



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

Investigación de drenajes pluviales sostenible como alternativa de mejora a los anegamientos en el distrito veintiséis de octubre de Piura

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
Ingeniero Civil

AUTOR:

Flores Huertas, Jeanfranco Jhamill (orcid.org/0000-0002-3262-8439)

ASESOR:

MSc. Marcelo Sanchez, Ary Garlyn (orcid.org/0000-0002-4805-3860)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Diseño de Obras Hidráulicas y Saneamiento

LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA:

Desarrollo económico, empleo y emprendimiento

PIURA – PERÚ

2023

DEDICATORIA

A Dios, por guiarme en cada paso y por ser parte de mi vida.

A mi madre, por su amor y por su ejemplo de perseverancia.

AGRADECIMIENTO

A Dios, por permitirme concretar una meta más en el ámbito personal y académico.

A mi familia, ser mi principal soporte emocional y sus muestras de cariño y apoyo.

A mi asesor, por compartir sus conocimientos y ser una guía.



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

Declaratoria de Autenticidad del Asesor

Yo, MARCELO SANCHEZ ARY GARLYN, docente de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA CIVIL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - PIURA, asesor de Tesis Completa titulada: "Investigación de drenajes pluviales sostenible como alternativa de mejora a los anegamientos en el distrito veintiséis de octubre de Piura", cuyo autor es FLORES HUERTAS JEANFRANCO JHAMILL, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 18.00%, verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, el cual ha sido realizado sin filtros, ni exclusiones.

He revisado dicho reporte y concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la Tesis Completa cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

En tal sentido, asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

PIURA, 06 de Febrero del 2024

Apellidos y Nombres del Asesor:	Firma
MARCELO SANCHEZ ARY GARLYN DNI: 80225075 ORCID: 0000-0002-4805-3860	Firmado electrónicamente por: ARYMARCELOS el 06-02-2024 12:40:25

Código documento Trilce: TRI - 0737135





UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

Declaratoria de Originalidad del Autor

Yo, FLORES HUERTAS JEANFRANCO JHAMILL estudiante de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA CIVIL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - PIURA, declaro bajo juramento que todos los datos e información que acompañan la Tesis titulada: "Investigación de drenajes pluviales sostenible como alternativa de mejora a los anegamientos en el distrito veintiséis de octubre de Piura", es de mi autoría, por lo tanto, declaro que la Tesis:

1. No ha sido plagiada ni total, ni parcialmente.
2. He mencionado todas las fuentes empleadas, identificando correctamente toda cita textual o de paráfrasis proveniente de otras fuentes.
3. No ha sido publicada, ni presentada anteriormente para la obtención de otro grado académico o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de la información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

Nombres y Apellidos	Firma
FLORES HUERTAS JEANFRANCO JHAMILL DNI: 75113893 ORCID: 0000-0002-3262-8439	Firmado electrónicamente por: JFLORESHUE el 09- 02-2024 11:44:23

Código documento Trilce: INV - 1553120



ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTO.....	iii
DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD DEL ASESOR.....	iv
DECLARATORIA DE ORIGINALIDAD DEL AUTOR.....	v
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	vi
ÍNDICE DE TABLAS.....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
RESUMEN	ix
ABSTRACT	x
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO	5
III. METODOLOGÍA	13
3.1. Tipo y diseño de investigación	13
3.1.1. Enfoque	13
3.1.2. Tipo de investigación	13
3.1.3. Diseño de investigación	13
3.2. Categorías, Subcategoría y matriz de categorización	13
3.3. Escenario de estudio.....	14
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	18
V. CONCLUSIONES	40
VI. RECOMENDACIONES.....	42
REFERENCIAS.....	43
ANEXOS	51

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Softwares.....	28
Tabla 2 Escala de modelos SUDS.....	30

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Ubicación del escenario de estudio	14
Figura 2 Topografía del área de estudio.....	18
Figura 3 Tipo de suelo.....	19
Figura 4 Colectores principales de aguas pluviales.....	20
Figura 5 Principales fenómenos que predominan en el área de estudio	21
Figura 6 Existencia de cuencas ciegas	22
Figura 7 Mapa de lluvias	23
Figura 8 Mapa de peligro por inundación pluvial	24
Figura 9 Visita a la cuenca ciega denominada cinco esquinas.....	25
Figura 10 Visita a la cuenca ciega ubicada a espaldas de la universidad César Vallejo	25
Figura 11 Causas de las fallas en los sistemas.....	26
Figura 12 Softwares para evaluar el comportamiento de las aguas	28
Figura 13 Escala de Modelo SUDS	30
Figura 14 Pavimento permeable.....	32
Figura 15 Pavimento semipermeable	32
Figura 16 Reservorios de retención.....	33
Figura 17 Trinchera de infiltración	33

Figura 18 Zanjas de infiltración.....	34
Figura 19 Microdepósito	34
Figura 20 Pozo de infiltración	35
Figura 21 Techos verdes	35
Figura 22 Depósito subterráneo	36
Figura 23 Franjas de Pasto	36
Figura 24 Sección transversal del dren filtrante.....	38

