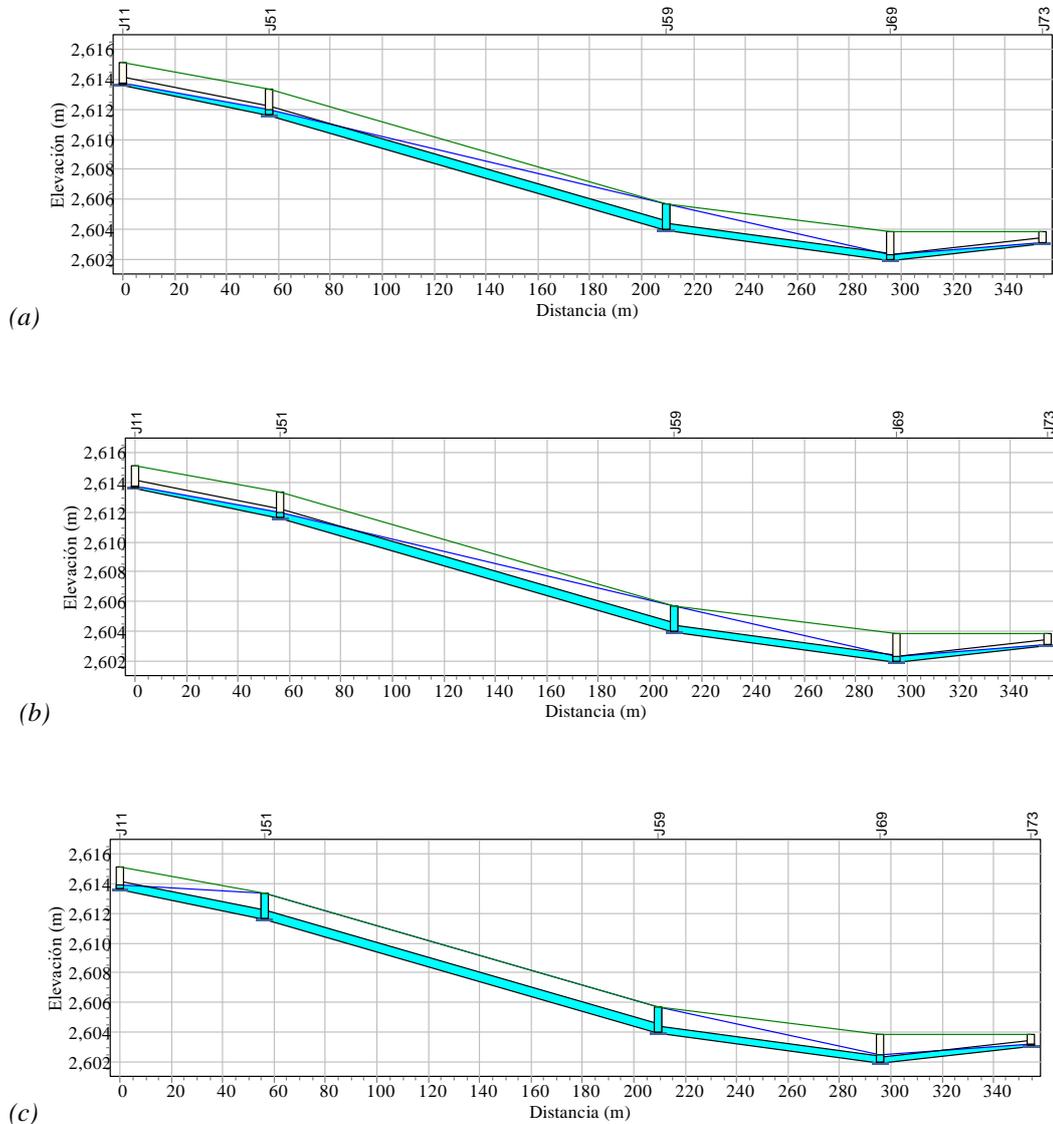


Figura 27. Perfil de elevación máxima del agua entre pozos de revisión J11 y J69. Ubicación: Av. Alberto Ochoa entre Primero de Mayo y 3 de Noviembre.

Perfiles obtenidos de SWMM 5.1, (a) 15 minutos de simulación, periodo de retorno de 3 años, (b) 14 minutos de simulación, periodo de retorno de 10 años, (c) 14 minutos de simulación, periodo de retorno de 50 años.

4.3 Resultados de sedimentación

Los resultados de la concentración de sedimentos obtenidos mediante SWMM se indican en las figuras 31 a 36, en las que es posible identificar una reducción de la concentración de sedimentos debido al aumento del caudal líquido conforme se incrementa el periodo de retorno. Para el análisis se consideran aquellas tuberías con una capacidad de trabajo superior al 75% (0.75) durante las diferentes precipitaciones consideradas. Al examinar los resultados de concentración de sedimentos conseguidos, partiendo de un análisis de diagramas de velocidades de corte de los conductos y velocidad de caída de las partículas, se obtienen los volúmenes de sólidos para cada conducto propenso a sedimentación y se compara con el volumen del conducto (en porcentaje).

Los resultados en general indican que el porcentaje de sólidos que ocupan un lugar dentro de cada conducto es mínimo, por lo que el sistema no presenta problemas de sedimentación bajo ninguno de los escenarios analizados. Butler & Davies (2011) indican que un porcentaje mínimo de sedimento depositado en los conductos mejora la capacidad de transporte de las sedimentos por las redes de alcantarillado, evitando grandes inversiones económicas, por lo tanto la cantidad mínima de sedimento depositado permitirá que sólidos que ingresen al sistema posteriormente sean transportados con mayor facilidad.

El análisis para cada conducto seleccionado se realiza considerando los siguientes aspectos: en la figura 28 el diagrama presentado indica que en un conducto no existe sedimentación, debido a que la velocidad cortante no permite arrastre de sólidos hacia los conductos; en la figura 29 la velocidad cortante supera a la velocidad de caída de las partículas durante un corto tiempo, por lo que se ha optado descartar problemas de sedimentación en conductos que presenten este tipo de comportamiento y en la figura 30 la velocidad cortante supera durante un tiempo prolongado a la velocidad de caída por lo que existen mayor cantidad de sólidos arrastrados, existiendo en estos casos sedimentación. El volumen de sedimento que se deposita corresponde al acumulado entre los dos puntos de corte.

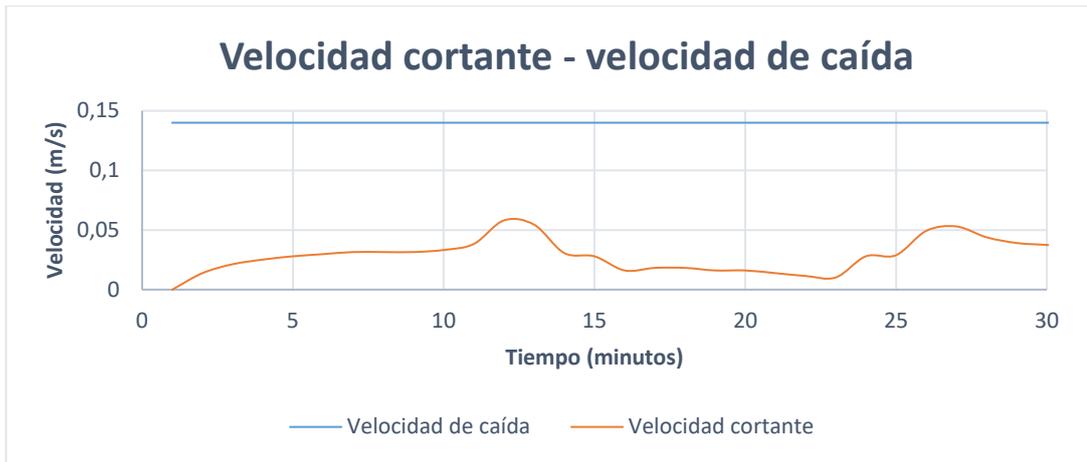


Figura 28. Diagrama velocidad cortante – velocidad de caída. No existe sedimentación



Figura 29. Diagrama velocidad cortante - velocidad de caída. Se desprecia sedimentación

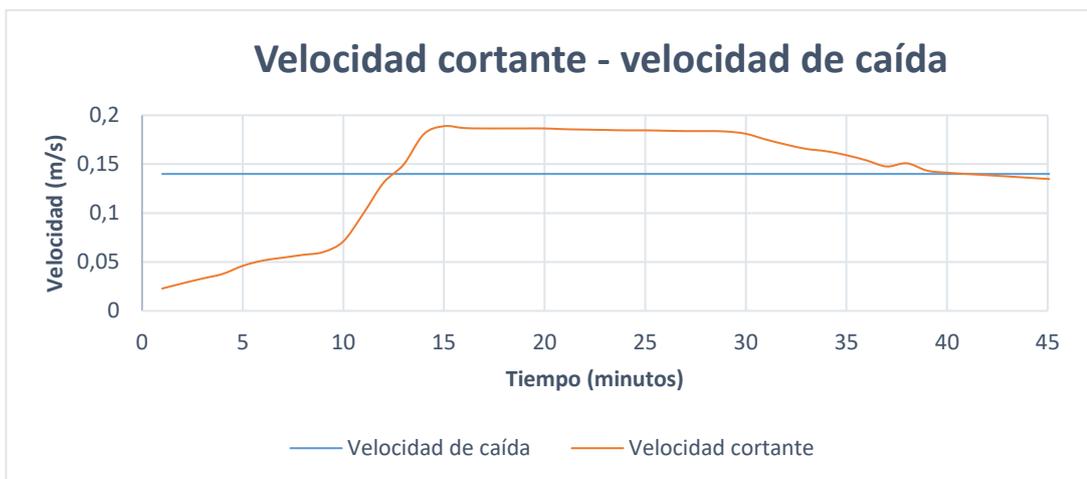


Figura 30. Diagrama velocidad cortante - velocidad de caída. Existe sedimentación

Para la organización de la información se decide considerar que un conducto recibe sedimentación cuando se deposita un volumen de material superior de 0.1% con respecto al volumen total del conducto. Los resultados se exponen en las figuras 37 a 42. En la tabla 15 se indica la longitud y respectivo porcentaje de los conductos con sedimentación. En un periodo de retorno de 3 años, 417,89 metros de conducto serán susceptibles a sedimentación (8.01%), durante 5 años, 527,41 metros (10.11%), conforme se incrementa el periodo de retorno la longitud aumenta, llegando a un máximo de 689,83 metros (13.22%) en un periodo de retorno de 50 años.

Reiterando nuevamente que la sedimentación en los conductos no afectan el comportamiento de la capacidad de trabajo de los conductos, por el contrario el porcentaje de sedimento depositado permite que en próximos evento de precipitación el material que ingrese al sistema sea arrastrado con mayor facilidad. También es evidente que la identificación de zonas con sedimentación no depende únicamente de velocidades inferiores a las permitidas, por el contrario, es indispensable considerar un sinnúmero de factores para obtener datos cercanos a lo que puede suceder en realidad.

Tabla 15. *Porcentajes y longitudes de conductos de acuerdo a resultados de sedimentación*

		Sedimentación			
		SÍ		NO	
T (años)	%	L(m)	%	L(m)	
3 años	8.01	417.89	91.99	4799.02	
5 años	10.11	527.41	89.89	4689.50	
10 años	11.15	581.88	88.85	4635.03	
20 años	12.26	639.78	87.74	4577.13	
30 años	12.82	668.67	87.18	4548.24	
50 años	13.22	689.83	86.78	4527.08	

Nota: Tabla elaborada a partir de resultados obtenidos mediante SWMM. El porcentaje representado está en relación con la longitud de los conductos.

En la tabla 16, se organizan los conductos con sedimentación de acuerdo al periodo de retorno y ubicación; se puede indicar que la Av. Eloy Alfaro presenta la mayor cantidad de conductos con sedimentación superior al 0.1% del volumen de

cada conducto. Finalmente reiterando que los resultados obtenidos no son la causa por la cual se producen constantes inundaciones.

Tabla 16. *Conductos con sedimentación*

Ubicación	Sedimentación en conductos					
	Periodo de retorno T (años)					
	3 a 50	5 a 50	10 a 50	20 a 50	30 a 50	50
3 de Noviembre			C88		C80	C79
Benjamín Ochoa	C57					
Av. Nicolás Muñoz	C43	C34				
Av. Alberto Ochoa	C68					
Av. Eloy Alfaro	C44, C45, C85, C89, C91, C94, C95, C98	C32, C41	C22	C40		

CONCENTRACIÓN DE SEDIMENTOS EN CONDUCTOS

Periodo de retorno: T = 3 Años

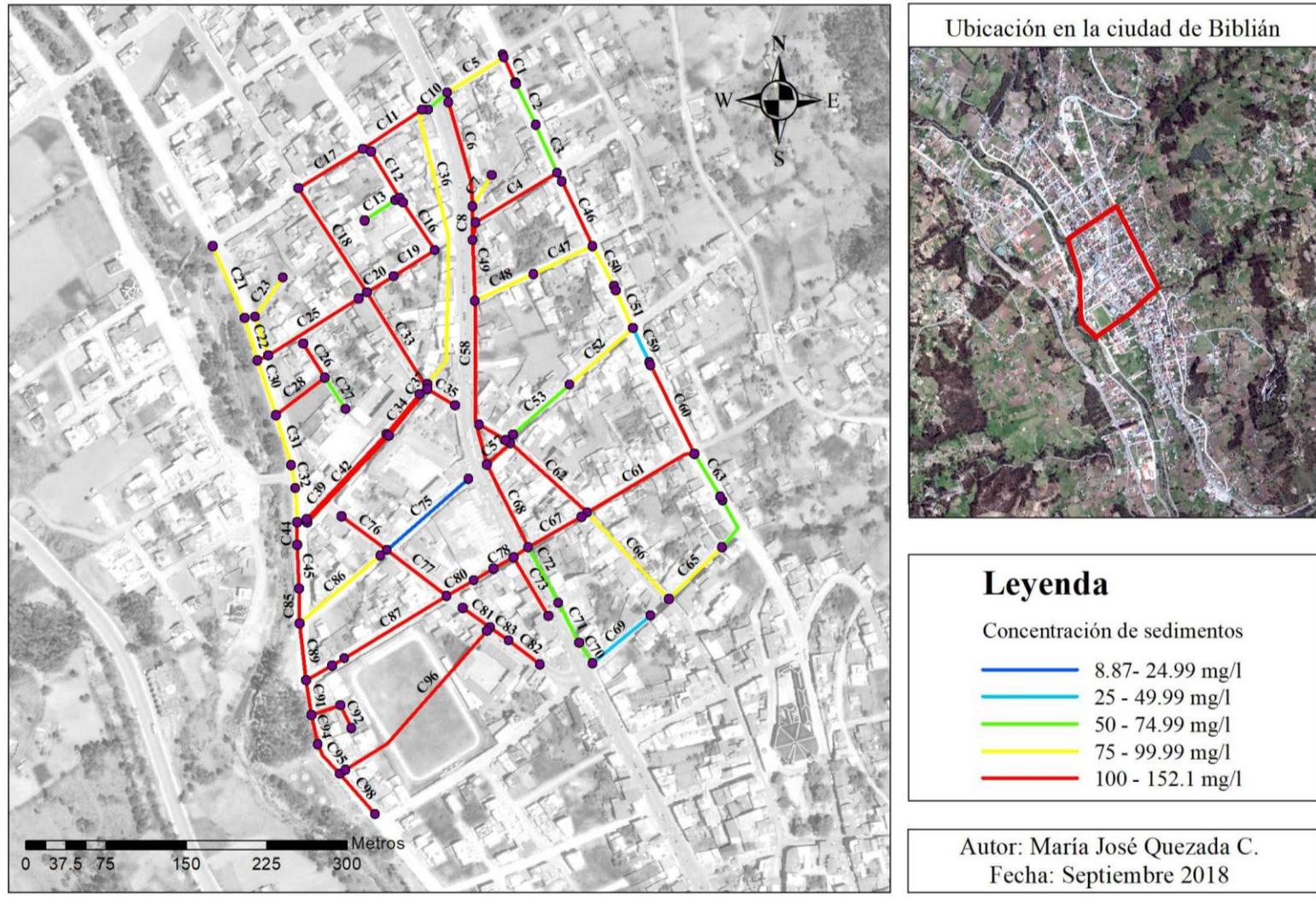


Figura 31. Resultados de concentración de sedimentos en conductos. Simulación en SWMM 5.1. Periodo de retorno de 3 años.

Nota: Elaborado por el autor.

CONCENTRACIÓN DE SEDIMENTOS EN CONDUCTOS

Periodo de retorno: T = 5 Años

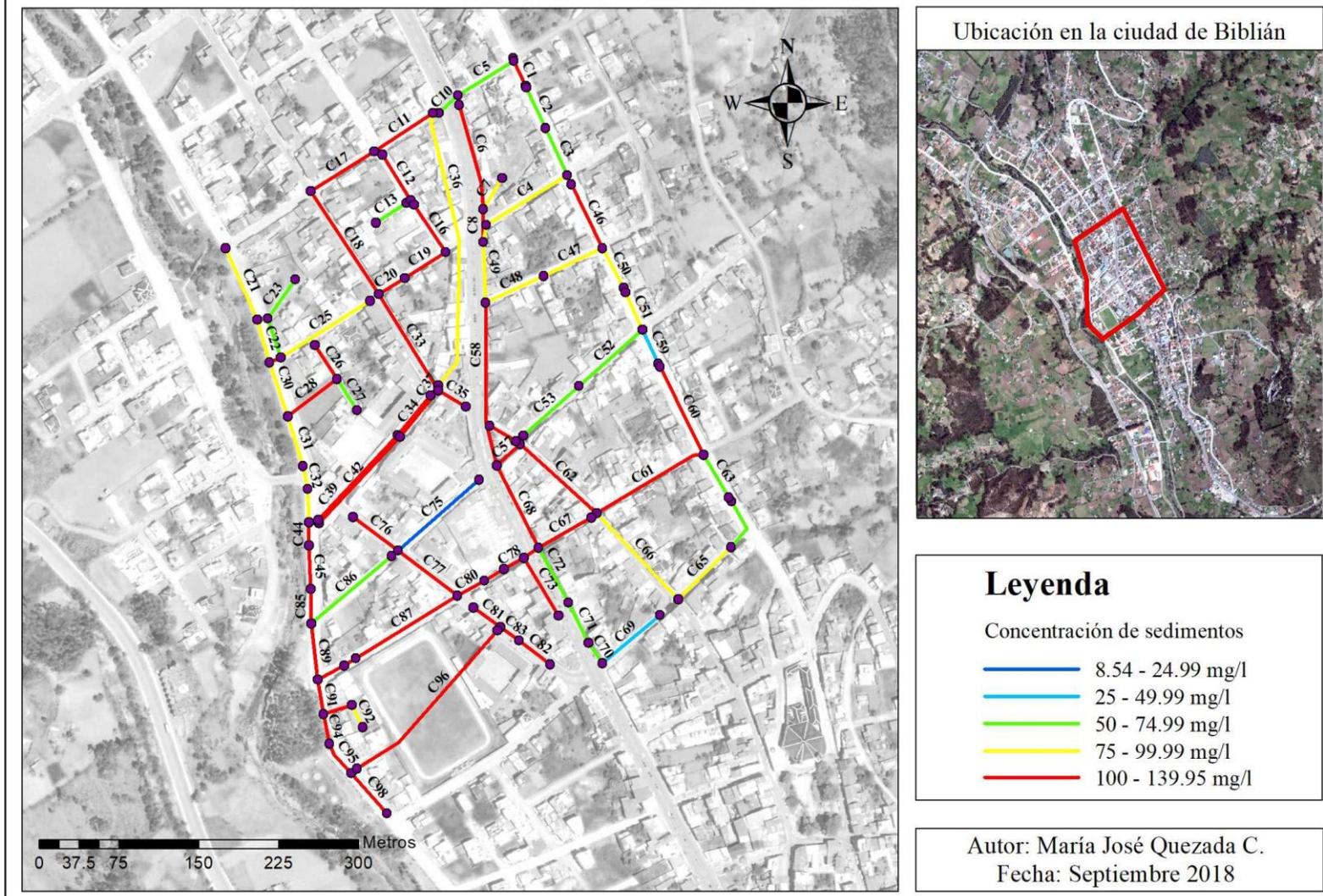


Figura 32. Resultados de concentración de sedimentos en conductos. Simulación en SWMM 5.1. Periodo de retorno de 5 años.

