REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Universidad Católica de Santa María

Facultad de Arquitectura e Ingenierías Civil y del Ambiente

Escuela Profesional de Ingeniería Civil

Propuesta de mejoramiento en el manejo de aguas pluviales empleando sistema urbano de drenaje sostenible (SUDS) en la Av.54, distrito de Cerro Colorado, Arequipa.

Tesis presentada por las Bachilleres:

Bobadilla Gutierrez, Leslie Gianella

ORCID: 0009-0007-6513-5239

Torres Rivera, Camila de los Angeles

ORCID: 0009-0009-0758-863X

para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil

Asesor:

Dr. Hidalgo Valdivia, Alejandro Victor

ORCID: 0000-0002-7598-9074

Arequipa – Perú

2026

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

UCSM-ERP

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

INGENIERIA CIVIL

TITULACIÓN CON TESIS

DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR

Arequipa, 23 de Diciembre del 2025

Dictamen: 013400-C-EPIC-2025

Visto el borrador del expediente 013400, presentado por:

2019828102 - BOBADILLA GUTIERREZ LESLIE GIANELLA
2019225372 - TORRES RIVERA CAMILA DE LOS ANGELES

Titulado:

PROPUESTA DE MEJORAMIENTO EN EL MANEJO DE AGUAS PLUVIALES EMPLEANDO SISTEMA URBANO DE DRENAJE SOSTENIBLE (SUDS) EN LA AV. 54, DISTRITO DE CERRO COLORADO, AREQUIPA.

Nuestro dictamen es:

APROBADO

Titulo Profesional/Titulo de Segunda Especialidad/Grado Académico a optar:

INGENIERO CIVIL

29238311 - GUILLEN MALAGA MILAGROS SOCORRO
DICTAMINADOR

23923450 - ARROYO AMBIA ARTURO FELIX
DICTAMINADOR

29412437 - UGARTE CALDERON ENRIQUE ALFONSO
DICTAMINADOR

Propuesta de mejoramiento en el manejo de aguas pluviales empleando sistema urbano de drenaje sostenible (SUDS) en la Av.54, distrito de Cerro Colorado, Arequipa.

INFORME DE ORIGINALIDAD

16%	15%	4%	6%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	2%
2	repositorio.unbosque.edu.co Fuente de Internet	1%
3	repository.ucatolica.edu.co Fuente de Internet	1%
4	issuu.com Fuente de Internet	1%
5	fdocuments.ec Fuente de Internet	1%
6	docplayer.es Fuente de Internet	1%
7	Submitted to Universidad Católica de Santa María Trabajo del estudiante	<1%
8	repositorio.ucsm.edu.pe Fuente de Internet	<1%
9	repositorioacademico.upc.edu.pe Fuente de Internet	<1%
10	1library.co Fuente de Internet	<1%
11	hnseb.gob.pe Fuente de Internet	<1%

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

DEDICATORIA

A Dios, por estar siempre presente en mi vida, por darme fuerza en los momentos difíciles y guiar mis pasos durante todo este proceso.

A mi papá, Martín, por ser un ejemplo de trabajo, esfuerzo y constancia, enseñándome que con dedicación se pueden superar los desafíos y alcanzar los sueños.

A mi mamá, Leticia, por ser mi refugio y mi amor incondicional, gracias por estar siempre a mi lado y acompañarme en cada paso de este camino.

A mi hermana, Vania, mi compañerita de vida y cómplice de risas, gracias por iluminar mis días con tu alegría y recordarme siempre la importancia de la familia.

A mi abuelita, Viviana, que me cuida desde el cielo, gracias por creer en mí y enseñarme con tu ejemplo la paciencia, la bondad y la fuerza silenciosa que hoy llevo conmigo. Siempre te siento cerca y te llevo en mi corazón.

Leslie

A Dios, fuente de fortaleza y guía en este proceso,
por acompañarme en cada paso y sostenerme cuando más lo necesité.

A mis padres, Cesar y Miriam, que siempre creyeron en mí mucho más de lo que yo misma lo hacía. Porque es más fácil ser valiente cuando sé que están a mi lado. Espero que se sientan tan afortunados de ser mis padres como yo me siento de ser su hija. Gracias por haber hecho de nuestra casa una fuente inagotable de amor incondicional y de respeto constante.

Y a ti, Luciana, mi hermana, por ser mi refugio en los días difíciles y mi alegría en los días buenos; por caminar conmigo sin soltarme, por entenderme incluso en silencio y por ser esa fuerza constante que siempre me impulsa a seguir adelante.

A mis tíos, Luzvelia y Justo, a mi primo Sebastián, gracias por el cariño, apoyo y confianza que me brindaron durante esta etapa. Gracias por hacerme sentir siempre en casa.

Camila

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por guiarnos en cada etapa de este camino y por permitirnos llegar a este momento tan importante de nuestras vidas. Por darnos fortaleza en los días difíciles, claridad en los momentos de duda y la perseverancia necesaria para no rendirnos ante los desafíos. Su presencia fue el sostén que nos permitió culminar este proceso con fe y esperanza.

A nuestro asesor, Dr. Alejandro Hidalgo Valdivia, por su orientación, acompañamiento y compromiso durante el desarrollo de esta investigación. Agradecemos profundamente su disposición, paciencia y valiosos aportes, los cuales fueron fundamentales para el adecuado enfoque, desarrollo y culminación de este trabajo de investigación.

A nuestros docentes, por compartir sus conocimientos, experiencia y vocación a lo largo de nuestra formación académica. Su enseñanza, exigencia y guía contribuyeron de manera significativa a nuestro crecimiento profesional y al fortalecimiento de nuestras capacidades.

De manera especial, a esas personas que formaron parte de este proceso, cuya compañía, amor y confianza fueron fundamentales para llegar hasta aquí. Gracias por caminar a nuestro lado, por escuchar, motivar y sostenernos en los momentos de mayor exigencia. Su apoyo emocional hizo este camino más llevadero y significativo.

Al final somos una mezcla de todas las personas que han sido parte de nuestro camino, y nos alegra saber que algunas de ellas son parte esencial de quienes somos hoy.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

RESUMEN

El manejo eficiente del agua pluvial constituye un importante desafío para la ingeniería urbana contemporánea, debido al incremento de áreas urbanizadas y a la limitada capacidad de infraestructura pluvial para enfrentar eventos de precipitación intensa. En este contexto, la Avenida 54 del distrito de Cerro Colorado, Arequipa, enfrenta una problemática recurrente de acumulación de aguas superficiales y deterioro vial durante las épocas lluviosas, producto de la red pluvial tradicional limitada en su capacidad hidráulica.

Frente a esta situación, la investigación desarrolla una propuesta de mejora en el manejo de aguas pluviales mediante la incorporación de un Sistema Urbano de Drenaje Sostenible (SUDS), diseñado como complemento del sistema pluvial existente, orientado a optimizar conducción y aprovechamiento de escorrentía pluvial. Bajo un enfoque aplicado y descriptivo, se realizaron análisis hidrológicos e hidráulicos de la zona, modelamientos en InfoDrainage, y evaluaciones comparativas entre el sistema convencional y la alternativa sostenible propuesta.

El diseño se basó en implementación de cunetas verdes, permitiendo infiltración y conducción regulada del agua pluvial, logrando reducir caudales pico y aumentar capacidad de respuesta de sistema actual. Los resultados demuestran que la integración de SUDS mejora la eficiencia hidráulica y promueve una infraestructura más sostenible y resiliente para adaptarse a variaciones climáticas.

Asimismo, la propuesta demuestra la viabilidad técnica de integrar soluciones basadas en la naturaleza al drenaje pluvial urbano, como complemento a la infraestructura existente, constituyendo un aporte técnico aplicable a futuras intervenciones en vías urbanas similares.

Palabras clave: drenaje pluvial, SUDS, cunetas verdes.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

ABSTRACT

Efficient stormwater management is a critical challenge in contemporary urban engineering, driven by the expansion of impervious surfaces and the limited hydraulic capacity of existing drainage infrastructure to withstand intense rainfall events. In this context, Avenida 54, located in the district of Cerro Colorado, Arequipa, experiences recurrent surface water accumulation and pavement deterioration during the rainy season, primarily due to the insufficient performance of the conventional stormwater drainage system.

In response to this issue, this research proposes an improvement in stormwater management through the implementation of a Sustainable Urban Drainage System (SUDS), designed as a complementary solution to the existing drainage network and aimed at optimizing surface runoff conveyance and control. An applied and descriptive methodology was adopted, including hydrological and hydraulic analyses of the study area, stormwater modeling using InfoDrainage software, and a comparative assessment between the conventional drainage system and the proposed sustainable alternative.

The proposed design is based on the implementation of green swales, which enable infiltration and regulated conveyance of stormwater runoff, resulting in a reduction of peak discharge and an improvement in the hydraulic response capacity of the existing system. The results indicate that the integration of SUDS enhances overall drainage performance and contributes to the development of more sustainable and climate-resilient urban infrastructure.

Furthermore, the proposed system demonstrates the technical feasibility of integrating nature-based solutions into urban stormwater drainage as a complement to existing infrastructure, providing a technical reference for future interventions in similar urban roadways.

Keywords: Stormwater drainage, Sustainable Urban Drainage Systems (SUDS), green swales.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

ÍNDICE

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTOS

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN **1**

CAPÍTULO I: ASPECTOS GENERALES **3**

1. PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA **3**

1.1. Problemática de la investigación 3

1.1.1. Problema general *3*

1.1.2. Problema específico *4*

1.2. Justificación de la investigación 10

1.2.1. Ambiental *12*

1.2.2. Social *12*

1.2.3. Económica *12*

1.2.4. Tecnológica *13*

1.2.5. Político/institucional *13*

1.3. Objetivos 14

1.3.1. Objetivo general *14*

1.3.2. Objetivos específicos *14*

1.4. Hipótesis 14

1.5. Alcances y limitaciones 14

1.5.1. Limitaciones *14*

1.5.2. Alcances *15*

1.6. Variables 15

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

CAPITULO II: FUNDAMENTO TEÓRICO 17

2. FUNDAMENTO TEÓRICO 17

2.1. Antecedentes de la investigación 17

2.1.1. Antecedentes Internacionales 17

2.1.2. Antecedentes Nacionales 28

2.2. Estado del arte 29

2.3. Marco teórico 29

2.3.1. Hidrología 29

2.3.2. Hidráulica 31

2.3.3. Sistema Urbano de Drenaje Sostenible (SUDS) 32

2.3.4. EPA SWMM 39

2.3.5. INFODRAINAGE 40

2.3.6. HEC-RAS 41

2.4. Marco legal 42

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA 44

3. METODOLOGÍA PROPUESTA 44

3.1. Tipo y nivel de investigación 44

3.2. Diseño de la investigación 44

3.3. Métodos de investigación 45

3.4. Esquema metodológico 48

3.5. Población, muestra y muestreo 49

3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos 49

CAPITULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN 50

4. RESULTADOS 50

4.1. REVISIÓN LITERARIA 50

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

4.2. ELECCIÓN DE SUDS 57

4.2.1. Definición de tipologías factibles 61

4.2.2. Evaluación de tipologías 62

4.2.3. Tren de SUDS 64

4.2.4. Restricciones para la implementación de tipologías SUDS 65

4.2.5. Objetivos de selección de tipologías de SUDS 66

4.2.6. Mejoramiento de calidad del agua 67

4.2.7. Manejo de volúmenes de agua de lluvia: 68

4.2.8. Amenidad y conflictos de uso 69

4.2.9. Mantenimiento 69

4.2.10. Costos 70

4.3. CARACTERIZACIÓN FISICA-HIDROLOGICA DEL ÁREA DE ESTUDIO 71

4.3.1. Ubicación 71

4.3.2. Ensayos de infiltración 73

4.3.3. Delimitación de la cuenca. 74

4.4. Topografía 114

4.4.1. Exportación de área de estudio – Google Earth 114

4.4.2. Global Mapper 114

4.4.3. Curvas de nivel 115

4.4.4. Creación de superficie 115

4.5. DISEÑO DE SUDS 116

4.5.1. Pre-dimensionamiento 117

4.5.2. Modelamiento en InfoDrainage 133

4.5.3. Modelamiento de drenaje pluvial tradicional existente 146

4.5.4. Modelamiento de cuenta verde - SUDS 149

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

4.5.5. Validación de datos *162*

4.5.6. Diseño de cuneta de concreto en HEC-RAS *169*

DISCUSIÓN **188**

CONCLUSIONES **192**

RECOMENDACIONES **196**

REFERENCIAS **198**

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 *Cuadro resumen de la identificación de peligros* 5

Tabla 2 *Población en riesgo directa e indirectamente afectados* 6

Tabla 3 *Daños materiales por ubicación* 11

Tabla 4 *Matriz de Variables* 16

Tabla 5 *Clasificación de SUDS* 35

Tabla 6 *Sistema de Drenaje Convencional vs. Sistema SUDS* 38

Tabla 7 *Lineamientos y normativas* 43

Tabla 8 *Matriz de Estado del Arte* 50

Tabla 9 *Definición de tipologías factibles* 61

Tabla 10 *Tipologías recomendadas* 62

Tabla 11 *Criterios de selección de SUDS* 63

Tabla 12 *Matriz final de selección de tipologías* 64

Tabla 13 *Puntajes asignados según el desempeño para los procesos evaluados* 65

Tabla 14 *Preselección de tipologías de SUDS de acuerdo con la selección de áreas potenciales* 66

Tabla 15 *Restricciones recomendadas para la tipología propuesta* 66

Tabla 16 *Matriz de evaluación de tipologías seleccionadas según eficiencia de remoción de contaminantes* 67

Tabla 17 *Calificación tipologías según eficiencia de remoción de contaminantes y procesos de filtración y sorción* 68

Tabla 18 *Matriz de evaluación de tipologías seleccionadas según eficiencia de control de volumen de escorrentía* 68

Tabla 19 *Matriz de evaluación de tipologías seleccionadas según contribución a la amenidad y conflictos de uso* 69

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 20 *Matriz de evaluación de tipologías seleccionadas según frecuencia de mantenimiento* 69

Tabla 21 *Calificación tipologías según frecuencia de mantenimiento* 70

Tabla 22 *Matriz de evaluación de tipologías seleccionadas según costos* 70

Tabla 23 *Calificación tipologías según costos* 70

Tabla 24 *Puntajes asignados según el desempeño para los procesos evaluados* 71

Tabla 25 *Datos obtenidos de los ensayos de infiltración* 74

Tabla 26 *Estación "La Pampilla" - Precipitación máxima en 24 horas* 80

Tabla 27 *Estación "Huasacache" - Precipitación máxima en 24 horas* 81

Tabla 28 *Estación "Chiguata" - Precipitación máxima en 24 horas* 82

Tabla 29 *Factores de corrección altitudinal e influencia geográfica – Microcuenca 1* 85

Tabla 30 *Ecuaciones de precipitación de las estaciones en estudio en función de las estaciones base – Microcuenca 1* 85

Tabla 31 *Precipitación máxima en 24 horas (mm)– Microcuenca 1* 85

Tabla 32 *Factores de corrección altitudinal e influencia geográfica – Microcuenca 2* 86

Tabla 33 *Ecuaciones de precipitación de las estaciones en estudio en función de las estaciones base – Microcuenca 2* 86

Tabla 34 *Precipitación máxima en 24 horas (mm)– Microcuenca 2* 87

Tabla 35 *Factores de corrección altitudinal e influencia geográfica – Microcuenca 3* 87

Tabla 36 *Ecuaciones de precipitación de las estaciones en estudio en función de las estaciones base – Microcuenca 3* 88

Tabla 37 *Precipitación máxima en 24 horas (mm)– Microcuenca 3* 88

Tabla 38 *Factores de corrección altitudinal e influencia geográfica – Microcuenca 4* 89

Tabla 39 *Ecuaciones de precipitación de las estaciones en estudio en función de las estaciones base – Microcuenca 4* 89

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 40 *Precipitación máxima en 24 horas (mm)– Microcuenca 4* 89

Tabla 41 *Factores de corrección altitudinal e influencia geográfica – Microcuenca 5* 90

Tabla 42 *Ecuaciones de precipitación de las estaciones en estudio en función de las estaciones base – Microcuenca 4* 90

Tabla 43 *Precipitación máxima en 24 horas (mm)– Microcuenca 5* 91

Tabla 44 *Factores de corrección altitudinal e influencia geográfica – Microcuenca 6* 91

Tabla 45 *Ecuaciones de precipitación de las estaciones en estudio en función de las estaciones base – Microcuenca 6* 92

Tabla 46 *Precipitación máxima en 24 horas (mm)– Microcuenca 6* 92

Tabla 47 *Factores de corrección altitudinal e influencia geográfica – Microcuenca 7* 93

Tabla 48 *Ecuaciones de precipitación de las estaciones en estudio en función de las estaciones base – Microcuenca 7* 93

Tabla 49 *Precipitación máxima en 24 horas (mm)– Microcuenca 7* 93

Tabla 50 *Factores de corrección altitudinal e influencia geográfica – Microcuenca 8* 94

Tabla 51 *Ecuaciones de precipitación de las estaciones en estudio en función de las estaciones base – Microcuenca 8* 94

Tabla 52 *Precipitación máxima en 24 horas (mm)– Microcuenca 8* 95

Tabla 53 *Factores de corrección altitudinal e influencia geográfica – Microcuenca 9* 95

Tabla 54 *Ecuaciones de precipitación de las estaciones en estudio en función de las estaciones base – Microcuenca 9* 96

Tabla 55 *Precipitación máxima en 24 horas (mm)– Microcuenca 9* 96

Tabla 56 *Tramos 1 - M6, precipitaciones Diarias Máximas Probables para distintas frecuencias* 104

Tabla 57 *Tramos 2 - M5, precipitaciones Diarias Máximas Probables para distintas frecuencias* 104

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 58 *Tramos 3 - M1, precipitaciones Diarias Máximas Probables para distintas frecuencias* 104

Tabla 59 *Parámetros para Microcuenca 6* 111

Tabla 60 *M6-Cálculo de tiempo de concentración, Intensidad y Caudal máximo* 111

Tabla 61 *Parámetros para Microcuenca 5* 112

Tabla 62 *M5-Cálculo de tiempo de concentración, Intensidad y Caudal máximo* 112

Tabla 63 *Parámetros para Microcuenca 1* 113

Tabla 64 *M1-Cálculo de tiempo de concentración, Intensidad y Caudal máximo* 113

Tabla 65 *Valores del coeficiente de rugosidad n* 118

Tabla 66 *Restricciones mínimas y máximas para el pre-dimensionamiento* 120

Tabla 67 *Restricciones mínimas y máximas para el pre-dimensionamiento* 120

Tabla 68 *Criterios de calidad* 121

Tabla 69 *Criterios de hidrogeológicos y geomorfológicos* 121

Tabla 70 *Criterios de amenidad y aplicabilidad* 121

Tabla 71 *Criterios económicos* 122

Tabla 72 *Área a utilizar – Tramo 1* 125

Tabla 73 *Caudal pico – Tramo 1* 125

Tabla 74 *Caudal de verificación – Tramo 1* 126

Tabla 75 *Dimensionamiento – Tramo 1* 126

Tabla 76 *Área a utilizar – Tramo 2* 128

Tabla 77 *Caudal pico – Tramo 2* 128

Tabla 78 *Caudal de verificación – Tramo 2* 128

Tabla 79 *Dimensionamiento – Tramo 2* 128

Tabla 80 *Área a utilizar – Tramo 3* 130

Tabla 81 *Caudal pico – Tramo 3* 130

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Tabla 82 *Caudal de verificación – Tramo 3* 131

Tabla 83 *Dimensionamiento – Tramo 3* 131

Tabla 84 *Gradación granulométrica de la arena para la mezcla de la zona radicular de la cuneta verde* 151

Tabla 85 *Valores del coeficiente de rugosidad n* 170

Tabla 86 *Comparación de resultados obtenidos en InfoDrainage y HEC-RAS – Tramo 1*.. 185

Tabla 87 *Comparación de resultados obtenidos en InfoDrainage y HEC-RAS – Tramo 2*.. 185

Tabla 88 *Comparación de resultados obtenidos en InfoDrainage y HEC-RAS – Tramo 3*.. 186

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 *Déficit de infraestructura de largo plazo (millones de soles)* 4

Figura 2 *Quebradas que intersecan la Av.54* 7

Figura 3 *Quebradas que intersecan la Av.54* 8

Figura 4 *Mapa de la Red Vial – Cerro Colorado* 9

Figura 5 *Ejecución de una infraestructura de drenaje Pluvial por parte de la MDCC* 10

Figura 6 *Pilares del diseño de SUDS* 11

Figura 7 *Identificación de compones de las cuencas Hidrográficas* 30

Figura 8 *Estructuras del sistema de drenaje urbano sostenible* 34

Figura 9 *Diagrama de flujo metodológico* 48

Figura 10 *Boca de tormenta* 57

Figura 11 *Metodología de selección de tipologías de SUDS* 60

Figura 12 *Objetivos de selección de tipologías SUDS* 67

Figura 13 *Imagen satelital del polígono en Google Earth.* 76

Figura 14 *Delimitación de microcuencas en el área de estudio utilizando Global Mapper* ... 77

Figura 15 *Microcuencas seleccionadas correspondientes a la Av. 54* 78

Figura 16 *Parámetros hidro morfológico de las cuencas* 78

Figura 17 *Vista en planta del Tramo 1.* 99

Figura 18 *Pendiente y progresivas del Tramo 1.* 99

Figura 19 *Vista en planta del Tramo 2* 100

Figura 20 *Pendiente y progresivas del Tramo 2* 100

Figura 21 *Vista en planta del Tramo 3* 101

Figura 22 *Pendiente y progresivas del Tramo 3* 101

Figura 23 *Plano de áreas de aporte para cada uno de los tramos* 102

Figura 24 *Tramos 1-M6, resultado de prueba de bondad Klmogorov-Smirnov* 103

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Figura 25 *Tramos 2-M5, resultado de prueba de bondad Klmogorov-Smirnov* 103

Figura 26 *Tramos 3-M1, resultado de prueba de bondad Klmogorov-Smirnov* 103

Figura 27 *Tramos 1-M6, Curvas IDF* 107

Figura 28 *Tramo 2-M5, Curvas IDF* 107

Figura 29 *Tramo 3-M1, Curvas IDF* 108

Figura 30 *Coeficientes de escorrentía para ser utilizados en el Método Racional* 110

Figura 31 *Exportación de área de estudio – Google Earth* 114

Figura 32 *Curvas de Nivel* 115

Figura 33 *Creación de superficie* 116

Figura 34 *Sección transversal de cuneta verde* 117

Figura 35 *Importación de superficie* 134

Figura 36 *Subcuenca para el Tramo 1* 135

Figura 37 *Datos ingresados a la Subcuenca del Tramo 1 - Runoff* 136

Figura 38 *Datos ingresados a la Subcuenca del Tramo 1 – Advanced* 136

Figura 39 *Subcuenca para el Tramo 2* 137

Figura 40 *Datos ingresados a la Subcuenca del Tramo 2 - Runoff* 137

Figura 41 *Datos ingresados a la Subcuenca del Tramo 2 – Advanced* 138

Figura 42 *Subcuenca para el Tramo 3* 138

Figura 43 *Datos ingresados a la Subcuenca del Tramo 3 - Runoff* 139

Figura 44 *Datos ingresados a la Subcuenca del Tramo 3 – Advanced* 139

Figura 45 *Tramo 1 – Curvas IDF en Infodrainage* 140

Figura 46 *Tramo 2 – Curvas IDF en Infodrainage* 141

Figura 47 *Tramo 3 – Curvas IDF en Infodrainage* 141

Figura 48 *Tramo 1 – Curvas IDF en Infodrainage* 142

Figura 49 *Tramo 2 – Curvas IDF en Infodrainage* 143

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 50 *Tramo 3 – Curvas IDF en Infodrainage* 143

Figura 51 *Tramo 1 – Curvas IDF en Infodrainage* 144

Figura 52 *Tramo 1 – Curvas IDF en Infodrainage* 145

Figura 53 *Tramo 2 – Curvas IDF en Infodrainage* 145

Figura 54 *Tramo 3 – Curvas IDF en Infodrainage* 146

Figura 55 *Vista en planta de modelamiento tradicional existente* 147

Figura 56 *Resultados de sistema tradicional existente* 148

Figura 57 *Perfil hidráulico del sistema de drenaje tradicional existente* 149

Figura 58 *Parámetros de cuneta verde en base a InfoDrainage* 150

Figura 59 *Cuneta Tramo 1* 153

Figura 60 *Parámetros de diseño de cuenta verde – Tramo1* 153

Figura 61 *Sección transversal de la cuenta Tramo -01* 154

Figura 62 *Perfil Longitudinal de la cuneta verde - Tramo 1* 154

Figura 63 *Parámetros de diseño de cuenta verde – Tramo 2* 156

Figura 64 *Sección transversal de la cuenta Tramo -02* 157

Figura 65 *Perfil Longitudinal de la cuneta verde - Tramo 2* 157

Figura 66 *Parámetros de diseño de cuenta verde – Tramo 3* 159

Figura 67 *Sección transversal de la cuenta Tramo -03* 160

Figura 68 *Perfil Longitudinal de la cuneta verde - Tramo 3* 160

Figura 69 *Resultados InfoDrainage – Tramo 1* 162

Figura 70 *Hidrograma InfoDrainage – Tramo 1* 164

Figura 71 *Resultados InfoDrainage – Tramo 2* 165

Figura 72 *Hidrograma InfoDrainage – Tramo 2* 166

Figura 73 *Resultados InfoDrainage – Tramo 3* 167

Figura 74 *Hidrograma InfoDrainage – Tramo 3* 168

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Figura 75 *Perfil 3D de cuneta en HEC-RAS - Tramo 1* 172

Figura 76 *Perfil 2D de cuneta en HEC-RAS – Tramo 1* 173

Figura 77 *Caudal – Tramo 1* 173

Figura 78 *Ingreso de datos de cuneta tradicional aguas arriba – Tramo 1* 174

Figura 79 *Resultados de cuneta aguas arriba – Tramo 1* 174

Figura 80 *Ingreso de datos de cuneta tradicional aguas abajo – Tramo 1* 175

Figura 81 *Resultados de cuneta aguas abajo – Tramo 1* 175

Figura 82 *Velocidad y Número de Froude – Tramo 1* 176

Figura 83 *Perfil 3D de cuneta en HEC-RAS - Tramo 2* 176

Figura 84 *Perfil 2D de cuneta en HEC-RAS – Tramo 2* 177

Figura 85 *Caudal – Tramo 2* 177

Figura 86 *Ingreso de datos de cuneta tradicional aguas arriba – Tramo 2* 178

Figura 87 *Resultados de cuneta aguas arriba – Tramo 2* 178

Figura 88 *Ingreso de datos de cuneta tradicional aguas abajo – Tramo 2* 179

Figura 89 *Resultados de cuneta aguas abajo – Tramo 2* 179

Figura 90 *Velocidad y Número de Froude – Tramo 2* 180

Figura 91 Perfil 3D de cuneta en HEC-RAS - Tramo 3 180

Figura 92 *Perfil 2D de cuneta en HEC-RAS – Tramo 3* 181

Figura 93 *Caudal – Tramo 3* 181

Figura 94 *Ingreso de datos de cuneta tradicional aguas arriba – Tramo 3* 182

Figura 95 *Resultados de cuneta aguas arriba – Tramo 3* 182

Figura 96 *Ingreso de datos de cuneta tradicional aguas abajo – Tramo 3* 183

Figura 97 *Resultados de cuneta aguas abajo – Tramo 3* 183

Figura 98 *Velocidad y Número de Froude – Tramo 3* 184

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexos 1 *Estudio de suelos del expediente técnico de la obra "Mejoramiento de la vía de integración avenida 54 en el Cono Norte"* 209

Anexos 2 *Mapa de parámetros de las microcuencas* 215

Anexos 3 *Mapa de parámetros de las áreas de aporte y longitud de cause* 217

Anexos 4 *Sección transversal de cunetas* 219

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

INTRODUCCIÓN

El acelerado proceso de expansión urbana en Arequipa, sumado a la deficiente gestión y mantenimiento de su red de drenaje, ha generado diversos problemas asociados a la administración inadecuada de aguas pluviales. En el distrito de Cerro Colorado, una de las zonas con mayor expansión y densificación urbana, se presentan deficiencias significativas en la infraestructura destinada al control de escorrentías, especialmente en la Avenida 54, donde en la temporada de lluvias ocasiona el deterioro del pavimento, la obstrucción del tránsito vehicular y peatonal, y un aumento del riesgo de accidentes e impactos económicos.

Esta situación refleja la insuficiente capacidad hidráulica de las redes de drenaje tradicional frente a eventos pluviales intensos, lo que puso de manifiesto la importancia de implementar alternativas sostenibles que permitan mejorar la gestión del agua de lluvia y minimizar los efectos negativos sobre la infraestructura urbana y el entorno ambiental. Ante esta situación, los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) surgieron como propuesta avanzada que busca complementar la red de drenaje pluvial existente, reproduciendo las funciones naturales del ciclo hidrológico mediante el transporte, infiltración y uso controlado del recurso pluvial.

A diferencia del drenaje convencional, cuyo objetivo principal es evacuar rápidamente el agua hacia colectores subterráneos, los SUDS promueven un visión integral y responsable con el entorno, contribuyendo no solo a mitigar la vulnerabilidad ante desbordes hídricos, sino potenciar la biodiversidad urbana y potenciar la capacidad de recuperación ante las alteraciones climáticas. No obstante, hasta ahora en territorio peruano no existe una legislación dedicada al diseño o implementación de los SUDS, lo que convierte a esta investigación en un aporte que busca adaptar los principios internacionales al contexto hidrológico, topográfico y urbano de Arequipa.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Este estudio tiene como propósito diseñar un sistema urbano de drenaje sostenible adaptado a las condiciones hidráulicas, topográficas y urbanas de la Avenida 54, que funcione como complemento a la infraestructura pluvial actual, con el fin de optimizar el manejo de agua pluvial, mejorar la seguridad vial y promover una infraestructura verde y resiliente en el distrito de Cerro Colorado. La propuesta pretende servir como referencia técnica para futuras intervenciones urbanas en la ciudad, estimulando la adopción de estrategias ecológicas en la infraestructura de la ciudad.

La presente investigación se estructura en cinco capítulos, organizados de manera secuencial para facilitar la comprensión del estudio y la propuesta desarrollada. El Capítulo I presenta el planteamiento del problema, en el cual se describe la situación problemática identificada en el área de estudio, así como la formulación de los objetivos, la hipótesis y la justificación de la investigación. El Capítulo II desarrolla el fundamento teórico, abordando los antecedentes nacionales e internacionales y los principales conceptos relacionados con la hidrología urbana, el drenaje pluvial y los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible. En el Capítulo III se describe la metodología empleada, detallando el tipo y diseño de investigación, los métodos, técnicas y herramientas utilizadas para el análisis hidrológico e hidráulico. El Capítulo IV presenta y analiza los resultados obtenidos, incluyendo el diseño y modelamiento del sistema propuesto, así como la evaluación comparativa entre el sistema de drenaje pluvial tradicional y la alternativa basada en SUDS. Finalmente, el Capítulo V expone las conclusiones y recomendaciones del estudio, destacando los principales aportes y la viabilidad de la propuesta para su aplicación en contextos urbanos similares.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

CAPÍTULO I: ASPECTOS GENERALES

1. PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA

1.1. Problemática de la investigación

1.1.1. Problema general

La institución global de meteorología (OMM) indica el incremento de fenómenos asociados al agua, como inundaciones, tormentas y sequías, han sido tendencia preocupante durante las últimas cinco décadas, tanto en víctimas humanas como en daños económicos (OMM, 2021).

Según la información que desprendía un extracto del Atlas de Mortalidad y Pérdidas Económicas por Fenómenos Meteorológicos, se mostró que los peligros asociados a fenómenos del clima y el agua representaban la mitad de todas las catástrofes, el 45% de las víctimas mortales y el 74% de los daños económicos documentadas a escala mundial dentro de los últimos 50 años (OMM, 2021).

Durante el año 1800, apenas el 1% de los habitantes del mundo residían en localidades urbanas con más de 10 000 residentes. Sin embargo, para 1960, la cifra aumentó al 20%. Las proyecciones indican que en 2025 alcanzará el 65%. Este patrón de urbanización ha precipitado un aumento gradual de la complejidad respecto a la planificación de infraestructuras, particularmente dentro de sectores vinculados a la administración del agua (Suárez et al., 2010)

El último reporte del Grupo Intergubernamental de Expertos concluyó que la temperatura global está 1,1°C, y se prevé que alcance o exceda el umbral crítico 1,5°C para 2035 (Carrere, 2021).

Según comunicó la Prensa de la OMM confirmo que el 2023 fue el año extremadamente cálido registrado, con un promedio anual de temperatura de 1,45 °C ± 0,12 °C en comparación a los niveles alcanzados en la época preindustrial (1850 – 1900) en todo el planeta.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

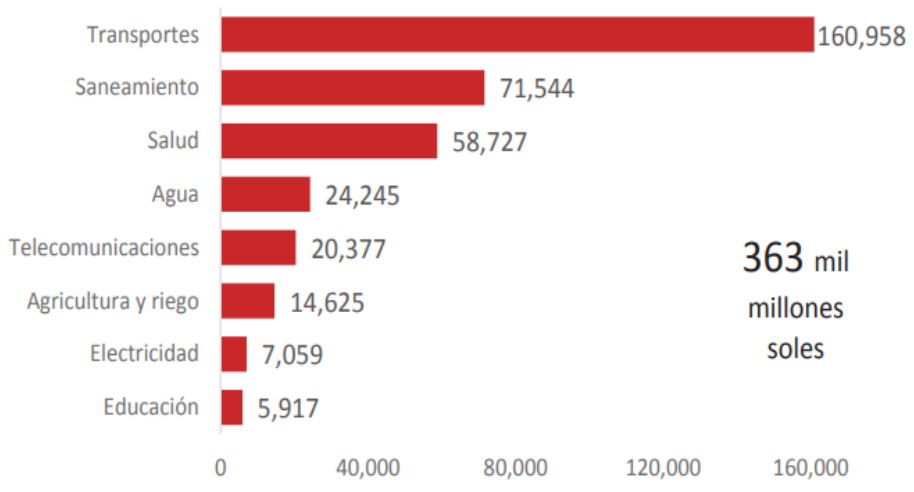
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

El Artículo 5 de la Ley N°29664, indica que todas las entidades públicas sin distinción de su nivel de gobierno deben incorporar la Gestión del Riesgo de Desastres en sus procesos de planificación, teniendo la obligación de reducir los riesgos vinculados a sus actividades y prevenir la aparición de nuevos riesgos (INDECI, 2011).

Estimaciones a largo plazo para 2019 situaron el déficit de infraestructura básica de acceso en S/ 363,452 millones. Este grado de inversión era necesario para equipar la infraestructura básica de acceso de grupos de naciones más desarrolladas, como la OCDE, según la PNIC 2019. Transporte representaba el 44% del déficit, seguido de cerca por Saneamiento (20%), Salud (16%) y Agua (7%) (MEF, 2022).

Figura 1

Déficit de infraestructura de largo plazo (millones de soles)



Nota. El gráfico fue extraído del Plan Nacional de Infraestructura Sostenible para la Competitividad 2022 – 2025 (MEF, 2022).

1.1.2. Problema específico

Durante el verano, Arequipa, destacada dentro del contexto urbano peruano, se veía afectada debido a intensas lluvias. Estas precipitaciones aumentaban el riesgo de contaminación en áreas propensas a infecciones, generaban daños en el pavimento que pueden causar accidentes, y crean dificultades para los transeúntes. Todos estos escenarios representaban

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

pérdidas tanto económicas como humanas. Esto resaltaba la incapacidad de las autoridades locales no contaban con los recursos ni las políticas necesarias para regular esta problemática.

De acuerdo con el Plan de Prevención y Reducción de Riesgo de desastres del Distrito de Cerro Colorado (PPRRD-DCC) una parte importante de las zonas urbanizadas estaba compuesta por vías impermeables o de muy baja permeabilidad (MDCC, 2018).

Una gran porción de los eventos relacionados con la obstrucción y el colapso de alcantarillas se originan por la deficiencia de la infraestructura pluvial y a la gestión incorrecta de estas estructuras (Campos, 2023).

En Arequipa Metropolitana, Cerro Colorado es el distrito con mayor tasa de aumento de poblacional y urbanización. También se encontraba entre los distritos más peligrosos debido a su ubicación, el uso inadecuado del suelo, la mala planificación y las acciones para mitigar desastres mal aplicadas. La región, los habitantes y sus medios de subsistencia habían quedado altamente vulnerables por la carencia de comprensión sobre los peligros naturales y actividades humanas, al igual que la elevada frecuencia de catástrofes naturales. En última instancia, esto había provocado un aumento de riesgo y un desarrollo insostenible del área (MDCC, 2018).

Por ello, se detalla en el cuadro de identificación de peligros que el riesgo principal es la geodinámica externa e hidrometereológicos la cual involucraba huaicos, inundaciones y erosión, generando un grado de peligro muy alto, puesto a que el DCC se sitúa en la Zona 4 según la Zonificación Sísmica caracterizada por elevada actividad sísmica.

Tabla 1

Cuadro resumen de la identificación de peligros

Origen	**Peligros**	**Recurrencia**	**Periodo**	**Nivel de peligrosidad**
Geodinámica interna	Sismos	Alta	Inesperado	Alto
Geodinámica externa y hidrometeorológicos	Deslizamiento de lodo (Huaicos), eventos de inundación y	Muy Alta	Anual	Muy Alto

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

	procesos erosivos.			
Geodinámica interna	Erupciones Volcánicas	Baja	Inesperado	Medio
Inducidos por la actividad humana	Incendios	Media	Inesperado	Medio
	Contaminación	Alta	Permanente	Alto

Nota. La tabla adaptada del PPRRD-DCC 2018-2026 (MDCC, 2018).

Según el PPRRD-DCC 2018-2026, el flujo y escorrentía de agua pluvial que degradaba la superficie representaba un peligro para las viviendas ubicadas en la cercanía a las quebradas. El periodo principal de máxima precipitación ocurría en el periodo de febrero a marzo, en este lapso se producían inundaciones en asentamientos humanos e infraestructuras de productivas, poniendo en riesgo las vidas humanas y provocando así la suspensión de servicios esenciales (MDCC, 2018).

La siguiente tabla especifica la vulnerabilidad ante las precipitaciones en el DCC, considerando tanto a la población en riesgo directo como indirecto. En la Tabla 2 se detalla la localidad, la quebrada asociada, el tipo de riesgo y el número de habitantes afectados, con un total de 6116 personas expuestas a posibles impactos por eventos pluviales.

Tabla 2

Población en riesgo directa e indirectamente afectados

Localidad	**Quebrada**	**En riesgo**	**N° de habitantes en riesgo directamente afectado**	**N° de habitantes en riesgo indirectamente afectado**	**Total de habitantes afectados**
Zona 9 Ciudad Municipal	Afluente quebrado Añashuayco - margen derecha	200	1000	1330	2330
Puente Añashuayco (aguas arriba) Villa San Juan Canteras	Añashuayco - afluentes (margen derecha) Puente Añashuayco	25	75	100	175

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Mz. A Zona 3 y 4 García Calderón y Asoc. V. el Salvador	Afluente quebrada Azufral (parte alta), Mz A Zona 3 y 4 García Calderón	25	125	166	291
Asoc. Fuerte Monzón	Afluente quebrado Añashuayco - margen izquierdo - Fuerte Monzón	20	100	133	233
Vía 54 Andrés Avelino Cáceres y Magisterial	Azufral vía 54	20	100	133	233
Amazonas	Afluente quebrada Tucos - sector Amazonas	200	1000	1330	2330
Aeropuerto y Villa Continental	Gamarra - sector Aeropuerto y Villa Continental	45	225	299	524
TOTAL		**535**	**2625**	**3491**	**6116**

Nota. Tabla extraída del PPRRD-DCC 2018-2026 (MDCC, 2018).

Donde la Av. 54 se encontraba involucrada con 233 habitantes posiblemente afectados. Esto es resultado del crecimiento desordenado, donde las construcciones se localizaban en sectores de alto riesgo, tal como sucedía en lechos de quebradas que la intersecan, que eran empleados para desechar residuos sólidos y escombros. Esto manifestaba la deficiente gestión organizacional, falta de cultura de prevención y convivencia del DCC (MDCC, 2018).

Figura 2

Quebradas que intersecan la Av.54



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA



Nota. Fotos tomadas de las quebradas existentes en la Av. 54.

Con una extensión de 5.14 km la Av. 54 forma parte de las vías de acceso al DCC, siendo una Red Vial departamental, teniendo como fin interconectar vialmente con el Distrito de Cayma. Sin embargo, en el 2021 se firmó un convenio entre ambos distritos para elaborar el expediente técnico para la segunda etapa que constaba de un puente y vías complementarias que articularán la Vía 54, parte del Eje Residencial, y que enlazaría a ocho distritos.

Figura 3

Quebradas que intersecan la Av.54



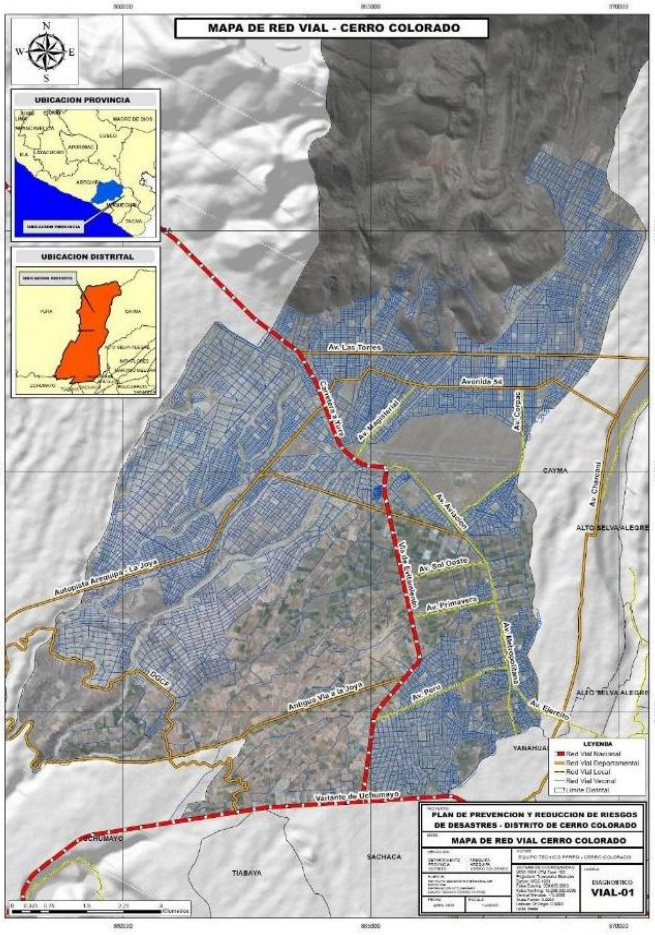
Nota. Elaboración propia a partir de imágenes satelitales obtenidas de Google Earth (2025).

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 4

Mapa de la Red Vial – Cerro Colorado



Nota. Plano extraído del PPRRD-DCC 2018-2026 (MDCC, 2018).

La zona presenta una notoria insuficiencia de bocas de tormenta destinadas al drenaje pluvial, lo cual agrava la acumulación de aguas durante eventos de lluvia. Tal situación se evidencia en la fotografía referencial, donde se observa la limitada presencia de estos elementos hidráulicos en el área de estudio. Asimismo, se identificó que las últimas bocas de tormenta existentes fueron instaladas recientemente, específicamente en junio del 2023, como parte de las intervenciones ejecutadas por la Sub-Gerencia de Mantenimiento de Infraestructura y Vías de la Municipalidad Distrital de Cerro Colorado (MDCC), quienes las implementaron con medios propios. A pesar de ello, la infraestructura actual continúa siendo insuficiente para atender la demanda hidráulica generada en la zona urbana.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 5

Ejecución de una infraestructura de drenaje Pluvial por parte de la MDCC



Nota. Extraída de la red social Facebook de la Municipalidad Distrital de Cerro Colorado.

Por lo expuesto, se hacía notable la demanda de un Plan Integral de Drenaje Pluvial no solo para el DCC, sino para la ciudad de Arequipa para que se pudiera minimizar los daños de las precipitaciones pluviales. Es crucial que tanto los gobiernos locales como el gobierno regional aprueben y lleven a cabo un presupuesto anual que garantice el mantenimiento regular, poniendo especial énfasis en realizarlo antes de la temporada de lluvias.

1.2. Justificación de la investigación

La brecha de conocimiento abordado en este estudio se focaliza en la integración de SUDS con el fin de completar el sistema de drenaje pluvial existente en la Av. 54, con el propósito de mejorar su rendimiento frente a eventos de precipitaciones extremas. Este enfoque busca optimizar el funcionamiento del sistema tradicional mediante soluciones sostenibles que favorezcan la regulación del caudal superficial.

El estudio se desarrolla en la ciudad de Arequipa, dentro del ámbito del DCC, donde se ha identificado una problemática recurrente de anegamientos durante periodos de lluvia. Según el Centro de Operaciones de Emergencia Regional (COER), a través de la Evaluación de Daños y Análisis de Necesidades (EDAN), se han registrado afectaciones en la zona, tal como se detalla en la Tabla 3, lo cual evidencia la importancia de aplicar estrategias adicionales para una gestión pluvial más eficiente y sostenible.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 3

Daños materiales por ubicación

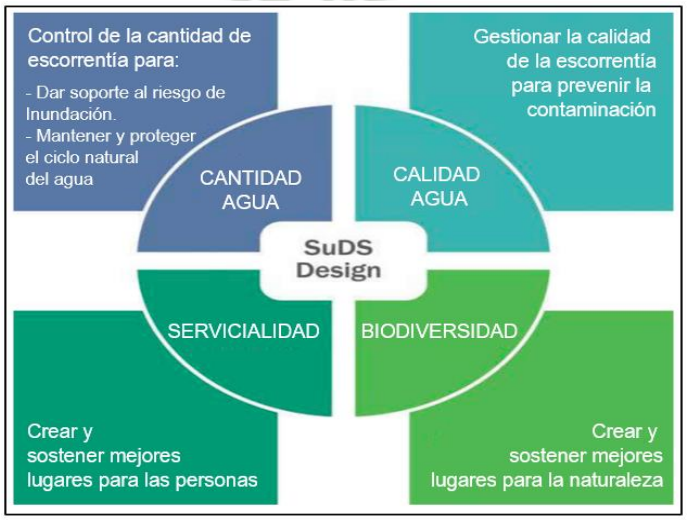
Ubicación	Vida y salud		Daños Materiales		
			Vivienda		Infraestructura de Transporte
	Damnificada	Afectada	Inhabitable	Afectada	Camino Rural Afectado (km)
Dist. Cerro Colorado	2	6	1	3	5

Nota. Extraído del Reporte complementario N° 118 - 04/03/2025 COER-GRA/11:00 horas-Reporte N°01 (INDECI, 2025).

Según detalla los pilares de diseño de SUDS, estos permiten reproducir el ciclo hidrológico, el cual tiene como finalidad preservar los ecosistemas, incorporar las aguas pluviales al entorno urbano, controlar y gestionar eficientemente el volumen de escorrentías urbanas, disminuyendo su generación y aumentando la resiliencia de los sistemas de drenaje tradicionales. Beneficiando así a la sociedad mediante la mejora y valoración del paisaje urbano al resaltar los beneficios para los ciudadanos, así como para la biodiversidad en el ecosistema del país.

Figura 6

Pilares del diseño de SUDS



Nota. El gráfico fue extraído de The SUDS Manual (CIRIA, 2015).

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Las lluvias intensas tienen un impacto en los sectores ambiental, social, económico, tecnológico y político institucional; por esta razón, es fundamental gestionarlas para conservar el entorno natural y potenciar el bienestar humano. A continuación, se precisan algunos aspectos que justifican la investigación en distintos ámbitos.

1.2.1. Ambiental

Actualmente el agua pluvial se considera un recurso esencial, teniendo en cuenta esto se debe aprender a manejarla, ya que puede mejorar la biodiversidad, estética y tranquilidad de diferentes lugares, haciéndolos más resistentes a los efectos del calentamiento global, donde la misión de SUDS se centra en atenuar y reducir el volumen que se escurre del agua superficial en un área, gestionando la susceptibilidad a inundaciones y reduciendo el peligro de que esa escorrentía cause contaminación. La manera de alcanzar ese objetivo es a través del proceso de infiltración, recolección, transporte y tratamiento del agua pluvial, siendo así como el agua se torna la parte más visible y tangible del entorno (CIRIA, 2015).

1.2.2. Social

Según define el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), la sostenibilidad social es una de las dimensiones de la infraestructura sostenible la cual implica que esta fuera inclusiva, es decir, accesible e incluya a las comunidades y partes afectadas. De este modo, se puede elevar el bienestar social y la calidad de vida en el lapso de vigencia del proyecto (MEF, 2022). El impacto de SUDS no solo se enfoca en la creación de un área versátil que es capaz de disminuir los problemas de inundación, sino que también sirve como un recurso educativo para los ciudadanos, aumentando la conciencia ambiental y fortaleciendo de la resiliencia comunitaria.

1.2.3. Económica

Otra de las dimensiones del BID era la sostenibilidad económico-financiera, siendo la habilidad de producir una utilidad económica neta positiva, valorando los aspectos favorables

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

y requerimientos económicos durante el periodo completo de funcionamiento del proyecto (MEF, 2022). Al cambiarse el enfoque del manejo de agua no es la única estrategia para abordar el cambio climático, en su lugar, la creación de una estrategia holística que integre a diversos sectores económicos y partes interesadas, que abarque tanto a entidades públicas como privadas y que disponga de una inversión sustancial, establece las bases para soluciones sostenibles en la adaptación al cambio climático (Pangetsu, 2023).

1.2.4. Tecnológica

De acuerdo con el Plan Nacional de Infraestructura Sostenible para la Competitividad 2022-2025, para la innovación tecnológica se debe adaptar políticas, normativas y procedimientos que puedan aportar de forma relevante. Esto se refleja en la optimización de la eficiencia, aumento en el rendimiento y los estándares de servicio, en la disminución de costos de inversión, operación y mantenimiento (MEF, 2022). Es por ello por lo que los SUDS tienen con el objetivo de replicar de forma más natural ciclo del agua para aminorar los problemas de la escorrentía urbana, ya que con su implementación se obtendrá una buena calidad del recurso hídrico que, en comparación con un drenaje convencional, reducirá la carga de contaminantes, mantendrá las funciones hidrológicas naturales y disminuirá la probabilidad de que ocurran inundaciones por medio de la reducción de caudales pico en distintos periodos.

1.2.5. Político/institucional

Es crucial destacar que, en la actualidad, en el Perú, los criterios para establecer los proyectos de drenaje pluvial urbano en base a la Norma Técnica CE.040 Drenaje Pluvial del RNE. Esto se debe a la escasa disposición de las autoridades para adoptar soluciones sustentables que se aplican globalmente. En respuesta a esta situación y a la urgente gestionar las precipitaciones en el Perú, se fomenta la puesta en marcha de drenajes pluviales desde una óptica que integra aspectos medioambientales, hidrológicos y sociales, incorporando la integración de SUDS.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Proponer un Sistema Urbano de Drenaje Sostenible para una correcta gestión de agua pluvial en la Av. 54 del DCC.

1.3.2. Objetivos específicos

- Identificar la importancia de los Sistemas Urbano de Drenaje Sostenible mediante análisis de información y marco normativo.
- Verificar la mejor alternativa de Sistema Urbano de Drenaje Sostenible para evitar inundaciones de aguas pluviales en la Av. 54.
- Diseñar un sistema basado en SUDS para reducir el riesgo de inundaciones en la Av. 54, DCC en temporada de precipitaciones altas.

1.4. Hipótesis

La implementación de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) en la Av. 54 del DCC, Provincia y Departamento de Arequipa promueve el uso y manejo eficiente de aguas pluviales, mejorando la sostenibilidad ambiental y la resiliencia de las áreas urbanas, en respuesta a eventos climáticos emergentes.

1.5. Alcances y limitaciones

1.5.1. Limitaciones

- La implementación de los SUDS no busca reemplazar las soluciones tradicionales basadas en cunetas, cuyo uso es predominante en carreteras.
- Posiblemente una implementación adecuada de los SUDS podría sustituir las cunetas tradicionales en entornos urbanos.
- El planteamiento eficiente de los SUDS como propuesta de solución debe estar vinculado a un PPRRD-DCC.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

- Diversas soluciones aplicadas en otros países gestionan este problema a nivel macro asociado a otras tecnologías que debería tenerse en cuenta pero que no están consideradas debido al costo de su implementación.
- La accesibilidad y fiabilidad de los datos hidrológicos empleados dependen de la instrumentación proporcionada por el SENAMI y de los datos disponibles en el periodo de estudio.

1.5.2. Alcances

- El alcance será en la Av. 54 del Distrito de Cerro Colorado en la Provincia Arequipa, Región Arequipa.
- El impacto estará vinculado a la planificación del desarrollo en la parte urbana en la zona de intervención.
- La propuesta se formulará de acuerdo con la legislación vigente, específicamente bajo los lineamientos de la NTP CE.040, el Decreto Supremo N° 014-2021-VIVIENDA, que aprueba el Código Técnico de Construcción Sostenible, y el Decreto Supremo N° 011-2015-VIVIENDA, que regula el Reglamento Nacional de Edificaciones

1.6. Variables

La Tabla 4 presenta el conjunto de variables definidas en esta investigación, especificando el tipo de variable, su indicador, categoría y escala. Esta información es clave para orientar el análisis y garantizar coherencia con los objetivos y la metodología propuesta.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 4

Matriz de Variables

Variable	Tipo de Variable	Indicador	Categoría	Escala
SUDS: Sistema que facilita el control, planeación y diseño en el control en la administración de agua pluvial en áreas urbanas (Sanguino & Gómez, 2020).	Independiente	Capacidad de retención de agua Tipologías de SUDS Reutilización de agua pluvial	Volumen	Cuantitativo intervalo
Manejo de agua pluvial: Se enfoca en controlar la cantidad de escorrentía y la mejora de la calidad del agua (Pimentel da Silva & Souza, 2020)	Dependiente	Coeficiente de escorrentía Caudal de diseño Tasa de infiltración de agua pluvial	Porcentaje	Cuantitativo intervalo

Nota. Elaboración propia.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

CAPITULO II: FUNDAMENTO TEÓRICO

2. FUNDAMENTO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. Antecedentes Internacionales

La investigación realizada por Ojeda de la Cruz et al. (2020), cuyo objetivo principal fue establecer un sistema de drenaje pluvial basado en criterios de sostenibilidad para el campus Hermosillo de la Universidad de Sonora. Esta iniciativa surgió como respuesta al problema recurrente de inundaciones que afectan tanto la movilidad peatonal como vehicular dentro del campus durante la temporada de lluvias. El estudio se enfocó en aprovechar el agua de lluvia como recurso hídrico, proponiendo soluciones replicables en otros entornos universitarios. La metodología empleada fue de tipo aplicada, desarrollada en varias etapas. Se recolectó una base de datos de precipitaciones máximas diarias correspondientes a 34 años (1982-2015) provenientes de la estación meteorológica Observatorio de Hermosillo. Con base en esta información, se identificaron y delimitaron doce microcuencas de influencia (nueve internas y tres externas), sobre las cuales se determinaron los caudales de escorrentía empleando el método racional, considerando un periodo de retorno de 10 años. Posteriormente, se diseñó una red de drenaje a través de tuberías de PVC, bocas de tormenta y cisternas, complementada con un sistema de aprovechamiento del agua a través de un canal de tierra y pozos de infiltración. Entre los resultados más destacados se encuentra el diseño de un sistema hidráulico funcional que permite conducir un caudal máximo de 3.0 m^3/s, garantizando una velocidad adecuada del flujo (1.3 m/s) que favorece la infiltración al subsuelo. Asimismo, se propusieron cuatro cisternas para almacenar el agua recolectada y canales de suelo natural que permiten la percolación directa del agua al acuífero local. El estudio también identificó que el estrato permeable inicia a 3.5 metros de profundidad, lo que facilita el proceso de recarga hídrica. La principal conclusión del estudio es que SUDS es viable y efectiva a fin de mitigar los impactos de las

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

inundaciones en zonas urbanas, particularmente en espacios educativos como campus universitarios. Además, se fomenta una gestión integrada del recurso hídrico al captar, conducir, infiltrar y reutilizar el agua pluvial, generando beneficios ambientales y sociales. Este enfoque constituye una alternativa sustentable frente a los sistemas de drenaje convencional y establece un modelo de referencia para la planificación urbana resiliente al cambio climático.

D'Ambrosio & Longobardi (2023)este estudio tuvo como objetivo evaluar estrategias integradas de drenaje urbano orientado a minimizar la vulnerabilidad frente a eventos de inundación en Sesto Ulteriano, al norte de Italia. La investigación comparó cuatro escenarios: el tradicional (BAU), uno con infraestructura verde (GDS), otro con zonas de control de inundaciones (FDS), y un enfoque combinado (GFDS). Las simulaciones se realizaron con el modelo SWMM5, evaluando el comportamiento hidráulico frente a lluvias con periodo de retorno de 2, 5 y 10 años. Se consideraron variables como caudales y volúmenes excedentes, el inicio del escurrimiento y el momento del pico de caudal. Para una evaluación integral, se propuso el Índice de Mitigación de Riesgo Hidráulico (HRMI), que permitió cuantificar el desempeño de cada estrategia. Los resultados indicaron que el enfoque combinado GFDS fue el más eficiente, eliminando los excesos de caudal y volumen incluso en lluvias intensas y logrando demoras significativas en el inicio y el pico del escurrimiento. El escenario GDS también fue altamente efectivo bajo precipitaciones moderadas, destacando por su capacidad de retención mediante zanjas de infiltración, jardines de lluvia y pavimentos permeables. Por parte del FDS, aunque menos eficaz, logró reducciones importantes del volumen excedente con menor inversión, por lo que representa una opción viable en contextos con recursos limitados. En términos generales, la investigación evidencia que las estrategias integradas de drenaje sostenible, especialmente las que combinan retención y detención, son soluciones eficaces, adaptables y sustentables frente al cambio climático y al crecimiento urbano. Además, el uso

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

del HRMI representa un recurso útil que contribuye al proceso de tomas de decisiones en materia de gestión de aguas pluviales urbanas.

El estudio elaborado por Tarazona Tobo et al. (2021)tuvo como objetivo analizar los SUDS como una solución alternativa integral frente al modelo tradicional de drenaje urbano. Mediante una revisión bibliográfica exhaustiva, los autores exploraron los aspectos relacionados con el desempeño técnico y los beneficios sociales, paisajísticos y ambientales de estas soluciones. El artículo describe la evolución histórica del drenaje sostenible, desde prácticas antiguas en civilizaciones como la romana y la maya, hasta su implementación moderna en países como España, Francia, Australia y Colombia. Se identificaron diversas tipologías de SUDS, incluyendo jardines de lluvia, zanjas de infiltración, techos verdes, bioretención y pavimentos permeables, resaltando su capacidad para reducir caudales pico, facilitar la infiltración, optimizar la calidad del recurso hídrico y aportar valor estético al entorno urbano. Los autores concluyen que los SUDS no solo representan una respuesta técnica eficiente en respuesta al cambio climático y al aumento progresivo de la impermeabilización de las ciudades, sino también una estrategia urbana que mejora la resiliencia hídrica, la habitabilidad y la sostenibilidad. Recomiendan fomentar su aplicación en América Latina mediante políticas públicas, normativas técnicas e investigación aplicada que facilite su integración en la planificación urbana local.

El estudio realizado por Javan et al. (2025) tuvo como objetivo diseñar estrategias óptimas de Desarrollo de Bajo Impacto (LID) orientada a la gestión sostenible del agua de lluvia en áreas urbanas. La investigación se desarrolló en el Distrito 11 de Teherán, caracterizado por una alta densidad urbana y problemas de escorrentía superficial. El enfoque del estudio se centró en reducir simultáneamente la cantidad de agua de escorrentía, el flujo máximo y gastos relacionados con la ejecución de estrategias sostenibles. La metodología integró el modelo hidrológico SWMM con el algoritmo de optimización multiobjetivo MOEA/D. Esta

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

combinación permitió evaluar diferentes configuraciones de tecnologías LID, como barriles de lluvia, celdas de bioretención, techos verdes y pavimentos permeables. Posteriormente, se aplicó el método multicriterio TOPSIS para identificar las alternativas con mejor desempeño técnico y económico. Los resultados indicaron que el escenario S2_1, que combina barriles de lluvia con bioretención, logró una reducción del 19.34 % en el volumen de escorrentía y del 46.53 % en el caudal pico, con un costo estimado de 123 169 USD. Por su parte, el escenario S3_1 (barriles de lluvia + pavimentos permeables) mostró un desempeño hidráulico similar, pero con un costo menor de 107 017 USD. En resumen, la investigación revela que el uso integrado de herramientas como SWMM, algoritmos evolutivos como MOEA/D y métodos de priorización como TOPSIS permite optimizar la planificación de SUDS de forma eficiente. Este enfoque constituye un instrumento útil para respaldar la toma de decisiones en entornos urbanos, permitiendo seleccionar estrategias sostenibles que equilibren el rendimiento hidráulico y la viabilidad económica, contribuyendo así a una mayor resiliencia frente al cambio climático.

Un estudio destacado de Seyedashraf et al. (2021) presenta un enfoque avanzado de optimización “many-objective” para diseñar SUDS, teniendo en cuenta los parámetros esenciales como volumen y duración de inundación, caudal pico, niveles de contaminación por sólidos y costos de inversión. El análisis se aplicó a escenarios sintéticos con diferentes pendientes en áreas urbanas, utilizando el modelo SWMM para simular el comportamiento hidrológico y un algoritmo evolutivo para generar portafolios de soluciones Pareto-óptimas. Además, incorporaron herramientas visuales como diagramas paralelos y mapas de distribución espacial para representar cómo varían las configuraciones óptimas según la pendiente del terreno. Los resultados fueron contundentes: las zonas inclinadas demandan mayor cobertura de infraestructuras verdes, implicando mayores costos, pero también entregan mayor eficacia en el control de inundaciones y reducción de contaminantes, alcanzando una disminución del

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

77 % en volumen de escorrentía y del 70 % en sólidos suspendidos totales. El estudio también mostró que, con una inversión de 3,78 millones USD, es posible reducir significativamente los impactos hidráulicos en áreas vulnerables. Finalmente, los autores advierten que no es viable aplicar un diseño "universal" para todas las pendientes urbanas; por el contrario, es necesario desarrollar SUDS adaptados, que consideren las condiciones topográficas locales, la distribución del riesgo hídrico y las desigualdades urbanas existentes. Este enfoque evidencia la relevancia de incorporar criterios topográficos, hidrológicos y de equidad ambiental en la planificación urbana sostenible, garantizando la distribución equitativa de los beneficios de los SUDS y un diseño acorde con las condicione y requerimientos del territorio. Así, el estudio contribuye al fortalecimiento desarrollo de ciudades más resilientes, inclusivas y eficientes ante los desafíos climáticos contemporáneos.

Un antecedente europeo contemporáneo corresponde al estudio desarrollado de Lähde et al. (2023), cuyo objetivo fue evaluar las sinergias potenciales entre la administración de las escorrentías pluviales y otros servicios ecosistémicos proporcionados por soluciones basadas en la naturaleza (NBS) en áreas urbanas. Usaron como caso de estudio el distrito de Malmi en Helsinki (Finlandia), explorando cinco escenarios distintos de NBS con distintos grados de integración. El enfoque central fue comparar dos herramientas analíticas: el modelo SWMM para simulaciones detalladas de escorrentía, y el factor de área verde distrital (Green Area Factor for Districts, GAFD) para una evaluación más integral y simplificada en fases tempranas de planificación urbana. La metodología consistió en el análisis comparativo de ambos métodos. Por un lado, se ejecutaron simulaciones con SWMM para cuantificar eficiencias hidráulicas y reducción de caudal pico bajo diferentes contextos de cobertura vegetal. Por otro, se aplicó el GAFD, una herramienta de evaluación cualitativa que permite estimar el aporte de los NBS no solo al control de inundaciones, sino también a servicios como regulación del microclima, biodiversidad y calidad de vida urbana. De manera complementaria, compararon

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

resultados para tormentas de intensidad común. Los resultados confirmaron que los escenarios con factores verdes elevados presentaron una mejor gestión del riesgo de inundaciones, reduciendo el caudal pico y promoviendo una mayor infiltración y retención de agua. Asimismo, se observó que, en eventos pluviales moderados, los resultados del GAFD estaban alineados con los obtenidos por SWMM, lo que destaca su valor como herramienta rápida y económica para planificación inicial. Además, los escenarios con mayor diversidad y proporción de NBS mostraron mejores aportes a otros servicios ecosistémicos: regulación térmica, hábitat para fauna y beneficio estético urbano. En conclusión, el estudio demuestra que tanto el SWMM como el GAFD son valiosos para planificar soluciones SUDS y NBS en ambientes urbanos. El primero ofrece precisión técnica y análisis detallados; el segundo, simplicidad operativa y visión holística de beneficios ecosistémicos. El trabajo subraya que una combinación equilibrada de estos métodos, aplicada a escenarios con alta cobertura verde y diversidad de NBS, permite a los planificadores anticipar soluciones sostenibles más resilientes, económicas y beneficiosas para la calidad de vida en contextos de densificación urbana.