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo evaluar el sistema drenaje pluvial en el distrito veintiséis de octubre de Piura e investigar drenajes pluviales urbano sostenible como alternativa a la problemática antes mencionada. De manera que, el enfoque de estudio fue cualitativo, de tipo básico y diseño no experimental de corte transversal. Las categorías de estudio fueron tres: Sistemas de drenaje pluvial, Comportamiento de las aguas pluviales y sistemas sostenibles de evacuación, que se dividieron en las subcategorías: Descripción del sistema actual de drenaje pluvial, descripción del comportamiento de las aguas producto de las escorrentías y concepciones de nuevos sistemas de drenaje desde la perspectiva de la sostenibilidad, respectivamente. En los resultados se halló que los sistemas de drenaje pluvial urbano existentes generalmente funcionan mal debido al aumento de la impermeabilidad y la variación en la intensidad de las lluvias. Además, se diseñaron en función de los asentamientos urbanos actuales y los patrones históricos de precipitación generalmente están fallando debido a la urbanización y el cambio climático. De ahí que se identificaron softwares para evaluar el comportamiento de las aguas producto de las escorrentías siendo el más destacado el Modelo de Gestión de Aguas Pluviales en el 46% de los estudios. En ese contexto, se propusieron técnicas de sistemas de drenaje pluvial sostenible como alternativa de solución. Se concluyó que los sistemas resultan insuficientes e ineficientes ante el incremento de la escorrentía producto de la activación de las cuencas ciegas del distrito en periodos de lluvia moderada e intensa, que afectan la integridad de los moradores y del mismo modo ocasionan daño considerable a la propiedad pública y privada, por ende, se identificó como solución el uso de sistemas de drenaje pluvial urbano sostenible.

Palabras clave: Anegamientos, escorrentía, drenaje pluvial urbano.

ABSTRACT

The objective of this research was to evaluate the storm drainage system in the Twenty-sixth of October district of Piura and investigate sustainable urban storm drainage as an alternative to the aforementioned problem. Therefore, the study approach was qualitative, basic type and non-experimental cross-sectional design. The study categories were three: Storm drainage systems, Behavior of storm water and sustainable evacuation systems, which were divided into subcategories: Description of the current storm drainage system, description of the behavior of waters resulting from runoff and conceptions. of new drainage systems from the perspective of sustainability, respectively. The results found that existing urban storm drainage systems generally function poorly due to increased impermeability and variation in rainfall intensity. Furthermore, they were designed based on current urban settlements and historical precipitation patterns are generally failing due to urbanization and climate change. Hence, software was identified to evaluate the behavior of water resulting from runoff, the most notable being the Stormwater Management Model in 46% of the studies. In this context, sustainable storm drainage system techniques were proposed as an alternative solution. It was concluded that the systems are insufficient and inefficient due to the increase in runoff resulting from the activation of the district's blind basins in periods of moderate and intense rain, which affect the integrity of the residents and likewise cause considerable damage to property. public and primary, therefore, the use of sustainable urban storm drainage systems was identified as a solution.

Keywords: Flooding, runoff, urban storm drainage.

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, las inundaciones son un problema común para los asentamientos urbanos que insisten en desarrollarse dentro de áreas vulnerables. Este problema enfatiza la necesidad de llevar a cabo acciones especiales relacionadas con el drenaje urbano que rediseñen el desarrollo socioeconómico y mitiguen los efectos negativos de los eventos de inundación (La Loggia et al., 2020).

A nivel mundial, las inundaciones y el anegamiento urbano causados por lluvias de moderada y alta intensidad han sido motivo de preocupación en todo el mundo. En India aumentó el 27,0 % de la escorrentía de aguas pluviales en las cuencas (Dwivedi et al., 2022). De igual forma, en Beijing se determinó un incremento del 42,0% en la escorrentía de aguas pluviales entre 2000 y 2017. En China se estimó para el 2050 un aumento del 17,0 % en el volumen de escorrentía de aguas pluviales debido al aumento exponencial del proceso de urbanización y el cambio climático (Xu et al., 2023).

A nivel internacional, el rápido desarrollo de las ciudades, ocasionó que el área impermeable de la superficie de la tierra aumente, lo que acelera la velocidad del rendimiento de la escorrentía y la concentración del flujo, que incrementan el riesgo de inundaciones pluviales y el anegamiento urbano (Zhao et al., 2021). Otro factor determinante es el cambio climático, a causa del cual los patrones de lluvia cambian significativamente y los eventos meteorológicos anormales ocurren con mayor frecuencia en todo el mundo (Yang, et al., 2020; Zanchetta & Coulibaly, 2020).

De manera que, la frecuencia y magnitud de las precipitaciones extremas en muchas regiones, incluidas ciertas partes de Europa y Asia, tienen una tendencia al alza significativa. Por tal motivo, los riesgos de inundaciones pluviales y anegamientos urbanos están aumentando bajo los efectos duales del cambio climático y las actividades humanas que también tienen impactos graves en el desarrollo urbano y la vida social, causando grandes pérdidas económicas (Vorobevskii et al., 2020; Wang et al., 2020, Wang et al., 2021).

