



UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

TEMA:

“ESTUDIO DE INUNDACIONES Y PROPUESTA DE UN SISTEMA DE ALCANTARILLADO PLUVIAL MEDIANTE EL USO DE SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG), EN EL BARRIO PERÚ DE LA COMUNA EL MORRILLO, CANTÓN SANTA ELENA”

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

AUTORES:

RICARDO REYES DIMAS ISAÍAS

TUTOR:

Ing. GUIDO MOISÉS ORTIZ SAFADI Mg.

La Libertad – Ecuador

2025 - 2



UPSE

**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

TEMA:

“ESTUDIO DE INUNDACIONES Y PROPUESTA DE UN SISTEMA DE ALCANTARILLADO PLUVIAL MEDIANTE EL USO DE SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG), EN EL BARRIO PERÚ DE LA COMUNA EL MORRILLO, CANTÓN SANTA ELENA”

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

AUTORES:

RICARDO REYES DIMAS ISAÍAS

TUTOR:

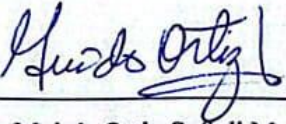
Ing. GUIDO MOISÉS ORTIZ SAFADI Mg.

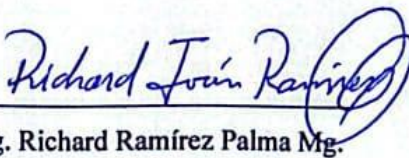
La Libertad - Ecuador

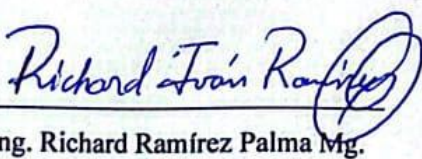
2025 - 2

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f. 
Ing. Lucrecia Moreno Alcívar PhD.
DIRECTOR DE CARRERA

f. 
Ing. Guido Moisés Ortiz Safadi Mg.
DOCENTE TUTOR

f. 
Ing. Richard Ramírez Palma Mg.
DOCENTE ESPECIALISTA

f. 
Ing. Richard Ramírez Palma Mg.
DOCENTE UIC

DEDICATORIA

Quiero dedicar este proyecto de tesis a mi familia que en este largo camino por la universidad estuvo alentándome hacia la meta, con su gran ayuda a nivel económico y moral, me permiten vivir junto a ellos esta importante etapa en mi vida universitaria. A su vez, una dedicatoria especial a mi novia, quien también fue parte fundamental en este proceso, ya que con su ayuda y motivación pude culminar muchos de los proyectos a lo largo de la carrera universitaria, y este no fue la excepción...


DIMAS ISAIAS RICARDO REYES

CERTIFICADO DE ANTIPLAGIO

En calidad de tutor del trabajo de investigación para titulación del tema “ESTUDIO DE INUNDACIONES Y PROPUESTA DE UN SISTEMA DE ALCANTARILLADO PLUVIAL MEDIANTE EL USO DE SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA, (SIG) EN EL BARRIO PERU DE LA COMUNA EL MORRILLO, CANTON SANTA ELENA”, elaborado por RICARDO REYES DIMAS ISAIAS, estudiante egresado de la Carrera de Ingeniería Civil, de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería, me permito declarar que una vez analizado en el sistema anti plagio COMPILATIO, luego de haber cumplido con los requerimientos exigidos de valoración, la presente Tesis, se encuentra con un 7% de la valoración permitida, por consiguiente se procede a emitir el presente informe.

Adjunto, reporte de similitud.

Atentamente:

f. 

Ing. Guido Moisés Ortiz Safadi Mg.

C.I. 0904149481

DOCENTE TUTOR

CERTIFICADO DE ANTIPLAGIO



CERTIFICADO DE ANÁLISIS
magister

TESIS DIMAS RICARDO REYES

7%
Textos sospechosos



- 0% Similitudes
0% similitudes entre comillas
0% entre las fuentes mencionadas
- 2% Idiomas no reconocidos
- 5% Textos potencialmente generados por la IA

Nombre del documento: TESIS DIMAS RICARDO REYES.pdf
ID del documento: 0fd47ce997ed22b48b7217fd4721927aa7292c90
Tamaño del documento original: 142,11 kB

Depositante: GUIDO MOISES ORTÍZ SAFADI
Fecha de depósito: 12/11/2025
Tipo de carga: interface
fecha de fin de análisis: 12/11/2025

Número de palabras: 3982
Número de caracteres: 25.592

Ubicación de las similitudes en el documento:

Resumen

Puntos de interés

Fuentes de similitudes

Textos sospechosos: 7%

Similitudes 0%

Pasajes con similitudes a fuentes encontradas en diferentes colecciones.

Incluido en el porcentaje

0 fuentes principales detectadas

Ver las fuentes

Detección de IA 5%

Textos estilísticamente próximos a un texto generado por una IA. Este índice es un indicador y no una prueba. Comprueba con el autor si domina los conocimientos mencionados en el documento.

Incluido en el porcentaje

Ver pasajes

Idiomas no reconocidos 2%

Pasajes en los que parte del vocabulario utilizado no forma parte del diccionario de la lengua. Puede tratarse de un intento del autor de modificar el texto para evitar ser detectado.

Incluido en el porcentaje

Ver pasajes

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo, **RICARDO REYES DIMAS ISAÍAS** declaro bajo juramento que el presente trabajo de titulación denominado **“ESTUDIO DE INUNDACIONES Y PROPUESTA DE UN SISTEMA DE ALCANTARILLADO PLUVIAL MEDIANTE EL USO DE SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA, (SIG) EN EL BARRIO PERU DE LA COMUNA EL MORRILLO, CANTON SANTA ELENA”**, no tiene antecedentes de haber sido elaborado en la Facultad de **CIENCIAS DE LA INGENIERÍA**, Carrera de **INGENIERÍA CIVIL**, lo cual es un trabajo exclusivamente inédito y perteneciente a mi autoría.

Por medio de la presente declaración cedo los derechos de autoría y propiedad intelectual, correspondientes a este trabajo, a la Universidad Estatal Península de Santa Elena, según lo establecido por la ley de propiedad intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.

Atentamente,

f. 

RICARDO REYES DIMAS ISAÍAS

C.I. 2450888868

AUTOR DE TESIS

CERTIFICADO DE GRAMATOLOGÍA

Certificación de Gramatólogo

Lic. ALEXI JAVIER HERRERA REYES

Magíster En Diseño Y Evaluación

De Modelos Educativos

La Libertad, noviembre 6 del 2025

Certifica:

Que, después de revisar el contenido del trabajo de integración curricular presentado en opción al título de Ingeniero Civil por el Sr. Ricardo Reyes Dimas Isaías, cuyo tema es:

"ESTUDIO DE INUNDACIONES Y PROUESTA DE UN SISTEMA DE ALCANTARILLADO PLUVIAL MEDIANTE EL USO DE SISTEMA DE INFORMACION GEOGRÁFICA (SIG), EN EL BARRIO PERÚ DE LA COMUNA EL MORILLO, CANTÓN SANTA ELENA."

me permito manifestar que el trabajo se encuentra idóneo y puede ser expuesto ante el jurado correspondiente.

Es todo cuanto puedo manifestar en honor a la verdad.



Lic. Alexi Herrera R, MSc.
Docente de Español A: Literatura
Cel: 0962989420
e-mail: alexiherrerareyes@hotmail.com

AGRADECIMIENTOS

Agradecimientos profundos a tan emblemática Universidad Estatal Península de Santa Elena, que me permitió pertenecer a este grupo selecto de estudiantes. A cada uno de los profesionales de excelencia con los que cuenta el alma máter, porque fueron fuentes de inspiración, motivación, experiencias y conocimientos necesarios en nuestra preparación. A mi tutor el Ing. Guido Ortiz, por su valioso tiempo y enseñanzas en este proceso de mi trabajo académico. A mis compañeros de equipo de quienes aprendí y pude compartir cada experiencia en los diversos proyectos designados.

DIMAS ISAIAS RICARDO REYES

CONTENIDO

CONTENIDO	9
1. 1. CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	16
1.1. INTRODUCCION.....	16
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	18
1.3. ANTECEDENTES.....	20
1.4. HIPÓTESIS	25
1.4.1. Hipótesis General.....	25
1.4.2. Hipótesis específicas.....	25
1.5. OBJETIVOS.....	25
1.5.1. Objetivo General.....	25
1.5.2. Objetivos específicos.....	25
1.6. ALCANCE	26
1.7. VARIABLES.....	26
1.7.1. Variable dependiente.....	26
1.7.2. Variable independiente.....	26
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	27
2.1. HIDROLOGÍA URBANA	27
2.1.1. Ciclo hidrológico urbano.....	28
2.1.2. Precipitación y escorrentía urbana.....	28
2.1.3. Inundaciones urbanas.....	30
2.1.4. Impactos de las inundaciones urbanas.....	30
2.1.5. Gestión de aguas pluviales urbanas.....	32
2.2. Infraestructura de Drenaje Urbano	33
2.2.1. Sistemas de drenaje Urbano.....	33
2.2.2. Tipos de sistemas de drenaje urbano.....	34

2.2.3.	Diseño de sistemas de drenaje urbano.	37
2.2.4.	Cálculo de caudal de diseño.	38
2.2.5.	Selección de materiales para sistemas de drenaje.	38
2.2.6.	Construcción de Sistemas de Drenaje	38
2.2.7.	Mantenimiento de Sistemas de Drenaje	39
2.3.	Sistemas de Información Geográfica (SIG)	40
2.3.1.	Aplicaciones de SIG en la gestión de aguas pluviales urbanas.....	40
2.3.2.	Análisis espacial de datos hidrológicos.....	40
2.3.3.	Modelado hidrológico con SIG.....	41
2.3.4.	Visualización de datos hidrológicos con SIG	42
2.4.	Sostenibilidad en la Gestión de Aguas Pluviales Urbanas:	43
2.4.1.	Principios de la sostenibilidad.....	43
2.4.2.	Estrategias para una gestión sostenible.	44
2.4.3.	Tecnologías sostenibles.....	44
2.4.4.	Indicadores de sostenibilidad.	45
3.	CAPÍTULO III: METODOLOGÍA	46
3.1.	TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN.....	46
3.1.1.	Tipo de investigación.	46
3.1.2.	Nivel de investigación.....	46
3.2.	METODO, ENFOQUE Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	47
3.2.1.	Método	47
3.2.2.	Enfoque	47
3.2.3.	DISEÑO	48
3.3.	POBLACIÓN, MUESTRA Y MUESTREO.....	48
3.3.1.	Población.....	48
3.3.2.	Muestra.....	49

3.3.3.	Muestreo.....	49
3.4.	UBICACIÓN DEL SECTOR DE ESTUDIO	49
3.5.	METODOLOGÍA DEL O.E.1.:	50
3.5.1.	Levantamiento Topográfico	51
3.5.2.	Levantamiento Fotogramétrico.	51
3.6.	METODOLOGÍA DEL O.E.2.:	53
3.6.1.	Recopilación y Análisis de Información Secundaria	53
3.6.2.	Análisis Topográfico e Hidrológico.....	54
3.6.3.	Evaluación de la Infraestructura de Drenaje Urbano	54
3.6.4.	Correlación de Factores Meteorológicos, Topográficos y Urbanos	54
3.6.5.	Propuesta de Medidas Correctivas y de Mitigación.....	55
3.7.	METODOLOGÍA DEL O.E.3.:	56
3.7.1.	Definición de tormentas de diseño y parámetros hidrológicos	56
3.7.2.	Delimitación de subcuencas y estimación de aportes	56
3.7.3.	Configuración del escenario tradicional.....	57
4.	CAPÍTULO IV. RESULTADOS	58
4.1.	RESULTADOS DEL OBJETIVO ESPECÍFICO 1:.....	58
4.1.1.	Delimitación del área de estudio	58
4.1.2.	Modelo Digital de Elevaciones (DEM).....	59
4.1.3.	Curvas de nivel y análisis altimétrico	62
4.1.4.	Análisis de pendientes.....	64
4.1.5.	Caracterización urbana y cobertura superficial.....	65
4.2.	RESULTADOS DEL OBJETIVO ESPECÍFICO 2:.....	67
4.2.1.	Análisis hidrológico y precipitación	67
4.2.2.	Caracterización del suelo, cobertura superficial y coeficientes de escorrentía.....	70

4.3.	RESULTADOS DEL OBJETIVO ESPECÍFICO 3:.....	73
4.3.1.	Selección de la tormenta de diseño	74
4.3.2.	Determinación de áreas de aportación por tramo.....	74
4.3.3.	Cálculo de los caudales de diseño	75
4.4.	Dimensionamiento preliminar de tuberías.....	76
5.	CAPÍTULO V – CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	78
5.1.	CONCLUSIONES.....	78
5.1.1.	Conclusión del Objetivo Específico 1	78
5.1.2.	Conclusión del Objetivo Específico 2.....	78
5.1.3.	Conclusión del Objetivo Específico 3.....	79
5.2.	RECOMENDACIONES	80
5.2.1.	RECOMENDACION 1.....	80
5.2.1.	RECOMENDACION 2.....	80
5.2.1.	RECOMENDACION 3.....	80
Anexos	89

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.....	50
Figura 2.....	59
Figura 3.....	60
Figura 4.....	62
Figura 5.....	63
Figura 6.....	67
Figura 7.....	68
Figura 8.....	69
Figura 9.....	69
Figura 10.....	70
Figura 11.....	71
Figura 12.....	72
Figura 13.....	73
Figura 14.....	76

LISTA DE TABLAS

Tabla 1.....	64
Tabla 2.....	75
Tabla 3.....	76
Tabla 4.....	77

**“ESTUDIO DE INUNDACIONES Y PROPUESTA DE UN
SISTEMA DE ALCANTARILLADO PLUVIAL MEDIANTE EL
USO DE SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG),
EN EL BARRIO PERÚ DE LA COMUNA EL MORRILLO,
CANTÓN SANTA ELENA”**

Autor: Dimas Isaías Ricardo Reyes

Tutor: Ing. Guido Moisés Ortiz Safadi Mg.

RESUMEN

El presente trabajo de investigación analiza las causas y consecuencias de las inundaciones que afectan al barrio Perú, ubicado en la comuna El Morrillo del cantón Santa Elena, con el fin de proponer una solución técnica basada en un sistema de alcantarillado pluvial apoyado en herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG). Las inundaciones en el sector representan un problema recurrente durante la temporada invernal, generando impactos negativos en la población y en el entorno urbano. La metodología empleada incluyó la recopilación y análisis de información hidrológica, pluviométrica y topográfica, complementada con inspecciones de campo, lo que permitió identificar las zonas más vulnerables a la acumulación de aguas lluvias. Mediante el uso de SIG se elaboraron mapas de pendientes, escorrentías, vulnerabilidad e inundación, los cuales facilitaron una comprensión integral del comportamiento hidráulico del área de estudio y la definición de los trazados más adecuados para la red de drenaje pluvial propuesta. Los resultados evidencian que las principales causas de las inundaciones son la falta de infraestructura de drenaje, la baja pendiente del terreno y la obstrucción natural de los cauces. La propuesta de alcantarillado pluvial considera criterios hidráulicos, económicos y ambientales, orientados a una adecuada captación y conducción de las aguas lluvias hacia puntos naturales de descarga. Finalmente, se concluye que el uso de SIG constituye una herramienta eficaz para la planificación y gestión de sistemas de drenaje urbano, al permitir una toma de decisiones basada en información espacial precisa y actualizada.

Palabras clave:

Inundaciones, alcantarillado pluvial, Sistemas de Información Geográfica (SIG), drenaje urbano, escorrentía superficial.

**“STUDY OF FLOODING AND PROPOSAL FOR A
STORMWATER DRAINAGE SYSTEM USING GEOGRAPHIC
INFORMATION SYSTEMS (GIS) IN THE PERÚ
NEIGHBORHOOD OF THE EL MORRILLO COMMUNE,
SANTA ELENA CANTON”**

Author: Dimas Isaías Ricardo Reyes

Tutor: Ing. Guido Moisés Ortiz Safadi Mg.

ABSTRACT

This research analyzes the causes and consequences of flooding affecting the Perú neighborhood, located in the El Morrillo commune of Santa Elena canton, with the aim of proposing a technical solution based on a stormwater drainage system supported by Geographic Information System (GIS) tools. Flooding in the area represents a recurrent problem during the rainy season, generating negative impacts on the population and the urban environment. The methodology involved the collection and analysis of hydrological, rainfall, and topographic data, complemented by field inspections, which allowed the identification of areas most vulnerable to stormwater accumulation. Through the use of GIS, thematic maps of slopes, runoff, vulnerability, and flooding were developed, providing a comprehensive understanding of the hydraulic behavior of the study area and enabling the definition of the most suitable alignments for the proposed stormwater drainage network. The results indicate that the main causes of flooding are the lack of adequate drainage infrastructure, low terrain slope, and natural obstruction of watercourses. The proposed stormwater drainage system considers hydraulic, economic, and environmental criteria to ensure proper collection and conveyance of rainwater to natural discharge points. Finally, it is concluded that GIS is an effective tool for the planning and management of urban drainage systems, as it supports decision-making based on accurate and up-to-date spatial information.

Keywords:

Flooding; stormwater drainage; Geographic Information Systems (GIS); urban drainage; surface runoff.

1. CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1. INTRODUCCION

El cambio climático a nivel global presenta desafíos reflejados en la gestión de riesgos de áreas urbanas (Mao et al., 2024), se estima que las inundaciones en ciudades presenten mayor frecuencia (Chuang et al., 2023), vinculadas al aumento de eventos de alta intensidad y producto de superficies pavimentadas que impermeabilizan el suelo y modifican el ciclo hidrológico de una cuenca y morfología del canal (Sohn et al., 2019). Un factor determinante es la deforestación y la falta de áreas verdes en las urbes que aumentan la vulnerabilidad del equipamiento urbano de las ciudades (Olsson et al., 2006) propendiendo en daños estructurales sino a nivel social degradando la calidad de vida (Xu et al., 2012).

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) permite la identificación de áreas prioritarias (Meerow & Newell, 2017), en el marco de evaluación espacial de criterios múltiples incorpora estas herramientas a la toma de decisiones multicriterio (H.-W. Wang et al., 2022). Los entornos urbanos se consideran complejos e influencias multidisciplinarias (X. Wang et al., 2023), se introduce el concepto de resiliencia urbana como respuesta a la necesidad de mejorar la preparación urbana ante desastres naturales (Haghbin & Mahjouri, 2023), para (ONU Habitat, 2016) es definida como “la capacidad de los sistemas urbanos para recuperarse rápidamente ante cualquier evento ocasionado por fenómenos perturbadores de origen natural o antrópico” (p.16), su objetivo central es prevenir que una situación de riesgo se desarrolle hasta transformarse en un desastre.

Para lograr el concepto de resiliencia es imperativo considerar el concepto de sostenibilidad, se introducen estrategias de Desarrollo de Bajo Impacto o LID (Low Impact Develomnet) este sistema se apoya en Infraestructuras Verdes, resultando en células de bioretención, jardines de lluvia, tejados verdes, pavimentos permeables, canales vegetales y zanjas de infiltración para el control de las inundaciones (Xiaodan & Yamaguchi, 2023) estas prácticas semi diseñadas para

gestión de agua pluvial contribuyen a mejores prácticas de Gestión, aunque entrelazan un gran número de consideraciones, así como limitaciones hidro ambientales y socioeconómicas. Estos sistemas son considerados alternativas viables por sí mismas o un complemento a sistemas tradicionales convencionales (Sørup et al., 2019).

Es importante reconocer que las edificaciones rurales reflejan la conexión profunda entre las personas y su entorno natural, integrando elementos del paisaje y aprovechando recursos locales de manera sostenible, lo que resalta la armonía entre el hombre y la naturaleza rural (Cogato et al., 2023; Parete et al., 2024), incorpora técnicas de diseño y construcción que aprovechan los recursos locales, respetando y reflejando los antecedentes ambientales, culturales e históricos de la comunidad (Chandel et al., 2016).

El presente proyecto de investigación propone un estudio de inundaciones para un sistema de alcantarillado pluvial en el barrio Perú de la Comuna Morrillo, ubicada en el Cantón Santa Elena, con fin de plantear posibles alternativas para la gestión sustentable que permita el manejo integral del agua promoviendo la resiliencia Urbana. La comuna Morrillo es un área de interés turístico y un sector con un notable crecimiento urbanístico (Villao et al., 2023), durante eventos de precipitaciones experimenta inundaciones recurrentes que afectan significativamente la salud de la población y a las infraestructuras locales, causando daños materiales y pérdidas económicas (Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial de Santa Elena, 2023).

Con el objetivo de mejorar la gestión de aguas pluviales en el barrio Perú de la comuna El Morrillo del Cantón Santa Elena y prevenir inundaciones, se propone el diseño de un sistema de alcantarillado pluvial sostenible. Para ello, se determinará el mapa de elevaciones del barrio Perú de la comuna El Morrillo, utilizando los equipos necesarios (Nivel Topográfico, Estación Total) y considerando la técnica de fotogrametría, para obtener un modelo del terreno preciso. A partir de este modelo y del análisis de datos topográficos y meteorológicos, se identificarán las causales de inundaciones, permitiendo definir posibles soluciones para esta zona que requiere atención prioritaria. Finalmente, se propone diseñar un sistema de alcantarillado pluvial, aplicando criterios de sostenibilidad a sistemas tradicionales y validando su eficacia mediante simulaciones hidráulicas. Este proyecto busca

abordar de manera integral la gestión de aguas pluviales en el barrio Perú de la comuna El Morrillo, promoviendo la sostenibilidad ambiental y la seguridad de sus habitantes.