Un estudio aplicado en Villa de Álvarez, Colima (México), efectuado por Figueroa-Avalos et al. (2024), comparó la eficiencia de dos técnicas SUDS barriles de lluvia (BLL) y techos verdes (TV) con el propósito de disminuir escorrentías en un contexto de condiciones climáticas cálidas subhúmedas. El objetivo fue determinar cuál estrategia logra reducir más efectivamente el volumen y caudal de aguas pluviales bajo eventos críticos. Mediante el uso del modelo SWMM, los investigadores simularon tres escenarios en seis subcuencas de un sector residencial urbano de 3.8 hectáreas: sin intervención, con BLL, y con TV. Los parámetros técnico-operativos (capacidad de los barriles, espesor y estructura del sustrato de los techos, porosidad, condiciones hidráulicas) fueron configurados detalladamente, complementados con datos geoespaciales e históricos de precipitación (1975–2017). La simulación contempló lluvias con retornos de 2, 5 y 10 años, evaluándose parámetros como volumen de escorrentía y caudal

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

máximo coeficiente de escurrimiento. Los resultados indicaron que, bajo el evento más extremo, los BLL redujeron el volumen en un 14.36 %, mientras los TV alcanzaron un 26.40 %, destacándose significativamente. Además, en la subcuenca tres, los BLL disminuyeron el caudal pico en un 36.93 %, frente al 57.02 % obtenido con techos verdes. Adicionalmente, en lluvias con retorno de 2 años, los BLL alcanzaron eficiencias hasta del 70.62 %, aunque en precipitaciones severas (10 años) los TV demostraron mayor desempeño (60.81 %). Estos hallazgos confirman que los techos verdes son más eficaces en eventos extremos, mientras que los barriles de lluvia ofrecen alternativas valiosas en eventos moderados o de menor intensidad. En conclusión, el estudio demuestra la relevancia de elegir la tipología SUDS adecuada según la intensidad del evento y el contexto urbano-climático local. Mediante la modelación robusta con SWMM y el diseño de tres escenarios integrados, se evidencia que ambas soluciones contribuyen significativamente a la reducción de escorrentías. Este trabajo aporta herramientas prácticas para diseñadores y gestores urbanos en zonas subhúmedas, impulsando la adopción de infraestructura verde como medida efectiva de resiliencia ante las variaciones climáticas y el incremento en la frecuencia de eventos pluviales extremos.

El estudio de Godyń et al. (2024)quienes exploraron los efectos de la infraestructura verde (GI) sobre la composición del agua y los posibles riesgos ambientales en un barrio residencial de Cracovia, Polonia. Su objetivo fue evaluar cómo medidas fundamentadas en infraestructuras verdes tales como jardines de lluvia, celdas de biorretención y zanjas vegetadas, simuladas a escalas de cuenca, podían reducir la contaminación y el riesgo asociado al escurrimiento urbano. Utilizaron un enfoque cuantitativo-cualitativo, modelando el sistema de drenaje en SWMM y aplicando reducciones de contaminantes basadas en referencias bibliográficas (por ejemplo, TSS, nutrientes, metales pesados, hidrocarburos). Los resultados del modelo mostraron reducciones sustanciales en la contaminación: nitrógeno total 9–52 %, fósforo total 11–59 %, sólidos suspendidos 13–73 %, cobre 12–64 %, zinc 16–87 %, PAH 16–

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

91 % y HOI 15–85 %. El análisis de riesgos reveló que el índice de hidrocarburos (HOI) cayó de “riesgo bajo” a “sin riesgo”, y el riesgo ecológico por zinc se redujo de significativo a bajo. Fue evidente que, al implementar GI en apenas el 10 % del área de estudio, los beneficios ambientales eran claros y medibles. La conclusión principal insiste en que la infraestructura verde no solo disminuye la carga de contaminantes en el escurrimiento, sino que también reduce de manera considerable los riesgos asociados. El uso combinado de modelación con SWMM y una evaluación de riesgos cualitativa aporta una visión completa del rendimiento de la infraestructura verde, posibilitando decisiones fundamentadas para la gestión sostenible del agua pluvial. Los autores recomiendan que las administraciones municipales adopten esta aproximación como base para integrar GI en proyectos urbanos, respaldados por mediciones reales y análisis de riesgos ambientales.

Chapman & Hall (2022) desarrollaron una investigación enfocada la planificación y construcción de soluciones basadas en infraestructura verde y SUDS dentro del contexto del crecimiento urbano en el sureste de Inglaterra, con el proposito de determinar cómo influye en la provisión de servicios ecosistémicos y conectividad ecológica. La metodología combinó modelado de densidad urbana (OpenUDM), simulación de escenarios de urbanización y el análisis de diferentes diseños urbanos incorporando cinco tipos de SUDS (como superficies permeables, techos verdes y cuencas de retención). Estos escenarios fueron evaluados según cuatro métricas clave: provisión de servicios ecosistémicos, estado ecológico, conectividad ecológica y proximidad a la población. Los resultados revelaron que, aunque el desarrollo urbano inevitablemente reduce la calidad ecológica, la implementación estratégica de SUDS puede mitigar en gran medida estos impactos, especialmente en zonas de baja densidad. La conclusión principal subraya que los SUDS, si se seleccionan y ubican adecuadamente, no solo mejoran la gestión hídrica urbana, sino que también fortalecen las redes de infraestructura

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

verde, generando beneficios ecológicos y sociales significativos dentro de entornos urbanos densamente desarrollados.

Tota-Maharaj et al. (2025) desarrollaron una indagación enfocada en el proceso de aplicación de SUDS en campamentos humanitarios temporales, como solución para el manejo de aguas pluviales y el control de escorrentías en contextos de refugiados e internos desplazados (IDP). El análisis se orientó a examinar la eficacia de dos tecnologías de SUDS humedales artificiales y biofiltros por gravedad para tratar aguas pluviales recolectadas, mediante pruebas experimentales a escala de laboratorio desarrolladas según el manual CIRIA del Reino Unido. Se construyeron y evaluaron dos sistemas experimentales (S1 y S2) durante 61 semanas, replicando condiciones similares a las del campamento de refugiados Lietchuor, en la región de Gambella, Etiopía. Las pruebas incluyeron el análisis de parámetros como DBO, DQO, turbidez, color, fosfatos, amonio y nitritos, bajo estándares de la OMS. Los resultados demostraron que ambos sistemas redujeron significativamente las cargas de contaminantes, destacando el sistema de biofiltros S2 por sus altos porcentajes de remoción, con eficiencias de hasta 100 % en DQO, turbidez y amonio. La investigación concluye que la incorporación de SuDS en campamentos humanitarios no solo incrementa el nivel de pureza del agua y previene inundaciones, pero además aporta a la salud pública, seguridad hídrica y resiliencia climática, alineándose con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS 3, 6 y 16) de Naciones Unidas.

Xue et al. (2025), efectuaron un proceso investigativo en la viabilidad económica y el análisis de sensibilidad de sistemas de cosecha de agua de lluvia (RWH, por sus siglas en inglés) en diferentes zonas climáticas de China, con el objetivo de optimizar el diseño del volumen de reservorios considerando factores económicos, hidrológicos y de uso del suelo. El estudio se desarrolló en tres ciudades representativas de zonas climáticas contrastantes: Urumqi (semiárida), Baoding (semihúmeda) y Shantou (húmeda), donde se modelaron sistemas de captación para riego de áreas verdes y limpieza de vías urbanas. Utilizando el software

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Infoworks ICM para simulaciones hidráulicas a largo plazo (30 años), se integraron los indicadores Valor Actual Neto (NPV) y Relación Beneficio-Costo (BCR), junto con métodos de optimización basado en enjambres de partículas (PSO), regresión no lineal múltiple y análisis de sensibilidad global (método Sobol). Los resultados revelaron que existe un volumen óptimo de reservorio que maximiza los beneficios económicos, el cual varía significativamente según la pluviometría local, el precio del agua, la tasa de descuento y los días de vaciado del reservorio. Se encontró que en ciudades húmedas como Shantou, el impacto de los días de vaciado es más significativo, mientras que en ciudades secas como Urumqi, el coeficiente de áreas verdes influye más en el volumen óptimo. La investigación concluye que un diseño adecuado de los sistemas RWH debe considerar las condiciones climáticas, las características del suelo urbano y parámetros económicos locales, lo que permite maximizar su viabilidad económica y apoyar un desarrollo urbano más sostenible

Wang et al. (2021) desarrollaron un estudio llevaron experimental enfocada en los mecanismos de almacenamiento de agua de lluvia en techos verdes extensivos con diez configuraciones estructurales distintas. El estudio se desarrolló en Guangxi, China, bajo un clima subtropical monzónico húmedo, y tuvo como propósito evaluar cómo diferentes combinaciones de materiales, profundidades de sustrato, capas de almacenamiento/drenaje y tipos de vegetación afectan la eficiencia de los techos verdes en captar y conservar el agua proveniente de la lluvia (RRC). La metodología incluyó el diseño de módulos experimentales en columnas de suelo con sustratos variables (mezclas de suelo rural con turba, arena y ceniza volcánica), diferentes profundidades (50, 100 y 150 mm), y configuraciones como suelos estratificados, capas de almacenamiento de agua y sistemas de riego por mecha. Se recopilaron datos hidrológicos y meteorológicos con sensores de humedad, balanzas de presión y cámaras, y se analizaron parámetros como escorrentía, evapotranspiración diaria (ET), almacenamiento disponible y contenido de humedad. Entre los principales hallazgos, se observó que las

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

configuraciones con capas de almacenamiento de agua y riego por mecha alcanzaron las mayores RRC, entre 58 y 59%, superando ampliamente a los módulos sin almacenamiento. Los suelos estratificados lograron aumentar la RRC en 1–4% en comparación con suelos de una sola capa. También se encontró que el aumento en la profundidad del sustrato mejora la RRC, aunque con una tasa decreciente a medida que aumenta la profundidad. La evapotranspiración fue mayor en los módulos con riego por mecha, permitiendo un almacenamiento más eficiente entre eventos de lluvia. Asimismo, se destacó que la disponibilidad de almacenamiento previo a las precipitaciones fue un factor clave en la retención. La investigación concluyó que la incorporación de capas de almacenamiento de agua y el uso de suelos estratificados son estrategias eficaces y sostenibles para mejorar el comportamiento hidrológico de las cubiertas verdes, al mismo tiempo que reducen el estrés hídrico de la vegetación y los requerimientos de riego. Estos resultados aportan evidencia científica valiosa para el diseño optimizado de SUDS en contextos urbanos densos y climas variables.

Haddad et al. (2025) llevaron a cabo un análisis en el Reino Unido para identificar las barreras que dificultan la incorporación de SUDS a partir del enfoque de profesionales del sector. A través de una encuesta a 48 actores y entrevistas a 6 de ellos, se diferenciaron barreras directas (como la falta de fondos, problemas en retrofitting, costos de mantenimiento y falta de coordinación) y barreras indirectas (como la escasa capacitación o el limitado acceso a información técnica). El análisis reveló que muchos obstáculos no solo dependen de recursos, sino también de actitudes institucionales, la carencia de información y la falta de modelos replicables. Además, se evidenció que una mejor comunicación, formación técnica y planificación financiera integral (que incluya mantenimiento) son claves para superar estos retos. El estudio concluyó que la masificación de SuDS requiere mejorar el intercambio de experiencias entre profesionales, promover políticas inclusivas y asegurar fondos sostenibles.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Así, sería posible ampliar la implementación de medidas inspiradas en la naturaleza como herramienta efectiva para enfrentar el cambio climático en entornos urbanos.

2.1.2. Antecedentes Nacionales

Merlo & Soto (2021), desarrollaron un análisis comparativo de las soluciones de drenaje urbano implementadas en distintas ciudades del Perú y del extranjero, identificando tanto los enfoques tradicionales como los basados en sostenibilidad. Los autores concluyeron que los SUDS**,** tales como cunetas verdes, pavimentos permeables y jardines de lluvia**,** representan alternativas eficientes y de bajo impacto ambiental frente a la infraestructura convencional, al limitar el caudal de aguas pluviales, elevar la calidad hídrica y favorecer la infiltración. Asimismo, resaltaron que la adopción de SUDS necita una organización estratégica y normativa integral, que permita su implementación progresiva en las ciudades peruanas para mejorar la gestión pluvial urbana y la resiliencia frente al cambio climático.

Por su parte, Valencia-Félix et al. (2024) En su investigación tienen como objetivo principal definir los Green Water Systems (GWSs) dentro del marco de prácticas sostenibles y proponer una regulación que impulse la Urban flood resilencie (UFR). Para ello, se puso en práctica un sistema de revisión sistemática de definiciones existentes y un análisis de regulaciones internacionales sobre SUDS, evaluando su implementación en distintos países y su aplicabilidad en el contexto peruano. En cuanto a los resultados, se identificaron diversas percepciones y aplicaciones de los GWSs dentro de la infraestructura Blue–Green (BGI), estableciendo una definición estandarizada y resaltando la importancia de los SUDSs en la resiliencia urbana frente a inundaciones. La conclusión principal destaca la necesidad de una regulación clara para la implementación de GWSs en Perú, asegurando su integración en políticas de desarrollo urbano sostenible y mejorando la resiliencia ante eventos de inundación.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

2.2. Estado del arte

Dado que el primer objetivo en esta investigación se busca determinar la trascendencia de esta investigación que es identificar la importancia de los SUDS mediante el análisis de información y marco normativo, se ha decidido que el estado del arte se incluirá dentro del Capítulo de Resultados y Discusión. Esto debido a que la información que se revisa en este apartado ayudará directamente a cumplir este objetivo, ya que permitirá conocer cómo funcionan los SUDS, cuáles son sus beneficios y qué tan aplicables son en contextos similares, todo esto servirá para sustentar por qué los SUDS son importantes como alternativa para la gestión de aguas de lluvia, especialmente en zonas urbanas como la Av. 54.

2.3. Marco teórico

La gestión de agua de lluvia se refiere a un conjunto de prácticas y estrategias utilizadas para administrar el flujo de agua de lluvia en áreas urbanas y rurales. Su propósito principal es prevenir inundaciones, reducir la erosión del suelo, mejorar la calidad del agua y aprovechar de manera eficiente el agua de lluvia, esto implica la recolección, el almacenamiento, el tratamiento y la disposición adecuada del agua de lluvia, así como la elaboración de infraestructura y la aplicación de acciones de reducir efectos adversos que generan las lluvias intensas en el ambiente (Tecniplant, 2022).

Este concepto está estrechamente relacionado con la sostenibilidad urbana, ya que ambas tienen como objetivo fundamental fomentar el crecimiento de áreas urbanas de forma justa, eficaz y en armonía con el entorno natural. Esta relación se puede explicar en base a los siguientes términos:

2.3.1. Hidrología

- **Cuenca Hidrográfica**. La cuenca actúa como un sistema receptor que capta la lluvia y transforma una fracción en escorrentía. Es importante conocer los límites y características de estas, por ello en la Figura 7 se observa que los límites se establecen

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

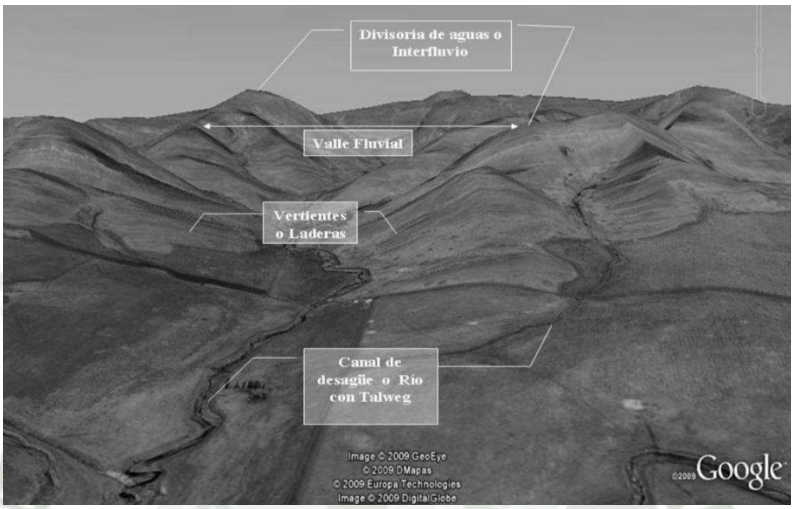
REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

por divisorias de agua, guiando el escurrimiento hacia un río. El thalweg, con pendiente uniforme, marca la dirección del flujo, mientras el valle aluvial acumula sedimentos (Gaspari et al., 2010).

Figura 7

Identificación de compones de las cuencas Hidrográficas



Nota. El gráfico fue extraído del Manual de Manejo de cuencas hidrográficas (Gaspari et al., 2010).

- **Periodo de Retorno.** El Período de Retorno "T" se refiere al promedio de años en que se iguala o supera el caudal pico de una crecida particular que se manifiesta cada “T” años. Suponiendo la independencia entre los eventos de cada año, se puede calcular la probabilidad de falla a lo largo de un horizonte operativo de n (MTC, 2008).
- **Hietograma de diseño.** El hietograma de diseño no solo indica cuánta lluvia cae en un periodo, sino cómo se reparte esa lluvia con el tiempo. Esta información es clave para los modelos hidrológicos actuales, que necesitan conocer la evolución de la tormenta. Una forma práctica de obtenerlo es usando las curvas IDF mediante el método del bloque alterno (MTC, 2008).
- **Curvas intensidad-duración-periodo de retorno.** Para obtener las curvas de intensidad-duración-frecuencia se aplican procedimientos probabilísticos o regresión

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

lineal. Antes de su elaboración, es crucial determinar el periodo de retorno, es decir, el promedio de años que pueden transcurrir antes de que un evento de mesa magnitud vuelva a ocurrir o superarlo (Breña & Jacobo, 2013).

- **Hidrología Urbana.** La hidrología aplicada al entono representa una disciplina de la hidrología aplicada a las ciudades, áreas donde hay una significativa influencia humana en los procesos naturales. Todos los subprocesos hidrológicos en las zonas urbanas deben ser analizados en escalas de tiempo y espacio mucho más reducido que en las zonas rurales (Niemczynowicz, 1999).

2.3.2. Hidráulica

- **Alcantarilla.** Es la estructura cuya luz no supera los 6 m y que permite el desalojo del escurrimiento superficial interceptado por una carretera. Su ubicación, alineamiento y pendiente deben responder a criterios técnicos e hidráulicos, priorizando estabilidad, operatividad y costos adecuados sin comprometer la seguridad ni el funcionamiento vial (MTC, 2008).
- **Abrasión.** Implica el deterioro mecánico del material de la alcantarilla provocado por los sólidos que arrastra el cauce. Este efecto varía según la cantidad y tipo de arrastre, la velocidad del agua y el tiempo y número de veces que el flujo pasa por la estructura (MTC, 2008).
- **Corrosión.** La corrosión es el deterioro del material por reacciones electroquímicas causadas por su entorno. Factores como salinidad, acidez, alcalinidad y conductividad del suelo o agua aceleran el daño, especialmente en zonas costeras o con presencia de agua de mar (MTC, 2008).
- **Hidráulica urbana.** Cuando llueve sobre una superficie natural, parte del agua se evapora o es absorbida por las plantas, otra parte se filtra en el suelo convirtiéndose en agua subterránea, y el resto fluye sobre la superficie. Los flujos subterráneos e

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

infiltrados finalmente llegan a cuerpos de agua como ríos o arroyos, mientras que el agua que fluye superficialmente alcanza estos cuerpos de agua más rápidamente (Butler et al., 2018)

2.3.3. Sistema Urbano de Drenaje Sostenible (SUDS)

Los SUDS implican una transformación en la forma tradicional frente al drenaje convencional urbano. A diferencia del enfoque tradicional, que prioriza evacuar rápidamente la escorrentía pluvial a través de sistemas enterrados por conducciones principales y sistema de desagüe, los SUDS buscan manejar la precipitación que se infiltra o escurre directamente en el punto donde impacta, utilizando procesos que emulan el funcionamiento natural de una cuenca hidrográfica no urbanizada.

De acuerdo con el Manual de CIRIA los SUDS se tratan de un conjunto integrado de acciones, infraestructuras y métodos orientados a conducir adecuadamente el escurrimiento de manera eficiente y sostenible, evitando procesos de contaminación y regulando sus efectos sobre las propiedades físicas, químicas y recreativas del agua. Los SUDS buscan replicar, en la medida de lo posible, el drenaje natural del terreno previo al desarrollo urbanístico.” (CIRIA, 2015).

Esta definición pone énfasis en tres objetivos integrados:

1. Regulación de cantidad de escurrimiento: a través de procesos de infiltración, retención, almacenamiento y ralentización del flujo.

2. Incremento de las condiciones del recurso hídrico: a través de procesos físicos, químicos y biológicos (filtración, decantación, biorremediación).

3. Valor social y ambiental (amenidad): incluyendo aspectos como integración paisajística, recreación, biodiversidad y salud urbana.

CIRIA establece que un diseño SUDS exitoso no se limita a una única solución técnica, sino que combina múltiples dispositivos —conocidos como componentes SuDS— en una “línea

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

de tratamiento" (treatment train). Esta combinación progresiva permite que el agua pase por distintas etapas, desde su captación hasta su disposición o reutilización, con mejoras graduales en su calidad y disminución de su volumen.

Entre los elementos típicos de SUDS se encuentran: techos verdes, jardines de lluvia, zanjas filtrantes, pavimentos permeables, estanques de retención y biorretención, así como pozos de infiltración.

Además de sus funciones hidráulicas, CIRIA subraya que los SUDS deben diseñarse considerando la amenidad urbana: es decir, el aporte al bienestar visual, social y ambiental de la comunidad. De esta manera, un SUDS bien diseñado no solo gestiona el agua, sino que mejora el entorno urbano, promueve la biodiversidad y eleva la calidad de vida de los ciudadanos.

Por último, la guía C753 recalca que los SUDS son:

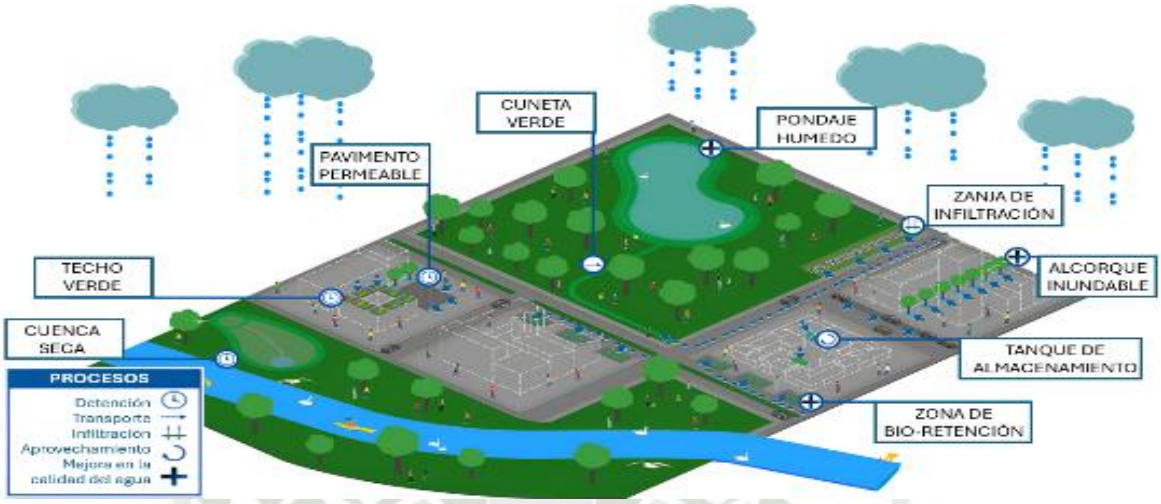
- Eficientes, tanto en su desempeño técnico como en su costo.
- Sostenibles, a largo plazo, con bajo mantenimiento.
- Flexibles, a variaciones climáticas, a la naturaleza del terreno y al contexto del área.
- Multifuncionales, con beneficios hidráulicos, ecológicos, sociales.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 8

Estructuras del sistema de drenaje urbano sostenible



Nota. El gráfico fue extraído de Análisis beneficio costo de la implementación de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenibles (SUDS) en cuencas urbanas de uso residencial en la ciudad de Bogotá (Sanguino & Gómez, 2020)

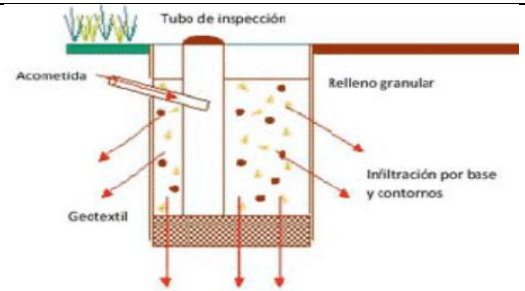
Para comprender adecuadamente el funcionamiento, ventajas y aplicaciones de los SUDS, es fundamental conocer las distintas tipologías que los conforman. Cada tipo de SUDS cumple una función específica dentro del manejo del agua pluvial, por lo que su definición y características técnicas varían según su diseño y aplicación. En la Tabla 5 se expone un conjunto de diversas técnicas empleadas en los SUDS, organizadas por categoría, detallando su función principal y un ejemplo de aplicación, según diversas fuentes bibliográficas especializadas.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 5

Clasificación de SUDS

Clasificación de SUDS			
categoría	**técnica**	**Función**	**Ejemplo de Aplicaciòn**
Sistemas de infiltración	Superficies Permeables (Porous / Permeable Paving)	Permite que la escorrentía se a través de bloques de pavimento con huecos entre bloques macizos o de pavimento poroso. El agua puede quedar retenida dentro de la subbase, funcionando como un volumen de almacenamiento temporal y posteriormente infiltrarse de manera progresiva en el suelo (CIRIA, 2015).	
	Pozos y zanjas de infiltración (Soakaways & Infiltration Trenches)	Pozos y zanjas de 1 a 3 metros, llenos de agregado permeable, captan escorrentía de superficies impermeables y están diseñados para infiltrarla completamente durante la tormenta prevista (Perales & Doménech, 2008).	
	Depósitos de Infiltración (Infiltration Basins)	Depresiones vegetadas almacenan e infiltran lentamente la escorrentía de áreas cercanas, convirtiendo el escurrimiento en flujo subterráneo y depurando impurezas mediante filtración, adsorción y otros procesos. (Perales & Doménech, 2008).	

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Sistemas de captación y transporte	Drenes filtrantes (Filter Drains)	Mediante filtración, el escurrimiento se retiene de forma temporal bajo el terreno en una zanja somera con grava, lo que permite su almacenamiento, conducción y depuración. (CIRIA, 2015).	
	Cunetas verdes (Swales)	Sistemas con vegetación, de fondo amplio y ligera inclinación creados para retener y mover el agua pluvial lentamente, favoreciendo la deposición de sedimentos, la remoción de impurezas y la infiltración hacia estratos más profundos (Perales & Doménech, 2008).	
	Techos verdes (Green roofs)	Se instala un sustrato vegetado sobre la cubierta del edificio para conformar una superficie natural. El agua queda retenida en esta capa y es aprovechada por plantas. (CIRIA, 2015).	
	Franjas filtrantes (Filter Strips)	La escorrentía generada en una superficie impermeable se conduce hacia un sector con césped o vegetación densa, donde se facilita la deposición de sedimentos y el filtrado del agua (CIRIA, 2015).	

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Sistemas de tratamiento pasivos	Estanques y humedales (Ponds and wetlands)	Las estructuras con agua permanente pueden atenuar y tratar el escurrimiento, permitiendo que el nivel del agua suba tras lluvias, mientras soportan vegetación, favorecen el tratamiento del agua y biodiversidad. (CIRIA, 2015).	
	Depósitos de infiltración (Detention Basins)	Durante la lluvia, el escurrimiento se dirige a una cuenca ajardinada con una salida que limita el flujo y llenándola. Las cuencas suelen estar secas, excepto durante y después de la lluvia, y si tienen vegetación, el escurrimiento se filtra y trata en la base (CIRIA, 2015).	

Nota. Elaboración propia a partir de definiciones propuestas por CIRIA (2015) y Perales & Doménech (2008).

Una vez identificadas y definidas las principales técnicas que conforman los SUDS, es fundamental contrastar este enfoque con el sistema de drenaje convencional, ampliamente utilizado en entornos urbanos. Por ello, en la Tabla 6 se presenta una comparativa de ambos sistemas, destacando sus diferencias en cuanto a principios de funcionamiento, impacto ambiental, eficiencia hidráulica, sostenibilidad y capacidad de adaptación al cambio climático. Esta comparación permite evidenciar las ventajas que los SUDS ofrecen como una alternativa más resiliente y ecológica frente a los métodos tradicionales.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 6

Sistema de Drenaje Convencional vs. Sistema SUDS

Cuadro Comparativo: Sistema de Drenaje Convencional vs. Sistema SUDS		
Criterio	**Drenaje Convencional**	**Sistema SUDS**
Coste de Construcción	Alto. Infraestructura subterránea, excavaciones, materiales costosos.	Medio a bajo. Uso de materiales locales, diseño modular y adaptativo.
Costes de Operación y Mantenimiento	Elevados y constantes (limpieza, reparación, reemplazo de tuberías).	Bajos. Mantenimiento sencillo, vegetación autogestionada en muchos casos.
Control de Inundaciones en la Cuenca	Limitado. No reduce escorrentía en origen.	Elevado. Reduce caudal pico y retiene aguas pluviales desde su generación.
Control de Inundaciones Aguas Abajo	Bajo. Transfiere el problema a otras zonas.	Alto. Mitiga caudales acumulativos, reduce riesgos aguas abajo.
Reutilización	No contempla reutilización.	Promueve uso de agua de lluvia en riego y usos no potables.
Recarga/Infiltración	Prácticamente nula por superficies impermeables.	Alta. Favorece infiltración y recarga de acuíferos.
Eliminación de Contaminantes	No realiza tratamiento de escorrentía superficial.	Eficaz. Remoción de sólidos, nutrientes y contaminantes (>50 % en estudios).
Beneficios en Servicio al Ciudadano	Ninguno directo. Infraestructura invisible.	Mejora estética urbana, confort térmico y salud ambiental.
Beneficios Educacionales	Inexistentes.	Altos. Visibles, integrables a proyectos escolares y comunitarios.
Vida Útil	Larga, pero depende de mantenimiento intensivo.	Alta si se gestiona bien; componentes vegetales se regeneran naturalmente.
Requerimientos de Espacio	Bajo espacio visible (subterráneo), pero invasivo al construir.	Moderado. Puede integrarse en áreas verdes, calles o techos.
Criterios de Diseño	Estandarizados y rígidos.	Flexibles, adaptables al clima, geografía y uso del suelo.

Nota. Análisis de cuadro comparativo: Sistema de Drenaje Convencional vs. Sistema SUDS (Zhang, 2024)

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

2.3.4. EPA SWMM

El Storm Water Management Model (SWMM) es un software desarrollado por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) en 1971, diseñado para simular el comportamiento hidrológico e hidráulico de la escorrentía pluvial en áreas urbanizadas. Su objetivo principal es analizar el funcionamiento de los sistemas de drenaje pluvial y sanitario, evaluando la respuesta ante eventos de lluvia y el desempeño de infraestructuras sostenibles. La versión más utilizada actualmente, EPA SWMM 5, es de libre acceso y ampliamente reconocida a nivel internacional dentro de las áreas de ingeniería civil, ámbito hidráulico y sector ambiental.

SWMM permite modelar el proceso por el cual la precipitación se convierte en escurrimiento superficial, considerando procesos por ejemplo la infiltración, evaporación, almacenamiento superficial y flujo subterráneo, además del transporte del agua a través de redes de alcantarillado, canales y estructuras de control.

Ventajas

- Software libre y gratuito, desarrollado y respaldado por la EPA, accesible para universidades, instituciones y profesionales.
- Simulación precisa, utiliza las fórmulas dinámicas de Saint-Venant para modelar flujos no permanentes en redes pluviales.
- Versatilidad en la modelación, ya que permite representar tanto sistemas tradicionales como soluciones sostenibles de drenaje.
- Análisis detallado, genera resultados sobre caudales, volúmenes, niveles de agua, capacidad de conductos y puntos de sobrecarga.
- Compatibilidad con herramientas GIS y CAD, facilitando la importación y exportación de datos geográficos y topográficos.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

- Análisis ambiental mediante componentes que posibilitan calcular la calidad del agua y los contaminantes transportados por el escurrimiento.
- Reconocimiento académico y técnico, ampliamente utilizado en investigaciones y proyectos de gestión pluvial a nivel mundial.

2.3.5. INFODRAINAGE

InfoDrainage es un software desarrollado originalmente por Innovyze y adquirido por Autodesk en 2021, creado como una evolución de MicroDrainage con el objetivo de modernizar el diseño y el análisis hidráulico e hidrológico del drenaje urbano y de soluciones basadas en Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS). Lanzado alrededor del año 2020, su propósito es optimizar la gestión del agua pluvial mediante una modelación precisa, la integración con entornos BIM y el cumplimiento de normativas vigentes.

El software permite diseñar redes de drenaje pluvial y sanitario, simular eventos de lluvia y analizar estructuras como cunetas verdes, zanjas de infiltración y sistemas de bioretención. Su principal utilidad radica en la promoción de soluciones sostenibles que reduzcan la escorrentía superficial y el impacto ambiental en proyectos urbanos, integrándose directamente con Autodesk Civil 3D para lograr un flujo de trabajo técnico eficiente.

Desde el punto de vista hidrológico–hidráulico, InfoDrainage emplea un modelo dinámico que considera las pérdidas por infiltración mediante el método NRCS (Curve Number), la transformación lluvia–escorrentía a través de un hidrograma unitario distribuido tipo Tiempo–Área y el posterior routing hidráulico del caudal a lo largo de cada tramo de cuneta.

Ventajas, usos

- Integración con Autodesk Civil 3D, ya que permite un flujo de trabajo continuo entre el modelado del terreno y el diseño del drenaje, evitando reprocesos y errores.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

- Diseño de SUDS (Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible), puesto que facilita la simulación de cunetas vegetadas, áreas de biorretención, zanjas de infiltración y diversas alternativas sostenibles para el control y aprovechamiento del agua de lluvia.
- Cumplimiento normativo, debido a que incluye herramientas que ayudan a cumplir estándares internacionales y locales de drenaje y gestión pluvial.
- Modelación precisa y visual, puesto que ofrece simulaciones hidráulicas en 1D y 2D con visualizaciones claras del flujo, almacenamiento y comportamiento de la red ante tormentas.
- Optimización del diseño, puesto que calcula automáticamente dimensiones, pendientes y capacidades, reduciendo tiempos de diseño y aumentando la eficiencia.
- Interfaz intuitiva y moderna, es más amigable que su predecesor (MicroDrainage), con herramientas gráficas y análisis en tiempo real.
- Análisis de impacto ambiental, ya que evalúa la retención, infiltración y calidad del agua, ayudando a tomar decisiones sostenibles.
- Generación automática de reportes técnicos. Puesto que, produce informes claros y exportables que facilitan la revisión y documentación de los proyectos.

2.3.6. HEC-RAS

HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center – River Analysis System) es un software desarrollado por el US Army Corps of Engineers (USACE) para el análisis hidráulico de ríos, canales y zonas inundables. Desde su lanzamiento en 1995, se ha consolidado como uno de los programas más utilizados para simular flujo en superficie libre, permitiendo modelar condiciones permanentes y no permanentes en 1D y 2D.

El software calcula niveles de agua, velocidades, perfiles de energía y distribución del flujo a lo largo de un cauce, e incorpora estructuras hidráulicas como puentes, alcantarillas,

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

compuertas y vertederos. Su funcionamiento se basa en la solución de las ecuaciones de Saint-Venant y se complementa con herramientas SIG mediante RAS Mapper, lo que permite generar mapas de inundación y análisis espaciales. HEC-RAS es ampliamente empleado en estudios de riesgo, diseño de obras hidráulicas y planificación territorial en zonas expuestas a eventos de inundación.

Ventajas y usos

• Modelo hidráulico confiable, basado en ecuaciones reconocidas internacionalmente.

• Simulación 1D y 2D, adecuada para cauces naturales y áreas urbanas inundables.

• Evaluación de estructuras hidráulicas, como puentes y alcantarillas.

• Integración con GIS, permitiendo elaborar mapas de inundación y análisis espaciales.

• Software gratuito, accesible para profesionales, instituciones y universidades.

• Generación de reportes y resultados gráficos, facilitando la interpretación y presentación técnica.

• Aplicación en gestión del riesgo, diseño de defensas ribereñas y estudios de caudal extremo.

2.4. Marco legal

En la Tabla 7, se presentan los Lineamientos y Normativas aplicables a los SUDS, una propuesta novedosa para el manejo del recurso hídrico dentro de las zonas urbanizadas. A nivel internacional, existen normativas y directrices específicas que guían la implementación de SUDS. En Perú, aunque aún no se ha desarrollado una normativa específica para SUDS, se han identificado diversas regulaciones nacionales vinculadas con el manejo hídrico y el drenaje en áreas urbanas que podrían servir como base para futuras legislaciones. Este marco normativo proporciona una referencia esencial para comprender las oportunidades y desafíos de adaptar estos sistemas en el contexto peruano, alineándose con las mejores prácticas internacionales.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 7

Lineamientos y normativas

Lineamientos y normativas			
	Titulo	**Aprueba**	**Objetivo**
Internacional	**The SUDS Manual**	(CIRIA, 2015)	Proporciona orientación detallada sobre la implementación de SUDS en proyectos de construcción y desarrollo urbano en el Reino Unido
	Guías de Adaptación al Riesgo de Inundación: Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible	(Ministerio para la Transición Ecológica, 2019)	Tiene como fin minimizar los riesgos de inundaciones y promover la sostenibilidad ambiental en áreas urbanas por medio de estrategias y prácticas por parte del Gobierno de España.
	Guía Técnica para el Diseño de SUDS	(C. d. A. y. O. d. P. d. Á. M. d. S, 2021)	Promueve el uso de SUDS como estrategia para la gestión de aguas pluviales en zonas urbanas.
	Guía Metodológica para la Formulación e Implementación de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible	(Ministerio de Vivienda, 2022)	Proporciona herramientas metodológicas de planificación, formulación e implementación de SUDS en proyectos urbanos.
	Guías de técnica de diseño y construcción de Sistema Urbano de Drenaje Sostenible (SUDS)	(CIIA, 2016)	Fomenta la incorporación de criterios de sostenibilidad en el diseño, la construcción y la gestión de infraestructura urbana, abarcando también los SUDS.
	Urban Stormwater Management Manual	(Government of Malasya, 2012)	Proporciona un marco técnico para el diseño de sistemas de drenaje pluvial sostenible en ciudades malayas.
Nacional	**El Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos, Ley Nº 29338.**	(ANA, 2019)	Busca definir las normas y procedimientos específicos para la gestión y el manejo de los fuentes de agua en el Perú
	Norma Técnica CE.040 Drenaje Pluvial del Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE).	(MVCS, 2021)	Tiene como objetivo principal la actualización y estandarización de las regulaciones relacionadas con el drenaje pluvial
	Norma Técnica OS.010 – Abastecimiento de Agua Potable	(MVCS, 2021)	Establece las normas para el diseño de sistemas de suministro de agua potable, vinculados a la infraestructura urbana y su relación con el drenaje sostenible.

Nota. Elaboración propia.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

3. METODOLOGÍA PROPUESTA

3.1. Tipo y nivel de investigación

El estudio realizado corresponde al tipo aplicada la cual tiene como propósito fundamental conforme mencionan Hernández et al. (2014) resolver problemas, que serán asociados al sector construcción, empleándose el enfoque cuantitativo que permitirá analizar información asociada a la propuesta de construcción de infraestructura hidráulica – SUDS.

En base al planteamiento de Hernández et al. (2014) define que el alcance de la instigación empleado debe estar asociado al alcance que tendrá la investigación, en este caso será exploratorio – descriptivo, pues se describe la problemática en cuanto al desborde y acumulación de agua de origen pluvial en la Av.54 del DCC, provincia y departamento de Arequipa.

3.2. Diseño de la investigación

Según Hernández et al. (2014), para poder probar de manera correcta el planteamiento de la hipótesis establecida, se debe utilizar un diseño que facilite la creación de planes en cuanto a la obtención de información para la investigación.

Por lo tanto, el diseño empleado en este estudio se clasifica como de carácter No Experimental, el cual, de acuerdo con Hernández et al. (2014) no se manipularán las variables, observándose estas en su contexto natural para poder analizarlas, en este sentido se relaciona de manera directa a lo detallado conforme al planteamiento de nuestra problemática respecto a la brecha de infraestructura hidráulica pluvial en el DCC.

Evaluando y proponiendo nuestra hipótesis y sus variables; se estableció que la investigación es transversal del tipo exploratorio-descriptivo.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

3.3. Métodos de investigación

El enfoque de la instigación se organizó siguiendo una metodología basada en un enfoque descriptivo y analítico, integrando la revisión documental, el análisis normativo, la recolección de datos en campo y la realización de simulaciones mediante el software Infodrainage, especializado en el diseño y modelamiento de SUDS.

En una etapa inicial se llevó a cabo la recopilación de bibliografía nacional e internacional, lo que permitió identificar los criterios fundamentales para la implementación de los SUDS y conocer experiencias relevantes en contextos urbanos con características similares a la zona estudiada.

A continuación, se llevó a cabo la recolección y análisis de información técnica relacionada con la Avenida 54 en el distrito de Cerro Colorado. Se obtuvieron datos pluviométricos del SENAMHI, además de información catastral y de infraestructura vial proveniente del expediente técnico de la obra “Mejoramiento de la vía de integración Avenida 54 en el Cono Norte”. Asimismo, se llevó a cabo un levantamiento en campo, mediante el cual se verificó que la vía cuenta con ocho carriles pavimentados y un número reducido de bocas de tormenta, lo que evidencia un sistema de drenaje insuficiente para gestionar los volúmenes de escorrentía producidos durante los eventos de lluvia. Estas observaciones también permitieron identificar la berma central de la avenida, con un ancho de 5.70 metros, como un espacio con posibilidad de aplicar soluciones de drenaje sostenible, al ofrecer condiciones favorables para la captación e infiltración del agua pluvial.

Con esta base de información, se procedió al análisis y selección del sistema de drenaje sostenible más adecuado según las condiciones hidrológicas climáticas y geométricas del área de estudio. Para complementar la elección teórica de tipologías SUDS, se empleó como herramienta de apoyo la “Hoja de cálculo del Anexo 3.3. Metodología de selección de tipologías y trenes de SUDS”, perteneciente a la “Investigación de las Tipologías y/o Tecnologías de

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) que más se adapten a las condiciones de la ciudad de Bogotá D.C.". Con esta base de información, se procedió a la elaboración de un SUDS adaptado a las condiciones hidrológicas, climáticas y geométricas del área de estudio. Este utilitario, desarrollado en formato Excel, permitió realizar un análisis comparativo y multicriterio entre distintas tipologías de SUDS, considerando parámetros como eficiencia hidráulica, factibilidad constructiva, integración paisajística, mantenimiento, y sostenibilidad ambiental y económica.

Su aplicación en esta investigación tuvo como objetivo definir el tipo de SUDS más adecuado para la Av. 54, considerando su capacidad con el fin de disminuir el caudal de escorrentía superficial y mejorar la gestión del agua pluvial. Los resultados de este análisis sirvieron como base técnica para definir el SUDS propuesto, el cual fue posteriormente modelado en el software InfoDrainage para evaluar su desempeño hidráulico y comprobar su eficacia en la reducción de inundaciones.

En la etapa de formulación del presente estudio se consideró inicialmente la utilización del software EPA SWMM, debido a su carácter libre, su amplia validación académica y su capacidad para modelar el s comportamiento hidrológico e hidráulico de SUDS. No obstante, el transcurso de la investigación de identificó que el uso de InfoDrainage puesto que a diferencia de SWMM, cuyo entorno de trabajo es más técnico y requiere de procesos adicionales para la importación y visualización de datos, InfoDrainage ofrece una interfaz gráfica moderna e intuitiva, que facilita la modelación visual de redes pluviales, estructuras de control y elementos SUDS, disminuyendo el tiempo requerido para el modelado y mejorando la exactitud geométrica del sistema. Esta característica fue determinante para representar con mayor realismo las condiciones topográficas y estructurales de la Av. 54, donde se desarrolla el estudio.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Asimismo, InfoDrainage permite realizar simulaciones en 1D y 2D de manera integrada, lo que proporciona una mayor comprensión del comportamiento del flujo superficial y subterráneo durante los eventos de precipitación. Además, incorpora herramientas automáticas para el dimensionamiento, análisis hidráulico y generación de reportes técnicos, favorece la gestión de decisiones y garantiza la conformidad con los criterios normativos de diseño.

En cuanto al análisis de soluciones sostenibles, InfoDrainage cuenta con módulos específicos para SUDS, como bioretenciones, zanjas de infiltración, cunetas verdes y pavimentos permeables, permitiendo evaluar de forma directa su desempeño hidráulico y ambiental. Esta funcionalidad es más desarrollada y visual que en SWMM, lo que favorece una comprensión más nítida de los resultados durante la fase propuesta y verificación.

Por estas razones, se optó por emplear InfoDrainage como herramienta principal de simulación en el desarrollo de la tesis, manteniendo la misma base conceptual prevista con SWMM, pero con una mayor eficiencia operativa, compatibilidad técnica y capacidad de representación del sistema de drenaje complementado con SUDS en la Av. 54.

Las simulaciones posibilitaron analizar la capacidad de almacenamiento, infiltración y control de caudales pico de las alternativas evaluadas, garantizando así la validación técnica del diseño propuesto.

Finalmente, se efectuó una complementación del drenaje existente, integrándolo con el sistema de drenaje SUDS planteado con el fin de optimizar la eficiencia en la administración de las aguas pluviales. Este análisis, realizado mediante InfoDrainage, consideró indicadores como la reducción de caudales pico, el volumen de escorrentía controlado y el desempeño hidráulico bajo distintos escenarios de lluvia. Adicionalmente, se desarrolló una comparación de los resultados del modelado en InfoDrainage con un modelo hidráulico elaborado en HEC-RAS, lo que permitió contrastar el comportamiento del sistema de drenaje tradicional frente al sistema propuesto con SUDS. Los resultados evidenciaron una mejora significativa al

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

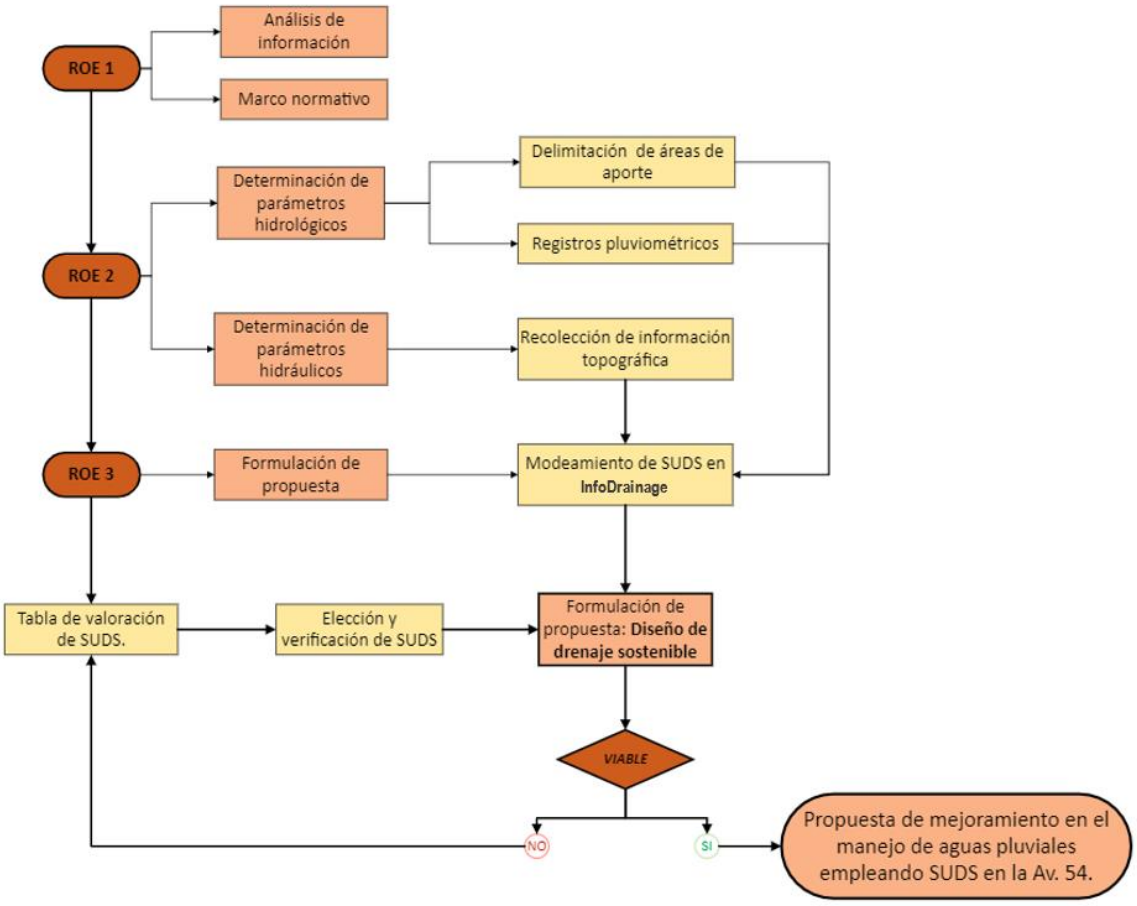
incorporar estas soluciones sostenibles, demostrando su potencial para mitigar riesgos de inundación y optimizar la gestión pluvial en la Avenida 54.

3.4. Esquema metodológico

La Figura 9 presenta el diagrama de flujo metodológico elaborado para esta investigación, el cual representa de forma ordenada y secuencial cada una de las etapas seguidas, abarca la obtención de información hasta el análisis y presentación de la propuesta final, permitiendo visualizar el enfoque integral aplicado en el estudio.

Figura 9

Diagrama de flujo metodológico



Nota. Elaboración propia.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

3.5. Población, muestra y muestreo

Según Hernández Sampieri & Mendoza Torres (2022) se considera población al conjunto completo de unidades o casos que poseen características comunes determinadas. En el marco de este estudio, la población está constituida por la totalidad de SUDS existentes en el distrito de Cerro Colorado.

La muestra según Hernández et al. (2014) es una parte del universo o población seleccionada para obtener información, la cual debe poseer las mismas características esenciales que la totalidad, para que los resultados sean representativos, por ello, en este estudio la muestra seleccionada correspondió a la Av. 54.

El muestreo de acuerdo con Hernández et al. (2014) es el procedimiento que permite seleccionar una parte representativa del total para realizar el estudio. En este estudio, el muestreo se llevará a cabo de manera no probabilística, utilizando el criterio de conveniencia.

3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Para esta investigación, se empleó la observación directa como técnica de recolección de datos, permitiendo identificar y registrar in situ el estado actual del sistema de drenaje en la Av. 54, lo que permitió reconocer las zonas con mayor concentración de agua, deterioro de la infraestructura, falta de mantenimiento, entre otras. Además, se utilizó la revisión bibliográfica, la cual permitió acceder a planos urbanos, registros de precipitaciones, la normativa vigente internacional y nacional, estudios hidrológicos previos, antecedentes respecto a SUDS en otras ciudades o países.

Respecto a los instrumentos de recolección de datos se hizo uso de una ficha técnica de observación donde se contendrá parámetros como la ubicación, estado de pavimento, zonas de escurrimiento, longitudes, áreas verdes, señalizaciones verticales y horizontales, entre otros.

El software utilizado fue el InfoDrainage, para modelar el funcionamiento del sistema actuar y validad la efectividad de la propuesta de drenaje sostenible bajo diferentes escenarios.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

CAPITULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4. RESULTADOS

4.1. REVISIÓN LITERARIA

En la **Tabla 8** se presentan estudios relevantes, indicando autor, relevancia, método, herramienta, tipo de SUDS y normativa asociada, permitiendo comprender su relevancia en la administración urbana del agua.

Tabla 8

Matriz de Estado del Arte

ID	Autor (es)	Relevancia	Método	Herramienta SUDS	Normativa
1	Ojeda de la Cruz et al. (2020)	Propone un sistema innovador que capta y reutiliza el agua de lluvia, contribuyendo a la recarga de acuíferos y mejorando la infraestructura del campus universitario en Hermosillo, México. Conlcuyendo que SUDS son clave para la resiliencia hídrica local.	-Recolección de información de precipitaciones. -Delimitación de subcuenca y microcuenca. -Proceso estadístico para precipitaciones máximas, duraciones y periodos de retorno. -Determinación de tormenta y caudal (Método Racional) para el diseño de la red. -Se utilizaron herramientas como AutoCAD Civil 3D calculo manual y datos climatologicos	-Canal, zanja y pozo de infiltración.	-Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Diseño de colectores de aguas pluviales (2007) -Análisis y diseño numérico y experimental de bocas de tormenta (2013)
2	Sanguino & Gómez, (2020))	El proyecto evalúa el costo beneficio en 10 urbanizaciones de Bogotá. Se prorizde los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) en diez urbanizaciones de diferentes estratos en Bogotá. Se analiza el ahorro	-Modelación en el programa computacional SWMM. -Análisis costo-beneficio	-Cubiertas y cunetas verdes, zanjas de infiltración, tanque de almacenamiento	-Norma tecnica de servicio (NS-085) Criterios de Diseño de Sistemas de Alcantarillado

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

ID	Autor (es)	Relevancia	Método	Herramienta SUDS	Normativa
		creado por la recolección y procesamiento del agua de lluvia con la modelación hidráulica para verificar su viabilidad y cumplimiento normativo.			
3	López & Villavicencio (2021)	Se realiza una evaluación de SUDS teniendo a las cunetas verdes como la solución económica y ambientalmente beneficiosa para gestionar las aguas de lluvia y prevenir inundaciones en Villa El Salvador.	-Delimitación de cuenca en Google Earth Pro y Gloval Mapper v.22 -Hidrología: pruebas de bondad con Gumbel y Log Pearson y HEC-HMS 4.6.1 para volumen de lluvia. -Para diseño de SUDS se utilizó normas y HCanales.	-Jardines de lluvia, drenes filtrantes de agua, cunetas verdes y depósito de detención.	-Norma OS.060 – Drenaje Pluvial Urbano:
4	Galicia (2020)	Propone un diseño innovador de banquetas retenedoras de agua pluvial, utilizando tecnología fractal y validación estructural mediante análisis numéricos, destacando la relevancia de SUDS.	-Diseño de la geometría fractal. -Aplicación del FEA para el análisis estructural -Hidrograma de diseño con EPA SWMM. -Simulación estructural ANSYS-Fluent.	-Banqueta retenedora con panel fractal hexagonal.	-Norma OS.060 – Drenaje Pluvial Urbano -EPA – Operation and Maintenance of Green Infrastructure Receiving Runoff from Roads and Parking Lots Optimizing Stormwater Treatment Practices: A Handbook of Assessment and Maintenance
5	Saraguro, (2023)	Se propone una metodología para el diseño de jardines de lluvia, evidenciando su eficacia en el manejo de aguas pluviales en calles urbanas de Pasaje, Ecuador.	-Evaluación del estado actual del área de estudio. -Examen de la red de drenaje de la cuenca urbana mediante Software Global Mapper 18. -Propuesta de SUDS con Software EPA SWMM 5.2.	-Jardines de lluvia.	Norma CPE INEN 005-9-1

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

ID	Autor (es)	Relevancia	Método	Herramienta SUDS	Normativa
6	Lezama & Rodríguez, (2020)	Las inundaciones son un problema grave provocado por la impermeabilización del terreno y el cambio climático. Para enfrentarlas, se investigaron técnicas SUDS, destacando múltiples beneficios ambientales y económicos.	-Búsqueda sistemática de artículos científicos en Scopus, ScienceDirect, EBSCO y Scielo. -Categorización de la información. -Análisis de la información	-Pavimentos permeable, techos verdes, jardines de lluvia, cunetas verdes, pozos, zanjas, y franjas de infiltración.	CIRIA C523 (2001)
7	Ticahuanca, (2022)	El cambio climático genera lluvias inesperadas en zonas urbanas, causando inundaciones. Los SUDS mitigan estos efectos usando concreto permeable y zanjas de infiltración buscando aprovechar el agua de escorrentía para riego de áreas verdes y reducir anegamientos.	-Recolección de datos hidrológicos. -Método Racional para caudal máximo. -Procesamiento de datos con LISP y EPA SWMM 5.2.	-Concreto permeable y zanjas de infiltración	Norma CE.040 Drenaje Pluvial
8	Valdivia (2024)	La tesis destaca la urgencia de preparar Huancayo para lluvias intensas mediante técnicas sostenibles como cubiertas verdes y pavimentos permeables, que mejoran la gestión del agua pluvial, evitando la saturación del alcantarillado y promoviendo beneficios ambientales y estéticos para la resiliencia urbana.	-Recopilación de Datos. -Métodos para el análisis Hidrológico e Hidráulico (Método racional) -Modelamiento hidrológico e hidráulico en EPA SWMM 5.1. -Evaluación de diferentes escenarios climáticos y su impacto en la sostenibilidad. -Modificación de NTP CE.040.	-Cubierta verde y pavimento permeable	Norma CE.040 Drenaje Pluvial Norma OS.070 Redes de Aguas Residuales Ministerio de Vivienda y Urbanismo de Chile Manual para el Diseño de Carreteras Pavimentadas de Bajo Volumen de Tránsito
9	Lima & Quispe, (2018)	La tesis analiza la necesidad SUDS en Arequipa, frente a las intensas lluvias del verano austral. Destaca la falta de normativa en Perú, proponiendo el uso de estándares internacionales para diseñar un drenaje eficiente, considerando la sostenibilidad y la	-Modelamiento de escorrentía superficial por medio de SWMM.	-Imbornales o sumideros y drenes filtrantes	Reglamento Nacional de Edificaciones Stormwater management manual 2014

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

ID	Autor (es)	Relevancia	Método	Herramienta SUDS	Normativa
		calidad del agua, con un enfoque integral en su implementación y mantenimiento.			CIRIA 2015, Woods Ballard. Londres. Técnicas Alternativas para Soluciones de Aguas Lluvias en Sectores Urbanos, Ministerio de Vivienda y Urbanismo. Chile. Manual of Contract Documents for Highway Works Volume1. Scotland, Wales and Northern Ireland.
10	Mmachaka et al. (2023)	El artículo analiza un SUDS en el canal Markman, que mejora la calidad del agua en el estuario Swartkops, Sudáfrica. El sistema redujo significativamente contaminantes como metales pesados y E. coli, aunque algunos metales aún superan los límites regulatorios, destacando la necesidad de monitoreo continuo.	-Análisis de conductividad. -Análisis de Sólidos Suspendidos Totales (SST). -Análisis de Macronutrientes y elementos. -Muestreo de Agua.	-Tren de tratamiento con cinco tanques de 500 L.	Water Sensitive Urban Design (WSUD) para Sudáfrica – Guía TT 588/14 del Water Research Commission (WRC)
11	D'Ambrosio & Longobardi, (2023)	El estudio destaco que los SUDS son esenciales para gestionar la escorrentía, pero su desempeño puede verse influenciado por la severidad de las precipitaciones, extensión del área y características del uso del suelo.	-Búsqueda de información en diferentes escenarios de drenajes -Categorización de la información -Modelamiento de los modelos de drenaje SWMM.	-Jardines de lluvia, zanjas de drenaje y estacionamientos permeables.	Regulación Regional Lombarda N.º 7 (23/11/2017)
12	Chapman & Hall, (2022)	Desarrolla una nueva metodología como es el mapeo de servicios para evaluar para evaluar el potencial de las redes de infraestructura verde y SUDS.	-Recolección de información -Evaluación de cuatro escenarios de servicios de Infraestructura Verde	-Superficies y pavimentos permeables,	CIRIA C753 – The SuDS Manual (Reino Unido)

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

ID	Autor (es)	Relevancia	Método	Herramienta SUDS	Normativa
			-Realiza un mapa general de servicios.	cubiertas verdes y cuencas de retención	
13	Chen & Chui, (2025)	Revisión sobre diseño de SUDS en climas subtropicales, usando biochar y vegetación local para enfrentar lluvias intensas y sequías.	-Revisión sistemática de estudios y casos reales. -Modelación con SWMM, monitoreo de campo	-Bioretención con biochar, techos verdes y pavimentos permeables	CIRIA (UK), EPA (EE.UU.), ABC Waters (Singapur)
14	(Liu et al., 2025)	Estudio de estanques de retención frente a microcontaminantes y microplásticos; retención >90 %, contaminación residual en sedimentos.	-Ensayos microcosmos y análisis de contaminantes. -µFTIR, sensores DO/pH, monitoreo ambiental	-Estanques de retención, biofiltros piloto	Water Sensitive Urban Design (WSUD) for South Africa
15	(Lähde et al., 2023)	Revisión sobre SUDS en climas subtropicales, destacando biochar y vegetación local. Adaptables a contextos extremos.	-Modelado hidrológico y análisis ecológico. -GIS, HEC-HMS, análisis de biodiversidad	-Humedales construidos, franjas vegetadas y zanjas de infiltración	Directiva Marco del Agua (UE), normas ISO ambientales
16	(Figueroa-Avalos et al., 2024)	Caso mexicano. Bioretención trató escorrentía contaminada. Viabilidad técnica y ambiental local.	-Monitoreo de calidad del agua en eventos lluviosos. -Sensores, análisis estadístico -Modelación con SWMM	-Bioretención con vegetación y sustrato local	Sin norma específica; diseño contextual
17	(Godyń et al., 2024)	Evaluación multicriterio de SUDS en zonas residenciales considerando impacto ecológico, social y económico	-AHP (jerarquía analítica) y análisis de ciclo de vida. -GIS, AHP, LCA	-Techos verdes, pavimentos permeables, zanjas, fosas de infiltración	PN-EN 752 (Polonia), CIRIA C753 (Europa)
18	(Tota-Maharaj et al., 2025)	Aplicación de SUDS en contextos humanitarios. Mejora de salud y calidad del agua. Estudio piloto en campamentos de refugiados: humedales construidos y biofiltros para cosecha de agua y control de contaminantes	-Ensayos piloto, monitoreo de parámetros físicos y químicos durante 61 semanas. -CIRIA SuDS Manual, sensores BOD, COD, turbidez	-Humedales construidos + biofiltros de gravedad	CIRIA, OMS, alineado con ODS de agua y salud

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

ID	Autor (es)	Relevancia	Método	Herramienta SUDS	Normativa
19	(Xue et al., 2025)	Marco analítico para evaluar eficiencia de SUDS urbanas considerando contaminantes y servicios ecosistémicos	-Modelación integrativa y análisis bibliográfico de desempeño y diseño. -SWMM, análisis multicriterio, modelado hidrológico	-Cubiertas verdes de bioretención y pavimentos permeables	Guías CIRIA/EPA, propuesta política integradora basada en evidencia
20	(Elahi et al., 2025)	Desarrolla modelos de aprendizaje automático (Bayesian CNN) para predicción rápida de inundaciones urbanas y desbordes de alcantarillado combinado, optimizando la gestión de drenaje urbano sostenible.	Simulación hidráulica 2D (InfoDrainage 2D). - Modelado de alcantarillado combinado (InfoWorks ICM). - Entrenamiento y validación de modelo sustituto (Bayesian CNN).	Pavimentos permeables, techos verdes y tanques de retención.	ISO 24536:2019 (Gestión del drenaje urbano) y Directiva Marco del Agua – UE (2000/60/CE).
21	(Bodylevskaya, 2025)	Propone una metodología integrada para diseñar y evaluar bioswales mediante modelación BIM e InfoDrainage, aplicándola en un caso urbano real . Evalúa su impacto en la sostenibilidad y su contribución al drenaje urbano.	-Enfoque cualitativo-cuantitativo. -Modelación hidráulica con InfoDrainage, integración BIM con Autodesk Civil 3D, y análisis de sostenibilidad ambiental.	Zanjas de infiltración	Principios europeos de drenaje sostenible y planificación urbana verde.

Nota. Elaboración propia a partir de la revisión y síntesis de artículos científicos, tesis y documentos normativos sobre Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS).