En Latinoamérica, a medida que cambiaron las estrategias de gestión de los sistemas de drenaje pluvial urbano, la utilización de recursos hídricos no convencionales, como los recursos de lluvia e inundaciones, se convirtió en una nueva forma de conservación y utilización del agua, por ende, están ganando cada vez más atención entre la comunidad científica. Bajo esta perspectiva, se busca avanzar hacia ciudades más resistentes a las inundaciones y el anegamiento urbano (Nguyen et al., 2019; Park et al., 2019; Seyed et al., 2023).

En el Perú, la ineficiencia de los sistemas de drenaje urbano, así como las precipitaciones extremas en el norte y sur del país, produjeron la sobrecarga de los sistemas generándose inundaciones y el anegamiento urbano de diferentes sectores de las ciudades. En Piura, el problema aumenta con la alta frecuencia e intensidad de fenómenos hidrometeorológicos como el Fenómeno del Niño y el Ciclón Yaku. Además, el calentamiento global, la disposición de los edificios en el área urbana y las actividades humanas, impactan en el aumento de la escorrentía dificultando de este modo su rápida evacuación.

En el distrito veintiséis de octubre, el anegamiento urbano provocó no solo víctimas humanas y daños a la propiedad privada, sino también daños sociales y ambientales. Además, generaron daños a la infraestructura urbana principalmente a las carreteras que se caracterizan por ser pavimentos flexibles, un material poco resistente al agua. De igual forma, afectaron los servicios básicos como el suministro de electricidad y agua que produjo la parálisis de las funciones urbanas y el colapso del sistema social.

Vinculado a lo anterior, se formuló la siguiente interrogante: PG. ¿Los drenajes pluviales urbano sostenible son eficientes para mitigar el anegamiento urbano de los diferentes sectores del distrito veintiséis de octubre de Piura? y como problemas específicos: PE1. ¿Cómo son los sistemas de drenaje pluvial en el distrito veintiséis de octubre? PE2. ¿Cuáles son los softwares para evaluar el comportamiento de las aguas producto de las escorrentías? Y PE3. ¿Cuáles son modelos o sistemas sostenibles de evacuaciones pluviales desde la perspectiva de la sostenibilidad?

La investigación posee relevancia social porque al identificar herramientas para abordar la problemática entorno a los sistemas de drenaje pluvial actual se benefició a los pobladores de la provincia de Piura que se han sido severamente afectados producto de las inundaciones pluviales y el anegamiento urbano que se generan en época de lluvias, tomando en cuenta además que tales afectaciones en sus viviendas, negocios y en la propiedad pública, repercuten también desfavorablemente en la calidad de vida de las personas, principalmente por la falta de un sistema sostenible de drenaje pluvial urbano sostenible eficiente para un manejo adecuado del agua.

Asimismo, la investigación proporcionó a la carrera de ingeniería civil nuevas y mejores tecnologías diseñadas a nivel internacional para la correcta gestión del agua pluvial a través de un sistema de drenaje sostenible que permita a los diferentes sectores del distrito veintiséis de octubre avanzar hacia ciudades más resistentes a las inundaciones y el anegamiento urbano, debido a que, si bien el Perú cuenta con una norma técnica para su diseño, el documento no incluye un capítulo sobre sistemas sostenibles, que permitan replicar los resultados positivos obtenidos en otros países, por ende el aporte de esta investigación a la carrera será significativo.

A nivel teórico, la investigación aportó conocimientos científicos de drenajes pluviales sostenibles que pueden contribuir a mejorar los lugares y espacios donde vivimos, trabajamos y jugamos equilibrando los desafíos que influyen en el diseño urbano y el desarrollo de las comunidades, ya que permiten gestionar las aguas superficiales, la calidad del agua (contaminación), la biodiversidad (vida silvestre y plantas) y los servicios.

A nivel práctico, la investigación es importante porque permitió a los estudiantes y profesionales de la carrera de ingeniería civil mantenerse a la vanguardia de los avances tecnológicos y nuevas estrategias implementadas para la correcta gestión del agua pluvial, tomando en cuenta que los sistemas de drenaje sostenible se utilizan para transportar agua superficial, atenuar la escorrentía antes de que ingrese a los cursos de agua, de manera que pueda aprovecharse por ejemplo para el riego de áreas verdes.

Desde una perspectiva metodológica, el estudio brindó instrumentos diseñados por el investigador para desarrollar los objetivos propuestos, por ende, contaron con validez y confiabilidad para su aplicación en futuros estudios similares a realizarse en diferentes lugares del territorio nacional, ya que los sistemas de drenaje sostenible se consideran beneficiosos para el medio ambiente, causando daños mínimos o nulos a largo plazo.

De manera que, el objetivo general consistió en: Evaluar el sistema drenaje pluvial en el distrito veintiséis de octubre de Piura e investigar drenajes pluviales urbano sostenible como alternativa a la problemática antes mencionada.

Además, como objetivos específicos se plantearon: OE 1. Caracterizar los sistemas de drenaje pluvial en el distrito veintiséis de octubre de Piura; OE 2. Identificar los softwares para evaluar el comportamiento de las aguas producto de las escorrentías; OE 3. Identificar modelos o sistemas sostenibles de evacuaciones pluviales desde la perspectiva de la sostenibilidad.