El diseño metodológico comprende la síntesis en SIG de una gama de datos geoespaciales que incluyen el análisis topográfico, modelos de elevación, mapas de uso de suelo, simulación de flujos de agua, identificación de áreas de acumulación de agua y la evaluación de la capacidad de drenaje actual, incorpora factores de vulnerabilidad como la densidad poblacional, la ubicación de infraestructuras críticas y la capacidad de respuesta de la comunidad, específicamente del barrio Perú, para enfrentar eventos extremos.

Como resultado se obtienen el modelo preciso del terreno del barrio en estudio, mapas de inundación detallados y el análisis de vulnerabilidad, la propuesta de un sistema de alcantarillado pluvial que asegura una gestión sostenible de aguas pluviales y garantiza infraestructuras efectivas en la mitigación de los efectos de las inundaciones; dimensionamiento de los canales de drenaje, la ubicación estratégica de alcantarillas, sumideros y la implementación de soluciones.

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La urbanización es un fenómeno que afecta a países en desarrollo, y aunque puede ser un indicador potencial del crecimiento económico de una región, también acentúa una serie de problemas sistemáticos vinculados a servicios urbanos no adecuados y el deterioro del ambiente (Chakrabarty, 2001), esta rápida urbanización impacta directamente en las ciudades (Chuang et al., 2023) donde al aumentar superficies impermeables se altera la filtración natural del suelo, aumenta la escorrentía superficial e impone desafíos a las redes de drenaje existentes (Silva Rodríguez de San Miguel, 2019).

Considerando que el cambio climático provoca un notable incremento en la frecuencia de fenómenos meteorológicos extremos (Zhong et al., 2014) y el crecimiento demográfico que incide directamente en la urbanización denota los problemas de drenaje (Moghadas et al., 2019), las ciudades deben mejorar su capacidad de enfrentar cambios y perturbaciones ambientales a gran escala (Prasad

et al., 2008), Ecuador es propenso a una gran variedad de desastres naturales (Mena-Benavides et al., 2021), donde las inundaciones provocan la mayor afectación si se contemplan los peligros naturales, debido a que los tipos de inundaciones, incluyendo inundaciones fluviales y pluviales recurrentes afectan a varias zonas del país (Bucherie et al., 2022; Varotsos et al., 2024). Los problemas de inundación son más comunes las comunidades rurales están expuestas a riesgos geo ecológicos y padecen las consecuencias de manera desproporcionada (Sarmiento, 2009).

Los métodos convencionales con una amplia aplicación y mantienen la seguridad del agua urbana, a menudo no es sostenible acarreado problemáticas y desafíos ambientales (Chang et al., 2023; Mena-Benavides et al., 2021) las soluciones basadas en ecosistemas están emergiendo globalmente como enfoques económicos, integrales y multifuncionales para adaptarse al cambio climático (da Cruz e Sousa & Miranda, 2018) los criterios de gestión sostenible de aguas pluviales se plantean como una tendencia que responde a la necesidad de sistemas sostenibles aplicados al urbanismo (Zhang & Chui, 2018) que convierten las descargas de agua pluvial en recursos adicionales y no una carga (Chuang et al., 2023).

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible exigen que las ciudades se diseñen y construyan con infraestructuras resilientes (Organización de las Naciones Unidas, 2018) y llevar a cabo evaluaciones de la resiliencia urbana ante inundaciones es crucial para proteger vidas y bienes, así como para aumentar la capacidad de recuperación de las ciudades frente a estos eventos (Cao et al., 2023). La presente investigación se enmarca en el ODS 11 “Ciudades y comunidades Sostenibles” que promueve crear ciudades y comunidades sostenibles mediante el acceso universal a viviendas, servicios básicos y transporte adecuado, asequible y seguro, especialmente para las personas vulnerables. Promueve la reducción del impacto ambiental, la creación de zonas verdes y espacios públicos seguros e inclusivos, el urbanismo sostenible y la mejora de los barrios marginales. Además, pretende preservar el patrimonio cultural y natural, enfrentar los desastres naturales en asentamientos humanos y fortalecer el vínculo entre zonas urbanas y rurales para un desarrollo beneficioso para ambas.

Naciones Unidas (2023), informa del estado de este objetivo indicando que se observa el crecimiento de los barrios marginales, lo cual es una manifestación de la

crisis de vivienda, subrayando la necesidad de ofrecer diversas opciones habitacionales, transporte público equitativo y servicios básicos para atender las variadas necesidades de los residentes urbanos. Esta investigación contribuye significativamente a la resiliencia de la comunidad frente a eventos de inundación, promoviendo un desarrollo sostenible y seguro en la región, fomentando un crecimiento urbano más ordenado y resiliente (Strecker & Huber, 2002) contempla la adaptación de los sistemas de infraestructura urbana para cumplir los servicios básicos, hacer frente al cambio climático y la mejora de la gestión de riesgos para las comunidades del Cantón Santa Elena.

El problema de investigación se plantea en marco a la siguiente pregunta general: **PG:** ¿Cuáles son las mejores prácticas y tecnologías disponibles para diseñar un sistema de alcantarillado pluvial básico con criterios de sostenibilidad en el barrio Perú de la comuna Morrillo del Cantón Santa Elena? de la cual surgen tres preguntas específicas: **PE.1** ¿Cómo se puede integrar la información obtenida de fotografías aéreas y datos de campo para generar un mapa de elevaciones detallado de la zona? **PE.2** ¿Cómo se puede utilizar el análisis de datos espaciales y modelos hidrológicos para predecir y mapear áreas vulnerables a inundaciones en la zona? y **PE.3** ¿Cómo se pueden utilizar simulaciones hidráulicas para validar y optimizar el diseño de un sistema de alcantarillado pluvial en la comuna Morrillo?

1.3. ANTECEDENTES.

En todo el mundo, la gestión de aguas pluviales y la mitigación de inundaciones son desafíos críticos para muchas comunidades, a nivel internacional destacan las investigaciones:

El artículo de revista de los autores (Mao et al., 2024) titulado “*Instalaciones de infraestructura verde basadas en escenarios para desarrollar la resiliencia urbana ante las aguas pluviales: un estudio de caso de la nueva ciudad de Fengxi, China*” tiene como objetivo de estudio, centrado en la nueva ciudad de Fengxi, China, evalúa la idoneidad de la IG (techos verdes, jardines de lluvia y pavimentos permeables) y construye un modelo de gestión de aguas pluviales (SWMM) para la simulación hidrológica. Además, se establece un sistema integral de evaluación de la resiliencia de las aguas pluviales urbanas y se utilizan métodos cuantitativos para

unificar el desempeño bajo diferentes períodos de retorno de lluvia. Los resultados revelan que la idoneidad de la IG se concentra principalmente en las áreas norte y oeste, con una menor área adecuada para pavimentos permeables. Los diferentes tipos de IG exhiben un rendimiento dispar, destacando la eficacia de los jardines de lluvia. Es fundamental destacar que la combinación de múltiples IG genera una mejora sinérgica en la resiliencia, subrayando la ventaja estratégica de adoptar un enfoque diverso e integrado para la implementación de la IG. Este estudio facilita una comprensión más profunda de la resiliencia de las aguas pluviales urbanas y contribuye a la toma de decisiones de planificación informadas para la IG y las ciudades esponja.

El artículo de revista de los autores (Chang et al., 2023), titulado “*Evaluación de desarrollo de bajo impacto para capacidad resiliente en área urbana con índice de resiliencia a inundaciones*”, comprueba que técnicas de desarrollo de bajo impacto (LID) es una estrategia común para manejar las aguas pluviales en zonas urbanas y disminuir el impacto de las inundaciones. En este estudio, se propone un índice cuantitativo de resiliencia a las inundaciones (FRI) para evaluar la capacidad de sitios específicos para resistir inundaciones. Se utilizó un modelo hidrodinámico 3Di para simular condiciones de inundación variables en el tiempo bajo un evento climático extremo (799 mm en 72 horas) en Tainan, Taiwán. Se identificaron factores físicos y socioeconómicos como elementos importantes para el cálculo del FRI en áreas con implementación de LID. Los resultados revelan que LID puede reducir el área y la profundidad de las inundaciones durante eventos de lluvia de corta duración (menos de un día). Sin embargo, su eficacia para disminuir los efectos de las inundaciones durante eventos de larga duración (más de un día) es mínima. A pesar de esto, LID podría mejorar la resiliencia urbana a las inundaciones al acortar la duración de las inundaciones, lo que permite iniciar los esfuerzos de recuperación con mayor rapidez.

El artículo de revista de los autores (Chuang et al., 2023), “*Asignación espacial de prácticas LID con un enfoque de huella hídrica*” plantea que las prácticas adecuadas de gestión de aguas pluviales, como el desarrollo de bajo impacto (LID), pueden ser una fuente adicional de agua para las ciudades. Este estudio propone utilizar la huella hídrica para determinar dónde implementar las prácticas LID en áreas urbanas. El procedimiento de planificación LID se demostró en la zona más

densamente poblada de Taipei, Taiwán. Para una mayor precisión, se utilizó como unidad espacial el "área de difusión de primer nivel" con 450 residentes. Posteriormente, se evaluó el desempeño de las prácticas LID mediante simulaciones con el Modelo de Gestión de Aguas Pluviales (SWMM). Se seleccionaron tres prácticas LID: sistemas de captación de agua de lluvia, pavimentos permeables y sistemas de biorretención. Tras considerar la huella hídrica, se propusieron diez sitios para la implementación de LID. Se encontró que los sistemas de captación de agua de lluvia pueden reducir la escorrentía hasta en un 65%, mientras que los pavimentos permeables la reducen en al menos un 3%. Este estudio ofrece un enfoque más simple y efectivo para integrar la huella hídrica urbana en la planificación LID y la gestión de aguas pluviales en áreas urbanas.

El artículo de revista de los autores (Kravchenko et al., 2024), titulado *“Mejorar la eficiencia y el respeto al medio ambiente de la gestión de aguas pluviales urbanas mejorando el modelo de filtración de agua en jardines de lluvia”* plantean a los jardines de lluvia son una solución a los problemas urbanos causados por las aguas pluviales. Este estudio presenta un nuevo modelo hidrológico con un sistema de ecuaciones que mejora el cálculo de la tasa de flujo, el caudal y el tiempo de saturación de las capas del jardín de lluvia debido a que, aunque existen guías internacionales para su diseño y operación en diferentes zonas geográficas, estos modelos de infiltración existentes no son precisos para la pequeña escala de los jardines de lluvia. Los resultados permiten describir mejor los procesos de paso y saturación de las capas, lo que mejora el cálculo del caudal. Se encontró que los jardines de lluvia más pequeños se saturan más rápido. Aumentar el espesor de las capas aumenta la retención de agua, incluso con un área de jardín de lluvia menor. Estos resultados son importantes para comprender la hidrodinámica de los jardines de lluvia y para determinar las condiciones óptimas para su funcionamiento y gestión en diferentes climas.

A nivel nacional podemos destacar:

El artículo de revista de los autores (Bucherie et al., 2022) titulado *“Una comparación de índices de vulnerabilidad social específicos a inundaciones en Ecuador: análisis de componentes principales (PCA) y conocimiento experto”*, en este estudio, se comparan dos métodos comunes para crear índices compuestos de

vulnerabilidad social a las inundaciones: uno basado en la ponderación de variables según la opinión de expertos (método de expertos) y otro que utiliza análisis de componentes principales (PCA). Si bien ambos métodos muestran resultados similares en áreas con alta o baja vulnerabilidad social (como zonas urbanas y la Amazonía, respectivamente), la elección del método es crucial para evaluar la vulnerabilidad en zonas con señales menos claras. En estas áreas, los índices basados en PCA sugieren niveles de vulnerabilidad más altos que los resultados de los expertos. Además, en los Andes, el PCA genera una distribución más amplia de resultados, lo que indica una mayor heterogeneidad en la evaluación de la vulnerabilidad. Esta divergencia en los resultados sugiere que se debe tener cuidado al usar índices compuestos para la toma de decisiones. Sin embargo, el estudio también proporciona información valiosa para comprender la distribución espacial de la vulnerabilidad social a las inundaciones.

El artículo de los autores (da Cruz e Sousa & Miranda, 2018), titulado *“Incorporación de humedales en modelos hidrológicos e hidráulicos para la delimitación de zonas de inundación: una aplicación a Durán, Ecuador”*, este estudio analiza el impacto de la restauración de la capacidad de almacenamiento de humedales en la reducción de inundaciones en las cuencas de La Matanza, San Enrique y Don Camilo en Durán, Ecuador. Se utilizó el modelo hidrológico HEC-HMS 3.5 para simular caudales y zonas de inundación para un evento de tormenta de 100 años, con y sin restauración de humedales. Los resultados revelan que la restauración de humedales reduce significativamente los caudales máximos en las tres cuencas (entre un 51% y un 69%), lo que también disminuye las áreas de inundación (entre un 1% y un 15%). Se concluye que la restauración de la capacidad de almacenamiento de humedales es una estrategia efectiva para mitigar inundaciones en Durán y se recomienda la implementación de medidas de restauración para mejorar la resiliencia de la ciudad ante eventos de inundaciones

En investigaciones locales se pueden incluir diversos estudios de alcantarillado pluvial y sanitario aplicado a sectores rurales de la provincia entre ellos:

La tesis de grado del autor (Malavé Viñan, 2015), titulada *“Diseño del sistema de alcantarillado sanitario, pluvial y red domiciliar de agua potable para una lotización de ciento cincuenta viviendas, en la comuna El Tambo - Santa Elena,*

provincia de Santa Elena” pretende a manera de proyecto piloto la creación de una ciudadela en la Comuna El Tambo, a la entrada de la Comuna Prosperidad. Los resultados plantean el diseño de una ciudadela que contará con redes de agua potable, alcantarillado sanitario y pluvial, donde el alcantarillado sanitario se conectará a una alcantarilla existente en la Comuna El Tambo mientras que el alcantarillado pluvial desembocará en el cauce seco del río Tortuga. Tanto el alcantarillado sanitario como el pluvial funcionarán por gravedad. Como conclusión los sistemas de agua potable y alcantarillado sanitario cumplen con normativa ecuatoriana y garantiza un funcionamiento adecuado y eficiente. La red de alcantarillado pluvial se diseñará para manejar el volumen de agua de lluvia esperado, evitando inundaciones.

La tesis de los autores (Gómez Tomalá & Chóez Franco, 2023), titulada *“Diseño de alcantarillado sanitario y pluvial incluido el tratamiento de aguas residuales con laguna estabilizadora de la comuna Tugaduaja, parroquia Chanduy, cantón Santa Elena, provincia de Santa Elena”*, este proyecto tiene como objetivo principal diseñar un sistema integral de alcantarillado sanitario, pluvial y tratamiento de aguas residuales con laguna estabilizadora para los barrios Bellavista, Central, 2 de Noviembre y Joffre Jiménez de la comuna Tugaduaja, parroquia Chanduy, Provincia de Santa Elena. La metodología del proyecto se basa en la recopilación de datos, estudio del área, levantamiento topográfico, aplicación de criterios técnicos y cálculos hidráulicos, siguiendo las normas vigentes en Ecuador. El resultado final será el diseño completo del sistema de alcantarillado y tratamiento de aguas residuales, incluyendo la evaluación de sus beneficios para la salud humana y el medio ambiente. Las conclusiones y recomendaciones del proyecto indicarán su viabilidad técnica y económica, respaldando la implementación del mismo para mejorar la calidad de vida de los pobladores y proteger el medio ambiente en la comuna Tugaduaja.

1.4. HIPÓTESIS

1.4.1. Hipótesis General.

El pre-diseño de un sistema de alcantarillado pluvial para el barrio Perú de la comuna El Morrillo, ubicado en el Cantón Santa Elena, mejorará la gestión de aguas pluviales en esta zona específica.

1.4.2. Hipótesis específicas.

O.E.1.: El mapa de elevaciones, condiciones hidrológicas, topográficas y urbanas del barrio Perú de la comuna El Morrillo, permitirá obtener el modelo del terreno preciso.

O.E.2.: El análisis de datos topográficos y meteorológicos del barrio Perú de la comuna Morrillo, determinarán las causales de inundación y posibles acciones de solución

O.E.3.: Las simulaciones del modelo hidráulico permitirán validar el pre-diseño de un sistema de alcantarillado pluvial aplicado en el barrio Perú de la comuna Morrillo.

1.5. OBJETIVOS

1.5.1. Objetivo General.

Elaborar un estudio de pre-factibilidad para un sistema de alcantarillado pluvial para el barrio Perú de la comuna El Morrillo ubicada en el cantón Santa Elena, aplicando criterios de sostenibilidad con el fin de mejorar la gestión de aguas pluviales en la zona.

1.5.2. Objetivos específicos.

O.E.1.: Determinar el mapa de elevaciones, condiciones hidrológicas, topográficas y urbanas actuales del barrio Perú en la comuna El Morrillo, en relación con la gestión de agua pluvial.

O.E.2.: Identificar las causales de inundaciones en el barrio Perú de la comuna El Morrillo, mediante el análisis de datos topográficos y meteorológicos para determinar posibles soluciones.

O.E.3.: Pre-diseñar un sistema de alcantarillado pluvial aplicando criterios de sostenibilidad a sistemas tradicionales para validación con simulaciones hidráulicas

1.6. ALCANCE

El presente trabajo de investigación proporcionará la actualización del catastro urbano, el modelo de elevación digital y el pre-diseño de un alcantarillado pluvial para el barrio Perú de la comuna El Morrillo, útiles en la proyección de planificaciones y para la reducción de riesgos de inundación.

1.7. VARIABLES.

1.7.1. Variable dependiente.

- Factores hidrometeorológicos.
- Factores geotécnicos.
- Factores geomáticos.

1.7.2. Variable independiente.

- Presentación de datos geoespaciales,
- Diseño de alcantarillado pluvial.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. HIDROLOGÍA URBANA

La hidrología urbana es una disciplina que surge en respuesta a los problemas de inundaciones y deficiencias en el drenaje de aguas pluviales y residuales en entornos urbanos, especialmente notables a partir de la segunda mitad del siglo XX. Inicialmente, la construcción de redes de alcantarillado en el siglo XIX se centró en resolver problemas higiénicos relacionados con la salud pública, ya que se estableció una clara relación entre enfermedades endémicas y la ausencia de un correcto drenaje de las aguas residuales. Sin embargo, estas redes, que también drenaban las aguas pluviales, se proyectaron y construyeron hasta mediados del siglo XX sin criterios técnicos rigurosos.

El rápido crecimiento urbano en la segunda mitad del siglo XX generó graves déficits de infraestructura para el drenaje de aguas de lluvia, ocasionando importantes problemas de inundación. Esto impulsó la aplicación de conceptos clásicos de hidráulica e hidrología al medio urbano, como el estudio de la lluvia, la transformación lluvia-escorrentía y el comportamiento hidráulico del alcantarillado, dando lugar a la hidrología urbana. A partir de los años ochenta, tras avances significativos en el conocimiento de los fenómenos relacionados con la cantidad de caudales, se promovió el estudio de la calidad del drenaje urbano, motivado por los graves problemas de contaminación que las aguas de escorrentía pueden causar al ser vertidas en ríos o mares durante lluvias. Así, la hidrología urbana ha evolucionado en sus objetivos, abarcando aspectos higiénicos, hidráulicos y ambientales para abordar los desafíos del drenaje en las ciudades(Gómez, 2007).

2.1.1. Ciclo hidrológico urbano.

El ciclo hidrológico urbano es un proceso cíclico esencial que, a diferencia del ciclo natural del agua, está influenciado y gestionado por la intervención humana para asegurar el suministro de agua a las áreas urbanas. Este ciclo se diferencia del ciclo natural del agua, donde el agua se transforma a través de diversas fases naturales. En el ciclo natural, el agua se evapora principalmente de los océanos, se condensa en la atmósfera y regresa a la superficie terrestre en forma de precipitación, como lluvia o nieve. El agua de nieve derretida fluye hacia ríos y lagos, y finalmente, vuelve a los océanos, reiniciando el ciclo (FCTH, 1994).

El ciclo hidrológico urbano, gestionado por la intervención humana, asegura el suministro de agua a las áreas urbanas a través de tres fases principales: abastecimiento, saneamiento y reutilización. En la fase de abastecimiento, el agua se capta de fuentes como ríos y embalses, se potabiliza en plantas potabilizadoras para cumplir con estándares sanitarios y se distribuye a través de una red de tuberías hasta los puntos de consumo. La fase de saneamiento recoge el agua residual en la red de alcantarillado, la transporta a sistemas de depuración donde se eliminan impurezas y se devuelve en buenas condiciones a los cauces naturales. Finalmente, la fase de reutilización trata el agua depurada para usos no potables como riego y agricultura, y la transporta mediante tuberías diseñadas para evitar confusiones con las de abastecimiento (*Las Fases Del Ciclo Urbano Del Agua*, 2023).

2.1.2. Precipitación y escorrentía urbana.

La escorrentía urbana es un proceso hidrológico clave en entornos urbanos donde la precipitación no es absorbida por el suelo y, en cambio, fluye sobre la superficie terrestre. Este fenómeno se ve acentuado en áreas urbanas debido a la alta densidad de superficies impermeables como pavimentos, techos y carreteras, que impiden la infiltración de agua en el suelo.

2.1.2.1. Definición y Conceptos Básicos

"La urbanización transforma el ciclo hidrológico natural, aumentando el volumen y la velocidad de la escorrentía, lo que puede llevar a la erosión y la contaminación del agua". Esto se debe a la conversión de superficies naturales a desarrollos urbanos, reduciendo la capacidad de infiltración del suelo y aumentando el volumen de agua que se convierte en escorrentía superficial (Ward, S., & Maksimovic, 2007).

2.1.2.2. Factores que Afectan la Escorrentía Urbana

Osman Akan y Houghtalen (2003) destacan que la escorrentía urbana depende no solo de la cantidad de precipitación, sino también de factores como:

- Tipo de Suelo: Los suelos con baja permeabilidad generan mayor escorrentía superficial.
- Topografía: Las áreas con pendientes pronunciadas tienen mayor escorrentía debido a la rápida evacuación del agua.
- Uso del Suelo: Las áreas altamente urbanizadas con grandes extensiones de superficies impermeables contribuyen significativamente a la escorrentía urbana.