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Con el fin de cumplir el primer objetivo de este estudio, enfocado en reconocer la relvancia los SUDS, se realizó un análisis exhaustivo de la revisión bibliográfica existente recopilados a partir de fuentes fiables, entre ellas Web of Science, Scopus y Google Scholar, entre otros. Por medio de un análisis exhaustivo de 21 investigaciones tanto nacionales e internacionales, resultó que los SUDS son soluciones integrales para enfrentar los desafíos crecientes relacionados con la escorrentía pluvial, la urbanización desordenada, la cobertura impermeable del suelo y las consecuencias del cambio climatico. La revisión de casos permitió evidenciar que los SUDS, al priorizar la infiltración, retención, reutilización y tratamiento natural del agua de lluvia, se presentan como una opción más eficaz, sostenible y resiliente en comparación infraestructura de drenaje urbano convencional.

En el caso peruano, estudios aplicados como los de López & Villavicencio (2021) , Valdivia (2024) y Ticahuanca, (2022) muestran cómo diversas técnicas como jardines de lluvia, cunetas verdes, pavimentos permeables y techos verdes pueden integrarse exitosamente en zonas urbanas. Estos trabajos destacan beneficios como la disminución del riesgo de inundaciones, el aumento de la recarga de acuíferos y la reducción de la presión sobre las redes de drenaje, y el aprovechamiento del agua pluvial para riego o conservación ambiental.

A nivel normativo, se evidenció que, aunque el Perú aún carece de una normativa específica nacional sobre SUDS, diversos estudios han recurrido a referencias técnicas de normas locales como la Norma Técnica CE.040, complementándolas con guías internacionales como el manual CIRIA C753 (Reino Unido), la guía WSUD TT 588/14 (Sudáfrica) y documentos de la EPA (EE.UU.). Esta diversidad normativa aplicada en los proyectos revela no solo una carencia nacional, sino también la necesidad urgente de desarrollar un marco normativo propio, adecuado al contexto climático, urbano y social del país.

Los estudios internacionales refuerzan la importancia de los SUDS desde una perspectiva sistémica. Casos como el de Wang et al. (2021) en China y Tota-Maharaj et al.,

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

(2025) en África demuestran que los SUDS no solo son eficientes en retención de agua, sino también en la optimización de estado del agua, el fortalecimiento de la resiliencia ante fenómenos extremos y la creación de áreas verdes con diversas funciones, incluso en contextos vulnerables o con recursos limitados.

4.2. ELECCIÓN DE SUDS

Los resultados obtenidos respecto a la verificación de la mejor alternativa de SUDS para evitar inundaciones permitió afirmar que la infraestructura pluvial existente es insuficiente para responder frente a los episodios de lluvia documentados en la zona de estudio, donde la vía cuenta con ocho carriles pavimentados y un número reducido de bocas de tormenta.

Figura 10

Boca de tormenta



Nota. Foto tomada de una de las bocas de tormenta existentes en la Av. 54.

Este panorama pone en evidencia la carencia de un sistema integral de drenaje pluvial que permita controlar adecuadamente la escorrentía superficial. En ese sentido, la implementación de SUDS se plantea como una opción confiable para optimizar la gestión de aguas de lluvia en la zona.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

En cuanto a las características geotécnicas de área se analizó el estudio de suelos correspondiente al proyecto "Mejoramiento de la vía de integración Avenida 54 en el Cono Norte, Distrito de Cerro Colorado – Arequipa" el cual se adjunta en el Anexo 1, donde se ejecutaron tres calicatas de exploración con profundidades de 1,25 m. En ninguno de los sondeos se interceptó el nivel freático, lo que indica que la napa se encuentra a una cota inferior a la explorada y, por tanto, existe una zona no saturada suficientemente extensa para permitir procesos de infiltración sin riesgo inmediato de saturación. Este aspecto es relevante, ya que según el Manual CIRIA C753, para la implementación de sistemas de infiltración se debe garantizar al menos 1,0 m de separación vertical entre la base del sistema y el nivel freático más alto anticipado, con el propósito de garantizar la conservación de la calidad del agua subterránea y asegurar la eficacia hidráulica del sistema (CIRIA, 2015).

La calicata C-01 corresponde a un suelo predominantemente arenoso con presencia de limos, clasificado como SM (arena limosa) según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS). Este material presenta bajos contenidos de grava de 1.0 % a 7.0 % y una alta proporción de arena de 81 % a 93 %, con finos no plásticos. Sus características indican un suelo de origen aluvial, con baja plasticidad, densidad máxima de 1.720 g/cm³ y humedad óptima de 15.57 %, mostrando un comportamiento granular aceptable y una capacidad portante moderada.

De manera similar, la calicata C-02 presenta un suelo clasificado también como SM (arena limosa), compuesto por aproximadamente 96 % de arena y 4 % de grava, con ausencia de plasticidad (LL y LP no plásticos). Este material evidencia una menor densidad máxima de 1.577 g/cm³ y una humedad óptima mayor de 19.20 %, lo que sugiere un suelo más suelto y de menor resistencia relativa en comparación con la calicata C-01, siendo su desempeño altamente dependiente del grado de compactación.

Por otro lado, la calicata C-03 presenta un material significativamente más grueso y competente, clasificado como A-1-b según AASHTO y GM (grava limosa) según SUCS. Este

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

suelo está compuesto aproximadamente por 50 % de grava y 50 % de arena, con finos no plásticos, alta densidad máxima de 1.830 g/cm³ y baja humedad óptima de 11.00 %. El valor de CBR de 87.5 % evidencia una excelente capacidad de soporte, lo que lo convierte en un material altamente favorable para su uso como subrasante mejorada, subbase o base granular.

En conjunto, los resultados indican la presencia de suelos aluviales predominantemente granulares, con variabilidad en su calidad geotécnica. Mientras que los materiales identificados en las calicatas C-01 y C-02 presentan condiciones aceptables, pero con capacidad portante moderada, el suelo correspondiente a la calicata C-03 destaca por su elevada resistencia y adecuado comportamiento mecánico, siendo el más favorable desde el punto de vista estructural.

De acuerdo con los criterios establecidos en el Manual SUDS de CIRIA (C753), los suelos identificados en el área de estudio, predominantemente granulares y de baja plasticidad, presentan condiciones favorables para la implementación de sistemas de drenaje sostenible. Los suelos clasificados como arenas limosas (SM) permiten la aplicación de SUDS con infiltración controlada, tales como cunetas verdes y áreas de biorretención, siempre que se incorporen medidas de pretratamiento para reducir el riesgo de colmatación. Asimismo, el suelo identificado como grava limosa (GM), clasificado como A-1-b según AASHTO, presenta una elevada capacidad portante y buena permeabilidad, siendo altamente adecuado para la implementación de SUDS basados en infiltración, como pavimentos permeables, cuentas verdes y estructuras de almacenamiento e infiltración (CIRIA, 2015).

Así mismo, una metodología propuesta por el Centro de Investigaciones de Ingeniería Ambiental (CIIA) de la Universidad de los Andes de Colombia, la cual tiene el objetivo de generar recomendaciones sobre las tipologías más adecuadas para ser implementadas de acuerdo con la valoración de cinco criterios: la mejora de la calidad, control de cantidad de escorrentía, generación de amenidad, requerimientos de mantenimiento y costos. A su vez, se

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

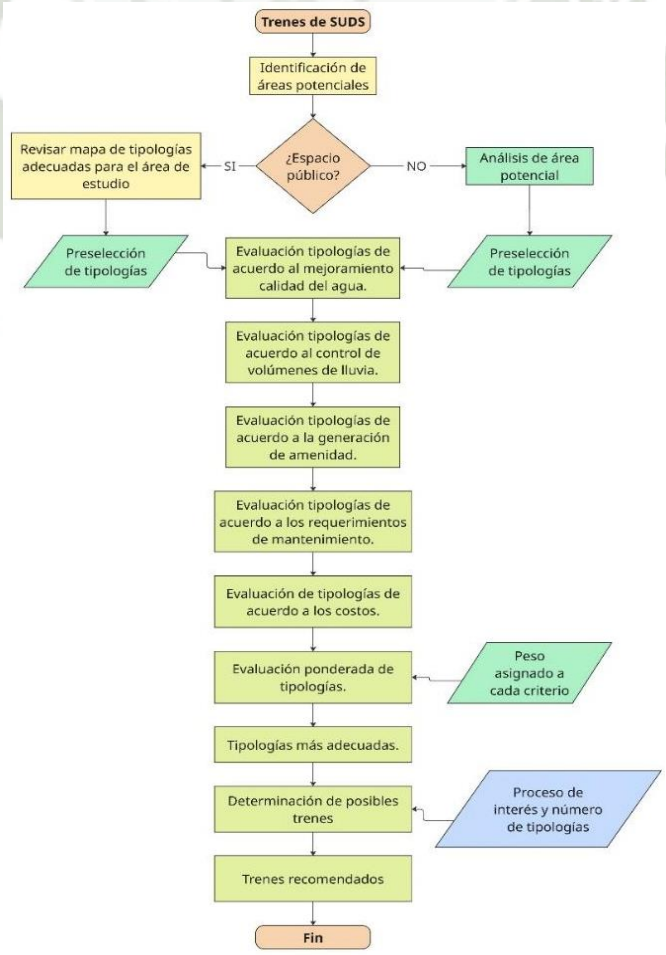
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

establecen recomendaciones para la conformación de trenes de SUDS de acuerdo con procesos que sean de interés (i.e. transporte, almacenamiento, infiltración y aprovechamiento de escorrentía para riego o para otros objetivos). Esta metodología se establece a partir de las tipologías de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) que más se adapten a las condiciones de un área determinada (CIIA, 2016).

De esta manera se incluyen siete tipologías: alcorque inundable, tanque de almacenamiento, cuneta verde, zona de bio-retención, zanja de infiltración, pavimento permeable y cuenca seca de drenaje extendido. A continuación, se presenta una guía sobre el contenido de la hoja de cálculo.

Figura 11

Metodología de selección de tipologías de SUDS



Nota. Extraído de la hoja de cálculo del Anexo 3.3. (CIIA, 2016).

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

4.2.1. Definición de tipologías factibles

La identificación de las tipologías factibles en el área corresponde a la primera parte de la metodología propuesta. Este proceso debe llevarse a cabo a partir del análisis de distintas variables como el tipo de espacio en el cual se va a implementar la tipología y las características del área disponible. En este sentido se permite definir un conjunto de tipologías recomendadas, las cuales pueden ser seleccionadas en la "Preselección tipologías".

Tabla 9

Definición de tipologías factibles

Variable	Unidad	Valor a ingresar
Tipo de espacio	-	Separador vial
Pendiente longitudinal	%	3.5
Distancia al nivel freático	m	12
Tasa de infiltración	mm/h	12
Distancia a cimientos	m	1
Área disponible	m^2	1140
Ancho (del área disponible)	m	5.7
Largo (del área disponible)	m	200

Nota. Adaptado de la hoja de cálculo del Anexo 3.3. (CIIA, 2016).

Como se puede observar, el espacio evaluado corresponde a un separador vial. La pendiente longitudinal del terreno se determinó a partir del plano de planta y perfil longitudinal del expediente “Mejoramiento de la vía de interconexión Av. N°54, distrito de Cerro Colorado – provincia de Arequipa – Arequipa”.

En cuanto a la profundidad del nivel freático, y según estudios del Plan Maestro de Drenaje Pluvial de la ANA (2019), se recomienda considerar un rango de 12 a 18 metros para zonas urbanas en estudios preliminares. Para este caso, se ha adoptado un valor conservador de 12 metros. La tasa de infiltración se estimó en función de las características generales del suelo en el distrito de Cerro Colorado, donde predomina un suelo A-1-b. En base a referencias técnicas, este tipo de suelo debería presentar tasas de infiltración de 1 mm/h y 12 mm/h, por lo que en base al ensayo de doble anillo de infiltración realizado se obtuvo un valor de 12 mm/h para el presente análisis.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Respecto a la profundidad de cimientos, al tratarse de un separador vial, no existen estructuras edificadas, por lo que se asume una profundidad representativa de 1 metro. Finalmente, el área disponible para la incorporación de cunetas verdes se estimó en aproximadamente 1140 m², con un ancho de 5.7 metros y un largo de 200 metros, dimensiones ligeramente sub-dimensionadas con fines preliminares de evaluación. Es entonces que se obtienen las siguientes tipologías:

Tabla 10

Tipologías recomendadas

	Con infiltración	Sin infiltración
Tipologías recomendadas	-	CUNETAS VERDES
	-	TANQUES DE ALMACENAMIENTO
	-	PAVIMENTOS PERMEABLES

Nota. Adaptado de la hoja de cálculo del Anexo 3.3. (CIIA, 2016).

A partir de la hoja de cálculo proporcionada por la Universidad de los Andes, se incorporaron en el análisis, la tipología de cunetas verdes correspondientes al SUDS seleccionado para implementar en el área de estudio. Esto permite validar que, mediante un criterio visual y técnico, la elección de los criterios ingresados ha sido correctamente fundamentada dentro del análisis previo.

4.2.2. Evaluación de tipologías

De acuerdo con las tipologías factibles en el área de estudio, se debe seleccionar, de la lista de alternativas recomendadas, aquellas tipologías de SUDS que serán evaluadas. A partir de esta preselección, se procede a analizar los distintos criterios de evaluación definidos para cada tipología. Estos criterios se presentan en la Tabla 11, la cual contiene una matriz de evaluación que permite determinar la alternativa más adecuada. La elección se basa en la valoración de cada criterio de selección, así como en los pesos asignados por el usuario, considerando que no todos los criterios tienen la misma importancia, ya que esta puede variar según los objetivos específicos del proyecto.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Finalmente, se muestra el puntaje total obtenido por cada tipología. Aquellas con mayor puntuación se consideran como las más adecuadas para el sitio evaluado.

Tabla 11

Criterios de selección de SUDS

Criterios de selección	Peso (%)
Mejoramiento de calidad de agua	25
Control y volúmenes	35
Amenidad y conflictos de uso	5
Mantenimiento	20
Costos	15
Suma	**100%**

Nota. Adaptado de la hoja de cálculo del Anexo 3.3. (CIIA, 2016).

Para justificar los valores escogidos, es importante resaltar que las cunetas verdes son fundamentales para controlar el volumen y caudal de la escorrentía, además de asegurar un adecuado mantenimiento con costos gestionables. El mejoramiento de la calidad del agua es crucial, ya que estas zonas están diseñadas para capturar y filtrar contaminantes presentes en la escorrentía mediante la vegetación, por lo que se estima un 25%. El control del volumen y caudal es igualmente esencial, ya que estas áreas permiten almacenar temporalmente el agua y reducir el riesgo de inundaciones mediante un drenaje controlado, especialmente en áreas urbanas con alta impermeabilización, se le da un valor de 35%. La amenidad y el valor paisajístico, proporcionan un diseño sencillo y la incorporación de diversas especies vegetales que mejoran el entorno urbano, lo que contribuye a la aceptación social y el bienestar, a este valor se le asigna un 5%. El mantenimiento es uno de los factores más importantes para el rendimiento a largo plazo de las cunetas verdes, ya que requiere limpieza periódica, control de vegetación y revisión del sistema de drenaje, por lo que se le da un valor de 20%. Finalmente, los costos de implementación se le asigna un valor representativo del 15%, ya que no requiere una cantidad de insumos excesiva. Por lo que resulta lo siguiente:

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 12

Matriz final de selección de tipologías

CRITERIOS DE SELECCIÓN	TIPOLOGÍA: CUNETAS VERDES	TANQUE DE ALMACENAMIENTO	PAVIMENTOS PERMEABLES
Mejoramiento de calidad de agua	1.6	0.0	2.1
Control de volúmenes	1.0	2.0	2.5
Amenidad y conflictos de uso	1.5	1.5	1.5
Mantenimiento	3.0	3.0	1.0
Costos	3.0	2.0	1.5
TOTAL (máximo 5 puntos)	**3.1**	**2.8**	**3.2**

Nota. Adaptado de la hoja de cálculo del Anexo 3.3. (CIIA, 2016).

De acuerdo con la hoja de cálculo y la evaluación de las tres tipologías recomendadas en una escala de 1 a 5, el orden de selección obtenido es el siguiente: en tercer lugar, el tanque de almacenamiento con un valor de 2.8; en segundo lugar, las cunetas verdes con 3.1; y en primer lugar, los pavimentos permeables con un valor de 3.2. No obstante, se opta por implementar las cunetas verdes, ya que, aunque representan la segunda mejor alternativa, su diseño resulta más sencillo y ampliamente conocido. Puesto que el dimensionamiento de cunetas verdes guarda similitud con el de cunetas de concreto simple. El siguiente paso consiste en la definición del tren de tratamiento para lo cual debe seleccionar los procesos de interés para la conformación de un tren de SUDS

4.2.3. Tren de SUDS

La definición de los trenes se realiza a partir de los procesos que son factibles en el área y que, de acuerdo a los objetivos del proyecto, deben llevarse a cabo. Para la conformación de trenes de SUDS se consideran cinco procesos principales correspondientes a: infiltración, detención, transporte, aprovechamiento de agua pluvial y aprovechamiento de agua pluvial para riego. Cada tipología de SUDS tiene características diferentes que la hacen más adecuada para el desarrollo de estos procesos.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 13

Puntajes asignados según el desempeño para los procesos evaluados

	PROCESOS			
	Transporte (T)	Infiltración (I)	Almacenamiento y Detención (A)	Aprovechamiento de agua pluvial (R)
TIPOLOGÍA				
CUNETAS VERDES	2	1	5	0
TANQUES DE ALMACENAMIENTO	0	5	0	5
PAVIMENTO PERMEABLE	5	3	0	0

Nota. Adaptado de la hoja de cálculo del Anexo 3.3. (CIIA, 2016).

La Tabla 13 considerando que el objetivo principal del sistema propuesto es favorecer el transporte controlado de la escorrentía superficial y promover la infiltración, la cuneta verde se identifica como una tipología adecuada dentro del tren de SUDS.

Si bien la cuneta verde no alcanza el mayor puntaje individual en los procesos de transporte e infiltración frente a otras tipologías, su funcionamiento integrado permite conducir el flujo superficial de manera continua, reducir la velocidad del escurrimiento y favorecer la infiltración progresiva a lo largo de todo su trazado, lo cual resulta especialmente eficiente en infraestructuras lineales como vías urbanas. A diferencia de soluciones puntuales, la cuneta verde actúa de forma distribuida, incrementando el tiempo de contacto del agua con el suelo y mejorando el desempeño global del proceso de infiltración.

4.2.4. Restricciones para la implementación de tipologías SUDS

En esta sección se presentan las restricciones consideradas para la preselección de tipologías de SUDS. Las variables incluidas corresponden al tipo de espacio disponible y a restricciones físicas.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 14

Preselección de tipologías de SUDS de acuerdo con la selección de áreas potenciales

ÁREAS POTENCIALES / TIPOLOGÍA	CUNETAS VERDES	TANQUES DE ALMACENAMIENTO	ZONAS DE BIO-RETENCIÓN	ALCORQUES INUNDABLES	CUENCA SECA DE DRENAJE	ZANJAS DE INFILTRACIÓN	PAVIMENTOS PERMEABLES
Parque	X		**X**		X	X	X
Plaza		X	X	X			X
Andén		X	X	X			X
Vía (flujo vehicular bajo)		X				X	
Zona comercial		X	X	X			
Zona industrial		X					
Zona institucional		X	X	X			
Separador vial	X	X	X	X		X	X
Corredor verde	X		X			X	X
Jardín domiciliar		X	X				X
Parqueadero		X	X	X		X	X

Nota. Adaptado de la hoja de cálculo del Anexo 3.3. (CIIA, 2016).

Tabla 15

Restricciones recomendadas para la tipología propuesta

Parámetro		CUNETAS VERDES
Pendiente longitudinal (%)	Máx	10
	Mín	1
Distancia al nivel freático (m)	Mín	1.5
Tasa de infiltración del suelo (mm/h)	Mín	13
Distancia a cimientos (m)	Mín	1

Nota. Adaptado de la hoja de cálculo del Anexo 3.3. (CIIA, 2016).

4.2.5. Objetivos de selección de tipologías de SUDS

En este apartado se detallan las calificaciones asignadas a las tipologías evaluadas de acuerdo a cinco criterios. Esta evaluación se realiza debido a que cada tipología de SUDS presenta características distintas en cuanto a su implementación y operación, por lo tanto, es necesario evaluar de manera independiente las condiciones que éstas presentan.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 12

Objetivos de selección de tipologías SUDS



Nota. Extraído de la hoja de cálculo del Anexo 3.3. (CIIA, 2016).

4.2.6. Mejoramiento de calidad del agua

El criterio de mejoramiento de la calidad del agua se valora numéricamente respecto a la eficiencia de remoción donde el número uno (1) equivale a bajo, dos (2) a medio y tres (3) a alto.

Tabla 16

Matriz de evaluación de tipologías seleccionadas según eficiencia de remoción de contaminantes

TIPOLOGÍA / CONTAMINANTE	CUNETAS VERDES	TANQUES DE ALMACENAMIENTO	PAVIMENTOS PERMEABLES
NUTRIENTES	2	0	1
METALES	1	0	2
PATÓGENOS	1	0	2
SEDIMENTOS	2	0	3
ACEITES Y GRASAS	2	0	3
BASURA Y ESCOMBROS	2	0	2
FILTRACIÓN Y SORCIÓN	1	0	2
TOTAL	1.6	0.0	2.1

Nota. Adaptado de la hoja de cálculo del Anexo 3.3. (CIIA, 2016).

La Tabla 17, a continuación, demuestra la calificación tipologías según eficiencia de remoción de contaminantes y procesos de filtración y sorción.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 17

Calificación tipologías según eficiencia de remoción de contaminantes y procesos de filtración y sorción

TIPOLOGÍA / CONTAMINANTE	NUTRIENTES	METALES	PATÓGENOS	SEDIMENTOS	ACEITES Y GRASAS	BASURA Y ESCOMBROS	FILTRACIÓN Y SORCIÓN
CUNETAS VERDES	M	B	B	M	M	M	B
TANQUES DE ALMACENAMIENTO	N	N	N	N	N	N	N
ZONAS DE BIO-RETENCIÓN	M	B	M	M	A	A	A
ALCORQUES INUNDABLES	M	B	M	M	A	A	M
CUENCA SECA DE DRENAJE	B	M	A	M	M	A	B
ZANJAS DE INFILTRACIÓN	M	A	A	A	M	A	A
PAVIMENTOS PERMEABLES	B	M	M	A	A	M	M

Nota. Adaptado de la hoja de cálculo del Anexo 3.3. (CIIA, 2016).

4.2.7. Manejo de volúmenes de agua de lluvia:

Este apartado contiene las tipologías seleccionadas previamente y la evaluación correspondiente. La calificación numérica respecto a la eficiencia de reducción de volumen se efectúa en una escala de 1 a 3 en donde: uno (1) equivale a baja, dos (2) es media y tres (3) es alta. La tipología más eficiente en la reducción de escorrentía es la que presente la calificación más alta.

Tabla 18

Matriz de evaluación de tipologías seleccionadas según eficiencia de control de volumen de escorrentía

	TIPOLOGÍA		
CRITERIO DE CONTROL DE VOLUMEN	**CUNETAS VERDES**	**TANQUES DE ALMACENAMIENTO**	**PAVIMENTOS PERMEBALES**
REDUCCIÓN VOLUMEN	1	2	3
REDUCCIÓN DESCARGA MÁXIMA	1	2	2
TOTAL	1.0	2.0	2.5

Nota. Adaptado de la hoja de cálculo del Anexo 3.3. (CIIA, 2016).

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

4.2.8. Amenidad y conflictos de uso

La calificación se realiza numéricamente respecto a la contribución de la amenidad donde tres (3) equivale a alta, dos (2) es media y uno (1) es nula, y respecto a los conflictos de uso donde tres (3) equivale a bajo, dos (2) es medio y uno (1) es alto. Al final de la matriz se promedian los resultados y la calificación más alta es la tipología con mayor contribución a la amenidad y con menores conflictos de uso.

Tabla 19

Matriz de evaluación de tipologías seleccionadas según contribución a la amenidad y conflictos de uso

AMENIDAD / CONFLICTO DE USO	TIPOLOGÍA: CUNETAS VERDES	ZONAS DE BIO-RETENCIÓN	PAVIMENTOS PERMEABLES
Amenidad	2	0	0
Interferencia con las actividades en el sitio	1	3	3
Riesgo para la seguridad (usuarios)	1	3	3
TOTAL	1.5	1.5	1.5

Nota. Adaptado de la hoja de cálculo del Anexo 3.3. (CIIA, 2016).

El siguiente criterio a evaluar es el valor de amenidad y los posibles conflictos de uso que pueda generar la implementación de las tipologías de SUDS.

4.2.9. Mantenimiento

La calificación sigue una escala numérica respecto a la frecuencia y al número de actividades de mantenimiento, donde tres (3) equivale a baja, dos (2) es media y uno (1) es alta. La calificación más alta corresponde a la tipología con menor mantenimiento.

Tabla 20

Matriz de evaluación de tipologías seleccionadas según frecuencia de mantenimiento

MANTENIMIENTO / TIPOLOGÍA	CUNETAS VERDES	TANQUES DE ALMACENAMIENTO	PAVIMENTOS PERMEABLES
TOTAL	3.0	3.0	1.0

Nota. Adaptado de la hoja de cálculo del Anexo 3.3. (CIIA, 2016).

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 21

Calificación tipologías según frecuencia de mantenimiento

TIPOLOGÍA	MANTENIMIENTO	RIESGO DE COLMATACIÓN	TOTAL
CUNETAS VERDES		B	BAJA
TANQUES DE ALMACENAMIENTO		B	ALTA
ZONAS DE BIO-RETENCIÓN		A	MEDIA
ALCORQUES INUNDABLES		M	MEDIA
CUENCA SECA DE DRENAJE		M	ALTA
ZANJAS DE INFILTRACIÓN		A	ALTA
PAVIMENTOS PERMEABLES		A	ALTA

Nota. Adaptado de la hoja de cálculo del Anexo 3.3. (CIIA, 2016).

4.2.10. Costos

La Tabla 22 muestra la evaluación de las tipologías seleccionadas a partir de un rango de 1 a 3 en donde tres (3) equivale a bajo, dos (2) es medio y uno (1) es alto. Al final de la matriz se promedian los resultados y la tipología que presente la calificación más alta es la que representa menores costos.

Tabla 22

Matriz de evaluación de tipologías seleccionadas según costos

COSTOS	TIPOLOGÍA CUNETAS VERDES	TANQUES DE ALMACENAMIENTO	PAVIMENTOS PERMEABLES
Costos de capital	3	2	1
Costos de mantenimiento	3	2	2
TOTAL	3.0	2.0	1.5

Nota. Adaptado de la hoja de cálculo del Anexo 3.3. (CIIA, 2016).

Tabla 23

Calificación tipologías según costos

TIPOLOGÍA	COSTOS COSTOS DE CAPITAL	COSTOS DE MANTENIMIENTO
CUNETAS VERDES	B	B
TANQUES DE ALMACENAMIENTO	M	M
ZONAS DE BIO-RETENCIÓN	M	M
ALCORQUES INUNDABLES	M	M

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

CUENCA SECA DE DRENAJE	M	M
ZANJAS DE INFILTRACIÓN	M	M
PAVIMENTOS PERMEABLES	A	M

A: Alto: 1 M: Medio: 2 B: Bajo: 3

Nota. Adaptado de la hoja de cálculo del Anexo 3.3. (CIIA, 2016).

Finalmente, se obtienen los puntajes asignados según el desempeño para los procesos evaluados.

Tabla 24

Puntajes asignados según el desempeño para los procesos evaluados

PROCESOS / TIPOLOGÍA	Infiltración (I)	Almacenamiento / Detención (A)	Transporte (T)	Aprovechamiento de agua pluvial (R)	Aprovechamiento de agua pluvial para riego (Ri)
CUNETAS VERDES	2	1	5	0	0

Nota. Adaptado de la hoja de cálculo del Anexo 3.3. (CIIA, 2016).

Los resultados de la matriz evidenciaron que las cunetas verdes presentan un costo de capital y de mantenimiento considerablemente más bajo en comparación con las demás opciones analizadas, lo que incrementa su viabilidad económica y operativa en el tiempo, por lo tanto en el análisis de las condiciones topográficas, hidrológicas y geotécnicas de la zona de estudio, junto con la revisión normativa y la evaluación en campo, como la verificación realizada mediante la matriz multicriterio de la Universidad de los Andes, coincidieron en señalar que la alternativa más adecuada para la Avenida 54 es la implementación de cunetas verdes. Esta convergencia de resultados confirma la pertinencia de dicha tipología, ya que combina eficiencia hidráulica, capacidad de infiltración y transporte, adecuación al espacio disponible y menores costos de capital y mantenimiento en comparación con otras opciones evaluadas

4.3. CARACTERIZACIÓN FISICA-HIDROLOGICA DEL ÁREA DE ESTUDIO

4.3.1. Ubicación

El presente proyecto se ubica en la Av. 54, distrito de Cerro Colorado, provincia y región de Arequipa, una zona que atraviesa áreas pobladas y ejes viales cercanos a torrenteras y canales

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

de drenaje urbano. Esta ubicación se caracteriza por una alta sensibilidad frente a precipitaciones intensas, ya que diversos informes municipales y reportes ciudadanos han señalado la recurrencia de inundaciones, aniegos y colapsos de redes pluviales que afectan tanto la transitabilidad como a las viviendas aledañas. En los últimos años se ha registrado el colapso de desagües y hundimientos en la carpeta asfáltica de la propia Av. 54, además de desbordes de agua en distintos sectores del distrito durante episodios de lluvias extraordinarias. A nivel regional, Arequipa presenta una recurrencia promedio de inundaciones y flujos de lodo cada 3,5 años, afectando principalmente a zonas urbanas cercanas a cauces secos o quebradas, como las áreas de Cerro Colorado (Thouret et al., 2013). Los barrios periféricos y asentamientos informales muchos de ellos ubicados en terrazas bajas o junto a canales naturales son los más vulnerables, dado que concentran construcciones precarias y alta densidad poblacional, incrementando así el riesgo de daños severos durante lluvias intensas. Estudios recientes advierten que entre 1984 y 2022 la capacidad de retención de escorrentía en el norte de Arequipa disminuyó del 70-80% al 20-30% debido al crecimiento urbano y la pérdida de áreas verdes (Vilca-Campana et al., 2025), lo cual agrava la ocurrencia de inundaciones repentinas. Este proceso de urbanización ha fragmentado las zonas de amortiguamiento del río y las áreas agrícolas, debilitando los servicios ecosistémicos de mitigación de inundaciones; mientras tanto, las áreas urbanas muestran bajo control de escorrentía, en contraste con las zonas agrícolas y vegetadas que retienen mejor el agua (Castillo-Acosta et al., 2025).

En consecuencia, las zonas aledañas a la Av. 54 en Cerro Colorado enfrentan inundaciones recurrentes y crecientes originadas por la urbanización acelerada, la pérdida de cobertura vegetal y la alta vulnerabilidad social y estructural de su población. El Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI) ha confirmado en sus reportes oficiales que las precipitaciones intensas en Cerro Colorado han provocado afectación de viviendas y vías, evidenciando que se trata de un problema estructural y no de incidentes aislados. Entre las

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

causas principales identificadas destacan la insuficiencia y deficiente mantenimiento de los sistemas de drenaje, el taponamiento de tuberías, la expansión urbana desordenada en zonas cercanas a torrenteras y la concentración de escorrentías superficiales que sobrepasan la capacidad de evacuación. Los impactos resultantes son significativos: viviendas inundadas, pérdidas materiales, deterioro del asfalto y riesgos para la seguridad de la población. Frente a ello, si bien los diagnósticos municipales han priorizado obras de drenaje pluvial y mejoras en la infraestructura existente, la persistencia y recurrencia de estos eventos evidencian brechas en la capacidad de respuesta y cobertura del sistema, lo cual hace indispensable un estudio detallado en la Av. 54 que proponga soluciones integrales orientadas al mayor dimensionamiento de las redes, la implementación de obras de retención e infiltración, la limpieza periódica de torrenteras y un manejo más eficiente de la escorrentía urbana. Asimismo, se requiere impulsar el uso de infraestructura verde mediante la implementación de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS), que favorezcan la infiltración, retención y aprovechamiento del agua de lluvia, contribuyendo a reducir la vulnerabilidad frente a inundaciones y fortaleciendo la resiliencia urbana.

4.3.2. Ensayos de infiltración

El ensayo de infiltración se realizó mediante el método del doble anillo, procesando los datos obtenidos con el modelo de Horton con el fin de determinar la variación de la tasa de infiltración en función del tiempo.

Durante el desarrollo del ensayo se registraron los niveles de agua a intervalos de 5, 10, 15 y 20 minutos, considerando un nivel inicial de 20 cm. A partir de las mediciones se calculó el descenso de lámina (Δh) y la correspondiente tasa de infiltración (f) expresada en cm/h y mm/h. Posteriormente, los valores experimentales fueron ajustados al modelo empírico de Horton, cuya expresión general se define como:

$$f(t) = f_c + (f_0 - f)e^{-kt}$$

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

donde:

- $f(t)$ representa la tasa de infiltración en el tiempo t
- f_0 es la tasa inicial de infiltración,
- f_c corresponde a la tasa de infiltración estable,
- k es el coeficiente de decaimiento que controla la velocidad de ajuste entre f_0 y f_c

Los datos procesados se presentan en la Tabla

Tabla 25

Datos obtenidos de los ensayos de infiltración

N	Tiempo (min)	Tiempo (h)	Nivel inicial (cm)	Nivel final (cm)	Δh (cm)	Δt (h)	f (cm/h)	f (mm/h)	Tiempo medio (h)	ln(f - fc)
1	0	0.0	20.0	20.0	0.0	0.0	-	-	0.0	-
2	5	0.083	20.0	19.9	0.1	0.067	1.5	15.0	0.05	0.176
3	10	0.167	19.9	19.8	0.1	0.083	1.2	12.0	0.125	0.079
4	15	0.25	19.8	19.7	0.1	0.083	1.2	12.0	0.208	0.079
5	20	0.333	19.7	19.6	0.1	0.083	1.2	12.0	0.292	0.079

Nota. Elaboración propia.

La tasa de infiltración frente al tiempo evidencia una tendencia decreciente, típica del comportamiento del modelo de Horton. En las primeras etapas, la infiltración presenta valores más altos debido a la mayor capacidad de absorción inicial del suelo; sin embargo, conforme el tiempo avanza, esta capacidad disminuye hasta alcanzar una tasa de infiltración estable de aproximadamente 12 mm/h.

Este comportamiento indica que el suelo evaluado presenta una permeabilidad media, caracterizado por una buena capacidad de infiltración inicial que se estabiliza rápidamente.

4.3.3. Delimitación de la cuenca.

La cuenca se delimita mediante una línea imaginaria denominada divisoria de aguas o divortium aquarum, la cual une los puntos de mayor altitud del terreno que actúan como límite natural entre dos áreas de drenaje. Esta línea determina la dirección en que se desplazará la

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

escorrentía superficial, definiendo qué porción del territorio aporta su flujo a un sistema fluvial específico (Chow, 1985).

Por lo tanto, la metodología para la delimitación de la cuenca será la siguiente**:**

- Se inicia el proceso localizando la desembocadura del cauce principal correspondiente a la cuenca que se desea definir.
- A partir de dicho punto y avanzando aguas arriba, se procede a identificar los afluentes secundarios, considerando también los cursos fluviales pertenecientes a cuencas adyacentes. Con esta información se establece una zona de delimitación preliminar, dentro de la cual se trazará posteriormente la línea divisoria o *divortium aquarum*.
- En esta franja de delimitación se determinan los puntos de mayor elevación del relieve.
- Posteriormente, se conectan las cimas identificadas aplicando el criterio de máxima pendiente**.** Cada tramo de la línea resultante se comprueba mediante el criterio de la gota de agua**,** que consiste en observar hacia qué dirección se desplazaría una gota sobre el terreno: si puede dirigirse hacia dos cuencas distintas, la divisoria se ubicará perpendicularmente a esas trayectorias. La línea generada define finalmente el *divortium aquarum*.
- Finalmente, se reconoce el cauce principal en todo su recorrido, identificando su naciente que representa también el punto de origen de la cuenca y su desembocadura**.** La longitud total del cauce se considera equivalente a la longitud de la cuenca, dato esencial para el cálculo de parámetros morfológicos. Asimismo, deben registrarse la altitud, latitud y longitud tanto del punto de origen como del de salida del cauce principal.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

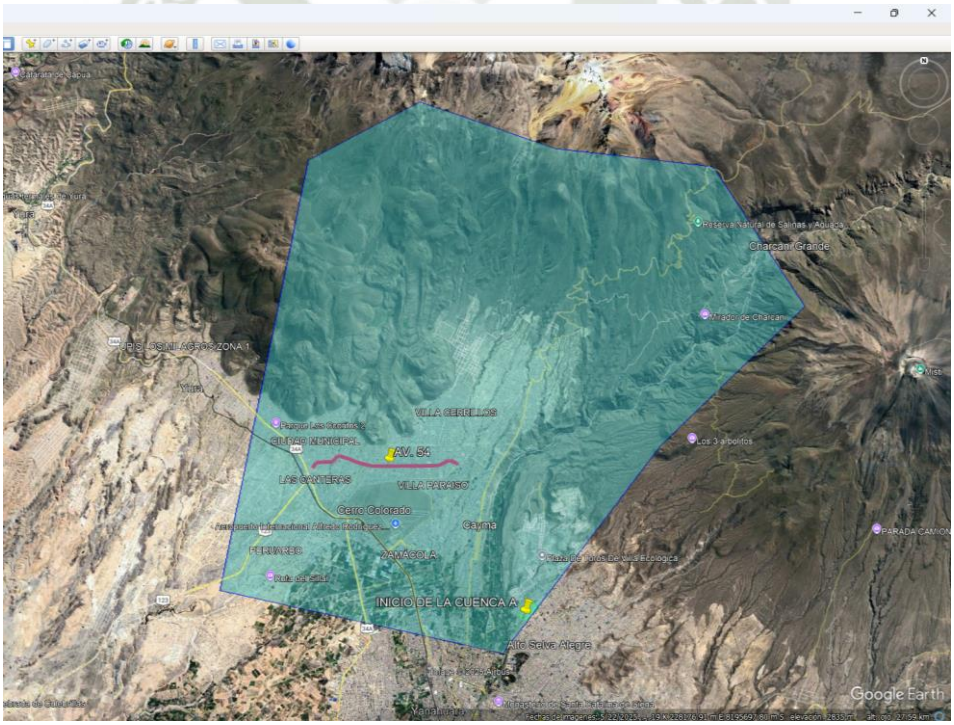
- **Delimitación de cuenca en Global Mapper**

Como primer paso, se delimito preliminarmente la cuenca en Google Earth, trazando un polígono que encierra el área aproximada, este archivo fue exportado en formato kml para ser incorporado en Global Mapper.

Una vez cargado el polígono en Global Mapper, y tras generar el mapa de microcuencas mediante el análisis hidrológico, se procedió a seleccionar únicamente las microcuencas que intersecan o abarcan la Av. 54, estas constituyen la base para continuar con el proceso de delimitación.

Figura 13

Imagen satelital del polígono en Google Earth.



Nota. Elaboración propia a partir de imágenes satelitales obtenidas de Google Earth (2025).

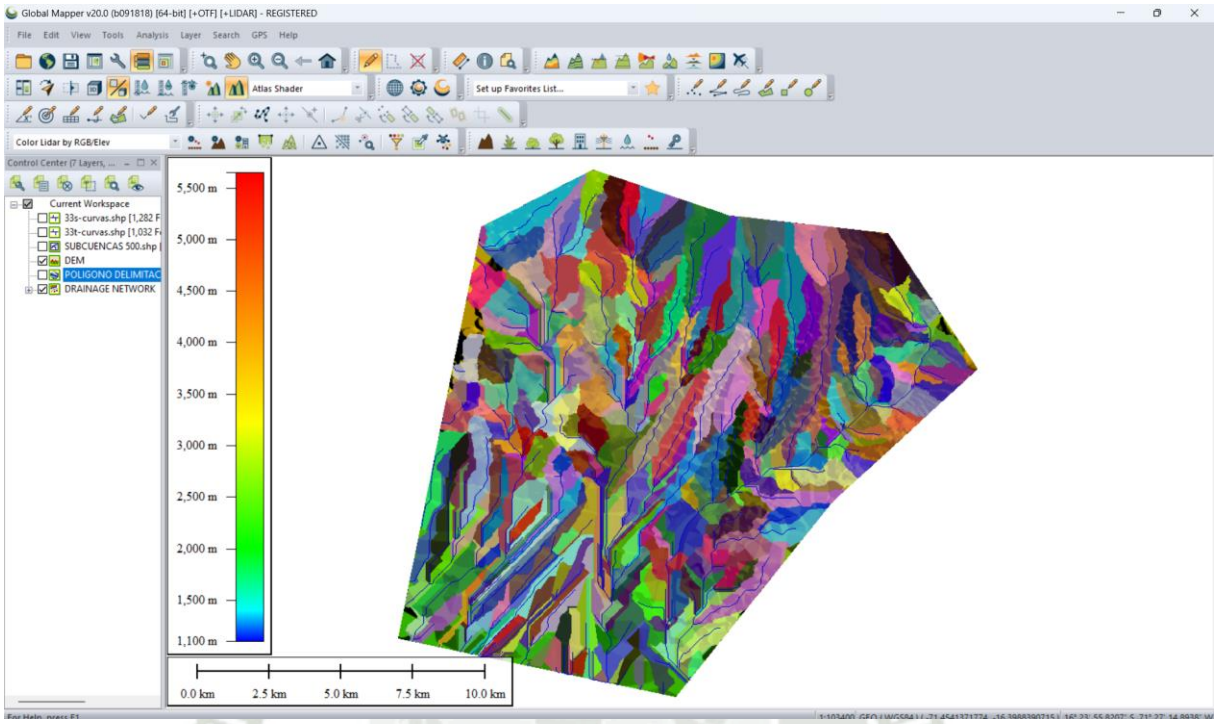
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 14

Delimitación de microcuencas en el área de estudio utilizando Global Mapper



Nota. Elaboración propia mediante software Global Mapper (2025).

- **QGIS**

Para este paso, el polígono obtenido previamente en Global Mapper fue exportado a Google Earth, donde se seleccionaron únicamente las microcuencas que intersecan directamente el tramo de estudio en la Av. 54.

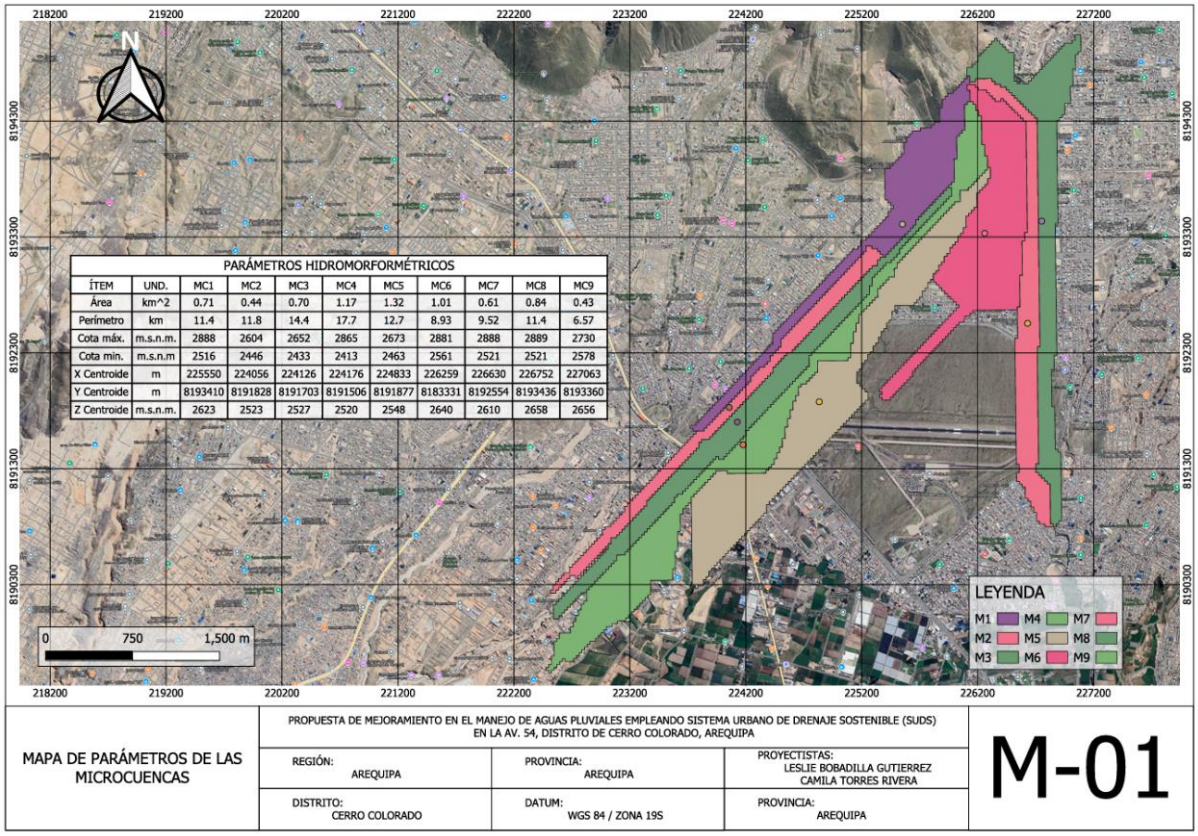
Estas 9 microcuencas seleccionadas fueron luego exportadas en formato KML e importadas en QGIS, software en el cual se procedió a calcular los principales parámetros hidromorfométricos necesarios para el análisis hidrológico, tales como área, perímetro y coordenadas características, entre otros.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 15

Microcuencas seleccionadas correspondientes a la Av. 54



Nota. Elaboración propia mediante el software Qgis (2025).

Figura 16

Parámetros hidro morfológico de las cuencas

PARÁMETROS HIDROMORFORMÉTRICOS										
ÍTEM	UND.	MC1	MC2	MC3	MC4	MC5	MC6	MC7	MC8	MC9
Área	km^2	0.71	0.44	0.70	1.17	1.32	1.01	0.61	0.84	0.43
Perímetro	km	11.4	11.8	14.4	17.7	12.7	8.93	9.52	11.4	6.57
Cota máx.	m.s.n.m.	2888	2604	2652	2865	2673	2881	2888	2889	2730
Cota min.	m.s.n.m	2516	2446	2433	2413	2463	2561	2521	2521	2578
X Centroide	m	225550	224056	224126	224176	224833	226259	226630	226752	227063
Y Centroide	m	8193410	8191828	8191703	8191506	8191877	8183331	8192554	8193436	8193360
Z Centroide	m.s.n.m.	2623	2523	2527	2520	2548	2640	2610	2658	2656

Nota. Elaboración Propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

- **Información hidrometeorológica**

- **Precipitación**

Para la estimación de los valores representativos de precipitación en el área de estudio, se realizó un análisis regional de lluvias empleando la información histórica de las estaciones meteorológicas de La Pampilla, Huasacache y Chiguata. Estas estaciones fueron seleccionadas debido a su proximidad geográfica al área de estudio y por encontrarse a elevaciones similares puesto que la elevación de la Av. 54 es de 2400 m.s.n.m., lo que asegura una mejor representatividad de las condiciones climáticas locales. Asimismo, su disponibilidad de series históricas consistentes permite obtener valores de precipitación más confiables para la caracterización hidrológica de las microcuencas.

El propósito de este análisis fue determinar la precipitación característica para cada una de las microcuencas seleccionadas, tomando como base los registros disponibles en dichas estaciones y evaluando su influencia relativa sobre el sector de la Av. 54.

Para este fin, se aplicó la metodología de Relación de Estaciones Base, mediante la cual se establecen las ecuaciones que permiten definir la influencia de cada estación meteorológica sobre cada microcuenca. De este modo, se obtiene un valor de precipitación ajustado a la ubicación y características específicas de cada unidad de drenaje.

Esta metodología se fundamenta en el supuesto hidrológico de que la precipitación en una cuenca es un fenómeno espacialmente variable, y por lo tanto debe ser ponderada según la cercanía y similitud altitudinal entre cada estación y la microcuenca analizada. Las ecuaciones de influencia permiten asignar pesos relativos a cada estación en función de factores como:

- Distancia horizontal entre la microcuenca y la estación (a menor distancia, mayor influencia).
- Diferencia altitudinal, considerando que la precipitación está altamente correlacionada con la elevación en zonas andinas.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

- Gradientes pluviométricos regionales, los cuales indican cómo cambia la precipitación con la altura o la ubicación.

En esencia, estas ecuaciones generan coeficientes de ponderación que reflejan cuánto aporta cada estación al valor final de precipitación estimada para cada microcuenca.

a) Estación “La Pampilla”:

- Latitud: 16°24'18.22"
- Longitud: 71°31'24"
- Altura: 2365 m.s.n.m.

Tabla 26

Estación “La Pampilla” - Precipitación máxima en 24 horas

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1995	28.00	0.00	21.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.30	0.00
1996	12.10	8.90	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1997	11.20	33.40	23.20	0.00	0.00	0.00	0.00	12.40	2.50	0.00	0.00	6.60
1998	9.50	1.90	0.00	1.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.40
1999	3.00	12.30	15.33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.30	0.00	1.50
2000	20.20	9.20	23.70	0.30	0.90	0.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.90
2001	4.90	14.50	30.00	1.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.60	0.00	0.00
2002	3.20	15.40	15.00	0.50	0.00	0.40	4.40	0.00	0.00	0.00	0.00	3.00
2003	5.50	0.80	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2004	8.40	8.10	0.40	0.00	0.00	0.00	3.90	0.00	0.00	0.00	0.00	2.30
2005	4.40	5.20	3.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.70	0.00	0.00	4.40
2006	5.70	14.90	10.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.30	0.00	0.00
2007	7.50	7.90	0.00	2.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.60
2008	25.50	5.40	0.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.70	0.00	0.00	0.00	0.30
2009	3.90	8.40	4.60	0.80	0.00	0.00	0.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2010	0.80	4.70	0.50	0.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50
2011	13.40	17.00	1.00	3.10	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.00
2012	21.80	35.30	13.30	18.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.30	0.00	1.00
2013	16.10	124.50	6.40	0.00	2.00	0.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.40
2014	16.00	0.00	1.90	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2015	11.00	28.40	12.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2016	0.00	28.00	0.90	7.30	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10
2017	17.10	22.90	9.30	0.00	0.50	0.00	0.00	0.00	0.30	0.00	0.20	4.70
2018	6.40	2.60	5.80	0.20	0.00	0.90	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2019	12.10	14.50	6.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2020	10.02	28.30	16.41	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10.08
2021	13.50	1.1	8.4	1.54	0.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	0.00

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

2022	5.30	4.80	6.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.40
2023	16.90	12.30	5.00	2.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.60	2.70
2024	6.7	8.9	11.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	0.1

Nota. Elaboración propia a partir de datos de precipitación del SENAMHI.

b) Estación "Huasacache":

- Latitud: 16° 27'27.87"
- Longitud: 71° 33'58.85"
- Altura: 2200 m.s.n.m.

Tabla 27

Estación "Huasacache" - Precipitación máxima en 24 horas

AÑO/MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1995	19.6	0.0	10.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1996	8.3	10.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1997	14.9	25.5	33.3	0.0	0.0	0.0	0.0	9.2	1.5	0.0	0.0	5.5
1998	15.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8
1999	2.4	8.8	25.0	3.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	2.0
2000	7.4	9.5	11.1	0.0	0.6	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2001	4.1	8.4	8.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.6
2002	2.2	6.7	9.0	0.3	0.0	0.0	4.1	0.0	0.0	0.0	0.0	2.6
2003	6.5	0.2	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2004	4.1	5.5	0.0	0.0	0.0	0.0	4.2	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0
2005	5.6	3.5	1.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	1.3
2006	5.5	9.6	4.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2007	23.4	4.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2008	22.5	3.3	1.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	0.0	0.0	0.0	2.3
2009	3.3	7.0	2.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2010	0.4	3.5	0.0	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2011	6.0	48.8	0.8	4.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.5
2012	24.3	29.7	17.3	10.3	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2013	10.6	20.9	8.0	0.0	1.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5
2014	8.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2015	9.6	14.7	11.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2016	0.0	6.9	0.2	10.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2017	41.5	18.3	11.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.2
2018	8.3	9.2	4.2	0.0	0.0	0.3	0.9	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0
2019	22.4	13.3	7.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2020	16.2	10.3	26.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	16.7
2021	3.5	0.5	6.9	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2022	4.2	5.4	11.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	6.0
2023	23.8	11.9	5.2	4.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	5.0
2024	5.2	13.3	32.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Nota. Elaboración propia a partir de datos de precipitación del SENAMHI.

c) Estación "Chiguata":

- Latitud: 16° 24'1"
- Longitud: 71° 24'1"
- Altura: 2943 m.s.n.m.

Tabla 28

Estación "Chiguata" - Precipitación máxima en 24 horas

AÑO/MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1995	26.0	0.0	48.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1996	15.9	10.2	2.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0
1997	14.9	44.0	28.5	0.0	0.0	0.0	0.0	19.0	4.8	0.0	0.0	16.4
1998	10.4	12.6	3.9	1.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.4
1999	10.2	19.9	25.0	3.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	13.2
2000	14.3	22.1	36.2	1.4	0.4	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.2
2001	11.4	19.4	20.9	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.6
2002	10.4	24.3	21.7	6.1	0.0	0.0	8.9	0.0	0.0	0.0	0.0	4.0
2003	8.4	2.5	9.2	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3
2004	17.7	18.7	0.6	0.0	0.0	0.0	4.4	0.0	0.0	0.0	0.0	2.6
2005	11.1	13.0	7.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.3	0.0	0.0	8.4
2006	5.5	14.4	13.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.3	0.0	0.8
2007	23.4	9.6	5.1	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5
2008	20.7	14.6	4.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.5
2009	2.4	9.9	6.4	4.2	0.0	0.0	0.4	0.0	0.2	0.0	0.4	0.0
2010	3.3	9.7	2.9	2.6	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.7
2011	16.5	19.2	2.3	2.3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.8
2012	25.3	39.3	36.6	16.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.8
2013	28.5	18.0	21.5	0.0	2.9	1.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.6
2014	16.3	0.8	2.0	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2015	11.4	20.0	14.3	0.0	0.0	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	0.0	0.0
2016	0.0	17.2	2.5	7.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.1	1.3
2017	26.4	34.9	14.9	0.0	1.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.4	6.1
2018	13.9	19.8	16.4	1.4	0.0	0.2	1.9	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0
2019	45.8	34.2	7.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	0.0	11.8
2020	16.6	45.5	26.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	16.7
2021	18.2	4.7	7.8	3.2	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.8	0.3
2022	8.0	11.4	37.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	14.9
2023	22.2	58.3	24.2	28.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5	2.4
2024	15.8	13.4	34.3	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.2	0.7

Nota. Elaboración propia a partir de datos de precipitación del SENAMHI.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

d) Estaciones base:

La Pampilla:

- Latitud: 16°24'18.22"
- Longitud: 71°31'24"
- Altura: 2365 m.s.n.m.

Chiguata:

- Latitud: 16° 24’23.20"
- Longitud: 71° 24’32.90"
- Altura: 2902 m.s.n.m.

Huasacache:

- Latitud: 16° 27’18.26"
- Longitud: 71° 33’58.85"
- Altura: 2902 m.s.n.m.

e) Estaciones en estudio:

Microcuenca 1:

- Latitud: 16°32'47.67"
- Longitud: 71°56'86.11"
- Altura: 2,623 m.s.n.m.

Microcuenca 2:

- Latitud: 16°33'88.79"
- Longitud: 71°58'27.73"
- Altura: 2,523 m.s.n.m.

Microcuenca 3:

- Latitud: 16°34'00.17"
- Longitud: 71°58'21.33"

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

- Altura: 2,527 m.s.n.m.

Microcuenca 4:

- Latitud: 16°34'17.99"
- Longitud: 71°58'16.86"
- Altura: 2,520m.s.n.m.

Microcuenca 5:

- Latitud: 16°33'85.27"
- Longitud: 71°57'55.02"
- Altura: 2,548 m.s.n.m.

Microcuenca 6:

- Latitud: 16°32'55.59'
- Longitud: 71°56'19.87"
- Altura: 2,640 m.s.n.m.

Microcuenca 7:

- Latitud: 16°33'26.15"
- Longitud: 71°55'86.15"
- Altura: 2,610 m.s.n.m.

Microcuenca 8:

- Latitud: 16°32'46.63"
- Longitud: 71°55'73.70"
- Altura: 2,658 m.s.n.m.

Microcuenca 9:

- Latitud: 16°32'53.84"
- Longitud: 71°55'44.68"
- Altura: 2,656 m.s.n.m.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

f) Precipitación de la Microcuenca 1

Tabla 29

Factores de corrección altitudinal e influencia geográfica – Microcuenca 1

Microcuenca 1		
	Factores de corrección altitudinal (ai)	Factor de influencia geográfica (bi)
1	1.11	0.55
2	0.90	0.45
3	1.19	0.60

Nota. Elaboración propia.

Tabla 30

Ecuaciones de precipitación de las estaciones en estudio en función de las estaciones base – Microcuenca 1

Microcuenca 1		
Ecuaciones de precipitación de las estaciones en estudio en función de las estaciones base.		
Pampilla	**Chiguata**	**Huasacache**
0.614	0.404	0.715

Nota. Elaboración propia.

Tabla 31

Precipitación máxima en 24 horas (mm)– Microcuenca 1

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1995	35.04	0.00	32.95	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.18	0.00
1996	13.84	9.58	1.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.36	0.00	0.00	0.00	0.00
1997	36.69	38.26	25.74	0.00	0.00	6.58	1.07	15.28	3.47	3.93	0.00	10.67
1998	10.03	6.25	1.57	1.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.57	0.00	3.44
1999	23.83	18.16	19.50	1.45	0.00	0.00	0.00	0.21	0.00	1.61	0.00	6.25
2000	26.11	14.57	29.59	0.89	0.71	0.67	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.44
2001	13.47	16.73	26.85	2.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.51	0.00	0.65
2002	12.60	19.48	17.97	2.77	2.93	0.25	6.29	0.00	0.00	1.86	0.00	3.46
2003	7.84	1.50	4.94	0.00	0.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.12
2004	12.30	12.52	0.49	0.00	3.00	0.00	4.17	0.00	0.00	0.71	0.00	2.46
2005	8.04	8.44	5.07	0.00	0.00	0.00	0.14	0.00	1.36	0.93	0.00	6.09
2006	8.58	14.96	11.77	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.71	0.00	0.32
2007	14.05	8.72	2.06	1.75	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.97
2008	24.79	9.21	2.17	0.00	0.00	0.29	0.00	0.43	0.00	1.64	0.00	2.40
2009	5.36	9.15	5.41	2.19	0.00	0.00	0.47	0.00	0.08	0.00	0.16	0.00

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

2010	1.82	7.09	1.48	1.29	0.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.99
2011	15.46	21.12	1.54	2.83	0.16	0.00	0.00	0.00	0.00	4.65	0.00	6.22
2012	35.96	44.89	22.94	18.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.18	0.00	1.34
2013	27.10	83.69	13.89	0.00	2.40	0.87	0.00	0.00	0.00	0.36	0.00	3.73
2014	16.40	0.32	1.97	0.49	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2015	19.50	25.51	13.63	0.00	0.00	0.46	0.46	0.46	0.46	0.46	0.00	0.00
2016	0.14	31.78	1.56	7.51	0.00	0.61	0.00	0.00	0.00	0.00	0.46	0.58
2017	29.01	28.16	11.71	0.00	0.95	0.00	0.00	0.00	0.18	2.29	1.09	5.35
2018	12.54	9.59	10.18	0.90	0.64	0.63	1.38	0.71	0.00	0.40	0.00	0.00
2019	31.06	22.70	6.97	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.28	0.00	4.76
2020	31.94	35.74	20.85	0.00	0.00	0.00	0.00	0.14	0.00	12.02	0.00	12.93
2021	20.57	2.72	8.30	2.24	0.75	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.85	0.12
2022	14.70	7.55	18.80	0.00	0.00	0.00	0.21	0.00	0.00	4.29	0.00	9.94
2023	23.05	34.01	12.84	13.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50	3.57	0.97	2.63
2024	33.37	10.87	20.72	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.14	0.00	2.12	0.34

Nota. Elaboración propia.

g) Precipitación de la Microcuenca 2

Tabla 32

Factores de corrección altitudinal e influencia geográfica – Microcuenca 2

	Microcuenca 2	
	Factores de corrección altitudinal (ai)	Factor de influencia geográfica (bi)
1	1.07	0.55
2	0.87	0.45
3	1.15	0.63

Nota. Elaboración propia.

Tabla 33

Ecuaciones de precipitación de las estaciones en estudio en función de las estaciones base – Microcuenca 2

Microcuenca 2		
Ecuaciones de precipitación de las estaciones en estudio en función de las estaciones base**.**		
Pampilla	**Chiguata**	**Huasacache**
0.587	0.391	0.722

Nota. Elaboración propia.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 34

Precipitación máxima en 24 horas (mm)– Microcuenca 2

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1995	34.04	0.00	31.76	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.18	0.00
1996	13.32	9.21	1.13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.35	0.00	0.00	0.00	0.00
1997	36.44	36.81	24.76	0.00	0.00	6.64	1.08	14.71	3.34	3.97	0.00	10.29
1998	9.64	6.04	1.52	1.19	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.58	0.00	3.32
1999	23.80	17.60	18.77	1.41	0.00	0.00	0.00	0.22	0.00	1.62	0.00	6.04
2000	25.46	14.04	28.50	0.87	0.68	0.65	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.39
2001	13.25	16.10	25.78	2.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.51	0.00	0.63
2002	12.44	18.76	17.29	2.68	2.96	0.23	6.06	0.00	0.00	1.88	0.00	3.33
2003	7.60	1.45	4.77	0.00	0.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.12
2004	11.85	12.07	0.47	0.00	3.03	0.00	4.01	0.00	0.00	0.72	0.00	2.37
2005	7.79	8.14	4.89	0.00	0.00	0.00	0.14	0.00	1.31	0.94	0.00	5.87
2006	8.38	14.38	11.32	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.68	0.00	0.31
2007	13.55	8.39	1.99	1.68	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.94
2008	23.86	8.88	2.09	0.00	0.00	0.29	0.00	0.41	0.00	1.66	0.00	2.33
2009	5.25	8.80	5.20	2.11	0.00	0.00	0.45	0.00	0.08	0.00	0.16	0.00
2010	1.76	6.84	1.43	1.25	0.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.96
2011	14.90	20.45	1.49	2.72	0.16	0.00	0.00	0.00	0.00	4.69	0.00	5.98
2012	35.18	43.52	22.12	17.47	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.18	0.00	1.29
2013	26.37	80.13	13.46	0.00	2.31	0.84	0.00	0.00	0.00	0.36	0.00	3.60
2014	15.77	0.31	1.90	0.47	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2015	19.14	24.49	13.11	0.00	0.00	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44	0.00	0.00
2016	0.14	30.89	1.51	7.22	0.00	0.59	0.00	0.00	0.00	0.00	0.44	0.56
2017	28.29	27.10	11.27	0.00	0.92	0.00	0.00	0.00	0.18	2.31	1.06	5.14
2018	12.22	9.27	9.82	0.88	0.65	0.61	1.33	0.72	0.00	0.39	0.00	0.00
2019	30.21	21.88	6.71	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.27	0.00	4.61
2020	31.65	34.40	20.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.14	0.00	12.13	0.00	12.45
2021	20.02	2.63	7.98	2.16	0.72	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.82	0.12
2022	14.54	7.27	18.16	0.00	0.00	0.00	0.22	0.00	0.00	4.33	0.00	9.58
2023	22.35	32.97	12.40	12.61	0.00	0.00	0.00	0.00	0.51	3.61	0.94	2.52
2024	33.21	10.46	19.98	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.14	0.00	2.03	0.33

Nota. Elaboración propia.

h) Precipitación de la Microcuenca 3

Tabla 35

Factores de corrección altitudinal e influencia geográfica – Microcuenca 3

	Microcuenca 3	
	Factores de corrección altitudinal (ai)	Factor de influencia geográfica (bi)
1	1.07	0.55
2	0.87	0.45
3	1.15	0.62

Nota. Elaboración propia.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 36

Ecuaciones de precipitación de las estaciones en estudio en función de las estaciones base – Microcuenca 3

Microcuenca 3		
Ecuaciones de precipitación de las estaciones en estudio en función de las estaciones base.		
Pampilla	**Chiguata**	**Huasacache**
0.589	0.391	0.717

Nota. Elaboración propia.