Nota: Elaborado por el autor.

CONCENTRACIÓN DE SEDIMENTOS EN CONDUCTOS

Periodo de retorno: T = 10 Años

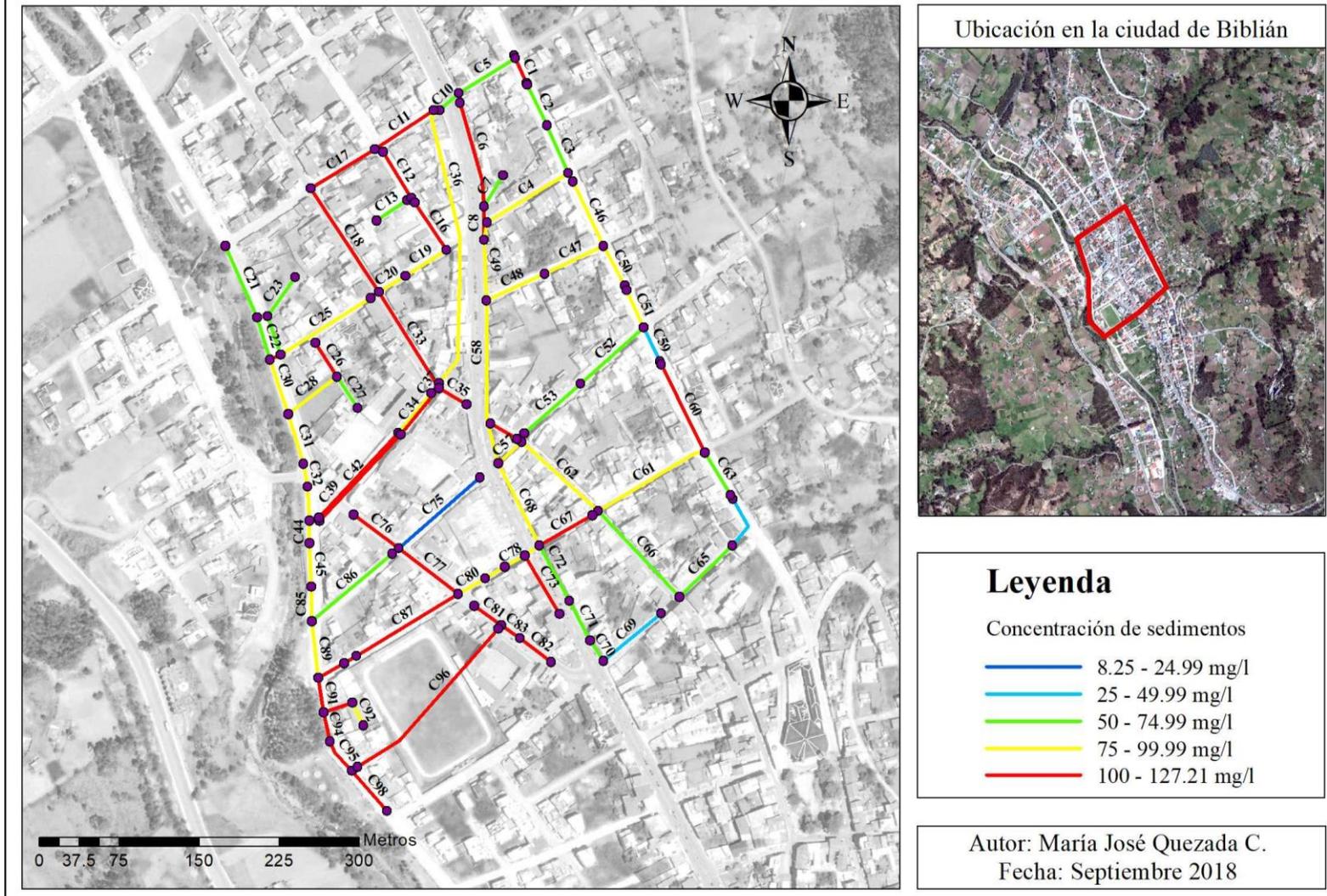


Figura 33. Resultados de concentración de sedimentos en conductos. Simulación en SWMM 5.1. Periodo de retorno de 10 años.

Nota: Elaborado por el autor.

CONCENTRACIÓN DE SEDIMENTOS EN CONDUCTOS

Periodo de retorno: T = 20 Años

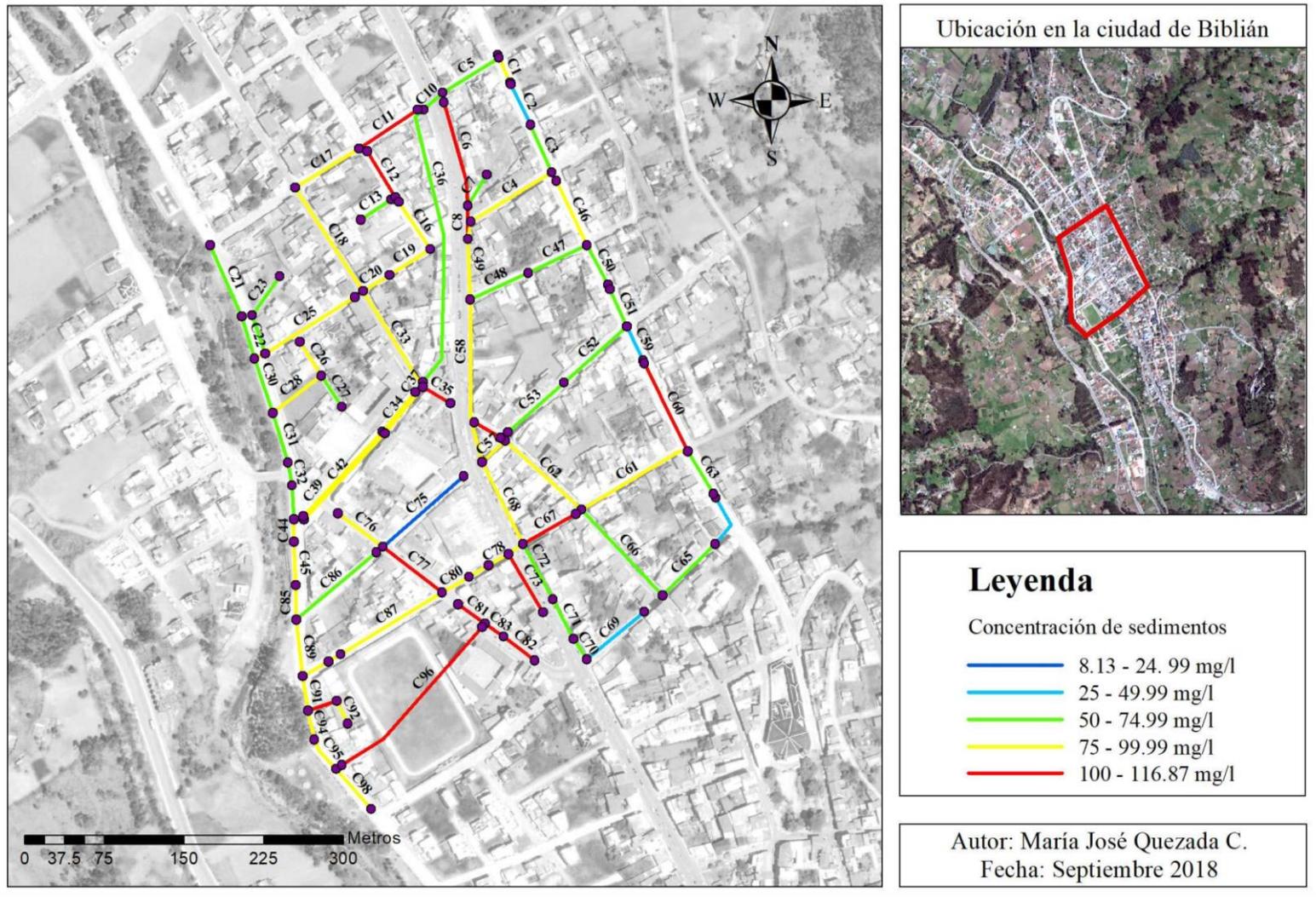


Figura 34. Resultados de concentración de sedimentos en conductos. Simulación en SWMM 5.1. Periodo de retorno de 20 años.
Nota: Elaborado por el autor.

CONCENTRACIÓN DE SEDIMENTOS EN CONDUCTOS

Periodo de retorno: T = 30 Años

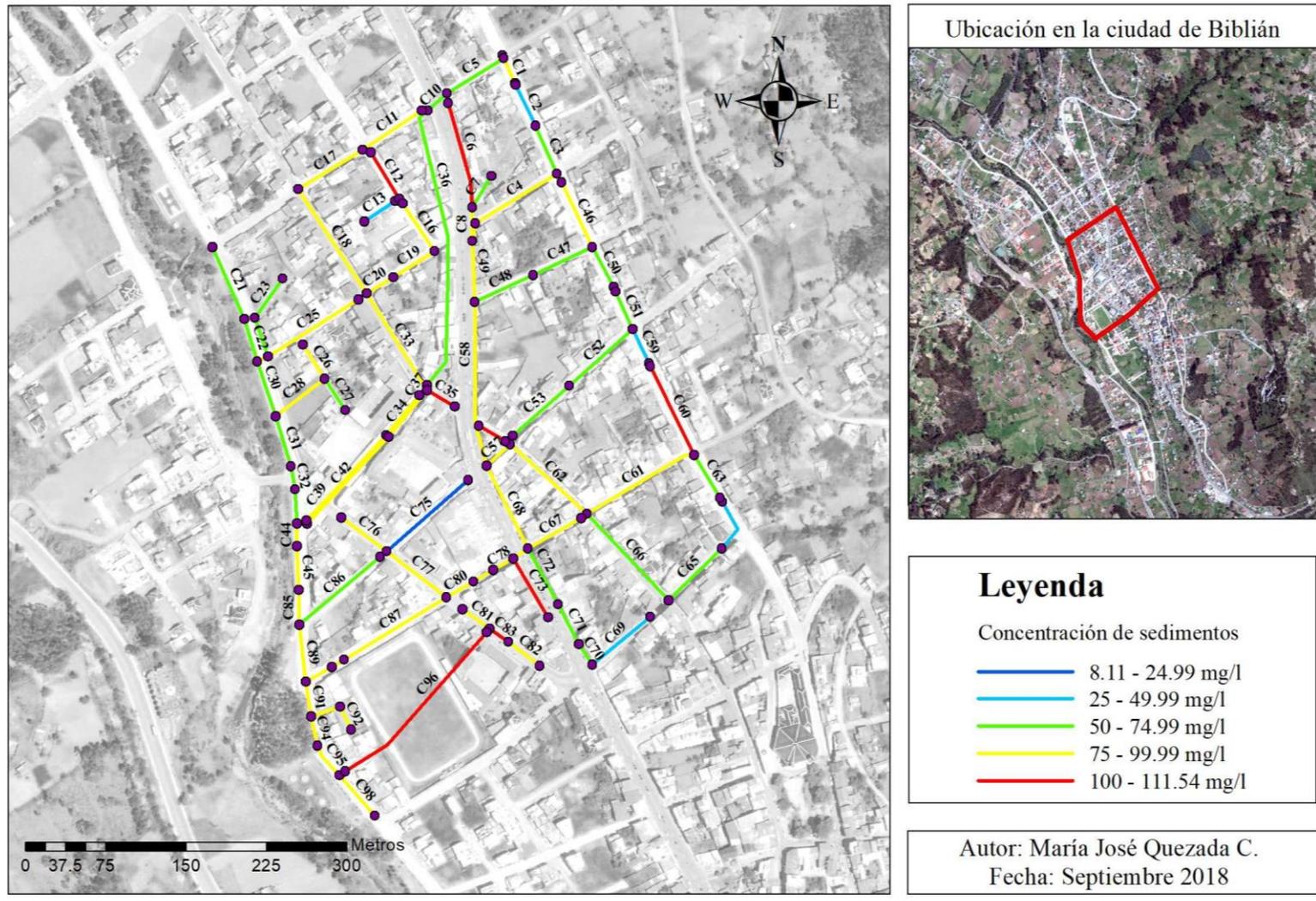


Figura 35. Resultados de concentración de sedimentos en conductos. Simulación en SWMM 5.1. Periodo de retorno de 30 años.

Nota: Elaborado por el autor.

CONCENTRACIÓN DE SEDIMENTOS EN CONDUCTOS

Periodo de retorno: T = 50 Años

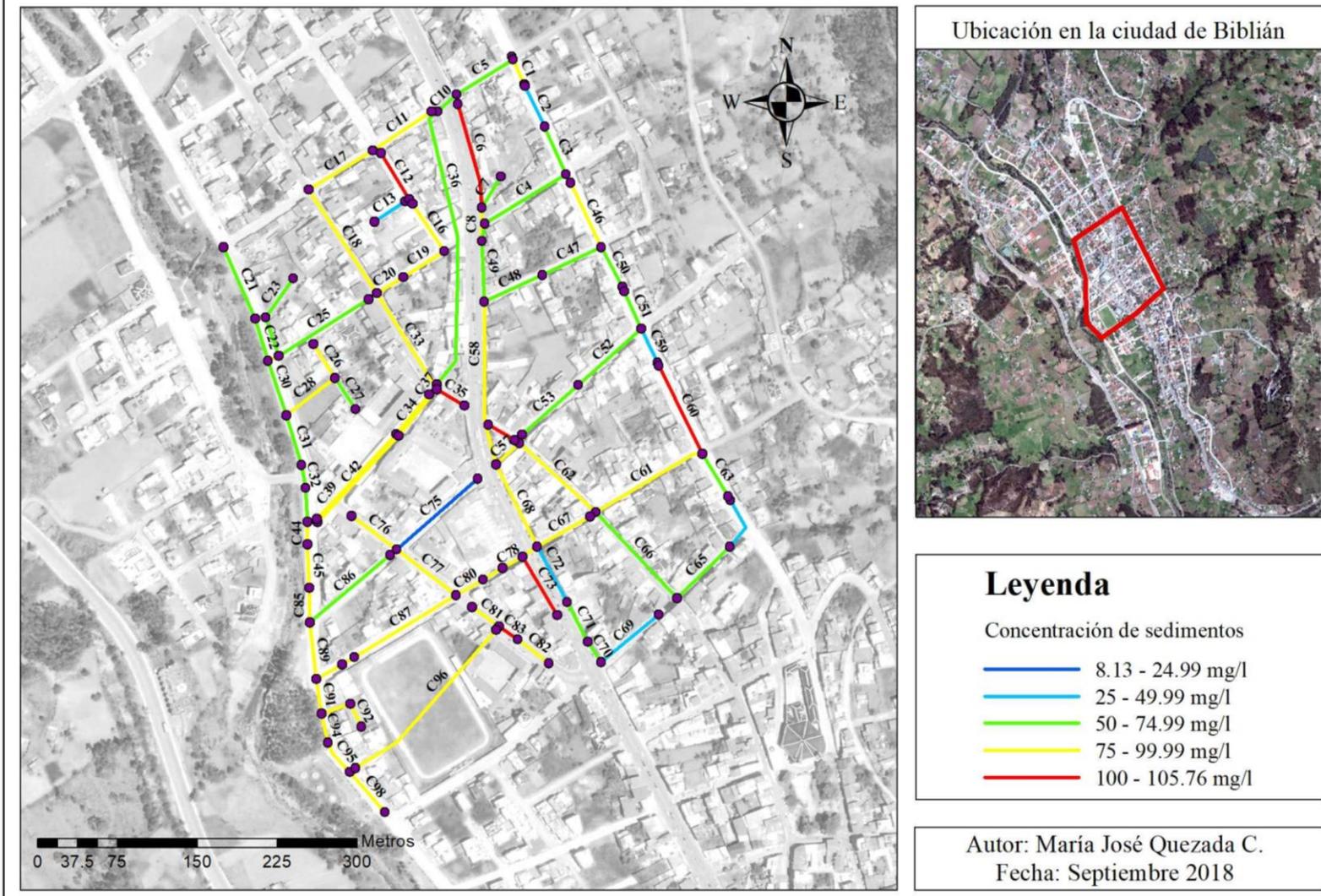


Figura 36. Resultados de concentración de sedimentos en conductos. Simulación en SWMM 5.1. Periodo de retorno de 50 años.

Nota: Elaborado por el autor.