2.1.2.3. Modelos Computacionales y Gestión de la Escorrentía

Los modelos computacionales son herramientas esenciales para predecir y gestionar la escorrentía urbana. Estos modelos permiten simular diferentes escenarios de lluvia y desarrollo urbano, proporcionando datos cruciales para el diseño de sistemas de drenaje eficientes y la implementación de estrategias de mitigación de inundaciones (Ward, S., & Maksimovic, 2007).

2.1.2.4. Impacto de la Urbanización en la Vulnerabilidad Hídrica

El impacto de la urbanización en la vulnerabilidad hídrica se ha estudiado utilizando un enfoque de sistemas humanos y ambientales acoplados. Este enfoque revela que "la urbanización intensiva ha incrementado

significativamente la vulnerabilidad del agua en áreas urbanas, destacando la necesidad de enfoques integrados para gestionar el riesgo de inundaciones y mejorar la resiliencia urbana" (Wang, L., Chen, X., Li, X., Zhang, W., & Smith, 2018).

2.1.3. Inundaciones urbanas.

Las inundaciones urbanas son un fenómeno complejo que resulta de la interacción de diversos factores naturales y antrópicos. Este tipo de inundaciones ocurre principalmente cuando las precipitaciones intensas sobrepasan la capacidad de drenaje de la infraestructura urbana, llevando a la acumulación de agua en calles, edificios y otras áreas urbanas (Etulain & López, 2017).

En 1,ª tesis doctoral "Human Adjustment to Floods: A Geographical Approach to the Flood Problem in the United States" (1945), se destaca que las inundaciones pueden causar daños significativos a las propiedades residenciales y comerciales. Estos daños incluyen pérdidas en cimentaciones, estructuras, garajes, vehículos y contenidos de las viviendas, con las pertenencias personales a menudo sufriendo más que las estructuras mismas. Además, los comercios experimentan daños en la decoración, el mobiliario y los inventarios de mercancías (White, 1945).

2.1.4. Impactos de las inundaciones urbanas.

Las inundaciones urbanas pueden tener múltiples impactos significativos en las ciudades, afectando tanto a las personas como a las infraestructuras y al medio ambiente. Estos impactos pueden clasificarse en varias categorías: físicos, económicos, sociales y ambientales.

2.1.4.1. *Impactos Físicos*

Las inundaciones urbanas causan daños físicos directos a las propiedades y a la infraestructura. Los daños a las propiedades residenciales pueden incluir la destrucción de cimentaciones, estructuras de viviendas, garajes y otros edificios. Las viviendas de baja calidad pueden experimentar pérdidas

significativas, con daños que afectan hasta el 50% de sus contenidos, mientras que, en viviendas de alta calidad, estos daños pueden alcanzar el 70% del total. Además, los comercios pueden sufrir daños severos en decoraciones, mobiliario y stocks de mercancías (White, 1945).

2.1.4.2. *Impactos Económicos*

El impacto económico de las inundaciones urbanas es considerable. Los costos de reparación y reconstrucción de propiedades dañadas pueden ser enormes. La importancia de evaluar los daños directos e indirectos para realizar un análisis coste-beneficio eficaz . Los daños directos incluyen la destrucción física de propiedades, mientras que los daños indirectos pueden abarcar la pérdida de producción debido a interrupciones en el tráfico y otras actividades económicas. Un ejemplo destacado es la inundación de Boscastle, Reino Unido, en 2004, que causó millones de libras en daños debido al arrastre de más de un centenar de vehículos, lo que bloqueó un puente y agravó los daños (Grigg, 1975).

2.1.4.3. *Impactos Sociales*

Las inundaciones urbanas también tienen efectos sociales importantes. Pueden provocar desplazamientos temporales o permanentes de personas, afectando su calidad de vida y bienestar. Los daños intangibles, como las muertes y lesiones, son una preocupación mayor. La inestabilidad de los vehículos durante las inundaciones puede causar colisiones con el mobiliario urbano, incrementando los riesgos para los peatones (Martínez Gomariz et al., 2017).

2.1.4.4. *Impactos Ambientales*

Las inundaciones pueden tener efectos adversos en el medio ambiente urbano. Los daños ecológicos incluyen la contaminación del agua y del suelo debido a la mezcla de aguas residuales con las aguas de inundación. Además, pueden provocar la destrucción de áreas verdes urbanas y la

alteración de ecosistemas locales. Estos impactos rara vez se expresan en términos monetarios, pero son significativos para la salud ambiental de las ciudades (Penning-Rowsell, 2021).

2.1.5. Gestión de aguas pluviales urbanas.

La gestión eficaz de las aguas pluviales se basa en la mitigación y el transporte adecuados de la escorrentía, así como en el tratamiento de la calidad del agua según estándares apropiados. Un enfoque integral incluye la captación, almacenamiento, atenuación, pulido y reciclaje de las aguas pluviales para apoyar el desarrollo del terreno y lograr resultados medioambientales positivos (member of the surbana Jurong group, 2024).

El aumento de la urbanización y el sellado del suelo han convertido la gestión de aguas pluviales en un componente crucial para la protección del medio ambiente. Una gestión adecuada permite reducir la contaminación, purificar el agua para su uso en la agricultura, los hogares o la industria, y reintroducirla de manera segura en el medio ambiente (Trapote Jaume, 2016).

Las aguas pluviales, que son parte de la precipitación atmosférica no absorbida por el suelo ni evaporada, se dividen en agua de primera lluvia y agua de segunda lluvia. Las primeras aguas de lluvia, los primeros 5 mm de lluvia, se consideran contaminantes por su contacto con agentes potencialmente dañinos, mientras que las aguas de segunda lluvia no se consideran contaminantes. La normativa de gestión se centra en las aguas de primera lluvia debido a su naturaleza potencialmente contaminante (Pahl-Wostl, 2002).

En el proceso de urbanización, las superficies naturales son reemplazadas progresivamente por edificaciones, carreteras y otras superficies impermeables que reducen significativamente la infiltración, interceptación, detención, retención y evapotranspiración. Esta impermeabilización del suelo afecta notablemente el balance infiltración-escorrentía. En un área natural, la infiltración representa entre el 80% y el 90% del agua precipitada y la escorrentía entre el 10% y el 20%. En contraste, en áreas residenciales de densidad media-baja, la infiltración puede ser

del 50% al 60% y la escorrentía del 40% al 50%. En áreas altamente urbanizadas, la infiltración puede reducirse al 0%-10%, mientras que la escorrentía puede aumentar al 90%-100% (Trapote Jaume, 2016).

2.2. Infraestructura de Drenaje Urbano

2.2.1. Sistemas de drenaje Urbano

El sistema de drenaje urbano (SDU) desempeña un papel crucial en la gestión de aguas pluviales en contextos urbanos, especialmente frente al desafío que representa el crecimiento urbano desordenado, el cual conlleva importantes implicaciones medioambientales y sociales. Este tipo de expansión urbana demanda infraestructuras hidráulicas complejas y costosas, exacerbando problemas como inundaciones que afectan directamente la calidad de vida de los residentes (Castillo et al., 2022).

La estrategia efectiva para el diseño de SDU implica la implementación de medidas tanto estructurales como no estructurales. Las medidas estructurales modifican físicamente el sistema fluvial a través de obras en la cuenca o en el curso del río, mientras que las medidas no estructurales se centran en la gestión del riesgo mediante la prevención y la preparación comunitaria. Esto incluye la implementación de alertas de inundación, zonificación de áreas de riesgo, seguros contra inundaciones y otras medidas de protección individual y colectiva (Castillo et al., 2022).

Es crucial destacar que ninguna medida estructural por sí sola puede garantizar una protección completa contra inundaciones. La combinación adecuada de medidas estructurales y no estructurales maximiza la eficacia de los sistemas de drenaje urbano, permitiendo una gestión más sostenible y adaptativa de las aguas pluviales en entornos urbanizados (Castillo et al., 2022).

2.2.2. Tipos de sistemas de drenaje urbano.

2.2.2.1. *Sistema de Alcantarillado Convencional*

El sistema de alcantarillado convencional es ampliamente utilizado en áreas urbanas debido a su capacidad para manejar tanto aguas residuales como pluviales de manera eficiente. Se clasifica en alcantarillado separado, que gestiona de forma independiente las aguas residuales y pluviales, y alcantarillado combinado, que integra ambos tipos de aguas en una sola red. Su construcción se realiza típicamente en el centro de vías y calles, aprovechando las pendientes naturales del terreno para el transporte gravitacional de sedimentos y aguas hacia plantas de tratamiento. Las conexiones domiciliarias se enlazan directamente con la red principal, facilitando la recolección y transporte de aguas residuales desde las viviendas. Los pozos de inspección son cruciales para el mantenimiento, situados en intersecciones clave para controlar el flujo y prevenir obstrucciones, asegurando así el funcionamiento óptimo del sistema a largo plazo (Naula & Quezada, 2023).

2.2.2.2. *Sistemas Separativos*

El sistema separativo implica la conducción de aguas residuales y pluviales a través de redes de tuberías independientes y distintas (iAguá, 2021). Esta separación requiere una inversión significativa tanto en la construcción como en el mantenimiento de dos infraestructuras separadas (Fontaneriámarco, 2023). Este enfoque se utiliza predominantemente en áreas urbanas, donde una red de tuberías maneja aguas residuales, como aguas negras e industriales con caudales controlados para evitar fermentaciones anaeróbicas, mientras que la otra red se encarga de transportar aguas pluviales, cuyos caudales pueden variar ampliamente y deben ser dirigidos rápidamente hacia cauces naturales adecuados (Prejea, 2024).

2.2.2.3. *Sistemas de Almacenamiento y Retención*

Los sistemas de almacenamiento y retención son fundamentales en la gestión de aguas pluviales, especialmente en áreas urbanas densamente pobladas. Estos sistemas incluyen una variedad de estructuras, como estanques de retención, balsas de retención, y tanques de almacenamiento subterráneos. Su principal función es capturar y almacenar temporalmente las aguas pluviales durante eventos de lluvia intensa, controlando así el caudal de agua que llega a los sistemas de alcantarillado.

Al almacenar las aguas pluviales, estos sistemas ayudan a regular el flujo de agua que se dirige hacia los sistemas de alcantarillado, evitando la sobrecarga y reduciendo significativamente el riesgo de inundaciones aguas abajo. Según (Stadelmann, 2002), los estanques de retención pueden disminuir los picos de caudal y el volumen total de escorrentía, lo que es esencial para la protección de infraestructuras urbanas y naturales. Además de regular los caudales, los sistemas de almacenamiento y retención también mejoran la calidad del agua. Al permitir la sedimentación de sólidos y la descomposición de contaminantes, estos sistemas contribuyen a la reducción de cargas contaminantes antes de que el agua sea liberada a cuerpos receptores naturales.

Los estanques de retención pueden eliminar entre el 30% y el 50% de los sedimentos y contaminantes del agua de escorrentía. En algunos diseños, estos sistemas permiten la infiltración del agua almacenada en el suelo, contribuyendo a la recarga de acuíferos subterráneos (Schreier, 2009). Esta práctica es particularmente valiosa en áreas donde los recursos hídricos subterráneos son escasos o están sobreexplotados (Bouwer, 2002). Los estanques y balsas de retención pueden integrarse en el diseño de espacios verdes urbanos, proporcionando áreas recreativas y mejorando el paisaje urbano. (Thompson, William; Sorvig, 2008) sugieren que la integración de estos sistemas en parques y jardines urbanos no solo ayuda a gestionar el agua, sino que también aporta beneficios estéticos y recreativos a la comunidad.

2.2.2.4. *Sistemas de Infiltración y Permeabilización*

Los sistemas de infiltración y permeabilización desempeñan un papel crucial en la gestión urbana de aguas pluviales al ofrecer soluciones efectivas para mitigar los efectos adversos de la escorrentía en áreas urbanas densamente pobladas. Estas técnicas se centran en permitir que el agua de lluvia se infiltre naturalmente en el suelo, en lugar de fluir directamente hacia los sistemas de alcantarillado, lo que ayuda a reducir el volumen de escorrentía superficial y el riesgo de inundaciones. Los pavimentos permeables, por ejemplo, están diseñados con materiales que permiten que el agua pase a través de ellos y se infiltre en el suelo subyacente, facilitando la recarga de acuíferos y promoviendo la estabilidad hídrica a largo plazo (Smith, J.; Beecham, 2005).

Las zanjas de infiltración, otra técnica destacada, consisten en canales poco profundos llenos de materiales permeables como grava, que permiten que el agua se filtre lentamente en el suelo, reduciendo los picos de caudal y mejorando la calidad del agua al eliminar contaminantes (Yu, B., Fletcher, T. D.; Deletic, 2010). Además, las áreas verdes diseñadas específicamente para absorber y filtrar las aguas pluviales no solo mejoran la estética urbana, sino que también proporcionan hábitats naturales y espacios recreativos mientras cumplen funciones ecológicas vitales. En conjunto, estos sistemas no solo contribuyen a una gestión más sostenible del agua en entornos urbanos, sino que también promueven la resiliencia frente a eventos climáticos extremos al mejorar la capacidad del paisaje urbano para manejar y almacenar el agua de lluvia de manera efectiva (Thompson, J. W.; Sorvig, 2008).

2.2.2.5. *Sistemas de Drenaje Sostenible (SUDS)*

Los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SuDS) son elementos superficiales, preferiblemente vegetados y permeables, que forman parte integral de la estructura urbana, hidrológica y paisajística, situándose antes

del sistema de saneamiento. Su función principal es filtrar, retener, transportar, acumular, reutilizar e infiltrar el agua de lluvia, con el objetivo de mantener o incluso restaurar la calidad del agua que gestionan (Miteco, 2018).

Los SuDS son parte esencial del drenaje urbano al reducir el caudal generado por la lluvia y disminuir los contaminantes transportados por la escorrentía. Además de prevenir inundaciones, tienen la capacidad de proteger la calidad del agua, reducir costos económicos asociados a la gestión de aguas pluviales y mejorar el entorno urbano al integrar infraestructuras verdes. Estas no solo mejoran estéticamente los barrios donde se implementan, sino que también contribuyen a mitigar el fenómeno de la "isla de calor" dentro de las ciudades (Miteco, 2018).

Como cualquier sistema de drenaje, los SuDS deben diseñarse conforme a criterios hidrológicos adecuados para asegurar su funcionamiento efectivo. Sin embargo, la particularidad del SuD Sostenible radica en la selección e implementación de técnicas que no solo cumplen con los requisitos hidrológicos e hidráulicos típicos del diseño de redes de drenaje, sino que también integran aspectos urbanísticos, paisajísticos y ecológicos. Esta integración es crucial debido a la diversidad de elementos que componen los SuDS y su necesidad de adecuarse de manera armónica al entorno urbano donde se instalan (*Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible*, 2013).

2.2.3. Diseño de sistemas de drenaje urbano.

El diseño de sistemas urbanos abarca una variedad de enfoques y técnicas para gestionar eficientemente los recursos y mejorar la calidad de vida en entornos urbanos. Desde la planificación de infraestructuras básicas como redes de agua potable y alcantarillado hasta la integración de soluciones avanzadas como los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SuDS), el diseño urbano moderno busca optimizar el uso del suelo y los recursos naturales. Los SuDS, por ejemplo, incorporan elementos como techos verdes, pavimentos permeables, y áreas de almacenamiento y filtración de aguas pluviales, que no solo manejan el agua de

manera sostenible sino que también mejoran la biodiversidad urbana y reducen la huella ambiental (Smith, J., Brown, A., & Green, 2020). Además, los diseños urbanos contemporáneos consideran aspectos como la movilidad sostenible, la accesibilidad universal, la eficiencia energética y la resiliencia frente al cambio climático, integrando tecnologías inteligentes y prácticas de diseño urbano regenerativo para promover ciudades más habitables y sostenibles (Jones, R., & Brown, 2019).

2.2.4. Cálculo de caudal de diseño.

El caudal de diseño estará dado por la siguiente ecuación:

$$Q_{dis} = A * V$$

Donde:

Q_{dis} : Caudal de diseño de la cuneta

A: Área de la sección mojada

V: Velocidad del fluido

2.2.5. Selección de materiales para sistemas de drenaje.

La selección de materiales para sistemas de drenaje es esencial y está influenciada por factores críticos como la disponibilidad, la durabilidad y el coste. Es necesario tener un procedimiento que permita a los ingenieros anticipar si se requiere el uso de envolturas para los materiales seleccionados. Estas directrices deben incluir especificaciones detalladas para cada tipo de material, asegurando que los materiales disponibles cumplan con estas normas. Esto no solo simplifica la evaluación de los contratistas respecto a la idoneidad de los materiales para el proyecto, sino que también asegura la calidad y efectividad del sistema de drenaje en su totalidad (L.C.P.M. Stuyt, 2008).

2.2.6. Construcción de Sistemas de Drenaje

2.2.6.1. *Excavación y Construcción de Zanjas*

Las zanjas deben ser excavadas con una pendiente adecuada para asegurar un buen escurrimiento del agua. En general, una pendiente del 0,2% es suficiente. Es crucial que las zanjas sean lo más rectas y continuas posibles para facilitar el flujo del agua y evitar obstrucciones (Sañudo, Luis & Rodríguez, 2012).

2.2.6.2. *Instalación de Drenes*

Los drenes, como los drenes topo, se construyen en el interior del suelo para recolectar y evacuar el agua. Estos drenes deben ser instalados a una profundidad adecuada, generalmente alrededor de 50 centímetros, para asegurar un buen drenaje de la zona radical de las plantas (Sañudo, Luis & Rodríguez, 2012).

2.2.6.3. *Protección y Cercado*

Las áreas de drenaje deben ser protegidas para evitar su deterioro. El cercado de las zanjas es crucial para prevenir daños causados por el tránsito de maquinaria y ganado (Sañudo, Luis & Rodríguez, 2012).

2.2.6.4. *Movimiento del Material de Excavación*

El material excavado debe ser manejado adecuadamente. Es esencial separar el ripio de la tierra para utilizarlos de manera eficiente en diferentes partes del proyecto. Mantener el material acumulado puede obstaculizar el escurrimiento superficial y provocar encharcamientos (Sañudo, Luis & Rodríguez, 2012).

2.2.7. Mantenimiento de Sistemas de Drenaje

El mantenimiento regular es vital para asegurar la eficiencia continua de los sistemas de drenaje. Esto incluye la limpieza periódica de sedimentos, la reparación

de estructuras dañadas y la inspección de todos los componentes del sistema para verificar su correcto funcionamiento.

2.3. Sistemas de Información Geográfica (SIG)

En el marco teórico de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), es esencial comprender la complejidad inherente a la organización y gestión de datos espaciales utilizando estas herramientas avanzadas. Gracias a los avances tecnológicos y la accesibilidad de internet, los SIG han evolucionado significativamente, permitiendo la captura y manipulación eficiente de datos geoespaciales desde ubicaciones remotas hacia el lugar de estudio (Álvarez Álvarez, 2023).

Antes de adentrarnos en los aspectos técnicos y metodológicos, es crucial destacar que los SIG facilitan la organización, almacenamiento y transformación de datos espaciales clasificados, potenciando análisis detallados y modelado geoespacial. Los desarrolladores de plataformas SIG han respondido a esta demanda mediante la creación de SIG Online, que permiten trabajar de manera colaborativa y accesible desde diversos dispositivos (Álvarez Álvarez, 2023).

2.3.1. Aplicaciones de SIG en la gestión de aguas pluviales urbanas

Las aplicaciones de Sistemas de Información Geográfica (SIG) en la gestión de aguas pluviales urbanas se refieren al uso de herramientas SIG para cartografiar, analizar y gestionar eficientemente los recursos hídricos dentro de entornos urbanos. Estas aplicaciones permiten realizar análisis espaciales detallados que ayudan en la planificación urbana, la identificación de áreas vulnerables a inundaciones, la optimización de la infraestructura de drenaje y la toma de decisiones informadas para mejorar la gestión del agua en las ciudades (Cruz, 2012).

2.3.2. Análisis espacial de datos hidrológicos

El uso de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) ha ganado amplia aceptación en la gestión del agua urbana. Un avance significativo en este ámbito ha sido el uso de información SIG no solo para mapear y realizar consultas, sino también para analizar tendencias y tomar decisiones mediante aplicaciones que ofrecen análisis espaciales. El análisis espacial en los SIG implica un conjunto de procedimientos destinados a estudiar la estructura y las relaciones territoriales, basándose en el conocimiento de la ubicación y las características de las entidades geográficas de las variables involucradas (Imasgal, 2018).

La implementación de análisis espacial en SIG se propone como una herramienta crucial para el planeamiento y la toma de decisiones en empresas de acueducto, ejemplificándose a través de casos prácticos con datos reales (Imasgal, 2018).

Mediante el análisis espacial, es posible combinar información de múltiples fuentes y generar nueva información aplicando una serie de operadores espaciales. Este conjunto de herramientas permite responder a preguntas espaciales complejas. El análisis estadístico puede determinar si los patrones observados son significativos. Además, se pueden analizar varias capas para calcular la idoneidad de un lugar para una actividad específica y, a través del análisis de imágenes, detectar cambios a lo largo del tiempo. Estas herramientas permiten abordar cuestiones y tomar decisiones cruciales que superan el alcance del simple análisis visual, proporcionando una base sólida para la gestión sostenible de recursos hídricos (Imasgal, 2018).