Tabla 37

Precipitación máxima en 24 horas (mm)– Microcuenca 3

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1995	34.01	0.00	31.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.18	0.00
1996	13.34	9.23	1.13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.35	0.00	0.00	0.00	0.00
1997	36.30	36.87	24.80	0.00	0.00	6.60	1.08	14.73	3.35	3.94	0.00	10.30
1998	9.66	6.05	1.52	1.19	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.57	0.00	3.33
1999	23.68	17.60	18.80	1.41	0.00	0.00	0.00	0.22	0.00	1.61	0.00	6.04
2000	25.44	14.06	28.54	0.87	0.69	0.65	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.39
2001	13.22	16.12	25.83	2.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.50	0.00	0.63
2002	12.41	18.78	17.32	2.68	2.94	0.24	6.07	0.00	0.00	1.86	0.00	3.33
2003	7.60	1.45	4.77	0.00	0.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.12
2004	11.87	12.08	0.47	0.00	3.01	0.00	4.02	0.00	0.00	0.72	0.00	2.37
2005	7.79	8.14	4.89	0.00	0.00	0.00	0.14	0.00	1.31	0.93	0.00	5.87
2006	8.37	14.40	11.34	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.68	0.00	0.31
2007	13.57	8.40	1.99	1.69	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.94
2008	23.89	8.89	2.09	0.00	0.00	0.29	0.00	0.41	0.00	1.65	0.00	2.33
2009	5.24	8.82	5.21	2.11	0.00	0.00	0.45	0.00	0.08	0.00	0.16	0.00
2010	1.76	6.85	1.43	1.25	0.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.96
2011	14.91	20.46	1.49	2.72	0.16	0.00	0.00	0.00	0.00	4.66	0.00	5.99
2012	35.13	43.53	22.14	17.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.18	0.00	1.29
2013	26.36	80.33	13.47	0.00	2.31	0.84	0.00	0.00	0.00	0.36	0.00	3.60
2014	15.79	0.31	1.90	0.47	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2015	19.11	24.54	13.13	0.00	0.00	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44	0.00	0.00
2016	0.14	30.88	1.51	7.23	0.00	0.59	0.00	0.00	0.00	0.00	0.44	0.56
2017	28.27	27.14	11.29	0.00	0.92	0.00	0.00	0.00	0.18	2.29	1.06	5.15
2018	12.22	9.27	9.83	0.88	0.65	0.61	1.33	0.72	0.00	0.39	0.00	0.00
2019	30.20	21.91	6.72	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.27	0.00	4.61
2020	31.54	34.45	20.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.14	0.00	12.06	0.00	12.46
2021	20.01	2.63	7.99	2.16	0.72	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.82	0.12
2022	14.50	7.28	18.18	0.00	0.00	0.00	0.22	0.00	0.00	4.30	0.00	9.59
2023	22.36	32.98	12.41	12.62	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50	3.59	0.94	2.53

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

2024	33.07	10.48	20.01	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.14	0.00	2.04	0.33

Nota. Elaboración propia.

i) Precipitación de la Microcuenca 4

Tabla 38

Factores de corrección altitudinal e influencia geográfica – Microcuenca 4

	Microcuenca 4	
	Factores de corrección altitudinal (ai)	Factor de influencia geográfica (bi)
1	1.07	0.55
2	0.87	0.45
3	1.15	0.62

Nota. Elaboración propia.

Tabla 39

Ecuaciones de precipitación de las estaciones en estudio en función de las estaciones base – Microcuenca 4

Microcuenca 4		
Ecuaciones de precipitación de las estaciones en estudio en función de las estaciones base**.**		
Pampilla	**Chiguata**	**Huasacache**
0.587	0.390	0.715

Nota. Elaboración propia.

Tabla 40

Precipitación máxima en 24 horas (mm)– Microcuenca 4

AÑO	**ENE**	**FEB**	**MAR**	**ABR**	**MAY**	**JUN**	**JUL**	**AGO**	**SEP**	**OCT**	**NOV**	**DIC**
1995	33.94	0.00	31.71	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.18	0.00
1996	13.30	9.20	1.13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.35	0.00	0.00	0.00	0.00
1997	36.21	36.77	24.73	0.00	0.00	6.58	1.07	14.69	3.34	3.94	0.00	10.27
1998	9.63	6.03	1.52	1.19	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.57	0.00	3.32
1999	23.63	17.56	18.75	1.40	0.00	0.00	0.00	0.21	0.00	1.61	0.00	6.03
2000	25.37	14.02	28.46	0.87	0.68	0.64	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.39
2001	13.19	16.08	25.76	2.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.50	0.00	0.62
2002	12.37	18.73	17.27	2.67	2.93	0.23	6.05	0.00	0.00	1.86	0.00	3.32
2003	7.58	1.44	4.76	0.00	0.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.12
2004	11.83	12.05	0.47	0.00	3.01	0.00	4.01	0.00	0.00	0.72	0.00	2.36
2005	7.77	8.12	4.88	0.00	0.00	0.00	0.14	0.00	1.31	0.93	0.00	5.86
2006	8.35	14.36	11.31	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.68	0.00	0.31
2007	13.53	8.38	1.99	1.68	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.94
2008	23.83	8.86	2.09	0.00	0.00	0.29	0.00	0.41	0.00	1.65	0.00	2.32
2009	5.23	8.79	5.20	2.11	0.00	0.00	0.45	0.00	0.08	0.00	0.16	0.00

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

2010	1.76	6.83	1.42	1.25	0.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.96
2011	14.87	20.40	1.48	2.72	0.16	0.00	0.00	0.00	0.00	4.65	0.00	5.98
2012	35.04	43.42	22.08	17.45	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.18	0.00	1.29
2013	26.29	80.08	13.43	0.00	2.31	0.84	0.00	0.00	0.00	0.36	0.00	3.59
2014	15.75	0.31	1.90	0.47	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2015	19.06	24.47	13.09	0.00	0.00	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44	0.00	0.00
2016	0.14	30.80	1.50	7.21	0.00	0.59	0.00	0.00	0.00	0.00	0.44	0.56
2017	28.20	27.07	11.25	0.00	0.92	0.00	0.00	0.00	0.18	2.29	1.05	5.14
2018	12.18	9.25	9.80	0.88	0.64	0.61	1.33	0.72	0.00	0.39	0.00	0.00
2019	30.12	21.85	6.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.27	0.00	4.60
2020	31.46	34.36	20.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.14	0.00	12.03	0.00	12.43
2021	19.96	2.62	7.97	2.15	0.72	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.82	0.12
2022	14.46	7.26	18.13	0.00	0.00	0.00	0.21	0.00	0.00	4.29	0.00	9.57
2023	22.30	32.90	12.37	12.59	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50	3.58	0.94	2.52
2024	32.99	10.45	19.95	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.14	0.00	2.03	0.33

Nota. Elaboración propia.

j) Precipitación de la Microcuenca 5

Tabla 41

Factores de corrección altitudinal e influencia geográfica – Microcuenca 5

	Microcuenca 5	
	Factores de corrección altitudinal (ai)	Factor de influencia geográfica (bi)
1	1.08	0.55
2	0.88	0.45
3	1.16	0.63

Nota. Elaboración propia.

Tabla 42

Ecuaciones de precipitación de las estaciones en estudio en función de las estaciones base – Microcuenca 4

Microcuenca 5		
Ecuaciones de precipitación de las estaciones en estudio en función de las estaciones base**.**		
Pampilla	**Chiguata**	**Huasacache**
0.594	0.394	0.725

Nota. Elaboración propia.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 43

Precipitación máxima en 24 horas (mm)– Microcuenca 5

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1995	34.34	0.00	32.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.18	0.00
1996	13.45	9.30	1.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.35	0.00	0.00	0.00	0.00
1997	36.68	37.17	25.01	0.00	0.00	6.67	1.09	14.85	3.38	3.99	0.00	10.38
1998	9.74	6.09	1.54	1.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.58	0.00	3.35
1999	23.94	17.76	18.96	1.42	0.00	0.00	0.00	0.22	0.00	1.63	0.00	6.09
2000	25.68	14.17	28.77	0.87	0.69	0.65	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.40
2001	13.35	16.26	26.05	2.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.52	0.00	0.63
2002	12.53	18.94	17.46	2.70	2.97	0.24	6.12	0.00	0.00	1.89	0.00	3.36
2003	7.66	1.46	4.81	0.00	0.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.12
2004	11.96	12.18	0.47	0.00	3.05	0.00	4.05	0.00	0.00	0.73	0.00	2.39
2005	7.86	8.21	4.93	0.00	0.00	0.00	0.15	0.00	1.32	0.94	0.00	5.92
2006	8.45	14.52	11.44	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.69	0.00	0.32
2007	13.68	8.47	2.01	1.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.95
2008	24.10	8.96	2.11	0.00	0.00	0.29	0.00	0.42	0.00	1.67	0.00	2.35
2009	5.29	8.89	5.25	2.13	0.00	0.00	0.45	0.00	0.08	0.00	0.16	0.00
2010	1.78	6.90	1.44	1.26	0.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.97
2011	15.04	20.64	1.50	2.75	0.16	0.00	0.00	0.00	0.00	4.72	0.00	6.04
2012	35.47	43.92	22.32	17.65	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.18	0.00	1.30
2013	26.60	81.02	13.58	0.00	2.33	0.85	0.00	0.00	0.00	0.36	0.00	3.63
2014	15.92	0.32	1.92	0.47	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2015	19.29	24.75	13.24	0.00	0.00	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.00	0.00
2016	0.15	31.17	1.52	7.29	0.00	0.59	0.00	0.00	0.00	0.00	0.45	0.56
2017	28.53	27.37	11.38	0.00	0.93	0.00	0.00	0.00	0.18	2.32	1.06	5.19
2018	12.33	9.35	9.91	0.89	0.65	0.61	1.34	0.73	0.00	0.39	0.00	0.00
2019	30.46	22.09	6.78	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.28	0.00	4.65
2020	31.86	34.74	20.27	0.00	0.00	0.00	0.00	0.15	0.00	12.19	0.00	12.57
2021	20.19	2.65	8.06	2.18	0.73	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.83	0.12
2022	14.64	7.34	18.32	0.00	0.00	0.00	0.22	0.00	0.00	4.35	0.00	9.67
2023	22.56	33.26	12.51	12.72	0.00	0.00	0.00	0.00	0.51	3.63	0.95	2.55
2024	33.42	10.57	20.17	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.15	0.00	2.05	0.34

Nota. Elaboración propia.

k) Precipitación de la Microcuenca 6

Tabla 44

Factores de corrección altitudinal e influencia geográfica – Microcuenca 6

	Microcuenca 6	
	Factores de corrección altitudinal (ai)	Factor de influencia geográfica (bi)
1	1.12	0.56
2	0.91	0.44
3	1.20	0.64

Nota. Elaboración propia.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 45

Ecuaciones de precipitación de las estaciones en estudio en función de las estaciones base – Microcuenca 6

Microcuenca 6		
Ecuaciones de precipitación de las estaciones en estudio en función de las estaciones base.		
Pampilla	**Chiguata**	**Huasacache**
0.620	0.405	0.762

Nota. Elaboración propia.

Tabla 46

Precipitación máxima en 24 horas (mm)– Microcuenca 6

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1995	35.73	0.00	33.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.19	0.00
1996	13.93	9.64	1.18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.36	0.00	0.00	0.00	0.00
1997	38.36	38.50	25.91	0.00	0.00	7.01	1.14	15.37	3.49	4.19	0.00	10.73
1998	10.10	6.28	1.58	1.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.61	0.00	3.46
1999	25.05	18.42	19.62	1.46	0.00	0.00	0.00	0.23	0.00	1.71	0.00	6.27
2000	26.77	14.65	29.79	0.91	0.72	0.68	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.45
2001	13.90	16.84	27.05	2.13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.59	0.00	0.65
2002	13.05	19.61	18.08	2.78	3.13	0.25	6.33	0.00	0.00	1.98	0.00	3.48
2003	7.95	1.51	4.96	0.00	0.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.12
2004	12.37	12.59	0.49	0.00	3.20	0.00	4.20	0.00	0.00	0.76	0.00	2.48
2005	8.13	8.48	5.10	0.00	0.00	0.00	0.15	0.00	1.36	0.99	0.00	6.13
2006	8.81	15.06	11.85	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.71	0.00	0.32
2007	14.12	8.78	2.06	1.77	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.98
2008	25.02	9.26	2.18	0.00	0.00	0.30	0.00	0.43	0.00	1.75	0.00	2.41
2009	5.52	9.21	5.44	2.20	0.00	0.00	0.47	0.00	0.08	0.00	0.16	0.00
2010	1.83	7.14	1.48	1.30	0.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00
2011	15.59	21.43	1.55	2.85	0.16	0.00	0.00	0.00	0.00	4.96	0.00	6.26
2012	36.94	45.63	23.06	18.31	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.19	0.00	1.35
2013	27.61	84.43	14.04	0.00	2.41	0.88	0.00	0.00	0.00	0.38	0.00	3.75
2014	16.51	0.32	1.99	0.49	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2015	20.12	25.69	13.72	0.00	0.00	0.46	0.46	0.46	0.46	0.46	0.00	0.00
2016	0.15	32.47	1.57	7.56	0.00	0.62	0.00	0.00	0.00	0.00	0.46	0.58
2017	29.66	28.33	11.78	0.00	0.96	0.00	0.00	0.00	0.19	2.44	1.10	5.38
2018	12.79	9.63	10.23	0.92	0.69	0.64	1.39	0.76	0.00	0.40	0.00	0.00
2019	31.52	22.83	7.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.28	0.00	4.78
2020	33.28	35.95	20.97	0.00	0.00	0.00	0.00	0.15	0.00	12.81	0.00	13.01
2021	20.99	2.74	8.36	2.25	0.76	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.85	0.12
2022	15.29	7.59	18.88	0.00	0.00	0.00	0.23	0.00	0.00	4.57	0.00	10.00
2023	23.42	34.34	12.89	13.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.53	3.81	0.98	2.64
2024	34.94	10.94	20.82	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.15	0.00	2.13	0.35

Nota. Elaboración propia.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

l) Precipitación de la Microcuenca 7

Tabla 47

Factores de corrección altitudinal e influencia geográfica – Microcuenca 7

	Microcuenca 7	
	Factores de corrección altitudinal (ai)	Factor de influencia geográfica (bi)
1	1.10	0.56
2	0.90	0.44
3	1.19	0.64

Nota. Elaboración propia.

Tabla 48

Ecuaciones de precipitación de las estaciones en estudio en función de las estaciones base – Microcuenca 7

Microcuenca 7		
Ecuaciones de precipitación de las estaciones en estudio en función de las estaciones base.		
Pampilla	**Chiguata**	**Huasacache**
0.613	0.400	0.754

Nota. Elaboración propia.

Tabla 49

Precipitación máxima en 24 horas (mm)– Microcuenca 7

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1995	35.32	0.00	32.76	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.18	0.00
1996	13.77	9.53	1.16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.36	0.00	0.00	0.00	0.00
1997	37.92	38.07	25.62	0.00	0.00	6.93	1.13	15.20	3.45	4.15	0.00	10.61
1998	9.98	6.21	1.56	1.23	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.60	0.00	3.42
1999	24.76	18.21	19.39	1.44	0.00	0.00	0.00	0.23	0.00	1.69	0.00	6.20
2000	26.46	14.48	29.46	0.89	0.71	0.67	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.43
2001	13.74	16.65	26.74	2.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.57	0.00	0.64
2002	12.91	19.38	17.87	2.75	3.09	0.25	6.26	0.00	0.00	1.96	0.00	3.44
2003	7.86	1.49	4.91	0.00	0.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.12
2004	12.23	12.44	0.49	0.00	3.17	0.00	4.15	0.00	0.00	0.75	0.00	2.45
2005	8.04	8.39	5.04	0.00	0.00	0.00	0.15	0.00	1.35	0.98	0.00	6.06
2006	8.71	14.89	11.71	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.70	0.00	0.32
2007	13.96	8.68	2.04	1.75	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.97
2008	24.73	9.15	2.15	0.00	0.00	0.30	0.00	0.43	0.00	1.73	0.00	2.38
2009	5.46	9.11	5.38	2.17	0.00	0.00	0.47	0.00	0.08	0.00	0.16	0.00

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

2010	1.81	7.06	1.47	1.29	0.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.99
2011	15.41	21.19	1.53	2.82	0.16	0.00	0.00	0.00	0.00	4.90	0.00	6.18
2012	36.52	45.11	22.79	18.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.18	0.00	1.33
2013	27.30	83.47	13.88	0.00	2.39	0.87	0.00	0.00	0.00	0.38	0.00	3.71
2014	16.32	0.32	1.96	0.48	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2015	19.89	25.40	13.56	0.00	0.00	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.00	0.00
2016	0.15	32.10	1.55	7.47	0.00	0.61	0.00	0.00	0.00	0.00	0.45	0.57
2017	29.32	28.01	11.64	0.00	0.95	0.00	0.00	0.00	0.18	2.41	1.08	5.32
2018	12.65	9.52	10.12	0.91	0.68	0.63	1.37	0.75	0.00	0.40	0.00	0.00
2019	31.17	22.57	6.94	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.28	0.00	4.72
2020	32.91	35.54	20.74	0.00	0.00	0.00	0.00	0.15	0.00	12.67	0.00	12.86
2021	20.75	2.71	8.27	2.22	0.75	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.84	0.12
2022	15.12	7.50	18.67	0.00	0.00	0.00	0.23	0.00	0.00	4.52	0.00	9.88
2023	23.16	33.95	12.75	12.93	0.00	0.00	0.00	0.00	0.53	3.77	0.97	2.61
2024	34.55	10.81	20.59	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.15	0.00	2.11	0.34

Nota. Elaboración propia.

m) Precipitación de la Microcuenca 8

Tabla 50

Factores de corrección altitudinal e influencia geográfica – Microcuenca 8

	Microcuenca 8	
	Factores de corrección altitudinal (ai)	Factor de influencia geográfica (bi)
1	1.12	0.56
2	0.92	0.44
3	1.21	0.64

Nota. Elaboración propia.

Tabla 51

Ecuaciones de precipitación de las estaciones en estudio en función de las estaciones base – Microcuenca 8

Microcuenca 8		
Ecuaciones de precipitación de las estaciones en estudio en función de las estaciones base**.**		
Pampilla	**Chiguata**	**Huasacache**
0.624	0.407	0.768

Nota. Elaboración propia.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 52

Precipitación máxima en 24 horas (mm)– Microcuenca 8

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1995	35.98	0.00	33.36	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.19	0.00
1996	14.03	9.71	1.18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.37	0.00	0.00	0.00	0.00
1997	38.65	38.77	26.09	0.00	0.00	7.07	1.15	15.48	3.52	4.23	0.00	10.80
1998	10.17	6.32	1.59	1.26	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.61	0.00	3.48
1999	25.24	18.55	19.75	1.47	0.00	0.00	0.00	0.23	0.00	1.72	0.00	6.31
2000	26.96	14.74	30.00	0.91	0.72	0.68	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.46
2001	14.00	16.95	27.24	2.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.60	0.00	0.65
2002	13.15	19.74	18.20	2.80	3.15	0.25	6.37	0.00	0.00	2.00	0.00	3.50
2003	8.01	1.52	4.99	0.00	0.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.12
2004	12.45	12.67	0.49	0.00	3.23	0.00	4.23	0.00	0.00	0.77	0.00	2.49
2005	8.19	8.54	5.13	0.00	0.00	0.00	0.15	0.00	1.37	1.00	0.00	6.17
2006	8.87	15.16	11.93	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.72	0.00	0.33
2007	14.21	8.84	2.08	1.78	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.99
2008	25.19	9.32	2.19	0.00	0.00	0.31	0.00	0.44	0.00	1.77	0.00	2.43
2009	5.56	9.27	5.48	2.21	0.00	0.00	0.47	0.00	0.08	0.00	0.16	0.00
2010	1.84	7.19	1.49	1.31	0.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00
2011	15.70	21.58	1.56	2.87	0.17	0.00	0.00	0.00	0.00	4.99	0.00	6.30
2012	37.20	45.95	23.21	18.44	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.19	0.00	1.36
2013	27.80	85.04	14.13	0.00	2.43	0.88	0.00	0.00	0.00	0.38	0.00	3.78
2014	16.62	0.33	2.00	0.49	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2015	20.27	25.87	13.81	0.00	0.00	0.46	0.46	0.46	0.46	0.46	0.00	0.00
2016	0.15	32.70	1.58	7.61	0.00	0.62	0.00	0.00	0.00	0.00	0.46	0.58
2017	29.87	28.52	11.86	0.00	0.96	0.00	0.00	0.00	0.19	2.46	1.10	5.42
2018	12.88	9.69	10.30	0.93	0.69	0.64	1.40	0.77	0.00	0.41	0.00	0.00
2019	31.74	22.98	7.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.29	0.00	4.81
2020	33.53	36.19	21.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.15	0.00	12.91	0.00	13.09
2021	21.14	2.75	8.42	2.26	0.76	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.86	0.12
2022	15.40	7.64	19.00	0.00	0.00	0.00	0.23	0.00	0.00	4.61	0.00	10.06
2023	23.58	34.57	12.98	13.16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.54	3.84	0.99	2.66
2024	35.20	11.01	20.96	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.15	0.00	2.14	0.35

Nota. Elaboración propia.

n) Precipitación de la Microcuenca 9

Tabla 53

Factores de corrección altitudinal e influencia geográfica – Microcuenca 9

	Microcuenca 9	
	Factores de corrección altitudinal (ai)	Factor de influencia geográfica (bi)
1	1.12	0.56
2	0.92	0.44
3	1.21	0.64

Nota. Elaboración propia.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 54

Ecuaciones de precipitación de las estaciones en estudio en función de las estaciones base – Microcuenca 9

Microcuenca 9		
Ecuaciones de precipitación de las estaciones en estudio en función de las estaciones base.		
Pampilla	**Chiguata**	**Huasacache**
0.624	0.406	0.771

Nota. Elaboración propia.

Tabla 55

Precipitación máxima en 24 horas (mm)– Microcuenca 9

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1995	35.99	0.00	33.32	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.19	0.00
1996	14.02	9.70	1.18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.37	0.00	0.00	0.00	0.00
1997	38.73	38.74	26.07	0.00	0.00	7.10	1.16	15.46	3.51	4.24	0.00	10.79
1998	10.16	6.31	1.58	1.26	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.62	0.00	3.47
1999	25.30	18.54	19.73	1.46	0.00	0.00	0.00	0.23	0.00	1.73	0.00	6.30
2000	26.99	14.72	29.97	0.91	0.72	0.68	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.46
2001	14.02	16.94	27.23	2.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.61	0.00	0.65
2002	13.17	19.72	18.18	2.79	3.16	0.25	6.36	0.00	0.00	2.01	0.00	3.50
2003	8.00	1.52	4.99	0.00	0.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.12
2004	12.44	12.66	0.49	0.00	3.24	0.00	4.22	0.00	0.00	0.77	0.00	2.49
2005	8.18	8.53	5.13	0.00	0.00	0.00	0.15	0.00	1.37	1.00	0.00	6.16
2006	8.88	15.16	11.92	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.72	0.00	0.33
2007	14.19	8.83	2.07	1.78	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.98
2008	25.18	9.30	2.19	0.00	0.00	0.31	0.00	0.44	0.00	1.77	0.00	2.42
2009	5.57	9.27	5.47	2.21	0.00	0.00	0.47	0.00	0.08	0.00	0.16	0.00
2010	1.84	7.18	1.49	1.31	0.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00
2011	15.69	21.58	1.56	2.87	0.17	0.00	0.00	0.00	0.00	5.01	0.00	6.29
2012	37.24	45.96	23.18	18.43	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.19	0.00	1.36
2013	27.80	85.06	14.12	0.00	2.43	0.88	0.00	0.00	0.00	0.39	0.00	3.77
2014	16.61	0.33	2.00	0.49	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2015	20.29	25.86	13.80	0.00	0.00	0.46	0.46	0.46	0.46	0.46	0.00	0.00
2016	0.15	32.73	1.58	7.61	0.00	0.62	0.00	0.00	0.00	0.00	0.46	0.58
2017	29.88	28.50	11.85	0.00	0.96	0.00	0.00	0.00	0.19	2.47	1.10	5.41
2018	12.88	9.67	10.29	0.93	0.69	0.64	1.40	0.77	0.00	0.41	0.00	0.00
2019	31.72	22.95	7.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.28	0.00	4.79
2020	33.59	36.16	21.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.15	0.00	12.96	0.00	13.08
2021	21.15	2.75	8.41	2.26	0.76	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.86	0.12
2022	15.43	7.63	18.97	0.00	0.00	0.00	0.23	0.00	0.00	4.63	0.00	10.05
2023	23.58	34.53	12.96	13.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.54	3.86	0.98	2.66
2024	35.28	11.00	20.93	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.15	0.00	2.14	0.35

Nota. Elaboración propia.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

- **Periodo de retorno**

El período de retorno (T) es el tiempo promedio, expresado en años, en el que un evento hidrológico alcanza o supera una magnitud determinada al menos una vez. Representa la frecuencia con la que pueden ocurrir lluvias o caudales extremos en una zona específica.

Bajo el supuesto de independencia entre los eventos anuales, se puede estimar la probabilidad de ocurrencia o de falla durante la vida útil de una obra hidráulica. La elección del período de retorno adecuado depende de la importancia de la infraestructura, el riesgo aceptable de falla, y los factores técnicos y económicos del proyecto.

El criterio de riesgo define el nivel de seguridad que se desea garantizar, buscando evitar que un evento más severo que el de diseño ocurra dentro de la vida útil de la estructura. La relación entre el riesgo de falla admisible, la vida útil y el período de retorno se determina mediante expresiones estadísticas que permiten cuantificar dicha probabilidad.

$$R = 1 - \left(1 - \frac{1}{T}\right)^{n}$$

En este caso consideraremos del Manual de hidráulica, Hidrología y drenaje del MTC de la Tabla nº 02: valores máximos recomendados de riesgo admisible de obras de drenaje un riesgo admisible de 40% correspondiente a Drenaje de la plataforma (a nivel longitudinal) y una vida útil de Drenaje de plataforma y Sub-drenes n= 15 años. Donde el despeje de la ecuación nos da un periodo de retorno de T=29 años.

Aunque el cálculo del riesgo admisible indica un período de retorno cercano a los 30 años, se decidió adoptar un valor de 25 años debido a varias consideraciones prácticas del diseño hidráulico. En primer lugar, el drenaje longitudinal y los subdrenes no son elementos estructurales críticos; una eventual falla provocada por una lluvia excepcional no compromete la estabilidad del pavimento y puede ser atendida con intervenciones rápidas y de bajo costo. Esto permite trabajar con un período de retorno ligeramente menor sin afectar la seguridad de la vía.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Además, incrementar el período de retorno hasta 30 años generaría un aumento significativo en las dimensiones de las obras de drenaje, y por tanto en los costos de construcción, sin aportar una reducción proporcional del riesgo. La diferencia en probabilidad entre 25 y 30 años es mínima dentro de una vida útil de 15 años, por lo que el nivel de protección ofrecido por 25 años es suficiente para garantizar un desempeño adecuado del sistema. Por estas razones, el período de retorno de 25 años se considera una elección equilibrada entre funcionalidad, seguridad y eficiencia económica.

- **Determinación de la Tormenta de Diseño**

a) Tramos a Evaluar

Antes de calcular la intensidad de lluvia, es necesario identificar primero los tramos de la Av. 54 donde se aplicará el drenaje pluvial. Para ello se revisan las pendientes, la geometría de la vía y los puntos donde se concentran los escurrimientos, determinando así los sectores que requieren obras de captación y conducción. Solo después de definir estos tramos críticos tiene sentido obtener la intensidad de precipitación, pues esta se aplicará únicamente a las áreas que generarán aporte al sistema de drenaje.

Los tramos serán evaluados en función del plano de perfil proporcionado por el Gobierno Regional dentro del expediente técnico de la carretera de la Av. 54.

TRAMO 1:

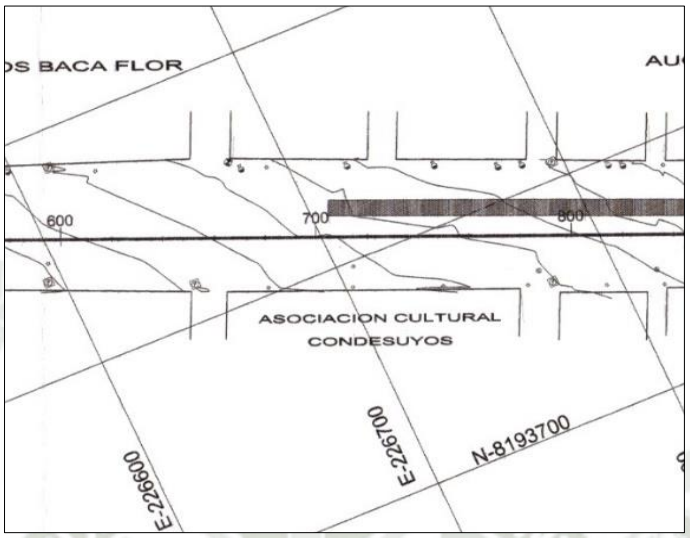
El Tramo 1 se extiende desde la progresiva 3+700 hasta la 3+820 y presenta una pendiente de terreno de 1.90%.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 17

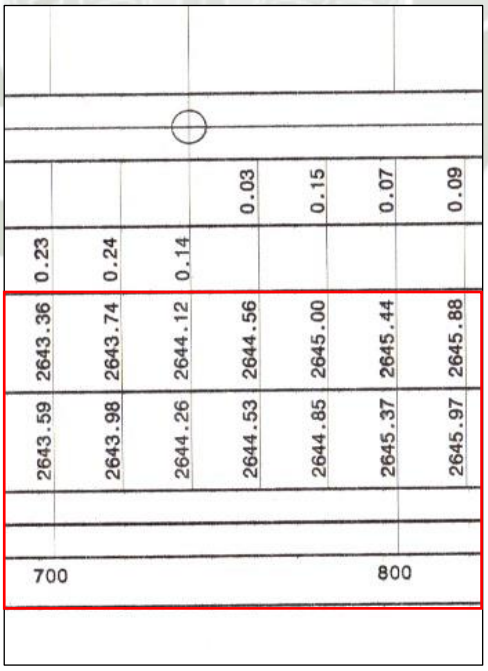
Vista en planta del Tramo 1.



Nota. Extraído del plano de Perfil de la Av.54 del Expediente del Gobierno Regional.

Figura 18

Pendiente y progresivas del Tramo 1.



Nota. Extraído del plano de Perfil de la Av.54 del Expediente del Gobierno Regional.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

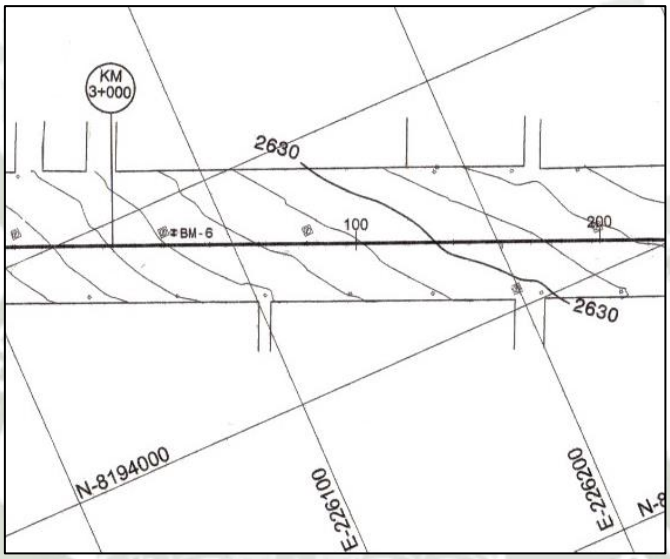
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

TRAMO 2:

El Tramo 2 se extiende desde la progresiva 3+000 hasta la 3+200 y presenta una pendiente de terreno de 2.91%.

Figura 19

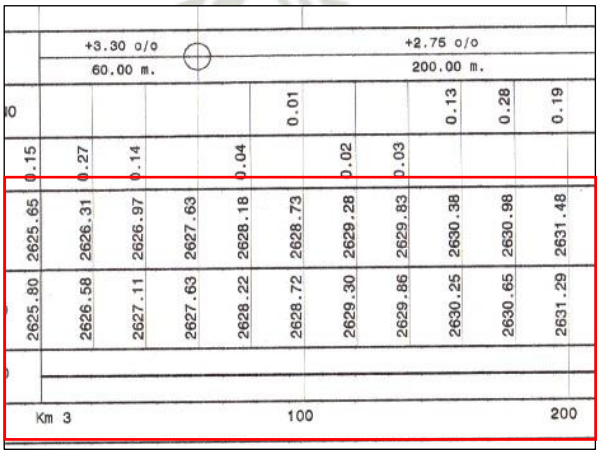
Vista en planta del Tramo 2



Nota. Extraído del plano de Perfil de la Av.54 del Expediente del Gobierno Regional.

Figura 20

Pendiente y progresivas del Tramo 2



Nota. Extraído del plano de Perfil de la Av.54 del Expediente del Gobierno Regional.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

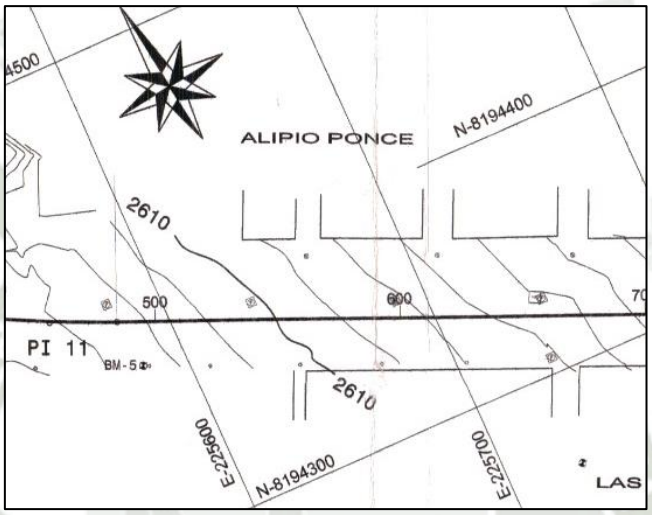
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

TRAMO 3:

El Tramo 3 se extiende desde la progresiva 2+480 hasta la 2+680 y presenta una pendiente de terreno de 3.50%.

Figura 21

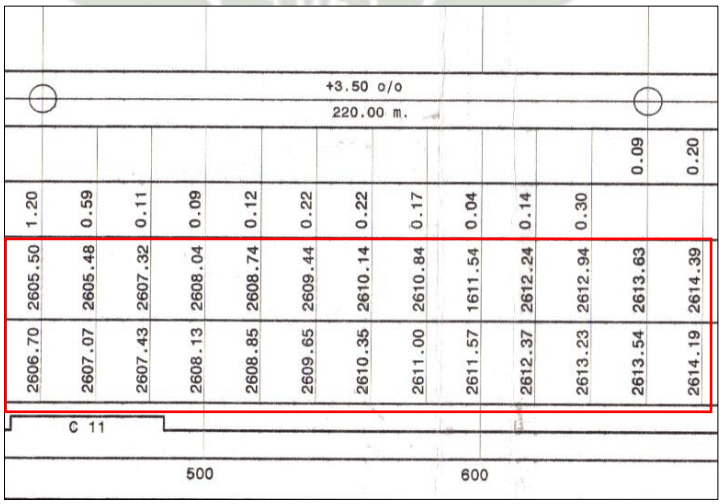
Vista en planta del Tramo 3



Nota. Extraído del plano de Perfil de la Av.54 del Expediente del Gobierno Regional.

Figura 22

Pendiente y progresivas del Tramo 3



Nota. Extraído del plano de Perfil de la Av.54 del Expediente del Gobierno Regional.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

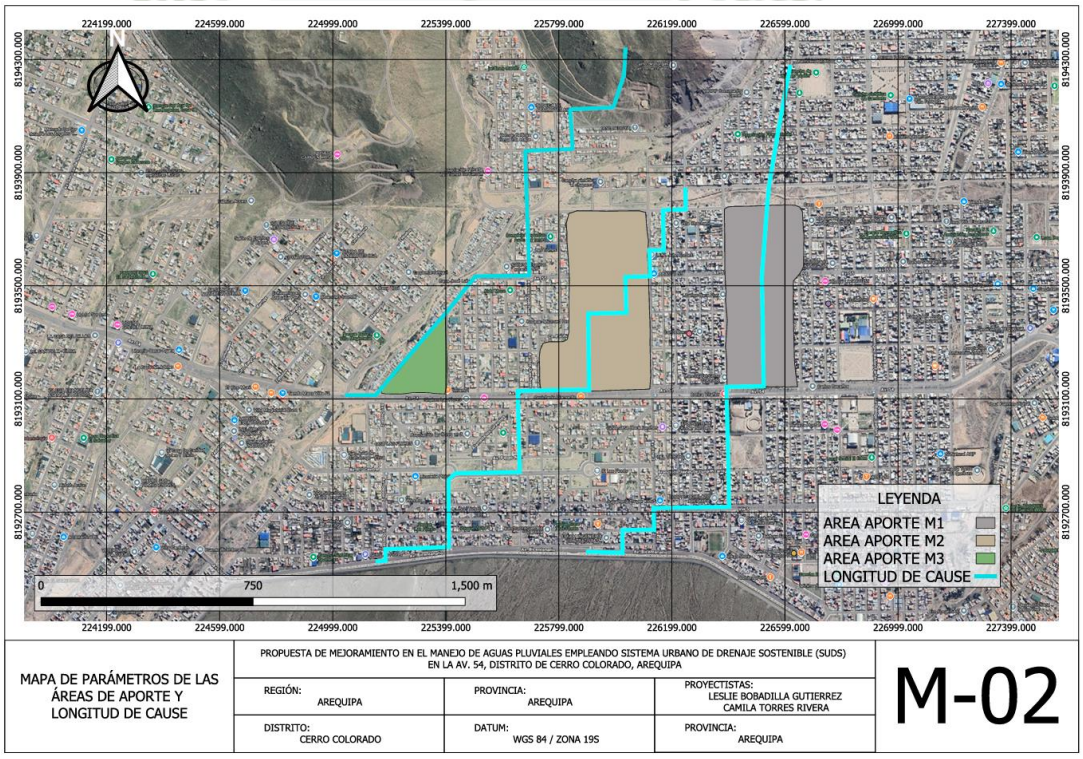
REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

b) Curva intensidad-duración-frecuencia

En este punto se procede a determinar la intensidad de precipitación. Para ello, y basándose en los tramos previamente definidos, primero se establece el área de aporte correspondiente a cada uno. Dado que la intensidad depende directamente del tamaño de la cuenca que genera escorrentía hacia la vía, se identifica la microcuenca con el mayor aporte dentro de cada tramo. De esta manera, la intensidad utilizada en el diseño se selecciona en función de la microcuenca más representativa y crítica, garantizando que el sistema de drenaje sea capaz de atender adecuadamente el volumen de agua generado en cada sector de la Av. 54.

Figura 23

Plano de áreas de aporte para cada uno de los tramos



Nota. Elaboración propia mediante software Qgis (2025).

Una vez definidas las microcuencas que gobiernan cada tramo para el cálculo de las intensidades correspondientes a cada una: Microcuenca 6 para el tramo 1, microcuenca 5 para el tramo 2 y microcuenca 1 para el tramo 3. Se procedió al análisis estadístico de las

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

precipitaciones máximas en 24 horas. Primero se realizó la verificación de datos dudosos, obteniéndose que ninguna de las tres microcuencas presenta valores anómalos, por lo que se consideró toda la serie correspondiente al periodo 1995–2024.

Con los datos completos se ingresó la información al programa HydrogNomon, donde la prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov-Smirnov mostró que, en las tres microcuencas, la distribución que mejor representa el comportamiento de las precipitaciones máximas es la Distribución de Gumbel.

Figura 24

Tramos 1-M6, resultado de prueba de bondad Klmogorov-Smirnov

EV1-Max (Gumbel)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	99.3728%	0.07019

Nota. Elaboración propia mediante el software Hydrognomon (2025).

Figura 25

Tramos 2-M5, resultado de prueba de bondad Klmogorov-Smirnov

EV1-Max (Gumbel)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	99.5750%	0.06793

Nota. Elaboración propia mediante el software Hydrognomon (2025).

Figura 26

Tramos 3-M1, resultado de prueba de bondad Klmogorov-Smirnov

EV1-Max (Gumbel)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	99.6975%	0.06611

Nota. Elaboración propia mediante el software Hydrognomon (2025).

A partir de ello, se generaron las Precipitaciones Diarias Máximas Probables para diferentes frecuencias, cubriendo períodos de retorno desde 2 hasta 2000 años. Sin embargo, dado que la OMM (Organización Meteorológica Mundial), en su Guía de Prácticas Hidrológicas, señala que la extrapolación a períodos de retorno muy elevados especialmente mayores a 1000 años puede subestimar los valores extremos debido a la limitación del registro histórico disponible, se recomienda aplicar un factor de ajuste para compensar dicha

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

incertidumbre. Por este motivo se utilizó un factor de 1.13, que permite corregir y elevar ligeramente las precipitaciones estimadas, evitando que los valores proyectados resulten menores a lo que correspondería para eventos realmente extremos.

Tabla 56

Tramos 1 - M6, precipitaciones Diarias Máximas Probables para distintas frecuencias

Precipitaciones Diarias Máximas Probables para distintas frecuencias		
Factor de ajuste	1.13	
Intervalo de observación	1 día	
Periodo de Retorno T (años)	**Hydrognomon Pmax (mm)**	**Pmax Crregido**
2	22.29	25.19
5	35.90	40.56
10	44.91	50.75
25	56.29	63.61
50	64.74	73.15
100	73.12	82.63
500	92.49	104.52
1000	100.82	113.93
2000	109.15	123.34

Nota. Elaboracion propia.

Tabla 57

Tramos 2 - M5, precipitaciones Diarias Máximas Probables para distintas frecuencias

Precipitaciones Diarias Máximas Probables para distintas frecuencias		
Factor de ajuste	1.13	
Intervalo de observación	1 día	
Periodo de Retorno T (años)	**Hydrognomon Pmax (mm)**	**Pmax Crregido**
2	21.48	24.27
5	34.54	39.03
10	43.19	48.81
25	54.12	61.16
50	62.23	70.32
100	70.27	79.41
500	88.87	100.42
1000	96.87	109.46
2000	104.86	118.49

Nota. Elaboracion propia.

Tabla 58

Tramos 3 - M1, precipitaciones Diarias Máximas Probables para distintas frecuencias

Precipitaciones Diarias Máximas Probables para distintas frecuencias

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Factor de ajuste	1.13	
Intervalo de observación	1 día	
Periodo de Retorno T (años)	**Hydrognomon Pmax (mm)**	**Pmax Crregido**
2	21.98	24.83
5	35.41	40.02
10	44.31	50.07
25	55.55	62.77
50	63.89	72.19
100	72.17	81.55
500	91.29	103.16
1000	99.52	112.45
2000	107.74	121.74

Nota. Elaboración propia.

Una vez determinadas las precipitaciones máximas corregidas para cada período de retorno, el siguiente paso es calcular la intensidad de lluvia, necesaria para el diseño del sistema de drenaje pluvial en los tramos identificados de la Av. 54. Dado que no se dispone de registros pluviográficos que permitan obtener directamente las intensidades máximas, se sigue la metodología establecida por el MTC, utilizando el procedimiento de Dick Peschke (MTC, 2008).

Según esta metodología referida por Guevara en 1991 para tormentas con duración menor a 1 hora, o cuando no existen datos pluviográficos suficientes, es posible estimar la intensidad a partir de la precipitación máxima diaria (24 h) mediante la expresión:

$$P_d = P_{24h}\left(\frac{d}{1440}\right)^{0.25}$$

Donde:

- P_d= precipitación total para la duración d (mm)
- d = duración de la tormenta en minutos
- P_{24h} = precipitación máxima en 24 horas (mm)

Esta ecuación permite calcular la lluvia para periodos cortos a partir de la lluvia diaria, reproduciendo la distribución típica de intensidades en tormentas de corta duración y alta magnitud.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Esta ecuación permite calcular la lluvia para periodos cortos a partir de la lluvia diaria, reproduciendo la distribución típica de intensidades en tormentas de corta duración y alta magnitud.

Con estos valores, se construyen posteriormente las curvas Intensidad–Duración–Frecuencia (IDF**)** mediante la relación:

$$I = \frac{KT^m}{t^n}$$

Donde:

- I= intensidad máxima (mm/h)
- K,m,n = parámetros característicos de la zona
- T = período de retorno (años)
- t = duración de concentración o tiempo efectivo de escorrentía (min)

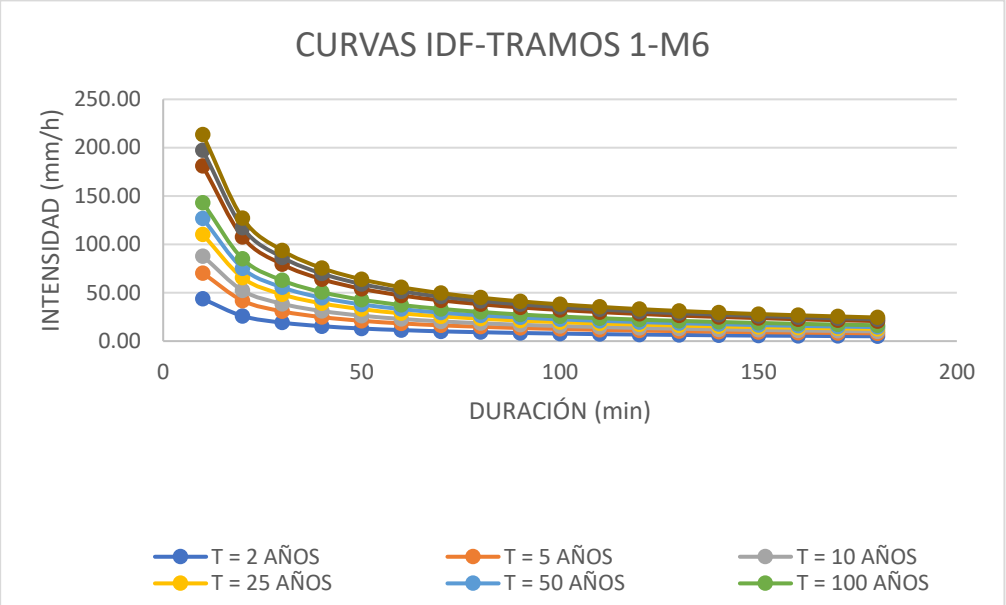
De este modo, al combinar el método de Dick Peschke con la ecuación IDF, se obtienen intensidades confiables para cada tramo de la Av. 54, basadas en las precipitaciones máximas diarias y ajustadas al comportamiento hidrológico esperado en la zona de estudio como se muestra a continuación:

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 27

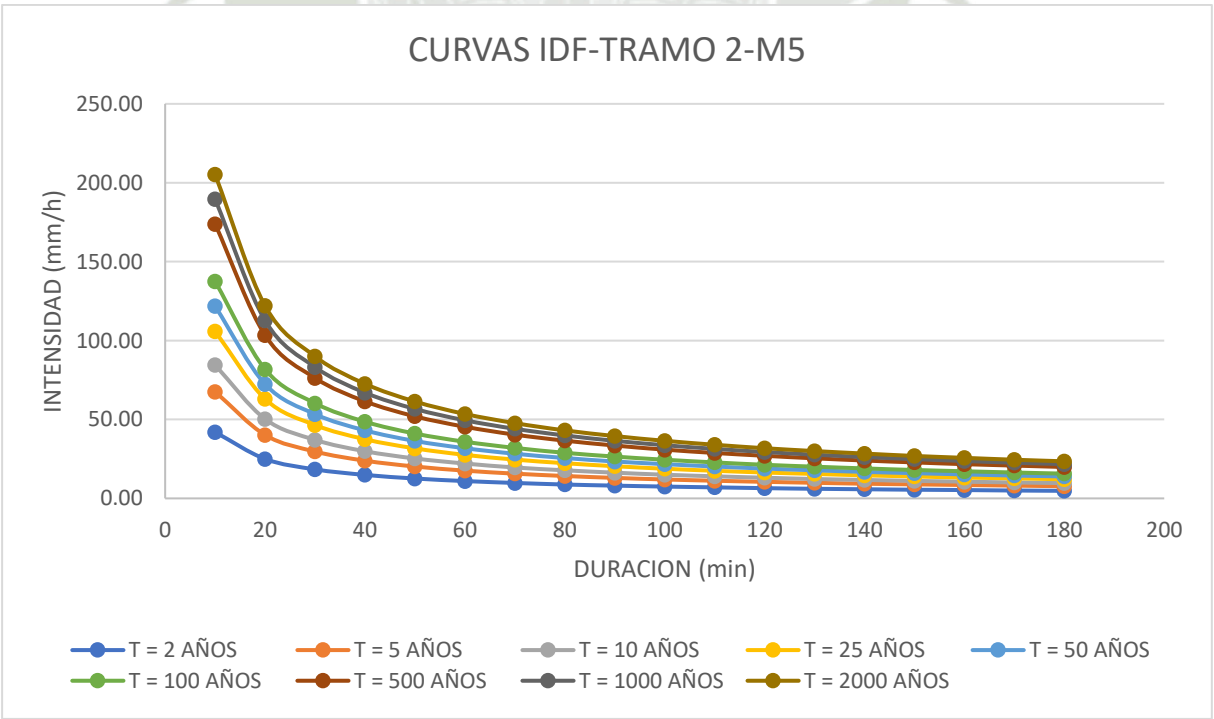
Tramos 1-M6, Curvas IDF



Nota. Elaboración propia.

Figura 28

Tramo 2-M5, Curvas IDF



Nota. Elaboración propia.

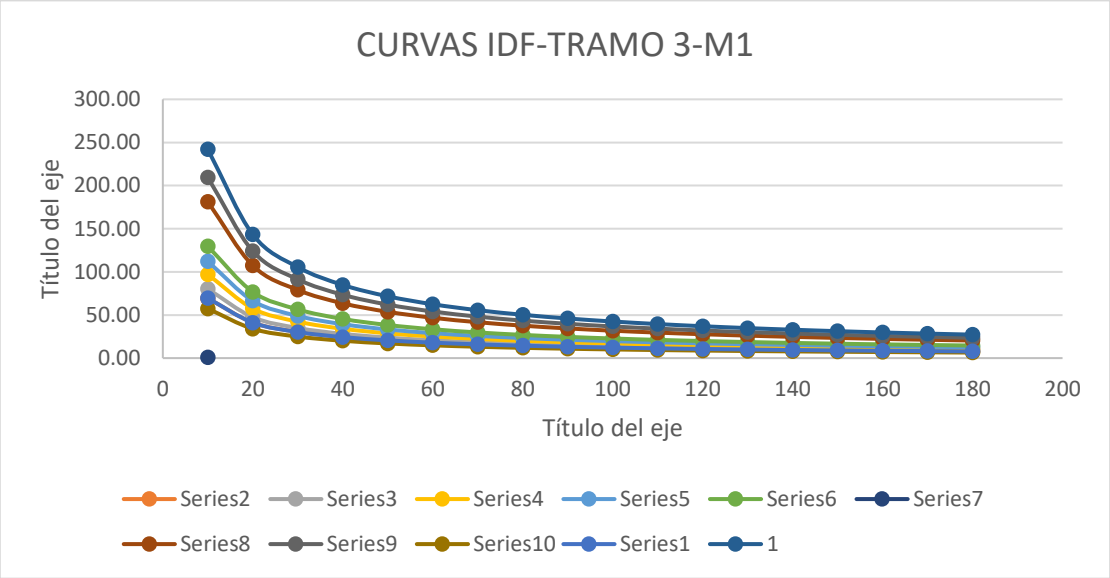
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 29

Tramo 3-M1, Curvas IDF



Nota. Elaboración propia.

De esta manera, también se consideran los parámetros K, m y n, que son fundamentales para determinar la intensidad de lluvia correspondiente a cada tiempo de concentración de los tramos. Estos valores permiten calcular de manera precisa la intensidad para cada duración, la cual es necesaria para posteriormente estimar el caudal de diseño por tramo. Por esta razón, a continuación, se presentan los resultados obtenidos de acuerdo con los cálculos realizados.

- **Tramo 1**: m = 0.2082599, n=-0.75579008, K=286,6335
- **Tramo 2**: m = 0.20788232, n=-0.7559825, K=276,2684
- **Tramo 3**: m = 0.20842568, n=-0.75602652, K=282,9218942

a. Cálculo de caudal máximo por Método Racional

El cálculo del caudal de diseño es esencial para determinar la capacidad del sistema de drenaje urbano y garantizar su funcionamiento durante eventos de lluvia. Según la Norma Técnica CE.040 – Drenaje Pluvial, los caudales de diseño deben determinarse mediante el Método Racional cuando el área igual o menor a 3 km². Este método relaciona la intensidad de la precipitación, el coeficiente de escorrentía y el área de aporte, permitiendo estimar el caudal

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

máximo de diseño. Su aplicación en el presente estudio asegura el adecuado dimensionamiento hidráulico y el cumplimiento de los criterios normativos vigentes (MVCS, 2021).

La expresión general del método es:

$$Q = 0.278 \cdot C \cdot I \cdot A$$

Donde:

- **Q** = Caudal máximo de diseño (m^3/s)
- **C** = Coeficiente de escorrentía
- **I** = Intensidad de precipitación máxima (mm/h)
- **A =** Área de la cuenca (km^2)

En este caso, se tomará como área de aporte la correspondiente a cada tramo de la Av. 54, previamente determinada según la microcuenca que genera mayor escorrentía. Para cada intensidad calculada se determinará el tiempo de concentración del tramo utilizando el método de Kirpich**,** el cual depende de la longitud del cauce de la cuenca y de la pendiente media del terreno.

$$T_C = 0.06628 * L^{0.77} * S^{-0.385}$$

Donde:

- **L** = Caudal máximo de diseño (km)
- **S** = Pendiente media del terreno (m/m)

Respecto al coeficiente de escorrentía (C)**,** se empleará un promedio de los valores proporcionados por la Norma Técnica CE.040 para el método racional, considerando las características de la superficie y un período de retorno de 25 años. Los valores adoptados son:

- Áreas asfaltadas: 0.86
- Concreto o techos: 0.88
- Zonas verdes: 0.46

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Teniendo un valor promedio de 0.70, con este resultado será posible calcular el caudal máximo de diseño para cada tramo, incorporando tanto la intensidad de lluvia como la respuesta de la cuenca a través del tiempo de concentración y la rugosidad de la superficie.

Figura 30

Coeficientes de escorrentía para ser utilizados en el Método Racional

CARACTERISTICAS DE LA SUPERFICIE	PERIODO DE RETORNO (AÑOS)						
	2	5	10	25	50	100	500
AREAS URBANAS							
Asfalto	0.73	0.77	0.81	0.86	0.90	0.95	1.00
Concreto / Techos	0.75	0.80	0.83	0.88	0.92	0.97	1.00
Zonas verdes (jardines, parques, etc) **Condición pobre (cubierta de pasto menor del 50% del área)**							
Plano 0 - 2%	0.32	0.34	0.37	0.40	0.44	0.47	0.58
Promedio 2 - 7%	0.37	0.40	0.43	0.46	0.49	0.53	0.61
Pendiente Superior a 7%	0.40	0.43	0.45	0.49	0.52	0.55	0.62
Condición promedio (cubierta de pasto menor del 50% al 75% del área)							
Plano 0 - 2%	0.25	0.28	0.30	0.34	0.37	0.41	0.53
Promedio 2 - 7%	0.33	0.36	0.38	0.42	0.45	0.49	0.58
Pendiente Superior a 7%	0.37	0.40	0.42	0.46	0.49	0.53	0.60
Condición buena (cubierta de pasto mayor del 75% del área)							
Plano 0 - 2%	0.21	0.23	0.25	0.29	0.32	0.36	0.49
Promedio 2 - 7%	0.29	0.32	0.35	0.39	0.42	0.46	0.56
Pendiente Superior a 7%	0.34	0.37	0.40	0.44	0.47	0.51	0.58
AREAS NO DESARROLLADAS							
Área de Cultivos							
Plano 0 - 2%	0.31	0.34	0.36	0.40	0.43	0.47	0.57
Promedio 2 - 7%	0.35	0.38	0.41	0.44	0.48	0.51	0.60
Pendiente Superior a 7%	0.39	0.42	0.44	0.48	0.51	0.54	0.61
Pastizales							
Plano 0 - 2%	0.25	0.28	0.30	0.34	0.37	0.41	0.53
Promedio 2 - 7%	0.33	0.36	0.38	0.42	0.45	0.49	0.58
Pendiente Superior a 7%	0.37	0.40	0.42	0.46	0.49	0.53	0.60
Bosques							
Plano 0 - 2%	0.22	0.25	0.28	0.31	0.35	0.39	0.48
Promedio 2 - 7%	0.31	0.34	0.36	0.40	0.43	0.47	0.56
Pendiente Superior a 7%	0.35	0.39	0.41	0.45	0.48	0.52	0.58

Nota. Extraído de la Norma Técnica CE.040 (MVCS, 2021c).

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

CAUDAL DE CUENCA PARA EL TRAMO 1

Microcuenca 6

Tabla 59

Parámetros para Microcuenca 6

PARAMETROS PARA M6		
CUENCA	**UNIDAD**	**RESULTADOS**
Área	Km2	0.16285
Perímetro	km	1.793
L cauce	m	2,363
C superior	m	2,698
C inferior	m	2,597
DH	m	101
S	m/m	0.043

Nota. Elaboración propia.

Tabla 60

M6-Cálculo de tiempo de concentración, Intensidad y Caudal máximo

FORMULAS PARA EL CÁLCULO DEL TIEMPO DE CONCENTRACIÓN			
METODO	**FORMULA PARA TC (minutos)**	**RESULTADOS**	
Kirpich (1940)	$T_C = 0.06628 * L^{0.77} * S^{-0.385}$	**L (Km)**	2.36
		S (m/m)	0.0427
		TC (min)	25.98
		TC (hor)	**0.433**
FORMULAS PARA EL CÁLCULO DE LA INTENSIDAD			
METODO	**FORMULA PARA LA INTENSIDAD (mm/h)**	**RESULTADOS**	
Racional	$I = (K * T^m)/D^n$	**K**	286.634
		n	0.756
		m	0.208
		T (años)	25.000
		D (min)	25.980
		I (mm/h)	**47.785**
FORMULAS PARA EL CÁLCULO DEl CAUDAL MÁXIMO			
METODO	**FORMULA PARA EL CAUDADL Q (m^3/s)**	**RESULTADOS**	
Racional	$Q = C * I * A$	**C**	0.733
		I (mm/h)	47.785
		A (km^2)	0.163
		Q (m^3/s)	**1.586**

Nota. Elaboración propia.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

CAUDAL DE CUENA PARA EL TRAMO 2

Microcuenca 5

Tabla 61

Parámetros para Microcuenca 5

PARAMETROS PARA M5		
CUENCA	**UNIDAD**	**RESULTADOS**
Área	Km2	0.197992
Perímetro	km	2.003
L cauce	m	2,398.000
C superior	m	2,669.000
C inferior	m	2,578.000
DH	m	91.000
S	m/m	0.038

Nota. Elaboración propia.

Tabla 62

M5-Cálculo de tiempo de concentración, Intensidad y Caudal máximo

FORMULAS PARA EL CÁLCULO DEL TIEMPO DE CONCENTRACIÓN			
METODO	**FORMULA PARA TC (minutos)**	**RESULTADOS**	
Kirpich (1940)	$T_C = 0.06628 * L^{0.77} * S^{-0.385}$	**L (Km)**	2.40
		S (m/m)	0.0379
		TC (min)	27.48
		TC (hor)	**0.458**
FORMULAS PARA EL CÁLCULO DE LA INTENSIDAD			
METODO	**FORMULA PARA LA INTENSIDAD (mm/h)**	**RESULTADOS**	
Racional	$I = (K * T^m)/D^n$	**K**	276.268
		n	0.756
		m	0.208
		T (años)	25.0
		D (min)	27.48
		I (mm/h)	**44.062**
FORMULAS PARA EL CÁLCULO DEl CAUDAL MÁXIMO			
METODO	**FORMULA PARA EL CAUDADL Q (m^3/s)**	**RESULTADOS**	
Racional	$Q = C * I * A$	**C**	0.733
		I (mm/h)	44.062
		A (km^2)	0.198
		Q (m^3/s)	**1.779**

Nota. Elaboración propia.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

CAUDAL DE CUENA PARA EL TRAMO 3

Microcuenca 1

Tabla 63

Parámetros para Microcuenca 1

PARAMETROS PARA M1		
CUENCA	**UNIDAD**	**RESULTADOS**
Área	Km2	0.033691
Perímetro	km	0.862
L cauce	m	1,955
C superior	m	2,814
C inferior	m	2,589
DH	m	225
S	m/m	0.115

Nota. Elaboración propia.

Tabla 64

M1-Cálculo de tiempo de concentración, Intensidad y Caudal máximo

FORMULAS PARA EL CÁLCULO DEL TIEMPO DE CONCENTRACIÓN			
METODO	**FORMULA PARA TC (minutos)**	**RESULTADOS**	
Kirpich (1940)	$T_C = 0.06628 * L^{0.77} * S^{-0.385}$	**L (Km)**	1.96
		S (m/m)	0.1151
		TC (min)	15.3
		TC (hor)	**0.2550**
FORMULAS PARA EL CÁLCULO DE LA INTENSIDAD			
METODO	**FORMULA PARA LA INTENSIDAD (mm/h)**	**RESULTADOS**	
Racional	$I = (K * T^m)/D^n$	**K**	282.922
		n	0.756
		m	0.208
		T (años)	25.000
		D (min)	15.300
		I (mm/h)	**70.368**
FORMULAS PARA EL CÁLCULO DEl CAUDAL MÁXIMO			
METODO	**FORMULA PARA EL CAUDADL Q (m^3/s)**	**RESULTADOS**	
Racional	$Q = C * I * A$	**C**	0.733
		I (mm/h)	70.368
		A (km^2)	0.034
		Q (m^3/s)	**0.483**

Nota. Elaboración propia.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

4.4. Topografía

4.4.1. Exportación de área de estudio – Google Earth

El área de estudio se presenta en la Figura 31 para su delimitación se empleó el programa Google Earth, el cual permite exportar archivos en formato KMZ y KML que posteriormente pueden ser importados en Global Mapper. De esta manera, fue posible trazar con precisión los límites correspondientes al área de estudio.

Figura 31

Exportación de área de estudio – Google Earth



Nota. Elaboración propia a partir de imágenes satelitales obtenidas de Google Earth (2025).

El área seleccionada abarca 906.128 m², lo que permite realizar una estimación de curvas de nivel que representen con precisión la superficie de estudio, sobre la cual se proyectará la implementación del sistema de drenaje urbano sostenible.

4.4.2. Global Mapper

La metodología en Global Mapper para generar curvas de nivel a partir de archivos KMZ/KML consiste en importar la delimitación del área obtenida en Google Earth y superponerla sobre un modelo digital de elevación o imágenes satelitales disponibles en el programa. A partir de esta base, el software procesa la información altimétrica y permite crear curvas de nivel con intervalos definidos por el usuario.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

4.4.3. Curvas de nivel

Se configura el programa para generar curvas de nivel que representen la superficie del área de estudio, teniendo en cuenta que el sistema urbano de drenaje sostenible proyectado se plantea como un separador vial destinado a promover la amenidad urbana, facilitar el transporte y controlar la escorrentía pluvial. La Figura 32 ilustra el resultado de esta estimación realizada por el software.

Figura 32

Curvas de Nivel



Nota. Elaboración propia mediante el software Global Mapper (2025).

4.4.4. Creación de superficie

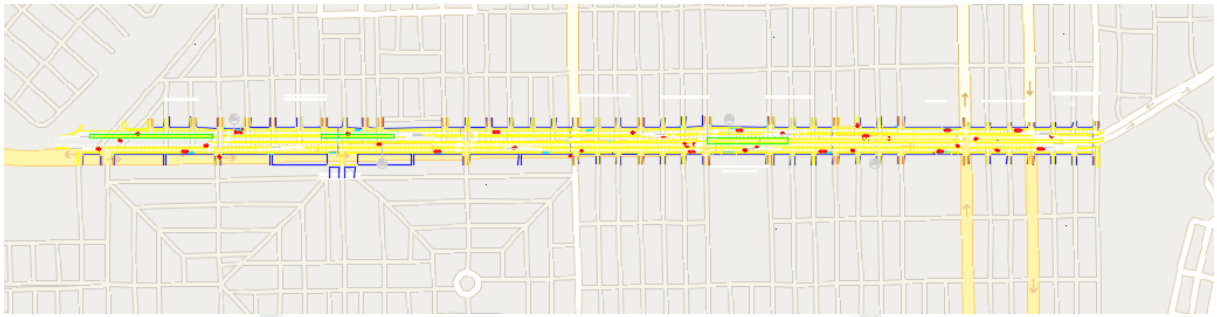
La superficie digital del terreno es creada a partir del conjunto de puntos y, posteriormente, georreferenciada de manera adecuada para garantizar su correspondencia con la ubicación real de la zona de estudio. Este paso resulta fundamental, ya que proporciona una base topográfica confiable sobre la cual se desarrolla el análisis preliminar y el prediseño del SUDS. De esta forma, es posible identificar con precisión las pendientes, la dirección natural de la escorrentía y las áreas críticas de acumulación, lo que permite proyectar soluciones que se integren de manera eficiente al contexto urbano y respondan a las condiciones reales del terreno.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 33

Creación de superficie



Nota. Elaboración propia mediante el software AutoCad (2025).