SEDIMENTACIÓN EN CONDUCTOS

Periodo de retorno: T = 3 Años

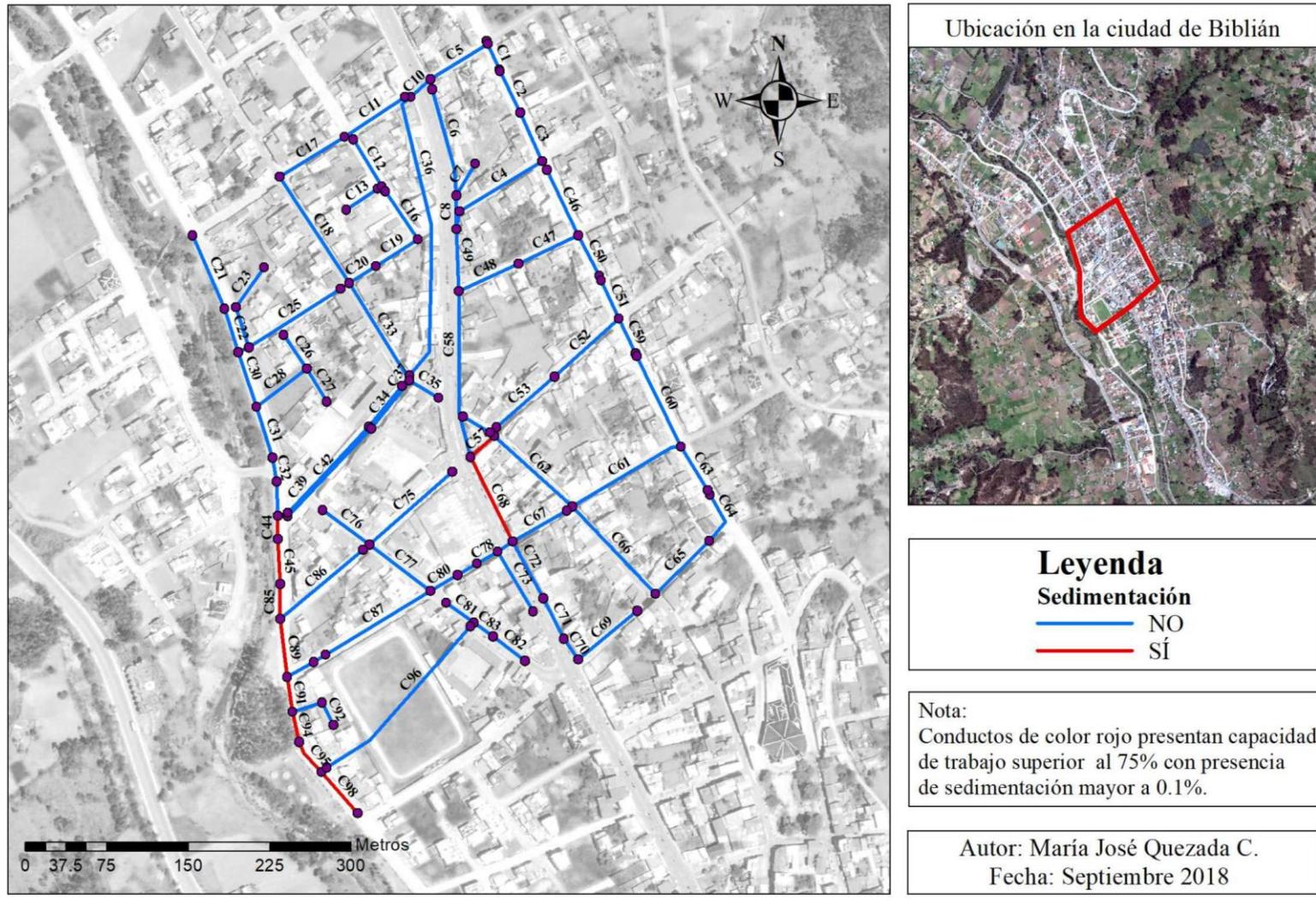


Figura 37. Conductos propensos a sedimentación para periodo de retorno de 3 años.

Nota: Elaborado por el autor.

SEDIMENTACIÓN EN CONDUCTOS

Periodo de retorno: T = 5 Años

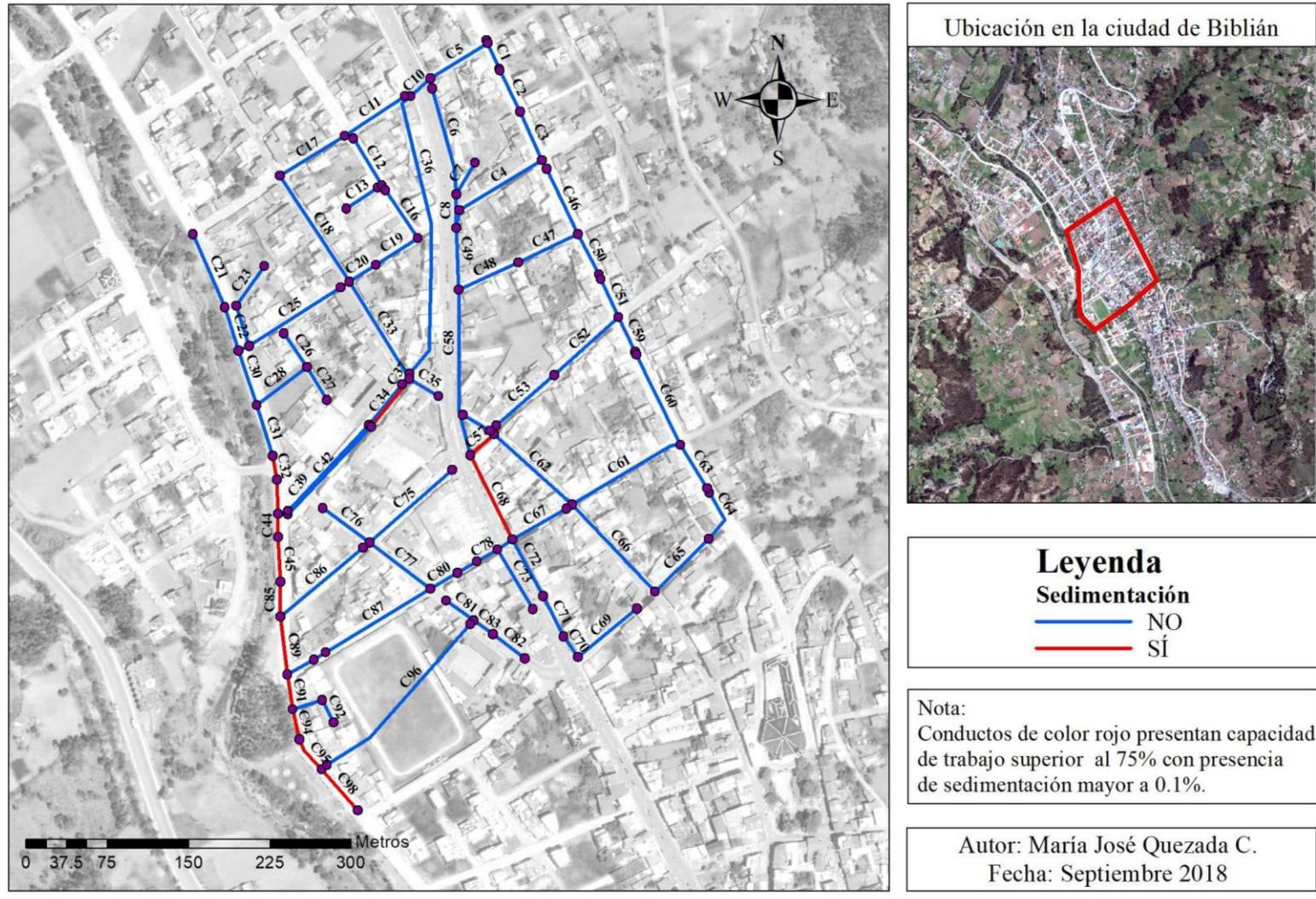
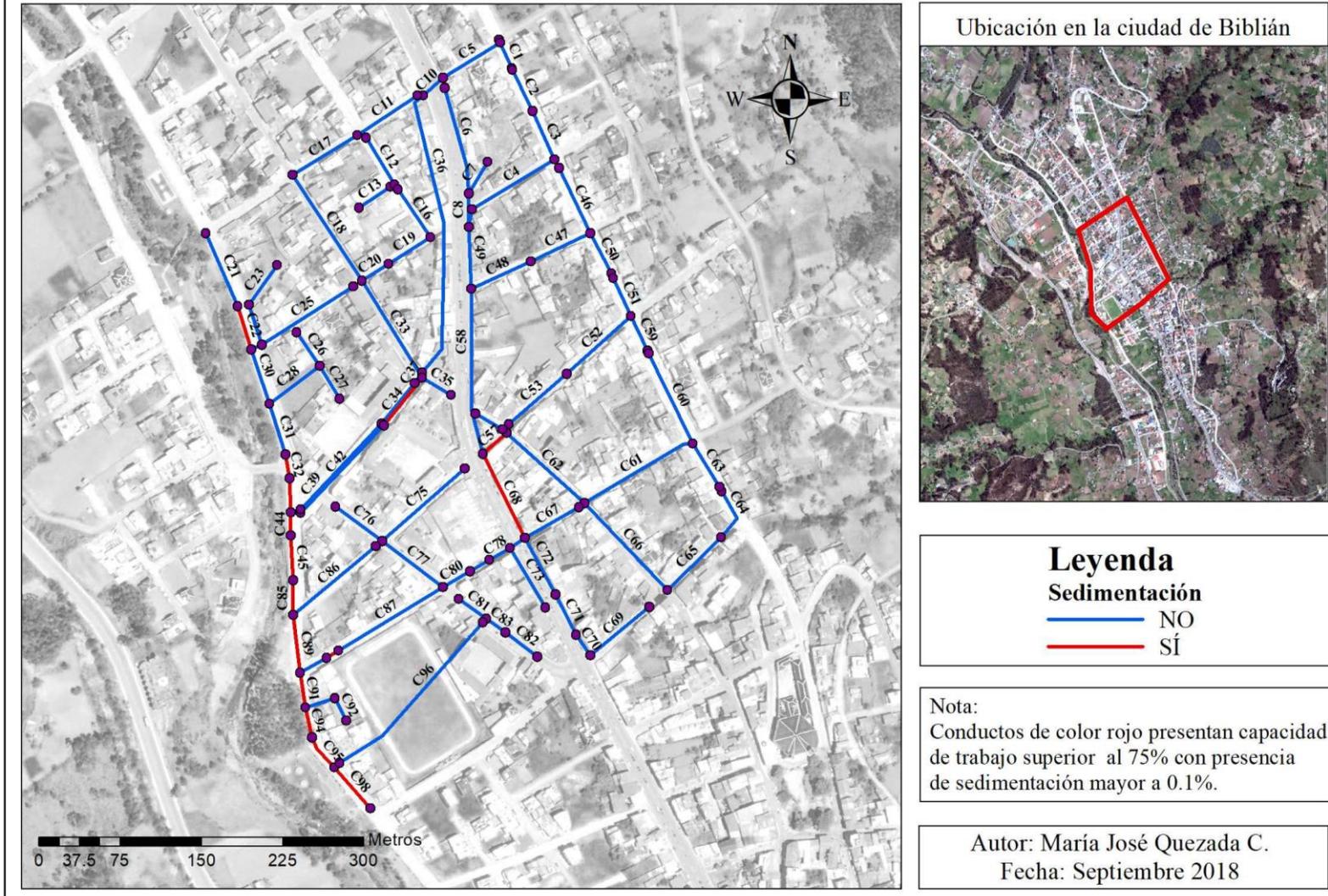


Figura 38. Conductos propensos a sedimentación para periodo de retorno de 5 años.

Nota: Elaborado por el autor.

SEDIMENTACIÓN EN CONDUCTOS

Periodo de retorno: T = 10 Años



Leyenda

Sedimentación

— NO

— SÍ

Nota:
Conduitos de color rojo presentan capacidad de trabajo superior al 75% con presencia de sedimentación mayor a 0.1%.

Autor: María José Quezada C.
Fecha: Septiembre 2018

Figura 39. Conduitos propensos a sedimentación para periodo de retorno de 10 años.
Nota: Elaborado por el autor.

SEDIMENTACIÓN EN CONDUCTOS

Periodo de retorno: T = 20 Años

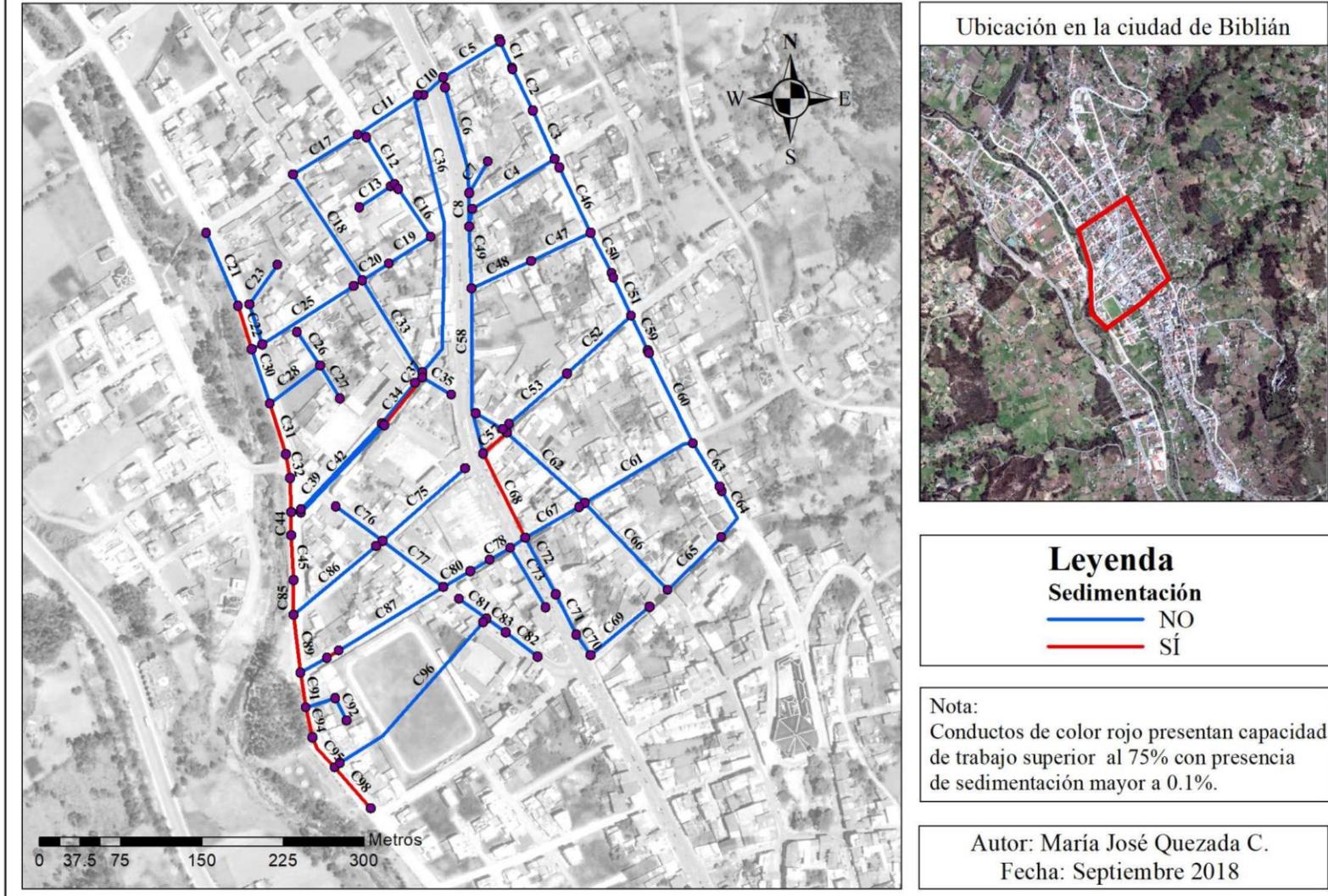


Figura 40. Conductos propensos a sedimentación para periodo de retorno de 20 años.

Nota: Elaborado por el autor.

SEDIMENTACIÓN EN CONDUCTOS

Periodo de retorno: T = 30 Años

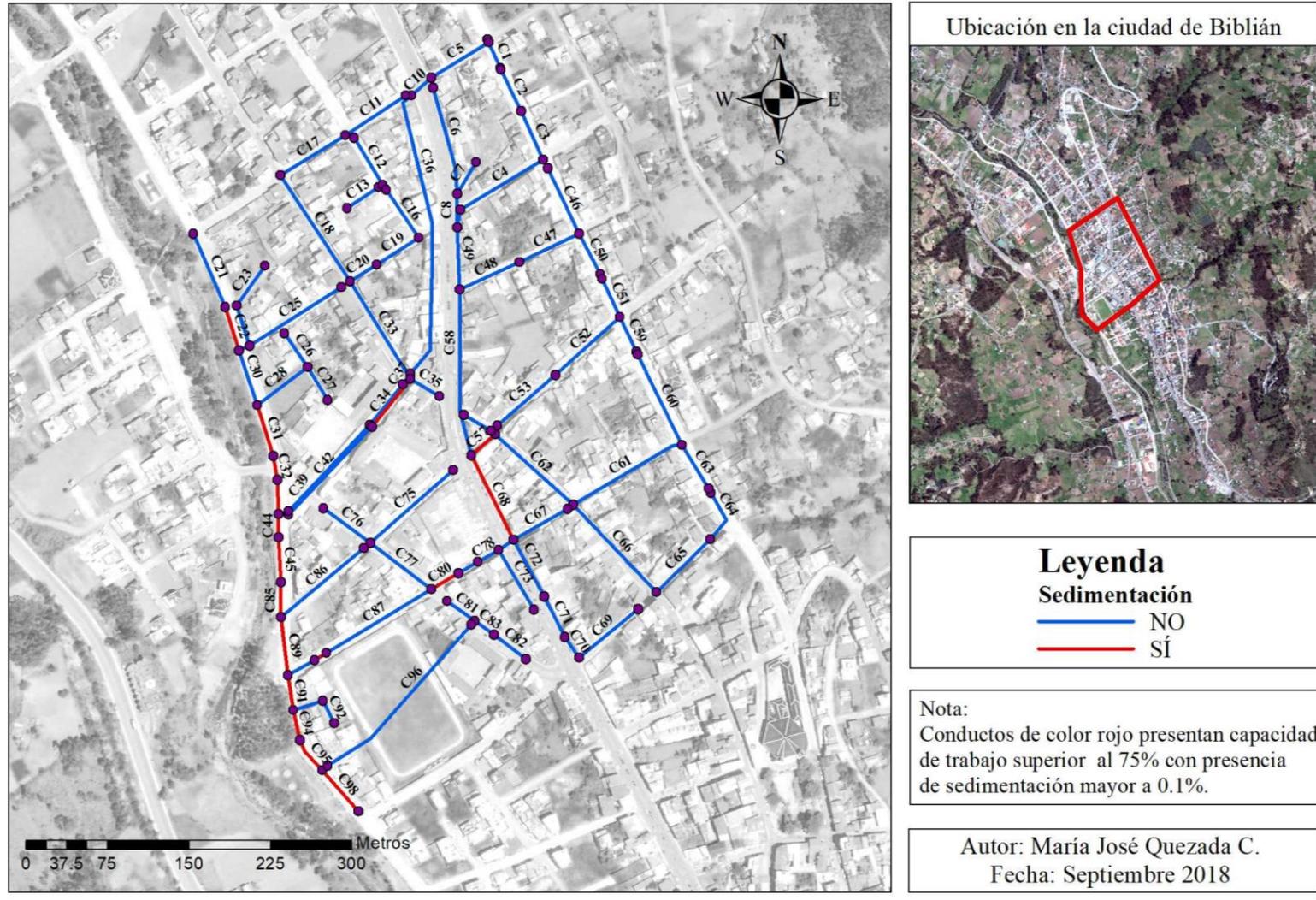


Figura 41. Conductos propensos a sedimentación para periodo de retorno de 30 años.