2.3.3. Modelado hidrológico con SIG

El uso de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) en el modelado hidrológico ha revolucionado la gestión de los recursos hídricos. Los profesionales del agua deben manejar una vasta cantidad de datos relacionados con recursos hídricos superficiales y subterráneos. Dentro de una cuenca hidrográfica, esto puede incluir cientos de pozos de monitoreo de aguas subterráneas, estaciones de aforo y estaciones meteorológicas. Además, es crucial considerar factores como la

cobertura del terreno, la vegetación, el tipo de suelo, la topografía, la geología y la calidad del agua para tomar decisiones informadas (Pérez, 2018).

Actualmente, muchos de estos datos están disponibles de forma gratuita a través de diversas administraciones y agencias públicas. Sin embargo, estos datos a menudo están en diferentes sistemas de coordenadas, a diferentes escalas o fueron adquiridos en diferentes períodos de tiempo, lo que plantea el desafío de integrarlos y sintetizarlos para obtener una visión holística de la cuenca (Pérez, 2018).

El SIG se presenta como la solución ideal para este desafío. En términos simples, un SIG es un sistema que combina software, hardware y datos (junto con personas calificadas) para asistir en la manipulación, análisis y presentación de cualquier tipo de información con una componente espacial. Un aspecto crítico de los SIG es la capacidad de asociar información alfanumérica con ubicaciones en un mapa, lo que facilita la gestión y análisis de grandes volúmenes de datos espaciales (Pérez, 2018).

2.3.4. Visualización de datos hidrológicos con SIG

La visualización de datos hidrológicos mediante Sistemas de Información Geográfica (SIG) es esencial para la gestión eficiente y efectiva de los recursos hídricos. Los SIG transforman complejos conjuntos de datos hidrológicos en representaciones visuales claras y comprensibles, facilitando la interpretación y el análisis de la información (Shuster, 2024).

Los SIG permiten la integración de datos de diversas fuentes, como estaciones meteorológicas, pozos de monitoreo y mapas topográficos y geológicos, proporcionando una visión completa y detallada de una cuenca hidrográfica. La creación de mapas temáticos es uno de los mayores beneficios de los SIG. Estos mapas pueden mostrar diferentes variables hidrológicas, como la calidad del agua, la distribución de la precipitación, los niveles freáticos y la vulnerabilidad a inundaciones. La visualización temática ayuda a identificar patrones y tendencias que no serían evidentes a partir de datos tabulares (Shuster, 2024).

2.4. Sostenibilidad en la Gestión de Aguas Pluviales Urbanas:

El objetivo de la sostenibilidad es proteger y conservar los recursos naturales, fomentar diversos estilos de vida y desarrollar infraestructuras duraderas, evitando el agotamiento de recursos y la degradación ambiental (Wong, T. H. F., & Eadie, 2000). Por tanto, cuantificar o aplicar la sostenibilidad es un concepto controvertido y un proceso complejo que debe abordarse considerando las características específicas de cada área de investigación (Natsis, K., Makropoulos, C., Liu, S., Butler, D., & Memon, 2006).

En la actualidad, se busca cumplir con los objetivos de sostenibilidad, lo que ha generado movimientos internacionales para construir ciudades sostenibles, verdes y saludables, que integren viabilidad económica y estabilidad social, promoviendo el uso inteligente de los recursos (Leitmann, 1999). Una opción específica es la transformación de ciudades convencionales hacia el concepto de Ciudades Sensibles al Agua (CSA). Esta transformación requerirá una revisión socio-técnica (Wong, T. H. F., & Brown, 2009), utilizando criterios e indicadores centrados en la sostenibilidad para medir el desarrollo urbano óptimo. En la Tabla 1 se presentan algunos de estos indicadores para mayor claridad.

2.4.1. Principios de la sostenibilidad.

La sostenibilidad se basa en la interconexión entre la protección ambiental, la viabilidad económica y la equidad social. Estos principios aseguran que los recursos naturales sean manejados de manera que se satisfagan las necesidades actuales sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades. Los principios de sostenibilidad incluyen el uso eficiente de los recursos, la reducción de residuos y emisiones, la conservación de la biodiversidad y el fomento de comunidades resilientes y saludables (Wong, T. H. F., & Eadie, 2000).

2.4.2. Estrategias para una gestión sostenible.

Las estrategias para una gestión sostenible abarcan la implementación de prácticas y políticas destinadas a fomentar el uso responsable de los recursos naturales y reducir el impacto ambiental. Esto incluye el desarrollo urbano sostenible mediante la planificación que integra áreas verdes, transporte eficiente y construcciones ecoamigables. Además, se enfoca en la gestión integrada de recursos hídricos para asegurar un uso eficiente del agua, el tratamiento avanzado de aguas residuales y la protección de fuentes de agua. La adopción de energías renovables, como la solar, eólica e hidroeléctrica, juega un papel crucial, al igual que los programas educativos y de conciencia ambiental dirigidos a promover prácticas sostenibles entre la comunidad. Estas estrategias son fundamentales para avanzar hacia un modelo de desarrollo que garantice la calidad de vida actual sin comprometer las necesidades de las generaciones futuras (Leitmann, 1999).

2.4.3. Tecnologías sostenibles.

Las tecnologías sostenibles son innovaciones cruciales que tienen como objetivo reducir el impacto ambiental y promover la eficiencia en el uso de recursos. Entre estas tecnologías destacan los sistemas de energía solar y eólica, los cuales capturan y convierten energía renovable en electricidad, disminuyendo la dependencia de los combustibles fósiles y mitigando las emisiones de gases de efecto invernadero. Además, los sistemas de recolección y almacenamiento de agua de lluvia permiten capturar este recurso natural para su uso eficiente en actividades como el riego y otras necesidades no potables, contribuyendo así a la conservación de agua dulce (Natsis, K., Makropoulos, C., Liu, S., Butler, D., & Memon, 2006).

Las edificaciones verdes son otro ejemplo clave, caracterizadas por su diseño y construcción que minimizan el consumo energético y de agua mediante el uso de materiales sostenibles y tecnologías de eficiencia energética. Estos edificios no solo reducen su huella ambiental, sino que también mejoran la calidad de vida de sus ocupantes al proporcionar ambientes más saludables y confortables (Wong, T. H. F., & Brown, 2009).

2.4.4. Indicadores de sostenibilidad.

Los indicadores de sostenibilidad son herramientas clave que pueden ser cuantitativas, cualitativas o descriptivas, y sirven para evaluar la condición de los entornos urbanos y el impacto de sus actividades sobre el medio ambiente. Estos indicadores son esenciales para la planificación urbana, permitiendo crear ciudades que ofrecen igualdad de oportunidades y acceso a servicios básicos como energía, vivienda, transporte y espacios públicos.

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

3.1. TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN.

Determinar el tipo y nivel de investigación como parte del diseño metodológico permitirá al investigador estudiar y evaluar las variables del estudio (García Ramírez, 2019). El proceso se caracteriza por ser sistemático y riguroso, que tiene como objetivo adquirir conocimiento y comprensión sobre un tema o fenómeno particular, la elección dependerá de los objetivos de la investigación, la naturaleza de los datos, los métodos y herramientas de recopilación que empleará, así como otros aspectos que determinarán el enfoque central de la investigación (Acosta Faneite, 2023).

3.1.1. Tipo de investigación.

La presente investigación es aplicada, este tipo de estudio científico de conocimiento es adquirido por investigación básica que pretende traducirse en aplicaciones concretas, resolver problemas o mejorar situaciones existentes (Vizcaíno Zúñiga et al., 2023). De acuerdo con (Nieto, 2018), se caracteriza por la utilización de conocimiento existente que se orienta a su aplicación con un enfoque práctico, debido que contempla la utilidad y aplicabilidad de los resultados y utiliza técnicas para medir y evaluar el impacto de estas soluciones. Este tipo de análisis no se evalúa en términos de verdadero, falso o probable, sino en términos de eficiencia o eficacia (Ñaupas Paitán, 2014).

3.1.2. Nivel de investigación.

Los niveles de investigación se refieren a la profundidad y el alcance del estudio en términos de la complejidad y especificidad de los objetivos. La investigación corresponde a un nivel aplicado, se orienta a resolver problemas prácticos utilizando conocimientos y teorías existentes. El enfoque está en la implementación y evaluación de soluciones concretas en contextos específicos, como en la ingeniería, la salud o la educación (Tejero González, 2021).

La presente investigación es de tipo y nivel aplicado, debido a que utiliza conocimientos teóricos y prácticos: sistemas de información geográfica, fotogrametría y topografía junto con normativa, regulación y conocimientos en sistemas constructivos de alcantarillados que se aplican a contextos reales brindando un análisis de áreas de inundación que plantean la solución a un problema en el diseño de un sistema de alcantarillado pluvial en la comuna morillo

3.2. METODO, ENFOQUE Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

Los conceptos buscan seguir un procedimiento estructurado y metódico empleado para abordar una pregunta o resolver un problema de investigación (Medina et al., 2023). Un método de investigación abarca la identificación del problema de estudio, la recolección y análisis de datos, así como la exposición de conclusiones y sugerencias (Hernández Sampieri & Mendoza Torres, 2018).

3.2.1. Método

Los métodos de investigación se pueden entender como una serie de procedimientos organizados que guían el pensamiento para descubrir y explicar una verdad, son estrategias o enfoques generales empleados para responder preguntas de investigación y lograr objetivos específicos (De La Cruz Casaño, 2016), su valor radica en su capacidad para estructurar el proceso de transformar un tema en un problema de investigación y para comprender la realidad de manera efectiva (Aguilera Hintelholher, 2013).

El método Mixto se posiciona como la estrategia metodológica más adecuada para el estudio (De La Cruz, 2016), de esta forma se permitirá abordar la complejidad de la problemática de manera integral, considerando tanto aspectos técnicos como sociales y ambientales, y conducirá al diseño de soluciones efectivas y sostenibles para la gestión de aguas pluviales en la Comuna Morrillo.

3.2.2. Enfoque

La presente investigación se considera mixta, ya que combina elementos de investigación cualitativa y cuantitativa para obtener una comprensión más completa

del problema y desarrollar una solución efectiva (Hernández Sampieri & Mendoza Torres, 2018), las componentes cuantitativas son la recopilación y el análisis de datos geospaciales y los dimensionamientos de componentes del sistema de drenaje que confluye con la componente cualitativa del análisis de vulnerabilidad ante inundaciones.

3.2.3. DISEÑO

La presente investigación responde a un estudio de caso mixto debido a la naturaleza de su enfoque (Christensen et al., 2015), la fase cualitativa comprende la revisión de literatura, entrevistas con actores clave y observación detallada de la situación actual, la fase cuantitativa involucra la recopilación, procesamiento y simulación de flujos de agua, así como la evaluación de la calidad de drenaje y el dimensionamiento del sistema considerando una fase de integración comprende la triangulación de datos cuantitativos y cualitativos, la elaboración de mapas de vulnerabilidad y la propuesta de diseño de sistema de alcantarillado.

3.3. POBLACIÓN, MUESTRA Y MUESTREO

En el ámbito de la investigación, el concepto de población y muestra es fundamental para asegurar la validez y generalización de los resultados obtenidos. Estableciendo los límites y características de la población de estudio, el investigador puede analizar su comportamiento y formular hipótesis para comprender la naturaleza del fenómeno (García Ramírez, 2019). Estas hipótesis se evalúan y contrastan mediante una muestra que refleja las características esenciales de la población. Para ello, se emplean técnicas de muestreo que garanticen la representatividad de la muestra para el análisis.

3.3.1. Población

De acuerdo con (Hernández Sampieri & Mendoza Torres, 2018) la población de estudio se define como un conjunto de elementos, previamente delimitados y accesibles, que servirán como base para la selección de una muestra representativa. La población en cuestión debe cumplir con una serie de criterios preestablecidos. En este caso particular, la población de estudio son las comunas rurales del cantón Santa Elena.

3.3.2. Muestra

Hernández Sampieri & Mendoza Torres (2018) señalan que la muestra se define como un subgrupo representativo de la población de interés, sobre el cual se recolectarán datos. Esta debe ser definida y delimitada con precisión para garantizar su representatividad. El objetivo del investigador es que los resultados obtenidos en la muestra puedan ser generalizados o extrapolados a toda la población (lo que se conoce como validez externa en el contexto de los experimentos). En este estudio, la muestra seleccionada corresponde a la comuna Morrillo

3.3.3. Muestreo

El muestreo o técnicas de investigación son herramientas o procedimientos específicos que se emplean dentro de un método de investigación para recopilar, analizar o interpretar datos de manera más profunda y detallada (Arias González, 2020). Las técnicas utilizadas pueden considerarse como análisis de contenido, experimentos y simulación.

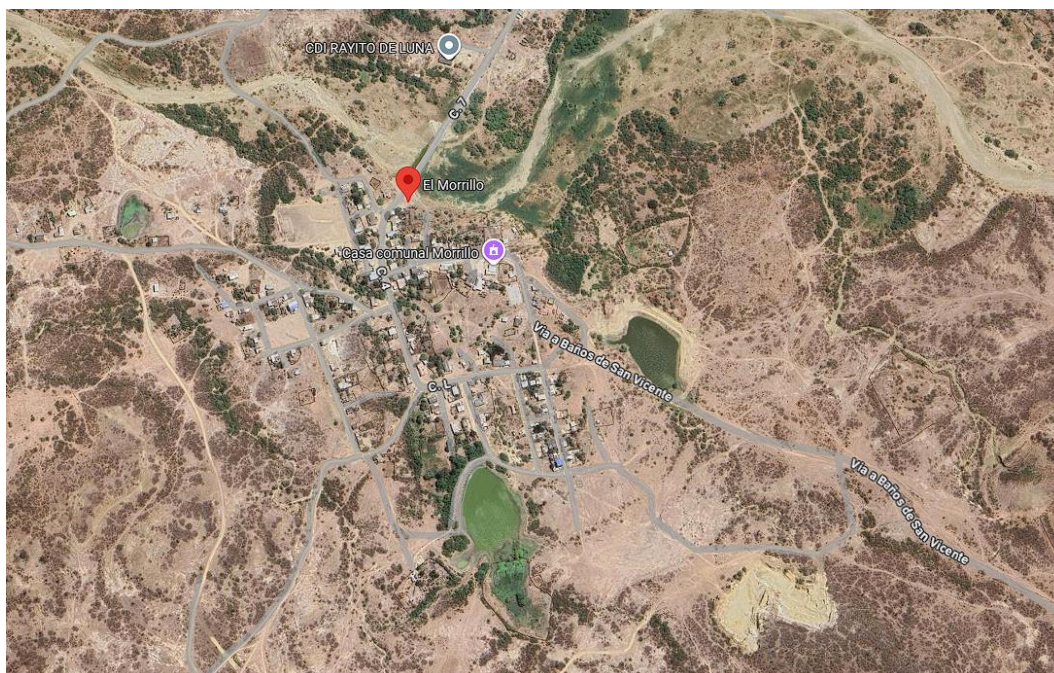
3.4. UBICACIÓN DEL SECTOR DE ESTUDIO

El sector de estudio se refiere al área geográfica específica en la que se llevará a cabo la investigación. Este espacio físico delimitado sirve como escenario para el análisis de variables y la comprensión de la realidad a través de diseños experimentales o metodologías de investigación. La elección del sector de estudio debe ser cuidadosa y estar fundamentada en la naturaleza de la investigación y los objetivos que se persiguen.

El área de estudio corresponde a la comuna El Morrillo, un asentamiento rural ubicado en la parroquia Santa Elena, dentro del cantón Santa Elena, en la provincia del mismo nombre, Ecuador. Se localiza aproximadamente en las coordenadas latitud -2.20 y longitud -80.78 , a una altitud media cercana a los 70 m s. n. m. y a unos 14 km al este de la cabecera cantonal de Santa Elena.

Figura 1.

Vista satelital el morrillo



3.5. METODOLOGÍA DEL O.E.1.:

DETERMINAR EL MAPA DE ELEVACIONES, CONDICIONES HIDROLÓGICAS, TOPOGRÁFICAS Y URBANAS ACTUALES DEL BARRIO PERÚ EN LA COMUNA EL MORRILLO, EN RELACIÓN CON LA GESTIÓN DE AGUA PLUVIAL

El desarrollo de este objetivo específico se orienta a la obtención de información geomorfológica y urbana precisa del barrio Perú, mediante la integración de técnicas de topografía, fotogrametría y análisis hidrológico. Esta información permitirá caracterizar las condiciones actuales del terreno y su relación con la gestión del agua pluvial, con el propósito de establecer una base de datos geoespacial confiable para la formulación de estrategias de drenaje y mitigación de anegamientos.

3.5.1. Levantamiento Topográfico

Para el levantamiento del terreno se aplicarán métodos combinados de topografía clásica y fotogrametría aérea. Se empleará una estación total y un receptor GNSS diferencial para el control geodésico de puntos base, mientras que la cobertura superficial se obtendrá mediante vuelos con dron tipo RPAS (Remotely Piloted Aircraft System) equipados con cámara de alta resolución. Estos métodos permitirán generar modelos bidimensionales (planimetría) y tridimensionales (altimetría) del sector, a partir de los cuales se elaborará un Modelo Digital del Terreno (MDT) y un Modelo Digital de Superficie (MDS), siguiendo los criterios de precisión establecidos por la American Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ASPRS, 2014)

3.5.1.1. Levantamiento.

En el contexto topográfico, el "levantamiento" se refiere a la recopilación de datos de un objeto o lugar y su representación gráfica en dos o tres dimensiones, o mediante un sistema de proyección. El sistema acotado es el método más común para la representación final. Los resultados obtenidos del levantamiento permiten una mejor comprensión del entorno, considerándolo así un método de investigación valioso (Buill et al., 2007)

3.5.2. Levantamiento Fotogramétrico.

La fotogrametría es una técnica que mide la forma y ubicación de un objeto o lugar utilizando fotografías. Generalmente, se utilizan fotos aéreas para realizar mediciones, investigaciones y análisis de imágenes, proceso conocido como fointerpretación. En áreas como la geografía, geología, vegetación e investigación arqueológica, la fotogrametría es una herramienta esencial (Lehmann, 1975).

3.5.2.1. Preparación y Planificación del Vuelo Fotogramétrico

Para llevar a cabo el levantamiento topográfico, se debe delimitar geográficamente la Comuna San Pablo y establecer las coordenadas límites del área a estudiar. Para esta etapa se utilizó el software Drone Deploy, una plataforma de software en el sector de la tecnología de drones que permite planificar vuelos, capturar imágenes y procesar datos para generar mapas y modelos 3D de alta resolución.

La etapa de planificación del vuelo es crucial para definir con precisión el área de interés y garantizar que todo el terreno relevante sea cubierto durante el vuelo. Una vez delimitada el área, se procede a planificar el vuelo, Esto incluye determinar la altura de vuelo adecuada para obtener la resolución requerida y definir la ruta del vuelo, asegurando una cobertura completa del área. Es importante que las imágenes capturadas tengan una superposición suficiente, con un mínimo del 60% frontal y 30% lateral, para garantizar la calidad del modelo digital de elevaciones.

3.5.2.2. *Captura de Imágenes*

La captura de imágenes se realiza utilizando un drone equipado con una cámara de alta resolución, para el desarrollo de esta tesis se empleó el modelo de Drone MAVIC Air 2S, de la empresa DJI. El vuelo debe seguir el plan establecido, capturando imágenes del terreno desde diferentes ángulos y con la superposición adecuada. Este proceso es esencial para recoger datos precisos y detallados del área de estudio.

3.5.2.3. *Procesamiento de Imágenes*

Las imágenes capturadas se importan a un software de fotogrametría, donde se realiza la corrección de distorsiones y la alineación de las imágenes. Este paso asegura la coherencia del modelo y es fundamental para la generación de un MDE preciso. Aunque DroneDeploy tiene la opción de procesamiento de imágenes se utilizó la herramienta de Agisoft Metashape, que realiza un mejor procesamiento. Utilizando el software se genera el MDE a partir de las imágenes alineadas. Se aplican técnicas de correlación y fotoreferenciación para obtener un modelo tridimensional detallado del terreno, lo que permite una representación exacta de las características topográficas

3.5.2.4. *Análisis y Validación*

El MDE generado se compara con puntos de control topográficos (GCPs) previamente establecidos en el terreno, los cuales se ubicaron con estación total. Este proceso de validación permite identificar y corregir posibles

discrepancias, realizando los ajustes necesarios para mejorar la precisión del modelo. Finalmente, el MDT se convierte en un mapa de elevaciones bidimensional. Es esencial que el mapa de elevaciones represente con precisión las variaciones de altura del terreno de la Comuna El Morrillo

3.6. METODOLOGÍA DEL O.E.2.:

IDENTIFICAR LAS CAUSALES DE INUNDACIONES EN EL BARRIO PERÚ DE LA COMUNA EL MORRILLO, MEDIANTE EL ANÁLISIS DE DATOS TOPOGRÁFICOS Y METEOROLÓGICOS PARA DETERMINAR POSIBLES SOLUCIONES

Para alcanzar este objetivo, se desarrolló un proceso metodológico orientado a diagnosticar las causas de las inundaciones en el barrio Perú, a partir del análisis conjunto de información topográfica, hidrológica, meteorológica y urbana. Las actividades se estructuraron de manera secuencial, permitiendo comprender la dinámica del escurrimiento superficial y las condiciones que contribuyen a la acumulación del agua pluvial en el área de estudio.

3.6.1. Recopilación y Análisis de Información Secundaria

En la primera fase, se recopiló información histórica de precipitaciones, caudales y registros de eventos de inundación correspondientes al área de influencia. Los datos meteorológicos provinieron de las estaciones cercanas gestionadas por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), mientras que la información cartográfica base se obtuvo del Instituto Geográfico Militar (IGM) y de los archivos técnicos del Gobierno Autónomo Descentralizado de San Vicente.