4.5. DISEÑO DE SUDS

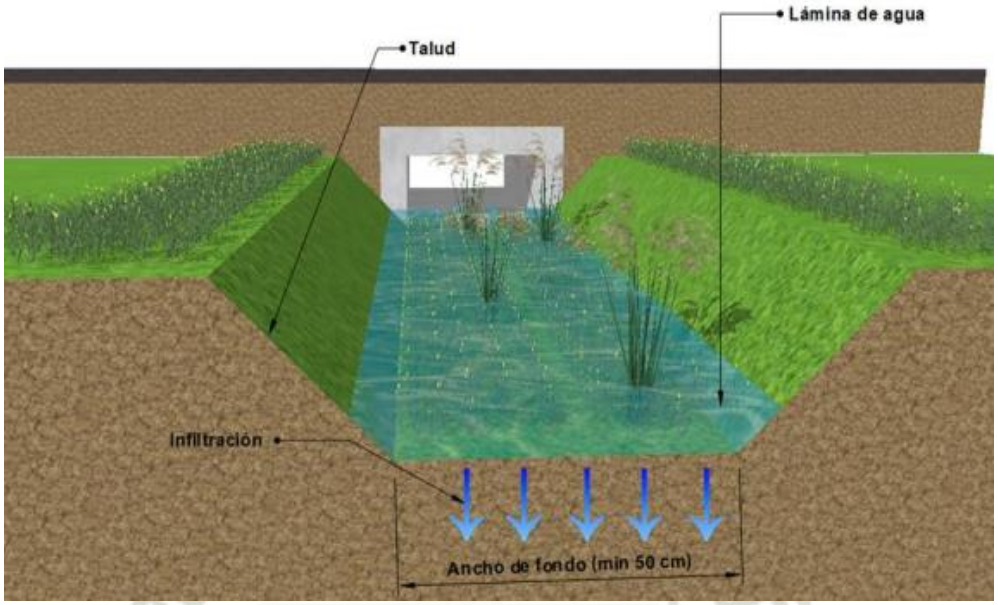
Las cunetas verdes son canales longitudinales poco profundos, de sección trapezoidal o triangular y revestidos con vegetación, diseñados como parte de los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible para captar, transportar e infiltrar la escorrentía superficial, a diferencia de las cunetas convencionales de concreto que solo conducen el agua; su funcionamiento integra la conducción de caudales pluviales con procesos de infiltración y filtración natural, lo que contribuye a reducir la velocidad del flujo, mejorar la calidad del agua mediante la retención de sedimentos y contaminantes, y aportar al mismo tiempo valor paisajístico, ambiental y social al entorno urbano, favoreciendo la biodiversidad y el ciclo hidrológico; su diseño considera pendientes suaves, vegetación nativa resistente a variaciones de humedad, elementos disipadores de energía como enrocados para evitar la erosión en tramos de fuerte pendiente, e incluso subdrenajes con tuberías perforadas en suelos poco permeables, siendo una alternativa de bajo costo, adaptable a diferentes contextos urbanos y más eficiente cuando se combina con otras tipologías de SUDS como zanjas de infiltración o biorretención.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 34

Sección transversal de cuneta verde



Nota. Extraída de la Guía Técnica de diseño y Construcción de SUDS (EAB-ESP, 2016).

4.5.1. Pre-dimensionamiento

- **Selección de cobertura vegetal para la cuneta verde**

El pasto kikuyo (Pennisetum clandestinum) fue seleccionado como cobertura vegetal para la cuneta verde debido a su adecuado desempeño hidráulico, estructural y funcional en sistemas de drenaje sostenible. De acuerdo con el Irrigation Design Manual del South African Irrigation Institute, esta especie puede resistir velocidades de flujo de hasta 2.1 m/s, lo que garantiza la estabilidad del revestimiento vegetal y reduce el riesgo de erosión durante eventos de lluvia intensa. Asimismo, estudios experimentales reportados por Rosser (1964)indican que el flujo sobre kikuyo presenta una elevada rugosidad hidráulica, favoreciendo la disipación de energía y la reducción de la velocidad del escurrimiento.

Desde el punto de vista funcional, el kikuyo desarrolla una cobertura densa y un sistema radicular profundo, lo que permite consolidar el suelo, frenar los flujos y aumentar el tiempo de residencia del agua, facilitando procesos de filtración y retención de contaminantes. Estas características coinciden con los lineamientos establecidos en la investigación sobre tipologías

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

de SUDS para Bogotá D.C., que recomienda el uso de vegetación robusta y duradera en cunetas verdes. En conjunto, estas propiedades hacen del pasto kikuyo una alternativa técnicamente adecuada, eficiente y de bajo mantenimiento para la implementación de cunetas verdes en infraestructura vial urbana

- **Coeficiente de rugosidad**

El desarrollo del pre-dimensionamiento de la cuneta verde es el siguiente:

De acuerdo con la Tabla 5-6 del libro "Hidráulica de canales abiertos", para el presente diseño se adopta un coeficiente de rugosidad n = 0.050. Esta elección corresponde al caso C. Excavado o dragado, e. Canales sin mantenimiento, malezas y matorrales sin cortar, 1. Malezas densas, tan altas como la profundidad de flujo. Para esta condición, el rango de rugosidad es 0.050 – 0.080, donde 0.050 es el valor mínimo, recomendado cuando la vegetación está presente pero no alcanza niveles extremos de obstrucción.

En este proyecto se adoptará n = 0.050, ya que sí se realizará mantenimiento, aunque no con la frecuencia ideal que asegure una vegetación completamente controlada. Por ello, el valor mínimo del rango representa adecuadamente un escenario realista en el que la cuneta presenta crecimiento vegetal moderado, pero aún dentro de límites aceptables de operación.

$$Coeficiente\ de\ rugosidad\ (n) = 0.050$$

Tabla 65

Valores del coeficiente de rugosidad n

Tipo de canal y descripción	Mínimo	Normal	Máximo
C. Excavado o dragado			
a. En tierra, recto y uniforme			
1. Limpio, recientemente terminado	0.016	0.018	0.020
2. Limpio, después de exposición a la intemperie	0.018	0.022	0.025

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

3. Con gravas, sección uniforme, limpio	0.022	0.025	0.030
4. Con pastos cortos, algunas malezas	0.022	0.027	0.033
b. En tierra, serpenteante y lento			
1. Sin vegetación	0.023	0.025	0.030
2. Pastos, algunas malezas	0.025	0.030	0.033
3. Malezas densas o plantas acuáticas en canales profundos	0.030	0.035	0.040
4. Fondo en tierra con lados en piedra	0.028	0.030	0.035
5. Fondo pedregoso y bancas con malezas	0.025	0.035	0.040
6. Fondo en cantos rodados y lados limpios	0.030	0.040	0.050
c. Excavado con pala o dragado			
1. Sin vegetación	0.025	0.028	0.033
2. Matorrales ligeros en las bancas	0.035	0.050	0.060
d. Cortes en roca			
1. Lisos y uniformes	0.025	0.035	0.040
2. Astillados e irregulares	0.035	0.040	0.050
e. Canales sin mantenimiento, malezas y matorrales sin cortar			
1. Malezas densas, tan altas como la profundidad de flujo	0.050	0.080	0.120
2. Fondo limpio, matorrales en los lados	0.040	0.050	0.080

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

3. Igual, nivel máximo de flujo	0.045	0.070	0.110
4. Matorrales densos, nivel alto	0.080	0.100	0.140

Nota. Extraído de Hidráulica de Canales Abiertos de Ven T. C. (Chow, 1985)

- **Diseño tentativo**

En el caso de la tipología de SUDS está encaminada a ser una estructura sostenible de transporte de lluvias. Dado el potencial de infiltración de una superficie, definida por el tipo de suelo o cobertura del área, el agua que no se infiltre producirá a mayor o menor escala un flujo volumétrico de escorrentía. Dicha escorrentía en las zonas urbanas debe ser conducida a través de un drenaje, con el fin de evitar empozamientos en zonas no destinadas para este fin, inundaciones.

Tabla 66

Restricciones mínimas y máximas para el pre-dimensionamiento

Parámetros	**Mínimo requerido**	**FUENTE**
Pendiente de terreno	3H:1V - Recomendado	(CIIA, 2016)
Distancia a nivel freático	> 1.5 m	(CIIA, 2016)
Tasa de infiltración del suelo	< 13 mm/h	(CIIA, 2016)
Número de Froude	< 1, flujo crítico	(Chow, 1985)
Velocidad máxima de flujo	<2 m/s	(CIRIA, 2015)
Ancho de base	0.5 m < ab > 2 m	(CIRIA, 2015)

Nota. Elaboración propi a partir de CIIA (2016), Chow (1985) y CIRIA (2015).

Además, se adjunta la siguiente tabla para el tipo de uso según la tipología escogida en espacios públicos.

Tabla 67

Restricciones mínimas y máximas para el pre-dimensionamiento

Criterios		**Cuneta Verde**
Calle	Separadores viales	X
Espacios abiertos	Parques	X

Nota. Adaptado de la hoja de cálculo del Anexo 3.3. (CIIA, 2016).

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

El apartado de criterios de calidad según su aplicabilidad, se presenta la siguiente tabla:

Tabla 68

Criterios de calidad

Criterios		Cuneta Verde
Remociones contaminantes	Nutrientes	M
	Metales	B
	Patógenos	B
	Sedimentos	M
	Aceites y grasas	M
	Basura y escombros	M

B: Bajo, M: Medio.

Nota. Adaptado de la hoja de cálculo del Anexo 3.3. (CIIA, 2016).

En el aspecto de criterios hidrogeológicos y geomorfológicos según su aplicabilidad, se tiene la siguiente tabla:

Tabla 69

Criterios de hidrogeológicos y geomorfológicos

Criterios		Cuneta Verde
Criterios Hidrogeológicos y Geomorfológicos	Vulnerabilidad del acuífero	A
	Nivel freático (m)	A
	Recarga de acuíferos	A
	Tipo de suelos	M
	Permeabilidad	M

A: Alto, M: Medio.

Nota. Adaptado de la hoja de cálculo del Anexo 3.3. (CIIA, 2016).

En el criterio de amenidad y aplicabilidad, la siguiente tabla se presenta:

Tabla 70

Criterios de amenidad y aplicabilidad

Criterios		Cuneta Verde
Amenidad (Agradabilidad)	Creación de entornos significativos	M
	Integración a estructura urbana	A
	Generación de espacio público	A
	Soporte a salud y salud comunitaria	M

A: Alto, M: Medio.

Nota. Adaptado de la hoja de cálculo del Anexo 3.3. (CIIA, 2016).

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Un aspecto importante es el económico, la siguiente tabla presenta la calificación para la tipología escogida:

Tabla 71

Criterios económicos

Criterios		Cuneta Verde
Criterios Económicos	Costo de capital	B
	Costo de mantenimiento	B

B: Bajo

Nota. Adaptado de la hoja de cálculo del Anexo 3.3. (CIIA, 2016).

En base a los parámetros expuestos y criterios, se plasma la siguiente metodología.

Para el diseño tentativo de la solución propuesta, se utilizará un utilitario de "Hoja de Cálculo de predimensionamiento de cuentas verdes" basado en la "Investigación de las Tipologías y/o Tecnologías de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) que más se adapten a las condiciones de la ciudad de Bogotá D.C.", específicamente en lo referido al diseño de Cunetas Verdes (CIIA, 2016).

Este utilitario permite integrar criterios geométricos, hidráulicos y de infiltración propios de este tipo de infraestructura sostenible, facilitando una aproximación preliminar del comportamiento y dimensionamiento del sistema.

Estos insumos permitirán evaluar el funcionamiento de la cuneta verde bajo diferentes escenarios, verificando su capacidad para transportar y regular los caudales generados en cada tramo analizado, antes de proceder al diseño final y su posterior modelación hidráulica.

Para su aplicación, se emplearán los datos previamente desarrollados por tramos, tales como:

- **Caudal pico** $\left(m^3/s\right)$

$$Q_{2-5} = \frac{CA_d \cdot i_{2-5}}{1000 \cdot 3600}\left(m^3/s\right)$$

Donde: CA_d: $Área\ de\ la\ cuenca$, i_{2-5}: $Intesidad\ de\ la\ cuenca$

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Fuente: Hidráulica de canales abiertos (Chow, 1985)

- **Volumen de escorrentía** $(\boldsymbol{m^3})$

$$V = \frac{Q_{2-5} \cdot D}{3600} (m^3)$$

Hidrología básica – *Volumen = Caudal × Tiempo*.

Fuente: Manual de hidrología, hidráulica y drenaje (MTC, 2008)

Donde: Q_{2-5}: $Caudal\ de\ la\ cuenca, D$: $Duración\ de\ la\ lluvia$.

- **Velocidad de diseño** $(\boldsymbol{v_f})$

$$v_f = \frac{Q_{2-5}}{A_w} (m/s)$$

Donde: Q_{2-5}: $Caudal\ de\ la\ cuenca, A_w$: $Área\ de\ flujo$.

Ecuación fundamental de flujo uniforme:

$$Q = V \cdot A$$

- **Caudal de diseño para obtener la profundidad** $(\boldsymbol{Q_{s2}})$

$$Q_{s2} = \frac{1}{n} \cdot A_w \cdot {R_H}^{2/3} \cdot S^{1/2} \left(m^3/s\right)$$

Donde: A_w: $Área\ de\ flujo, R_H$: $Radio\ hidráulico, S$: $Pendiente$

Fuente: Hidráulica de canales abiertos (Chow, 1985)

- **Área de flujo** $(\boldsymbol{A_w})$

$$A_w = \left(d \cdot W_f\right) + \left(Z \cdot d^2\right) \quad (m^2)$$

Donde:

W_f: $Ancho\ del\ fondo\ de\ la\ cuenta, d$: $Profundidad\ de\ flujo, Z$: $Pendiente$

Geometría de secciones trapezoidales.

- **Ancho superior de la cuneta** $(\boldsymbol{W_{sd}})$

$$W_{sd} = W_f + (2 \cdot d \cdot Z) \quad (m)$$

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Donde:

W_f: $Ancho\ del\ fondo\ de\ la\ cuenta, d$: $Profundidad\ de\ flujo, Z$: $Pendiente$

Geometría del trapecio.

- **Número de Froude** $(\boldsymbol{F})$

$$F = \frac{v_f}{\sqrt{g \cdot \frac{A_w}{W_{sd}}}}$$

Donde:

v_f: $Velocidad\ de\ diseño, A_w$: $Área\ de\ flujo, W_{sd}$: $Ancho\ superior\ de\ la\ cuneta$

Fuente: Hidráulica de canales abiertos *(Chow, 1985)*

- **Radio Hidráulico** $(\boldsymbol{R_H})$

$$R_H = \frac{A_w}{W_f + (2 \cdot d\sqrt{1 + Z^2})} \quad (m)$$

Donde:

A_w: $Área\ de\ flujo, W_f$: $Ancho\ de\ fondo, d$: $Profundidad\ de\ flujo, Z$: $Pendiente$

R=A/P

Fuente: Hidráulica de canales abiertos *(Chow, 1985)*

- **Borde libre** $(\boldsymbol{d_L})$ **– Elegir el máximo valor**

$$d_L = d_{eext} - d \qquad o \qquad d_L = 0.5 \cdot 0.3048 = 0.15\ m$$

Donde:

d_{eext}: $Profundidad\ asociada\ a\ un\ evento\ con\ periodo\ de\ retorno\ de\ 10\ años, d$: $Profundidad$

- **Profundidad mínima de cuneta** $(\boldsymbol{d_{to}})$

$$d_{to} = d_L + d \quad (m)$$

Donde: d_L: $Borde\ libre\ recomendado, d$: $Profundidad$

Fuente: Manual de hidrología, hidráulica y drenaje (MTC, 2008)

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

- **Ancho superior de la cuneta para profundidad mínima (W_s)**

$$W_s = W_f + 2(d_{to} \cdot Z) \quad (m)$$

Donde: W_f: $Ancho\ de\ fondo$, d_{to}: $Profundidad\ mínima\ cuneta$,

Z: $Pendiente$

Geometría de la cuneta trapezoidal

- **Ancho superior de la sección de la cuneta en relación con la profundidad existente (W_{sr})**

$$W_{sr} = W_f + 2(d_{tor} \cdot Z) \quad (m)$$

Donde:

W_f: $Ancho\ de\ fondo$, d_{tor}: $Profundidad\ real\ de\ la\ cuneta$, Z: $Pendiente$

Geometría del trapecio.

a) Tramo 1

Primero se hará la determinación variable hidrológicas relevantes para el, con los datos del apartado de Delimitación de la cuenca.

Se multiplica el coeficiente de escorrentía elegido por el Área del tramo 1 en m2.

Tabla 72

Área a utilizar – Tramo 1

	C	A_d (m^2)	CA_d (m^2)
Área	0.70	162850	113995

Nota. Adaptado de la hoja de predimensionamiento de cunetas verdes (CIIA, 2016).

Tabla 73

Caudal pico – Tramo 1

Caudal pico	
PR (años)	5
$i_{2\text{-}5}$ (mm/hr)	34.1762
D (hr)	0.25
$Q_{2\text{-}5}$ (m^3/s)	1.08
V (m^3)	973.98

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Nota. Adaptado de la hoja de predimensionamiento de cunetas verdes (CIIA, 2016).

Tabla 74

Caudal de verificación – Tramo 1

Caudal de verificación	
PR (años)	25
i_{10} (mm/hr)	47.79
D (hr)	0.25
Q_{10} (m^3)	1.513

Nota. Adaptado de la hoja de predimensionamiento de cunetas verdes (CIIA, 2016).

Tabla 75

Dimensionamiento – Tramo 1

Variable	***Unidades***	***Valor***	***Consideraciones***
Procedimiento de diseño			
Caudal de diseño para un periodo de dos a cinco años ($Q_{2\text{-}5}$)	m^3/s	1.082	El valor debe corresponder a la tasa de flujo para el periodo de retorno seleccionado en condiciones de desarrollo completo
Tiempo de residencia hidráulico			
Longitud de la cuneta (L)	m	120	Debe ser maximizada en la medida de lo posible
Tiempo de residencia calculado (T_{rs})	h	0.03	Entre más alto, aumenta calidad
Pendiente longitudinal			
Pendiente disponible (S_p)	m/m	0.019	Se refiere a la pendiente del terreno
Pendiente de diseño (S)	m/m	0.019	Se refiere a la pendiente efectiva de diseño que tendría la cuneta
Geometría de la cuneta			
Pendiente lateral del canal Z:1 (Z)	-	3.00	No debe ser menor a una relación Horizontal:Vertical de 3:1
Condición pendiente lateral del canal	-	Cumple	
Ancho del fondo de la cuneta (W_f)	m	0.50	Orientado a tener un tiempo de residencia alto, en caso de no poder maximizar longitud
Velocidad			
Velocidad de diseño (v_f)	m/s	1.02	No debe exceder 2 m/s (x ft/s) (recomendación)
Condición velocidad de diseño	-	Cumple	
Diseño			
Caudal de diseño (Qs2)	m^3/s	1.25	Caudal empleado para obtener la profundidad

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

n de Manning	-	0.050	Depende del material y del retardo vegetal
Profundidad de flujo (*d*)	m	0.52	No debe ser mayor a 0.6 m (1 ft) (recomendación)
Condición profundidad de flujo	-	Cumple	
Área de flujo (A_w)	m^2	1.06	En caso de no poder maximizar la longitud, esta área debería modificarse de tal forma que el Tr sea alto
Ancho superior de la cuneta (W_{sd})	m	3.60	Depende del ancho del fondo, la pendiente y la profundidad de la cuneta
Gravedad (*g*)	m/s^2	9.78	Constante gravitacional
Número de Froude (*F*)	-	0.60	No debe superar un valor de 0.5 (recomendación)
Condición número de Froude	-	Cumple	
Radio hidráulico (R_H)	m	0.28	Parámetro para encontrar retardo vegetal, que resulta necesario para el n de Manning
	Borde libre		
n de Manning	-	0.050	Depende del material y del retardo vegetal
Caudal para un periodo de diez años (Q_{10})	m^3/s	1.513	Caudal empleado para definir la altura máxima del flujo en un evento con periodo de retorno de 10 años
Profundidad asociada a un evento con periodo de retorno de 10 años (d_{eext})	m	0.56	Se calcula a partir del caudal asociado a un evento con periodo de retorno de 10 años
Borde libre recomendado (d_L)	m	0.15	Se establece comparando la profundidad requerida para el manejo de un evento extremo y una altura mínima recomendada
Profundidad mínima cuneta (d_{to})	m	**0.67**	Considerando borde libre y profundidad para un evento con periodo de retorno de 2 a 5 años
Ancho superior de la cuneta para profundidad mínima (W_s)	m	**4.51**	Ancho correspondiente a la profundidad mínima
Profundidad real cuneta (d_{tor})	m	0.80	Esta profundidad debe ser mayor o igual a la mínima establecida para la cuneta
Condición profundidad real cuneta	-	Cumple	
Ancho superior de la cuneta de acuerdo a la profundidad real (W_{sr})	m	5.30	Ancho correspondiente a la profundidad real de la cuneta

Nota. Adaptado de la hoja de predimensionamiento de cunetas verdes (CIIA, 2016).

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

b) Tramo 2

Primero se hará el cálculo de parámetros hidrológicos pertinentes en procesos de dimensionamiento y diseño, con los datos del apartado de Delimitación de la cuenca.

Se multiplica el coeficiente de escorrentía elegido por el Área del tramo 2 en m2.

Tabla 76

Área a utilizar – Tramo 2

	C	A_d (m^2)	CA_d (m^2)
Área	0.7	1977992	138594.4

Nota. Adaptado de la hoja de predimensionamiento de cunetas verdes (CIIA, 2016).

Tabla 77

Caudal pico – Tramo 2

Caudal pico	
PR (años)	5
i_{2-5} (mm/hr)	31.5329
D (hr)	0.27
Q_{2-5} (m^3/s)	1.214
V (m^3)	1179.98

Nota. Adaptado de la hoja de predimensionamiento de cunetas verdes (CIIA, 2016).

Tabla 78

Caudal de verificación – Tramo 2

Caudal de verificación	
PR (años)	25
i_{10} (mm/hr)	44.06
D (hr)	0.27
Q_{10} (m^3)	0.1696

Nota. Adaptado de la hoja de predimensionamiento de cunetas verdes (CIIA, 2016).

Tabla 79

Dimensionamiento – Tramo 2

Variable	***Unidades***	***Valor***	***Consideraciones***
	Procedimiento de diseño		
Caudal de diseño para un periodo de dos a cinco años (Q_{2-5})	m^3/s	1.214	El valor debe corresponder a la tasa de flujo para el periodo de retorno

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

			seleccionado en condiciones de desarrollo completo
Tiempo de residencia hidráulico			
Longitud de la cuneta (*L*)	m	120	Debe ser maximizada en la medida de lo posible
Tiempo de residencia calculado (T_{rs})	h	0.02	Entre más alto, aumenta calidad
Pendiente longitudinal			
Pendiente disponible (S_p)	m/m	0.0291	Se refiere a la pendiente del terreno
Pendiente de diseño (*S*)	m/m	0.0291	Se refiere a la pendiente efectiva de diseño que tendría la cuneta
Geometría de la cuneta			
Pendiente lateral del canal Z:1 (*Z*)	-	3.00	No debe ser menor a una relación Horizontal:Vertical de 3:1
Condición pendiente lateral del canal	-	Cumple	
Ancho del fondo de la cuneta (W_f)	m	0.60	Orientado a tener un tiempo de residencia alto, en caso de no poder maximizar longitud
Velocidad			
Velocidad de diseño (v_f)	m/s	1.37	No debe exceder 2 m/s (x ft/s) (recomendación)
Condición velocidad de diseño	-	Cumple	
Diseño			
Caudal de diseño (Qs2)	m^3/s	1.22	Caudal empleado para obtener la profundidad
n de Manning	-	0.050	Depende del material y del retardo vegetal
Profundidad de flujo (*d*)	m	0.45	No debe ser mayor a 0.6 m (1 ft) (recomendación)
Condición profundidad de flujo	-	Cumple	
Área de flujo (A_w)	m^2	0.88	En caso de no poder maximizar la longitud, esta área debería modificarse de tal forma que el Tr sea alto
Ancho superior de la cuneta (W_{sd})	m	3.31	Depende del ancho del fondo, la pendiente y la profundidad de la cuneta
Gravedad (*g*)	m/s^2	9.78	Constante gravitacional
Número de Froude (*F*)	-	0.85	No debe superar un valor de 0.5 (recomendación)
Condición número de Froude	-	Cumple	
Radio hidráulico (R_H)	m	0.26	Parámetro para encontrar retardo vegetal, que resulta necesario para el n de Manning
Borde libre			

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

n de Manning	-	0.050	Depende del material y del retardo vegetal
Caudal para un periodo de diez años (Q_{10})	m^3/s	1.696	Caudal empleado para definir la altura máxima del flujo en un evento con periodo de retorno de 10 años
Profundidad asociada a un evento con periodo de retorno de 10 años (d_{eext})	m	0.48	Se calcula a partir del caudal asociado a un evento con periodo de retorno de 10 años
Borde libre recomendado (d_L)	m	0.15	Se establece comparando la profundidad requerida para el manejo de un evento extremo y una altura mínima recomendada
Profundidad mínima cuneta (d_{to})	m	**0.60**	Considerando borde libre y profundidad para un evento con periodo de retorno de 2 a 5 años
Ancho superior de la cuneta para profundidad mínima (W_s)	m	**4.23**	Ancho correspondiente a la profundidad mínima
Profundidad real cuneta (d_{tor})	m	0.80	Esta profundidad debe ser mayor o igual a la mínima establecida para la cuneta
Condición profundidad real cuneta	-	Cumple	
Ancho superior de la cuneta de acuerdo a la profundidad real (W_{sr})	m	5.40	Ancho correspondiente a la profundidad real de la cuneta

Nota. Adaptado de la hoja de predimensionamiento de cunetas verdes (CIIA, 2016).

c) Tramo 3

Primero se hará el cálculo de parámetros hidrológicos pertinentes en procesos de dimensionamiento y diseño, con los datos del apartado de Delimitación de la cuenca.

Se multiplica el coeficiente de escorrentía elegido por el Área del tramo 3 en m2.

Tabla 80

Área a utilizar – Tramo 3

	C	A_d (m^2)	CA_d (m^2)
Área	0.7	33691	23583.7

Nota. Adaptado de la hoja de predimensionamiento de cunetas verdes (CIIA, 2016).

Tabla 81

Caudal pico – Tramo 3

Caudal pico

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

PR (años)	5
i_{2-5} (mm/hr)	50.3143
D (hr)	0.15
Q_{2-5} (m^3/s)	0.330
V (m^3)	177.99

Nota. Adaptado de la hoja de predimensionamiento de cunetas verdes (CIIA, 2016).

Tabla 82

Caudal de verificación – Tramo 3

Caudal de verificación	
PR (años)	25
i_{10} (mm/hr)	70.37
D (hr)	0.15
Q_{10} (m^3)	0.461

Nota. Adaptado de la hoja de predimensionamiento de cunetas verdes (CIIA, 2016).

Tabla 83

Dimensionamiento – Tramo 3

Variable	***Unidades***	***Valor***	***Consideraciones***
Procedimiento de diseño			
Caudal de diseño para un periodo de dos a cinco años (Q_{2-5})	m^3/s	0.330	El valor debe corresponder a la tasa de flujo para el periodo de retorno seleccionado en condiciones de desarrollo completo
Tiempo de residencia hidráulico			
Longitud de la cuneta (L)	m	120	Debe ser maximizada en la medida de lo posible
Tiempo de residencia calculado (T_{rs})	h	0.09	Entre más alto, aumenta calidad
Pendiente longitudinal			
Pendiente disponible (S_p)	m/m	0.035	Se refiere a la pendiente del terreno
Pendiente de diseño (S)	m/m	0.035	Se refiere a la pendiente efectiva de diseño que tendría la cuneta
Geometría de la cuneta			
Pendiente lateral del canal Z:1 (Z)	-	3.00	No debe ser menor a una relación Horizontal:Vertical de 3:1
Condición pendiente lateral del canal	-	Cumple	
Ancho del fondo de la cuneta (W_f)	m	0.60	Orientado a tener un tiempo de residencia alto, en caso de no poder maximizar longitud
Velocidad			

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Velocidad de diseño (v_f)	m/s	1.05	No debe exceder 2 m/s (x ft/s) (recomendación)
Condición velocidad de diseño	-	Cumple	
Diseño			
Caudal de diseño (Qs2)	m^3/s	0.33	Caudal empleado para obtener la profundidad
n de Manning	-	0.050	Depende del material y del retardo vegetal
Profundidad de flujo (d)	m	0.24	No debe ser mayor a 0.6 m (1 ft) (recomendación)
Condición profundidad de flujo	-	Cumple	
Área de flujo (A_w)	m^2	0.31	En caso de no poder maximizar la longitud, esta área debería modificarse de tal forma que el Tr sea alto
Ancho superior de la cuneta (W_{sd})	m	2.03	Depende del ancho del fondo, la pendiente y la profundidad de la cuneta
Gravedad (g)	m/s^2	9.78	Constante gravitacional
Número de Froude (F)	-	0.85	No debe superar un valor de 0.5 (recomendación)
Condición número de Froude	-	Cumple	
Radio hidráulico (R_H)	m	0.15	Parámetro para encontrar retardo vegetal, que resulta necesario para el n de Manning
Borde libre			
n de Manning	-	0.050	Depende del material y del retardo vegetal
Caudal para un periodo de diez años (Q_{10})	m^3/s	0.461	Caudal empleado para definir la altura máxima del flujo en un evento con periodo de retorno de 10 años
Profundidad asociada a un evento con periodo de retorno de 10 años (d_{eext})	m	0.26	Se calcula a partir del caudal asociado a un evento con periodo de retorno de 10 años
Borde libre recomendado (d_L)	m	0.15	Se establece comparando la profundidad requerida para el manejo de un evento extremo y una altura mínima recomendada
Profundidad mínima cuneta (d_{to})	m	**0.39**	Considerando borde libre y profundidad para un evento con periodo de retorno de 2 a 5 años
Ancho superior de la cuneta para profundidad mínima (W_s)	m	**2.95**	Ancho correspondiente a la profundidad mínima
Profundidad real cuneta (d_{tor})	m	0.80	Esta profundidad debe ser mayor o igual a la mínima establecida para la cuneta
Condición profundidad real cuneta	-	Cumple	

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Ancho superior de la cuneta de acuerdo a la profundidad real (W_{sr})	m	5.40	Ancho correspondiente a la profundidad real de la cuneta

Nota. Adaptado de la hoja de predimensionamiento de cunetas verdes (CIIA, 2016).

4.5.2. Modelamiento en InfoDrainage

a) Importación de superficie

La importación de una superficie es un paso fundamental para iniciar el planeamiento del sistema de drenaje, ya que permite trabajar sobre una base topográfica real. El software puede importar superficies desde distintos formatos, especialmente desde Autodesk Civil 3D, archivos LandXML, DWG, TIN, o incluso datos de elevación en ASCII (XYZ o CSV). Una vez importada, la superficie sirve como referencia para definir cotas, pendientes, flujos y zonas de captación. InfoDrainage reconoce automáticamente las elevaciones del terreno y las asocia a los nodos o estructuras del sistema (pozos, cunetas, tuberías, etc.), facilitando la simulación hidráulica y la determinación de cotas de entrada y salida.

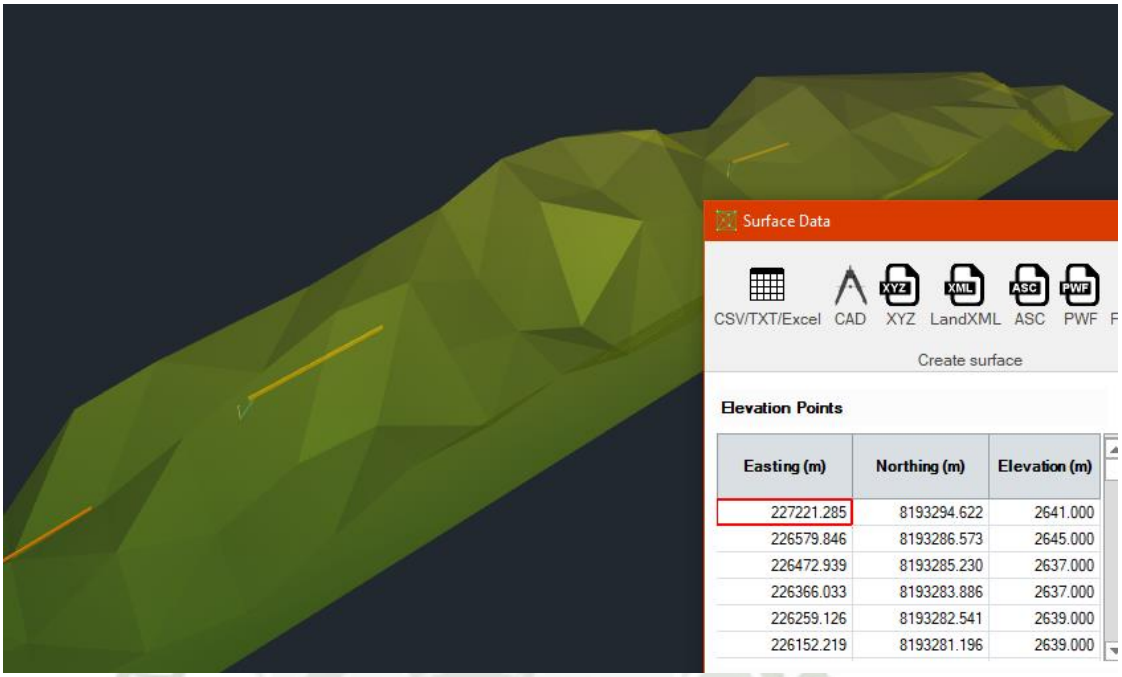
Además, el programa permite visualizar la topografía en 3D, analizar líneas de flujo y ajustar manualmente las elevaciones para afinar el diseño. Esta función asegura que el modelamiento hidráulico refleje fielmente las particularidades del terreno real y evita errores en el cálculo de pendientes o capacidad de infiltración, siendo especialmente útil en el diseño de SUDS como cunetas verdes, zanjas o bioretención.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 35

Importación de superficie



Nota. Elaboración propia mediante el software Infodrainage (2025).

b) Importación de área de estudio y zonas de drenaje

La importación del área de estudio define el límite físico del proyecto y permite analizar cómo se comporta la escorrentía dentro del terreno. A partir de esta base, se realiza la asignación de subcuencas, dividiendo el área en sectores con características similares de pendiente, uso del suelo y escorrentía. Cada subcuenca aporta información clave como el caudal y volumen de agua hacia los elementos del sistema pluvial. Este proceso es fundamental para obtener un modelo hidráulico preciso, que represente fielmente el flujo real y facilite el diseño eficiente de soluciones sostenibles como cunetas verdes.

A continuación, se detallará los datos ingresados de las subcuencas por tramo:

Apartado Runoff

En el apartado Runoff de InfoDrainage se ingresan los elementos hidrológicos de la subcuenca de aporte, los cuales han sido previamente determinados durante la determinación del caudal de diseño, a partir de las intensidades de precipitación obtenidas de las curvas IDF.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

En este módulo se determinan el área de la cuenca, el coeficiente volumétrico de escorrentía y el porcentaje de superficies impermeables. Asimismo, se considera el tiempo de concentración, el cual es calculado automáticamente por el software mediante el método de Kirpich, considerando la geometría de la cuenca.

Apartado Advanced

En el apartado Advanced se incorporan los parámetros geométricos de la cuenca, donde la Runoff Path Length corresponde al recorrido de cauce, y el Catchment Slope representa la pendiente media de la cuenca. Estos parámetros influyen directamente en el cálculo del tiempo de concentración y en la respuesta hidrológica del escurrimiento superficial.

Figura 36

Subcuenca para el Tramo 1



Nota. Elaboración propia mediante el software Infodrainage (2025).

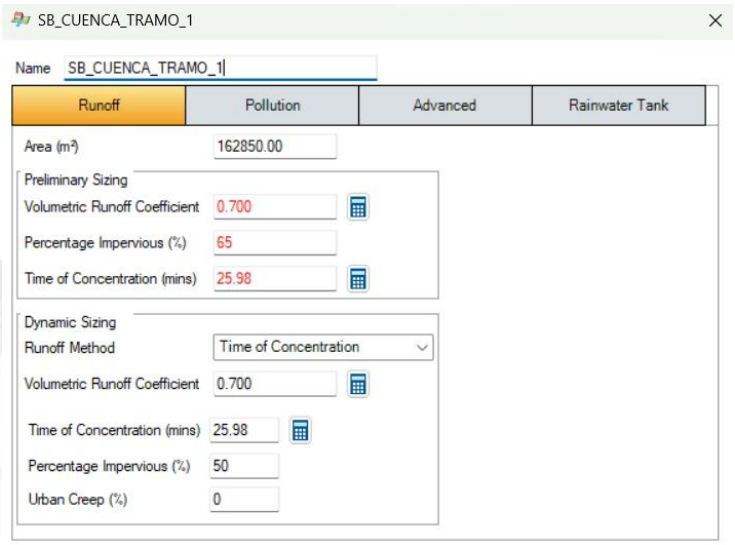
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 37

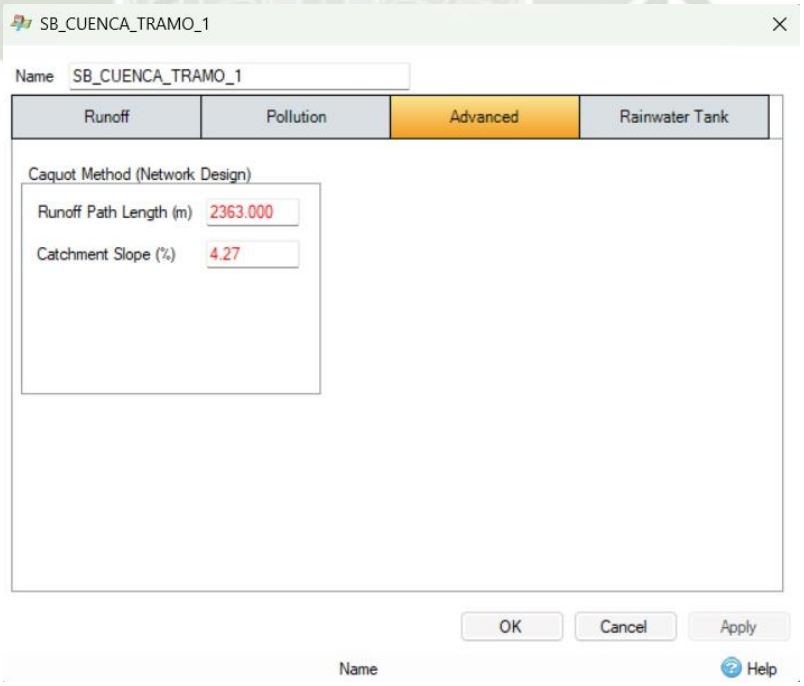
Datos ingresados a la Subcuenca del Tramo 1 - Runoff



Nota. Elaboración propia mediante el software Infodrainage (2025).

Figura 38

Datos ingresados a la Subcuenca del Tramo 1 – Advanced



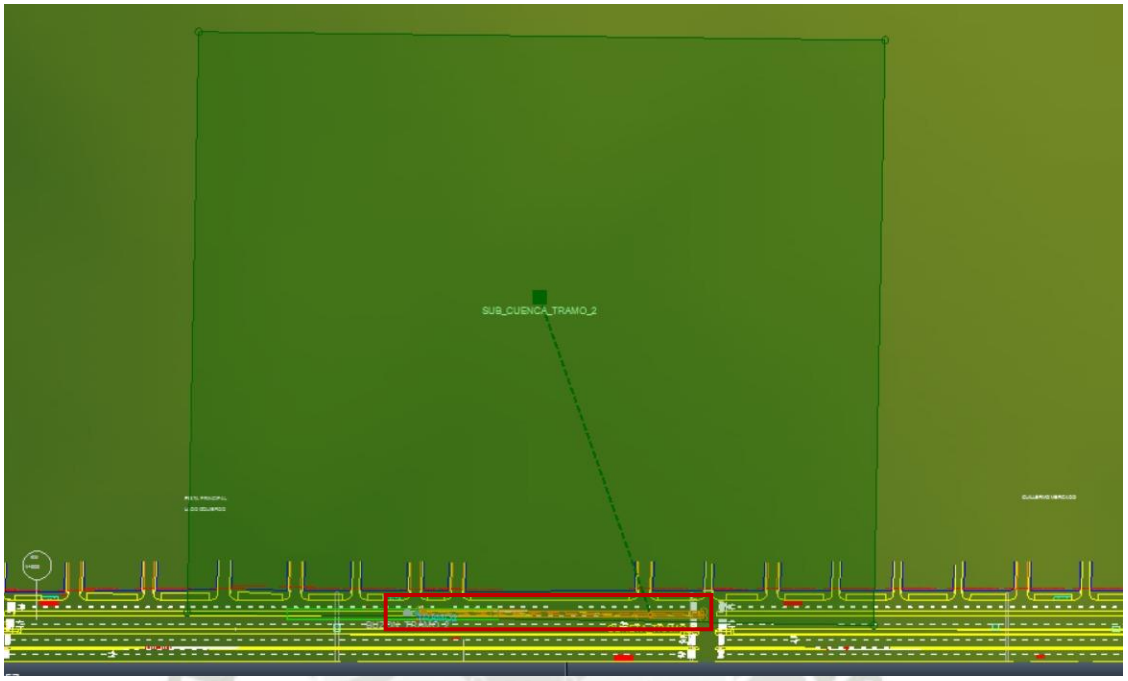
Nota. Elaboración propia mediante el software Infodrainage (2025).

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 39

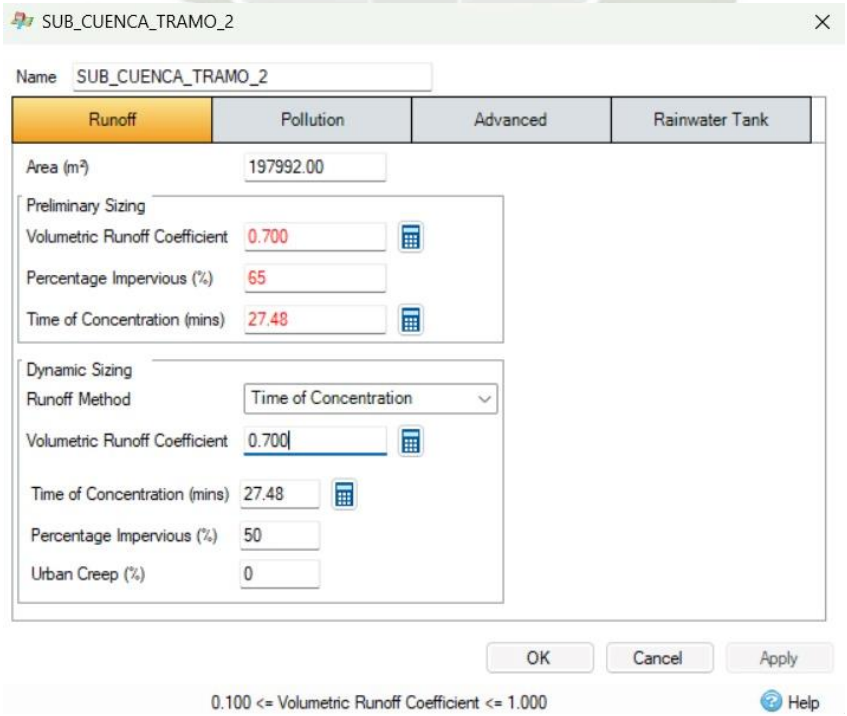
Subcuenca para el Tramo 2



Nota. Elaboración propia mediante el software Infodrainage (2025).

Figura 40

Datos ingresados a la Subcuenca del Tramo 2 - Runoff



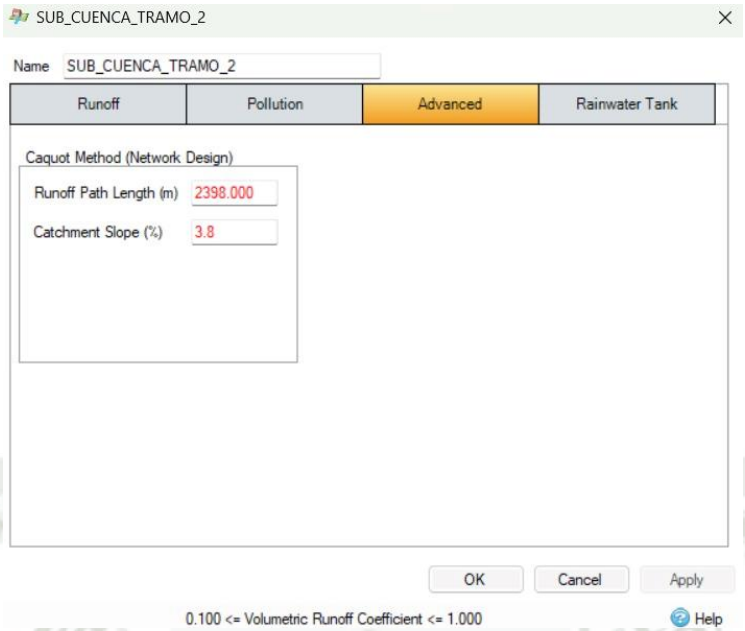
Nota. Elaboración propia mediante el software Infodrainage (2025).

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 41

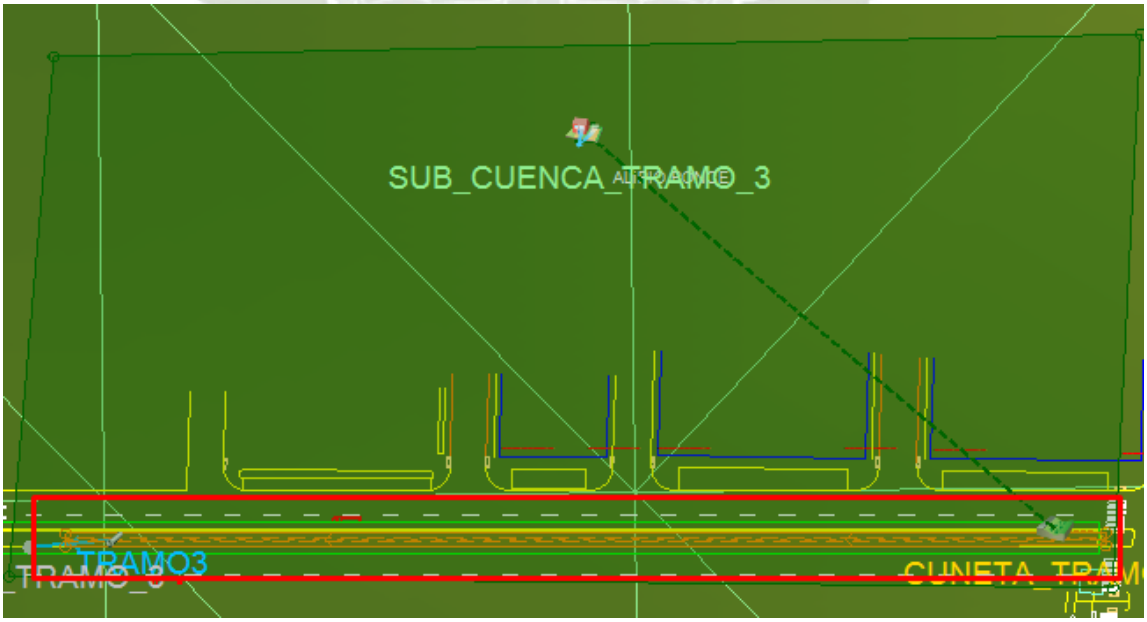
Datos ingresados a la Subcuenca del Tramo 2 – Advanced



Nota. Elaboración propia mediante el software Infodrainage (2025).

Figura 42

Subcuenca para el Tramo 3



Nota. Elaboración propia mediante el software Infodrainage (2025).

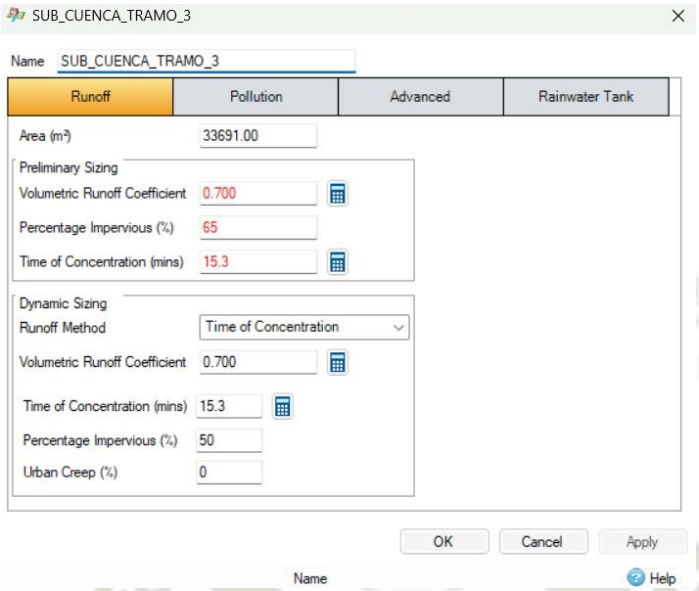
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 43

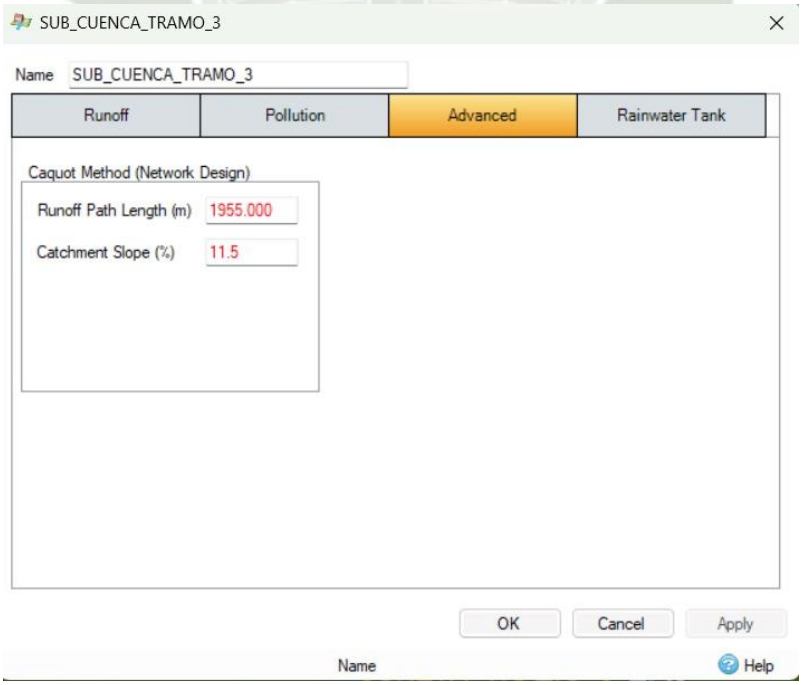
Datos ingresados a la Subcuenca del Tramo 3 - Runoff



Nota. Elaboración propia mediante el software Infodrainage (2025).

Figura 44

Datos ingresados a la Subcuenca del Tramo 3 – Advanced



Nota. Elaboración propia mediante el software Infodrainage (2025).

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

a) Inserción y configuración de curvas IDF y tormentas de diseño en InfoDrainage

Paso 1. Definición de las curvas IDF por tramo

En primer lugar, para cada tramo se ingresan en InfoDrainage las curvas IDF de precipitación correspondientes, seleccionando la opción Rainfall Intensity como forma de presentación de la precipitación.

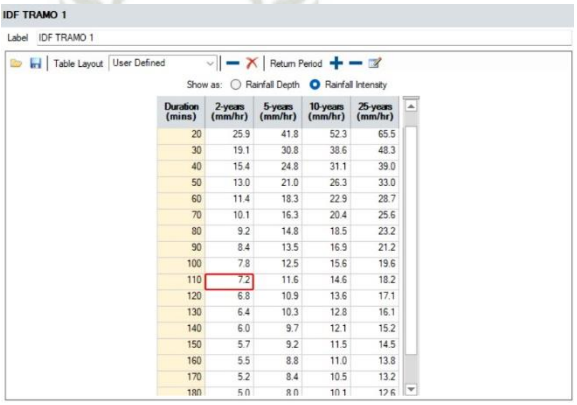
Las curvas IDF se estructuran en función de:

- Ranfos de duración de la lluvia entre 10 y 180 minutos.
- Períodos de retorno previamente definidos para el diseño hidráulico del sistema de drenaje.
- Intensidades de precipitación (mm/h) asociadas a cada par duración-período de retorno.

Estos valores representan las condiciones de lluvia de diseño que caracterizan cada tramo del proyecto y constituyen la base para la generación de los eventos hidrológicos. La diferenciación por tramo permite considerar posibles variaciones espaciales de la precipitación y asegurar una modelación más representativa del área de estudio.

Figura 45

Tramo 1 – Curvas IDF en Infodrainage



Duration (mins)	2-years (mm/hr)	5-years (mm/hr)	10-years (mm/hr)	25-years (mm/hr)
20	25.9	41.8	52.3	65.5
30	19.1	30.8	38.6	48.3
40	15.4	24.8	31.1	39.0
50	13.0	21.0	26.3	33.0
60	11.4	18.3	22.9	28.7
70	10.1	16.3	20.4	25.6
80	9.2	14.8	18.5	23.2
90	8.4	13.5	16.9	21.2
100	7.8	12.5	15.6	19.6
110	7.2	11.6	14.6	18.2
120	6.8	10.9	13.6	17.1
130	6.4	10.3	12.8	16.1
140	6.0	9.7	12.1	15.2
150	5.7	9.2	11.5	14.5
160	5.5	8.8	11.0	13.8
170	5.2	8.4	10.5	13.2
180	5.0	8.0	10.1	12.6

Nota. Elaboración propia mediante el software Infodrainage (2025).

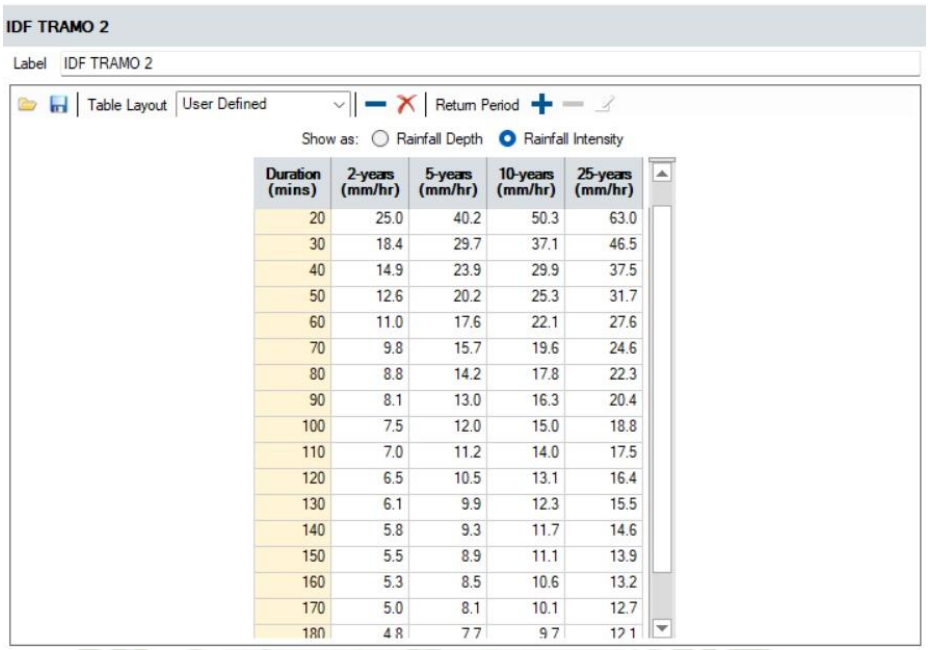
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 46

Tramo 2 – Curvas IDF en Infodrainage



IDF TRAMO 2

Label IDF TRAMO 2

Table Layout User Defined | Return Period

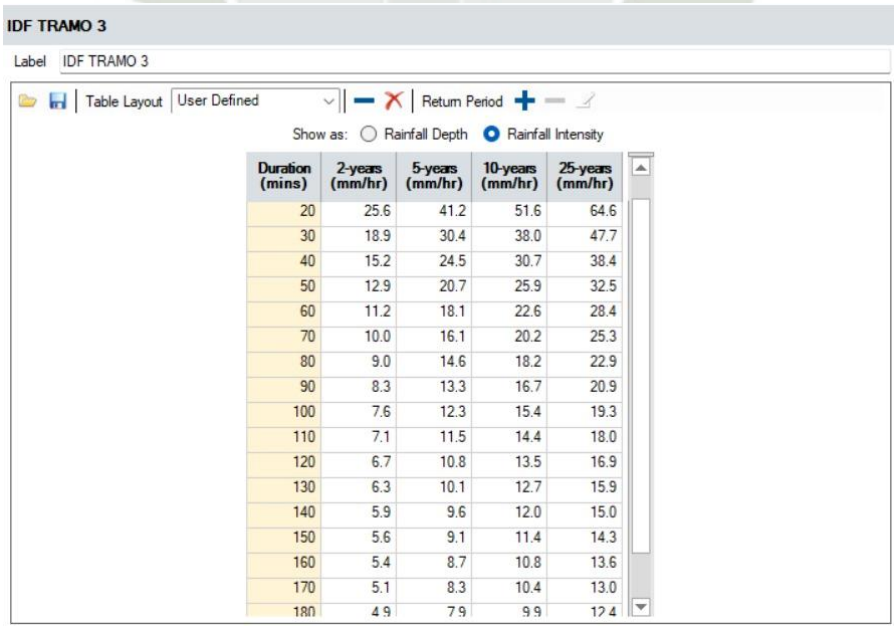
Show as: Rainfall Depth Rainfall Intensity

Duration (mins)	2-years (mm/hr)	5-years (mm/hr)	10-years (mm/hr)	25-years (mm/hr)
20	25.0	40.2	50.3	63.0
30	18.4	29.7	37.1	46.5
40	14.9	23.9	29.9	37.5
50	12.6	20.2	25.3	31.7
60	11.0	17.6	22.1	27.6
70	9.8	15.7	19.6	24.6
80	8.8	14.2	17.8	22.3
90	8.1	13.0	16.3	20.4
100	7.5	12.0	15.0	18.8
110	7.0	11.2	14.0	17.5
120	6.5	10.5	13.1	16.4
130	6.1	9.9	12.3	15.5
140	5.8	9.3	11.7	14.6
150	5.5	8.9	11.1	13.9
160	5.3	8.5	10.6	13.2
170	5.0	8.1	10.1	12.7
180	4.8	7.7	9.7	12.1

Nota. Elaboración propia mediante el software Infodrainage (2025).

Figura 47

Tramo 3 – Curvas IDF en Infodrainage



IDF TRAMO 3

Label IDF TRAMO 3

Table Layout User Defined | Return Period

Show as: Rainfall Depth Rainfall Intensity

Duration (mins)	2-years (mm/hr)	5-years (mm/hr)	10-years (mm/hr)	25-years (mm/hr)
20	25.6	41.2	51.6	64.6
30	18.9	30.4	38.0	47.7
40	15.2	24.5	30.7	38.4
50	12.9	20.7	25.9	32.5
60	11.2	18.1	22.6	28.4
70	10.0	16.1	20.2	25.3
80	9.0	14.6	18.2	22.9
90	8.3	13.3	16.7	20.9
100	7.6	12.3	15.4	19.3
110	7.1	11.5	14.4	18.0
120	6.7	10.8	13.5	16.9
130	6.3	10.1	12.7	15.9
140	5.9	9.6	12.0	15.0
150	5.6	9.1	11.4	14.3
160	5.4	8.7	10.8	13.6
170	5.1	8.3	10.4	13.0
180	4.9	7.9	9.9	12.4

Nota. Elaboración propia mediante el software Infodrainage (2025).

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Paso 2. Definición del patrón temporal de la tormenta

Una vez ingresadas las curvas IDF, se define para cada tramo un patrón temporal de lluvia (Temporal Pattern), el cual establece la distribución de la precipitación a lo largo del tiempo del evento.

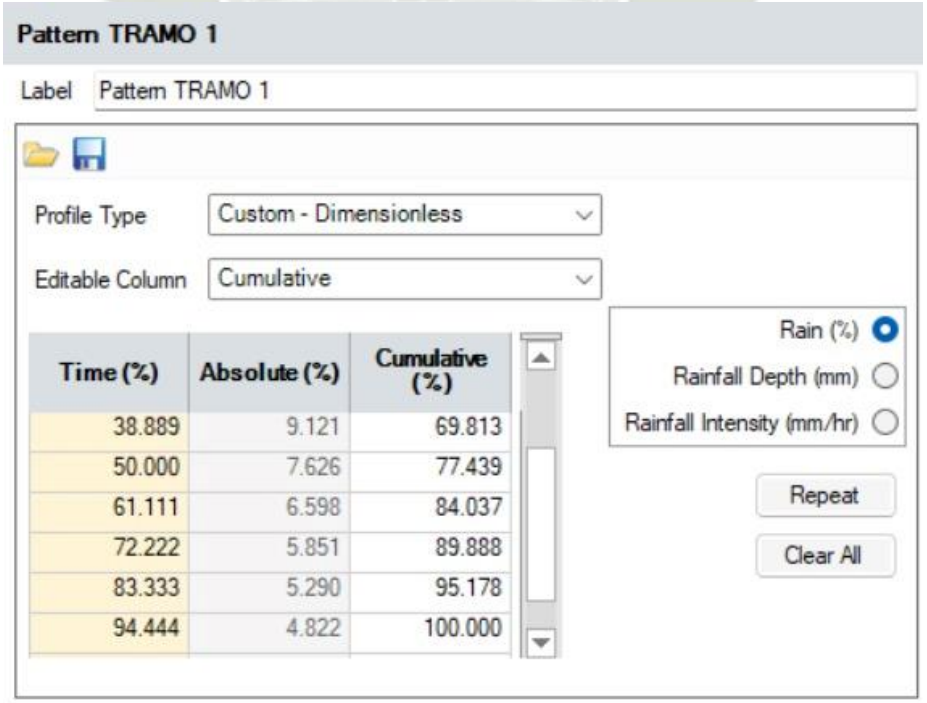
Para ello, se emplea un patrón del tipo:

- Profile Type: Custom – Dimensionless
- Editable Column: Cumulative
- Formato: porcentaje acumulado de lluvia (Rain (%)

Este patrón describe una tormenta de diseño no uniforme, en la cual la lluvia se concentra de manera variable durante el evento, alcanzando el 100 % de la precipitación total al final de la duración considerada. El mismo patrón se aplica de forma consistente a los eventos generados para cada tramo.

Figura 48

Tramo 1 – Curvas IDF en Infodrainage



Nota. Elaboración propia mediante el software Infodrainage (2025).