Nota: Elaborado por el autor.

SEDIMENTACIÓN EN CONDUCTOS

Periodo de retorno: $T = 50$ Años

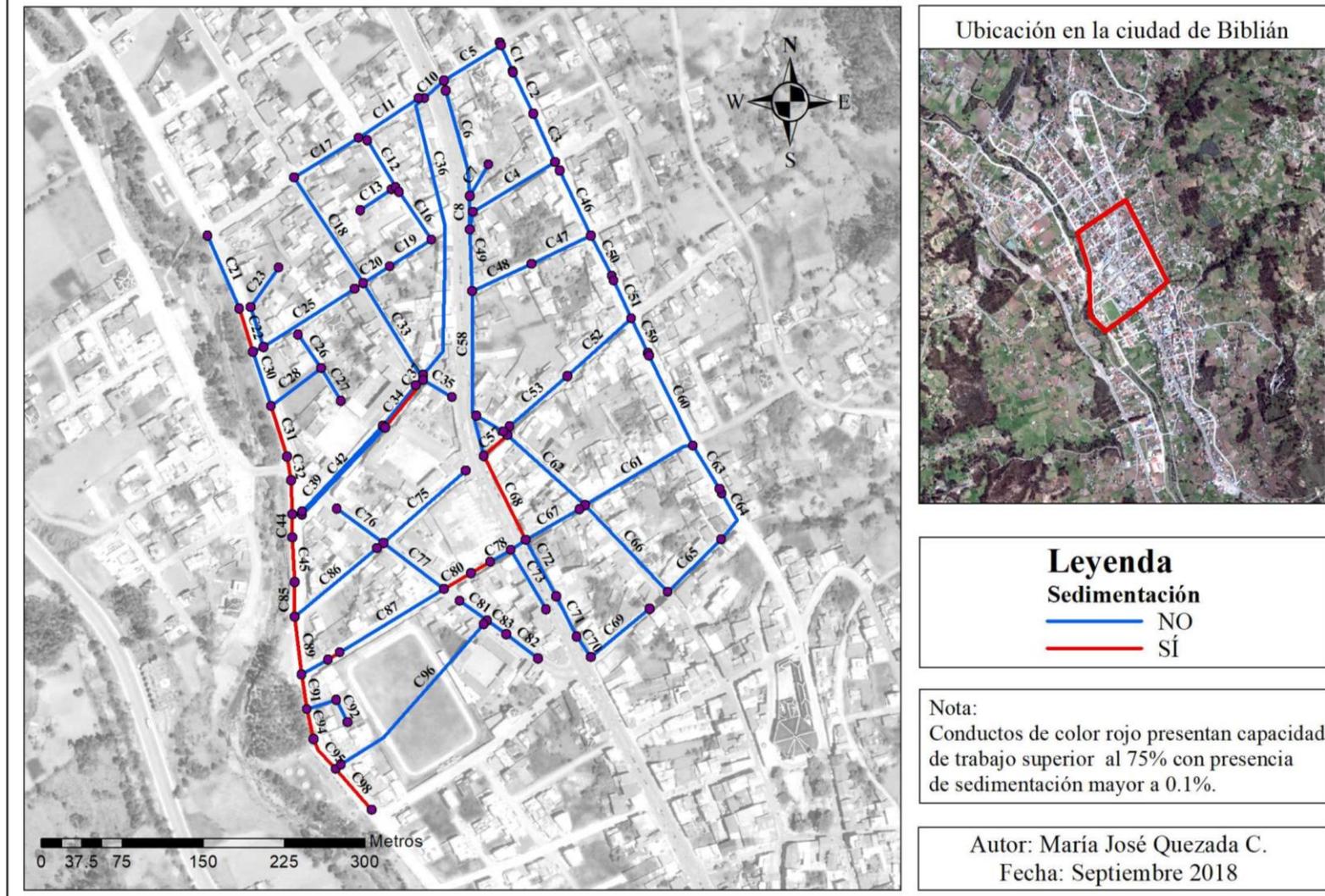


Figura 42. Conduitos propensos a sedimentación para periodo de retorno de 50 años.

Nota: Elaborado por el autor.

Partiendo de los resultados de velocidad, capacidad y sedimentación, se crea un mapa temático en el que se indica el grado de afección o problema que pueden llegar a tener los conductos, como se aprecia en la figura 43. Al tener conocimiento que la sedimentación no afecta considerablemente a la red, se opta por considerar resultados de capacidad y velocidad para generar el mapa mencionado.

Los conductos con un nivel muy alto, deben a la existencia de conductos a presión y velocidades erosivas desde periodos de retorno pequeños (3 y 5 años), el nivel alto considera a los conductos con los dos problemas, en donde el uno sea problemático desde periodos de retorno pequeños, y el otro se presente en periodos más altos, superiores a 10 años, o bien se presenten un solo problema sea de capacidad o velocidad erosiva desde periodos de retorno de 3 o 5 años, en el nivel medio se consideran los conductos que presentan problemas de capacidad o velocidad desde periodos de retorno de 10 años, un nivel bajo representa a conductos con cualquiera de las condiciones analizadas desde periodos de retorno de 20 años, en el nivel muy bajo se encuentran los conductos con problemas en un periodo de retorno de 50 años y en el nivel nulo se localizan conductos trabajando a bajo capacidades normales y velocidades no erosivas.

En la tabla 17 se organizan los conductos de acuerdo a su ubicación y nivel de problema. Es importante tomar en cuenta los conductos con problemas de nivel muy alto y alto, debido a que son los conductos más afectados, ya que se generan situaciones conflictivas bajo periodos de retorno muy bajos, en los cuales se supone no deben existir problemas. Los conductos no expuestos en la tabla 17, no presentan problemas de ningún tipo, es decir, trabajan eficiente bajo todos los escenarios de estudio.

Tabla 17. *Problemas en conductos*

Ubicación	Problemas en conductos				
	Niveles				
	Muy alto	Alto	Medio	Bajo	Muy bajo
3 de Noviembre		C3, C61, C74, C78, C79, C87, C88, C90	C80		
Benjamín Ochoa	C57	C52, C54, C86			
Av. Nicolás Muñoz	C42, C43	C34, C40	C38		
Carlos Guevara		C47, C48			
Primero de Mayo		C4, C19, C29	C20	C25	
Primero de Febrero		C5			
Mariscal Sucre		C55, C56, C62			
Av. Alberto Ochoa	C58, C68	C9	C36		C73
Av. Verdeloma		C18, C33	C35		
Calle Primero de Agosto	C77	C81, C83, C84			
Av. Eloy Alfaro	C22, C30, C31, C32, C41, C44, C45, C85, C89, C91, C94, C95, C98	C21			
S/N		C28	C27		C23
Sector Estadio		C92, C93, C96, C97			

PROBLEMAS EN CONDUCTOS Resultado General

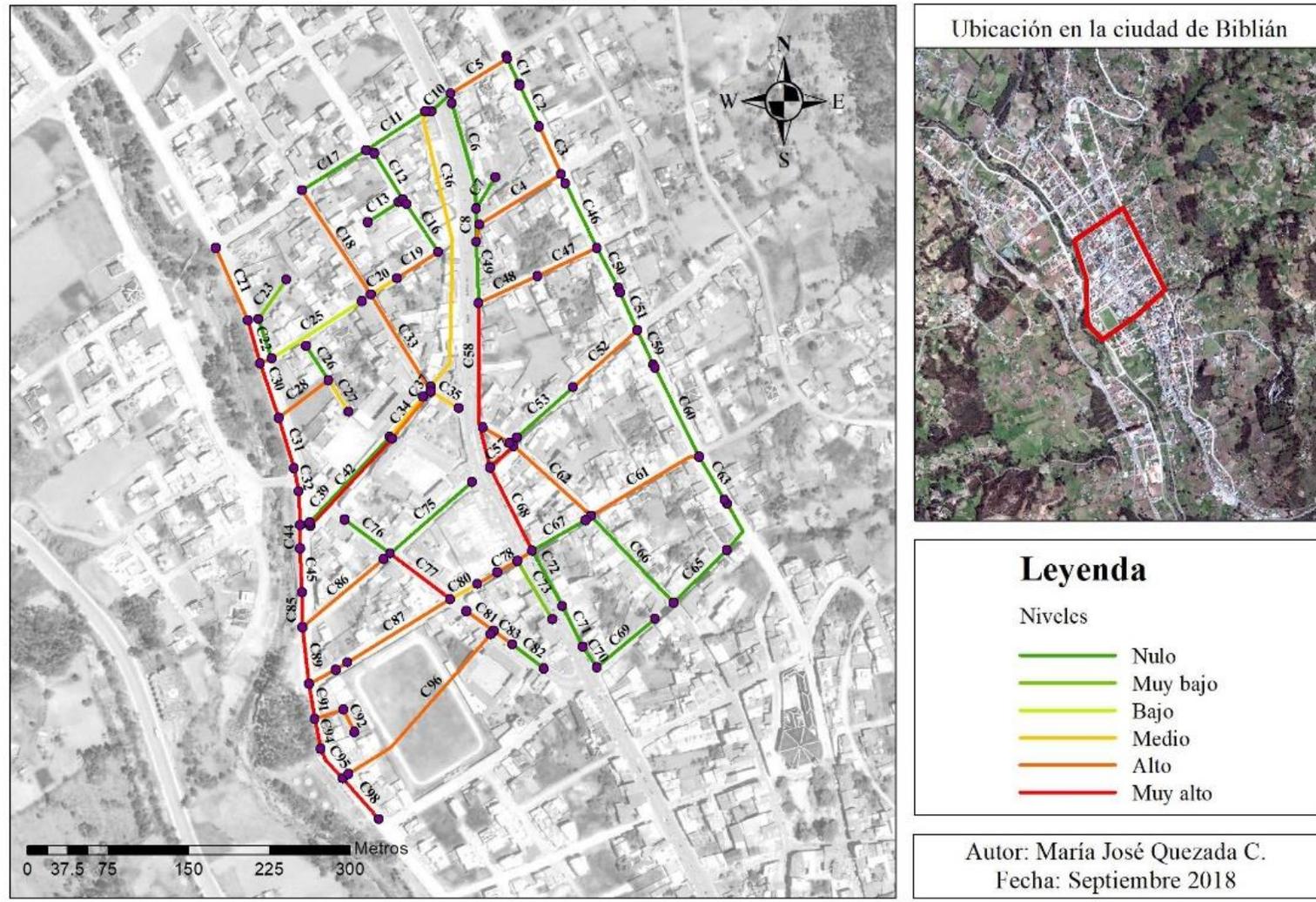


Figura 43. Problemas en conductos
Nota: Elaborado por el autor.

CAPÍTULO V

5.1 Conclusiones

El trabajo de titulación ejecutado ha permitido cumplir a cabalidad el objetivo general. El programa computacional de libre distribución SWMM 5.1 permitió generar y simular los escenarios adecuados para la modelización de sedimentos bajo 6 periodos de retorno diferentes. Los resultados indican que no existen problemas de sedimentación en el sector de la red de alcantarillado de la ciudad de Biblián analizado, más bien se identificaron problemas hidráulicos relacionados con velocidades erosivas y trabajos a presión de varios conductos.

De acuerdo a los objetivos específicos planteados se presentan las siguientes conclusiones:

- La recolección de información fue satisfactoria, se compiló información disponible en el GAD Municipal de Biblián de la red de alcantarillado combinado existente, se efectuó un levantamiento mediante estación total para conocer las cotas de cada uno de los pozos de registro de la zona de estudio, trabajo en campo para recolectar información faltante; la recopilación de información bibliográfica fue amplia.
- Con toda la información bibliográfica y datos de la red de alcantarillado combinado, se realizó la estimación de caudales líquidos de aguas domésticas a partir de áreas tributarias, estos son datos iniciales necesarios a introducir dentro del programa SWMM; aplicando estadística y formulaciones fue posible obtener concentraciones de sedimentos partiendo de datos relacionados con las características de las cuencas y eficiencia de barrido de calles.
- La destreza para manipular y entender el programa permitió trazar la red rápidamente para que a continuación se ingresen todos los datos

requeridos para conductos, pozos de registro y cuencas; además se ingresaron hietogramas de precipitación y las concentraciones de sedimentos de acuerdo a las características que demande el sistema para procesar datos acorde a las condiciones del lugar.

- Se efectuó la calibración hidráulica del sistema a partir de cálculos realizados manualmente con los tirantes generados por los caudales sanitarios ingresados, obteniendo un error entre el resultado que presenta SWMM y el realizado a mano de 0.5%, porcentaje que valida los resultados generados por el software de libre distribución SWMM y asegura resultados valederos.
- Se ejecutaron 6 simulaciones con periodos de retorno de 3, 5, 10, 20, 30 y 50 años, cada uno con su respectiva información de precipitación y sedimentación, obteniendo datos de capacidades, velocidades, caudales sólidos y líquidos, etc., los mismos que fueron organizados y analizados para identificar zonas problemáticas o susceptibles a sedimentación.

En todas las simulaciones de 3, 5, 10, 20, 30 y 50 años de retorno, se han identificado conductos trabajando a presión, por lo tanto el sistema presenta problemas, debido a que durante las simulaciones de 3, 5 y 10 años, la condición mencionada no se debe presentar si un sistema de alcantarillado aún es eficiente, razón por la cual se presentan inundaciones durante precipitaciones intensas. También se identificaron tramos con velocidades superiores a 2,5 m/s, cuyas condiciones provocan desgaste en los conductos según la bibliografía recabada, finalmente no existen problemas de sedimentación de material transportado por el agua lluvia, ya que el volumen de sedimento que ocupa en un conducto después de presentarse precipitaciones es mínimo, y en relación a la bibliografía recaba, esta cantidad pequeña de material permitirá que las partículas que ingresen posteriormente al sistema sean transportadas con mayor facilidad, por lo cual esta condición no está relacionada con problemas de inundaciones en la zona.

5.2 Recomendaciones

El software de libre distribución SWMM, no modeliza directamente transporte de sedimentos o erosión, por lo cual es necesario relacionar los resultados obtenidos por el software con literatura referente a sedimentación para así poder identificar posibles zonas problemáticas. SWMM es considerado como un programa de evaluación, por lo que no debe aplicarse para desarrollar diseños definitivos.

Es crucial conseguir información hidrológica, de acumulación y arrastre de sedimentos en la ciudad de Biblián para obtener datos propios del lugar y no optar por el uso de información generalizada, para así poder concebir resultados mucho más cercanos a la realidad. Es primordial que todos los pozos de registro existentes sean accesibles para poder realizar revisiones o en casos de estudio para proceder a realizar verificaciones u obtención de datos que sean necesarios. Adicionalmente si un sistema de alcantarillado presenta problemas constantes, es indispensable realizar una verificación de toda la red, e identificar las zonas problemáticas para dar soluciones acordes a los verdaderos inconvenientes que causan estragos en un sistema.

De acuerdo a los resultados obtenidos es recomendable brindar mayor atención a los conductos que se consideran como los más conflictivos ubicados en las siguientes zonas: calle 3 de Noviembre, calle Benjamín Ochoa, calle Nicolás Muñoz, calle Carlos Guevara, calle Primero de Mayo, calle Primero de Febrero, calle Mariscal Sucre, Av. Verdeloma, Av. Alberto Ochoa (sector Parque de la Madre), calle Primero de Agosto, Av. Eloy Alfaro y sector del Estadio Municipal.

Como punto siguiente al desarrollo de este trabajo de titulación, sería importante determinar cómo cambian las condiciones de la red, si se modifican diámetros, pendientes, pozos de revisión u otros parámetros necesarios. Se recomienda para posteriores mejoras o rediseño del sistema de alcantarillado, no optar por el uso de diseño convencional, más bien resulta indispensable aplicar metodologías actuales que relacionan mayor cantidad de parámetros, que permiten diseñar redes muchos más eficientes.

Bibliografía

- Aparicio F. (1989). *Fundamentos de Hidrología de Superficie*. Editorial Limusa, S.A. Balderas 95. México, D.F.
- Ashley R. (2004). *Solids in Sewers: Characteristics, Effects and Control of Sewer Solids and Associated Pollutants*. IWA. Joint Committee on Urban Drainage.
- Bateman, A., (2007). *Hidrología Básica y Aplicada*. Grupo de Investigación en Transporte de Sedimentos. UPC. www.gits.ws.
- Butler, D., & Davies, J. (2011). *Urban Drainage*. Oxon, Inglaterra: Spon Press.
- Cahuana, A., & Yugar, W., (2009). *Material de apoyo didáctico para la enseñanza y aprendizaje de la asignatura de hidrología CIV-233*. (Trabajo de pregrado). Universidad Mayor de San Simón. Facultad de Ciencias y Tecnología. Carrera Ingeniería Civil, Cochabamba, Bolivia.
- Comisión Nacional del Agua. (2009). *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Alcantarillado sanitario*. Libro 20. Coyoacán, México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Cronshey, R., McCuen, R., Miller, N., Rawls, W., Robbins, S., & Woodward, D., (1999). *Urban Hydrology for Small Watersheds, Technical Release 55, Second Ed.* Natural Resource Conservation Service (NRCS), Second Ed., U.S. Department of Agriculture, Washington, DC, Unites States.
- Gámez, W. R. (2009). *Texto Básico de Hidrología*. Managua, Nicaragua. Editronic, S.A.
- García, M., (2006). *ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice No. 110. Sedimentation Engineering. Processes, Measurements, Modeling, and Practice*. American Society of Civil Engineers. Virginia, United States.

- Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Biblián. (2014). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial*.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización, INEN. (1992). *Normas para el estudio y diseño de agua potable y disposición de aguas residuales para poblaciones mayores a 1000 habitantes*. Quito, Ecuador.
- Mendez, G., Depettris, C., Pilar, J., Orfeo, O., Ruberto, A.. (2014). Transferencia de sedimentos de una microcuenca a la red de drenaje urbano. *Tecnología y Ciencias del Agua*, vol. V, núm 5.
- Menéndez, A., y Re, M. (2009). *Códigos Numéricos para la Hidráulica Urbana*. Carrera de Especialización en Hidráulica Urbana. FIUBA – INA
- Empresa Metropolitana de Alcantarillado y Agua Potable. (2009). *Normas de diseño de sistemas de alcantarillado para la EMAAP-Q. 01 – AL – EMAAP – Q - 2009*. Quito, Ecuador.
- López Cualla, R.A. (2011). *Elementos de diseño para Acueductos y Alcantarillados (Séptima reimpresión ed.)*. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Plaza F. (2010). *Eficiencia de las técnicas regionales hidrológicas en función del tamaño de muestra disponible*. (Tesis de grado). Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- Pérez, L., (Agosto 2005). *Teoría de la Sedimentación*. Recuperado de http://www.fi.uba.ar/archivos/institutos_teoria_sedimentacion.pdf
- Rossmann, L. (May 2017). *Storm Water Management Model. Reference Manual. Volume II – Hydraulics*. United States Environmental Protection Agency. Ohio, United States. EPA/600/R-17/111.

- Rossman, L., & Huber, W., (July 2016). *Storm Water Management Model. Reference Manual. Volume III– Water Quality*. United States Environmental Protection Agency. EPA/600/R-16/093
- Rossman, L., & Huber, W., (January 2016). *Storm Water Management Model. Reference Manual. Volume I – Hydrology (Revised)*. United States Environmental Protection Agency. Ohio, United States. EPA/600/R-15/162A.
- Rossman, L. (September 2015). *Storm Water Management Model User's Manual Versión 5.1 (SWMM)*. United States Environmental Protection Agency. Ohio, United States. EPA – 600/R-14/413b.
- Rossman, L. (2005). *Modelo de gestión de aguas pluviales, SWMM. 5.0 vE. Manual de usuario*. Traducido al español por GMMF.
- Sadat-Helbar, S.M., Amiri-Tokaldany, E., Darby, S., & Shafaie, A. (2009). Fall Velocity of Sediment Particles. *Conference on Recent Advances in Water Resources, Hydraulics & Hydrology*. Proceeding of the 4th IASME / WSEAS International Conference on Water Resources, Hydraulics & Hydrology (WHH'09), Cambridge, UK.
- Seco, R., & Gómez, M., (2012). Transporte de sedimentos depositados en alcantarillado unitario. Estimación mediante SWMM 5.0. *Congreso Latinoamericano de Hidráulica. "XXV Congreso Latinoamericano de Hidráulica 2012"*. Llevado a cabo del 9 al 12 de septiembre de 2012, San José, Costa Rica, p 1-10.
- Shirazi, R. (2013). *Application of flushing devices in sewer systems*. (Tesis doctoral). Department of Civil Engineering, KU Leuven. Leuven, Belgium.
- Unidad de Apoyo Técnico para el Saneamiento Básico del Área Rural (OPS/CEPIS/05.169 - UNATSABAR). (2005). *Guías para el diseño de tecnologías de alcantarillado*. Lima, Perú.

Vente Chow, Maidment, D.R., & Mays, L.W. (1987). *Hidrología aplicada*. McGraw Hill.

Villodas, R. (2008). *Hidrología. Guía de Estudio para las Cátedras Hidrología I e Hidrología II*. Universidad Nacional de Cuyo. Facultad de Ingeniería. Ingeniería Civil, Mendoza, Argentina.

Villón, M. (2007). *Hidrología Estadística*. Lima, Perú: Villón

Anexos

Anexo A1: Ensayos de laboratorio

Granulometría

Tabla 18. *Granulometría de material que ingresa a red de alcantarillado*

mm	Tamiz	Peso Retenido (gr)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasa	Error %
12.50	0.50	11.80	1.18	1.18	98.82	0.13
9.51	0.38	26.11	2.61	3.80	96.20	
4.75	4.00	130.83	13.10	16.90	83.10	
2.36	8.00	221.64	22.19	39.09	60.91	
1.18	16.00	211.42	21.17	60.26	39.74	
0.60	30.00	198.54	19.88	80.14	19.86	
0.30	50.00	142.68	14.29	94.42	5.58	
0.16	100.00	46.23	4.63	99.05	0.95	
	Fondo	9.47	0.95	100.00	0.00	
		998.72				

Peso muestra 1000 (gr)

Nota: Se realiza la granulometría del material obtenido de un sumidero conectado a la red de alcantarillado combinado de la ciudad de Biblián. Con los resultados obtenidos mediante interpolación se obtiene el diámetro $D_{50} = 1.81$ mm.



Figura 44. Toma de muestra para ensayo granulométrico.



Figura 45. Tamizado de material en laboratorio.

Densidad del material

Se realizó el ensayo considerando la norma ecuatoriana: NTE INEN 0856 (2010) (Spanish): Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido fino; se aplicó el procedimiento gravimétrico para obtener la densidad del árido seco al horno, mediante la siguiente ecuación:

$$\frac{997.5 A}{(B+S-C)} = \frac{997.5 * 95.11}{(657.27+100-716.61)} = 2333.31 \text{ kg/m}^3 \quad (26)$$

Dónde: A = masa de la muestra seca al horno (g), B = masa del picnómetro con agua (g), C = masa de muestra saturada superficialmente seca (g) y S= masa del picnómetro lleno de material y muestra hasta la señal de calibración (g)



Figura 46. Muestra de material para determinación de densidad.



Figura 47. Ejecución de ensayo mediante el uso de picnómetro.

Anexo A2: Registro fotográfico de trabajo en campo



Figura 48. Sumidero taponado del cual se obtuvo la muestra de material a ensayar.



Figura 49. Equipo empleado para levantamiento de pozos de revisión.

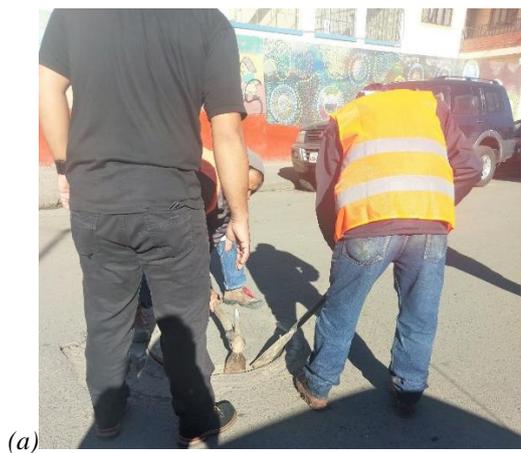


Figura 50. Exploración de pozos de revisión en la zona de estudio visibles para verificación de profundidades.

Nota: Las exploraciones de han sintetizado en las figuras (a), (b), (c), (d), (e) y (f). Se contó con la ayuda de personal del GAD Municipal de Biblián.

Anexo A3: Área de influencia para alcantarillado combinado delimitado a modelizar

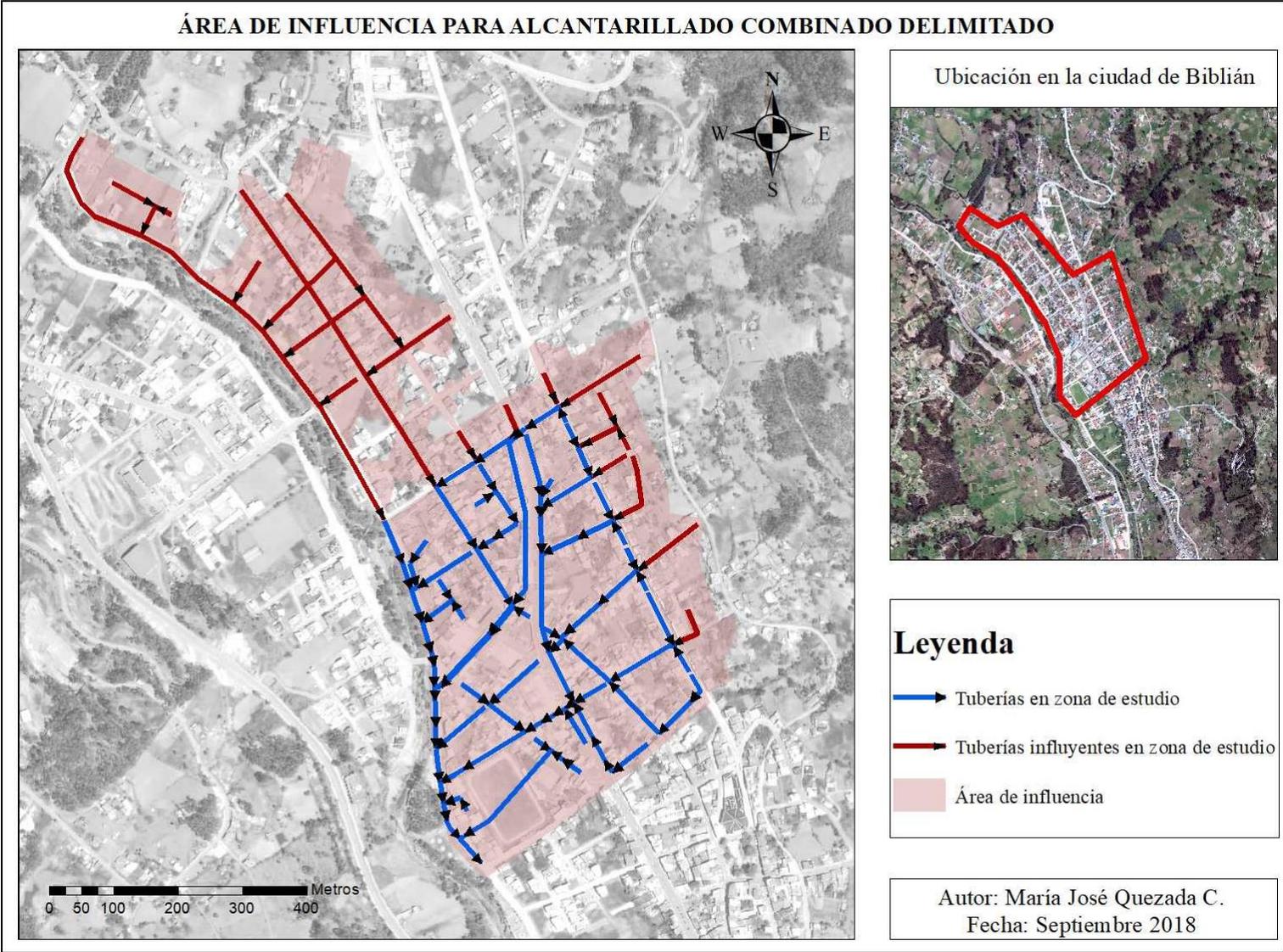


Figura 51. Área de influencia para alcantarillado combinado delimitado a modelizar

Nota: Elaborado por el autor.

Anexo A4: Áreas impermeables de cuencas influentes en red de alcantarillado a modelizar

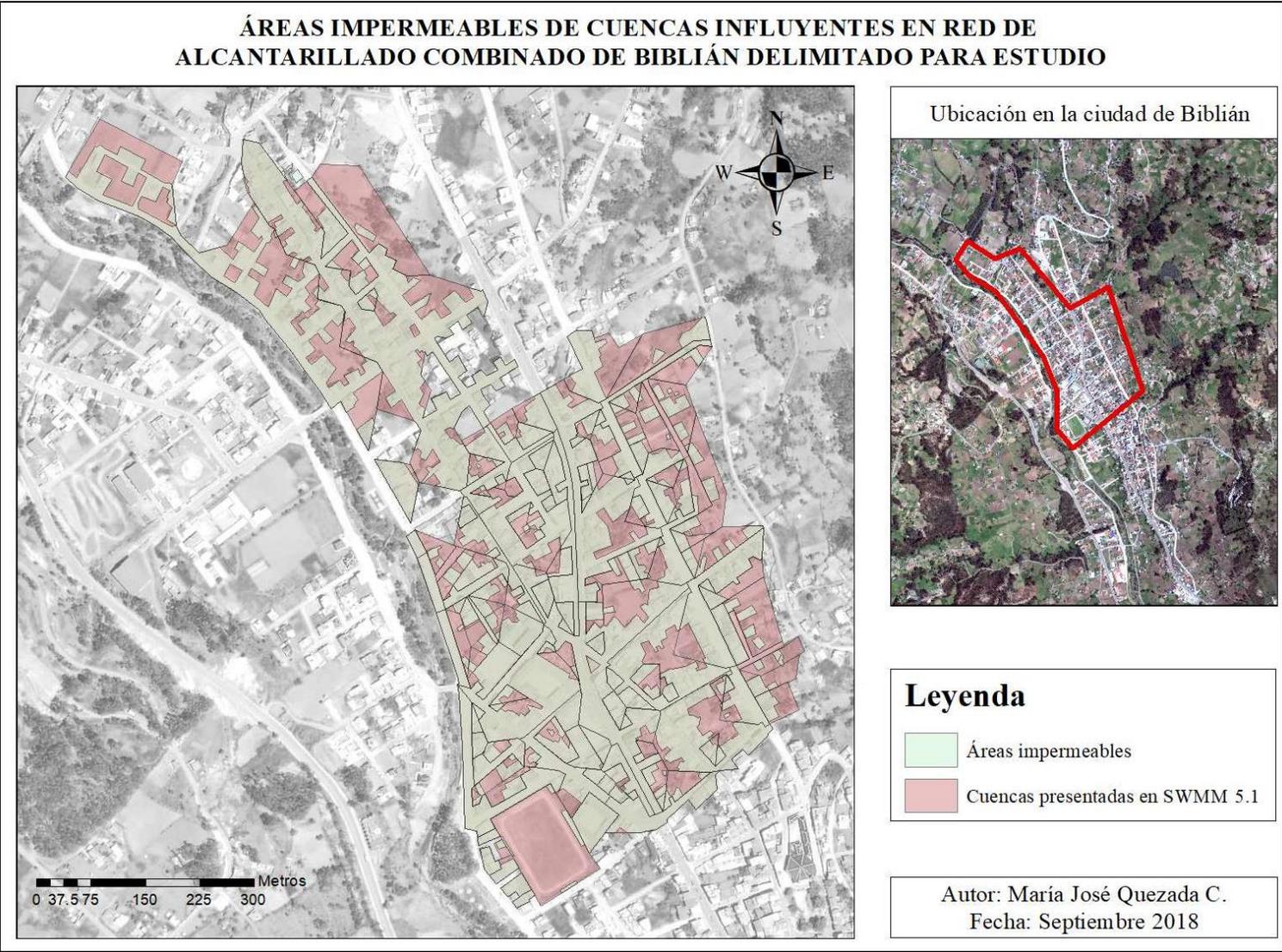


Figura 52. Áreas impermeables de cuencas influentes en red de alcantarillado combinado delimitado para estudio

Nota: Elaborado por el autor.

Anexo A5: Cuencas influentes en la red de alcantarillado combinado de Biblián para modelizar

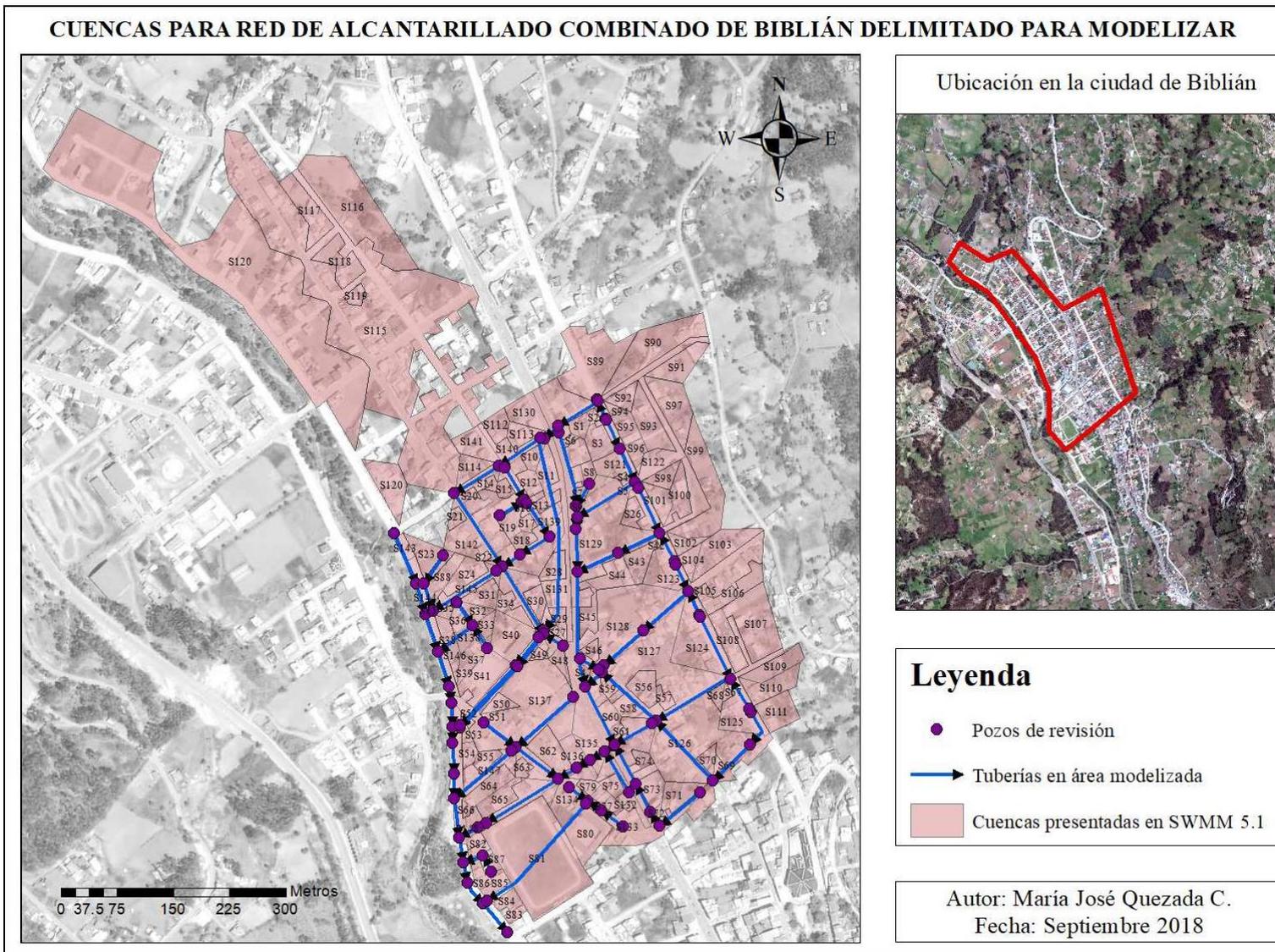


Figura 53. Cuencas para red de alcantarillado combinado de Biblián delimitado para modelizar

Nota: Elaborado por el autor.