Se analizaron series pluviométricas con más de diez años de registro, determinándose los valores de precipitación máxima diaria y horaria, así como los periodos de retorno mediante el ajuste a las distribuciones Gumbel y Log-Pearson tipo III, siguiendo las recomendaciones del U.S. Water Resources Council (1982). Estos resultados permitieron identificar la magnitud y frecuencia de las lluvias extremas que han contribuido a los procesos de inundación en la zona urbana

3.6.2. Análisis Topográfico e Hidrológico.

Con base en el Modelo Digital del Terreno (MDT) obtenido previamente, se efectuó un análisis morfométrico del área para determinar los patrones de drenaje, pendientes dominantes y zonas de presionales. Mediante el uso de herramientas SIG (ArcGIS Pro y QGIS), se generaron los mapas de dirección y acumulación de flujo, delimitando las subcuencas de escurrimiento pluvial dentro del barrio Perú.

Se calcularon los parámetros hidrológicos fundamentales: pendiente media, longitud de escorrentía, coeficientes de escurrimiento e infiltración estimada, aplicando la metodología propuesta por Chow, Maidment y Mays (2011) y la ecuación de Horton (1933). El análisis permitió identificar sectores con baja capacidad de drenaje superficial, asociados principalmente a pendientes reducidas y superficies impermeables.

3.6.3. Evaluación de la Infraestructura de Drenaje Urbano

Posteriormente, se realizó un levantamiento técnico de la red de drenaje pluvial existente, identificándose sumideros, cunetas, alcantarillas y canales. Cada elemento fue georreferenciado y evaluado en cuanto a su capacidad hidráulica y estado de conservación.

Se evidenció que varios tramos presentaban obstrucciones por sedimentos y residuos sólidos, además de secciones subdimensionadas respecto a los caudales calculados en el análisis hidrológico. Esta situación confirmó la insuficiencia del sistema para evacuar eficientemente las aguas pluviales durante eventos de precipitación intensa.

3.6.4. Correlación de Factores Meteorológicos, Topográficos y Urbanos

Los resultados obtenidos fueron integrados en un Sistema de Información Geográfica (SIG), lo que permitió realizar un análisis espacial multicriterio para correlacionar las zonas inundables con las condiciones meteorológicas, topográficas y urbanas.

De esta correlación se estableció que las principales causales de inundación en el barrio Perú estuvieron asociadas a:

- Pendientes naturales reducidas y microdepressiones sin salida hidráulica.
- Alta impermeabilización de la superficie urbana.
- Drenajes obstruidos o colapsados.
- Falta de mantenimiento periódico.
- Aumento de la intensidad de las lluvias en periodos cortos.

Estos factores actuaron de manera combinada, generando anegamientos recurrentes en las zonas bajas del sector.

3.6.5. Propuesta de Medidas Correctivas y de Mitigación

Finalmente, con base en el diagnóstico de las causas, se plantearon alternativas técnicas de mitigación orientadas a mejorar la gestión pluvial del sector.

Entre las soluciones propuestas se incluyeron:

- El rediseño y ampliación de la red de drenaje para incrementar su capacidad hidráulica.
- La implementación de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS), tales como zanjas filtrantes, pozos de infiltración y pavimentos permeables.
- La limpieza y mantenimiento periódico de cunetas y sumideros.
- La educación ambiental comunitaria para reducir la acumulación de desechos en el sistema pluvial.
- La restauración de cauces naturales y recuperación de zonas verdes para favorecer la infiltración.

Cada propuesta fue evaluada bajo criterios de viabilidad técnica, costo-beneficio y sostenibilidad ambiental, siguiendo los lineamientos del Manual de Drenaje Urbano de la SENAGUA (2015) y las recomendaciones de la Federal Emergency Management Agency (FEMA, 2013).

3.7. METODOLOGÍA DEL O.E.3.:

PRE-DISEÑO DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO PLUVIAL CON CRITERIOS DE SOSTENIBILIDAD Y VALIDACIÓN MEDIANTE SIMULACIÓN HIDRÁULICA

El pre-diseño se desarrolló integrando lineamientos de drenaje urbano convencional con medidas de drenaje sostenible (SUDS/LID), priorizando la reducción de caudales pico, el control de volúmenes y la mejora de la calidad del escurrimiento. El proceso combinó análisis hidrológico, dimensionamiento hidráulico y modelación numérica para comparar escenarios tradicionales y sostenibles bajo tormentas de diseño representativas del sitio.

3.7.1. Definición de tormentas de diseño y parámetros hidrológicos

Se conformó una base de curvas IDF a partir de series de precipitación horaria y diaria de estaciones del INAMHI cercanas al área de estudio. Con estas series se ajustaron eventos de diseño para periodos de retorno seleccionados según criticidad urbana y lineamientos locales. Para subcuencas pequeñas y altamente impermeables se empleó el método racional para estimar caudales pico de referencia, mientras que para el análisis dinámico de volúmenes y tiempos de respuesta se adoptaron hietogramas sintéticos consistentes con las IDF y se parametrizó la infiltración con Horton cuando correspondía a suelos permeables. Este insumo sirvió como condición de entrada a la modelación hidrológica posterior (Chow, Maidment & Mays, 2011; Horton, 1933; SENAGUA, 2015).

3.7.2. Delimitación de subcuencas y estimación de aportes

Con el MDT y el ortomosaico previamente validados se delimitó cada subcuenca de aporte al sistema pluvial. Para cada unidad se cuantificaron pendiente media, longitud de escorrentía, rugosidad superficial y porcentaje de impermeabilización. La cartografía catastral y el reconocimiento de campo permitieron clasificar cubiertas, pavimentos y áreas verdes, insumos que definieron los coeficientes de escorrentía y los parámetros de pérdida empleados en el modelo (SENAGUA, 2015; ASCE/EWRI, 2022).

3.7.3. Configuración del escenario tradicional

Se trazó una red convencional de tuberías circulares, sumideros y pozos de revisión siguiendo la jerarquía vial y la dirección natural de flujo. Las pendientes mínimas de conducciones y los criterios de autolimpieza/no sedimentación se verificó con velocidades y tirantes compatibles con el transporte de sólidos, utilizando la ecuación de Manning para conducción a superficie libre. Asimismo, se revisó que los gradientes hidráulicos evitaran sobrepresiones en acometidas y que la lámina en pozos no superara umbrales operativos bajo el evento de diseño (HEC-22, 2013; SENAGUA, 2015; Chow, 1959).

CAPÍTULO IV. RESULTADOS

El presente capítulo expuso los resultados obtenidos a partir del desarrollo metodológico aplicado en la investigación, orientada al diagnóstico y pre-diseño de un sistema de alcantarillado pluvial sostenible para el barrio Perú, en la comuna El Morrillo. Las actividades realizadas comprendieron el levantamiento topográfico y fotogramétrico, el análisis hidrológico de las precipitaciones, la identificación de las causas de inundación y la simulación hidráulica de distintas alternativas de manejo pluvial.

Cada una de estas etapas permitió generar información cuantitativa y espacial que sirvió de base para el diseño preliminar de una red pluvial eficiente y ambientalmente responsable. En consecuencia, los resultados presentados a continuación reflejaron la caracterización física del territorio, el comportamiento hidrológico ante eventos de lluvia, la evaluación del sistema existente y la validación del pre-diseño propuesto mediante modelación hidráulica, integrando criterios técnicos y de sostenibilidad.

4.1. RESULTADOS DEL OBJETIVO ESPECÍFICO 1:

DETERMINAR EL MAPA DE ELEVACIONES, CONDICIONES HIDROLÓGICAS, TOPOGRÁFICAS Y URBANAS ACTUALES DEL BARRIO PERÚ EN LA COMUNA EL MORRILLO, EN RELACIÓN CON LA GESTIÓN DE AGUA PLUVIAL

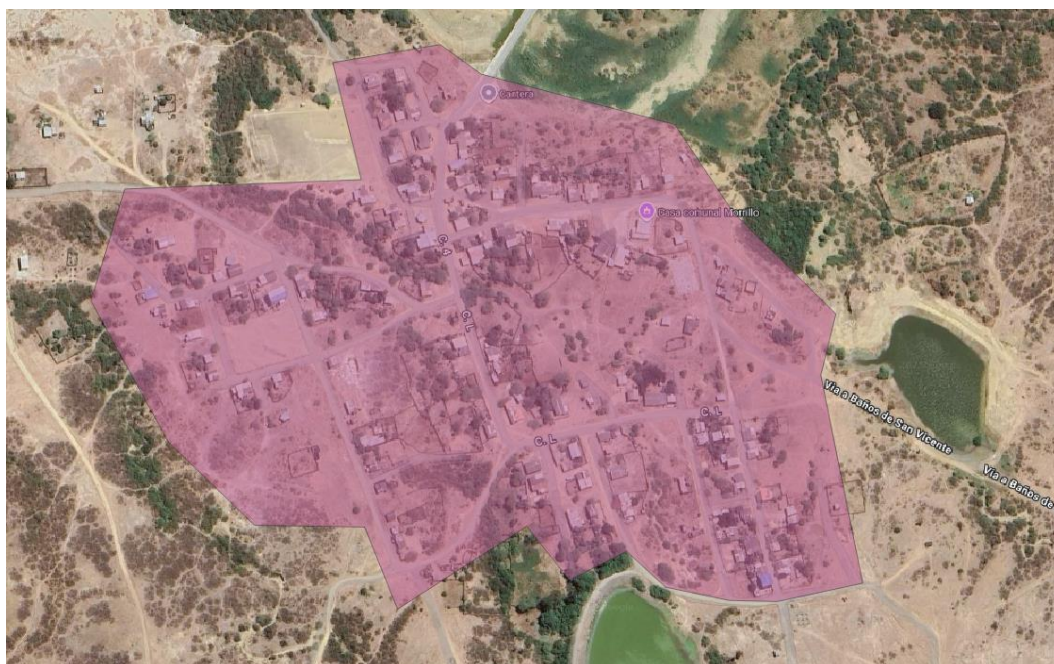
4.1.1. Delimitación del área de estudio

El levantamiento del área correspondiente al barrio Perú, en la comuna El Morrillo, se realizó mediante técnicas de fotogrametría aérea y análisis de imágenes satelitales de alta resolución. Se emplearon ortoimágenes del programa europeo Copernicus (Sentinel-2), complementadas con vuelos realizados con un vehículo aéreo no tripulado (RPAS), utilizando una cámara multispectral de alta precisión.

A partir del procesamiento fotogramétrico en el software Agisoft Metashape, se obtuvo un ortomosaico corregido y georreferenciado, sobre el cual se digitalizó el polígono límite del barrio Perú.

Figura 2.

Imagen satelital de Copernicus (Sentinel-2)



A partir del procesamiento fotogramétrico en el software Agisoft Metashape, se obtuvo un ortomosaico corregido y georreferenciado, sobre el cual se digitalizó el polígono límite del barrio Perú (Figura 4.1). Este polígono, incorporado a QGIS, permitió definir el área exacta de estudio, con una extensión aproximada de 5,6 hectáreas, correspondiente al núcleo urbano consolidado del sector.

El área se caracteriza por un patrón de asentamiento irregular, vías sin pavimentar, edificaciones unifamiliares dispersas y escasa infraestructura pluvial. La delimitación se utilizó posteriormente para recortar el modelo digital de elevaciones y desarrollar los análisis topográficos detallados.

4.1.2. Modelo Digital de Elevaciones (DEM)

Para representar la morfología del terreno y analizar la relación entre el relieve del barrio Perú y su entorno inmediato, se elaboró un Modelo Digital de Elevaciones (MDE) a partir de la integración de datos del programa Copernicus

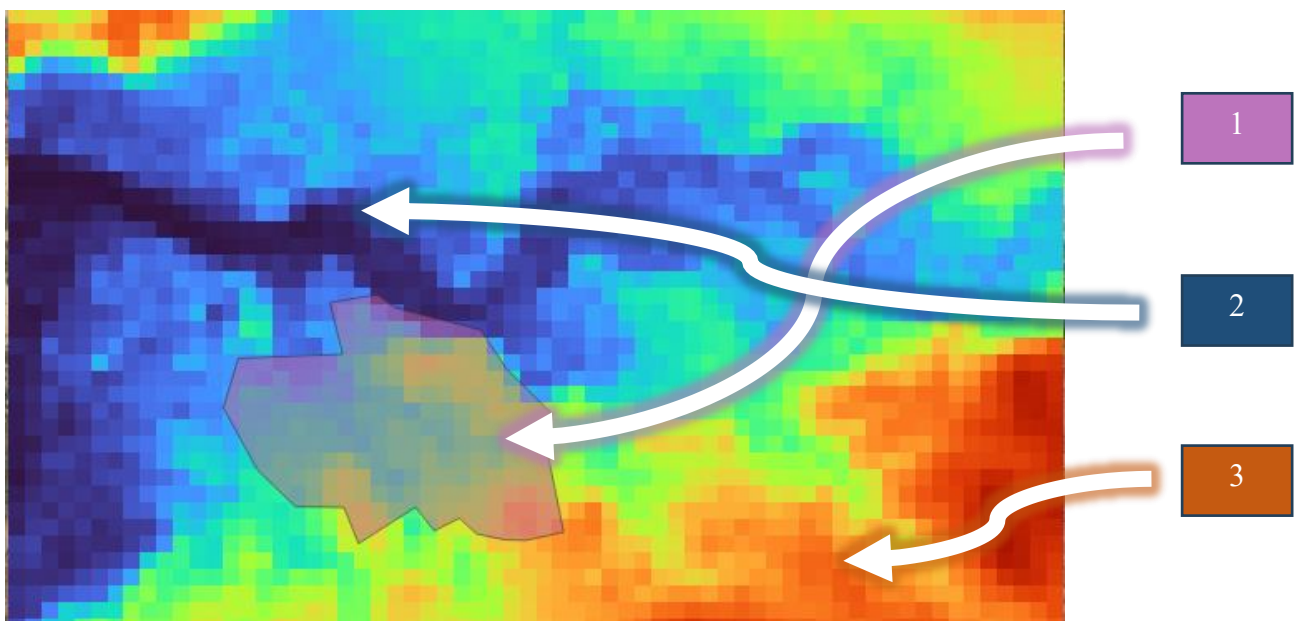
(DEM 30 m) y del levantamiento fotogramétrico obtenido mediante dron (RPAS). El procesamiento se realizó en QGIS 3.34, utilizando técnicas de interpolación y corrección geométrica, alcanzando una resolución espacial aproximada de 0,20 m/píxel en la zona urbana delimitada.

A diferencia de los modelos tradicionales centrados únicamente en el perímetro urbano, en este caso se generó un modelo ampliado del entorno de El Morrillo, con el propósito de analizar el comportamiento general del relieve y su incidencia en el drenaje natural. Este enfoque permitió identificar con mayor precisión las zonas de aporte pluvial hacia el barrio y las rutas preferenciales de escurrimiento que provienen de cotas más elevadas situadas al suroeste.

El modelo extendido mostró que el barrio Perú se encuentra sobre una franja de transición topográfica, entre terrenos ligeramente inclinados y una depresión natural (badén) ubicada al noreste, junto a la vía principal de acceso a la comuna. Esta depresión funciona como punto de convergencia del drenaje superficial, donde durante lluvias intensas se acumula temporalmente el flujo pluvial proveniente de las partes altas del sector.

Figura 3.

MDE de zona de estudio



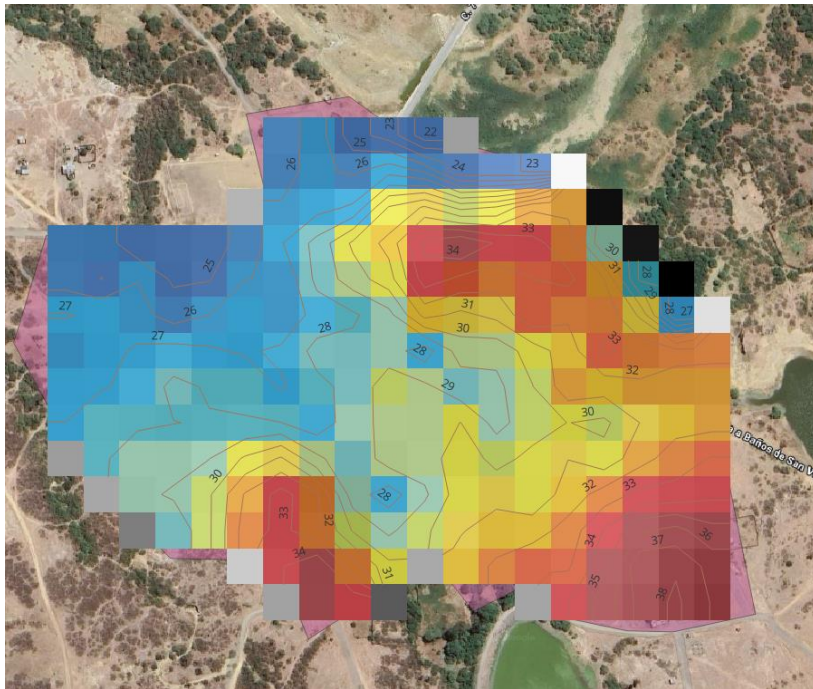
En la representación altimétrica el polígono rosado (cuadro 1) delimita el área urbana del barrio Perú, mientras que los tonos azul oscuro (cuadro 2) corresponden a las zonas de menor cota, asociadas a la presencia de un cauce natural o cuerpo de agua intermitente que atraviesa la vía principal. Por otro lado, los colores cálidos rojos y naranjas (cuadro 3) representan las áreas más elevadas, que actúan como zonas de esorrentía y aporte.

El rango altimétrico registrado dentro del área de estudio osciló entre 22,4 m y 38,1 m s.n.m., evidenciando un gradiente descendente de suroeste a noreste. Este patrón coincide con la orientación natural del drenaje hacia el estero que bordea la zona baja, confirmando que el relieve condiciona directamente el comportamiento pluvial y explica la tendencia a la acumulación de aguas en el eje vial principal.

El MDE constituye así una herramienta fundamental para comprender la dinámica superficial del drenaje natural, permitiendo correlacionar la topografía regional con las condiciones urbanas locales. Su precisión fue validada con puntos de control obtenidos en campo mediante GPS diferencial, obteniéndose un error medio cuadrático (RMSE) de 4 cm, lo que garantiza la confiabilidad de los resultados y la calidad altimétrica del modelo.

Figura 4.

Modelo Digital de Elevaciones del entorno de El Morrillo



4.1.3. Curvas de nivel y análisis altimétrico

A partir del Modelo Digital de Elevaciones (MDE) obtenido mediante la integración de datos del programa Copernicus y del levantamiento fotogramétrico con dron, se generaron las curvas de nivel correspondientes al área delimitada del barrio Perú, utilizando el software QGIS 3.34. El proceso se ejecutó mediante la herramienta “Curvas de nivel” del módulo Raster Análisis del terreno, estableciendo una equidistancia vertical de 1 metro, lo que permitió representar de forma detallada la topografía local y su relación con la configuración urbana

El rango altimétrico registrado dentro del área de estudio se extendió desde los 22 m s.n.m. (metros sobre el nivel del mar) en las zonas más bajas, hasta los 38 m s.n.m. en las partes más elevadas. La distribución de las curvas evidencia un gradiente descendente general en dirección suroeste–noreste, el cual coincide con el patrón natural de escurrimiento superficial hacia el badén ubicado en la vía principal de acceso a la comuna El Morrillo.

Este sector, representado por las curvas más próximas y de tonalidad azul oscura,

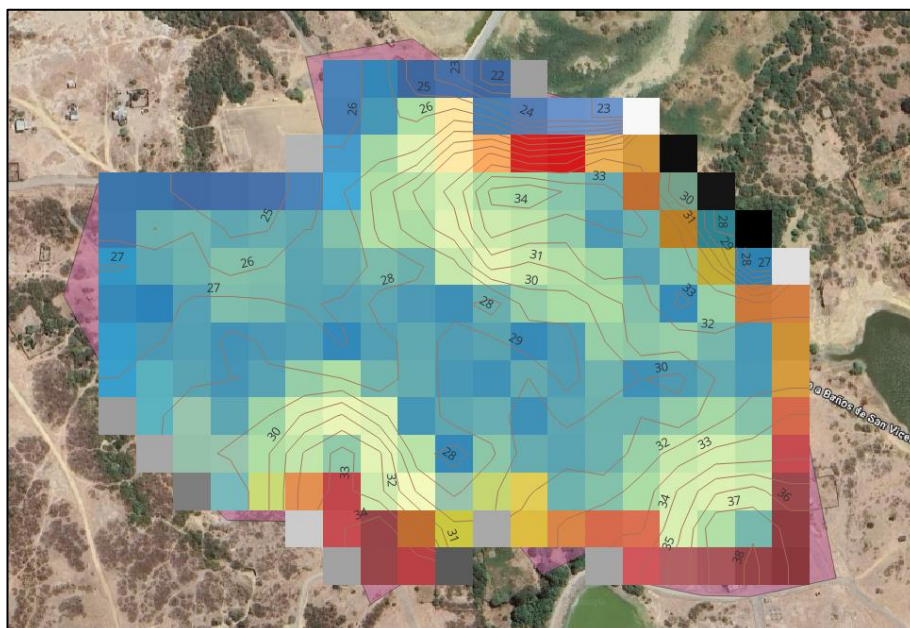
corresponde a la zona de menor altitud y de convergencia pluvial, donde se concentra el drenaje de las aguas provenientes de las partes altas. En contraste, las curvas más separadas y de colores cálidos (rojos y amarillos) identifican las áreas de mayor elevación, localizadas en los bordes suroccidentales y sureños del polígono urbano. Estas zonas funcionan como superficies de aporte o escurrimiento, ya que presentan pendientes moderadas que favorecen el flujo de agua hacia las cotas bajas.

La diferencia altimétrica de 16 m entre el punto más alto (38 m s.n.m.) y el más bajo (22 m s.n.m.) determina un relieve suavemente ondulado, característico de terrenos con baja capacidad de drenaje natural en áreas urbanizadas.