II. MARCO TEÓRICO

A continuación, se exponen los estudios hallados a nivel internacional que guardan relación con la investigación:

Raimondi et al. (2023) desarrolló un estudio titulado “Modelización probabilística de sistemas de drenaje urbano sostenible” con el objetivo de restaurar el equilibrio hídrico natural aumentando los procesos de infiltración y evapotranspiración y promoviendo la recolección y reutilización del agua de lluvia. La metodología utilizada fue cuantitativa y experimental. El artículo propuso un enfoque analítico- probabilístico para el modelado del sistema sostenible de drenaje pluvial (SUDS).

Como parte de los resultados, las ecuaciones creadas permitieron estimar la probabilidad de escorrentía y almacenamiento residual para evaluar la eficiencia del volumen de almacenamiento tanto en términos de control de inundaciones como, dependiendo del tipo de SUDS, en términos de tiempo de vaciado o suministro de agua requerido. El modelo tomó en cuenta la posibilidad de lluvias encadenadas consecutivas; esta característica es relevante para SUDS, que con frecuencia se caracterizan por bajas tasas de salida. Las fórmulas son atractivas para ser utilizadas en la práctica del diseño cuando se relacionan los parámetros característicos con un nivel de probabilidad. Este nivel de probabilidad se conoce como IRA. Se concluyó que, los SUDS son soluciones para la gestión y el control distribuido de las aguas pluviales. Esta investigación demostró que las áreas altamente urbanizadas que experimentan el efecto combinado de superficies impermeables y el aumento de eventos de lluvia extrema como resultado del crecimiento de la urbanización y el cambio climático pueden aumentar el riesgo de inundación y la contaminación de los cuerpos de agua receptores integrándolos en sistemas de drenaje urbano tradicionales.

Además, Bao et al. (2023) desarrolló una investigación titulada “Modelo de drenaje urbano para la gestión de emergencias pluviales” con el propósito de proponer una solución para prevenir el anegamiento urbano, un problema ambiental desafiante, mediante la integración de esquemas de predicción de anegamiento y optimización de drenaje basados en autómatas celulares y teorías de optimización multiobjetivo. Los resultados evidenciaron que, utilizando un enfoque de optimización multiobjetivo, el modelo de decisión de drenaje para soluciones óptimas calculó la cantidad máxima

de agua para bombear desde zonas inundadas a depósitos candidatos con un costo de energía mínimo. Este enfoque integrado se aplicó con éxito a la cuenca de DongHaoChong, a 11 km² cuenca hidrográfica en Guangzhou, sur de China y validada comparando las áreas de inundación simuladas con puntos inundados de dos lluvias. Se concluyó que, el modelo propuesto era confiable y capaz de simular un flujo incierto en cualquier posición y momento con una entrada de datos y parámetros mínimos en un entorno urbano. En ese sentido, el aporte a este estudio consistió en que los modelos propuestos de predicción de anegamiento urbano y emergencia de drenaje podrían optimizar la toma de decisiones para mejorar los planes de emergencia y reducir las pérdidas debidas al anegamiento urbano.

También, Seyedashraf et al. (2021) realizó un estudio titulado “Optimización multiobjetivo de sistemas de drenaje sostenibles en áreas urbanas con diferentes pendientes superficiales” para diseñar sistemas de drenajes urbanos sostenibles teniendo en cuenta cinco funciones objetivas, incluida la minimización del volumen de inundación, la duración de la inundación, la escorrentía máxima promedio, el total de sólidos suspendidos y el costo de capital. Esto permitió seleccionar un conjunto de carteras admisibles que mejor compensan los costos de capital y los otros servicios importantes de drenaje urbano. Los hallazgos sugieren que la influencia de la pendiente superficial media en un área de captación urbana sobre las soluciones de diseño óptimas se evalúa a través de la distribución espacial de los tipos de drenaje sostenible. Además, los resultados indicaron que las pendientes únicas de las subcuencas producen diseños distributivos no uniformes para sistemas de drenaje urbano sostenibles, con mayores costos de capital y mayores superficies de activos verdes correspondientes a pendientes más pronunciadas. Esto presenta dos implicaciones. Se ha llegado a la conclusión de que las zonas urbanas con pendientes superficiales variadas no deberían estar sujetas a una política de diseño única para todos. En segundo lugar, se debe prestar atención a la igualdad espacial al aplicar modelos de optimización a subcuencas urbanas con diferentes pendientes superficiales. Esto tiene como objetivo evitar la distribución desigual de los beneficios colaterales para la salud humana y ambiental asociados con la

infraestructura de drenaje verde. El aporte a esta investigación consistió en que los sistemas de drenaje urbano sostenible soluciones multifuncionales basadas en la naturaleza que pueden facilitar la gestión de inundaciones en las cuencas urbanas al tiempo que mejoran la calidad de la escorrentía de aguas pluviales, tomando en cuenta que, tradicionalmente la evaluación del rendimiento de la infraestructura de drenaje sostenible se ha limitado a un conjunto limitado de objetivos de diseño para simplificar su implementación y proceso de toma de decisiones.