Anexo A6: Áreas tributarias sanitarias influyentes

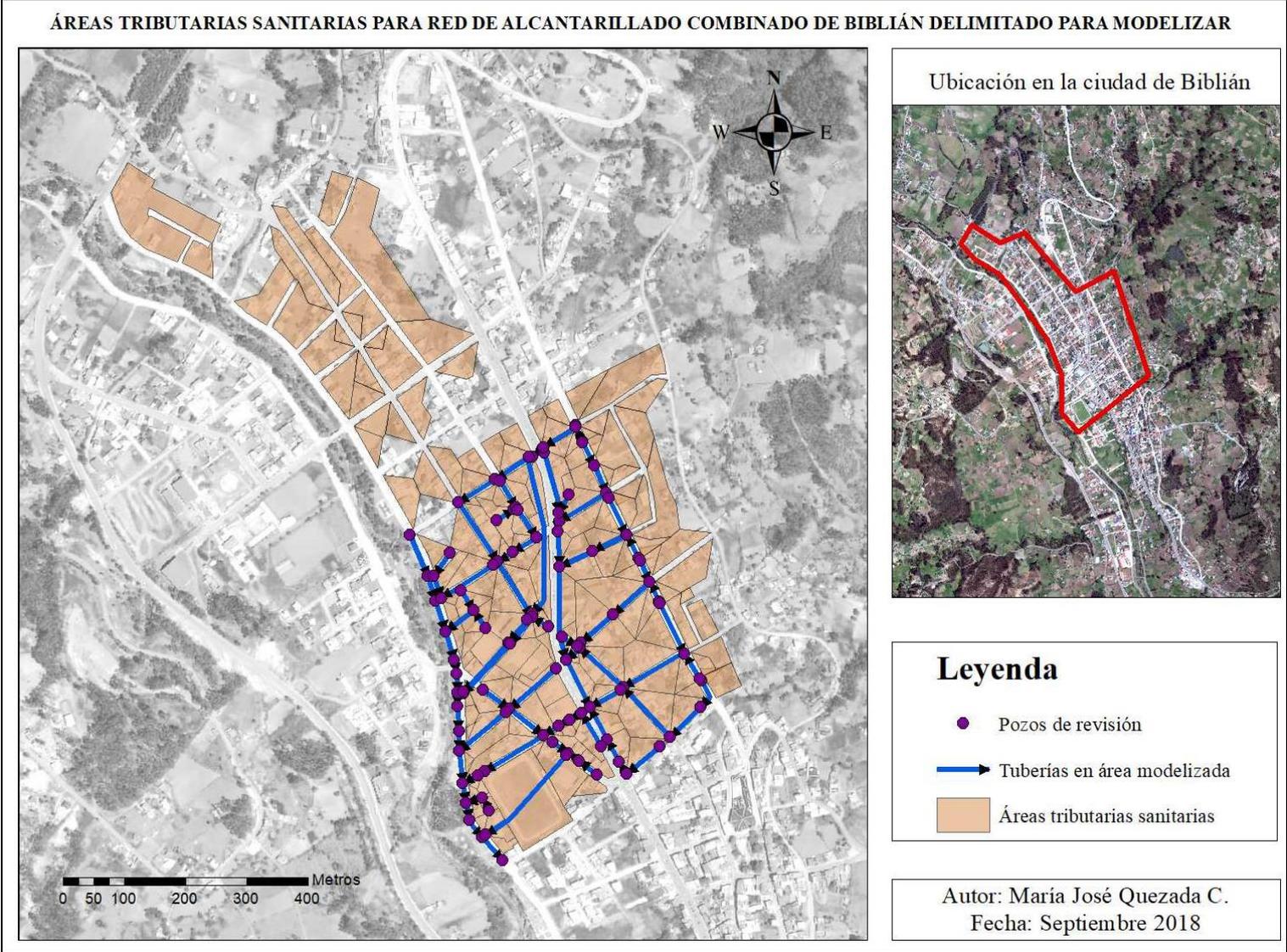


Figura 54. Áreas tributarias sanitarias influyentes en el sistema de alcantarillado combinado delimitado

Nota: Elaborado por el autor

Anexo AA7: Resultados máximos de capacidades, caudales y velocidades en los conductos para los diferentes periodos de retorno simulados.

Los resultados negativos indican que el sentido del flujo de agua se ha invertido.

Tabla 19. *Resultados máximos generados por SWMM 5.1 en simulación para periodo de retorno de 3 años*

Conducto	Capacidad	Caudal (l/s)	Velocidad (m/s)	Concentración de sedimento (mg/l)
C1	0.25	10.29	0.32	126.38
C2	0.22	30.17	1.11	61.28
C3	0.28	111.09	3.25	70.29
C4	0.14	212.84	5.24	101.73
C5	0.23	188.01	6.42	75.37
C6	0.16	22.18	1.95	144.7
C7	0.09	9.35	0.95	86.63
C8	0.41	34.67	1.26	129.5
C9	0.2	211.49	3.67	101.57
C10	0.11	188.32	1.79	74.83
C11	0.22	92.81	1.38	131.26
C12	0.12	25.76	1.71	149.52
C13	0.48	12.46	1.46	65.42
C14	0.38	12.46	1.83	65.42
C15	0.17	38.21	1.77	122.1
C16	0.23	55.98	1.95	122.11
C17	0.57	160.18	1.24	120.42
C18	0.58	896.66	2.4	125.32
C19	0.33	62.15	2.67	114.07
C20	0.66	62.33	1.17	113.59
C21	0.46	516.5	3.95	82.36
C22	0.77	500.06	2.68	82.3
C23	0.33	21.32	2.08	76.36
C24	0.28	21.32	1.09	76.35
C25	0.17	65.64	2.16	105.52
C26	0.2	30.69	1.49	121.61
C27	0.2	23.74	1.08	67.68
C28	0.69	65.73	0.9	108.73
C29	0.71	128.01	1.29	119.08
C30	1	638.85	2.55	89.2
C31	1	698.44	3.11	94.11
C32	1	638.38	3.65	93.76
C33	0.64	1161.52	2.85	125.44
C34	0.69	1248.41	2.9	127.06
C35	0.61	80.42	0.38	152.1
C36	0.12	277.47	2.3	94.06
C37	0.23	266.38	1.38	93.89
C38	0.28	405.05	2.26	111.01
C39	0.61	467.75	1.81	117.45
C40	1	468.94	1.66	117.71
C41	1	638.39	2.26	93.7
C42	0.86	1203.96	2.27	126.54
C43	1	1203.94	4.26	126.54
C44	1	1167.78	4.13	113.97
C45	1	1069.8	3.79	113.97

C46	0.23	46.42	1.69	114.99
C47	0.17	232.95	4.81	93.67
C48	0.37	257.55	3	91.46
C49	0.42	244.5	2.11	104.03
C50	0.27	18.13	0.55	95
C51	0.14	14.4	0.88	92.83
C52	0.09	144.52	5.54	77.18
C53	0.56	145.72	1.24	74.7
C54	1	139.1	0.61	111.62
C55	1	-231.2	-1.03	149.89
C56	1	-149.03	0.95	112.24
C57	1	610.55	2.44	112.3
C58	0.84	840.45	3.54	109.61
C59	0.22	17.96	0.53	42.61
C60	0.15	54.87	1.44	148.92
C61	0.66	330.98	3.02	117.21
C62	1	509.06	1.41	110.93
C63	0.27	28.87	0.97	74.2
C64	0.06	26.04	1.94	59.16
C65	0.15	101.16	1.87	87.76
C66	0.59	115.53	0.54	87.26
C67	0.56	7.22	1.85	127.46
C68	0.91	542.43	2.61	110.46
C69	0.15	14.8	1.49	40.78
C70	0.26	21.13	1.16	74.58
C71	0.22	40.08	1.49	73.66
C72	0.67	45.04	0.87	68.42
C73	0.76	66.66	1.78	143.85
C74	0.4	999.88	2.51	113.92
C75	0.63	5.44	0.99	8.87
C76	0.56	7.35	0.71	115.86
C77	1	302.45	2.49	129.2
C78	0.39	1061.71	2.78	114.96
C79	0.51	1065.95	2.78	115.44
C80	0.81	1130.09	1.87	115.55
C81	1	131.3	1.43	134.82
C82	0.57	13.2	0.82	127.08
C83	1	146.86	1.15	150.52
C84	1	290.99	0.29	143.38
C85	1	1069.97	3.78	113.79
C86	1	37.39	1.44	78.49
C87	1	1406.44	1.79	117.78
C88	1	1406.67	1.64	117.77
C89	1	914.94	3.24	114.08
C90	1	1163.85	1.18	117.75
C91	1	928.17	3.28	117.63
C92	1	-12.94	0.4	109.57
C93	1	-104.48	-1.53	127.11
C94	1	919.67	3.25	117.87
C95	1	919.59	3.25	117.83
C96	1	106.83	1.75	138.15
C97	1	106.87	1.69	138.17
C98	1	1041.55	3.68	120.11
C99	0.37	70.7	1.57	58.39

Tabla 20. Resultados máximos generados por SWMM 5.1 en simulación para periodo de retorno de 5 años

Conducto	Capacidad	Caudal (l/s)	Velocidad (m/s)	Concentración de sedimento (mg/l)
C1	0.28	11.66	0.33	116.78
C2	0.24	34.26	1.15	56.38
C3	0.31	126.03	3.36	64.97
C4	0.16	246.29	5.47	94.68
C5	0.26	213.38	6.6	69.57
C6	0.18	25.21	2.01	133.59
C7	0.1	10.58	0.98	79.94
C8	0.45	39.36	1.31	119.59
C9	0.23	244.74	3.83	94.57
C10	0.12	213.73	1.86	69.08
C11	0.25	105.66	1.44	120.93
C12	0.13	29.17	1.78	137.96
C13	0.53	14.03	1.49	60.71
C14	0.42	14.03	1.9	60.71
C15	0.19	43.19	1.83	112.87
C16	0.25	63.3	2.01	112.84
C17	0.63	182.34	1.26	111.2
C18	0.67	1071.97	2.5	115.61
C19	0.36	70.19	2.76	105.56
C20	0.67	70.38	1.11	105.18
C21	0.54	621.9	4.04	76.29
C22	0.83	583.92	2.62	76.24
C23	0.36	24.15	2.16	70.44
C24	0.59	24.15	1.12	70.44
C25	0.52	74.54	2.23	97.25
C26	0.22	35.25	1.52	112.16
C27	0.22	26.9	1.1	62.4
C28	0.7	75.94	0.94	100.52
C29	0.99	153.36	1.3	109.37
C30	1	643.35	2.54	83.72
C31	1	704.48	3.17	86.88
C32	1	706.14	3.48	86.72
C33	0.73	1370.4	2.96	115.74
C34	0.82	1472.67	2.94	117.17
C35	0.71	84.78	0.39	139.95
C36	0.13	315.22	2.4	87.06
C37	0.25	306.25	1.43	86.94
C38	0.31	467.81	2.36	102.77
C39	0.62	543.33	1.96	109.49
C40	1	543.25	1.92	108.55
C41	1	706.05	2.5	86.72
C42	0.94	1418.65	2.42	116.79
C43	1	1419.13	5.02	116.78
C44	1	1167.78	4.13	104.81
C45	1	1069.84	3.9	105.1
C46	0.25	53.41	1.76	105.94
C47	0.19	267.01	5.01	86.57
C48	0.41	294.85	3.04	84.59
C49	0.47	282.16	2.17	96.66

C50	0.29	20.51	0.57	87.9
C51	0.15	16.28	0.91	85.81
C52	0.1	164.79	5.71	71.42
C53	0.56	166.08	1.29	69.39
C54	1	-199.56	0.67	104.91
C55	1	26.04	0.48	138.68
C56	1	-403.43	-1.66	103.89
C57	1	611.85	2.45	103.84
C58	0.87	974.34	3.97	101.33
C59	0.23	20.31	0.56	39.43
C60	0.17	62.12	1.47	137.5
C61	0.67	382.43	2.96	108.43
C62	1	508.73	1.41	102.53
C63	0.3	32.71	0.99	68.44
C64	0.06	29.45	1.98	54.66
C65	0.17	115.76	1.96	80.93
C66	0.6	132.62	0.61	81.05
C67	0.57	8.07	1.85	119.1
C68	0.94	547.72	2.6	102.58
C69	0.16	16.71	1.53	37.75
C70	0.28	23.89	1.21	69.82
C71	0.24	45.35	1.54	68.03
C72	0.68	50.9	0.87	63.42
C73	0.78	76.77	1.79	132.49
C74	0.43	1082.98	2.56	105.67
C75	0.63	5.79	0.99	8.54
C76	0.56	8.22	0.71	108.34
C77	1	316.5	2.53	119.15
C78	0.41	1154.71	2.87	106.62
C79	0.59	1174.95	2.85	107.18
C80	0.87	1268.29	1.89	107.19
C81	1	152.7	1.39	124.07
C82	0.58	14.95	0.82	118.29
C83	1	169.56	1.1	138.57
C84	1	336.89	0.46	132.01
C85	1	1069.92	3.78	105.07
C86	1	42.32	1.45	72.59
C87	1	1435.07	1.93	109.16
C88	1	1435.11	1.5	109.17
C89	1	894.43	3.33	105.23
C90	1	1163.86	1.18	109.13
C91	1	919.05	3.25	109.06
C92	1	-46.46	-0.66	99.27
C93	1	-35.69	-0.5	118.33
C94	1	919.76	3.25	109.33
C95	1	920.28	3.25	109.29
C96	1	104.97	1.8	127.29
C97	1	105.01	1.57	127.3
C98	1	1044.86	3.7	111.3
C99	0.4	79.93	1.61	54.14

Tabla 21. Resultados máximos generados por SWMM 5.1 en simulación para periodo de retorno de 10 años

Conducto	Capacidad	Caudal (l/s)	Velocidad (m/s)	Concentración de sedimento (mg/l)
C1	0.32	13.83	0.35	106.75
C2	0.27	40.77	1.2	51.28
C3	0.36	150.32	3.51	59.55
C4	0.18	300.47	5.79	87.17
C5	0.29	253.99	6.86	63.6
C6	0.2	29.99	2.1	121.99
C7	0.11	12.55	1.02	72.97
C8	0.51	46.81	1.37	109.23
C9	0.26	298.77	4.06	87.11
C10	0.13	254.33	1.95	63.24
C11	0.28	126.61	1.52	110.14
C12	0.15	34.59	1.87	125.9
C13	0.62	16.52	1.51	55.78
C14	0.47	16.52	2.01	55.78
C15	0.21	51.12	1.92	103.24
C16	0.28	74.96	2.1	103.15
C17	0.64	217.8	1.29	101.62
C18	0.81	1362.03	2.63	105.47
C19	0.41	82.99	2.89	96.65
C20	0.68	83.18	1.12	96.39
C21	0.86	788.3	4.07	69.89
C22	1	705.2	2.58	69.84
C23	0.67	29.24	2.27	64.27
C24	0.79	34.73	1.17	67.17
C25	0.61	89.91	2.34	88.66
C26	0.61	42.75	1.57	102.25
C27	0.71	31.94	1.14	66.29
C28	1	89.46	0.99	92.74
C29	1	247.54	1.3	102.17
C30	1	771.28	2.73	79.25
C31	1	833.95	3.16	79.1
C32	1	836.04	3.56	78.9
C33	0.94	1692.45	3.1	105.59
C34	1	1704.67	3.03	106.87
C35	1	134.62	0.39	127.21
C36	0.15	375.03	2.55	79.72
C37	0.29	368.26	1.51	79.64
C38	0.35	566.69	2.5	93.69
C39	0.64	662.25	1.97	100.54
C40	1	661.95	2.34	100.09
C41	1	835.99	2.96	79
C42	1	1561.17	2.44	106.42
C43	1	1455.74	5.15	106.4
C44	1	1167.78	4.13	95.17
C45	1	1069.81	3.78	95.79
C46	0.29	64.98	1.85	96.59
C47	0.22	322.34	5.29	79.21

C48	0.5	355.31	3.11	77.5
C49	0.57	343.47	2.26	88.83
C50	0.33	24.29	0.59	80.48
C51	0.17	19.28	0.95	78.47
C52	0.12	196.9	5.95	65.39
C53	0.57	198.29	1.32	63.86
C54	1	-207.72	0.59	96.49
C55	1	-253.67	-1.23	125.22
C56	1	-190.96	1.02	95.37
C57	1	614.72	2.46	95.22
C58	0.92	1182.36	4.56	92.74
C59	0.26	24.05	0.6	36.1
C60	0.19	73.65	1.52	125.58
C61	0.69	465.46	2.82	99.31
C62	1	522.71	1.45	93.77
C63	0.34	38.82	1.03	62.45
C64	0.07	34.88	2.02	49.96
C65	0.19	138.83	2.08	73.8
C66	0.62	159.88	0.72	74.64
C67	0.57	9.43	1.85	110.19
C68	0.97	555.77	2.59	94.23
C69	0.18	19.75	1.6	34.58
C70	0.32	28.29	1.27	64.6
C71	0.27	53.74	1.62	62.21
C72	0.69	60.23	0.87	58.17
C73	0.8	92.91	1.71	120.61
C74	0.47	1216.53	2.64	96.85
C75	0.64	6.36	0.99	8.25
C76	0.57	9.58	0.71	100.67
C77	1	346.15	2.75	108.62
C78	0.45	1303.95	2.9	97.99
C79	0.62	1339.95	2.87	98.6
C80	0.88	1306.38	1.9	98.4
C81	1	187.21	1.49	112.87
C82	0.58	17.67	0.82	109.15
C83	1	205.49	1.05	126.1
C84	1	412.08	0.41	120.1
C85	1	1070.06	3.78	95.66
C86	1	47.48	1.59	66.38
C87	1	1435.19	1.68	100.05
C88	1	1434.49	1.63	100.04
C89	1	1022.08	3.61	96.01
C90	1	1163.86	1.18	100.02
C91	1	918.87	3.25	100.18
C92	1	8.87	0.43	95.61
C93	1	33.28	0.61	110.11
C94	1	920.06	3.25	100.61
C95	1	920.68	3.26	100.61
C96	1	116.02	1.73	115.97
C97	1	105.09	1.64	115.98
C98	1	1050.61	3.72	102.36
C99	0.46	94.61	1.68	49.63

Tabla 22. Resultados máximos generados por SWMM 5.1 en simulación para periodo de retorno de 20 años