La superposición de las curvas sobre el ortomosaico permitió correlacionar la topografía con el uso del suelo y observar que la mayor parte de las edificaciones y calles se encuentran dentro de la franja intermedia (28 – 32 m s.n.m.), donde la pendiente es leve y la evacuación de aguas pluviales resulta deficiente. Esta configuración topográfica confirma la vulnerabilidad del sector frente a eventos de lluvia intensa, debido a que las áreas habitadas se ubican sobre una superficie de escurrimiento lento que desemboca en el cauce natural del badén.

Figura 5

MDE - Curvas de nivel y análisis altimétrico de El Morrillo



4.1.4. Análisis de pendientes

Con el fin de evaluar la inclinación del terreno y su incidencia en la dinámica de escurrimiento pluvial, se elaboró el mapa de pendientes del área de estudio a partir del Modelo Digital de Elevaciones (MDE) generado con datos de Copernicus y del levantamiento fotogramétrico mediante dron (RPAS). El procesamiento se realizó en QGIS 3.34, utilizando la herramienta “Raster → Análisis del terreno → Pendiente”, expresando los valores en porcentaje (%).

El resultado permitió identificar variaciones de pendiente entre 0,50 % y 17,65 %, evidenciando un relieve suavemente ondulado, donde predominan las zonas planas y de leve inclinación, intercaladas con sectores localizados de mayor pendiente. Los valores obtenidos se agruparon en cinco rangos característicos, definidos según criterios de clasificación geomorfológica aplicables a terrenos urbanos (MIDUVI, 2018; NEC-15).

Tabla 1.

Clasificación de pendientes del barrio Perú – Elaboración propia, 2025

Rango de pendiente (%)	Clasificación del terreno	Interpretación hidrológica
0,5 – 4,8	Plano a ligeramente inclinado	Escurrecimiento superficial lento; alta tendencia a acumulación de agua
4,8 – 9,0	Pendiente suave	Escurrecimiento moderado, drenaje parcial hacia cotas bajas
9,0 – 13,3	Pendiente media	Flujo superficial estable, contribuye al drenaje natural
13,3 – 17,6	Pendiente moderada a alta	Escurrecimiento rápido; zonas de aporte hacia áreas bajas

Del análisis espacial se determinó que más del 70 % del área presenta pendientes inferiores al 9 %, lo que confirma que el barrio Perú se emplaza sobre un terreno de inclinación suave. Esta morfología limita el drenaje natural, ya que las bajas pendientes dificultan la conducción del flujo pluvial, provocando acumulaciones temporales de agua en las zonas centrales y noreste del polígono urbano.

Los sectores con pendientes menores al 5 % se concentran principalmente en el eje vial central y en las áreas residenciales del norte, donde se observan las mayores evidencias de anegamiento durante lluvias intensas. Por el contrario, las zonas con pendientes entre 13 % y 17 %, ubicadas en el extremo suroeste y sureste, presentan un flujo de escorrentía más eficiente, funcionando como superficies de aporte hacia la depresión natural o badén que se sitúa al noreste, donde el terreno alcanza su cota mínima de 22 m s.n.m.

El patrón general de inclinación indica una tendencia del escurrimiento en dirección suroeste–noreste, coincidente con la orientación natural del relieve identificada en el MDE. Este comportamiento topográfico confirma que la combinación de baja pendiente y urbanización compacta constituye un factor determinante en los problemas de drenaje superficial del sector. El análisis de pendientes, por tanto, proporciona un insumo esencial para el diseño de un sistema de alcantarillado pluvial sostenible, orientado a aprovechar el gradiente natural del terreno y reducir los puntos de acumulación de agua.

4.1.5. Caracterización urbana y cobertura superficial

El análisis de la caracterización urbana y de la cobertura superficial del barrio Perú tuvo como finalidad identificar las condiciones de impermeabilización y el grado de alteración del terreno natural, factores determinantes en la generación de escorrentía pluvial. El estudio se efectuó en QGIS 3.34, mediante la interpretación de imágenes satelitales ópticas del programa Copernicus (Sentinel-2) y de ortofotos de alta resolución disponibles en Google Satellite, complementadas con una imagen Sentinel-1 (SAR) que permitió observar variaciones en la humedad y rugosidad superficial del suelo.

A partir de estas fuentes, se realizó una **clasificación visual** de las coberturas presentes en el polígono urbano, delimitando cuatro categorías principales:

- Superficies impermeables, correspondientes a techos, calles compactadas y áreas sin vegetación;

- Suelo natural descubierto, constituido por áreas de terreno sin tratamiento superficial;
- Cobertura vegetal dispersa, asociada a patios, márgenes de vías y zonas de baja densidad urbana; y
- Zonas de humedad o cauce natural, identificadas en el límite noreste, coincidentes con el badén y la depresión del terreno observada en el MDE.

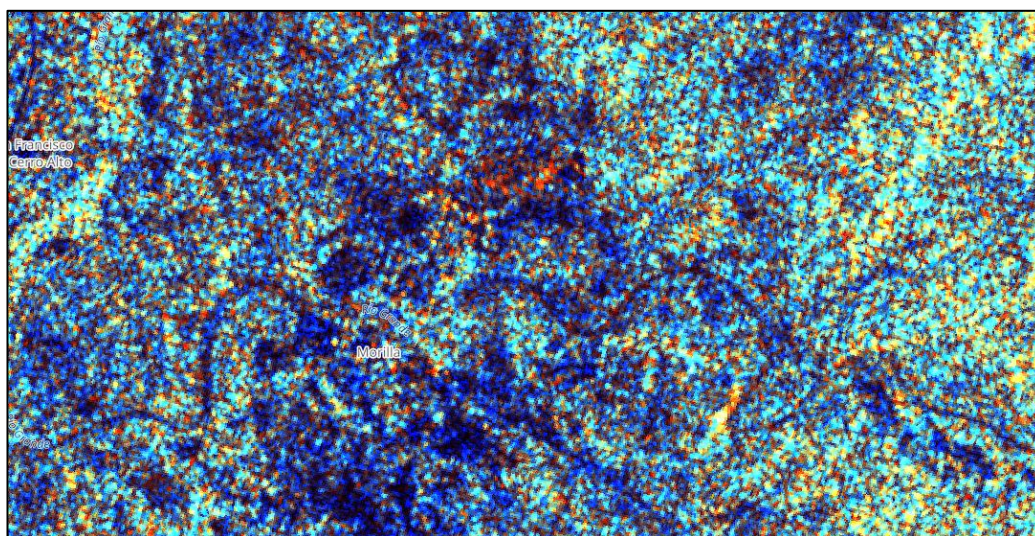
Los resultados del análisis mostraron una alta proporción de superficies impermeables, que representan aproximadamente el 68 % del área total del barrio Perú, seguidas por coberturas vegetales (22 %), suelo natural (8 %) y cuerpos o zonas húmedas (2 %). Este patrón evidencia que el proceso de urbanización ha reducido significativamente la infiltración natural del terreno, favoreciendo la acumulación de escorrentía en los sectores planos e intermedios (28–32 m s.n.m.), coincidentes con las cotas más pobladas del área de estudio.

La imagen Sentinel-1, al operar mediante radar de apertura sintética (SAR), permitió complementar el análisis al mostrar una mayor reflectancia en los sectores urbanos compactados, lo cual sugiere una baja capacidad de absorción del agua y una mayor retención superficial durante los eventos de lluvia. Por el contrario, las zonas con respuesta atenuada (tonos azul oscuro) se corresponden con áreas vegetadas y con el cauce natural de drenaje, donde la humedad del suelo es más persistente.

En términos funcionales, esta combinación de alta impermeabilización y escasa pendiente incrementa el riesgo de saturación superficial y anegamiento durante lluvias intensas, especialmente en los tramos viales sin sistemas de drenaje formal. El análisis de cobertura, por tanto, permite entender que el comportamiento pluvial del barrio no depende únicamente de su morfología, sino también del tipo de ocupación del suelo y del grado de consolidación urbana.

Figura 6.

Mapa de cobertura superficial del barrio Perú, comuna El Morrillo – Elaboración propia, 2025



4.2. RESULTADOS DEL OBJETIVO ESPECÍFICO 2:

IDENTIFICACIÓN DE LAS CAUSALES DE INUNDACIONES EN EL BARRIO PERÚ DE LA COMUNA EL MORRILLO, CANTÓN SANTA ELENA.

4.2.1. Análisis hidrológico y precipitación

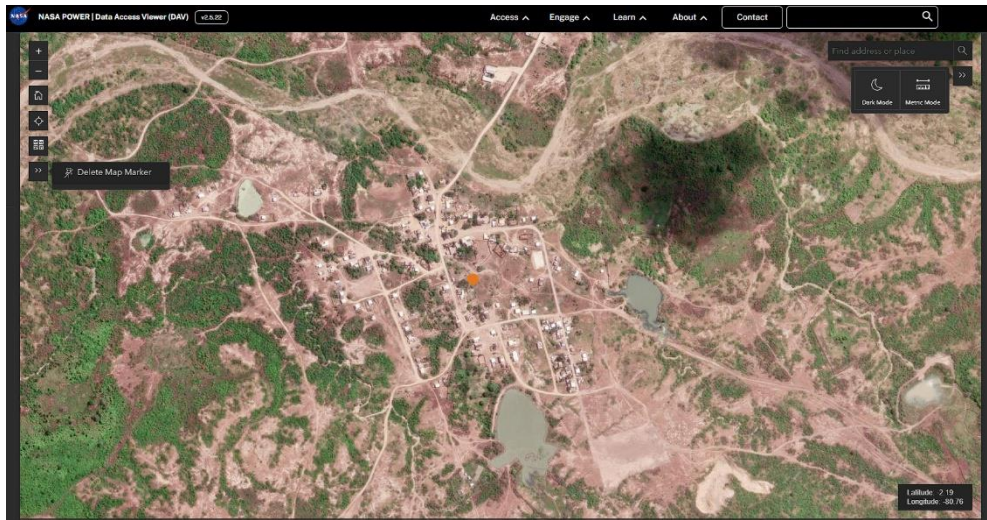
Para la determinación de la intensidad máxima de precipitación (i) en el área del barrio Perú de la comuna El Morrillo, se utilizó la plataforma **NASA POWER | Data Access Viewer (DAV)**, versión **2.5.22**, que proporciona datos climáticos satelitales de alta resolución derivados del proyecto POWER (Prediction of Worldwide Energy Resources).

En la plataforma se seleccionó el punto geográfico correspondiente al centro del barrio Perú, empleando las coordenadas:

- Latitud: -2.19
- Longitud: -80.76

Figura 7.

Vista de la plataforma NASA POWER donde se seleccionó el punto correspondiente al barrio Perú de la comuna El Morrillo.



A partir de este punto se descargaron los datos históricos de precipitación para el período **1994–2025**, obteniéndose una serie de 30 años de registro satelital continuo. Con estos datos se elaboró una base de:

- Máximos mensuales de precipitación.
- Máximos anuales de precipitación (Peak Annual Values).

La serie de máximos anuales (un valor por cada año del período estudiado) permitió construir el conjunto de datos extremos necesarios para la generación de las curvas Intensidad–Duración–Frecuencia (IDF).

Para el ajuste de las curvas IDF se empleó la ecuación de Bernard, ampliamente utilizada en hidrología para pequeñas cuencas urbanas:

$$P_r = \frac{k * T^m}{T_C^n}$$

- $k = 306.26$
- $m = 0.28771$
- $n = 0.61639$
- $b = 0$ (asumido como cero para simplificación).

Que coinciden con los parámetros reales del sector sacados en la plataforma del POWER BY esri:

Figura 8.

Parámetros regionales para curvas IDF (Intensidad–Duración–Frecuencia).

Estas curvas IDF generadas de manera personalizada para el área de la represa reflejan la relación entre la intensidad de precipitación, la duración crítica de la tormenta y el periodo de retorno, proporcionando una herramienta confiable y localmente calibrada para los cálculos hidrológicos.

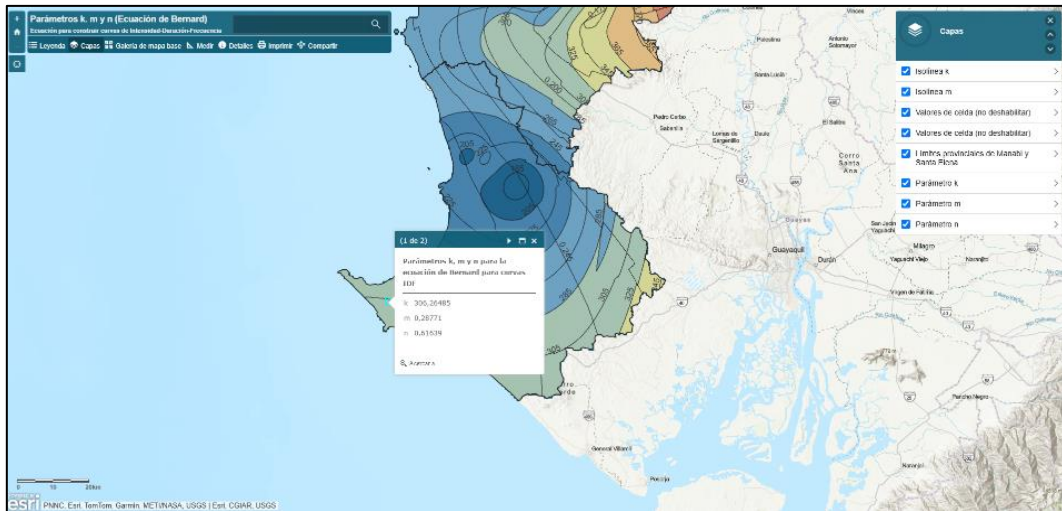


Figura 9.

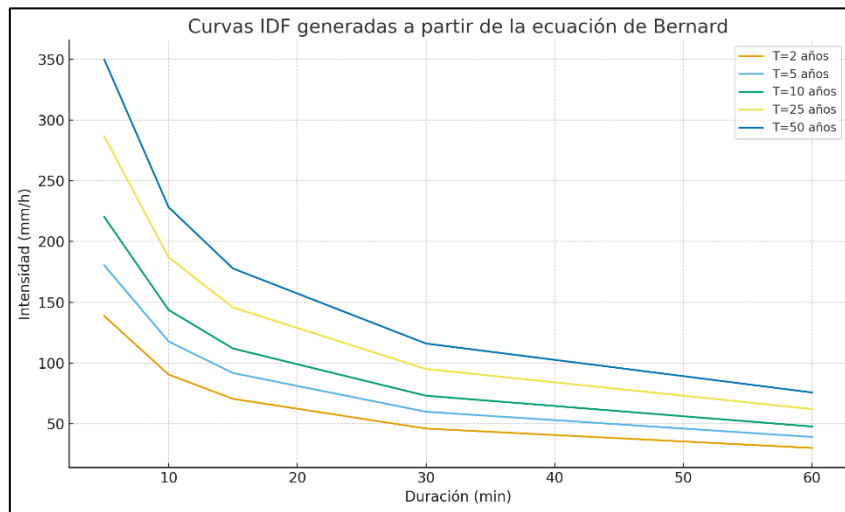
Intensidades de lluvia (mm/h) para diferentes periodos de retorno y duraciones

Duración Tc (min)	i_2 (T=2 años)	i_5 (T=5 años)	i_{10} (T=10 años)	i_{25} (T=25 años)	i_{50} (T=50 años)
5	138.63	180.45	220.27	286.72	350.00
10	90.43	117.71	143.68	187.03	228.30
15	70.43	91.68	111.91	145.67	177.82
30	45.94	59.80	73.00	95.02	115.99

Duración Tc (min)	i ₂ (T=2 años)	i ₅ (T=5 años)	i ₁₀ (T=10 años)	i ₂₅ (T=25 años)	i ₅₀ (T=50 años)
60	29.97	39.01	47.62	61.98	75.66

Figura 10.

Curva IDF generada con los datos satelitales de la NASA y ajustada para la cuenca de El Morrillo.



4.2.2. Caracterización del suelo, cobertura superficial y coeficientes de escorrentía

El análisis del suelo y de la cobertura superficial del barrio Perú permitió complementar el estudio hidrológico y el diagnóstico de las causas de inundación en el sector. Para ello, se utilizó información satelital reciente y observación directa en el área de estudio, lo que permitió identificar las características físicas que influyen en la generación de escorrentía y en la respuesta del terreno ante eventos de precipitación.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos, acompañados de las ilustraciones que evidencian la composición superficial del terreno y las pendientes características del barrio.

4.2.2.1. Identificación del tipo de suelo y cobertura superficial

El análisis de la vista aérea del barrio Perú muestra que la zona presenta superficies predominantemente desnudas, con tonalidades claras asociadas

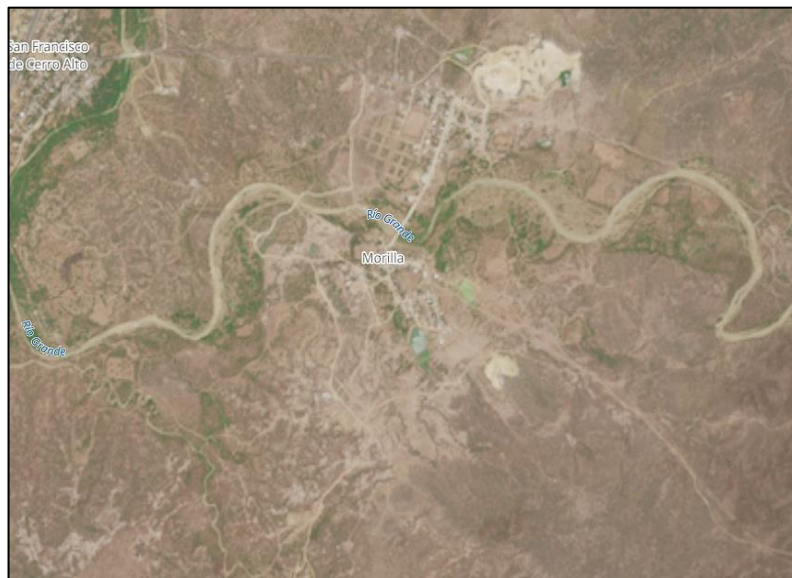
a suelos de textura **franco-arenosa compactada**, con baja presencia de vegetación. Las calles carecen de tratamiento superficial, aceras o bordillos, y están conformadas por material aplanado que presenta rápida saturación durante la temporada invernal. Estas características reducen la capacidad de infiltración del suelo y favorecen la formación de escorrentía superficial.

4.2.2.2. *Imagen satelital True Color*

La imagen *True Color* presenta la zona con su apariencia natural, permitiendo identificar la distribución general del suelo y de la ocupación urbana. En el barrio Perú se observa un predominio de superficies de color marrón claro, correspondientes a **suelo desnudo**, áreas sin vegetación y calles conformadas por suelo compactado. La cobertura vegetal se concentra únicamente en los alrededores y zonas más alejadas del núcleo poblado.

Figura 11.

Vista satelital True Color del barrio Perú, comuna El Morrillo.



Esta condición confirma la escasa presencia de vegetación dentro del asentamiento, lo cual disminuye la capacidad de retención e infiltración del agua de lluvia, incrementando el volumen de escorrentía superficial durante los eventos de precipitación.

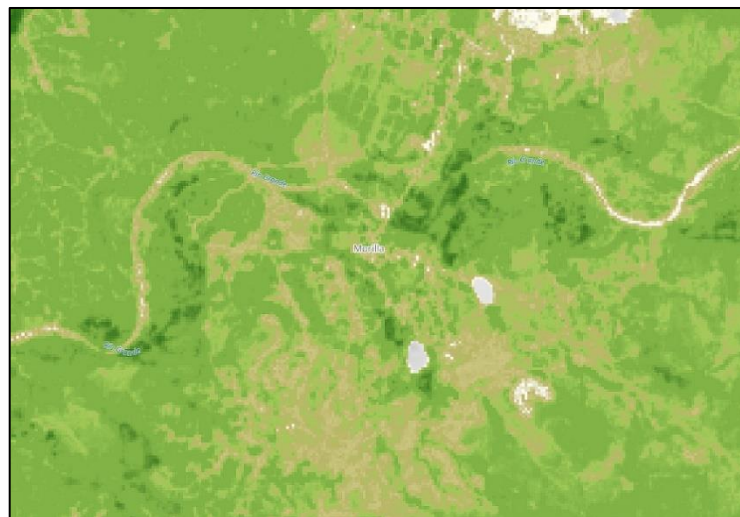
4.2.2.3. *Índice de Vegetación NDVI*

El análisis NDVI permite identificar el grado de vigor vegetal en el área. En la zona urbanizada del barrio Perú predominan los tonos amarillo claro y marrón, indicando baja o nula cobertura vegetal, mientras que los tonos verdes intenso se observan únicamente fuera del núcleo poblado, en áreas naturales no intervenidas.

Esto confirma que la cobertura vegetal dentro del barrio es mínima y que la mayor parte del terreno está expuesta y compactada, característica que favorece la escorrentía y los procesos de anegamiento.

Figura 12.

Índice NDVI del barrio Perú.



La predominancia de tonos asociados a suelo desnudo señala sectores con alta susceptibilidad a saturación, poca infiltración efectiva y mayor probabilidad de inundaciones durante tormentas de corta duración.