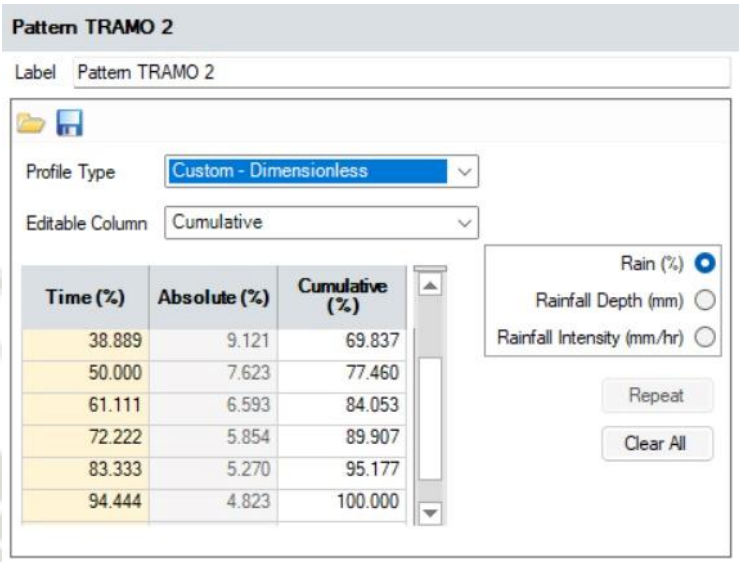
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 49

Tramo 2 – Curvas IDF en Infodrainage

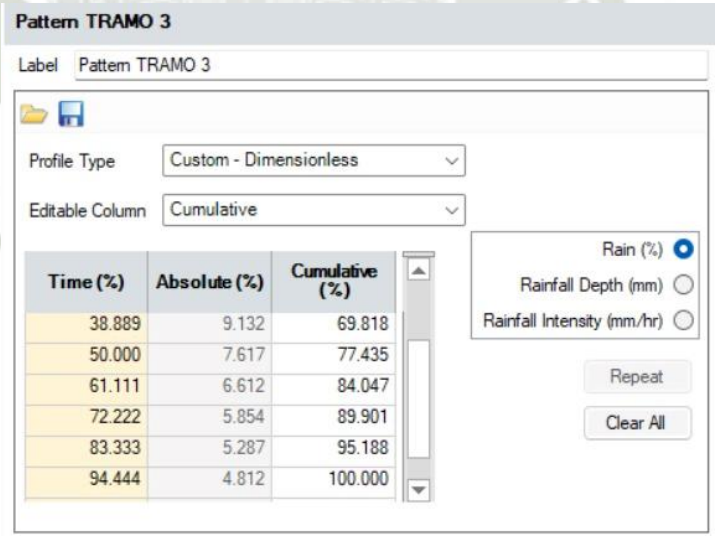


Time (%)	Absolute (%)	Cumulative (%)
38.889	9.121	69.837
50.000	7.623	77.460
61.111	6.593	84.053
72.222	5.854	89.907
83.333	5.270	95.177
94.444	4.823	100.000

Nota. Elaboración propia mediante el software Infodrainage (2025).

Figura 50

Tramo 3 – Curvas IDF en Infodrainage



Time (%)	Absolute (%)	Cumulative (%)
38.889	9.132	69.818
50.000	7.617	77.435
61.111	6.612	84.047
72.222	5.854	89.901
83.333	5.287	95.188
94.444	4.812	100.000

Nota. Elaboración propia mediante el software Infodrainage (2025).

Paso 3. Generación de tormentas de diseño considerando las curvas IDF

Finalmente, utilizando la herramienta Create From IDF, InfoDrainage genera automáticamente las tormentas de diseño para cada tramo y para las distintas duraciones consideradas.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

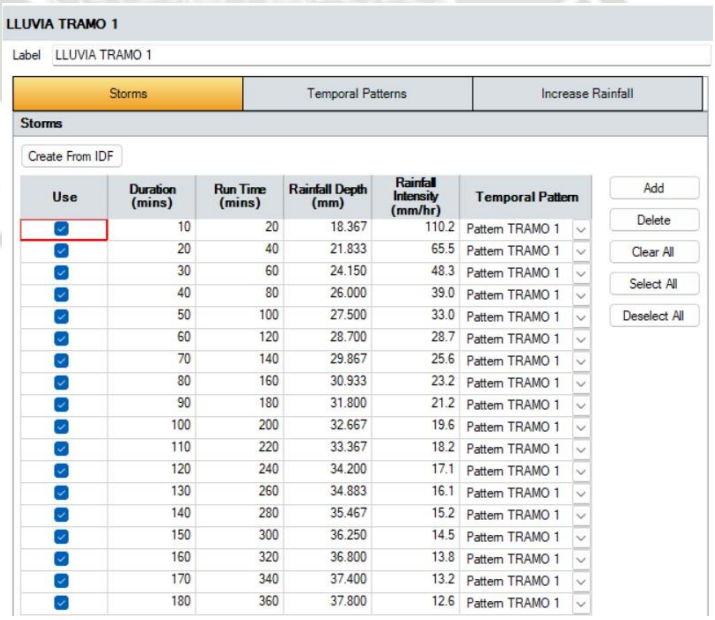
Para cada evento se obtiene:

- El tiempo útil de la lluvia.
- El tiempo total de simulación (Run Time), mayor que la duración del evento para capturar la respuesta del sistema.
- La lámina de precipitación (mm).
- La intensidad media de lluvia (mm/h).
- La asignación del patrón temporal definido previamente.

Los eventos seleccionados se utilizan posteriormente en la simulación hidrológica e hidráulica del sistema de drenaje, permitiendo evaluar el desempeño de las cunetas verdes bajo distintos escenarios de lluvia y verificar su capacidad de control de escorrentía para cada tramo analizado.

Figura 51

Tramo 1 – Curvas IDF en Infodrainage



Use	Duration (mins)	Run Time (mins)	Rainfall Depth (mm)	Rainfall Intensity (mm/hr)	Temporal Pattern
☑	10	20	18.367	110.2	Pattern TRAMO 1
☑	20	40	21.833	65.5	Pattern TRAMO 1
☑	30	60	24.150	48.3	Pattern TRAMO 1
☑	40	80	26.000	39.0	Pattern TRAMO 1
☑	50	100	27.500	33.0	Pattern TRAMO 1
☑	60	120	28.700	28.7	Pattern TRAMO 1
☑	70	140	29.867	25.6	Pattern TRAMO 1
☑	80	160	30.933	23.2	Pattern TRAMO 1
☑	90	180	31.800	21.2	Pattern TRAMO 1
☑	100	200	32.667	19.6	Pattern TRAMO 1
☑	110	220	33.367	18.2	Pattern TRAMO 1
☑	120	240	34.200	17.1	Pattern TRAMO 1
☑	130	260	34.883	16.1	Pattern TRAMO 1
☑	140	280	35.467	15.2	Pattern TRAMO 1
☑	150	300	36.250	14.5	Pattern TRAMO 1
☑	160	320	36.800	13.8	Pattern TRAMO 1
☑	170	340	37.400	13.2	Pattern TRAMO 1
☑	180	360	37.800	12.6	Pattern TRAMO 1

Nota. Elaboración propia mediante el software Infodrainage (2025).

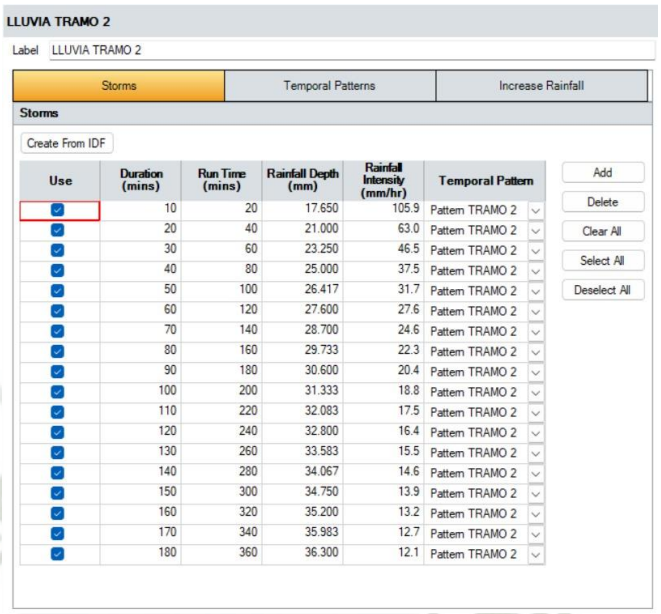
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 52

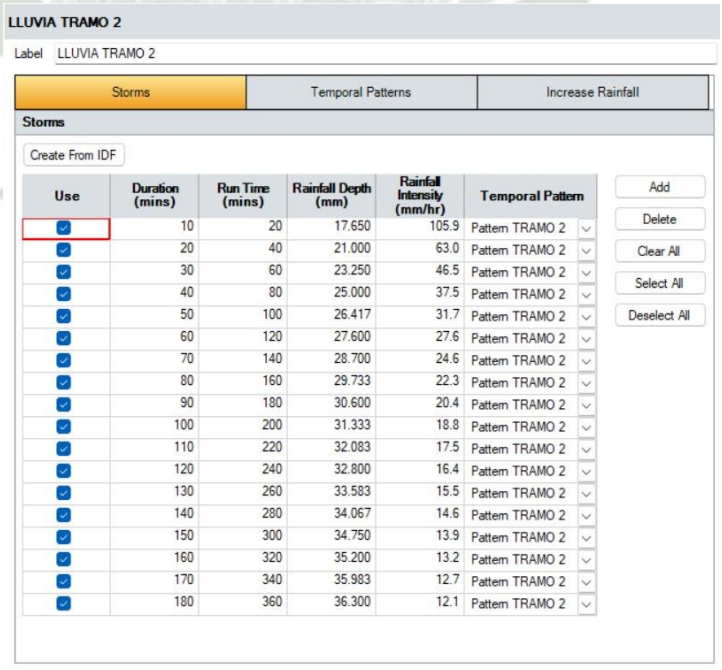
Tramo 1 – Curvas IDF en Infodrainage



Nota. Elaboración propia mediante el software Infodrainage (2025).

Figura 53

Tramo 2 – Curvas IDF en Infodrainage



Nota. Elaboración propia mediante el software Infodrainage (2025).

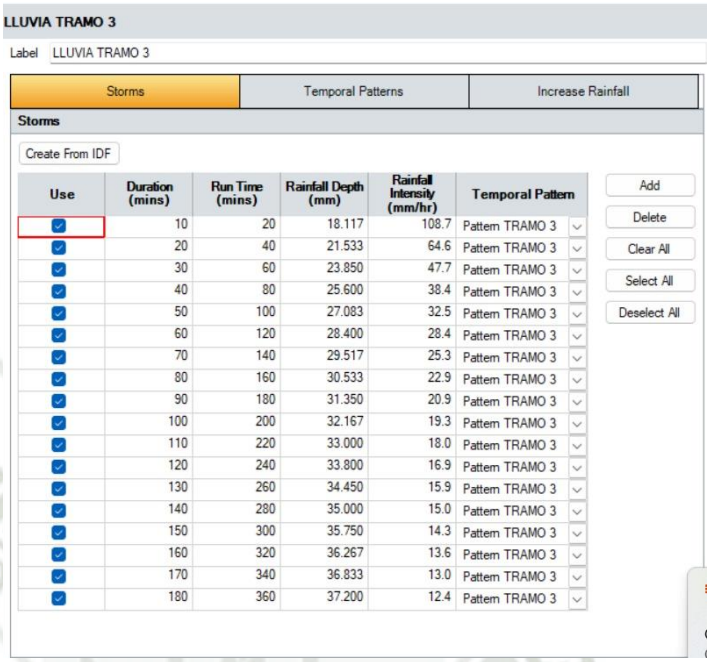
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 54

Tramo 3 – Curvas IDF en Infodrainage



Use	Duration (mins)	Run Time (mins)	Rainfall Depth (mm)	Rainfall Intensity (mm/hr)	Temporal Pattern
☑	10	20	18.117	108.7	Pattern TRAMO 3
☑	20	40	21.533	64.6	Pattern TRAMO 3
☑	30	60	23.850	47.7	Pattern TRAMO 3
☑	40	80	25.600	38.4	Pattern TRAMO 3
☑	50	100	27.083	32.5	Pattern TRAMO 3
☑	60	120	28.400	28.4	Pattern TRAMO 3
☑	70	140	29.517	25.3	Pattern TRAMO 3
☑	80	160	30.533	22.9	Pattern TRAMO 3
☑	90	180	31.350	20.9	Pattern TRAMO 3
☑	100	200	32.167	19.3	Pattern TRAMO 3
☑	110	220	33.000	18.0	Pattern TRAMO 3
☑	120	240	33.800	16.9	Pattern TRAMO 3
☑	130	260	34.450	15.9	Pattern TRAMO 3
☑	140	280	35.000	15.0	Pattern TRAMO 3
☑	150	300	35.750	14.3	Pattern TRAMO 3
☑	160	320	36.267	13.6	Pattern TRAMO 3
☑	170	340	36.833	13.0	Pattern TRAMO 3
☑	180	360	37.200	12.4	Pattern TRAMO 3

Nota. Elaboración propia mediante el software Infodrainage (2025).

4.5.3. Modelamiento de drenaje pluvial tradicional existente

a) Ingreso de datos

En este caso, se simula el funcionamiento de las bocas de tormenta mediante las cuales captan el agua superficial y la conducen hacia un buzón de drenaje pluvial, representando así el comportamiento típico de la infraestructura existente. Este análisis permite evaluar cómo la lluvia de diseño influye en la capacidad hidráulica del sistema convencional, identificando posibles limitaciones en la evacuación del caudal y en el control de la escorrentía. A partir de ello, se comparan los resultados obtenidos tras la aplicación de cunetas verdes, lo que permite evidenciar las diferencias en el manejo del volumen de agua, la infiltración y la mitigación de los caudales pico, demostrando los beneficios de integrar soluciones inspirados en la naturaleza frente a los sistemas tradicionales de drenaje urbano.

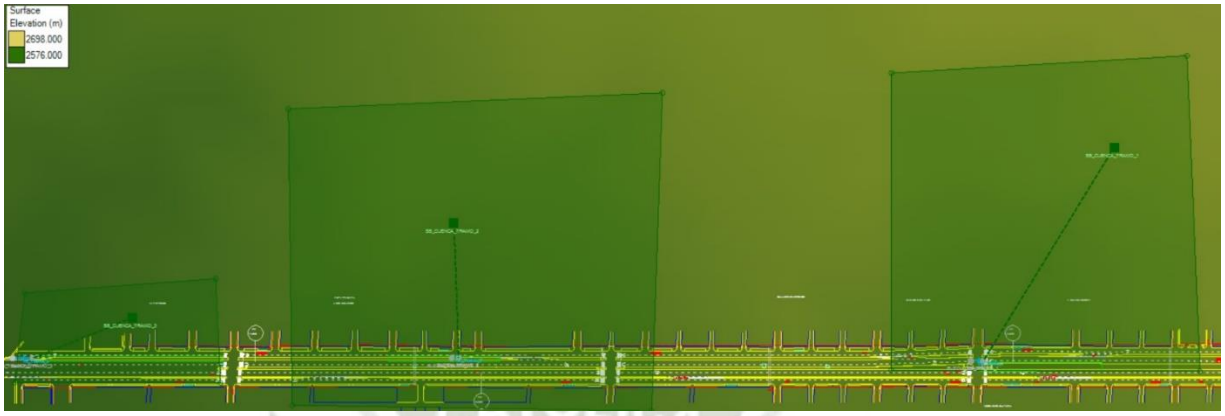
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 55

Vista en planta de modelamiento tradicional existente



Nota. Elaboración propia mediante el software Infodrainage (2025).

b) Resultados

El análisis de los resultados hidráulicos de las bocas de tormenta existentes, conectadas a sus respectivos buzones en los tres tramos evaluados, evidencia una condición crítica del sistema de evacuación de aguas pluviales convencional, principalmente por la ocurrencia de eventos de tipo flood. En los Tramos 1 y 3, el estado hidráulico registrado corresponde a flood, lo que indica que la capacidad de conducción del sistema fue superada, generándose desbordes en superficie. En estos tramos, los volúmenes descargados alcanzaron valores de 24.996 m³ y 29.265 m³, respectivamente, con velocidades máximas de 2.4 m/s y 3.0 m/s, lo que confirma una evacuación rápida del caudal sin mecanismos de control, incrementando el riesgo de anegamientos.

En el Tramo 2, si bien no se registró un evento de tipo flood, el sistema presentó una condición surcharged, evidenciando que los conductos y buzones operaron por encima de su capacidad hidráulica nominal. Este tramo presentó el mayor volumen descargado es de 65.355 m³ y la mayor velocidad del flujo de 4.41 m/s, con un caudal máximo de 0.061 m³/s, lo que refleja un estado de sobrecarga severa que antecede potencialmente a una condición de inundación superficial.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

De manera global, los valores elevados de velocidad, volumen descargado y la ocurrencia de estados flood y surcharged en los tres tramos analizados confirman que el sistema convencional de drenaje alcanza su límite de funcionamiento bajo eventos de lluvia intensos. Este contexto refleja la inexistencia de mecanismos de almacenamiento, laminación e infiltración, justificando técnicamente la urgencia de ejecutar soluciones complementarias de drenaje urbano sostenible que permitan reducir los caudales pico y mitigar el riesgo de inundaciones en la Av. 54. Todo ello se presenta a continuación en la siguiente figura.

Figura 56

Resultados de sistema tradicional existente

Connection	Connection Type	From	To	Upstream Cover Elevation (m)	Max. US Water Elevation (m)	Max. Flow Depth (m)	Discharge Volume (m³)	Max. Velocity (m/s)	Flow / Capacity	Max. Flow (m³/s)	Status
Tb_Tramo_3	Pipe	BUZON_TRA	BUZON_TRA	2604.988	2605.138	0.110	29.265	3.0	5.25	0.029	Flood
Tb_Tramo_2	Pipe	BUZON_TRA	BUZON_TRA	2621.202	2621.202	0.110	65.355	6.4	4.41	0.061	Surcharged*
Tb_Tramo_1	Pipe	BZ_TRAMO_	BUZON_TRA	2640.109	2640.733	0.110	24.996	2.4	5.79	0.023	Flood

Nota. Elaboración propia mediante el software Infodrainage (2025).

El gráfico muestra las cotas de terreno, las elevaciones de entrada y salida, y la línea de energía hidráulica generada por el flujo de diseño. Se evidencia que el nivel del agua rebasa la cota superior del conducto, lo que puede generar condiciones de sobrepresión en eventos de lluvia intensa, representadas por la línea de nivel de agua que se aproxima al borde superior de la tubería. Se observa que el nivel del agua supera la cota superior del conducto, evidenciando una condición de inundación (flood) dentro del sistema de drenaje pluvial tradicional. Este comportamiento indica que la tubería ha excedido su capacidad hidráulica, lo que provoca reboses y acumulaciones superficiales en condiciones de precipitación intensa.

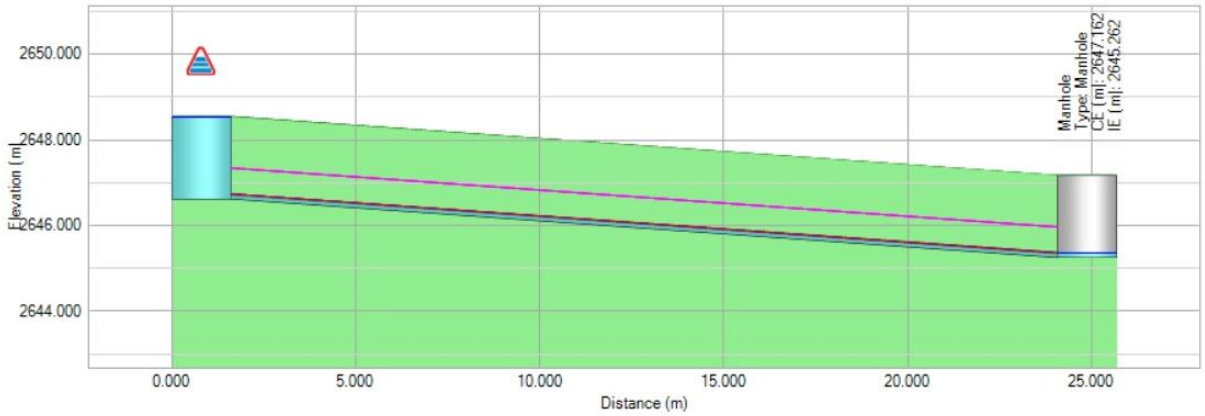
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 57

Perfil hidráulico del sistema de drenaje tradicional existente



Nota. Elaboración propia mediante el software Infodrainage (2025).

4.5.4. Modelamiento de cuenta verde - SUDS

a) Componentes de la cuneta verde en InfoDrainage

El predimensionamiento de cunetas verdes en InfoDrainage permite establecer de manera preliminar las dimensiones y parámetros hidráulicos del sistema antes de su diseño final. A través de los datos de caudal, área de aporte, pendiente, tipo de vegetación y material filtrante, el programa calcula la capacidad de infiltración, almacenamiento y conducción del agua. Esta etapa ayuda a optimizar el diseño al ajustar la sección transversal, profundidad y pendientes, garantizando un equilibrio entre la eficiencia hidráulica y la integración paisajística. Así, InfoDrainage facilita una evaluación rápida y precisa del comportamiento de la cuneta frente a diferentes eventos de lluvia.

En la Figura 58, se puede observar los parámetros según el esquema que el programa demuestra, estos son colocados para evaluar la funcionalidad de la sección propuesta.

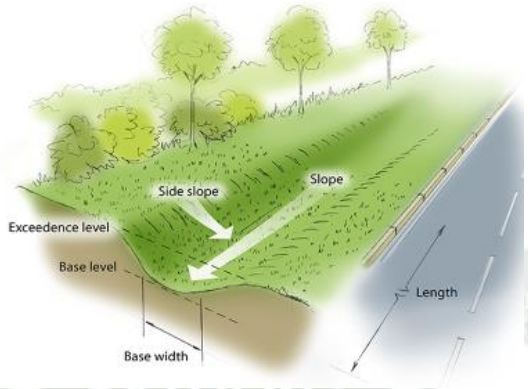
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 58

Parámetros de cuneta verde en base a InfoDrainage



Nota. Extraída del software InfoDrainage (2025).

Se visualiza como en planta la cuneta verde a diseñar cumplirá la función de ubicarse como un separador vial, la cual posteriormente deberá estar recubierta con sardineles, por temas de protección.

Además de las dimensiones obtenidas en el predimensionamiento (ancho, profundidad y taludes), InfoDrainage requiere ciertos parámetros hidráulicos y geotécnicos que permiten modelar cómo la cuneta verde realmente infiltra y almacena agua durante un evento de lluvia. Estos parámetros describen el comportamiento del suelo y complementan la geometría básica del diseño.

Los principales parámetros son:

1. Base Infiltration Rate

Es la velocidad con la que el agua entra al suelo por la base de la cuneta. Se obtiene del ensayo de infiltración, donde en nuestro caso el valor estable fue 0.012 m/h**.**

2. Side Infiltration Rate

Representa la infiltración por los taludes laterales. En suelos homogéneos puede tomarse igual que la infiltración base **(**0.012 m/h**),** o reducirse para un diseño más conservador.

De tus finales la f estable aparece en 1.2 cm/h = 12 mm/h (las tres últimas mediciones).

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Conversión a m/h (que usa InfoDrainage):

12 mm/h = 12/1000 m/h = 0.012 m/h.

Por tanto, el valor medido de estado estable es: 0.012 m/hr.

3. Porosidad

Para la conformación de la zona de infiltración y de raíces de la cuneta verde se utilizará un suelo vegetal arenoso seleccionado, diseñado específicamente para sistemas SUDS, el cual permita una adecuada infiltración, almacenamiento temporal del agua pluvial y el correcto desarrollo de la vegetación.

El material se formará mediante una mezcla 70/30 de arena limpia y suelo vegetal (topsoil), conforme a lo establecido en la Guía Técnica de Diseño y Construcción de SUDS del Centro de Investigaciones en Ingeniería Ambiental y en CIRIA RP992/16 – Sección 2.7 (Root zone mix for swale) (CIRIA, 2016).

La arena utilizada en la mezcla deberá ser bien graduada, lavada y libre de finos plásticos, y cumplir con la siguiente gradación granulométrica:

Tabla 84

Gradación granulométrica de la arena para la mezcla de la zona radicular de la cuneta verde

Tamaño de tamiz (mm)	% que pasa
5.00	89 a 100
2.36	65 a 100
0.30	5 a 50
0.063	< 4

Nota. Extraída de The SuDS manual update: SuDS construction specification clauses (Paper RP992/16).

El suelo vegetal (topsoil) deberá ser apto para siembra, libre de material orgánico en descomposición, raíces gruesas o contaminantes, y compatible con los criterios de suelos establecidos en el RNE, garantizando el ambiente propicio para el crecimiento vegetal.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

De acuerdo con la composición granulométrica adoptada, se considera una porosidad total de diseño del 45 %, valor que se encuentra por encima del mínimo exigido por CIRIA RP992/16 (porosidad > 30 % v/v). Este valor es representativo de mezclas arenosas bien graduadas con bajo contenido de finos, y se adopta con el fin de:

- Incrementar la capacidad del sistema para infiltrar.
- Aumentar el volumen de almacenamiento efectivo dentro de la cuneta verde.
- Reducir el riesgo de encharcamiento superficial durante eventos de lluvia intensa.
- Garantizar un comportamiento hidráulico conservador y favorable en el modelamiento en InfoDrainage.

En consecuencia, la porosidad del 45 % se utiliza como parámetro de diseño y modelación, asegurando que la cuneta verde cumpla de manera eficiente su función principal de transporte e infiltración dentro del tren de SUDS propuesto.

4. Safety Factor

Reduce la infiltración utilizada en la simulación para considerar condiciones desfavorables (colmatación, compactación). Un valor de 1.0 usa la infiltración medida directamente.

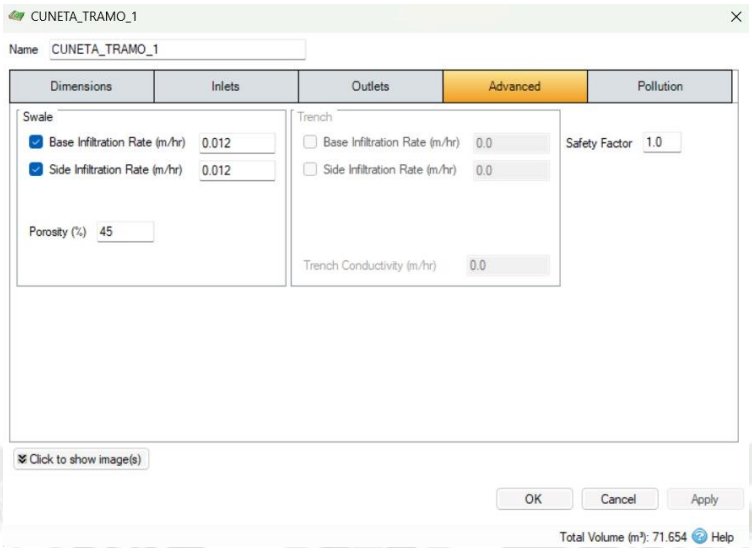
Por lo tanto, para la modelación hidráulica de la cuneta verde en InfoDrainage, se adoptan los mismos parámetros de infiltración y porosidad para cada uno de los tramos, considerando que el suelo de relleno seleccionado y las condiciones constructivas son homogéneas a lo largo de toda la infraestructura SUDS.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 59

Cuneta Tramo 1

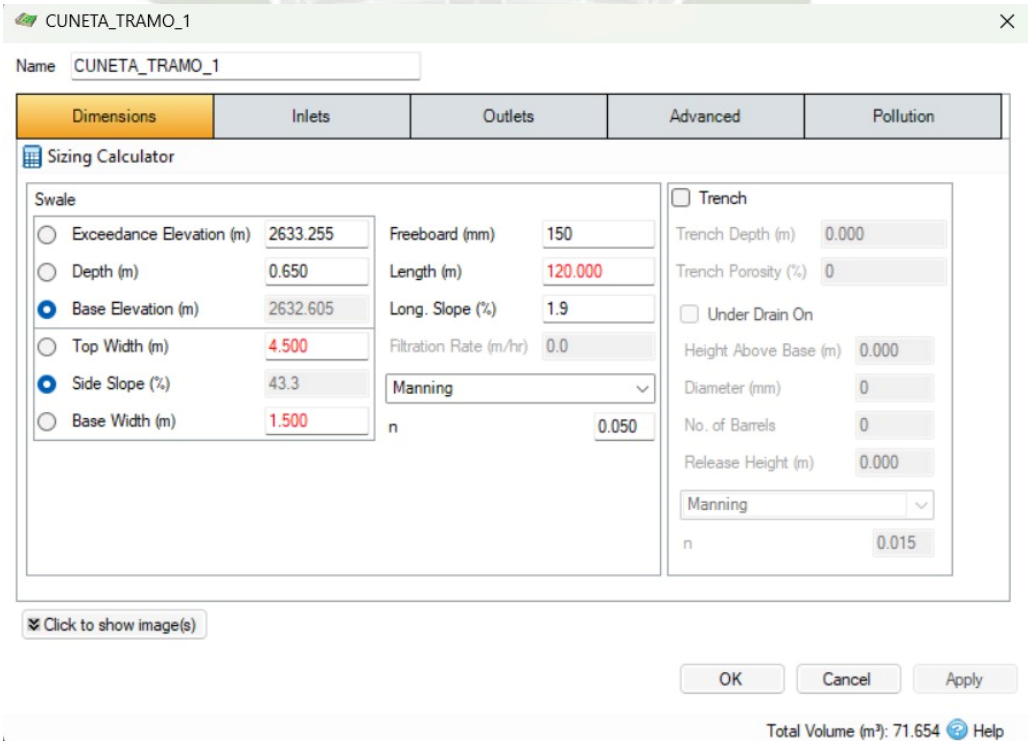


Nota. Elaboración propia mediante el software Infodrainag (2025).

Tramo 1

Figura 60

Parámetros de diseño de cuenta verde – Tramo1



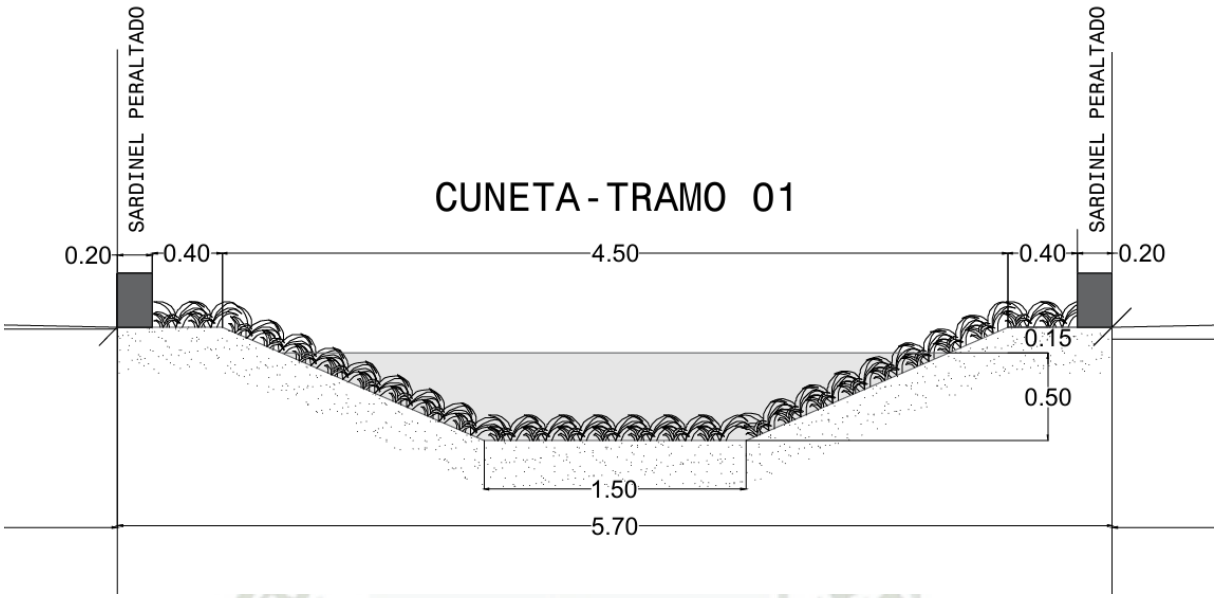
Nota. Elaboración propia mediante el software Infodrainage (2025).

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 61

Sección transversal de la cuenta Tramo -01

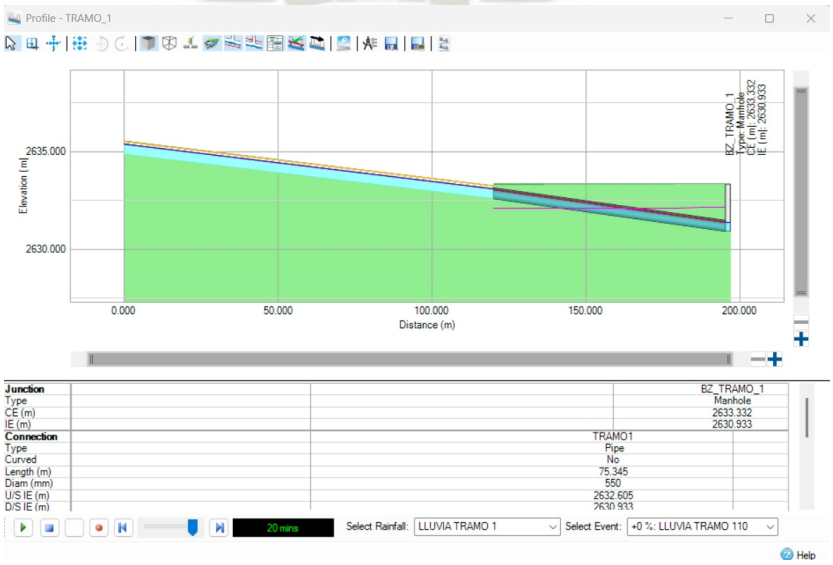


Nota. Elaboración propia.

A su vez, se puede generar un perfil que considere la longitud de la cuenta verde, y como esta conecta con un drenaje pluvial existente, así ver si el cometido de transporte de la cuneta a este drenaje, es eficiente, y no sufre inundaciones.

Figura 62

Perfil Longitudinal de la cuneta verde - Tramo 1



Nota. Elaboración propia mediante el software Infodrainage (2025).

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Velocidad de flujo – Tramo 1

Comprobamos la velocidad de flujo teniendo los siguientes datos:

- Base: $b = 1.50\ m$
- Ancho superior: $B = 4.50\ m$
- Profundidad: $y = 0.65\ m$
- Pendiente longitudinal: $S = 1.9\% = 0.019$
- Coeficiente de manning: $n = 0.05$
- Talud lateral: $2.3H : 1V$
- **Área Hidráulica (A) – Tramo 1**

$$A = y(b + Zy)$$

$$A = 0.65(1.50 + 2.31 \cdot 0.65)$$

$$A = 1.95\ m^2$$

- **Perímetro mojado (P) – Tramo 1**

$$P = b + 2y\sqrt{1 + Z^2}$$

$$P = 1.50 + 2(0.65)\sqrt{1 + 2.31^2}$$

$$P = 4.78\ m$$

- **Radio hidráulico (R) – Tramo 1**

$$R = \frac{A}{P} = \frac{1.95}{4.78}$$

$$R = 0.41\ m$$

Velocidad de fujo

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2}$$

$$V = \frac{1}{0.050} (0.41)^{2/3} (0.019)^{1/2}$$

$$V = 0.90\ m/s$$

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Número de Froude – Tramo 1

Comprobamos la velocidad de flujo teniendo los siguientes datos:

- Velocidad: $V = 0.88\ m/s$
- Área hidráulica: $A = 1.95\ m^2$
- Ancho superior: $T = 4.50\ m$
- Profundidad hidráulica: $D_h = \frac{A}{T} = \frac{1.95}{4.50} = 0.433\ m$
- Gravedad: $g = 9.7773\ m/s^2$

Calculamos el número de Froude

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{gD_h}}$$

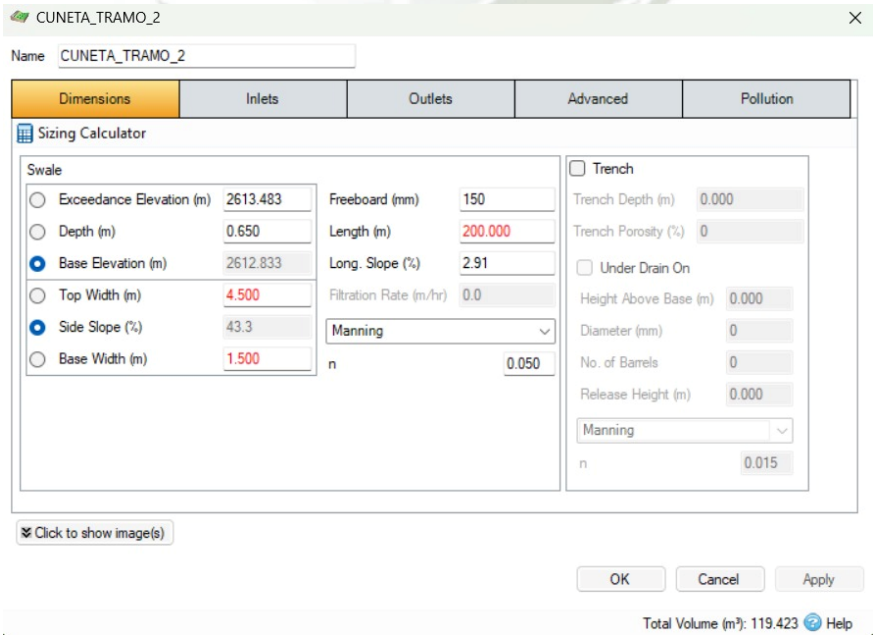
$$Fr = \frac{0.88}{\sqrt{9.7773 \times 0.433}}$$

$$Fr = 0.43$$

Tramo 2

Figura 63

Parámetros de diseño de cuenta verde – Tramo 2



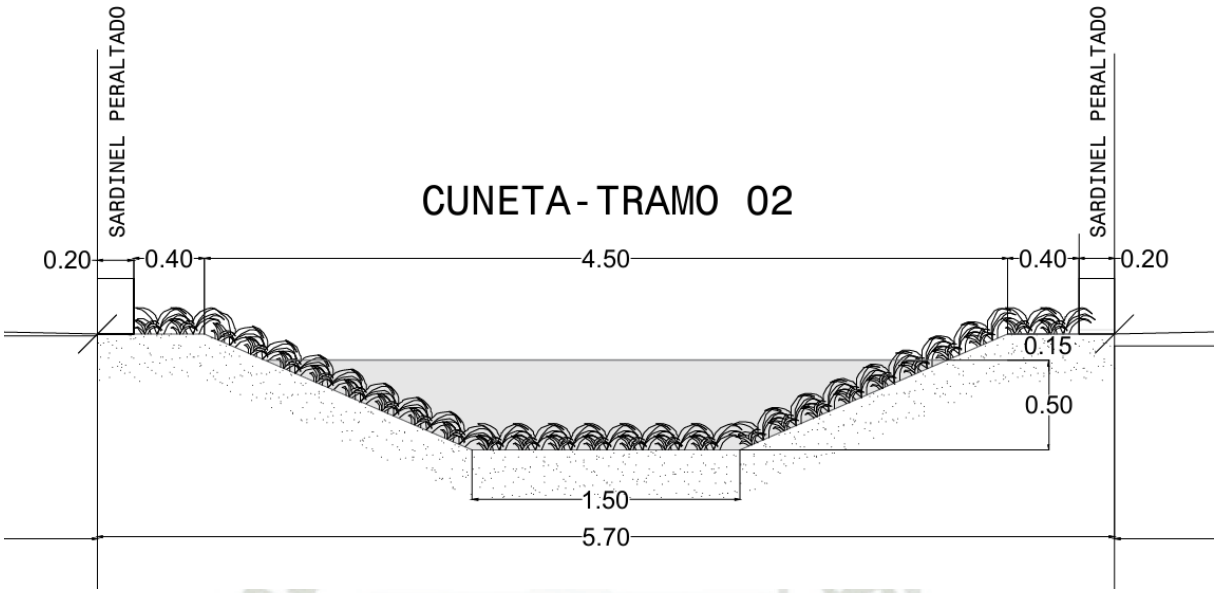
Nota. Elaboración propia mediante el software Infodrainage (2025).

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 64

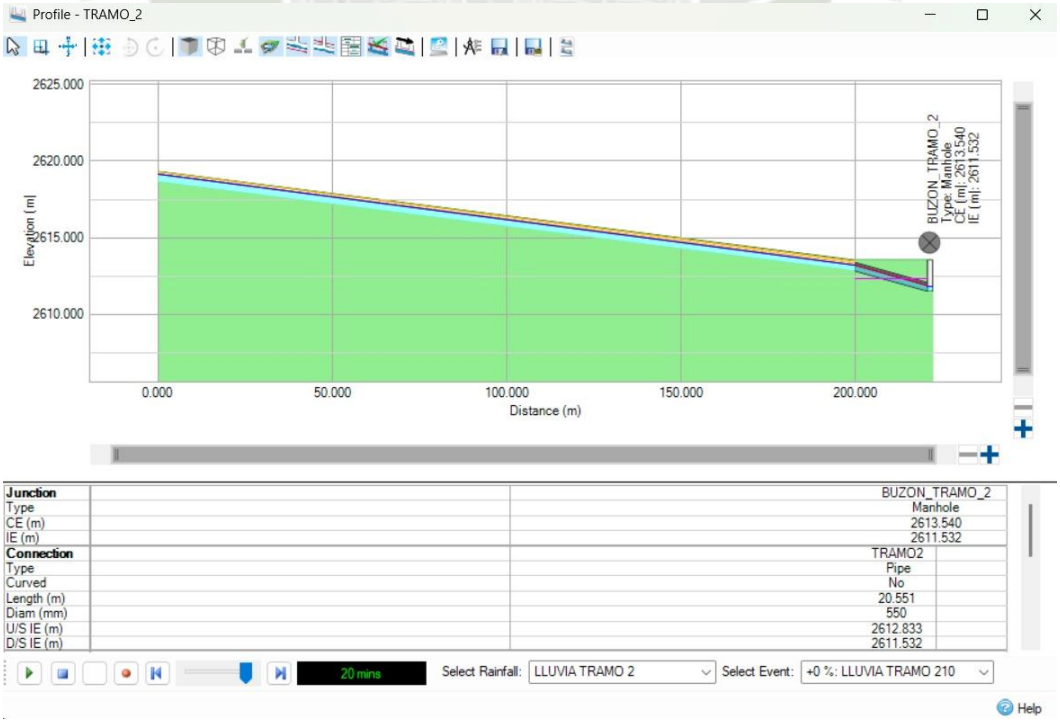
Sección transversal de la cuenta Tramo -02



Nota. Elaboración propia.

Figura 65

Perfil Longitudinal de la cuneta verde - Tramo 2



Nota. Elaboración propia mediante el software Infodrainage (2025).

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Velocidad de flujo – Tramo 2

Comprobamos la velocidad de flujo teniendo los siguientes datos:

- Base: $b = 1.50\ m$
- Ancho superior: $B = 4.50\ m$
- Profundidad: $y = 0.65\ m$
- Pendiente longitudinal: $S = 2.91\% = 0.0291$
- Coeficiente de manning: $n = 0.05$
- Talud lateral: $2.3H : 1V$
- **Área Hidráulica (A) – Tramo 2**

$$A = y(b + Zy)$$

$$A = 0.65(1.50 + 2.31 \cdot 0.65)$$

$$A = 1.95\ m^2$$

- **Perímetro mojado (P) – Tramo 2**

$$P = b + 2y\sqrt{1 + Z^2}$$

$$P = 1.50 + 2(0.65)\sqrt{1 + 2.31^2}$$

$$P = 4.78\ m$$

- **Radio hidráulico (R) – Tramo 2**

$$R = \frac{A}{P} = \frac{1.95}{4.78}$$

$$R = 0.41\ m$$

Velocidad de fujo

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2}$$

$$V = \frac{1}{0.050} (0.41)^{2/3} (0.0291)^{1/2}$$

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

$$V = 1.09\ m/s$$

Número de Froude – Tramo 2

Comprobamos la velocidad de flujo teniendo los siguientes datos:

- Velocidad: $V = 1.09\, m/s$
- Área hidráulica: $A = 1.95\, m^2$
- Ancho superior: $T = 4.50\, m$
- Profundidad hidráulica: $D_h = \frac{A}{T} = \frac{1.95}{4.50} = 0.433\, m$
- Gravedad: $g = 9.7773\ m/s^2$

Calculamos el número de Froude

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{gD_h}}$$

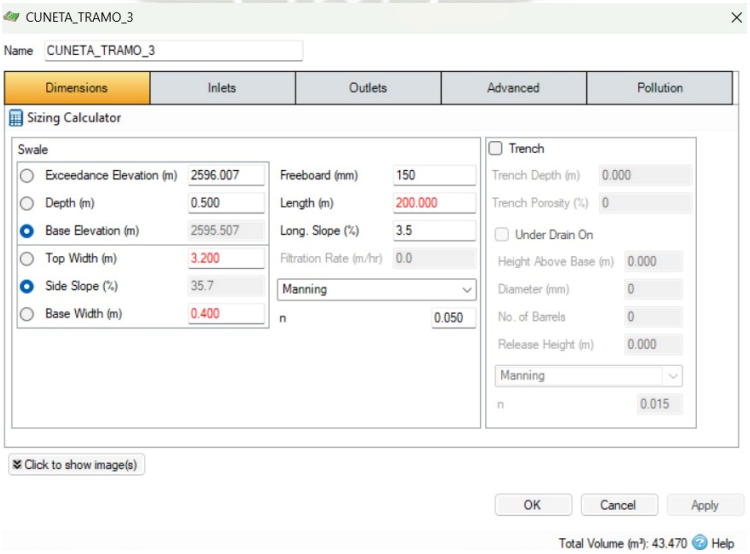
$$Fr = \frac{1.09}{\sqrt{9.7773 \times 0.433}}$$

$$Fr = 0.43$$

Tramo 3

Figura 66

Parámetros de diseño de cuenta verde – Tramo 3



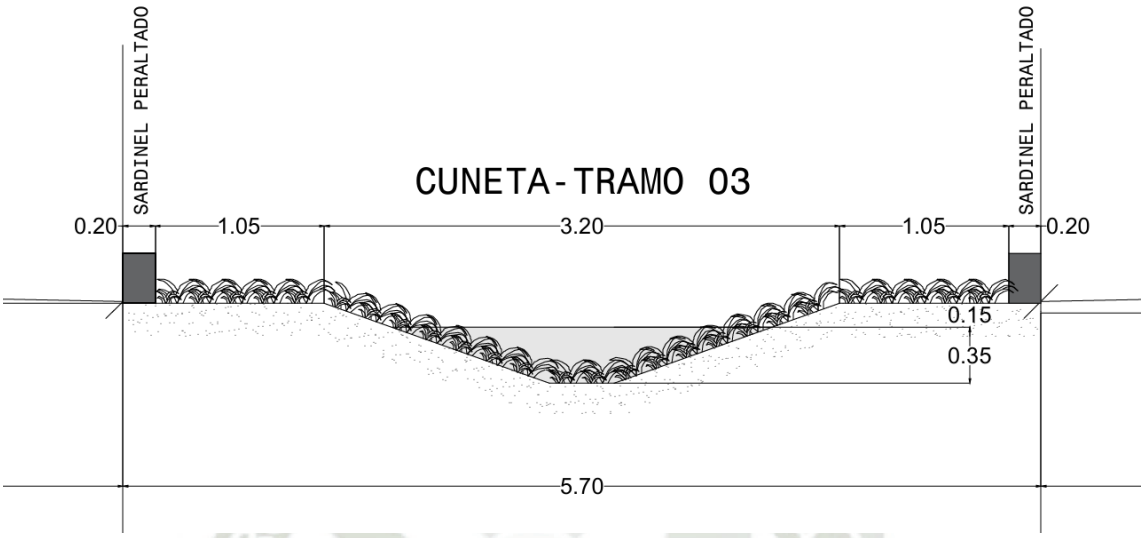
Nota. Elaboración propia mediante el software Infodrainage (2025).

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 67

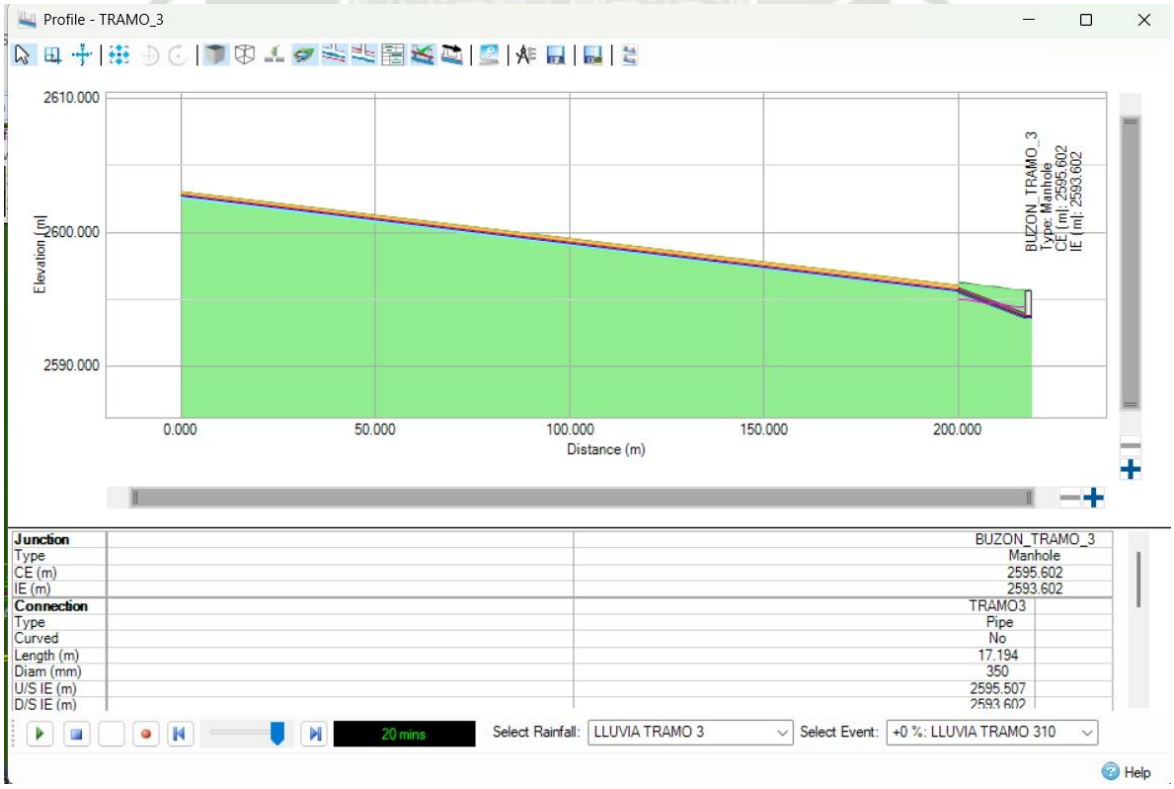
Sección transversal de la cuenta Tramo -03



Nota. Elaboración propia.

Figura 68

Perfil Longitudinal de la cuneta verde - Tramo 3



Nota. Elaboración propia mediante el software Infodrainage (2025).

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Velocidad de flujo – Tramo 3

Comprobamos la velocidad de flujo teniendo los siguientes datos:

- Base: $b = 0.40\ m$
- Ancho superior: $B = 3.20\ m$
- Profundidad: $y = 0.50\ m$
- Pendiente longitudinal: $S = 3.5\% = 0.035$
- Coeficiente de manning: $n = 0.05$
- Talud lateral: $2.8H : 1V$
- **Área Hidráulica (A) – Tramo 3**

$$A = y(b + Zy)$$

$$A = 0.50(0.40 + 2.8 \cdot 0.50)$$

$$A = 0.90\ m^2$$

- **Perímetro mojado (P) – Tramo 3**

$$P = b + 2y\sqrt{1 + Z^2}$$

$$P = 0.40 + 2(0.50)\sqrt{1 + 2.8^2}$$

$$P = 3.37\ m$$

- **Radio hidráulico (R) – Tramo 3**

$$R = \frac{A}{P} = \frac{0.90}{3.37}$$

$$R = 0.27\ m$$

Velocidad de fujo

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2}$$

$$V = \frac{1}{0.050} (0.27)^{2/3} (0.035)^{1/2}$$

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

$$V = 0.83\, m/s$$

Número de Froude – Tramo 3

Comprobamos la velocidad de flujo teniendo los siguientes datos:

- Velocidad: $V = 0.83\ m/s$
- Área hidráulica: $A = 0.90\ m^2$
- Ancho superior: $T = 3.20\, m$
- Profundidad hidráulica: $D_h = \frac{A}{T} = \frac{0.90}{3.20} = 0.281\, m$
- Gravedad: $g = 9.7773\ m/s^2$

Calculamos el número de Froude

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{gD_h}}$$

$$Fr = \frac{0.83}{\sqrt{9.7773 \times 0.281}}$$

$$Fr = 0.50$$

4.5.5. Validación de datos

Los resultados arrojan un veredicto de condición estable a partir de la lluvia de diseño ingresada.

Figura 69

Resultados InfoDrainage – Tramo 1

Stormwater Controls Summary

All Items | All Storms | Select Filter: TRAMO_1 | Critical Rank By: Max. Resident Volume | Critical Storm | Critical by Return Period | Set Visible Columns

LLUVIA TRAMO 1: Increase Rainfall (%): +0: LLUVIA TRAMO 110

Stormwater Control	Max. US Elevation (m)	Max. DS Elevation (m)	Max. US Depth (m)	Max. DS Depth (m)	Max. Inflow (m³/s)	Max. Resident Volume (m³)	Max. Flooded Volume (m³)	Total Lost Volume (m³)	Max. Outflow (m³/s)	Total Discharge Volume (m³)	Percentage Available (%)	Status
CUNETA_TRAMO_1	2635.381	2633.084	0.496	0.480	0.698	70.390	0.000	1.661	0.696	605.211	2	OK

Nota. Elaboración propia mediante el software Infodrainage (2025).

En el Tramo 1, la cuneta alcanzó una cota máxima aguas arriba (Max. US Elevation) de 2635.381 m y una cota máxima aguas abajo (Max. DS Elevation) de 2633.084 m, reflejando el gradiente longitudinal del tramo. Las profundidades máximas registradas fueron 0.496 m en la

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

entrada (Max. US Depth) y 0.480 m en la salida (Max. DS Depth), valores que se mantienen dentro de los límites aceptables para el funcionamiento del canal.

El sistema recibió un caudal pico de entrada de 0.698 m³/s (Max. Inflow), del cual una parte fue almacenada temporalmente en la sección, alcanzando un volumen residente máximo de 70.390 m³ (Max. Resident Volume). No se registraron desbordes en ningún momento, ya que el volumen inundado (Max. Flooded Volume) fue 0.000 m³, indicando que la sección transversal es suficiente para manejar las condiciones de diseño.

El modelo reporta un volumen perdido total de 1.661 m³ (Total Lost Volume), el cual corresponde a pérdidas menores del sistema atribuibles a infiltración o disipación dentro del modelo. Este valor representa un porcentaje muy pequeño respecto al volumen total gestionado, por lo que no afecta de manera significativa el desempeño hidráulico de la cuneta.

El caudal máximo descargado (Max. Outflow) fue de 0.696 m³/s, mientras que el volumen total evacuado alcanzó los 605.211 m³ (Total Discharge Volume). Finalmente, el indicador Percentage Available del 2% muestra que la cuneta operó utilizando 98% de su capacidad total, manteniendo un margen adecuado de seguridad hidráulica. El estado general del tramo fue clasificado como OK, confirmando que cumple satisfactoriamente con los criterios de funcionamiento establecidos.

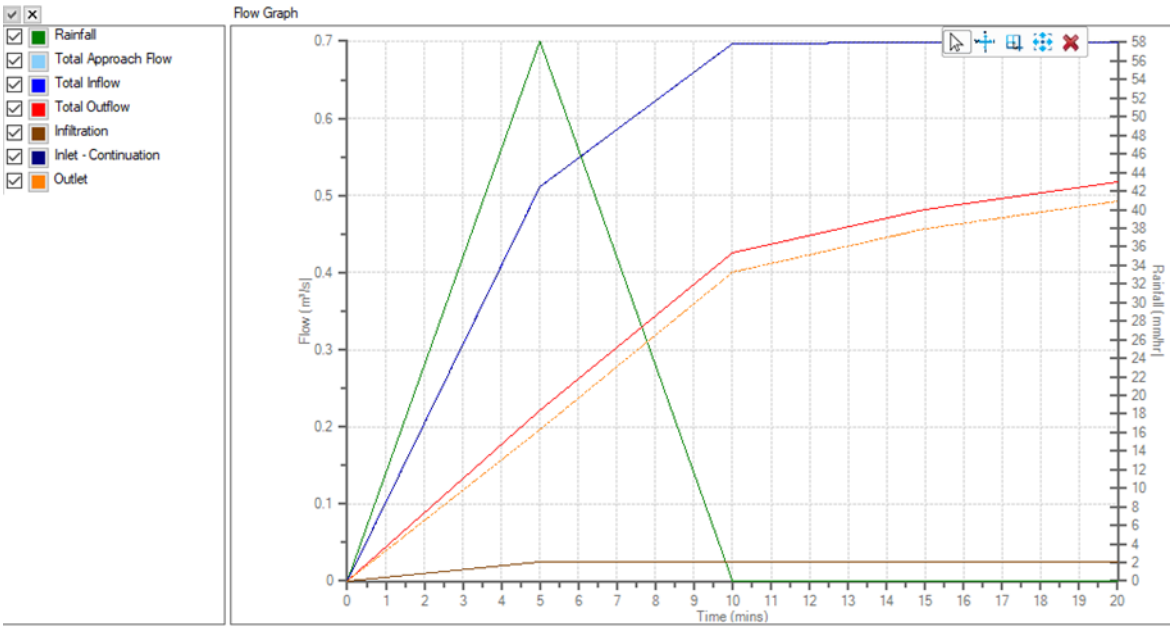
En conjunto, los resultados demuestran que la cuneta posee la capacidad suficiente para transportar y regular el flujo generado durante la tormenta simulada, sin presentar riesgos de desbordamiento ni sobrecarga.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 70

Hidrograma InfoDrainage – Tramo 1



Nota. Elaboración propia mediante el software Infodrainage (2025).

El hidrograma correspondiente al Tramo 1 de la cuneta verde evidencia un comportamiento hidráulico favorable frente a un evento de lluvia corto e intenso, cuyo pico ocurre alrededor de los 5–6 minutos, generando un incremento rápido del caudal de entrada, sin embargo, este aumento no se traduce en un pico equivalente en el caudal de salida, ya que el sistema amortigua eficazmente la escorrentía gracias a su capacidad de almacenamiento e infiltración, lo que se refleja en un crecimiento progresivo y controlado del outflow, la infiltración mantiene valores significativos durante todo el evento, demostrando que una parte importante del volumen precipitado penetra el suelo y no transferida inmediatamente al drenaje aguas abajo, reduciendo así la carga hidráulica del sistema convencional, adicionalmente, el caudal en el punto de salida se mantiene bajo y estable, sin indicios de saturación ni desbordes, lo que confirma que el tramo opera dentro de su capacidad de diseño, finalmente, tras finalizar la lluvia, la cuneta continúa drenando de forma gradual, lo que indica un vaciamiento progresivo del volumen almacenado y reafirma el adecuado desempeño del tramo como infraestructura verde, contribuyendo de

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

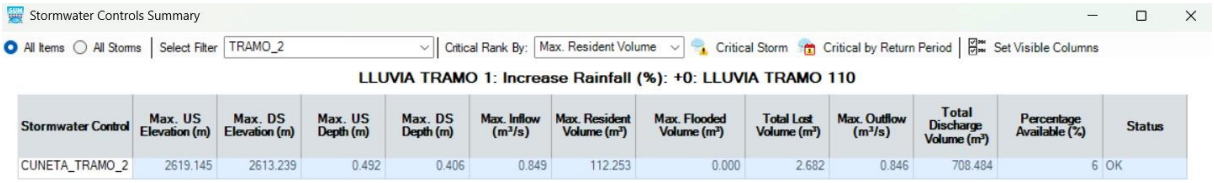
REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

manera efectiva a la mitigación de caudales máximos de escorrentía y la implementación de un manejo sostenible de aguas pluviales.

Figura 71

Resultados InfoDrainage – Tramo 2



Stormwater Controls Summary

All Items | All Storms | Select Filter: TRAMO_2 | Critical Rank By: Max. Resident Volume | Critical Storm | Critical by Return Period | Set Visible Columns

LLUVIA TRAMO 1: Increase Rainfall (%): +0: LLUVIA TRAMO 110

Stormwater Control	Max. US Elevation (m)	Max. DS Elevation (m)	Max. US Depth (m)	Max. DS Depth (m)	Max. Inflow (m³/s)	Max. Resident Volume (m³)	Max. Flooded Volume (m³)	Total Lost Volume (m³)	Max. Outflow (m³/s)	Total Discharge Volume (m³)	Percentage Available (%)	Status
CUNETA_TRAMO_2	2619.145	2613.239	0.492	0.406	0.849	112.253	0.000	2.682	0.846	708.484	6	OK

Nota. Elaboración propia mediante el software Infodrainage (2025).

El Tramo 2, la cuneta alcanzó una cota máxima aguas arriba (Max. US Elevation) de 2619.145 m y una cota máxima aguas abajo (Max. DS Elevation) de 2613.239 m. Las profundidades máximas registradas fueron 0.492 m en la entrada (Max. US Depth) y 0.406 m en la salida (Max. DS Depth), valores que confirman que el flujo se mantiene contenido dentro de la sección sin riesgo de rebose.

El sistema recibió un caudal máximo de entrada de 0.849 m³/s (Max. Inflow), del cual una porción fue retenida temporalmente dentro de la cuneta, alcanzando un volumen residente máximo de 112.253 m³ (Max. Resident Volume). No se presentaron episodios de desbordamiento, ya que el volumen inundado (Max. Flooded Volume) fue 0.000 m³, lo que evidencia que la sección hidráulica del tramo es suficiente frente al evento de diseño.

Se registró un volumen perdido total de 2.682 m³ (Total Lost Volume), asociado a pérdidas menores por infiltración o disipación interna del sistema. Aunque este valor es ligeramente mayor que en el tramo anterior, continúa siendo reducido respecto al volumen total manejado, por lo que no afecta el rendimiento general de la cuneta.

El caudal máximo evacuado (Max. Outflow) fue de 0.846 m³/s, mientras que el volumen total descargado alcanzó los 708.484 m³ (Total Discharge Volume). El indicador Percentage Available, con un valor de 6%, señala que la cuneta utilizó el 94% de su capacidad durante la

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

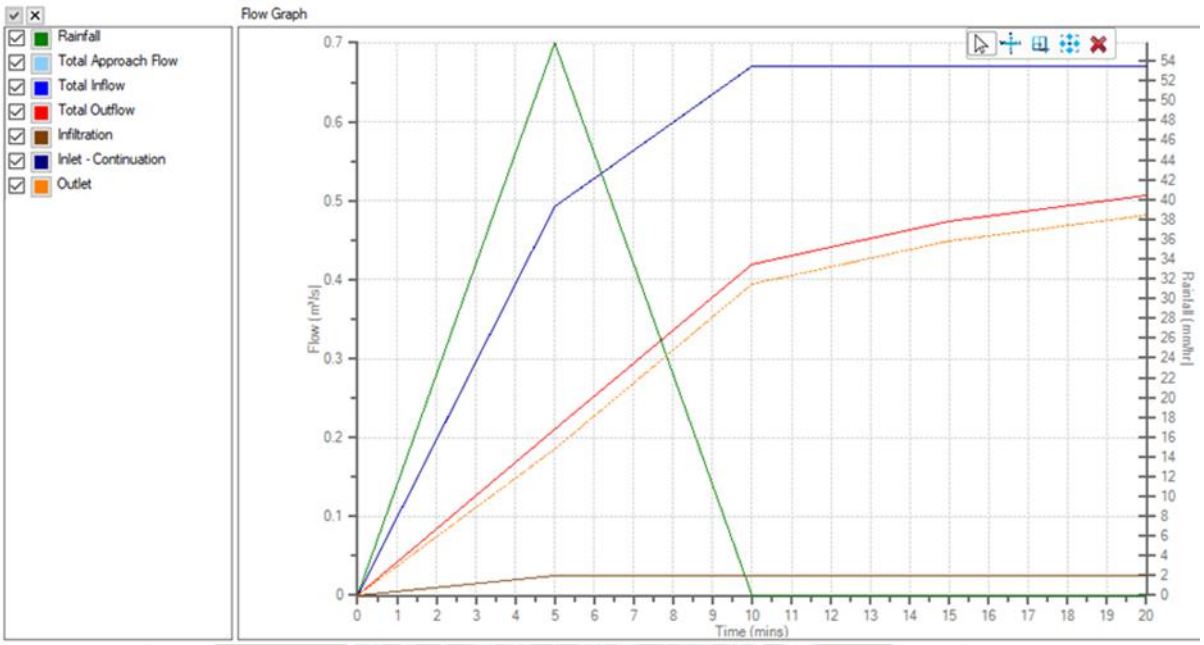
REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

tormenta, manteniendo todavía un margen disponible de operación. Finalmente, el estado del tramo fue clasificado como OK, confirmando que cumple satisfactoriamente con los criterios hidráulicos establecidos.