Conducto	Capacidad	Caudal (l/s)	Velocidad (m/s)	Concentración de sedimento (mg/l)
C1	0.36	16.54	0.36	98.45
C2	0.31	48.52	1.26	47.16
C3	0.4	179.36	3.67	55.15
C4	0.21	365.02	6.12	80.87
C5	0.34	303.49	7.12	58.85
C6	0.23	35.66	2.2	112.55
C7	0.13	15.1	1.07	67.31
C8	0.6	55.77	1.45	100.73
C9	0.31	363.38	4.22	80.85
C10	0.15	303.7	2.06	58.65
C11	0.31	152.37	1.62	101.39
C12	0.17	41.06	1.98	116.1
C13	0.74	19.5	1.51	51.74
C14	0.52	19.5	2.12	51.74
C15	0.24	60.55	2.02	95.77
C16	0.32	88.93	2.22	95.24
C17	0.66	260.8	1.31	93.74
C18	1	1485.13	2.67	97.21
C19	0.77	100.71	3.03	89.4
C20	1	99.49	1.14	91.3
C21	1	1014.1	4.09	64.62
C22	1	1014	3.59	64.59
C23	0.8	35.2	2.38	59.26
C24	0.86	55.27	1.22	71.91
C25	0.62	109.78	2.47	81.69
C26	0.66	52.65	1.64	94.12
C27	0.95	56.61	1.19	74.1
C28	1	103.09	1.11	86.94
C29	1	234.34	1.33	95.03
C30	1	767.17	2.71	74.36
C31	1	868.9	3.27	73.83
C32	1	860.51	3.64	73.89
C33	1	1818.13	3.16	97.42
C34	1	1779.13	3.04	97.72
C35	1	121.57	0.41	116.87
C36	0.17	447.12	2.69	73.69
C37	0.33	441.4	1.59	73.63
C38	0.4	683.8	2.64	86.28
C39	0.66	801.76	2.02	92.92
C40	1	801.6	2.84	92.98
C41	1	860.5	3.04	73.95
C42	1	1561.17	2.44	97.06
C43	1	1455.74	5.15	97.05
C44	1	1167.78	4.13	87.97
C45	1	1069.91	3.81	88.29
C46	0.33	78.97	1.94	88.99
C47	0.25	392.78	5.6	73.28

C48	0.68	431.48	3.21	71.71
C49	0.77	397.53	2.33	82.22
C50	0.38	28.87	0.62	74.38
C51	0.19	23.35	1	72.52
C52	0.13	236.59	6.2	60.61
C53	0.58	237.63	1.27	59.45
C54	1	-268.28	-0.56	90.16
C55	1	53.38	0.49	116.02
C56	1	-248.32	-0.98	88.27
C57	1	619.18	2.48	88.2
C58	1	1359.52	4.86	85.57
C59	0.28	28.5	0.64	33.37
C60	0.22	87.38	1.57	115.87
C61	0.71	565.94	2.83	91.83
C62	1	508.48	1.42	86.5
C63	0.38	46.09	1.07	57.57
C64	0.08	41.34	2.06	46.13
C65	0.21	167.76	2.21	68.03
C66	0.63	193.11	0.85	69.44
C67	0.58	11.05	1.85	103.19
C68	1	560.86	2.6	86.83
C69	0.21	23.37	1.68	31.98
C70	0.36	33.52	1.33	60.13
C71	0.3	63.72	1.7	57.53
C72	0.71	71.33	0.87	53.86
C73	0.84	111.93	1.89	110.99
C74	0.51	1373.51	2.72	89.45
C75	0.64	7.04	0.99	8.13
C76	0.57	11.2	0.71	94.67
C77	1	349.34	2.78	100.02
C78	0.5	1479.98	2.98	90.88
C79	0.67	1519.36	2.96	91.51
C80	0.89	1518.12	1.95	91.26
C81	1	229.02	1.82	103.8
C82	0.59	20.9	0.82	101.66
C83	1	247.9	1.26	116.01
C84	1	497	0.5	110.44
C85	1	1069.9	3.78	88.28
C86	1	59.25	1.89	61.29
C87	1	1435.13	1.87	92.62
C88	1	1435.5	1.61	92.61
C89	1	877.44	3.1	88.82
C90	1	1163.86	1.18	92.58
C91	1	924.18	3.27	93.17
C92	1	-75.3	-1.07	86.29
C93	1	-60.44	-0.86	102.84
C94	1	924.61	3.27	93.76
C95	1	925.09	3.27	93.81
C96	1	104.93	1.81	106.8
C97	1	105.06	1.67	106.79
C98	1	1056.56	3.74	95.57
C99	0.52	112.32	1.74	46.27

Tabla 23. Resultados máximos generados por SWMM 5.1 en simulación para periodo de retorno de 30 años

Conducto	Capacidad	Caudal (l/s)	Velocidad (m/s)	Concentración de sedimento (mg/l)
C1	0.4	18.52	0.37	94.13
C2	0.33	53.73	1.29	45.07
C3	0.44	198.9	3.76	52.89
C4	0.23	408.2	6.32	77.46
C5	0.37	338.31	7.29	56.49
C6	0.25	39.46	2.27	107.75
C7	0.14	17.08	1.09	64.45
C8	0.69	61.97	1.49	96.44
C9	0.39	406.6	4.26	77.47
C10	0.16	338.28	2.12	56.35
C11	0.34	170.02	1.67	96.98
C12	0.18	45.4	2.05	111.13
C13	0.75	21.61	1.63	49.68
C14	0.56	21.6	2.21	49.68
C15	0.26	66.98	2.07	92.17
C16	0.35	98.63	2.29	91.23
C17	0.68	290.16	1.43	89.69
C18	1	1600.59	2.62	92.98
C19	0.82	109.57	3.11	85.82
C20	1	109.77	1.21	86.35
C21	1	1159.11	4.1	61.93
C22	1	1138.29	4.03	61.91
C23	0.82	38.15	2.44	56.73
C24	0.87	62.6	1.25	68.74
C25	0.63	123.89	2.54	78.17
C26	0.67	58.55	1.68	90.01
C27	0.98	51.07	1.21	67.1
C28	1	131.53	1.19	82.8
C29	1	263.46	1.35	91.11
C30	1	787.33	2.78	69.07
C31	1	867.94	3.07	72.06
C32	1	874.11	3.53	71.32
C33	1	1810.95	3.14	93.19
C34	1	1699.47	3.15	93.21
C35	1	-155.46	0.41	111.54
C36	0.18	496.6	2.78	70.59
C37	0.35	490.84	1.64	70.55
C38	0.44	762.76	2.72	82.71
C39	0.67	895.44	2.12	88.73
C40	1	-926.84	3.28	88.85
C41	1	874	3.09	71.5
C42	1	1561.17	2.44	92.78
C43	1	1455.74	5.15	92.78
C44	1	1167.78	4.13	84.32
C45	1	1069.78	3.85	84.76
C46	0.36	88.64	1.99	85.08
C47	0.27	442.67	5.8	70.24
C48	0.7	485.63	3.28	68.78

C49	0.83	464.52	2.35	78.62
C50	0.41	32.12	0.64	71.25
C51	0.21	26.37	1.03	69.5
C52	0.15	265.24	6.37	58.34
C53	0.58	265.67	1.33	57.26
C54	1	-441.84	-0.95	85.83
C55	1	32.5	0.49	111.23
C56	1	-576.47	-2.31	84.68
C57	1	622.75	2.49	84.63
C58	1	1372.61	4.85	81.86
C59	0.3	31.5	0.67	31.97
C60	0.24	96.61	1.61	110.93
C61	0.72	634.2	3.12	87.99
C62	1	617.25	1.71	82.75
C63	0.41	50.97	1.09	55.1
C64	0.09	45.68	2.08	44.18
C65	0.23	188.78	2.29	65.12
C66	0.64	216.44	0.93	66.75
C67	0.58	12.13	1.85	99.63
C68	1	560.39	2.6	83.05
C69	0.22	25.8	1.73	30.66
C70	0.38	37.04	1.37	57.79
C71	0.32	70.64	1.75	55.12
C72	0.72	78.92	0.87	51.66
C73	0.86	124.62	2.06	106.12
C74	0.54	1474.86	2.76	85.81
C75	0.65	7.5	0.99	8.11
C76	0.57	12.29	0.71	91.62
C77	1	384.68	3.06	95.65
C78	0.53	1593.77	3.03	87.3
C79	0.7	1638.46	2.9	87.92
C80	0.91	1630.8	1.97	87.72
C81	1	237.41	1.89	99.21
C82	0.6	23.07	0.82	97.82
C83	1	276.24	1.41	110.89
C84	1	535.93	0.54	105.76
C85	1	1069.93	3.78	84.84
C86	1	58.96	1.88	58.72
C87	1	1435.13	2	88.79
C88	1	1435.28	1.45	88.79
C89	1	866.55	3.06	85.43
C90	1	1163.86	1.18	88.77
C91	1	921.63	3.26	89.73
C92	1	-31.24	0.46	84.13
C93	1	33.94	0.67	99.17
C94	1	922.02	3.26	90.57
C95	1	922.37	3.26	90.44
C96	1	105.03	1.82	102.15
C97	1	105.34	1.78	102.14
C98	1	124.71	3.75	92.13
C99	0.56	1060.85	1.78	44.71

Tabla 24. Resultados máximos generados por SWMM 5.1 en simulación para periodo de retorno de 50 años

Conducto	Capacidad	Caudal (l/s)	Velocidad (m/s)	Concentración de sedimento (mg/l)
C1	0.45	21.43	0.38	89.31
C2	0.37	61.9	1.34	42.71
C3	0.48	228.37	3.88	50.27
C4	0.25	470.65	6.58	73.17
C5	0.41	389.41	7.5	53.8
C6	0.27	44.83	2.35	102.3
C7	0.15	20.16	1.14	61.2
C8	0.71	71.05	1.55	91.47
C9	0.46	468.89	4.3	73.23
C10	0.18	389.05	2.21	53.73
C11	0.37	195.32	1.74	91.95
C12	0.2	51.54	2.13	105.47
C13	0.77	25.09	1.85	47.35
C14	0.61	25.02	2.33	47.35
C15	0.28	76.46	2.15	88.08
C16	0.38	112.93	2.37	86.62
C17	0.69	332.45	1.6	84.93
C18	1	1626.07	2.71	88.18
C19	0.85	125.34	3.21	81.54
C20	1	125.48	1.35	81.91
C21	1	1195.97	4.23	58.86
C22	1	1140.26	4.03	58.83
C23	0.85	44.89	2.53	53.86
C24	0.88	68.96	1.19	60.65
C25	0.64	144.47	2.64	74.17
C26	0.69	69.66	1.73	85.33
C27	1	52.98	1.25	67.02
C28	1	142.03	1.28	79.55
C29	1	293.77	1.36	85.98
C30	1	759.61	2.69	66.48
C31	1	875.13	3.38	69.71
C32	1	874.62	3.36	69.21
C33	1	1958.8	3.25	88.32
C34	1	1778.65	3.19	88.27
C35	1	-132.66	0.39	105.76
C36	0.2	568.48	2.9	67.06
C37	0.39	562.03	1.71	67.03
C38	0.48	875.73	2.83	78.55
C39	0.69	1028.62	2.14	83.92
C40	1	1028.47	3.64	84.1
C41	1	874.62	3.09	68.97
C42	1	1561.17	2.44	87.92
C43	1	1455.74	5.15	87.91
C44	1	1167.78	4.13	80.31
C45	1	1069.84	3.78	81.04
C46	0.4	102.61	2.07	80.59
C47	0.3	515.72	6.05	66.73
C48	0.71	565.45	3.36	65.34

C49	0.87	535.5	2.34	74.24
C50	0.45	36.98	0.66	67.68
C51	0.23	30.93	1.06	66.06
C52	0.17	307.94	6.58	55.68
C53	0.59	307.65	1.41	54.75
C54	1	-366.22	-0.68	81.48
C55	1	-194.18	-1.11	103.4
C56	1	-340.68	-1.36	82.8
C57	1	628.56	2.51	80.54
C58	1	1372.61	4.85	77.47
C59	0.32	35.73	0.71	30.38
C60	0.26	109.66	1.65	105.31
C61	0.74	731.72	3.52	83.55
C62	1	534.87	1.49	78.47
C63	0.45	57.98	1.12	52.3
C64	0.11	52.33	2.12	41.97
C65	0.26	220.6	2.4	61.82
C66	0.66	251.38	1.06	63.63
C67	0.59	13.67	1.85	95.77
C68	1	558.81	2.59	78.6
C69	0.24	29.24	1.79	29.15
C70	0.42	42.01	1.42	55.06
C71	0.36	81	1.81	52.37
C72	0.74	90.04	0.97	49.16
C73	0.89	142.48	2.28	100.61
C74	0.58	1620.25	2.82	81.73
C75	0.66	8.14	0.99	8.13
C76	0.58	13.82	0.71	88.22
C77	1	383.92	3.06	90.65
C78	0.57	1756.55	3.09	83.18
C79	0.75	1807.76	3	83.81
C80	0.93	1800.33	2	83.67
C81	1	237.21	1.89	94
C82	0.6	26.14	0.82	93.4
C83	1	316.3	1.61	105.1
C84	1	578.83	0.58	100.6
C85	1	1069.95	3.78	80.93
C86	1	49.61	1.58	55.79
C87	1	1483.13	1.79	84.41
C88	1	1435.53	1.56	84.43
C89	1	1055.49	3.73	81.76
C90	1	1163.86	1.18	84.4
C91	1	931.07	3.29	86.05
C92	1	10.09	0.61	83.3
C93	1	29.74	0.71	94.45
C94	1	931.35	3.29	86.98
C95	1	931.83	3.3	86.7
C96	1	114.76	1.82	96.88
C97	1	105.04	1.91	96.88
C98	1	1066.81	3.77	88.29
C99	0.63	142.78	1.82	42.93

Anexo A8: Detalle de códigos de pozos de revisión y tuberías ingresadas en SWMM 5.1

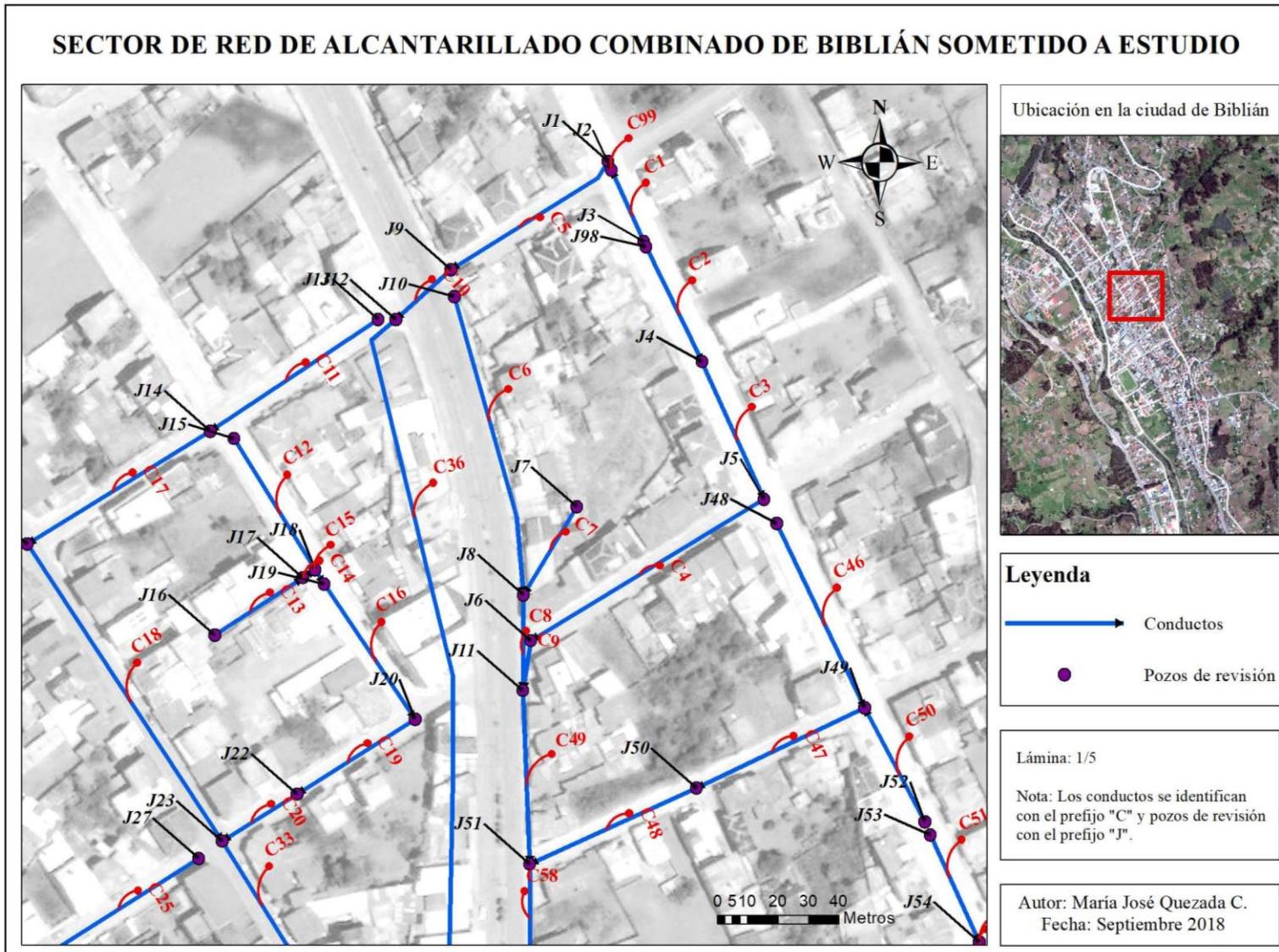


Figura 55. Fracción de red de alcantarillado combinado de Biblián. Lámina: 1/5

Nota: Elaborado por el autor.