4.2.2.4. *Imagen Falso Color Urbano (False Color Urban)*

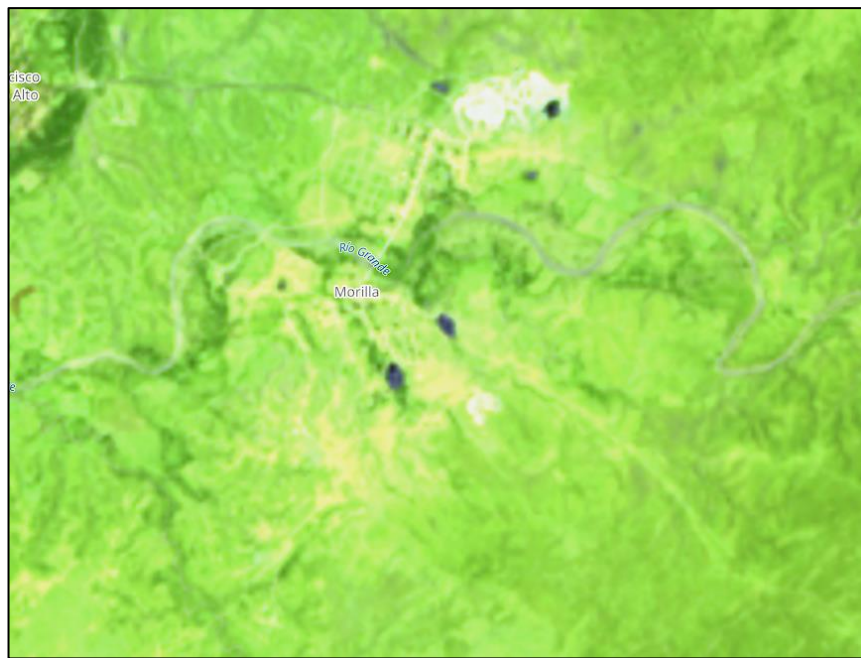
La visualización False Color Urban permite diferenciar mejor las áreas urbanizadas, las zonas compactadas y los elementos naturales. En esta imagen se observa que el núcleo del barrio Perú aparece con tonalidades

claras y definidas, las cuales corresponden a superficies urbanas, senderos, calles de tierra y construcciones dispersas.

Por el contrario, la vegetación aparece representada en tonos oscuros y verdes, limitada principalmente a las riberas del río y a las zonas periféricas del asentamiento.

Figura 13.

Imagen en Falso Color Urbano del barrio Perú



La presencia predominante de superficies compactadas y de bajo contenido vegetal refuerza la evidencia de que el barrio presenta alta exposición al escurrimiento superficial, lo cual coincide con las áreas donde la comunidad reporta inundaciones frecuentes.

4.3. RESULTADOS DEL OBJETIVO ESPECÍFICO 3:

PRE-DISEÑO DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO PLUVIAL CON CRITERIOS DE SOSTENIBILIDAD Y VALIDACIÓN MEDIANTE SIMULACIÓN HIDRÁULICA

El presente apartado expone los resultados obtenidos en el prediseño del sistema de alcantarillado pluvial del barrio Perú, integrando la caracterización hidrológica, la

delimitación de subcuencas, la estimación de caudales mediante tormentas de diseño y la verificación hidráulica de una red preliminar, complementada con alternativas sostenibles (SUDS/LID).

Los resultados se presentan siguiendo el orden metodológico definido en el Capítulo 3.

4.3.1. Selección de la tormenta de diseño

Para el dimensionamiento preliminar se adoptó una tormenta con periodo de retorno de 50 años, en concordancia con el nivel de riesgo del sector y la capacidad limitada de infiltración de las superficies compactadas del barrio. Este periodo permite asegurar un desempeño adecuado del sistema frente a eventos de lluvia de gran magnitud, considerando que el barrio Perú presenta problemas recurrentes de anegamientos incluso ante precipitaciones moderadas.

Las intensidades correspondientes fueron tomadas directamente de las curvas IDF obtenidas y validadas en el Objetivo Específico 2. Para un tiempo de concentración representativo de 10 minutos, característico de zonas urbanas compactas y con escorrentía rápida, la intensidad de lluvia empleada en los cálculos fue:

$$i_{50.10} = 228.30 \text{ mm/h}$$

Este valor se utiliza como referencia única en el método racional para todos los tramos, dado que las superficies de aportación son relativamente homogéneas y presentan tiempos de respuesta similares.

4.3.2. Determinación de áreas de aportación por tramo

Cada tramo del sistema recibe el aporte de áreas urbanas definidas por:

- el ancho de la vía,
- la longitud del tramo,
- la pendiente del terreno que dirige el flujo superficial hacia el sumidero,

- Los taludes y accesos laterales que descargan directamente sobre la calzada.

Dado que se trata de un sector rural con calles no pavimentadas, las áreas presentan superficies irregulares y su delimitación se realizó mediante medición geoespacial sobre el levantamiento topográfico y el ortomosaico fotogramétrico.

A continuación, se resume la información geométrica utilizada en el cálculo hidrológico:

Tabla 2.

Tramos, longitudes y áreas aportantes.

Tramo	Longitud L (m)	Área aportante A (m ²)
T1 (T1–T2)	80,68	25 471,50
T2 (T2–T3)	62,86	43 590,21
T3 (T3–T4)	166,36	4 552,85
T4 (T4–T5)	43,78	15 440,03
T5 (T5–T6)	58,58	16 061,05

Estas áreas constituyen la base para la estimación de los caudales mediante el método racional.

4.3.3. Cálculo de los caudales de diseño

El caudal de diseño se determinó aplicando el **método racional**, ampliamente utilizado en sistemas pluviales urbanos por su validez en superficies reducidas:

$$Q = C * i * A$$

Donde

- C = 0.55, valor representativo de calles de material compactado con baja infiltración
- i = 228,30 mm/h, intensidad para TR = 50 años y Tc = 10 min,
- A, área en hectáreas (1 ha=10 000 m²)

Los caudales obtenidos para cada tramo se presentan en la siguiente tabla

Tabla 3.

Caudales de diseño por tramo (T = 50 años, C = 0,55, Tc = 10 min).

Tramo	Área (ha)	Q diseño (m ³ /s)
T1	2,547	0,889
T2	4,359	1,522
T3	0,455	0,159
T4	1,544	0,539
T5	1,606	0,561

El tramo T2–T3 constituye el punto hidráulicamente más crítico del sistema, alcanzando un caudal de diseño de 1,522 m³/s, lo cual refleja la concentración de escorrentía proveniente de la mayor parte del sector.

Figura 14.

Áreas por manzana y distribución de AALL



4.4. Dimensionamiento preliminar de tuberías

El dimensionamiento se llevó a cabo considerando tuberías circulares de PVC o PEAD, rugosidad $n = 0,009$ (Manning) y una pendiente mínima de $S = 0,5\%$ (0,005), aceptable para zonas con topografía suave.

La capacidad de conducción para cada diámetro se evaluó mediante la ecuación de Manning

$$Q = \frac{1}{n} = AR^{2/3}S^{1/2}$$

donde:

$$A = \frac{\pi D^2}{4} \text{ área de una circunferencia}$$

$$A = \frac{D^2}{4} \text{ Para tuberías circulares trabajando a sección llena}$$

El diámetro seleccionado corresponde al primer valor comercial cuya capacidad hidráulica supera el caudal de diseño. Los resultados se presentan en la Tabla:

Tabla 4.

Diámetros preliminares y verificación hidráulica.

Tramo	Q diseño (m³/s)	Diámetro propuesto (mm)	Q capacidad (m³/s)	Cumplimiento
T1	0,889	800	0,94	Cumple
T2	1,522	1000	1,70	Cumple
T3	0,159	450	0,20	Cumple
T4	0,539	700	0,65	Cumple
T5	0,561	700	0,65	Cumple

Los diámetros obtenidos reflejan una tendencia coherente con la hidrología del sector, donde el conducto principal debe aumentar progresivamente a medida que recibe mayor aporte de escorrentía.

CAPÍTULO V – CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

5.1.1. Conclusión del Objetivo Específico 1

El desarrollo del primer objetivo permitió caracterizar integralmente las condiciones topográficas, altimétricas y urbanas del barrio Perú, en la comuna El Morrillo, a partir del procesamiento de información satelital del programa Copernicus y del análisis espacial en QGIS 3.34. El Modelo Digital de Elevaciones (MDE) y las curvas de nivel evidenciaron un relieve suavemente ondulado, con cotas que varían entre 22 y 38 m s.n.m., estableciendo un gradiente descendente general en dirección suroeste–noreste. Este patrón confirma la existencia de una depresión natural o badén en la vía principal, que actúa como punto de convergencia del escurrimiento pluvial.

El análisis de pendientes, cuyos valores fluctúan entre 0,5 % y 17,6 %, reveló que más del 70 % del área presenta inclinaciones menores al 9 %, clasificándose como terreno plano a ligeramente inclinado. Esta morfología condiciona un escurrimiento superficial lento y favorece la acumulación temporal de agua en los sectores de menor cota.

5.1.2. Conclusión del Objetivo Específico 2

Por su parte, la caracterización urbana y de cobertura superficial demostró que aproximadamente el 68 % de la superficie corresponde a áreas impermeables (viviendas, calles compactadas y zonas urbanizadas), mientras que apenas un 32 % mantiene coberturas vegetales o naturales. Esta distribución incrementa la generación de escorrentía y reduce significativamente la infiltración del suelo, agravando la respuesta hidrológica del terreno ante lluvias intensas.

En conjunto, los resultados obtenidos permiten concluir que el barrio Perú presenta una vulnerabilidad inherente a inundaciones derivada de su topografía

plana, la presencia de una depresión natural y la alta impermeabilización del suelo urbano. Por tanto, el análisis cumplió plenamente con el objetivo de determinar el mapa de elevaciones y las condiciones hidrológicas, topográficas y urbanas actuales del sector, estableciendo la base técnica necesaria para los posteriores estudios de escurrimiento e identificación de soluciones sostenibles de drenaje pluvial.

5.1.3. Conclusión del Objetivo Específico 3

El pre-diseño del sistema de alcantarillado pluvial para el barrio Perú permitió establecer, de manera preliminar, la infraestructura necesaria para evacuar adecuadamente los caudales generados durante eventos de lluvia de alta magnitud. A partir de la intensidad correspondiente a un periodo de retorno de 50 años y del análisis de las áreas de aportación por tramo, se determinaron los caudales máximos de diseño mediante el método racional, identificándose que la mayor concentración de esorrentía ocurre en el tramo T2–T3, con un caudal aproximado de 1,52 m³/s.

El dimensionamiento hidráulico preliminar de las tuberías, realizado mediante la ecuación de Manning, permitió proponer diámetros que aseguran la conducción eficiente del caudal en todos los tramos de la red, verificándose que los valores de capacidad superan los caudales de diseño y que las velocidades se mantienen dentro de rangos aceptables para evitar sedimentación y erosión. Este análisis confirma que una red compuesta por diámetros entre 450 mm y 1000 mm es técnicamente viable para las condiciones topográficas y urbanas del sector.

Asi mismo, los resultados evidencian que, debido a las características físicas del barrio (suelo compactado, baja infiltración, ausencia de pavimento y limitaciones de drenaje superficial), los caudales generados son elevados incluso en superficies relativamente pequeñas. Esto refuerza la necesidad de complementar la red convencional con medidas de drenaje sostenible que permitan reducir el volumen y la velocidad del escurrimiento superficial, disminuyendo la carga hidráulica en los tramos críticos y mitigando los riesgos de anegamientos.

5.2. RECOMENDACIONES

Considerando los resultados generados y conforme a las conclusiones, se exponen las siguientes recomendaciones direccionadas a reducir los riesgos en el sector de estudio frente a las diversas situaciones de anegamiento y proyectadas a mejorar la gestión del drenaje pluvial.

5.2.1. RECOMENDACION 1

Es recomendable considerar soluciones enfocadas en la naturaleza, como, por ejemplo: zanja de infiltración, pozos de absorción, jardines de lluvia, entre otros. Permitiendo así, reducir la carga de los sistemas de drenajes convencionales del sector.

Así mismo, se propone incrementar las áreas verdes, específicamente en espacios públicos, bordes de calles, etc. Esto también aportaría a lo antes mencionado.

5.2.1. RECOMENDACION 2

Se recomienda trabajar en la elaboración de modelos hidrológicos que puedan identificar distintos escenarios de lluvias, y de esta manera, reconocer su impacto. A través de esto, se podría diseñar obras de drenaje eficaces y eficientes para las zonas más críticas del sector.

De la misma manera, es importante generar campañas de educación ambiental para los moradores del sector. Esto generaría un accionar correcto frente al cuidado de sumideros, disposición correcta de residuos y acciones preventivas ante las épocas invernales fuertes.

5.2.1. RECOMENDACION 3.

Se recomienda avanzar hacia el diseño definitivo del sistema de alcantarillado pluvial, incorporando análisis hidráulicos y estructurales más detallados que permitan validar con mayor precisión los diámetros propuestos y su desempeño bajo diferentes escenarios de precipitación. Asimismo, es fundamental complementar la red tradicional con infraestructuras de drenaje sostenible como cunetas verdes, zanjas de infiltración, jardines de lluvia o pavimentos permeables con el fin de disminuir los caudales pico, mejorar la infiltración y reducir la presión hidráulica sobre los tramos críticos identificados.

BIBLIOGRAFÍA

- Acosta Faneite, S. F. (2023). Los enfoques de investigación en las Ciencias Sociales. *Revista Latinoamericana Ogmios*, 3(8), 82–95. <https://doi.org/10.53595/rlo.v3.i8.084>
- Aguilera Hintelholher, R. M. (2013). Identidad y diferenciación entre Método y Metodología. *Estud. Polít. (Méx.)*, 28, 81–113.
- Alvarez Álvarez, S. (2023). Aproximación metodológica con Sistemas de Información Geográfica (SIG) en reivindicaciones feministas en La Araucanía (Chile). *Investigaciones Geográficas*, 65. <https://doi.org/10.5354/0719-5370.2023.70194>
- Arias Gonzáles, J. L. (2020). *Técnicas e Instrumentos de Investigación Científica*.
- Barbecho Benavides, J. J., Angumba Aguilar, P. J., Francisco Cazorla, J., & Quesada Molina, J. F. (2022). Indicadores de sostenibilidad urbana para la ciudad de Cuenca: Desechos residenciales sólidos y de construcción. *ConcienciaDigital*, 5(1.2), 27–45. <https://doi.org/10.33262/concienciadigital.v5i1.2.2084>
- Bouwer, H. (2002). *Artificial Recharge of Groundwater* (Hydrology and Water Resources, Ed.).
- Bucherie, A., Hultquist, C., Adamo, S., Neely, C., Ayala, F., Bazo, J., & Kruczkiewicz, A. (2022). A comparison of social vulnerability indices specific to flooding in Ecuador: principal component analysis (PCA) and expert knowledge. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 73, 102897. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2022.102897>
- Cao, F., Xu, X., Zhang, C., & Kong, W. (2023). Evaluation of urban flood resilience and its Space-Time Evolution: A case study of Zhejiang Province, China. *Ecological Indicators*, 154, 110643. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.110643>
- Castillo, C., Díaz, T., Álvarez, L., & Álvarez, M. (2022). Estrategias para el diseño de sistemas de drenaje urbano en la ciudad de Santa Clara. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 43(2), 44–57. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1680-03382022000200044&lng=es&tlng=es.

- Chakrabarty, B. K. (2001). Urban Management. *Cities*, 18(5), 331–345.
[https://doi.org/10.1016/S0264-2751\(01\)00026-9](https://doi.org/10.1016/S0264-2751(01)00026-9)
- Chandel, S. S., Sharma, V., & Marwah, B. M. (2016). Review of energy efficient features in vernacular architecture for improving indoor thermal comfort conditions. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 65, 459–477.
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.07.038>
- Chang, Y., Ho, H., & Huang, L. (2023). Evaluation of low impact development for resilient capacity in urban area with flood resilience index. *Journal of Flood Risk Management*, 16(2). <https://doi.org/10.1111/jfr3.12877>
- Christensen, L. B., Johnson, R. B., & Turner, L. A. (2015). Research Designs, Method, and Analysis. In *Pearson*.
- Chuang, W.-K., Lin, Z.-E., Lin, T.-C., Lo, S.-L., Chang, C.-L., & Chiueh, P.-T. (2023). Spatial allocation of LID practices with a water footprint approach. *Science of The Total Environment*, 859, 160201.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.160201>
- Cogato, A., Cei, L., Marinello, F., & Pezzuolo, A. (2023). The Role of Buildings in Rural Areas: Trends, Challenges, and Innovations for Sustainable Development. *Agronomy*, 13(8), 1961.
<https://doi.org/10.3390/agronomy13081961>
- Cruz, Y. S. (2012). Gestión del agua urbana mediante Análisis Espacial en los SIG. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, XXXIII(3).
- da Cruz e Sousa, R., & Miranda, O. L. (2018). Incorporating wetlands in hydrologic and hydraulic models for flood zone delineation: An application to Durán, Ecuador. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 28, 375–383.
<https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2018.03.023>
- De La Cruz, C. (2016). La realidad de la metodología de la investigación en Ingeniería. *Ingenium*, 01(02). <https://doi.org/10.18259/ing.2016008>
- De La Cruz Casaño, C. (2016). La realidad de la metodología de la investigación en ingeniería. *Ingenium*, 1(2 SE-Editorial).
- Etulain, J. C., & López, I. (2017). Inundaciones urbanas. Mapas de riesgo y lineamientos de ordenamiento territorial en la región del gran La Plata. *Estudios Del Hábitat*, 15(2). <https://doi.org/10.24215/24226483e030>
- FCTH. (1994). Hidrología Urbana. *FCTH*.

- Fontaneriamarco. (2023). *Qué es y cómo funciona un sistema de drenaje - Fontaneria Marco*. Fontaneria Marco. <https://www.fontaneriamarco.es/que-es-y-como-funciona-un-sistema-de-drenaje/#:~:text=Los sistemas de drenaje sanitario,y otra para aguas pluviales.>
- García Ramírez, Y. (2019). *Cómo redactar una tesis en Ingeniería Civil* (Primera Ed).
- Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial de Santa Elena. (2023). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial Provincia de Santa Elena*.
- Gómez, M. (2007). Hidrología urbana. *Colección CBI*.
- Gómez Tomalá, D. A., & Chóez Franco, J. J. (2023). *Diseño de alcantarillado sanitario y pluvial incluido el tratamiento de aguas residuales con laguna estabilizadora de la comuna Tugaduaaja, parroquia Chanduy, cantón Santa Elena, provincia de Santa Elena*. Universidad Estatal Península de Santa Elena.
- 0h,0t,0r/data=CnQaShJECiUweDkwMmRIMDViZGNjMDc3NTM6MHg5NDEwZDJlOWQ5ZDVhN2ZmGez2WWWmJAHAIROvgmuTMVTAKglTYW4gUGFibG8YAIAiABIiYKJAMBdxJoyxEBwBFLCpc_OIEBwBnePDiH0i9UwCEFn-B79jJUwDoDCgEw
- Grigg, N. S. , H. O. J. , & S. D. M. (1975). *Urban Water Systems*. Wiley.
- Haghibin, S., & Mahjouri, N. (2023). Quantifying and improving flood resilience of urban drainage systems based on socio-ecological criteria. *Journal of Environmental Management*, 339, 117799. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.117799>
- Hernández Sampieri, R., & Mendoza Torres, C. P. (2018). *Metodología de la investigación. Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta* (Editorial).
- iAgua. (2021). *¿QUE ES UN COLECTOR DE AGUA?* <https://www.iagua.es/respuestas/que-es-colector-agua>
- Imasgal. (2018). *Aplicaciones de los sistemas de informacion*. <https://imasgal.com/aplicaciones-sistemas-informacion-geografica/#:~:text=El uso de los SIG,que brindan los análisis espaciales.>
- Jones, R., & Brown, T. (Ed.). (2019). *Urban Design and Planning for the 21st Century*. Routledge.
- Kravchenko, M., Trach, Y., Trach, R., Tkachenko, T., & Mileikovskiy, V. (2024). Improving the Efficiency and Environmental Friendliness of Urban

- Stormwater Management by Enhancing the Water Filtration Model in Rain Gardens. *Water*, 16(10), 1316. <https://doi.org/10.3390/w16101316>
- Las fases del ciclo urbano del agua*. (2023, December 23). Aquae Fundacion.
- L.C.P.M. Stuyt. (2008). *Materiales para sistemas de drenaje subterráneo*.
- Leitmann, J. (1999). *Sustainable cities: Achieving urban sustainability*.
- Malavé Viñan, A. W. (2015). *Diseño del sistema de alcantarillado sanitario, pluvial y red domiciliaria de agua potable para una lotización de ciento cincuenta viviendas, en la comuna El Tambo - Santa Elena, provincia de Santa Elena*. Universidad Estatal Península de Santa Elena.
- Mao, Y., Li, Y., Bai, X., Yang, X., Han, Y., & Fu, X. (2024). Scenario-Based Green Infrastructure Installations for Building Urban Stormwater Resilience—A Case Study of Fengxi New City, China. *Sustainability*, 16(10), 3990. <https://doi.org/10.3390/su16103990>
- Martínez Gomariz, E., Gómez, M., Russo, B., Sánchez, P., & Montes, J. A. (2017). Metodología para la evaluación de daños a vehículos expuestos a inundaciones en zonas urbanas. *Ingeniería Del Agua*, 21(4). <https://doi.org/10.4995/ia.2017.8772>
- Medina, M., Rojas, R., Bustamante, W., Loaiza, R., Martel, C., & Castillo, R. (2023). *Metodología de la investigación: Técnicas e instrumentos de investigación*. Instituto Universitario de Innovación Ciencia y Tecnología Inudi Perú. <https://doi.org/10.35622/inudi.b.080>
- Meerow, S., & Newell, J. P. (2017). Spatial planning for multifunctional green infrastructure: Growing resilience in Detroit. *Landscape and Urban Planning*, 159, 62–75. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2016.10.005>
- member of the surbana Jurong group. (2024). *Gestión de las aguas pluviales*. https://www.smec.com/sp_cl/agua-y-aguas-residuales/gestion-de-las-aguas-pluviales/
- Mena-Benavides, M., Urrutia, M., Scheffczyk, K., Valdiviezo-Ajila, A., Mendoza, J., Diaz, G., Riembauer, G., & Walz, Y. (2021). Flood risk assessment for Ecuador. *EGU General Assembly 2021*, 19–30. <https://doi.org/https://doi.org/10.5194/egusphere-egu21-14853>
- Miteco. (2018). *Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico*. <https://www.miteco.gob.es/es/agua/temas/concesiones-y-autorizaciones/vertidos-de-aguas-residuales/vertido-desbordamiento-sistema->

saneamiento-dss/vertidos-dss-sistemas-urbanos-drenaje-sostenible-suds.html#:~:text=Los Sistemas Urbanos de Drenaje,previos al

- Moghadas, M., Asadzadeh, A., Vafeidis, A., Fekete, A., & Kötter, T. (2019). A multi-criteria approach for assessing urban flood resilience in Tehran, Iran. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 35, 101069. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2019.101069>
- Naciones Unidas. (2023). *Informe de los Objetivos de Desarrollo Sostenible*.
- Natsis, K., Makropoulos, C., Liu, S., Butler, D., & Memon, F. A. (2006). Quantifying sustainability in urban water management. *Water Resources Research*, 42(7), w07418.
- Naula, E., & Quezada, L. (2023). *Diseño del sistema de alcantarillado y planta de tratamiento para la comunidad de Cauquil* [UNIVERSIDAD DEL AZUAY]. <https://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/13454/1/18979.pdf>
- Ñaupas Paitán, H. (2014). *Metodología de la investigación cuantitativa-cualitativa y redacción de la tesis* (Cuarta).
- Nieto, N. E. (2018). Tipos de Investigación. *Universidad Santo Domingo de Guzmán*, 1(1), 1–4.
- Olsson, P., Gunderson, L. H., Carpenter, S. R., Ryan, P., Lebel, L., Folke, C., & Holling, C. S. (2006). Shooting the Rapids. *Ecology and Society*, 11(1).
- ONU Habitat. (2016). *Guía de Resiliencia Urbana*.
- Organización de las Naciones Unidas. (2018). *La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible: una oportunidad para América Latina y el Caribe*. CEPAL.
- Pahl-Wostl, C. (2002). Urban flood risk management: a framework for integrated solutions. *Environmental Science & Policy*, 5, 123–132.
- Parete, G., Ottomano Palmisano, G., De Boni, A., Roma, R., & Acciani, C. (2024). Rural Buildings for Sustainable Development: A Real Estate Market Analysis in Southern Italy. *Sustainability*, 16(10), 4086. <https://doi.org/10.3390/su16104086>
- Penning-Rowsell, E. , & B. M. (Ed.). (2021). *Flood Risk Management: Global Case Studies of Governance, Policy and Communities*. CRC Press.
- Pérez, S. (2018). *Cómo aprovechar el potencial de los Sistemas de Información Geográfica en la Gestión y Modelización Hidrológica*. Comunidad ISM.