Figura 72

Hidrograma InfoDrainage – Tramo 2



Nota. Elaboración propia mediante el software Infodrainage (2025).

El hidrograma del Tramo 2 evidencia que, ante un episodio de lluvia intensa y de duración limitada con un pico alrededor de los 5–6 minutos, el caudal de aproximación y el caudal total de entrada aumentan progresivamente hasta estabilizarse, reflejando la acumulación de aportes provenientes del tramo aguas arriba, sin embargo, el caudal de salida responde de forma amortiguada y retardada, sin reproducir el pico del hietograma, lo que demuestra que este tramo continúa disipando energía y regulando el escurrimiento, la infiltración mantiene valores importantes y sostenidos en el tiempo, incluso después de que cesa la lluvia, lo que indica que el Tramo 2 sigue cumpliendo un rol activo en la reducción del volumen escurrido y en la recarga del suelo, adicionalmente, el caudal en el outlet se mantiene bajo y estable durante todo el periodo de simulación, sin evidenciar condiciones de saturación ni desbordes, en términos

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

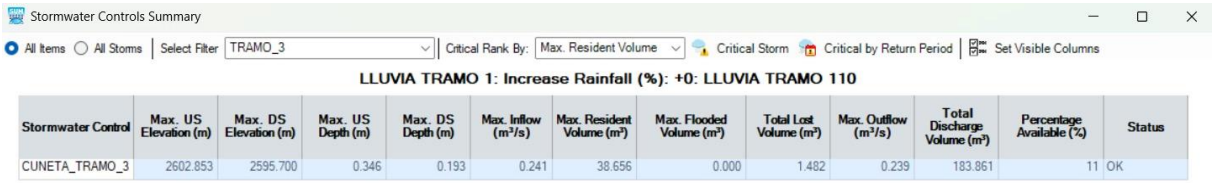
REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

generales, se confirma que el Tramo 2 actúa de manera complementaria al Tramo 1, reforzando el efecto de laminación de caudales y mejorando el desempeño global de la cuneta verde.

Figura 73

Resultados InfoDrainage – Tramo 3



Stormwater Control	Max. US Elevation (m)	Max. DS Elevation (m)	Max. US Depth (m)	Max. DS Depth (m)	Max. Inflow (m³/s)	Max. Resident Volume (m³)	Max. Flooded Volume (m³)	Total Lost Volume (m³)	Max. Outflow (m³/s)	Total Discharge Volume (m³)	Percentage Available (%)	Status
CUNETA_TRAMO_3	2602.853	2595.700	0.346	0.193	0.241	38.656	0.000	1.482	0.239	183.861	11	OK

Nota. Elaboración propia mediante el software Infodrainage (2025).

El Tramo 3 la cuneta alcanzó una cota máxima aguas arriba (Max. US Elevation) de 2602.853 m, mientras que aguas abajo se registró una cota de 2595.700 m (Max. DS Elevation), lo que refleja la pendiente longitudinal del tramo. Las profundidades máximas alcanzadas fueron de 0.346 m en la entrada (Max. US Depth) y 0.193 m en la salida (Max. DS Depth), valores que evidencian una adecuada capacidad de conducción sin riesgo de superar los bordes de la sección.

El sistema recibió un caudal pico de entrada de 0.241 m³/s (Max. Inflow). Parte de este volumen fue almacenado temporalmente en el tramo, alcanzando un volumen residente máximo de 38.656 m³ (Max. Resident Volume). No se registró ningún evento de inundación, ya que el volumen inundado (Max. Flooded Volume) fue de 0.000 m³, confirmando que la sección hidráulica resulta suficiente para el escenario de diseño.

El modelo reportó un volumen perdido total de 1.482 m³ (Total Lost Volume), correspondiente a pérdidas del sistema por infiltración o disipación, propias del comportamiento hidráulico del flujo en cunetas vegetadas o con capacidad de infiltración. Este valor es moderado y no afecta la operación integral del tramo.

El caudal máximo evacuado fue de 0.239 m³/s (Max. Outflow), mientras que el volumen total descargado ascendió a 183.861 m³ (Total Discharge Volume). El indicador Percentage

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

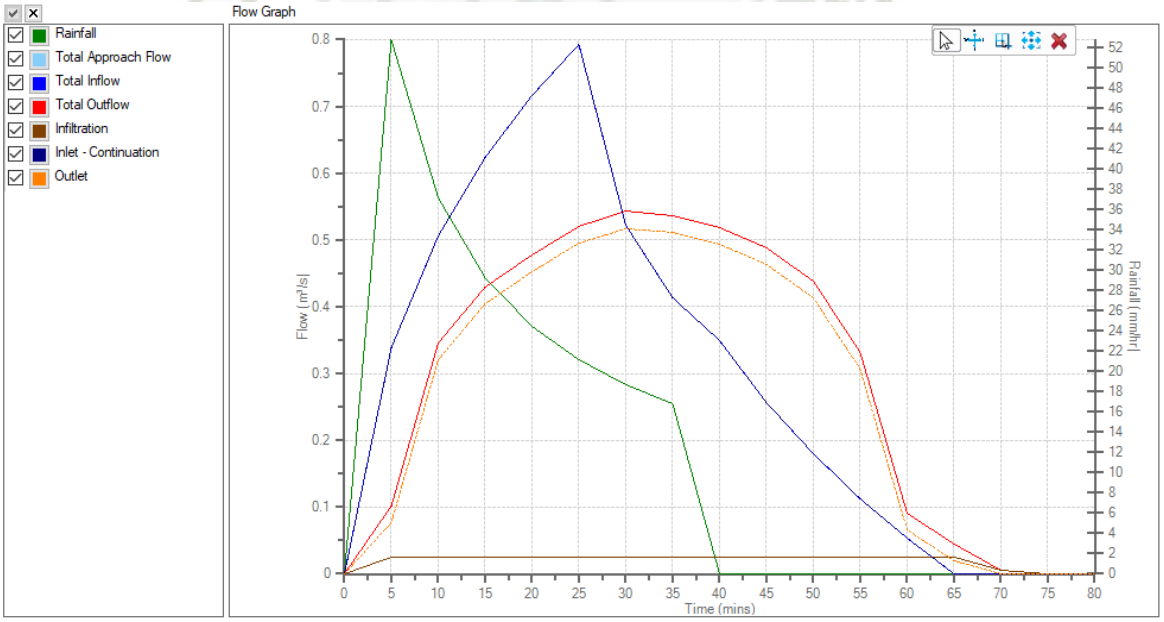
REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Available, con un valor de 11%, demuestra que la cuneta utilizó solo el 89% de su capacidad durante el evento, manteniendo un amplio margen de operación. Finalmente, el estado general reportado para el tramo es OK, señalando que opera adecuadamente bajo las condiciones de simulación.

En conjunto, los resultados confirman que la cuneta, en sus tres tramos evaluados, cumple plenamente con los lineamientos de diseño para el manejo de aguas pluviales, garantizando un flujo seguro, estable y sin riesgo de inundación bajo el escenario de lluvia analizado. Esto valida tanto la geometría propuesta como los parámetros de infiltración y pendiente utilizados en el modelado.

Figura 74

Hidrograma InfoDrainage – Tramo 3



Nota. Elaboración propia mediante el software Infodrainage (2025).

El hidrograma del Tramo 3 de la cuneta verde evidencia un comportamiento hidráulico más prolongado y controlado, propio de un tramo que recibe y regula los aportes acumulados de los sectores aguas arriba, ya que el evento de lluvia presenta un pico temprano e intenso, mientras que el caudal total de entrada alcanza su máximo de forma retardada y se mantiene durante un

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

mayor intervalo de tiempo, el caudal de salida muestra una respuesta claramente amortiguada, con un pico más bajo y extendido, lo que confirma una elevada capacidad de laminación hidráulica, en este contexto, la infiltración cumple un rol fundamental, manteniéndose activa durante gran parte del evento y aun después de que la precipitación disminuye, lo que indica que el suelo continúa absorbiendo agua almacenada en la cuneta, reduciendo progresivamente el volumen disponible para escorrentía superficial, aunque los valores instantáneos de infiltración son menores que los caudales de entrada, su acción sostenida en el tiempo contribuye de manera significativa a la disminución del volumen total evacuado por el outlet y al retraso del pico de salida, adicionalmente, el descenso gradual del caudal en el punto de salida, sin cambios bruscos ni evidencias de saturación, sugiere que la capacidad de infiltración del tramo no se ve sobrepasada, en conjunto, estos resultados confirman que el Tramo 3 no solo actúa como elemento de control final del sistema, sino también como un componente clave para la recarga del suelo y la reducción del impacto hidráulico aguas abajo, reforzando la eficiencia integral de la cuneta verde como infraestructura de drenaje urbano sostenible.

4.5.6. Diseño de cuneta de concreto en HEC-RAS

Con el objetivo de complementar y confrontar los resultados alcanzados en el software InfoDrainage, se desarrolló un modelamiento hidráulico de los tramos de interés utilizando HEC-RAS. Para asegurar la comparabilidad entre ambos enfoques, se emplearon los mismos caudales de diseño previamente calculados y utilizados como entrada en InfoDrainage. Este procedimiento permitirá analizar de manera consistente el comportamiento hidráulico de los tramos bajo condiciones idénticas de caudal, facilitando la identificación de diferencias y ventajas de cada herramienta en la estimación de parámetros hidráulicos y en la representación del flujo dentro de los sistemas de drenaje.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

a) Coeficiente de rugosidad

Para el diseño de la cuneta trapezoidal revestida en concreto, se seleccionó un parámetro de rugosidad de Manning n=0.013.

Este valor se fundamenta en la Tabla 5-6 de Ven Te Chow (1985)donde se presentan los rangos recomendados de rugosidad para canales revestidos.

Dentro del grupo c. Concreto, la tabla clasifica diferentes tipos de acabado. Para obras hidráulicas como cunetas pluviales, el acabado habitual corresponde a: "1. Concreto terminado con llana metálica (palustre)"

La tabla indica para este tipo de acabado:

- n mínimo: 0.011
- n normal (recomendado): 0.013
- n máximo: 0.015

Por lo tanto, el valor normal recomendado por Chow para concreto alisado con llana metálica es n = 0.013, coincidiendo con el tipo de acabado que se utiliza comúnmente en cunetas de drenaje para garantizar una superficie relativamente lisa y de baja rugosidad.

Dado que la cuneta será construida con concreto vaciado y alisado, y considerando que el acabado previsto es similar al descrito por Chow, se adopta el valor n = 0.013 por representar adecuadamente la rugosidad hidráulica del revestimiento y asegurar resultados coherentes en la determinación del caudal y la velocidad de diseño.

$$Coeficiente\ de\ rugosidad\ (n) = 0.013$$

Tabla 85

Valores del coeficiente de rugosidad n

Tipo de canal y descripción	Mínimo	Normal	Máximo
B. Canales revestidos o desarmables			
B-1. Metal			
a. Superficie lisa de acero			
1. Sin pintar	0.011	0.012	0.014

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

2. Pintada	0.012	0.013	0.017
b. Corrugado	0.021	0.025	0.030
B-2. No metálico			
a. Cemento			
1. Superficie pulida	0.010	0.011	0.013
2. Mortero	0.011	0.013	0.015
b. Madera			
1. Cepillada, sin tratar	0.010	0.012	0.014
2. Cepillada, creosotada	0.011	0.012	0.015
3. Sin cepillar	0.011	0.013	0.015
4. Láminas con listones	0.012	0.015	0.018
5. Forrada con papel impermeabilizante	0.010	0.014	0.017
c. Concreto			
1. Terminado con llana metálica (palustre)	0.011	0.013	0.015
2. Terminado con llana de madera	0.013	0.015	0.016
3. Pulido, con gravas en el fondo	0.015	0.017	0.020
4. Sin pulir	0.014	0.017	0.020
5. Lanzado, sección buena	0.016	0.019	0.023
6. Lanzado, sección ondulada	0.018	0.022	0.025
7. Sobre roca bien excavada	0.017	0.020	0.025
8. Sobre roca irregularmente excavada	0.022	0.027	
d. Fondo de concreto terminado con llana de madera y con lados de			
1. Piedra labrada, en mortero	0.015	0.017	0.020
2. Piedra sin seleccionar, sobre mortero	0.017	0.020	0.024
3. Mampostería de piedra cementada, recubierta	0.016	0.020	0.024
4. Mampostería de piedra cementada	0.020	0.025	0.030
5. Piedra suelta o riprap	0.020	0.030	0.035
e. Fondo de gravas con lados de			
1. Concreto encofrado	0.017	0.020	0.025
2. Piedra sin seleccionar, sobre mortero	0.020	0.023	0.026
3. Piedra suelta o riprap	0.023	0.033	0.036
f. Ladrillo			
1. Barnizado o lacado	0.011	0.013	0.015
2. En mortero de cemento	0.012	0.015	0.018
g. Mampostería			
1. Piedra partida cementada	0.017	0.025	0.030
2. Piedra suelta	0.023	0.032	0.035
h. Bloques de piedra labrados			
1. Liso	0.013	0.013	

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

2. Rugoso	0.016	0.016	
j. Revestimiento vegetal	0.030		0.500

Nota. Extraída del libro Hidráulica de canales abiertos Chow (1985).

b) Resultados de datos ingresados en HEC RAS

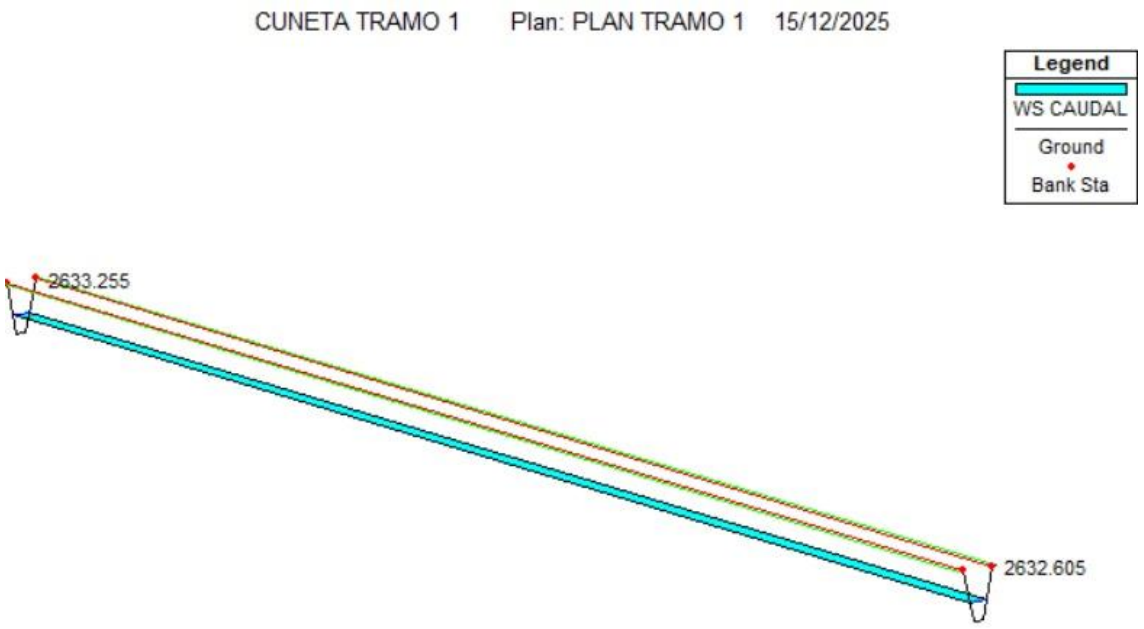
En esta sección se exponen los resultados alcanzados a partir de la modelación hidráulica de cunetas tradicionales mediante el software HEC-RAS, considerando tres tramos representativos del área de estudio. Para cada tramo se evaluó el comportamiento hidráulico a través de perfiles en dos y tres dimensiones, así como los parámetros de caudal, velocidad y número de Froude, tanto en condiciones de aguas arriba como de aguas abajo.

TRAMO 1

Las Figuras 75 y 76 muestran el perfil tridimensional y bidimensional de la cuneta modelada en el Tramo 1, obtenidos a partir de la geometría ingresada en HEC-RAS. Estos perfiles permiten visualizar la sección hidráulica adoptada y su comportamiento frente al flujo, evidenciando la continuidad geométrica de la cuneta a lo largo del tramo analizado.

Figura 75

Perfil 3D de cuneta en HEC-RAS - Tramo 1



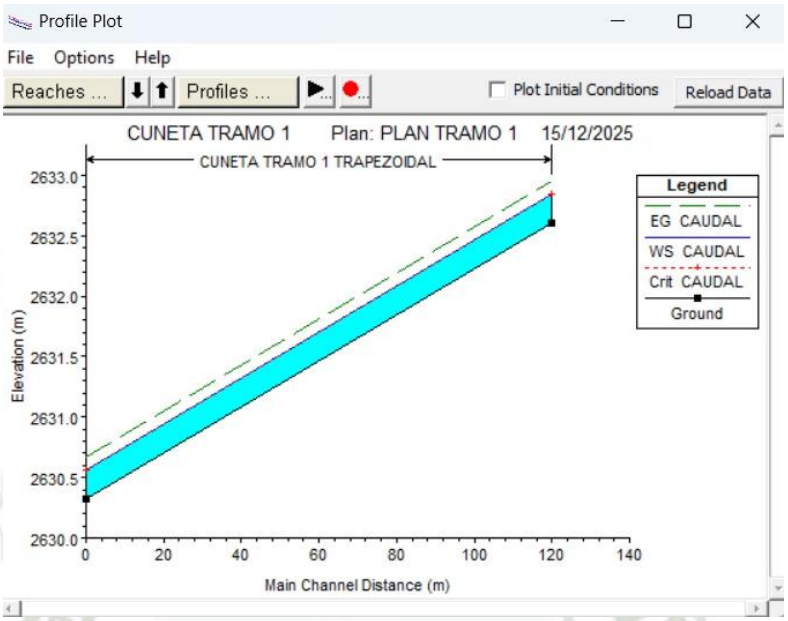
Nota. Elaboración propia mediante el software HEC-RAS (2025).

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 76

Perfil 2D de cuneta en HEC-RAS – Tramo 1

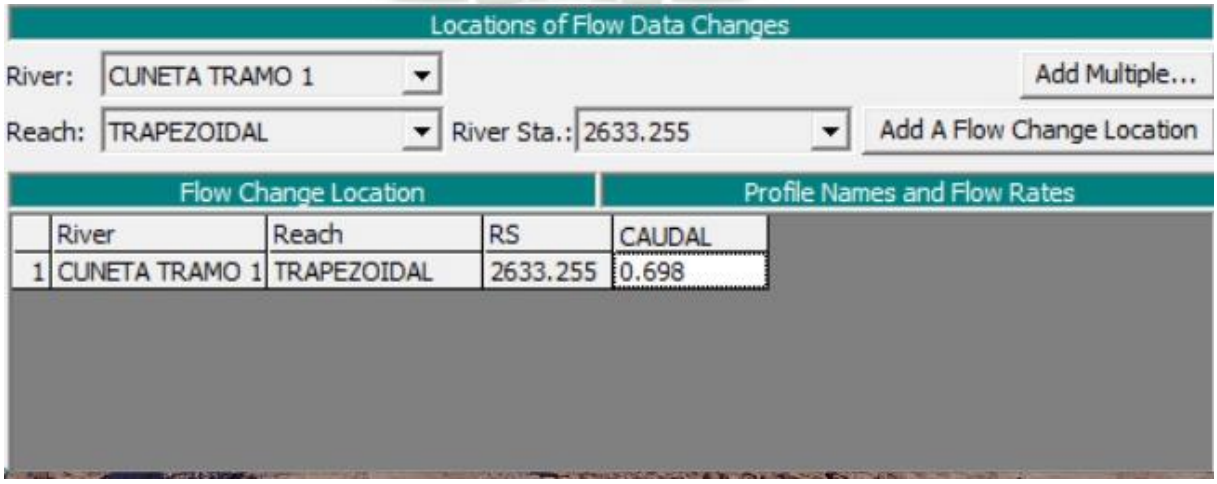


Nota. Elaboración propia mediante el software HEC-RAS (2025).

La Figura 77 presenta el caudal asignado al Tramo 1, el cual fue determinado a partir del análisis hidrológico previo. Dicho caudal constituye la condición de entrada para la simulación hidráulica, permitiendo evaluar la capacidad de conducción de la cuneta tradicional.

Figura 77

Caudal – Tramo 1



Nota. Elaboración propia mediante el software HEC-RAS (2025).

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

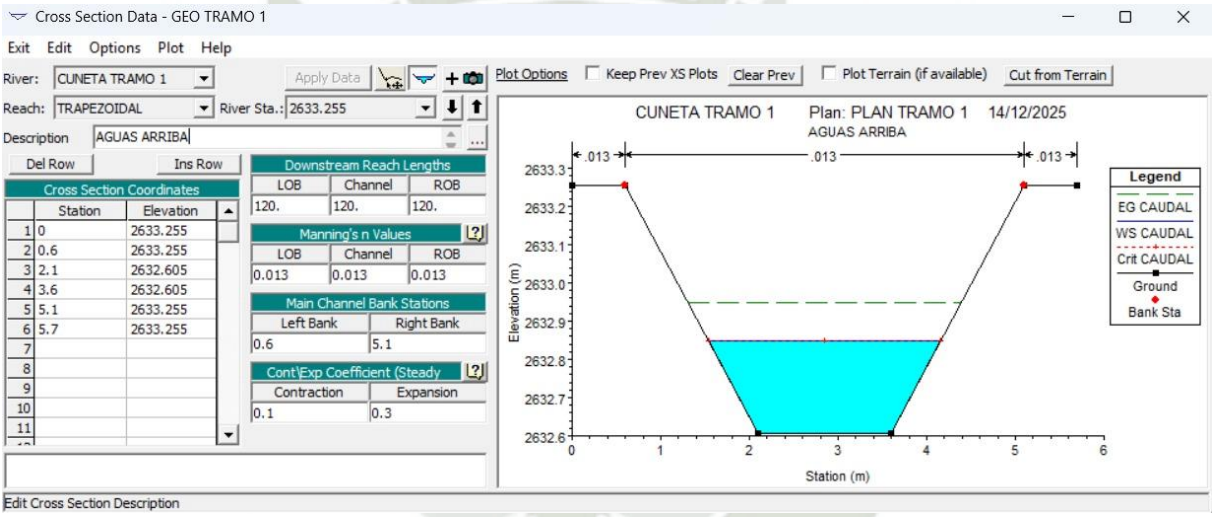
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

AGUAS ARRIBA-T1

En las Figuras 78 y 79 se dan a conocer los resultados correspondientes a la cuneta en la condición de aguas arriba, donde se observa el nivel de lámina de agua y su relación con la sección hidráulica. Estos resultados evidencian el comportamiento inicial del flujo al ingresar al tramo, permitiendo identificar si la sección es suficiente para transportar el caudal de diseño sin generar desbordes.

Figura 78

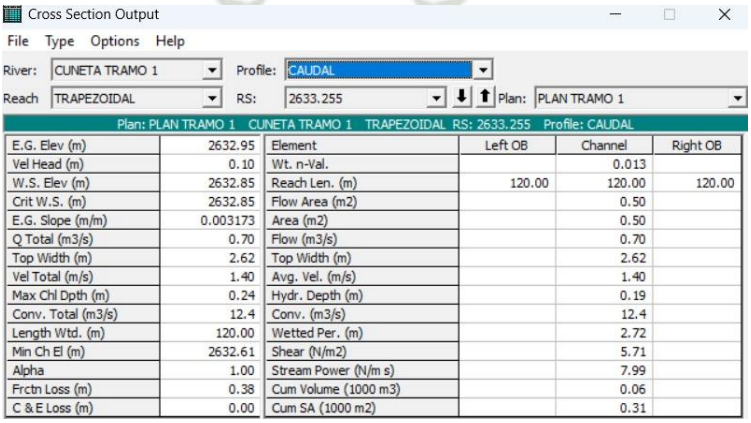
Ingreso de datos de cuneta tradicional aguas arriba – Tramo 1



Nota. Elaboración propia mediante el software HEC-RAS (2025).

Figura 79

Resultados de cuneta aguas arriba – Tramo 1



Nota. Elaboración propia mediante el software HEC-RAS (2025).

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

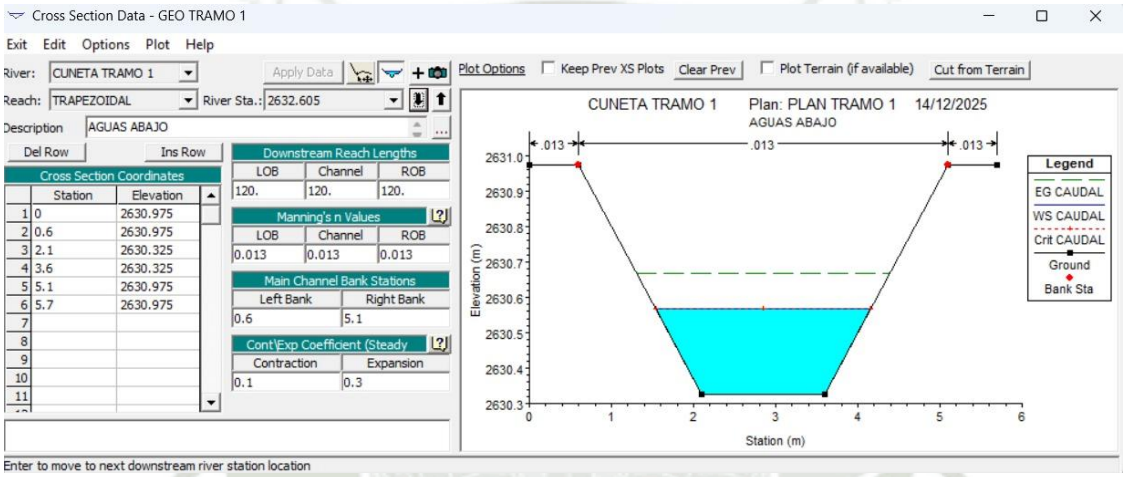
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

AGUAS ABAJO -T1

Por otro lado, las Figuras 80 y 81 exponen los resultados alcanzados en la condición de aguas abajo del Tramo 1. En esta sección se analiza la variación del tirante hidráulico y la velocidad del flujo, lo cual es fundamental para evaluar posibles efectos de erosión o inestabilidad hidráulica.

Figura 80

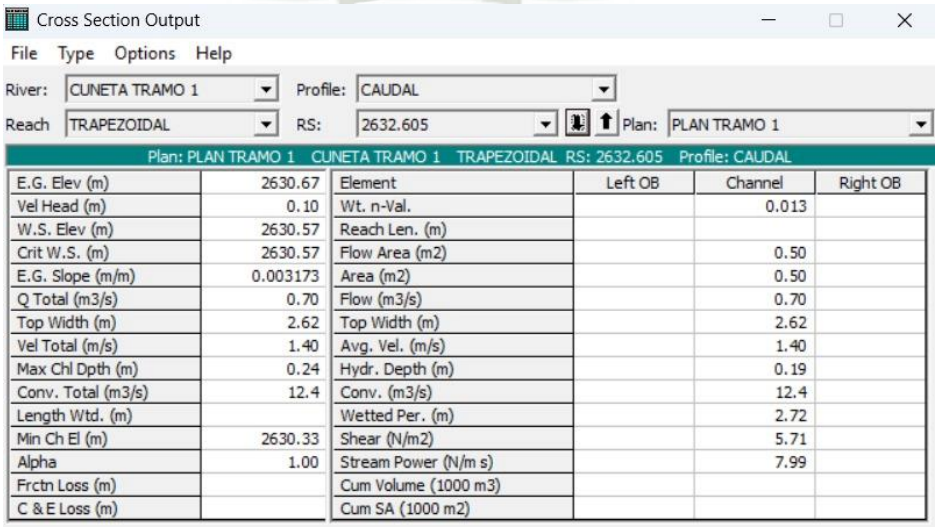
Ingreso de datos de cuneta tradicional aguas abajo – Tramo 1



Nota. Elaboración propia mediante el software HEC-RAS (2025).

Figura 81

Resultados de cuneta aguas abajo – Tramo 1



E.G. Elev (m)	2630.67	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	0.10	Wt. n-Val.		0.013	
W.S. Elev (m)	2630.57	Reach Len. (m)			
Crit W.S. (m)	2630.57	Flow Area (m2)		0.50	
E.G. Slope (m/m)	0.003173	Area (m2)		0.50	
Q Total (m3/s)	0.70	Flow (m3/s)		0.70	
Top Width (m)	2.62	Top Width (m)		2.62	
Vel Total (m/s)	1.40	Avg. Vel. (m/s)		1.40	
Max Chl Dpth (m)	0.24	Hydr. Depth (m)		0.19	
Conv. Total (m3/s)	12.4	Conv. (m3/s)		12.4	
Length Wtd. (m)		Wetted Per. (m)		2.72	
Min Ch El (m)	2630.33	Shear (N/m2)		5.71	
Alpha	1.00	Stream Power (N/m s)		7.99	
Frctn Loss (m)		Cum Volume (1000 m3)			
C & E Loss (m)		Cum SA (1000 m2)			

Nota. Elaboración propia mediante el software HEC-RAS (2025).

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Finalmente, la Figura 82 presenta la distribución de la velocidad y el número de Froude en el Tramo 1. Los valores obtenidos permiten identificar el régimen de flujo predominante, el cual se mantiene dentro de condiciones compatibles con un flujo subcrítico/supercrítico (según corresponda), indicando un comportamiento hidráulico adecuado para una cuneta tradicional.

Figura 82

Velocidad y Número de Froude – Tramo 1

HEC-RAS Plan: PLAN TRAMO 1 River: CUNETA TRAMO 1 Reach: TRAPEZOIDAL Profile: CAUDAL — Reload Data

Reach	River Sta	Profile	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
			(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
TRAPEZOIDAL	2633.255	CAUDAL	0.70	2632.61	2632.85	2632.85	2632.95	0.003173	1.40	0.50	2.62	1.02
TRAPEZOIDAL	2632.605	CAUDAL	0.70	2630.33	2630.57	2630.57	2630.67	0.003173	1.40	0.50	2.62	1.02

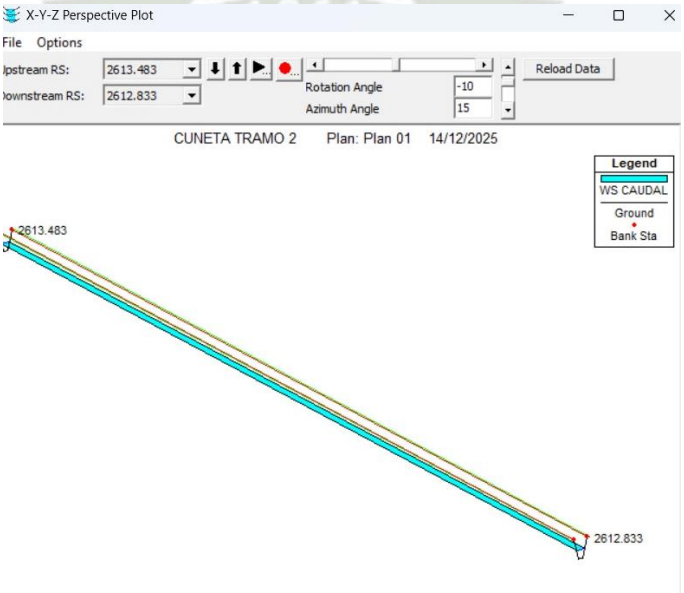
Nota. Elaboración propia mediante el software HEC-RAS (2025).

TRAMO 2

Para el Tramo 2, las Figuras 83 y 84 presentan los perfiles tridimensional y bidimensional de la cuneta modelada en HEC-RAS. Estos perfiles permiten observar las características geométricas del tramo y su influencia en la conducción del flujo.

Figura 83

Perfil 3D de cuneta en HEC-RAS - Tramo 2



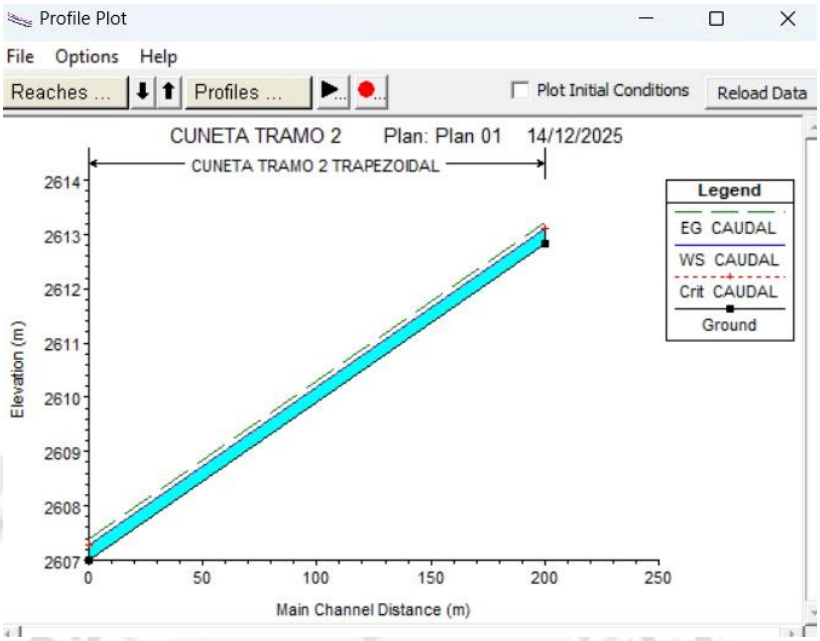
Nota. Elaboración propia mediante el software HEC-RAS (2025).

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 84

Perfil 2D de cuneta en HEC-RAS – Tramo 2

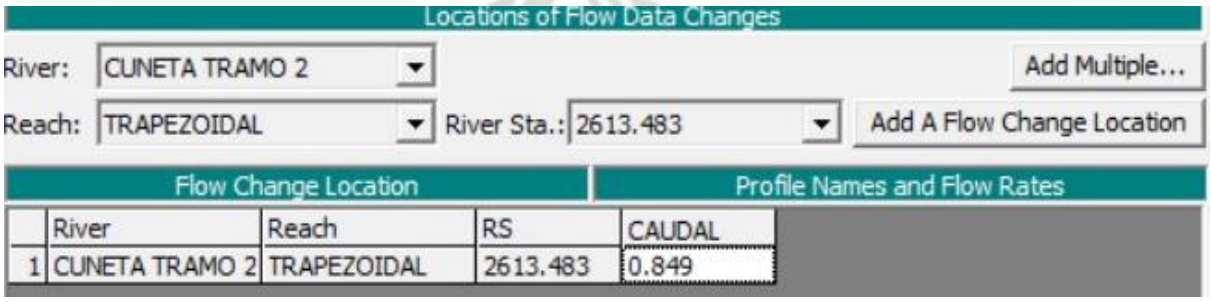


Nota. Elaboración propia mediante el software HEC-RAS (2025).

La Figura 85 muestra el caudal considerado para este tramo, el cual puede presentar variaciones respecto al Tramo 1 debido a las condiciones topográficas y de aporte superficial. Este caudal fue ingresado como condición de borde para la simulación hidráulica.

Figura 85

Caudal – Tramo 2



Nota. Elaboración propia mediante el software HEC-RAS (2025).

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

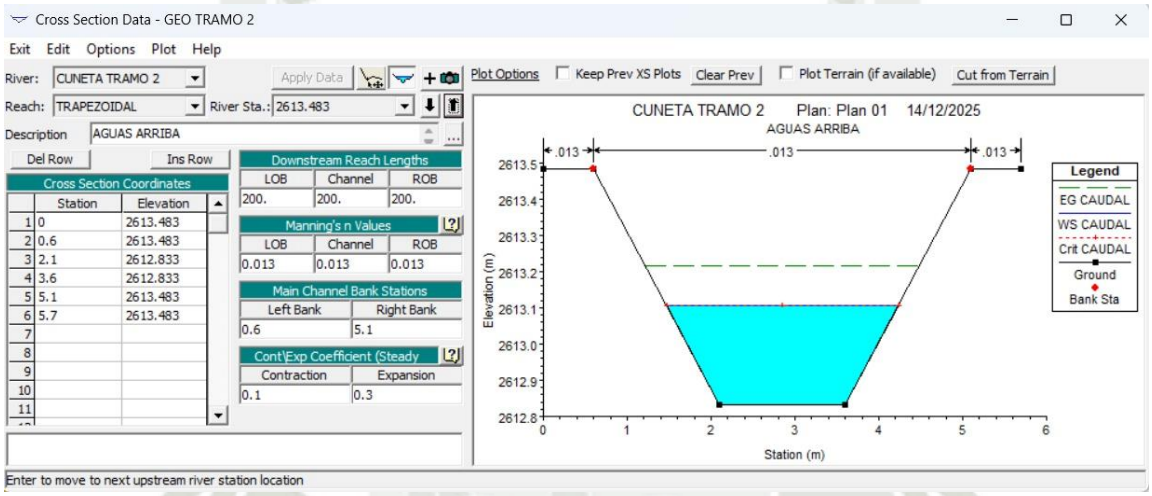
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

AGUAS ARRIBA-T2

Las Figuras 86 y 87 corresponden a los resultados de la cuneta en condición de aguas arriba, donde se aprecia el comportamiento del flujo al inicio del tramo, reflejando la relación entre el tirante hidráulico y la sección transversal.

Figura 86

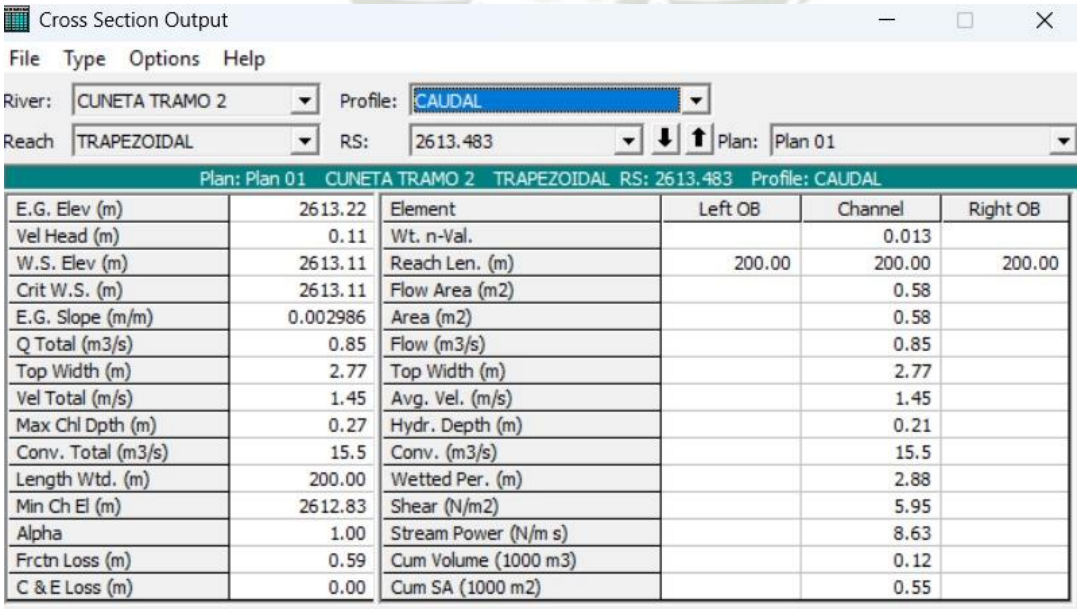
Ingreso de datos de cuneta tradicional aguas arriba – Tramo 2



Nota. Elaboración propia mediante el software HEC-RAS (2025).

Figura 87

Resultados de cuneta aguas arriba – Tramo 2



E.G. Elev (m)	2613.22	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	0.11	Wt. n-Val.		0.013	
W.S. Elev (m)	2613.11	Reach Len. (m)	200.00	200.00	200.00
Crit W.S. (m)	2613.11	Flow Area (m2)		0.58	
E.G. Slope (m/m)	0.002986	Area (m2)		0.58	
Q Total (m3/s)	0.85	Flow (m3/s)		0.85	
Top Width (m)	2.77	Top Width (m)		2.77	
Vel Total (m/s)	1.45	Avg. Vel. (m/s)		1.45	
Max Chl Dpth (m)	0.27	Hydr. Depth (m)		0.21	
Conv. Total (m3/s)	15.5	Conv. (m3/s)		15.5	
Length Wtd. (m)	200.00	Wetted Per. (m)		2.88	
Min Ch El (m)	2612.83	Shear (N/m2)		5.95	
Alpha	1.00	Stream Power (N/m s)		8.63	
Frctn Loss (m)	0.59	Cum Volume (1000 m3)		0.12	
C & E Loss (m)	0.00	Cum SA (1000 m2)		0.55	

Nota. Elaboración propia mediante el software HEC-RAS (2025).

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

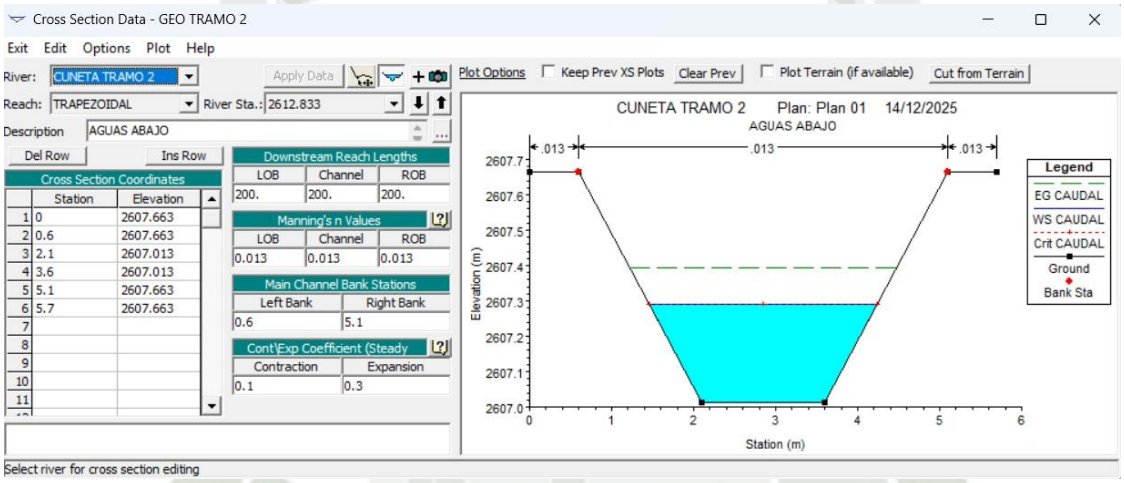
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

AGUAS ABAJO -T2

Los resultados de la sección aguas abajo se presenta en las figuras 88 y 89, permitiendo evaluar la evolución del flujo a lo largo del tramo y estimar la capacidad hidráulica de la cuneta con respecto al caudal de diseño.

Figura 88

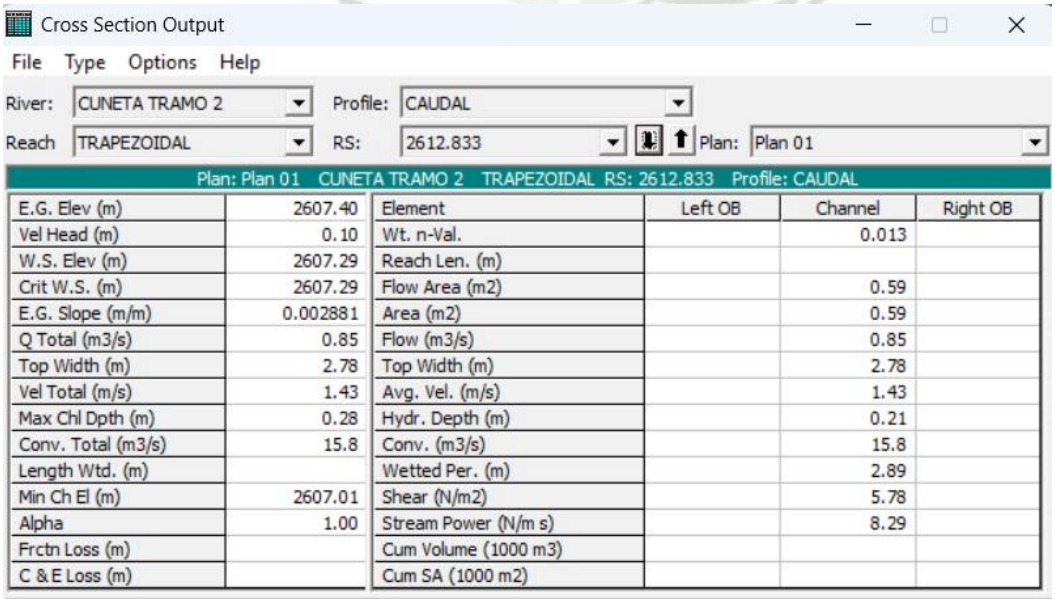
Ingreso de datos de cuneta tradicional aguas abajo – Tramo 2



Nota. Elaboración propia mediante el software HEC-RAS (2025).

Figura 89

Resultados de cuneta aguas abajo – Tramo 2



Nota. Elaboración propia mediante el software HEC-RAS (2025).

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

La Figura 90 muestra la velocidad del flujo hidráulico y el valor del número de Froude para el Tramo 2. El análisis de estos parámetros permite identificar zonas con mayores velocidades, las cuales podrían requerir consideraciones adicionales de diseño para evitar procesos erosivos.

Figura 90

Velocidad y Número de Froude – Tramo 2

Profile Output Table - Standard Table 1

File Options Std. Tables Locations Help

HEC-RAS Plan: Plan 01 River: CUNETA TRAMO 2 Reach: TRAPEZOIDAL Profile: CAUDAL Reload Data

Reach	River Sta	Profile	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
			(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
TRAPEZOIDAL	2613.483	CAUDAL	0.85	2612.83	2613.11	2613.11	2613.22	0.002986	1.45	0.58	2.77	1.01
TRAPEZOIDAL	2612.833	CAUDAL	0.85	2607.01	2607.29	2607.29	2607.40	0.002881	1.43	0.59	2.78	0.99

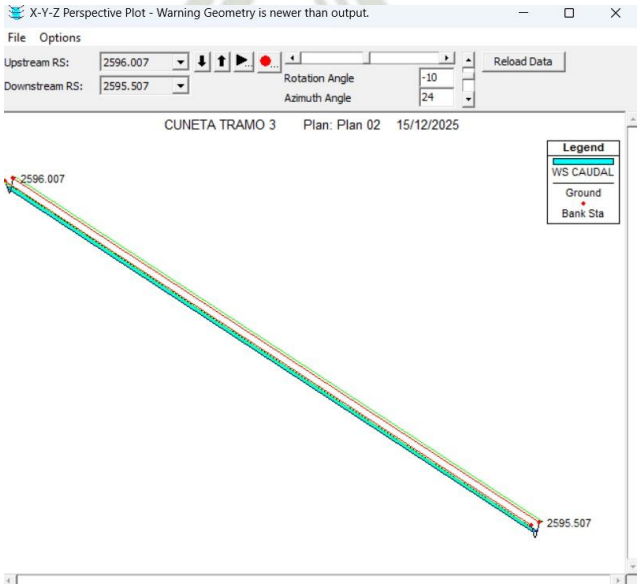
Nota. Elaboración propia mediante el software HEC-RAS (2025).

TRAMO 3

Las Figuras 91 y 92 muestran los perfiles 3D y 2D de la cuneta correspondiente al Tramo 3, donde se aprecia la geometría final empleada en la modelación hidráulica. Estos perfiles permiten analizar visualmente la sección hidráulica y su respuesta frente al flujo simulado.

Figura 91

Perfil 3D de cuneta en HEC-RAS - Tramo 3



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

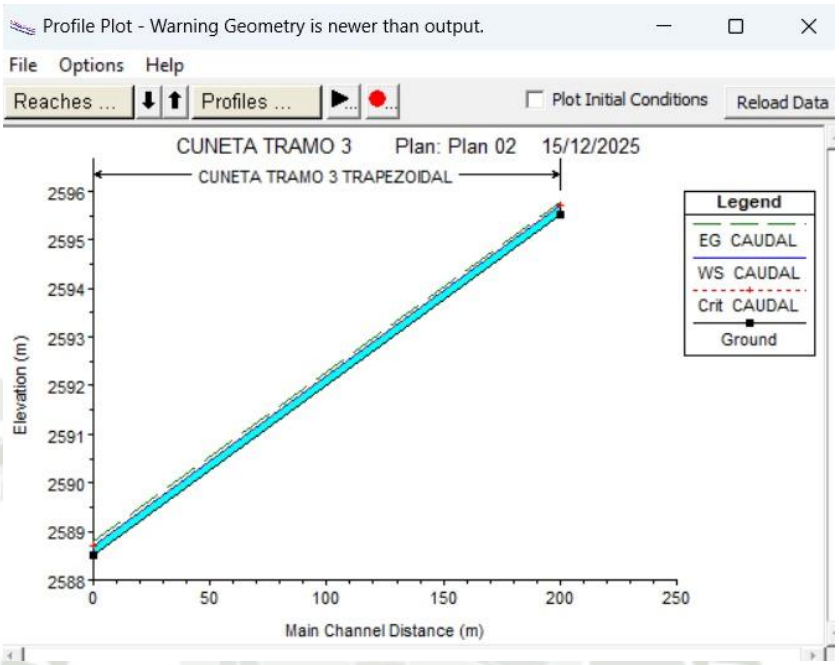
REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Nota. Elaboración propia mediante el software HEC-RAS (2025).

Figura 92

Perfil 2D de cuneta en HEC-RAS – Tramo 3

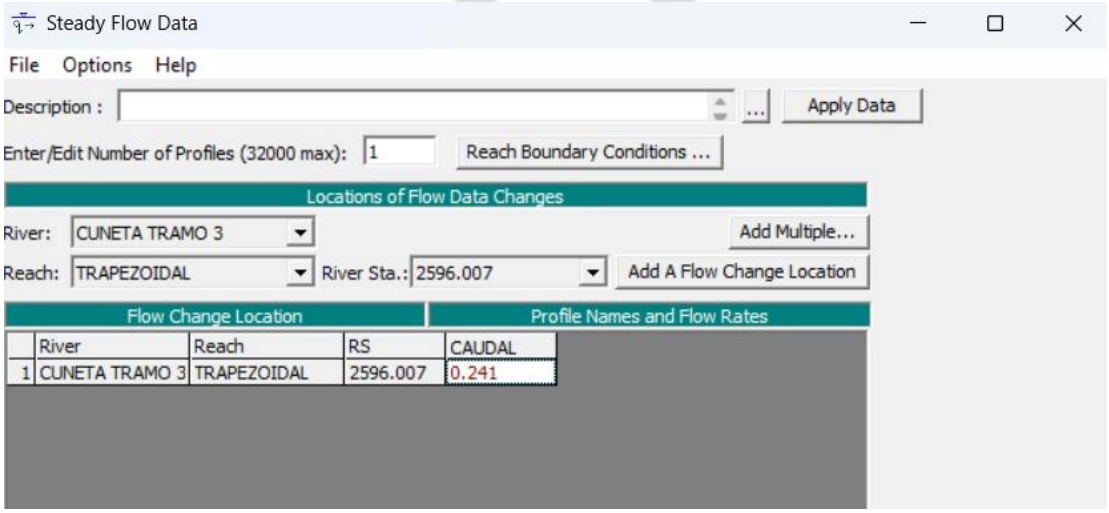


Nota. Elaboración propia mediante el software HEC-RAS (2025).

La Figura 93 presenta el caudal asignado al Tramo 3, utilizado como condición de entrada en HEC-RAS. Este caudal representa el escenario de diseño considerado para evaluar el desempeño hidráulico de la cuneta.

Figura 93

Caudal – Tramo 3



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

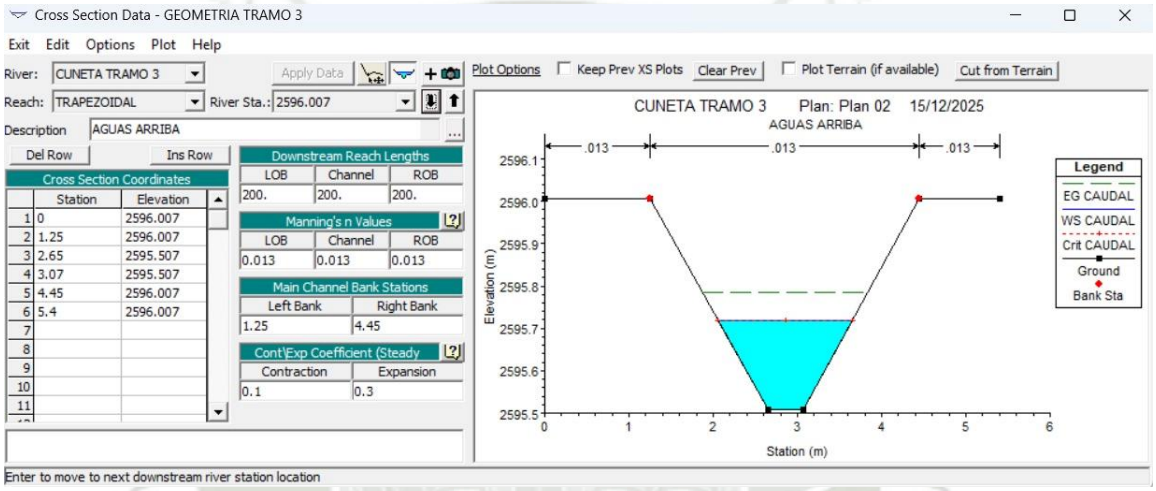
Nota. Elaboración propia mediante el software HEC-RAS (2025).

AGUAS ARRIBA-T3

Las Figuras 94 y 95 dan a conocer los resultados de la cuneta en la condición de aguas arriba, evidenciando el comportamiento inicial del flujo y la adecuación de la sección para transportar el caudal sin generar sobre elevaciones significativas del nivel del agua.

Figura 94

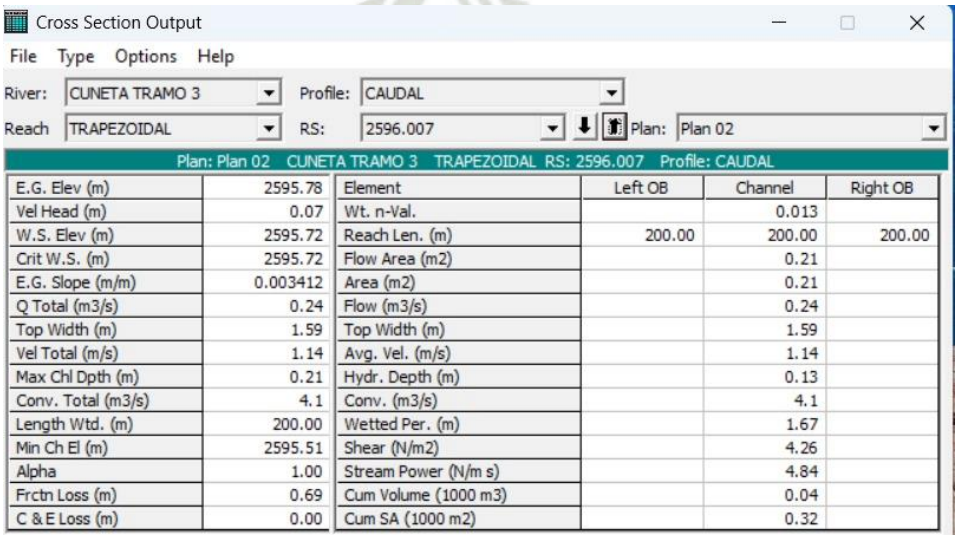
Ingreso de datos de cuneta tradicional aguas arriba – Tramo 3



Nota. Elaboración propia mediante el software HEC-RAS (2025).

Figura 95

Resultados de cuneta aguas arriba – Tramo 3



E.G. Elev (m)	2595.78	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	0.07	Wt. n-Val.		0.013	
W.S. Elev (m)	2595.72	Reach Len. (m)	200.00	200.00	200.00
Crit W.S. (m)	2595.72	Flow Area (m2)		0.21	
E.G. Slope (m/m)	0.003412	Area (m2)		0.21	
Q Total (m3/s)	0.24	Flow (m3/s)		0.24	
Top Width (m)	1.59	Top Width (m)		1.59	
Vel Total (m/s)	1.14	Avg. Vel. (m/s)		1.14	
Max Chl Dpth (m)	0.21	Hydr. Depth (m)		0.13	
Conv. Total (m3/s)	4.1	Conv. (m3/s)		4.1	
Length Wtd. (m)	200.00	Wetted Per. (m)		1.67	
Min Ch El (m)	2595.51	Shear (N/m2)		4.26	
Alpha	1.00	Stream Power (N/m s)		4.84	
Frctn Loss (m)	0.69	Cum Volume (1000 m3)		0.04	
C & E Loss (m)	0.00	Cum SA (1000 m2)		0.32	

Nota. Elaboración propia mediante el software HEC-RAS (2025).

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

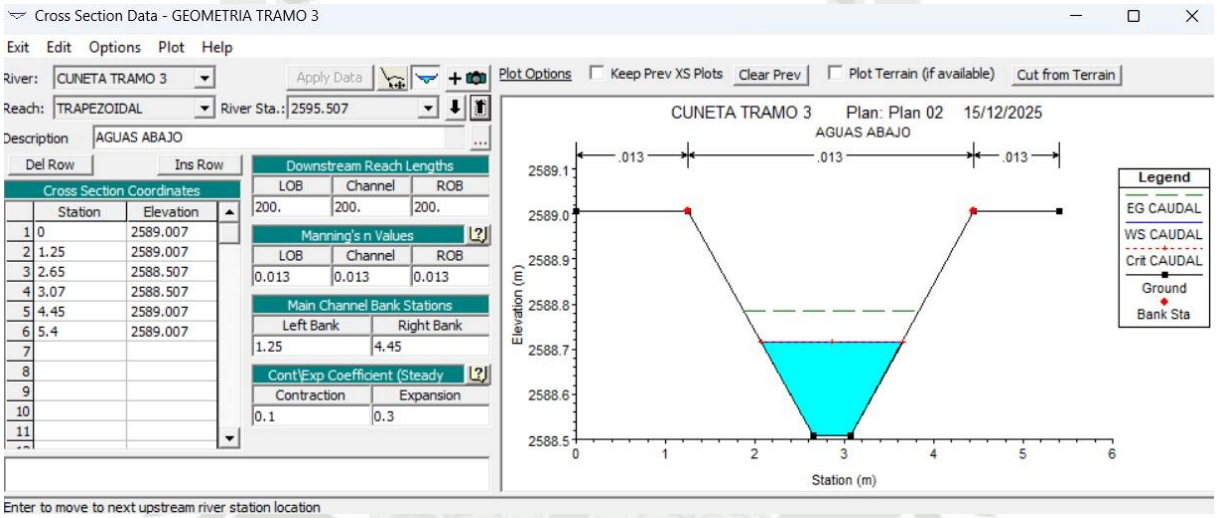
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

AGUAS ABAJO -T3

En las Figuras 96 y 97 se registran los resultados de aguas abajo, donde se observa la variación del tirante y la velocidad del flujo, permitiendo evaluar la estabilidad hidráulica del tramo.

Figura 96

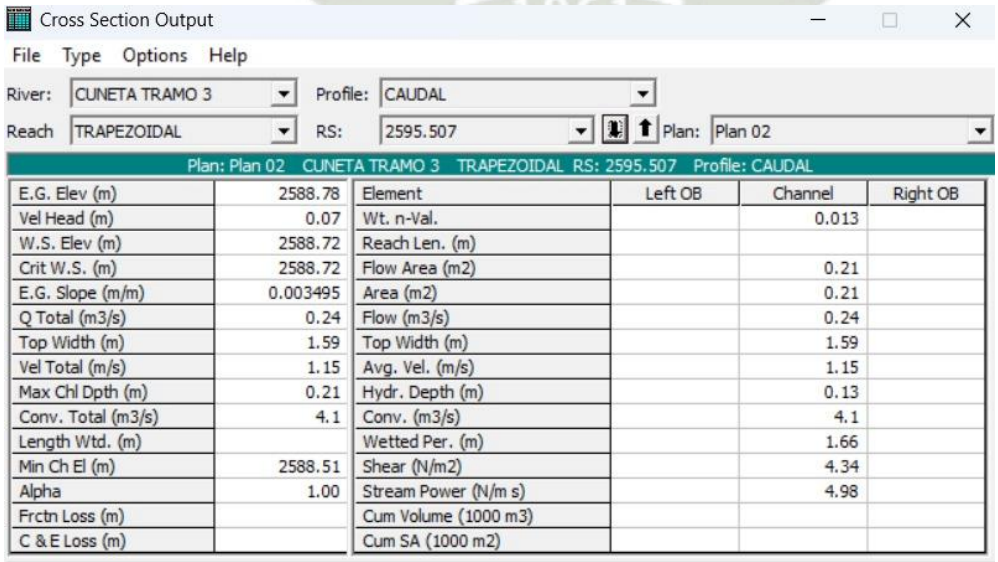
Ingreso de datos de cuneta tradicional aguas abajo – Tramo 3



Nota. Elaboración propia mediante el software HEC-RAS (2025).

Figura 97

Resultados de cuneta aguas abajo – Tramo 3



Nota. Elaboración propia mediante el software HEC-RAS (2025).

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

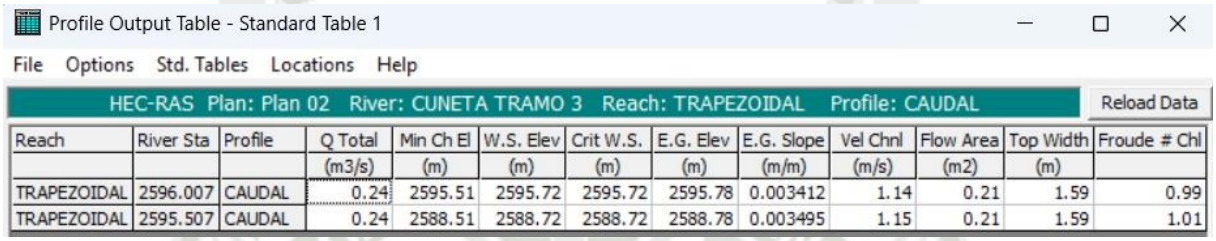
REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Finalmente, la Figura 98 presenta la distribución de la velocidad y el número de Froude en el Tramo 3, cuyos valores permiten determinar el régimen de flujo y verificar que las condiciones hidráulicas permanecen dentro de parámetros aceptables para el diseño de cunetas tradicionales.

Figura 98

Velocidad y Número de Froude – Tramo 3



Reach	River Sta	Profile	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
			(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
TRAPEZOIDAL	2596.007	CAUDAL	0.24	2595.51	2595.72	2595.72	2595.78	0.003412	1.14	0.21	1.59	0.99
TRAPEZOIDAL	2595.507	CAUDAL	0.24	2588.51	2588.72	2588.72	2588.78	0.003495	1.15	0.21	1.59	1.01

Nota. Elaboración propia mediante el software HEC-RAS (2025).

Comparación de resultados entre InfoDrainage y HEC RAS

Para evaluar las diferencias en el comportamiento hidráulico e hidrológico entre cunetas verdes y cunetas convencionales, se realizó una comparación de los principales parámetros obtenidos mediante la simulación en los softwares InfoDrainage y HEC-RAS. InfoDrainage permite modelar procesos propios de los SUDS, como el almacenamiento temporal, la infiltración y la atenuación del caudal, mientras que HEC-RAS se emplea para el análisis hidráulico de estructuras tradicionales, considerando principalmente la conducción del flujo.

La Tabla 86 presenta la comparación de parámetros relevantes como tirantes, caudales, velocidades, régimen de flujo y volúmenes almacenados e infiltrados para los distintos tramos de cuneta analizados. Esta comparación permite identificar las diferencias en el desempeño hidráulico de ambos enfoques de modelación y evidenciar el aporte funcional de las cunetas verdes en la gestión sostenible del escurrimiento pluvial.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 86

Comparación de resultados obtenidos en InfoDrainage y HEC-RAS – Tramo 1

CUNETA 1 – TRAMO 1			
Parámetro	InfoDrainage	HEC-RAS	Comparación
Tirante aguas arriba (m)	0.496	0.24	La cuneta verde tiende a presentar un tirante ligeramente mayor debido a la vegetación y la mayor rugosidad, que generan retención y reducción de velocidad.
Tirante aguas abajo (m)	0.48	0.24	La cuneta verde reduce el tirante hacia aguas abajo gracias a la disipación de energía y al almacenamiento temporal que se produce en superficies vegetadas.
Caudal pico de entrada (m^3/s)	0.698	0.698	En HEC-RAS el caudal es fijo. En InfoDrainage se reduce a debido a infiltración + almacenamiento.
Volumen residente máximo (m^3)	70.390	-	Las cunetas verdes permiten almacenar agua temporalmente, mientras que las cunetas de concreto no generan almacenamiento en los modelos hidráulicos convencionales.
Volumen perdido (m^3)	1.661	0.00	La cuneta verde facilita la infiltración, lo que contribuye la recarga y a la atenuación de la escorrentía, mientras que la cuneta de concreto no ofrece esta función.
Caudal máximo descargado (m^3/s)	0.696	0.70	La descarga en InfoDrainage se atenúa por infiltración. HEC-RAS mantiene el caudal constante.
Volumen total evacuado (m^3)	605.211	-	Las cunetas verdes permiten evaluar la evacuación total del evento incluyendo retención e infiltración; HEC-RAS no representa esta dinámica para cunetas convencionales.
Percentage Available (%)	2	-	Solo InfoDrainage evalúa capacidad disponible del SUDS.
Velocidad de flujo (m/s)	0.90	1.40	
Froude	0.43	1.02	1>Subcrítico.