SECTOR DE RED DE ALCANTARILLADO COMBINADO DE BIBLIÁN SOMETIDO A ESTUDIO

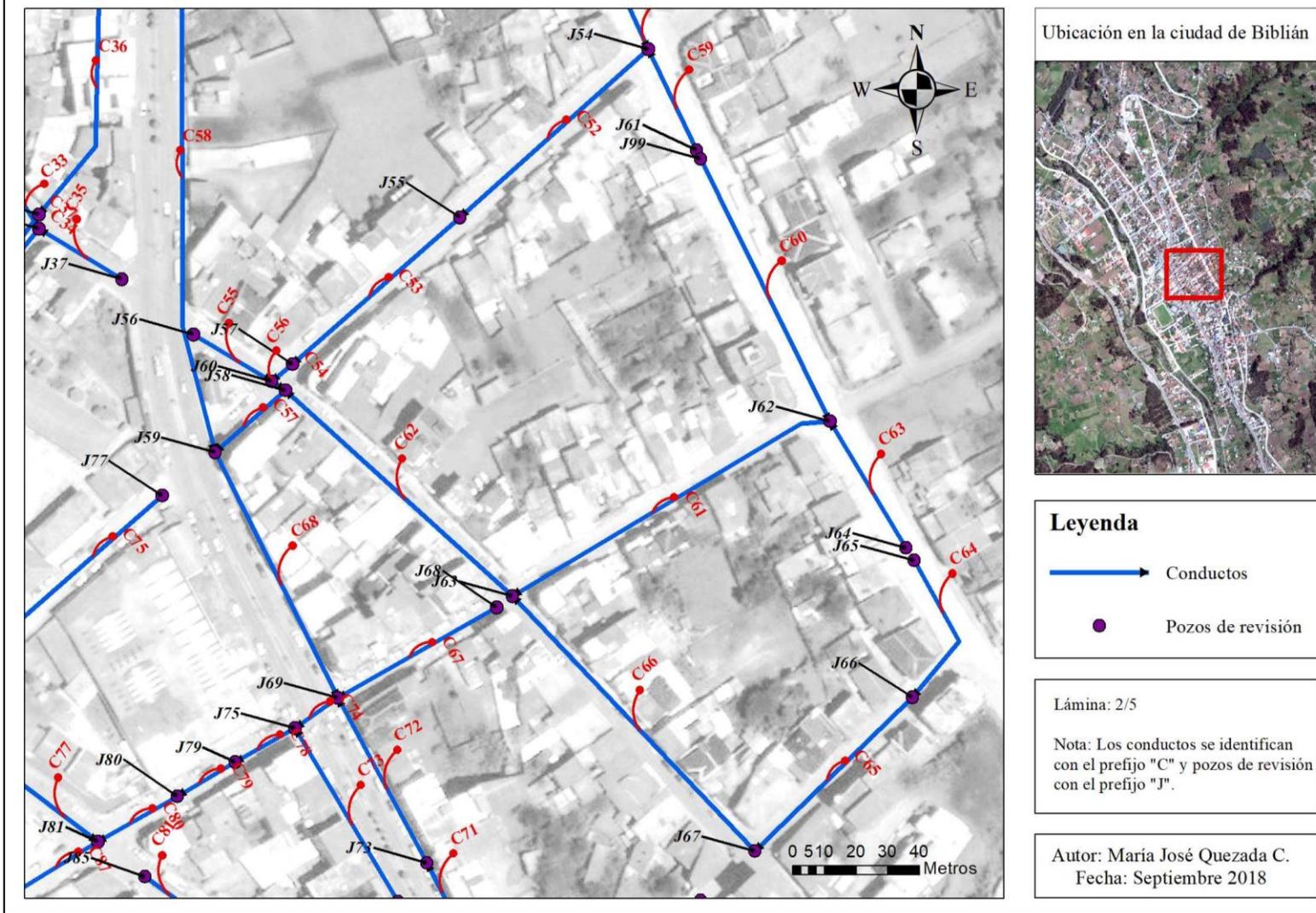


Figura 56. Fracción de red de alcantarillado combinado de Biblián. Lámina: 2/5

Nota: Elaborado por el autor.

SECTOR DE RED DE ALCANTARILLADO COMBINADO DE BIBLIÁN SOMETIDO A ESTUDIO

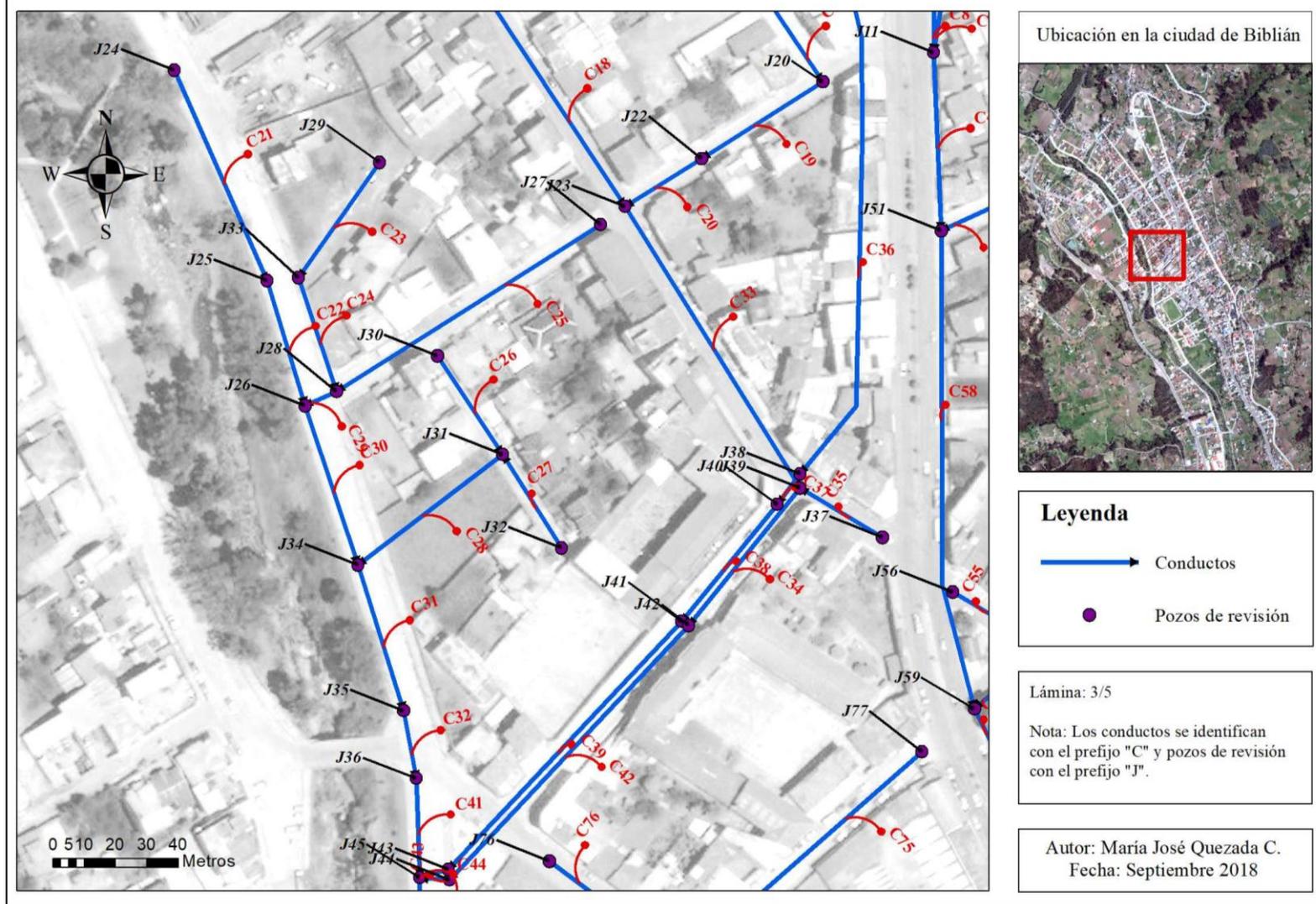


Figura 57. Fracción de red de alcantarillado combinado de Biblián. Lámina: 3/5
Nota: Elaborado por el autor.

SECTOR DE RED DE ALCANTARILLADO COMBINADO DE BIBLIÁN SOMETIDO A ESTUDIO

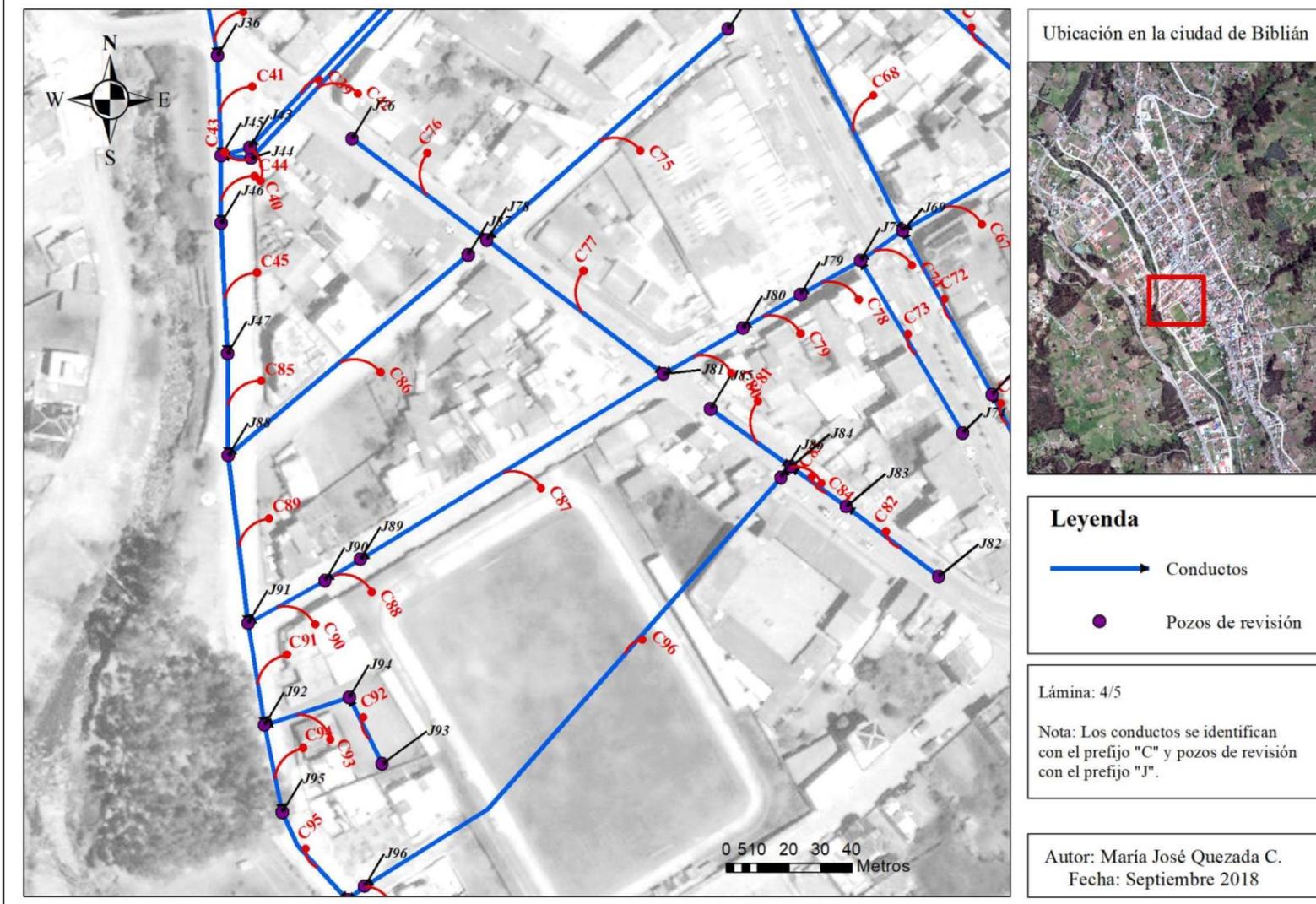
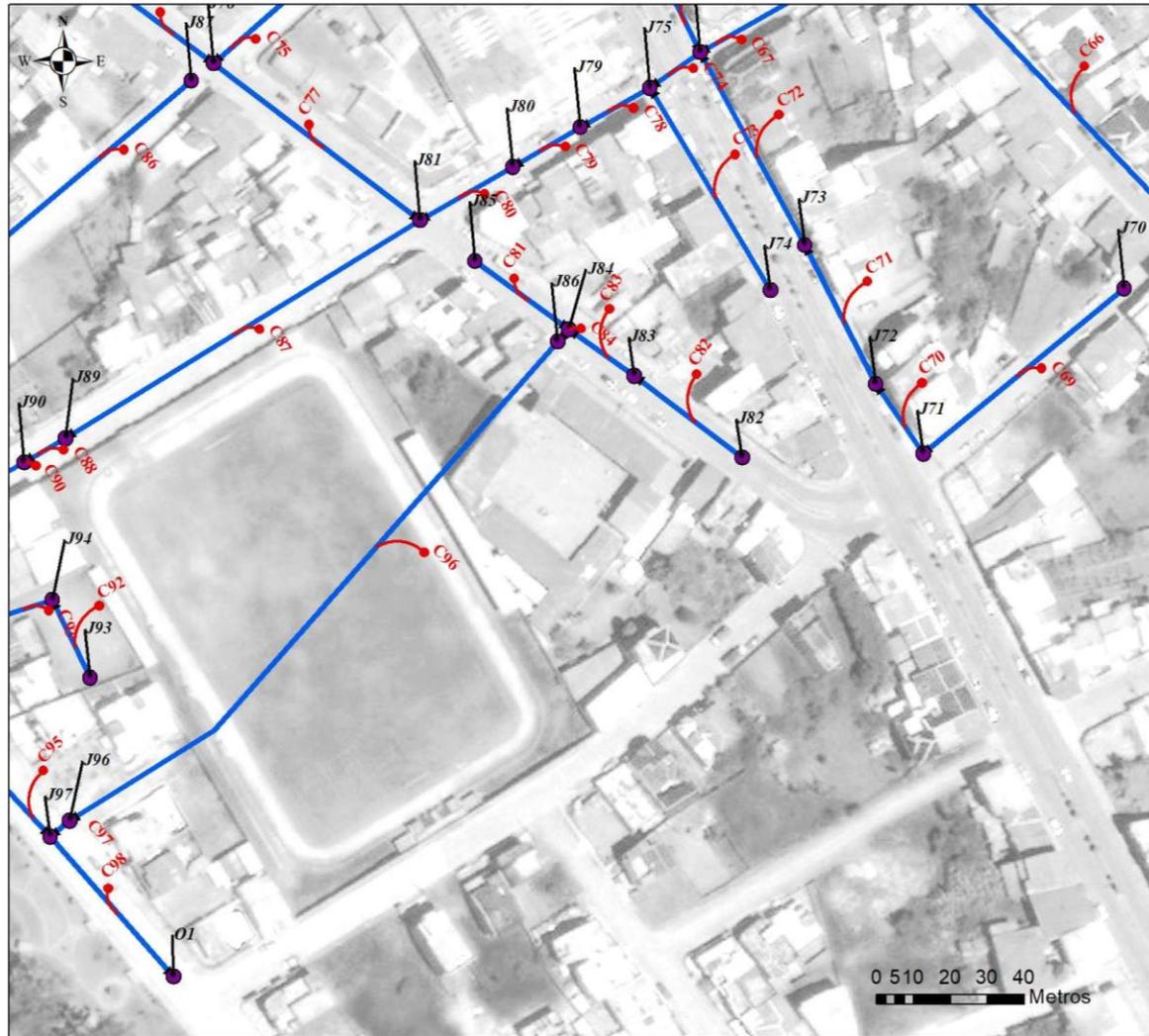


Figura 58. Fracción de red de alcantarillado combinado de Biblián. Lámina: 4/5

Nota: Elaborado por el autor.

SECTOR DE RED DE ALCANTARILLADO COMBINADO DE BIBLIÁN SOMETIDO A ESTUDIO



Ubicación en la ciudad de Biblián



Leyenda

-  Conductos
-  Pozos de revisión

Lámina: 5/5

Nota: Los conductos se identifican con el prefijo "C" y pozos de revisión con el prefijo "J".

Autor: María José Quezada C.
Fecha: Septiembre 2018

Figura 59. Fracción de red de alcantarillado combinado de Biblián. Lámina: 5/5

Nota: Elaborado por el autor.

Oficio Nro. UCACUE-GG-UAIC-A-2018-021-O
Azogues, 8 de noviembre de 2018

Ing.
Cristian Vintimilla Ulloa
Docente Tutor de la Carrera de Ingeniería Civil
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA SEDE AZOGUES
Presente.

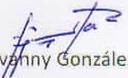
De mi consideración:

Referente al control antiplagio del trabajo de titulación: "Modelización de Sedimentos de una Red de Alcantarillado mediante programa SWMM", de la alumna MARIA JOSE QUEZADA CALLE; le informo que se ha realizado el ingreso del trabajo de titulación al Servicio de prevención de plagio TURNITIN de la Universidad y el resultado del mismo, se detalla en el siguiente cuadro:

AUTOR	TÍTULO	SIMILITUD	ARCHIVO	Nº DEL TRABAJO	FECHA
Maria Jose Quezada C...	TRABAJO DE TITULACION	8%		1034916738	07-nov.-2018

Particular que le informo para los fines pertinentes, suscribo.

Atte.


Ing. Geovanny González Rodríguez
DOCENTE

09-11-2018
16:09


**PERMISO DEL AUTOR DE TESIS PARA SUBIR AL REPOSITORIO
INSTITUCIONAL**

Yo María José Quezada Calle, portadora de la cédula de ciudadanía Nro. 0107131450, en calidad de autora y titular de los derechos patrimoniales del trabajo de titulación “Modelización de sedimentos de una red de alcantarillado mediante programa SWMM”, de conformidad a lo establecido en el artículo 114 del Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, reconozco a favor de la Universidad Católica de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos. Así mismo autorizo a la Universidad para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el Repositorio Institucional de conformidad a lo dispuesto en el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Azogues, 14 de Noviembre del 2018



Egdo. María José Quezada Calle

C.I.: 0107131450



UNIVERSIDAD
CATÓLICA DE CUENCA
COMUNIDAD EDUCATIVA AL SERVICIO DEL PUEBLO

El Bibliotecario de la Sede Azogues

CERTIFICA:

Que: **QUEZADA CALLE MARÍA JOSÉ**, Con cédula de ciudadanía Nro. **0107131450** de la Carrera de **INGENIERIA CIVIL**.

No adeuda libros, a esta fecha: 13 de noviembre del 2018.

Byron Alonso Torres Romo
Bibliotecario de la Sede Azogues

Biblioteca Universitaria
MONS. "FROILAN POZO QUEVEDO"

Cuenca: Av. Las Américas y Tarqui. Telf.: 2830751, 2824365, 2826563 **Azogues:** Campus Universitario "Luis Cordero El Grande" (frente al Terminal Terrestre). Telf.: 2241613, 2243444, 2245205 **Cañar:** Calle Antonio Ávila Clavijo. Telf.: 2235268, 2235870 **San Pablo de La Troncal:** Cda. Universitaria Km 72 Quinceava Este y Primera Sur. Telf.: 2424110 **Macas:** Av. Cap. Villanueva s/n Telf.: 2700392, 2700393

WWW.UCACUE.EDU.EC