De igual forma, McEwan et al. (2022) desarrollaron una investigación titulada “Impacto de un plan de drenaje urbano sostenible” con el objetivo de evaluar el impacto de la introducción de un esquema de drenaje urbano sostenible (SuDs) en un área socioeconómicamente desfavorecida, en la aceptación de los residentes y los comportamientos sostenibles. La metodología aplicada fue cuantitativa y no experimental. Las encuestas aplicadas a 180 residentes (en los afectados $n = 79$ y calles vecinas $n = 101$) se completaron antes de que el plan fuera implementado y 1 año después de la finalización del esquema por 51 residentes. Los resultados abarcaron comentarios de los vecinos antes de implementar el plan, los cuales incluyeron: (i) Preocupaciones sobre el estacionamiento; ii) Que le guste el plan; iii) Falta de consulta; y (iv) Sentir que el plan era un desperdicio de fondos. Los comentarios después de completar el esquema incluyeron: (i) Sentir que los SuDs mejoraron el área; ii) Preocupaciones persistentes sobre el estacionamiento; iii) Valorar el espacio verde adicional en la zona vecina; y (iv) Querer a los SuDs en las calles vecinas. Se concluyó que, tras la finalización del plan, los comportamientos sostenibles aumentaron significativamente en un 17% en el área del esquema y en un 9% en las calles vecinas. El aporte a este estudio consistió en que la introducción de infraestructura verde puede mejorar los comportamientos sostenibles de los residentes.

En el ámbito nacional, las publicaciones halladas con objetivos similares a los propuestos en la investigación fueron el realizado en Lima por López y Villavicencio (2023) titulado “Sistema urbano de drenaje sostenible para evitar inundaciones de

origen pluvial mejorando áreas verdes, cruce Av. Mateo Pumacahua – Av. Separadora Industrial, Distrito Villa El Salvador” que tuvo como propósito diseñar un sistema sostenible de drenaje pluvial urbano para evitar anegamientos derivados de periodos de lluvia de moderada y alta intensidad mediante el mejoramiento de las áreas verdes del cruce Av. Mateo Pumacahua y Av. Separadora Industrial. La metodología empleada fue cuantitativa y no experimental. En los resultados, los investigadores hallaron que el caudal de diseño fue 0.3 m³/s y el volumen excedente 6400 m³, además el balance hídrico presentó un déficit para cubrir el 1.5% del mantenimiento de las áreas verdes. Para hacer el diseño sostenible y eficiente se seleccionó el método de cunetas verdes por sus beneficios técnicos, económicos y ambientales. Además, estas cunetas se diseñaron para eventos extraordinarios. Se concluyó que, el sistema diseñado solucionará la problemática identificada relacionada con las inundaciones del área de estudio, así mismo. La contribución esencial de este estudio radica en la perspectiva que proporciona sobre el uso del sistema de drenaje pluvial sostenible como herramienta eficaz para abordar los desafíos crecientes relacionados con el riesgo de inundaciones, la propagación intensificada de contaminación difusa y la fragmentación acelerada del hábitat. Estos fenómenos están siendo exacerbados por factores tales como una urbanización cada vez mayor y cambios climáticos notables, generando así una presión sin precedentes sobre las capacidades de nuestra infraestructura existente de drenaje urbano.

En Cajamarca, Rojas (2022) realizó una investigación titulada “Sistema de drenaje urbano sostenible entre la Av. Nuevo Cajamarca y Jr. Yurimagyas” con el objetivo de diseñar un sistema de drenaje urbano sostenible entre las avenidas seleccionadas que mejore la ineficiencia del sistema actual. La metodología empleada fue cuantitativa y no experimental. En los resultados el investigador determinó que los caudales (m³/s) de la calle de estudio Yurimaguas fueron 0.142 para la línea 7 y 0.245 para la línea 212; en la calle San Luis fueron 0.053 en la línea 216 y 0.054 en la línea 215; además en la calle Misión bautista fueron de 0.182 en la línea 213 y 0.036 en la línea 214; por último, en la calle María Goretti fueron de 0.027 y 0.075 en la línea 185 y 186, respectivamente. Por otro lado, las velocidades de evacuación (m/s) fueron en la calle Yurimaguas 2.68 para la línea 7 y 3.27 para la línea 212; en

Misión bautista fueron de 3.91 en la línea 213 y 2.25 en la línea 214; por último, en la calle María Goretti fueron de 2.06 y 2.79 en la línea 185 y 186. De ahí que, la eficiencia operativa de las calles Yurimaguas, San Luis, Misión bautista y María Goretti fueron 61 y 100, 22 y 22, 72 y 14, 11 y 29, respectivamente. El autor concluyó que es viable el sistema diseñado (cámara de retención y acumulación de agua de lluvia), dado que sus características y el modelado de diseño permitieron la mejora del sistema de drenaje urbano actual entre las calles seleccionadas para el estudio. El aporte a esta investigación consistió en que, como componente crítico de infraestructura en entornos urbanos, el sistema de alcantarillado pluvial es responsable de drenar el exceso de escorrentía superficial en las ciudades.