Nota. Elaboración propia.

Tabla 87

Comparación de resultados obtenidos en InfoDrainage y HEC-RAS – Tramo 2

CUNETA 2 – TRAMO 2			
Parámetro	InfoDrainage	HEC-RAS	Comparación
Tirante aguas arriba (m)	0.492	0.27	La cuneta verde tiende a presentar un tirante ligeramente mayor debido a la vegetación y la mayor rugosidad, que

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

			generan retención y reducción de velocidad.
Tirante aguas abajo (m)	0.406	0.27	La cuneta verde reduce el tirante hacia aguas abajo gracias a la disipación de energía y al almacenamiento temporal que se produce en superficies vegetadas.
Caudal pico de entrada (m^3/s)	0.849	0.849	En HEC-RAS el caudal es fijo. En InfoDrainage se reduce a debido a infiltración + almacenamiento.
Volumen residente máximo (m^3)	112.253	-	Las cunetas verdes permiten almacenar agua temporalmente, mientras que las cunetas de concreto no generan almacenamiento en los modelos hidráulicos convencionales.
Volumen perdido (m^3)	2.682	-	La cuneta verde permite infiltración, favoreciendo la recarga y mitigando la escorrentía, mientras que la cuneta de concreto no ofrece esta función.
Caudal máximo descargado (m^3/s)	0.846	0.849	La descarga en InfoDrainage se atenúa por infiltración. HEC-RAS mantiene el caudal constante.
Volumen total evacuado (m^3)	708.484	-	Las cunetas verdes permiten evaluar la evacuación total del evento incluyendo retención e infiltración; HEC-RAS no representa esta dinámica para cunetas convencionales.
Percentage Available (%)	6	-	InfoDrainage indica la capacidad disponible en sistemas verdes, mientras que este parámetro no existe para cunetas convencionales modeladas en HEC-RAS.
Velocidad de flujo (m/s)	1.09	1.45	La velocidad es menor en InfoDrainage porque emplea un coeficiente de Manning más alto, representando mayor rugosidad y resistencia al flujo.
Froude	0.43	1.01-0.90	1>Subcrítico.

Nota. Elaboración propia.

Tabla 88

Comparación de resultados obtenidos en InfoDrainage y HEC-RAS – Tramo 3

CUNETA 3 – TRAMO 3			
Parámetro	InfoDrainage	HEC-RAS	Comparación
Tirante aguas arriba (m)	0.346	0.21	La cuneta verde tiende a presentar un tirante ligeramente mayor debido a la vegetación y la mayor rugosidad, que generan retención y reducción de velocidad.
Tirante aguas abajo (m)	0.193	0.21	La cuneta verde reduce el tirante hacia aguas abajo gracias a la disipación de energía y al almacenamiento temporal que se produce en superficies vegetadas.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Caudal pico de entrada (m^3/s)	0.241	0.24	En HEC-RAS el caudal es fijo. En InfoDrainage se reduce a debido a infiltración + almacenamiento.
Volumen residente máximo (m^3)	38.656	-	Las cunetas verdes permiten almacenar agua temporalmente, mientras que las cunetas de concreto no generan almacenamiento en los modelos hidráulicos convencionales.
Volumen perdido (m^3)	1.482	-	La cuneta verde permite infiltración, favoreciendo la recarga y mitigando la escorrentía, mientras que la cuneta de concreto no ofrece esta función.
Caudal máximo descargado (m^3/s)	0.239	0.24	La descarga en InfoDrainage se atenúa por infiltración. HEC-RAS mantiene el caudal constante.
Volumen total evacuado (m^3)	185.061	-	Las cunetas verdes permiten evaluar la evacuación total del evento incluyendo retención e infiltración; HEC-RAS no representa esta dinámica para cunetas convencionales.
Percentage Available (%)	11	-	InfoDrainage indica la capacidad disponible en sistemas verdes, mientras que este parámetro no existe para cunetas convencionales modeladas en HEC-RAS.
Velocidad de flujo (m/s)	0.83	1.15	La velocidad es menor en InfoDrainage porque emplea un coeficiente de Manning más alto, representando mayor rugosidad y resistencia al flujo.
Froude	0.50	0.99-1.01	1>Subcrítico.

Nota. Elaboración propia.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

DISCUSIÓN

Al identificar la importancia de los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS), se determinó que, tras analizar la relevancia, los métodos, las herramientas y la normativa aplicada en diferentes estudios, las cunetas verdes, jardines de lluvia y pavimentos permeables fueron las técnicas más recurrentes. Estas soluciones se caracterizaron por su capacidad para controlar la magnitud de la escorrentía, mejorar la infiltración y disminuir la carga hidráulica sobre los sistemas convencionales de drenaje urbano, optimizando la evacuación de caudales y mejorando la productividad del sistema pluvial durante eventos de precipitación intensa. Además, se observó que los SUDS presentan viabilidad técnica y económica, al requerir menor inversión en mantenimiento y ofrecer un funcionamiento más eficiente frente a la infraestructura tradicional.

Estos hallazgos coincidieron con lo planteado por Merlo & Soto, (2021) en su trabajo sobre los sistemas de drenaje en ciudades importantes a nivel nacional e internacional, donde los autores evidenciaron que los sistemas de drenaje sostenible se han consolidado como estrategias prioritarias para la gestión pluvial urbana, debido a su eficacia para mitigar inundaciones, controlar caudales y mejorar la eficiencia hidráulica de las redes existentes. Su investigación destacó la efectividad de la implementación de los SUDS está condicionada por la integración técnica entre los enfoques de infraestructura gris y verde, así como de una planificación normativa y de diseño que respalde su funcionamiento dentro del sistema urbano. En coherencia con esto, la presente investigación confirma que los SUDS representan una alternativa técnica eficiente y confiable para la gestión de escorrentías en zonas urbanas, participando en la reducción de riesgos y a la optimización de la capacidad hidráulica en la Av. 54.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Al verificar la mejor alternativa de SUDS para evitar las inundaciones de aguas pluviales en la Av. 54, se obtuvo que las cunetas verdes fueron la opción más adecuada, ya que presentaron una mayor viabilidad técnica, económica y ambiental en comparación con otras tipologías evaluadas, como las zanjas diseñadas para infiltración y los tanques de almacenamiento. Su diseño lineal permitió un manejo eficiente del escurrimiento superficial, favoreciendo la infiltración gradual del agua de lluvia, el control del flujo máximo y la mitigación del volumen de escorrentía, además de requerir bajo mantenimiento y adaptarse fácilmente a la berma existente de 5.70 m. Estas características, junto con su compatibilidad con el marco normativo peruano (CE.040), consolidaron su elección como una solución funcional, sostenible y económicamente viable.

Estos resultados difieren de lo planteado por López & Villavicencio (2021) en su estudio, donde la metodología empleada se centró en un enfoque hidráulico y experimental. Los autores realizaron cálculos de caudales de diseño, simulaciones de eventos de lluvia y estimaciones de infiltración, determinando que los jardines de lluvia y las cunetas verdes eran las tipologías más adecuadas para su zona de estudio, priorizando la eficiencia hidráulica y el aprovechamiento paisajístico como criterios principales de selección. En cambio, la metodología aplicada en la Av. 54, basada en un análisis multicriterio técnico, ambiental, económico y normativo, permitió definir con mayor precisión la viabilidad constructiva y rentabilidad económica de cada opción, concluyendo que las cunetas verdes constituyen la solución más coherente con las condiciones topográficas, geotécnicas y presupuestales del área de estudio.

La modelación hidráulica e hidrológica de las tres cunetas verdes mediante InfoDrainage permite analizar de forma integral el desempeño de estos sistemas como infraestructura verde para la gestión del escurrimiento pluvial. Los hallazgos alcanzados reflejan que, pese a las diferencias geométricas y de caudal entre los tramos, las cunetas

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

presentan un comportamiento hidráulico consistente, caracterizado por flujo subcrítico, velocidades moderadas, capacidad de almacenamiento temporal e infiltración efectiva.

En términos de tirantes hidráulicos, las cunetas muestran valores mayores aguas arriba que aguas abajo, evidenciando una disipación progresiva de energía durante el desarrollo de cada tramo. Este comportamiento es característico de sistemas vegetados, donde el incremento de la rugosidad hidráulica y la interacción del flujo con el sustrato favorecen la reducción gradual del nivel del agua. Según Godyń et al. (2024), este mecanismo es fundamental en la infraestructura verde, ya que permite controlar el escurrimiento superficial y reducir la transmisión de energía hacia los tramos finales del sistema.

Las velocidades de flujo obtenidas en las tres cunetas se mantienen en rangos relativamente bajos (entre 0.83 y 1.09 m/s), lo que contribuye a minimizar el potencial erosivo del flujo y a garantizar condiciones hidráulicas estables. Este comportamiento se ve reflejado en los valores del número de Froude, que en todos los tramos son menores que la unidad, confirmando un régimen de flujo subcrítico. Godyń et al. (2024) destacan que este tipo de régimen es deseable en soluciones de infraestructura verde, ya que favorece la seguridad hidráulica y el adecuado funcionamiento del sistema durante eventos de lluvia intensa.

Un aspecto clave evidenciado por la modelación es la capacidad de almacenamiento temporal de las cunetas verdes. Los volúmenes residentes máximos calculados muestran que cada tramo puede retener una cantidad significativa de agua durante el evento de lluvia, contribuyendo a la amortiguación de los picos de escorrentía. Este almacenamiento temporal permite reducir la escorrentía efectiva y retrasar la descarga hacia los sistemas aguas abajo, lo cual se alinea con lo descrito por Godyń et al. (2024) quienes destacan que el almacenamiento es uno de los principales beneficios hidrológicos de la infraestructura verde en entornos urbanos.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Asimismo, los volúmenes perdidos por infiltración registrados en las cunetas confirman que estos sistemas no solo evacuan el agua, sino que ayudan a reducción del volumen escurrido mediante la infiltración al suelo. Este proceso es esencial para disminuir la carga hidráulica del sistema de drenaje y favorecer la recarga hídrica local. De acuerdo con Godyń et al. (2024) ,la infiltración asociada a soluciones verdes desempeña un papel importante en la mitigación de impactos ambientales derivados del drenaje urbano convencional.

El parámetro de capacidad disponible ("Percentage Available") indica que las tres cunetas conservan un margen de capacidad durante el evento analizado, lo que evidencia que no alcanzan su condición límite de operación. Este margen de seguridad hidráulica resulta fundamental desde una perspectiva de resiliencia urbana, ya que permite que el sistema responda de manera adecuada ante eventos de mayor intensidad. En este sentido, Godyń et al. (2024) resaltan que la infraestructura verde incrementa la capacidad adaptativa de los sistemas de drenaje ante escenarios climáticos extremos.

En conjunto, los resultados de InfoDrainage demuestran que las tres cunetas verdes funcionan como elementos activos de control hidráulico, combinando conducción, almacenamiento e infiltración del escurrimiento pluvial. Este comportamiento confirma que las cunetas verdes no deben entenderse únicamente como estructuras de drenaje, sino como componentes fundamentales de un plan de manejo sostenible del agua pluvial. Los hallazgos obtenidos son coherentes con la evidencia presentada por Godyń et al. (2024), quienes concluyen que la infraestructura verde aporta de forma notable a la disminución de riesgos hidráulicos y al fortalecimiento de la sostenibilidad del drenaje urbano.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

CONCLUSIONES

La presente investigación permitió comprender los SUDS son fundamentales para el desarrollo de ciudades peruanas más sostenibles y resilientes. Su importancia radica en que no solo resuelven problemas técnicos y ambientales asociados al drenaje urbano, sino que también impulsan nuevas formas de planificación territorial y gestión del agua. La experiencia internacional demuestra que los SUDS pueden transformar los espacios urbanos en infraestructuras más eficientes y ecológicas, generando beneficios ambientales, sociales y económicos a largo plazo. No obstante, para lograr una implementación efectiva en el contexto nacional, es indispensable fortalecer el marco normativo peruano, incorporando criterios de sostenibilidad y estándares internacionales adaptados a las condiciones locales.

En cuanto a verificar la mejor alternativa de SUDS para mitigar las inundaciones pluviales en la Avenida 54 se realizó la verificación mediante una metodología multicriterio, basada en el utilitario de la Universidad de los Andes, que permitió evaluar de manera integral las condiciones físicas, hidráulicas, ambientales, económicas y operativas del área de estudio.

El análisis de factibilidad evidenció que el área corresponde a un separador vial con una pendiente longitudinal de 3.5 %, una distancia al nivel freático de 12 m, una tasa de infiltración del suelo de 12 mm/h y un área disponible aproximada de 1140 m², condiciones que permitieron la preselección de las tipologías de cunetas verdes, tanques de almacenamiento y pavimentos permeables como alternativas viables. La evaluación ponderada, considerando criterios de calidad del agua (25 %), control de volúmenes (35 %), amenidad (5 %), mantenimiento (20 %) y costos (15 %), arrojó puntajes totales de 3.2 para pavimentos permeables, 3.1 para cunetas verdes y 2.8 para tanques de almacenamiento.

Si bien los pavimentos permeables obtuvieron el mayor puntaje global, el análisis detallado de los criterios individuales evidenció que las cunetas verdes presentan un desempeño más equilibrado y acorde a las características del sitio. Estas destacan por su capacidad de

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

mejorar las propiedades del agua mediante la filtración y sorción, su funcionamiento distribuido a lo largo del eje vial, su bajo requerimiento de mantenimiento y sus menores costos de capital y operación, factores determinantes para su viabilidad a largo plazo.

Asimismo, la evaluación del tren de SUDS confirmó que las cunetas verdes permiten integrar de manera eficiente los procesos de transporte controlado, infiltración progresiva y almacenamiento temporal de la escorrentía, lo que resulta especialmente adecuado para infraestructuras viales lineales, donde las soluciones puntuales presentan limitaciones espaciales y operativas.

La integración del análisis técnico, económico, espacial y operativo permitió determinar que las cunetas verdes constituyen la alternativa más eficiente y sostenible de SUDS para la Avenida 54, al ofrecer una solución compatible con el entorno urbano, mejorar el rendimiento hidráulico del sistema pluvial y reducir la escorrentía superficial y los anegamientos, aportando resiliencia frente a lluvias intensas y a los efectos del cambio climático

El diseño del sistema de drenaje urbano sostenible (SUDS) mediante la implementación de cunetas verdes en los tres tramos propuestos de la Av. 54, DCC permitió evaluar de manera integral su desempeño hidráulico durante eventos de precipitaciones intensas, así como su impacto positivo en la reducción del riesgo de inundaciones. Para validar los resultados obtenidos en InfoDrainage, se realizó una comparación directa con el modelo hidráulico HEC-RAS, empleando los mismos parámetros de caudal de ingreso, dimensiones geométricas, longitud y pendiente, lo que garantiza la consistencia del análisis comparativo.

En el Tramo 1, el modelo InfoDrainage registró un tirante aguas arriba de 0.496 m, superior al valor obtenido en HEC-RAS es 0.24 m, debido principalmente al incremento de la rugosidad hidráulica asociado a la vegetación de la cuneta verde. No obstante, la velocidad del flujo se redujo de 1.40 m/s en el sistema convencional a 0.90 m/s en el sistema SUDS, evidenciando una importante disipación de energía. El número de Froude disminuyó de 1.02 en

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

HEC-RAS, cercano a un régimen crítico, a 0.43 en InfoDrainage, confirmando un régimen subcrítico más estable. Adicionalmente, la cuneta verde logró almacenar un volumen máximo de 70.390 m³, con una infiltración acumulada de 1.661 m³, lo que permitió reducir el caudal máximo descargado de 0.70 m³/s a 0.696 m³/s, contribuyendo a la regulación del caudal máximo durante el evento de diseño.

En el Tramo 2, que presentó el mayor caudal de ingreso es 0.849 m³/s, los resultados mostraron un comportamiento similar. El tirante aguas arriba en InfoDrainage fue de 0.492 m, frente a 0.27 m en HEC-RAS, mientras que la velocidad del flujo disminuyó de 1.45 m/s a 1.09 m/s. El número de Froude se mantuvo en un rango subcrítico en el sistema SUDS de 0.43, en contraste con valores cercanos a la condición crítica en HEC-RAS de 0.90–1.01. Este tramo destacó por presentar el mayor volumen de almacenamiento temporal, alcanzando 112.253 m³, y una infiltración acumulada de 2.682 m³, lo que permitió reducir el caudal máximo descargado a 0.846 m³/s, en comparación con los 0.849 m³/s del sistema convencional. Asimismo, el porcentaje de capacidad disponible fue del 6 %, lo que indica que el sistema opera dentro de márgenes hidráulicos seguros incluso bajo condiciones de alta precipitación.

En el Tramo 3, correspondiente al menor caudal de ingreso de 0.241 m³/s, la cuneta verde presentó un tirante aguas arriba de 0.346 m, superior al obtenido en HEC-RAS de 0.21 m, pero con una velocidad de flujo considerablemente menor de 0.83 m/s frente a 1.15 m/s. El número de Froude se redujo de valores cercanos a la transición crítica de 0.99–1.01 a un régimen claramente subcrítico de 0.50. En este tramo se registró un volumen máximo almacenado de 38.656 m³ y una infiltración de 1.482 m³, logrando una atenuación del caudal máximo descargado de 0.24 m³/s a 0.239 m³/s. El porcentaje de capacidad disponible alcanzó el 11 %, reflejando una mayor holgura hidráulica del sistema.

De manera global, los tres tramos evidencian que la implementación de cunetas verdes incrementa la capacidad de retención, almacenamiento e infiltración del sistema de drenaje

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

urbano, procesos que no son representados en modelos hidráulicos convencionales como HEC-RAS. La reducción sistemática de las velocidades de flujo, la atenuación del caudal pico y el mantenimiento de un régimen subcrítico en todos los tramos analizados contribuyen directamente a disminuir el riesgo de desbordamientos e inundaciones en la Av. 54, DCC.

El sistema tradicional de drenaje es funcional pero limitado en sostenibilidad, ya que su enfoque se centra únicamente en evacuar el agua pluvial, generando sobrecargas durante lluvias intensas. En cambio, al complementase con cunetas verdes representó una alternativa moderna y eficiente, que no solo redujo los caudales pico y el volumen de descarga, sino que además mejoró la calidad del agua, favoreció la infiltración y aportando beneficios ecológicos y urbanísticos significativos.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

RECOMENDACIONES

- En concordancia con los resultados obtenidos, se recomienda que la cuneta verde propuesta sea considerada sirviendo como apoyo al drenaje pluvial convencional de la Av. 54, y no como un sustituto inmediato. Esta integración permitiría optimizar el desempeño hidráulico global del sistema, aprovechando los procesos de almacenamiento e infiltración identificados en la modelación hidrológica e hidráulica.
- Dado que la investigación confirmó que las cunetas verdes presentan un desempeño equilibrado en términos hidráulicos, económicos y operativos, se recomienda priorizar su uso en infraestructuras viales extensas y continuas, como avenidas principales y separadores centrales, donde las soluciones puntuales presentan limitaciones espaciales y funcionales.
- Considerando que el incremento del tirante observado en los modelos está asociado a la mayor rugosidad generada por la vegetación, se recomienda que futuros diseños incorporen este factor desde la etapa de pre-dimensionamiento, asegurando márgenes de seguridad hidráulica adecuados y evitando interpretaciones erróneas sobre el desempeño del sistema.
- En función de las diferencias identificadas entre InfoDrainage y modelos hidráulicos convencionales, se recomienda que los proyectos que incorporen SUDS empleen herramientas de simulación capaces de representar procesos como infiltración, almacenamiento temporal y control de caudales pico, los cuales no son adecuadamente reproducidos por modelos unidimensionales tradicionales.
- Dado que las cunetas verdes demostraron requerimientos de mantenimiento menores en comparación con otras tipologías evaluadas, se recomienda establecer programas de mantenimiento preventivo enfocados principalmente en el control de vegetación y

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

remoción de sedimentos, con el objetivo de conservar las condiciones hidráulicas de diseño a lo largo del tiempo.

- Considerando la carencia de una normativa particular para SUDS en el contexto peruano, se recomienda que las entidades competentes promuevan la incorporación progresiva de criterios de drenaje sostenible dentro de las normas técnicas vigentes, tomando como referencia experiencias internacionales adaptadas a las condiciones climáticas y urbanas locales.
- Finalmente, se recomienda que la metodología multicriterio y el enfoque de modelación empleados en esta investigación sean aplicados en otras zonas urbanas del distrito de Cerro Colorado con problemáticas similares, permitiendo optimizar la elección de tipos de SUDS y fortalecer la planificación de un sistema de drenaje pluvial urbano más resiliente.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

REFERENCIAS

ANA. (2019). *Ley de los Recursos Hídricos: Ley No 29338 | Drupal*. https://www.ana.gob.pe/publicaciones/ley-no-29338-ley-de-recursos-hidricos

Bodylevskaya, M. (2025). *Proposing and Demonstrating a Toolbox for Designing Bioswales and Evaluating their Impact on Sustainability Using Building Information Modelling (BIM): A Case Study Of Breitscheidstraße, Stuttgart*. Smart City Solutions (Master).

Breña, A., & Jacobo, M. (2013). *Principios y Fundamentos de Hidrología Superficial. Universidad Autónoma Metropolitana.* https://agua.org.mx/biblioteca/principios-y-fundamentos-de-la-hidrologia-superficial/

Butler, D., Digaman, C., Makropoulos, C., & Davies, J. (2018). *Urban Drainage* (4ta Edicón). https://doi.org/10.1201/9781351174305

C. d. A. y. O. d. P. d. Á. M. d. S. (2021). *Resumen Ejecutivo de la Guía Técnica para el diseño de SUDS en el AMSS*.

Campos, L. (2023). *Arequipa: Reportan alta incidencia de atoros de desagüe en 5 distritos. El Búho. Recuperado el 12 de julio del 2024.* https://elbuho.pe/2023/02/arequipa-reportan-alta-incidencia-de-atoros-de-desague-en-5-distritos-video/

Carrere, M. (2021). *Informe del IPCC sobre cambio climático: daños causados al planeta son irreversibles y la humanidad es la responsable. MONGABAY. Recuperado el 20 de julio del 2024.* https://es.mongabay.com/2021/08/informe-ipcc-cambio-climatico-calentamiento-global/

Castillo-Acosta, Y., Cárdenas-Pillco, B., & Chanove-Manrique, A. (2025). Assessment of Pluvial Flood Mitigation Ecosystem Service in a Riverside City Using the Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs Model for Ecological Corridor Mapping. *Water*, *17*(2). https://doi.org/10.3390/w17020143

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Chapman, C., & Hall, J. W. (2022). Designing green infrastructure and sustainable drainage systems in urban development to achieve multiple ecosystem benefits. *Sustainable Cities and Society*, *85*. https://doi.org/10.1016/j.scs.2022.104078

Chen, B., & Chui, T. F. M. (2025). A review on implementing sustainable drainage systems in sloping environments: understanding, approaches, and opportunities. *Journal of Hydrology*, *661*, 133577. https://doi.org/10.1016/J.JHYDROL.2025.133577

Chow, V. Te. (1985). *Hidraulica De Canales Abiertos*. https://www.udocz.com/apuntes/10448/ven-te-chow---hidraulica-de-canales-abiertos

CIIA. (2016). *Investigación de las tipologías y/o tecnologías de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) que más se adapten a las condiciones de la ciudad de Bogotá D.C. Universidad de los Andes*. https://www.ambientebogota.gov.co/documents/10184/3798716/Normativa+-+Gu%C3%ADa+tecnica+SUDS.pdf/ac5d9122-f5aa-4c48-9e61-aeb0f889dadf

CIRIA. (2015). *The SUDS Manual* (B. Woods Ballard, S. Wilson, H. Udale-Clarke, S. Illman, T. Scott, & Rk. R. Ashley, Eds.). CIRIA – Construction Industry Research and Information Association. https://www.ciria.org/ItemDetail?iProductCode=C753F&Category=FREEPUBS

CIRIA. (2016). *The SuDS manual update: SuDS construction specification clauses (Paper RP992/16)*.

D'Ambrosio, R., & Longobardi, A. (2023). Adapting drainage networks to the urban development: An assessment of different integrated approach alternatives for a sustainable flood risk mitigation in Northern Italy. *Sustainable Cities and Society*, *98*. https://doi.org/10.1016/j.scs.2023.104856

EAB-ESP. (2016). *Guía técnica de diseño y construcción de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS)*.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Elahi, S. H., Jamieson, S., & Muhandes, S. (2025). Revolutionizing Flood and CSO Management with Advanced Machine Learning Surrogate Models. *World Environmental and Water Resources Congress 2025: Cool Solutions to Hot Topics - Proceedings of World Environmental and Water Resources Congress 2025*, 486 – 494. https://doi.org/10.1061/9780784486184.044

Figueroa-Avalos, S. J., Correa-Fuentes, D. A., Gutiérrez-Valencia, J. A., López-De-la-cruz, J., & Barajas-ávalos, I. (2024). Evaluation of rain barrels and green roofs for flood mitigation in a warm sub-humid climate - state of colima, mexico | avaliação de barris de chuva e telhados verdes para mitigação de enchentes em clima quente subúmido, estado de Colima, México. *Habitat Sustentable*, *14*(2), 86–97. https://doi.org/10.22320/07190700.2024.14.02.07

Galicia, V. (2020). *Propuesta de diseño tecnológico de una banqueta retenedora de agua pluvial empleando un panel con arreglo fractal como Sistema Urbano de Drenaje Sostenible [Tesis de maestría, Universidad Autónoma del Estado de México]. Repositorio Institucional UAEM.* http://ri.uaemex.mx/handle/20.500.11799/109719

Gaspari, F., Senisterra, G., Delgado, M., Rodriguez, V., & Besteiro, S. (2010). *Manual de Manejo de Cuencas Hidrográficas*. https://www.libros.unlp.edu.ar/index.php/unlp/catalog/view/1290/1272/4177-1

Godyń, I., Grela, A., Muszyński, K., & Pamuła, J. (2024). The Impact of Green Infrastructure on the Quality of Stormwater and Environmental Risk. *Sustainability Switzerland*, *16*(19). https://doi.org/10.3390/su16198530

Government of Malasya, D. o. I. a. D. (2012). *Urban Stormwater Management Manual for Malaysia*. https://orcid.org/

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Haddad, H., Bryden, J., & Connop, S. (2025). Practitioner Perceptions of Mainstreaming Sustainable Drainage Systems (SuDS): A Mixed Methods Study Exploring Direct Versus Indirect Barriers. *Sustainability*, *17*(5). https://doi.org/10.3390/su17052093

Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la Investigación - 6ta Edición*. MEXICO: McGRAW-HILL. https://www.paginaspersonales.unam.mx/app/webroot/files/981/Investigacion_sampieri_6a_ED.pdf

Hernandez Sampieri, R., & Mendoza Torres, C. (2022). *Metodología de La Investigación - 7ma Edición*. https://es.scribd.com/document/905292221/Metodologia-de-La-Investigacion-7ma-Ed-Hernandez-Sampieri-Bibliotecadelfriki-site-1

INDECI. (2011). *LEY No 29664. Ley que crea el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (SINAGERD)*. https://www.gob.pe/institucion/indeci/informes-publicaciones/2370524-ley-n-29664-ley-del-sistema-nacional-de-gestion-del-riesgo-de-desastres-sinagerd

INDECI. (2025). *Reporte complementario N.° 2951 – Reporte N.° 1: Lluvias intensas en el distrito de Cerro Colorado, Arequipa*. www.indeci.gob.pe

Javan, K., Banihashemi, S., Nazari, A., Roozbahani, A., Darestani, M., & Hossieni, H. (2025). Coupled SWMM-MOEA/D for multi-objective optimization of low impact development in urban stormwater systems. *Journal of Hydrology*, *656*, 133044. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2025.133044

Lähde, E., Dahlberg, N., Piirainen, P., & Rehunen, A. (2023). Ensuring Ecosystem Service Provision of Urban Water Nature-Based Solutions in Infill Areas: Comparing Green Factor for Districts and SWMM Modeling in Scenario Assessment. *Environmental Processes*, *10*(4), 61. https://doi.org/10.1007/s40710-023-00676-1

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Lezama, S., & Rodríguez, M. (2020). Una revisión de los Sistemas de Drenaje Urbano Sostenible (SUDS) aplicados a nivel mundial. [Tesis de título profesional, Universidad Cesar Vallejo]. Repositorio Institucional UCV. In *Repositorio Institucional - UCV*. https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/56412

Lima, M., & Quispe, L. (2018). *Evacuación de aguas pluviales aplicando técnica de drenaje urbano sostenible en la localidad de Alto Libertad. [Tesis de título profesional, Universidad Nacional de San Agustin]. Repositorio Académico UNSA.* https://repositorio.unsa.edu.pe/items/88621900-0107-43a2-babc-ee31fab1402f

Liu, W., Chen, J., Zhu, S., Li, H., & Duan, Z. (2025). Assessing carbon emission impacts of sponge city development: insights from runoff reduction analysis. *Water Science and Technology*, *91*(8), 923–945. https://doi.org/10.2166/wst.2025.046

López, J., & Villavicencio, R. (2021). Sistema urbano de drenaje sostenible para evitar inundaciones de origen pluvial mejorando áreas verdes, cruce Av. Mateo Pumacahua – Av. Separadora Industrial, Distrito Villa El Salvador. [Tesis de título profesional, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas]. Repositorio Académico UPC. In *Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC)*. https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/657404

MDCC. (2018). *Plan de prevención y reducción de riesgo de desastres del Distrito de Cerro Colorado 2019 - 2026 | SIGRID*. https://sigrid.cenepred.gob.pe/sigridv3/documento/6216

MEF. (2022). *Plan Nacional de Infraestructura Sostenible para la Competitividad 2022 - 2025*. https://www.mef.gob.pe/index.php/es/?option=com_content&view=article&id=7549&Itemid=102369&lang=es

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Merlo, V., & Soto, G. (2021). Tipos de drenaje usados en ciudades importantes a nivel nacional e internacional: Una revisión sistemática. [Tesis de bachiller, Universidad Privada del Norte]. Repositorio Instituciona UPN. *Universidad Privada Del Norte*. https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/25914

Ministerio de Vivienda, C. y T. – C. (2022). *Guía metodológica para la formulación e implementación de sistemas urbanos de drenaje sostenible ministerio de vivienda ciudad y territorio departamento nacional de planeación*.

Ministerio para la Transición Ecológica. (2019). Guías de adaptación al riesgo de inundación: Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible. In *2018*. https://blogdelagua.com/documentacion/guias-de-adaptacion-al-riesgo-de-inundacion-sistemas-urbanos-de-drenaje-sostenible/

Mmachaka, T., Nel, M. A., Snow, B., & Adams, J. B. (2023). Reduction in pollution load to an urban estuary using a sustainable drainage system treatment train. *Marine Pollution Bulletin*, *194*, 115378. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2023.115378

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

MVCS. (2021a). *Modificación de la Norma Técnica OS.060 Drenaje Pluvial Urbano a Norma Técnica CE.040 Drenaje Pluvial del Reglamento Nacional de Edificaciones*. https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/2366728/CE.040%20DRENAJE%20PLUVIAL_RM%20126-2021-VIVIENDA.pdf

MVCS. (2021b). *Norma OS.100 Consideraciones Básicas de Diseño de Infraestructura Sanitaria*. https://www.saludarequipa.gob.pe/desa/archivos/Normas_Legales/saneamiento/OS.100.pdf

MVCS. (2021c). *NORMA TÉCNICA CE.040-DRENAJE PLUVIAL*. www.gob.pe/vivienda

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Niemczynowicz, J. (1999). Urban hydrology and water management - present and future challenges. *Urban Water*, *1*, 1–14. https://doi.org/10.1016/S1462-0758(99)00009-6

Ojeda de la Cruz, A., Álvarez Chávez, C. R., & Orona Llano, D. C. (2020). Drenaje pluvial sostenible. Una alternativa de gestión del agua de lluvia en la Universidad de Sonora. *CONTEXTO. Revista de La Facultad de Arquitectura de La Universidad Autónoma de Nuevo León*, *14*(20), 53–69. https://doi.org/10.29105/contexto14.20-4

OMM. (2021a). *Atlas de la OMM sobre mortalidad y pérdidas económicas debidas a fenómenos meteorológicos, climáticos e hidrológicos extremos*.

OMM. (2021b). *Los fenómenos peligrosos relacionados con el agua son los grandes causantes de los desastres de los últimos 50 años*.

Pangetsu, M. E. (2023, February 6). *Para enfrentar directamente la crisis climática, nuestro enfoque sobre el almacenamiento de agua debe cambiar. Banco Mundial Blogs. Recuperado el 5 junio del 2024.* https://blogs.worldbank.org/es/voices/enfrentar-crisis-climatica-nuestro-enfoque-sobre-el-almacenamiento-de-agua-debe-cambiar

Perales, S., & Doménech, I. (2008). *Los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible: Una Alternativa a la Gestión del Agua de Lluvia*. https://www.researchgate.net/publication/237213737

Rosser, J. (1964). *Flow of water in a channer linded with kikuyu grass*.

Sanguino, S., & Gómez, C. (2020). *Análisis beneficio costo de la implementación de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenibles (SUDS) en cuencas urbanas de uso residencial en la ciudad de Bogotá. [Tesis de especialización, Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito]. Repositorio Institucional ECIJG.* https://repositorio.escuelaing.edu.co/handle/001/1126

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Saraguro, G. (2023). *Aplicación de suds para el control del riesgo de inundaciones en vías urbanas. [Tesis de título profesional, Universidad Técnica de Machala]. Repositorio Institucional UTMACH*. http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/22004

Seyedashraf, O., Bottacin-Busolin, A., & Harou, J. J. (2021). Many-Objective Optimization of Sustainable Drainage Systems in Urban Areas with Different Surface Slopes. *Water Resources Management 2021 35:8*, *35*(8), 2449–2464. https://doi.org/10.1007/S11269-021-02840-4

Suárez, J., Puertas, J., & Anta, J. (2010). Nuevas estrategias de gestión sostenible del agua en medio urbano. *Spanish Journal of Rural Development*, *1*(1), 1–24. https://doi.org/10.5261/2010.ESP1.01

Tarazona Tobo Leidy - Bonilla-Granados, C. A.-R. S. J. P. (2021). *Sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS) una alternativa integral para el manejo de las aguas lluvias*. https://repositorio.ufps.edu.co/handle/ufps/1124

Tecniplant. (2022, September 28). *Gestión de Aguas Pluviales: Qué es y cómo tratarlas en sitios industriales. Tecniplant. Recuperado el 21 de julio del 2024.* https://www.tecniplant.it/es/gestion-de-aguas-pluviales-que-es-y-como-tratarlas-en-sitios-industriales/

Thouret, J.-C., Enjolras, G., Martelli, K., Santoni, O., Luque, J. A., Nagata, M., Arguedas, A., & Macedo, L. (2013). Combining criteria for delineating lahar- and flash-flood-prone hazard and risk zones for the city of Arequipa, Peru. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, *13*(2), 339–360. https://doi.org/10.5194/nhess-13-339-2013

Ticahuanca, J. (2022). Diseño de un sistema de drenaje pluvial sostenible en dos asociaciones de vivienda del distrito Gregorio Albarracín, Tacna, 2022. [Tesis de título profesional, Universidad Privada de Tacna]. Repositorio Institucional UPT. In *Articulo de Financial Distress*. http://hdl.handle.net/20.500.12969/2469

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tota-Maharaj, K., Ajibade, O. O., Arachchi, S., Hills, C. D., & Rathnayake, U. (2025). Sustainable drainage systems (SuDS) for rainwater harvesting and stormwater management in temporary humanitarian settlements. *Nature Based Solutions*, *7*. https://doi.org/10.1016/j.nbsj.2025.100227

Valdivia, A. (2024). *Diseño de un sistema urbano de drenaje sostenible en el distrito de Huancayo – Región de Junín con adaptación a escenarios climáticos y modificación de la Norma Técnica Peruana CE.040. [Tesis de título profesional, Pontifica Universidad Católica del Perú]. Repositorio Institucional PUCP*. https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio//handle/20.500.12404/26888

Valencia-Félix, S., Anco-Valdivia, J., Espinoza Vigil, A. J., Hidalgo Valdivia, A. V., & Sanchez-Carigga, C. (2024). Review of Green Water Systems for Urban Flood Resilience: Literature and Codes. *Water*, *16*(20). https://doi.org/10.3390/w16202908

Vilca-Campana, K., Carrasco-Valencia, L., Iruri-Ramos, C., Cárdenas-Pillco, B., Escudero, A., & Chanove-Manrique, A. (2025). Improving Urban Flood Resilience: Urban Flood Risk Mitigation Assessment Using a Geospatial Model in the Urban Section of a River Corridor. *Water*, *17*(7). https://doi.org/10.3390/w17071047

Wang, J., Garg, A., Huang, S., Mei, G., Liu, J., Zhang, K., & Gan, L. (2021). The rainwater retention mechanisms in extensive green roofs with ten different structural configurations. *Water Science and Technology*, *84*(8), 1839–1857. https://doi.org/10.2166/WST.2021.413

Xue, C., Xiong, F., Li, J., Li, X., Li, J., Wang, Y., Li, X., & Cui, Z. (2025). Economic feasibility assessment and parameter sensitivity analysis of rainwater harvesting systems in different climatic zones of China. *Water Energy Nexus*, *8*, 6–17. https://doi.org/10.1016/j.wen.2025.01.001

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Zhang, Y. (2024). SUDS: New solution for urban flooding. *Applied and Computational Engineering*, *58*(1), 283–288. https://doi.org/10.54254/2755-2721/58/20240734

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

ANEXOS

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Anexos 1

Estudio de suelos del expediente técnico de la obra "Mejoramiento de la vía de integración avenida 54 en el Cono Norte"

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

FOLIO 00247

INGECONSA
Av. Sepúlveda 522-Miraflores
Telf. 282708-9727624

ESTUDIO DE SUELOS

1.0 ANTECEDENTES

Por encargo de la Subgerencia de Formulacion y Evaluacion de Proyectos de Inversión Publica del Gobierno Regional de Arequipa, se ah realizado la presente evaluacion geologica-estratigrafica y el estudio geotecnico pertinente de los suelos, tramo comprendido entre el km 0+000 al km 5+140, del Proyecto Mejoramiento de la Via de Integración Av. 54 del Cono Norte-Cerro Colorado.

Dicha información servirá para tener el conocimiento de las estructuras geológicas, y de caracterización de la formación de los suelos.

2.0 UBICACION

El perfil investigado se realizo a lo largo del tramo de vía de la carretera mencionada. Este proyecto se encuentra ubicado en el distrito de Cerro Colorado, del Cono Norte, provincia y departamento de Arequipa.

3.0 OBJETIVOS

Los objetivos específicos que se tienen con estos trabajos es la de evaluar la litología estratigráfica y por ende geotécnica del subsuelo y del perfil geológico, a lo largo del trazo de la vía, de la clase y caracteristicas de los materiales existentes; esta información servirá para efectuar el Diseño de Pavimentos.

Para obtener tal información se hicieron evaluaciones visual y por muestreo, el primero, en los cortes existentes de las quebradas y causes; y el segundo sobre calicatas abiertas en un numero de tres, C-01, C-02 y C-03, km 0+560, km 1+960, y km 3+260, respectivamente (véase fotografías de calicatas).

La profundidad de muestreo o de investigación fue de 1.30 m, que se considero una profundidad ideal, ya que a partir de esta profundidad los esfuerzos o cargas transmitidas por los pesos de los vehículos se hacen inapreciables.

Se extrajeron muestras de los materiales, alteradas e inalteradas y por estratos; esto, para determinar sus caracteristicas fisico-mecánicas de cada una de ellas.

INGECONSA
Ing. Edgard Méndez Jiménez
Responsable Técnico
CONTROL DE CALIDAD

Ing. Dasmo Alarcón Méndez
CONSULTOR
Aguas y Geotecnia
Reg. CIP. 37059

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Km 2+450 – 4+500	Aluviales recientes, que se emplazan sobre una extensa planicie de suave pendiente, compuesto por material gravoso, arenoso y finos, de color gris, algo compacto. Estos aluviales tambien descansan sobre Volcánico Sencca. En el km. 2+450 se produce un cambio de materiales de caracteristicas mucho mas granular, que la anterior descrita. En el km. 3+260 se excavo la calicata C-03 (ver perfil).
Km 4+500 – 5+140	Cause. Del km. 4+350 se extiende una capa de flujos de barro, que yasen sobre los aluviales. Estos flujos son de caracteristica granular, con arena y limos, en una matriz areno-tufasea y arcilla, contiene fragmentos y bloques angulares.

6.0 CARACTERISTICAS GOTECNICAS DE LOS ESTRATOS

En base a la exploración e investigación de los suelos, se a establecido las siguientes características geotécnicas:

Calicata: C-01

	Estrato I	Estrato II	Estrato III	Estrato IV
1. Peso Muestra en Aire (gr)	105.1	42.3	165.9	103.2
2. Peso Muestra en Aire (gr)	45.9	12.0	69.3	49.3
3. Peso Especifico Relativo	1.775	1.396	1.717	1.915
4. Peso de Muestra Natural (gr)	116.0	47.0	180.0	114.0
5. Peso de Muestra + Parafina (gr)	117.0	48.1	187.0	114.8
6. Peso de Parafina (gr)	1.0	1.1	7.0	0.8
7. Densidad de Parafina (gr/cm3)	0.87	0.87	0.87	0.87
8. Volumen de Parafino (cm3)	1.15	1.26	8.05	0.92
9. Volumen de Muestra + Parafina (cm3)	65.92	34.46	108.91	59.95
10. Volumen Muestra (cm3)	64.77	33.20	100.86	59.03
11. Peso Muestra Seca (gr)	113.1	46.00	176.2	112.4
12. Densidad Seca (gr/cm3)	1.746	1.386	1.747	1.904
13. Densidad Húmeda (gr/cm3)	1.791	1.416	1.785	1.931
14. Humedad Natural (%)	2.56	2.17	2.16	1.42
15. Índice de Porosidad (e)	0.10	0.096	0.04	0.09
16. Porosidad (% n)	9.38	8.73	4.22	8.68

Grava = 1.0 % a 7.0 % LL=NP CLASIFICACION = SM
Arena = 81 % a 93 % LP=NP
Densidad Máxima = 1.720 gr/cm3 CBR = 33.2 %
Optima Humedad = 15.57 %

INGECONSA
Ing. Edgard Mendez Jiménez
Responsable Técnico
CONTROL DE CALIDAD

Ing. Daino Alarcón Mendez
CONSULTOR
Aguas y Geotecnia
Reg. CIP. 37089

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

00242

Km 0+000 – 0+370,	Rose y limpieza de la subrasante
0+440 – 0+500	Rose y limpieza de la subrasante
Km 0+500 – 0+630	Mejoramiento de la subrasante, hasta -0.30 m. de espesor
Km 0+630 – 0+680	Rose y limpieza de la subrasante
Km 1+040 – 1+280	Reemplazar materiales por otros de préstamo.
Km 1+420 – 1+530	Rose y Limpieza de la subrasante
Km 1+660 – 1+770	Mejoramiento o reemplazo del material de subrasante
Km 1+880 – 2+130	Mejoramiento o reemplazo del material de subrasante
Km 2+420 – 2+450	Mejoramiento o reemplazo del material de subrasante
Km 2+450 – 4+500	Refinar y limpiar la subrasante

En el fondo de las quebradas o cause, hay que hacer un rose y limpieza del suelo de fundación antes de colocar todo material de relleno.

7.0 CAPACIDAD DE SOPORTE DEL SUELO ESTUDIADO

El suelo de fundación a nivel de subrasante no es muy homogéneo, longitudinal y transversalmente en cuanto a la ubicación y espesores de los estratos de los aluviales con los piroclasticos, de manera que, del km 0+000 – km 2+450 debe mejorarse o cambiarse el material con otro de granulometria gruesa y tener o alcanzar una mayor capacidad de soporte.

El CBR calculado en las calicatas C-01 y C-02 es del orden de 33.2 % y 20.5 %, respectivamente, al 95 %. Los suelos son de caracteristicas NP, con un limite liquido de 28.20 %, pero tenemos un pasante por la malla N° 200 de 15.0 % a 19.0 %.

Del km 2+450, 4+500, es un suelo de fundación muy bueno, con un CBR= 87.5 % al 95 %; los suelos son de caracteristicas NP, calicata C-03.

En el fondo de las quebradas o causes, el suelo de fundación es mucho mas compacto, con grava, arena y limos, con un buen porcentaje de boloneria.

8.0 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De las evaluaciones geológicas del perfil del trazo de la carretera se concluye que, el trazado de la carretera esta constituido por materiales aluviales, piroclasticos, eolicos que descansan sobre el Volcánico Sencca, y que tienen espesores de 0.20 m. a mas de 5.0 m., para los materiales cuaternarios.

Si los piroclasticos se encuentran por debajo de la subrasante a -0.50 m. debe mejorarse la subrasante y si se encuentran casi aflorando, se deben cambiar estos materiales por otro de préstamo.

Los suelos eolicos deben cambiarse por otro de cantera, como es el caso del km 1+480.

Los suelos del km 0+000 – 2+450 contienen un buen porcentaje de limos, que no estaran sujetos a hinchamientos por capilaridad, porque en estas zonas no existen afloramiento de

INGECONSA

Ing. Edgard Mendez Jiménez
Responsable Técnico
CONTROL DE CALIDAD

Ing. Daino Alarcón Méndez
CONSULTOR
Aguas y Geotecnia
Reg. CIP. 37089

Responsable
CONTROL DE CALIDAD

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

REGISTRO DE CALICATA Nº C-02

PROYECTO: MEJORAMIENTO VIA INTEGRACION AV. 54 CONO NORTE	EJECUTOR: GOBIERNO REGIONAL AREQUIPA
Nº MUESTRA: C-02 km 1+960	PROFUNDIDAD: 1.25 m — ESPESOR:
LABORATORISTA: E.M.J.	FECHA: 13/08/07 — OBS.:

PROFUNDIDAD (m.)	CLASIFICACIÓN ASTM-SUCS	CLASIFICACIÓN ILUSTRACIÓN	DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL (REGISTRO DEL CAMPO)	GEOLOGÍA	RESULTADOS DE LOS ENSAYOS: ANÁLISIS GRANULOMETRI. Material > 7.62 cm. 1 < 0.002 mm 2 < 0.074 mm. 3 < 4.76 mm (20 40 60 80%)	PIEDRAS > 10 cm. (10%)	X HUMEDAD Material < 7.62 cm. Límites de consistencia Material < 0.42 mm. (10 20 30%)	PESO ESPECÍFICO gr/cc	DENSIDAD DE CAMPO %	PROCTOR MATERIAL: 4.76 mm. DENSIDAD SECA gr/cc	PROCTOR MATERIAL: 4.76 mm. OPTIMA HUMEDAD %
0.46	SW		Suelo superior compacto, matriz arenosa-limosa, con poco porcentaje de grava, de color marrón oscuro; tiene un espesor de 15 cm a 46 cm.	Q-al			3.2% X	D_{30}: 1.69 D_{60}: 1.75			
0.72			Estrato de 15 cm a 26 cm, compacto, se puede extraer en grumos, se desintegra a la presión de los dedos, es de color beige, tiene intercalaciones de estratos pequeños de 5 cm de espesor de arena muy fina de color gris oscuro, no tiene grava.	Q-al			2.0% X	D_{30}: 1.61 D_{60}: 1.64			
1.05			Estrato de 15 cm a 35 cm, arena volcánica, con pómez de color : blanco, algo compacto.	D_{30} - pl			2.9% X	D_{30}: 1.005 D_{60}: 1.034			
1.25			Por debajo de 1.0 m de profundidad se presenta un material con grava, algo compacto, de color beige claro, matriz arenosa-limosa.	Q-al			0.3% X	D_{30}: 1.705 D_{60}: 1.71 1.61		1.577	19.20

INGECONSA

Ing. Edgard Mendez Jimenez
Responsable Técnico

Ing. Daino Alarcón Alvarez
CONSULTOR
Aguas y Geotecnia
Reg. CIP. 37089

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REGISTRO DE CALICATA N° C-03

PROYECTO: MEJORAMIENTO VIA INTEGRACION AV. 54 CONO NORTE

EJECUTOR: GOBIERNO REGIONAL AREQUIPA

Nº MUESTRA: C-03 km 3+260 PROFUNDIDAD: 1.25 m ESPESOR:

LABORATORISTA: E.M.J. FECHA: 13/08/07 OBS.:

PROFUNDIDAD (m.)	CLASIFICACIÓN ASTM-SUCS	CLASIFICACIÓN ILUSTRACIÓN	DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL (REGISTRO DEL CAMPO)	GEOLOGÍA	RESULTADOS DE LOS ENSAYOS: ANÁLISIS GRANULOMETRI. Material > 7.62 cm. 1 < 0.002 mm ◎ 2 < 0.074 mm. ◎ 3 < 4.76 mm ◎ (20 40 60 80%)	PIEDRAS > 10 cm. 10%	X HUMEDAD Material < 7.62 cm. ⟷ Límites de consistencia △ Material < 0.42 mm. (10 20 30%)	PESO ESPECÍFICO gr/cc	DENSIDAD DE CAMPO %	PROCTOR MATERIAL: 4.76 mm. DENSIDAD SECA gr/cc	PROCTOR MATERIAL: 4.76 mm. OPTIMA HUMEDAD %
1.25	A - 1 - b		Aluviales recientes, constituido sobre una extensa llanura o pampa. Material de característica granular-arenosa, graves, arenas y limos, poco consolidados, de color gris. Este estrato descansa sobre el Volcánico Sencca, y debe tener una buena potencia de espesor.	Q - al	◎³ ◎²		2.8% X; 3.2% X; NP; 26% △	D_s = 1.67 D_{sc} = 1.81 D_s = 1.83 D_{sc} = 1.94		1.83c	11.0c

INGECONSA

Ing. Edgard Mendez Jiménez
Responsable Técnico
CONTROL DE CALIDAD

Ing. Daino Alarcón Méndez
CONSULTOR
Aguas y Geotecnia
Reg. CIP. 37089

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

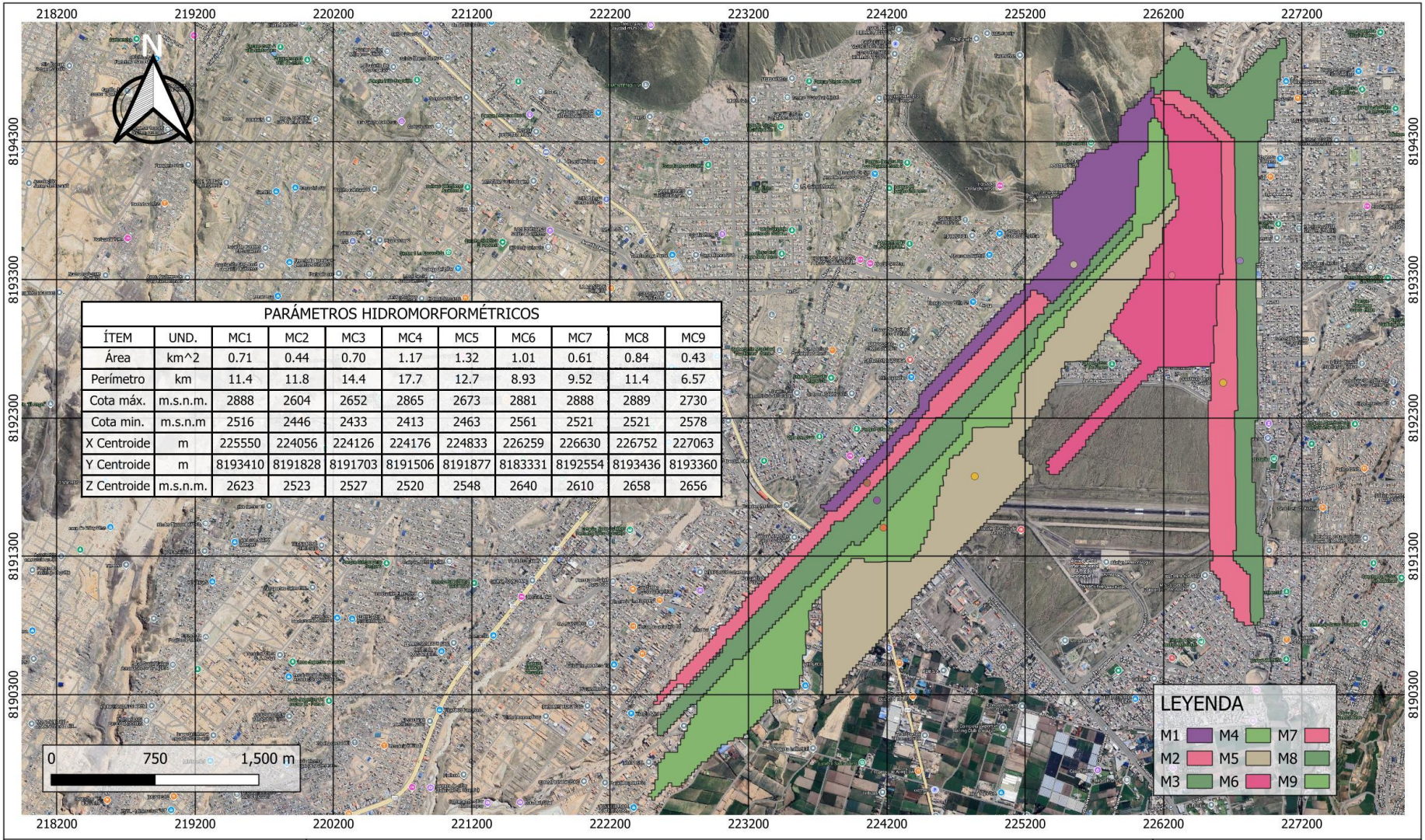
Anexos 2

Mapa de parámetros de las microcuencas

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM



PARÁMETROS HIDROMORFORMÉTRICOS

ÍTEM	UND.	MC1	MC2	MC3	MC4	MC5	MC6	MC7	MC8	MC9
Área	km^2	0.71	0.44	0.70	1.17	1.32	1.01	0.61	0.84	0.43
Perímetro	km	11.4	11.8	14.4	17.7	12.7	8.93	9.52	11.4	6.57
Cota máx.	m.s.n.m.	2888	2604	2652	2865	2673	2881	2888	2889	2730
Cota min.	m.s.n.m	2516	2446	2433	2413	2463	2561	2521	2521	2578
X Centroide	m	225550	224056	224126	224176	224833	226259	226630	226752	227063
Y Centroide	m	8193410	8191828	8191703	8191506	8191877	8183331	8192554	8193436	8193360
Z Centroide	m.s.n.m.	2623	2523	2527	2520	2548	2640	2610	2658	2656

MAPA DE PARÁMETROS DE LAS MICROCUENCAS

PROPUESTA DE MEJORAMIENTO EN EL MANEJO DE AGUAS PLUVIALES EMPLEANDO SISTEMA URBANO DE DRENAJE SOSTENIBLE (SUDS) EN LA AV. 54, DISTRITO DE CERRO COLORADO, AREQUIPA

REGIÓN: AREQUIPA	PROVINCIA: AREQUIPA	PROYECTISTAS: LESLIE BOBADILLA GUTIERREZ, CAMILA TORRES RIVERA
DISTRITO: CERRO COLORADO	DATUM: WGS 84 / ZONA 19S	PROVINCIA: AREQUIPA

M-01

UNIVERSIDAD CATÓLICA

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

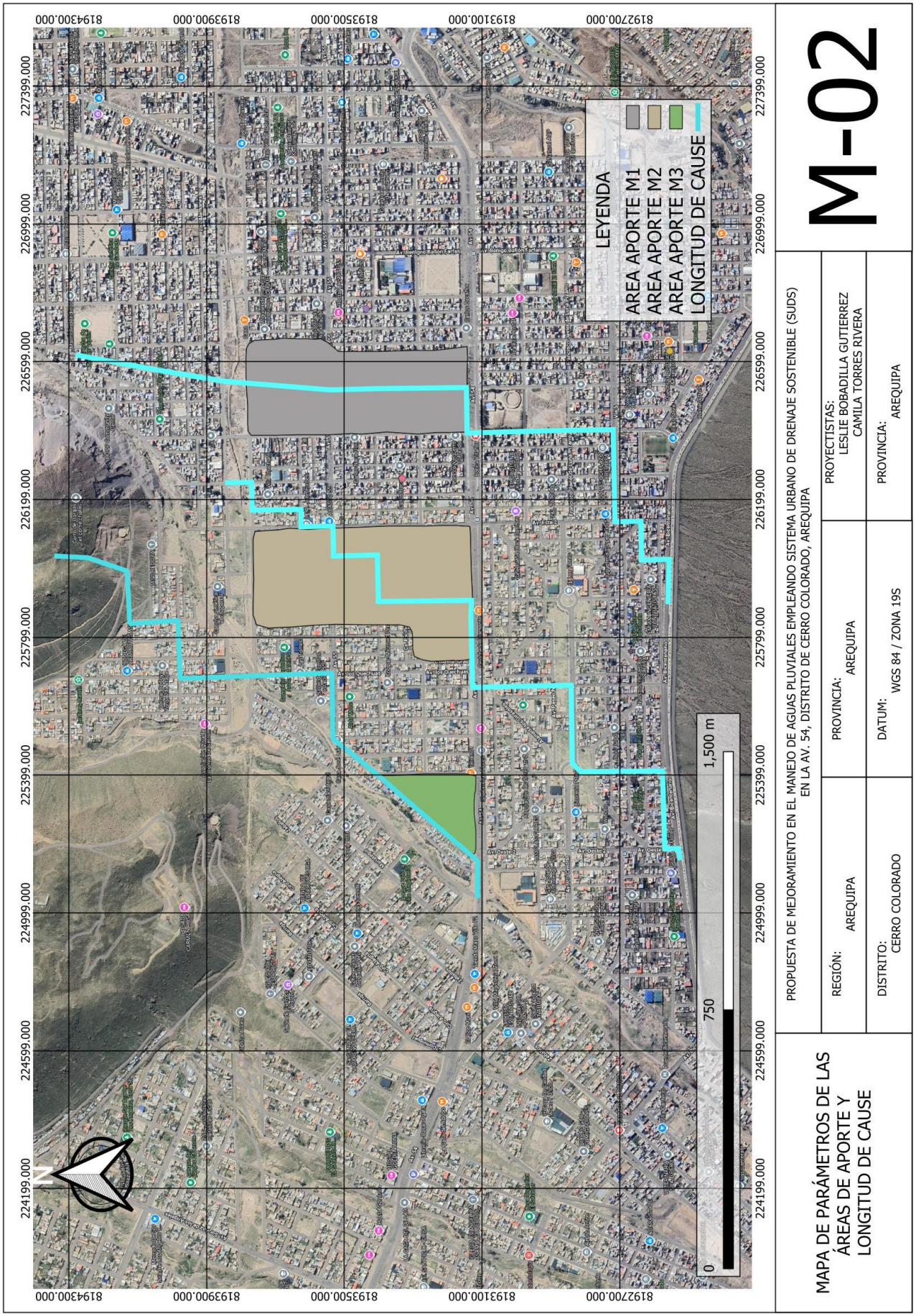
Anexos 3

Mapa de parámetros de las áreas de aporte y longitud de cause

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA



MAPA DE PARÁMETROS DE LAS ÁREAS DE APORTE Y LONGITUD DE CAUSE

PROPUESTA DE MEJORAMIENTO EN EL MANEJO DE AGUAS PLUVIALES EMPLEANDO SISTEMA URBANO DE DRENAJE SOSTENIBLE (SUDS) EN LA AV. 54, DISTRITO DE CERRO COLORADO, AREQUIPA

REGIÓN: AREQUIPA
PROVINCIA: AREQUIPA
PROYECTISTAS: LESLIE BOBADILLA GUTIERREZ, CAMILA TORRES RIVERA
DISTRITO: CERRO COLORADO
DATUM: WGS 84 / ZONA 19S
PROVINCIA: AREQUIPA

M-02

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

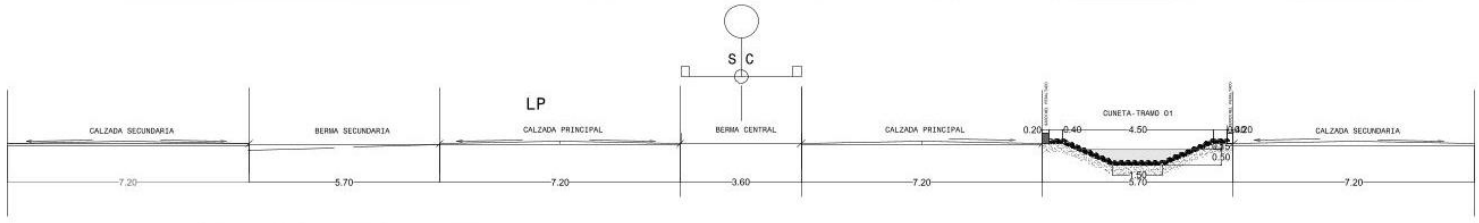
Anexos 4

Sección transversal de cunetas

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

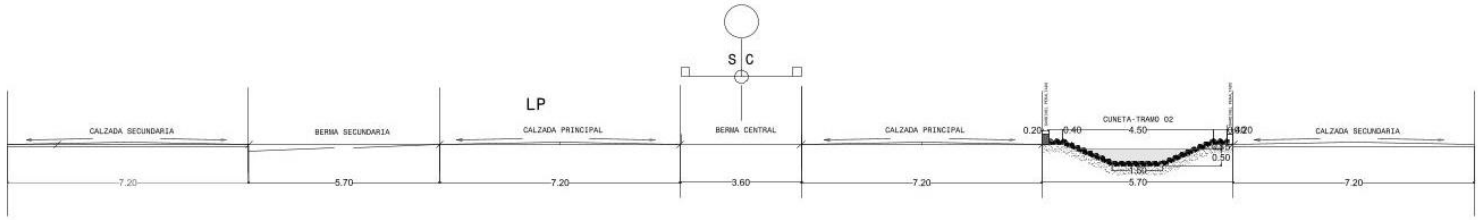
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS U
UNIVERSIDAD
A MARÍA



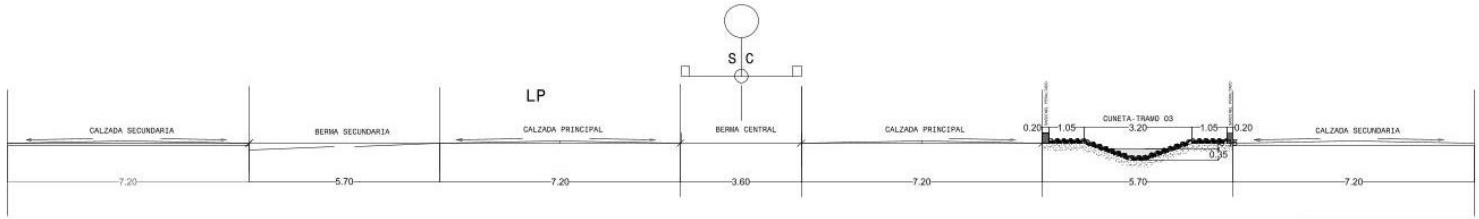
CUNETA - TRAMO 01

ESC: 1/200



CUNETA - TRAMO 02

ESC: 1/200



CUNETA - TRAMO 03

ESC: 1/200

PROYECTO: PROPUESTA DE MEJORAMIENTO EN EL MANEJO DE AGUAS PLUVIALES EMPLEANDO SISTEMA URBANO DE DRENJAE SOSTENIBLE (SUDS) EN LA AV.54, DISTRITODE CERRO COLORADO, AREQUIPA	PROYECTISTAS: - LÉSLIE BOBADILLA GUTIERREZ - CAMILA TORRES RIVERA
ESPECIALIDAD: ESTRUCTURAS	UBICACIÓN: Departamento: AREQUIPA Provincia: AREQUIPA Distrito: CERRO COLORADO
PLANO: SECCIÓN TRANSVERSAL DE CUNETAS	FECHA: Diciembre 2025
	LÁMINA: M-03