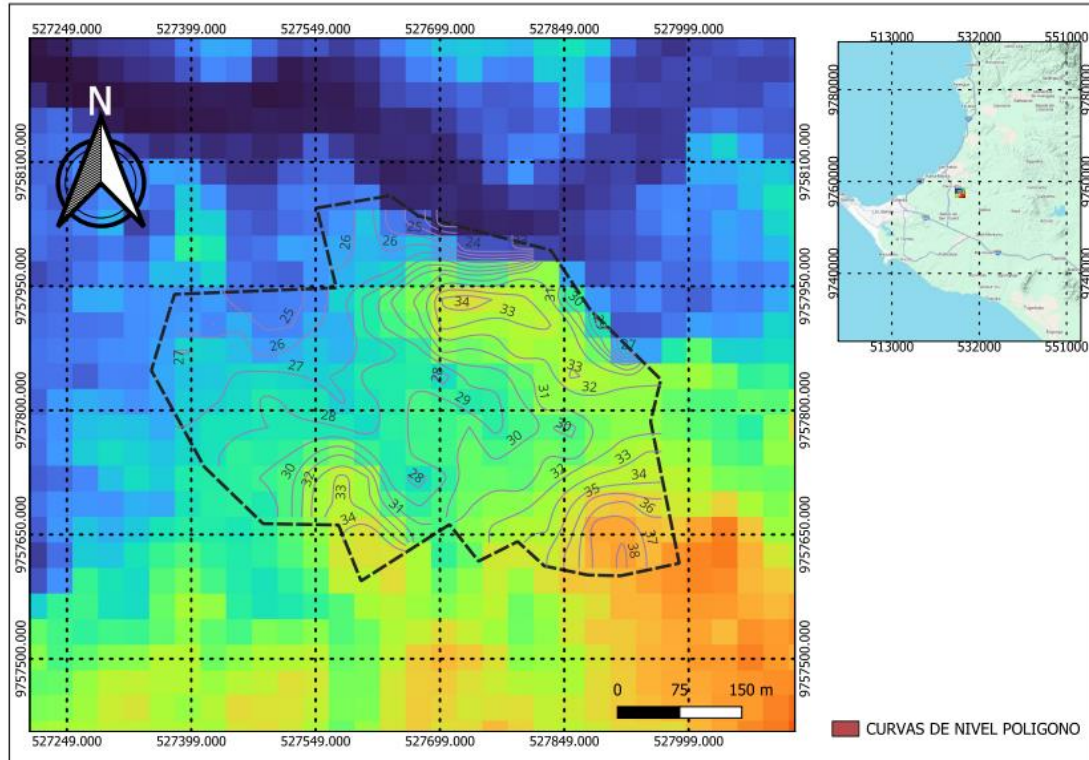
Cómo aprovechar el potencial de los Sistemas de Información Geográfica en la Gestión y Modelización Hidrológica

- Prasad, N., Ranghieri, F., Shah, F., Trohanis, Z., Kessler, E., & Sinha, R. (2008). *Climate Resilient Cities*. The World Bank. <https://doi.org/10.1596/978-0-8213-7766-6>
- Prejea. (2024). *Diferentes sistemas de saneamiento*. <http://www.prejea.com/index.php/blog/articulos-tecnicos/1/diferentes-sistemas-de-saneamiento/20>
- Sañudo, Luis & Rodriguez, J. (2012). *Diseño y Construcción de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS)*. School of Civil Engineering of the Universidad de Cantabria. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.1647.6003/1>
- Sarmiento, F. O. (2009). *Geomorphology of Natural Hazards and Human-induced Disasters in Ecuador* (pp. 149–163). [https://doi.org/10.1016/S0928-2025\(08\)10008-6](https://doi.org/10.1016/S0928-2025(08)10008-6)
- Shuster, J. P. (2024). *Estudio e implementación de modelos hidrológicos acoplados a SIG para el manejo y planificación en las Cuencas de Aconcagua y Maipo*. Ciren.Cl. <https://bibliotecadigital.ciren.cl/items/7b987125-82d8-4ec6-8d79-0ff9c7b4c230>
- Silva Rodríguez de San Miguel, J. A. (2019). *Diseño urbano sensible al agua. Retos y oportunidades*. Editorial Científica 3Ciencias. <https://doi.org/10.17993/EcoOrgyCso.2019.57>
- Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible*. (2013). SuD Sostenible. <http://sudsostenible.com/sistemas-urbanos-de-drenaje-sostenible/>
- Smith, J.; Beecham, S. (2005). Permeable Pavements. *Water Resources Research*, 31(4), 321–335.
- Smith, J., Brown, A., & Green, C. (2020). Sustainable Urban Drainage Systems: Concepts and Applications. *Urban Water Journal*, 17(3), 245–261. <https://doi.org/https://doi.org/10.1080/1573062X.2020.1735965>
- Sohn, W., Kim, J.-H., Li, M.-H., & Brown, R. (2019). The influence of climate on the effectiveness of low impact development: A systematic review. *Journal of Environmental Management*, 236, 365–379. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.11.041>
- Sørup, H. J. D., Fryd, O., Liu, L., Arnbjerg-Nielsen, K., & Jensen, M. B. (2019). An SDG-based framework for assessing urban stormwater management

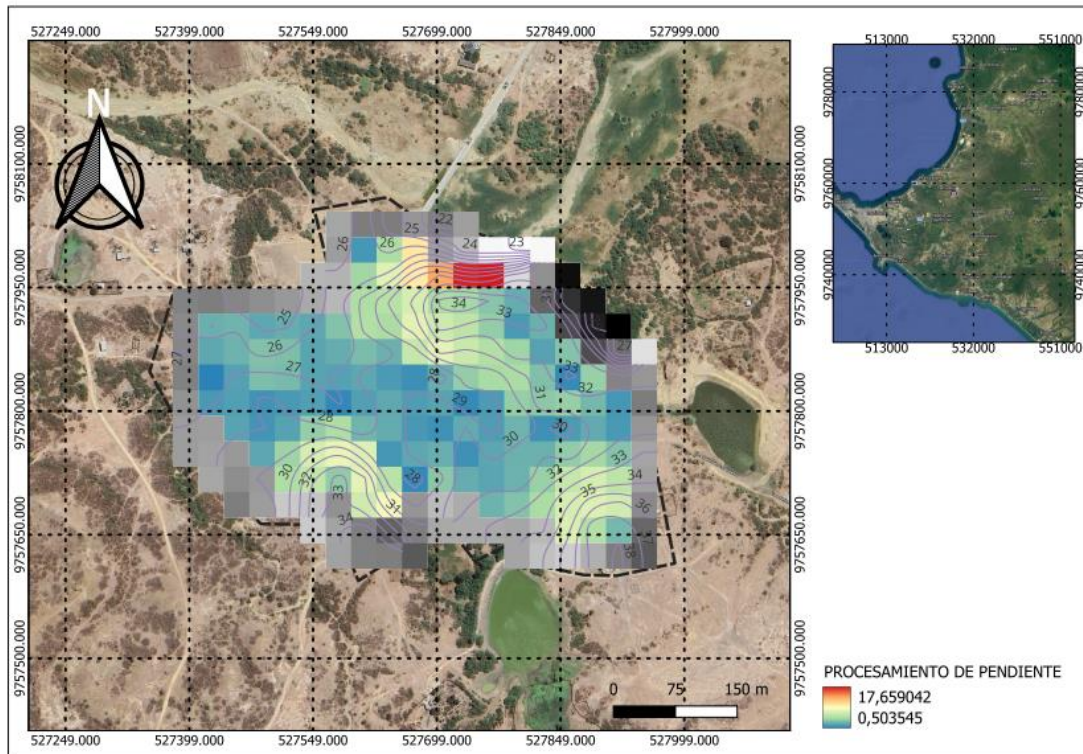
- systems. *Blue-Green Systems*, 1(1), 102–118.
<https://doi.org/10.2166/bgs.2019.922>
- Stadelmann, E. P. B. y W. A. (2002). *Environmental Chemistry of Lakes and Reservoirs* (Oxford University Press, Ed.).
- Strecker, E. W., & Huber, W. C. (2002). *Global Solutions for Urban Drainage*.
- Tejero González, J. M. (2021). *Técnicas de investigación cualitativa en los ámbitos sanitario y sociosanitario* (J. M. Tejero González, Ed.; 1st ed.). Ediciones de la Universidad de Castilla-La Mancha.
https://doi.org/10.18239/estudios_2021.171.00
- Thompson, William; Sorvig, K. (2008). *Sustainable Landscape Construction: A Guide to Green Building Outdoors* (Island Press, Ed.).
- Thompson, J. W.; Sorvig, K. (2008). *Sustainable Landscape Construction: A Guide to Green Building Outdoors* (Island Press, Ed.).
- Trapote Jaume, A. (2016). Gestión de las aguas pluviales en entornos urbanos mediante técnicas de Drenaje Sostenible. *Journal of Engineering and Technology*, 5(2), 26–40. <https://doi.org/10.22507/jet.v5n2a1>
- Varotsos, C., Sarlis, N. V., Mazei, Y., Saldaev, D., & Efstathiou, M. (2024). A Composite Tool for Forecasting El Niño: The Case of the 2023–2024 Event. *Forecasting*, 6(1), 187–203. <https://doi.org/10.3390/forecast6010011>
- Villao, D., Linzan, S., Padilla, A., & Mazón, L. (2023). *Tourist Reactivation Through Digital Marketing in the Communities of Santa Elena Province: Opportunities and Challenges* (pp. 233–250). https://doi.org/10.1007/978-3-031-17960-0_12
- Vizcaíno Zúñiga, P. I., Cedeño Cedeño, R. J., & Maldonado Palacios, I. A. (2023). Metodología de la investigación científica: guía práctica. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(4), 9723–9762.
https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i4.7658
- Wang, H.-W., Dodd, A., & Ko, Y. (2022). Resolving the conflict of greens: A GIS-based and participatory least-conflict siting framework for solar energy development in southwest Taiwan. *Renewable Energy*, 197, 879–892.
<https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.07.094>
- Wang, L., Chen, X., Li, X., Zhang, W., & Smith, J. (2018). The Impact of Urbanization on Water Vulnerability: A Coupled Human-Environment

- System Approach for Las Vegas, Nevada. *Journal of Hydrology*, 506, 466–475. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.03.051>
- Wang, X., Wang, C., & Shi, J. (2023). Evaluation of urban resilience based on Service-Connectivity-Environment (SCE) model: A case study of Jinan city, China. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 95, 103828. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2023.103828>
- Ward, S., & Maksimovic, C. (2007). *Urban Drainage*.
- White, G. (1945). Human Adjustment to Floods. In *Geography, Resources and Environment* (Vol. 5).
- Wong, T. H. F., & Brown, R. R. (2009). Transitioning to water sensitive cities: Historical, current and future transition states. In R. R. Brown (Ed.), *Handbook of Water Sensitive Planning and Design* (pp. 47–66). CRC Press.
- Wong, T. H. F., & Eadie, M. L. (2000). Sustainability in urban stormwater management. *Journal of Urban Planning and Development*, 126(3), 101–109.
- Xiaodan, L., & Yamaguchi, K. (2023). Issues and strategies for designing flood resilient public space to achieve a balance between public amenity and stormwater management infrastructure. *Urban and Regional Planning Review*, 10, 197–223.
- Xu, Y.-S., Ma, L., Du, Y.-J., & Shen, S.-L. (2012). Analysis of urbanisation-induced land subsidence in Shanghai. *Natural Hazards*, 63(2), 1255–1267. <https://doi.org/10.1007/s11069-012-0220-7>
- Yu, B., Fletcher, T. D.; Deletic, A. (2010). Performance and Design of Infiltration Trenches for Urban Stormwater Management. *Water Research*, 44(11), 335–342.
- Zhang, K., & Chui, T. F. M. (2018). A comprehensive review of spatial allocation of LID-BMP-GI practices: Strategies and optimization tools. *Science of The Total Environment*, 621, 915–929. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.11.281>
- Zhong, S., Clark, M., Hou, X.-Y., Zang, Y.-L., & Fitzgerald, G. (2014). Development of hospital disaster resilience: conceptual framework and potential measurement. *Emergency Medicine Journal*, 31(11), 930–938. <https://doi.org/10.1136/emmermed-2012-202282>

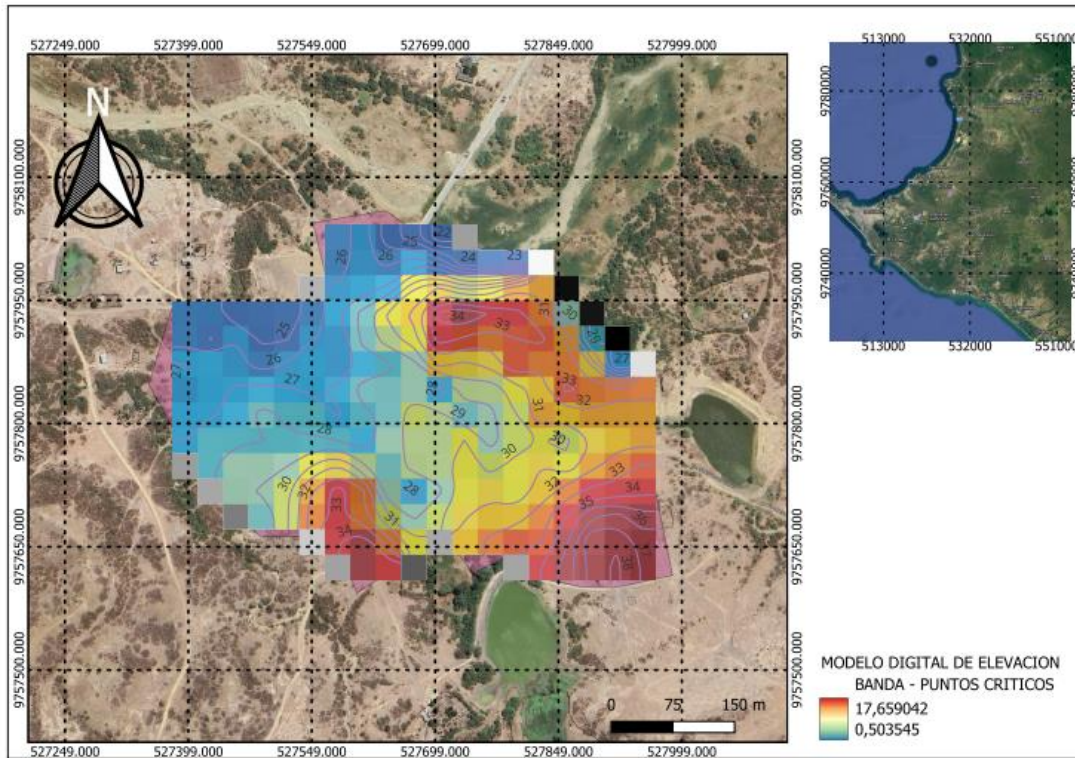
Anexos



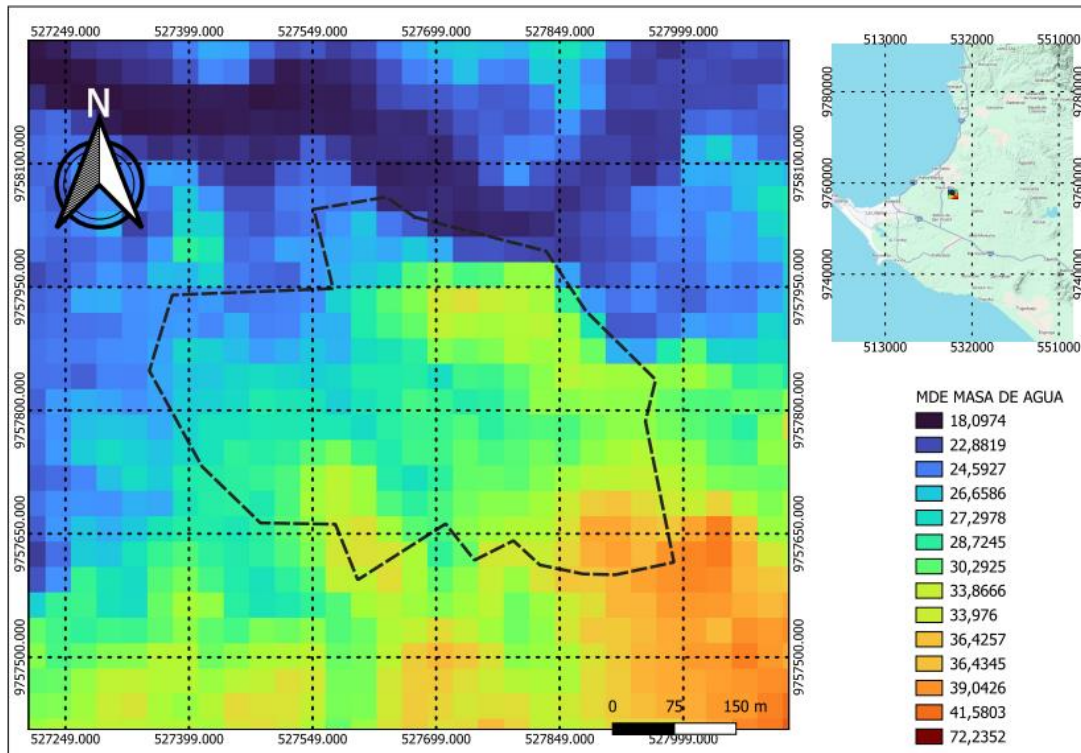
Anexo A: MAPA - CURVAS DE NIVEL - EL MORRILLO



Anexo B: MAPA - PROCESAMIENTO DE PENDIENTE



Anexo C: MAPA - MODELO DIGITAL DE ELEVACIONES MORRILLO



Anexo D: MAPA - MDE MASA DE AGUA



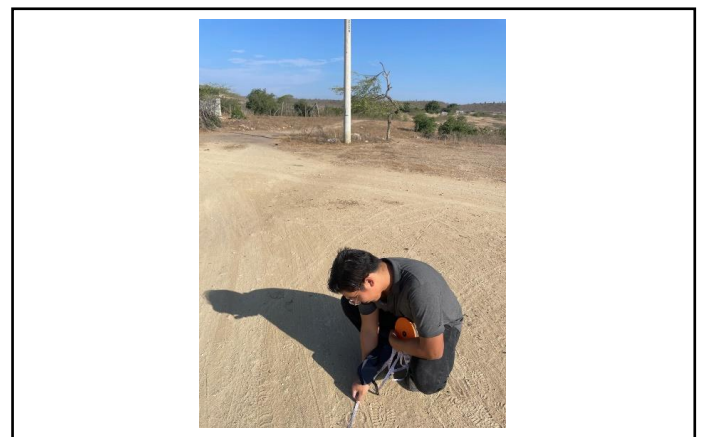
Anexo E: Calado de la Estación Total – realización del Levantamiento Topográfico



Anexo F: Socialización de Proyecto Tesis al Presidente del barrio de la comuna El Morrillo.



Anexo G: Reconocimiento y Armado del instrumento Topográfico a utilizar en el respectivo levantamiento.



Anexo H: Mediciones de las vías del área donde se llevó a cabo el Proyecto.



Anexo I: Mediciones de las vías del área donde se llevó a cabo el Proyecto.



Anexo I: Levantamientos Fotogramétricos, mediante el uso de un dron con cámaras de alta resolución.