De igual forma, Fernandez (2022) desarrolló en Cajamarca un estudio titulado “Análisis del impacto ambiental del sistema de drenaje pluvial en la Urbanización Campo Real” para determinar el impacto ambiental del sistema de drenaje pluvial en la urbanización campo real de esta ciudad. Por ende, la metodología empleada fue cuantitativa y no experimental. En los resultados, se determinó que no existe impacto positivo a los componentes y factores ambientales. Respecto al componente abiótico, el impacto a la calidad del agua y el paisaje fue alto 56% y 29%, respectivamente.

Para el componente biótico, el impacto a la carga vegetal y desplazamiento de la vida animal fue bajo. En relación con el factor antrópico, la afectación fue muy alta. El autor concluyó que, en total se identificaron 47 interacciones en relación al sistema de drenaje pluvial en la urbanización que afectan directa y negativamente al medio ambiente. El aporte a este estudio radicó en que en la actual crisis climática es esencial convencer y guiar a las autoridades locales, los planificadores urbanos y el público sobre la incorporación de infraestructura verde en las áreas urbanas, para proporcionar a los residentes urbanos una mayor resiliencia al cambio climático y para modelar y alentar comportamientos más sostenibles.

También, Merlo y Soto (2021) realizaron en Cajamarca una investigación titulada “Análisis del sistema de drenaje urbano en base a estudios de nivel internacional y su relación al sistema de drenaje en la ciudad” para analizar el sistema de drenaje urbano en base a estudios de nivel internacional y su relación al sistema de drenaje

en la ciudad. De manera que, la metodología empleada fue cuantitativa y no experimental. En los resultados, se determinó que los sistemas sostenibles de drenaje pluvial más utilizados son en total 22 entre ellos jardines de bioretención, techos verdes, pavimentos permeables, pozos de infiltración, cunetas verdes, zanjas de infiltración, tanques de almacenamiento, depósito de detención, ciudades esponja, reciclaje de agua, celdas de bioretención y parque hundido; que representan el 4.55%, 18.18%, 27.27%, 4.55%, 4.55%, 9.09%, 9.09%, 4.55%, 4.55%, 4.55%, 4.55%

y 4.55% de la muestra respectivamente. Se concluyó que en Cajamarca se emplean aun sistemas convencionales de drenaje pluvial, específicamente cunetas y alcantarillado, que generan pérdidas de eficiencia en comparación con los sistemas de otros países donde se han implementado diseños sostenibles, los cuales contrarrestan este problema. La contribución a esta investigación subrayó el hecho de que la rápida conversión de áreas no desarrolladas en zonas residenciales y comerciales ha alterado el ciclo natural del agua. Esta alteración se manifiesta en inundaciones indeseables.

Varias investigaciones han estudiado los anegamientos. Un consenso general los definió como eventos derivados de condiciones de lluvia acumulada, que cuanto más corta es la duración, más probable es que cause desastres. Los autores enfatizan que el volumen y la severidad de las precipitaciones son dos elementos cruciales que inciden en las inundaciones urbanas. La investigación sobre los umbrales de lluvia ha establecido además una correlación significativa entre los casos de inundación y los episodios de lluvias intensas a corto plazo, junto con las precipitaciones continuas a largo plazo (Popick et al., 2022).

Esto sugiere que el anegamiento urbano puede ser el resultado de la cantidad o intensidad de precipitación que supera los niveles establecidos, o puede ser causado por la interacción conjunta de ambos factores. Para las ciudades que carecen de datos de observación de anegamiento, es imposible recopilar directamente información sobre el anegamiento con diferentes características, de ahí la importancia de la presente investigación que permitió evaluar el sistema drenaje pluvial en el distrito veintiséis de octubre de Piura e investigar drenajes pluviales urbano sostenible como alternativa a la problemática descrita.

Cuando la intensidad de las precipitaciones supera la potencia del sistema de drenaje urbano, el volumen excedente de agua pluvial es incapaz de ser evacuado con prontitud. Este problema se manifiesta preponderantemente en zonas donde las tuberías están obstruidas o su diseño no cumple con los estándares óptimos. No obstante, conforme la ferocidad de la lluvia disminuye, el nivel del agua superficial tiende a reducirse rápidamente. Por otro lado, un periodo sostenido de lluvias menores puede diluir igualmente la capacidad efectiva del sistema drenaje al aumentar gradualmente el nivel acuífero corriente abajo. Este fenómeno provoca que una considerable cantidad de nodos rebosen eventualmente, generando así inundaciones persistentes cuyo proceso para lograr su receso resulta particularmente lento debido a sus características propias (Tarek y Ouf, 2021).

En casos de precipitaciones extremas, caracterizadas por una gran altitud, un volumen sustancial y una duración prolongada, los dos aspectos antes mencionados coincidirán. La clasificación racional de las inundaciones urbanas en función de diferentes características es fundamental para implementar medidas específicas de control de inundaciones. Para el anegamiento de fuertes lluvias a corto plazo, solo es necesario centrarse en los puntos de anegamiento urbanos o llevar a cabo una transformación centralizada del drenaje (Park et al., 2019).

Las precipitaciones prolongadas y consistentes, junto con la incidencia de inundaciones, requieren una mejora integral en los estándares de diseño de las infraestructuras de tuberías subterráneas. Esta medida es crucial para mitigar el impacto del fenómeno denominado elevación de remansos que provoca anegamientos urbanos significativos. En situaciones donde estos dos factores se presentan simultáneamente, además de las acciones previamente mencionadas, es esencial mejorar también la capacidad funcional de las estaciones de bombeo aguas abajo. Este avance contribuirá a minimizar potenciales pérdidas resultantes del anegamiento causado por lluvias extremas (Shi et al., 2021).

En carreteras, el sistema de drenaje es un mecanismo para recolectar y desviar eficazmente toda el agua que se acumula alrededor. Si se diseña adecuadamente, puede ayudar a recolectar una gran parte de la escorrentía de la cuenca de captación y evitar el anegamiento. Cuando está en su lugar, el sistema de drenaje

puede consistir en: (a) drenajes laterales que canalizan el agua a lo largo de la carretera; (b) alcantarillas y puentes que llevan agua a través del cuerpo de la carretera; y (c) badenes que desvían el agua hacia el terreno adyacente a la vía (Aranda et al, 2021). Respecto a la categoría drenaje pluvial urbano sostenible, Zhao et al. (2021) la conceptualizaron como un sistema complementario al drenaje pluvial convencional de las ciudades capaz de gestionar de manera integral el agua proveniente de la lluvia. Nguyen et al. (2019) señalaron que los sistemas de drenaje pluvial urbano sostenible, también conocidos como estructuras de bajo impacto, infraestructura verde y mejores prácticas de gestión, son soluciones de drenaje urbano multifuncionales basadas en la naturaleza, que se pueden utilizar para mitigar el impacto ambiental de la urbanización. En ese sentido, Peng et al. (2021) afirmaron que los sistemas convencionales de drenaje urbano están diseñados para un desagüe rápido de las aguas pluviales. No obstante, los sistemas de drenaje sostenibles tienen como objetivo promover procesos de retención, infiltración y evapotranspiración del agua proveniente de la escorrentía al mismo tiempo que eliminan contaminantes difusos. Según Shi et al (2020), se ha dado lugar a prácticas tradicionales donde el diseño recurrente de estos sistemas se basa en métodos empíricos, produciendo resultados subóptimos que generalmente no cumplen con la adecuada conciliación entre las necesidades e intereses comunitarios. Con el fin de superar esta dificultad, Stevaux et al (2020) relacionaron modelos predictivos climatológicos y métodos óptimos multiobjetivo para garantizar diseños eficaces y dimensionados correctamente en términos del sistema integral que constituye el drenaje urbano.

La investigación se basa en la teoría de que el drenaje sostenible no sólo abarca factores ambientales, sino también sociales a largo plazo en sus determinaciones sobre las aplicaciones del drenaje. Contempla tanto el volumen como la calidad de la escorrentía, junto con la utilidad y el valor estético de las aguas superficiales dentro de un entorno urbano. Los sistemas de drenaje urbano existentes a menudo pueden provocar problemas como inundaciones, contaminación o daños ambientales, demostrando ser insostenibles dentro del contexto más amplio planteado por los desafíos que surgen del cambio climático y la urbanización (Seyed et al., 2023).

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de investigación

3.1.1. Enfoque

El enfoque fue cualitativo porque los resultados se basaron en el análisis teórico de documentos científicos publicados en revistas indexadas para su posterior análisis e interpretación con el propósito de replicar los resultados positivos obtenidos en otros países.

3.1.2. Tipo de investigación

El estudio fue aplicado porque se realizó para solucionar la problemática actual entorno a los ineficientes e insuficientes sistemas de drenaje pluvial urbano al proponer nuevas y mejores alternativas para evitar los anegamientos que a su vez son diseños sostenibles y ecoamigables, un factor muy importante para garantizar la conservación del medio en que vivimos.

3.1.3. Diseño de investigación

El diseño fue no experimental de corte transversal pues las categorías de estudio permanecieron inalterables durante todo el desarrollo de la tesis y los datos fueron recabados en un periodo de tiempo único.

Además, el tipo de diseño fue descriptivo debido a que se expusieron los principales hallazgos relacionados con el tema de estudio seleccionado, para lo cual se caracterizaron cada una de las variables.

3.2. Categorías, Subcategoría y matriz de categorización

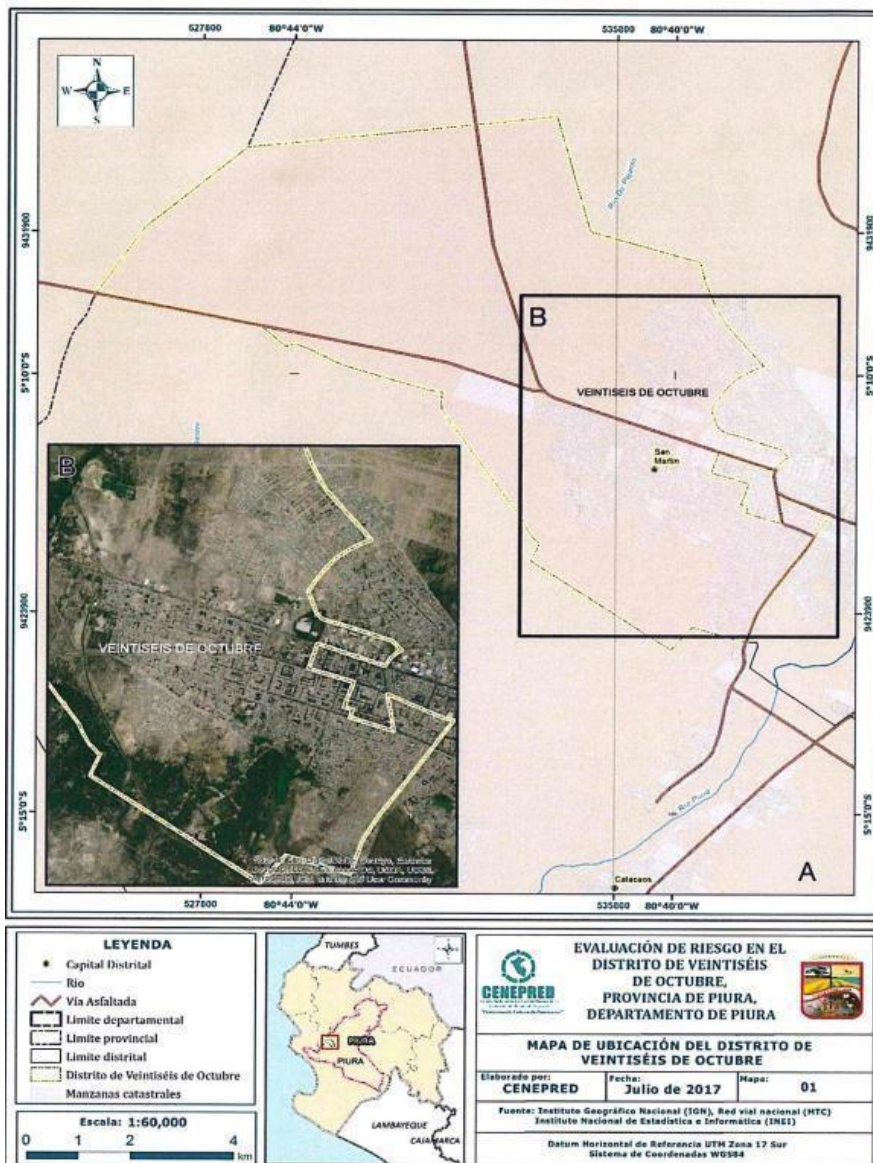
Las categorías de estudio fueron tres acordes con cada uno de los objetivos específicos propuestos para desarrollar el objetivo general de investigación, de modo que para el primer objetivo específico la categoría seleccionada fue sistemas de drenaje pluvial. Para el segundo objetivo específico la categoría fue comportamiento de las aguas pluviales y para el tercer objetivo específico la categoría seleccionada se denominó sistemas sostenibles de evacuación.

A su vez, cada una de las categorías se dividieron en las subcategorías: Descripción del sistema actual de drenaje pluvial, descripción del comportamiento de las aguas producto de las escorrentías y concepciones de nuevos sistemas de drenaje desde la perspectiva de la sostenibilidad, respectivamente.

3.3. Escenario de estudio

Figura 1

Ubicación del escenario de estudio



Nota. Fuente: CENEPRED, 2017.

Veintiséis de octubre es un distrito de la provincia peruana ubicada en el Departamento de Piura. La provincia es la más poblada de la región, así como su centro de actividad económica. En los últimos años, la rápida aceleración del calentamiento global y la urbanización han provocado un aumento de los casos de precipitaciones extremas durante la temporada de lluvias. Estos acontecimientos causan inundaciones urbanas generalizadas, poniendo en peligro significativamente la vida residencial y la seguridad de la propiedad en las zonas afectadas. Las precipitaciones siguen siendo un factor directo e incontrolado detrás de estos desastres de inundaciones urbanas; por lo que analizar su impacto es crucial para proponer alternativas de solución sustentables.

3.4. Participantes

Se revisaron artículos de Google académico y revistas indexadas como Dialnet, Scielo y Scopus, de los cuales solo se incluyeron aquellos donde se identificaron aspectos significativos para el desarrollo de la investigación. Además, se revisó e incluyó el Plan Maestro Integral para el Control de Inundaciones y la Gestión de Transporte de Sedimentos realizado por el Consorcio Inundaciones Piura, así como el estudio mapa de peligros de la ciudad de Piura desarrollado por Instituto Nacional De Defensa Civil - INDECI.

3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

La recolección de datos se realizó con la técnica de la observación, el análisis documental y sus respectivos instrumentos: La guía de observación y la ficha de registro de datos.

La técnica de observación permitió desarrollar el primer objetivo específico propuesto que consistió en caracterizar los sistemas de drenaje pluvial en el distrito veintiséis de octubre de Piura, para lo cual fue necesario visitar cuencas ciegas ubicadas en su jurisdicción donde se generan en época de lluvias de moderada y fuerte intensidad anegamientos urbanos.

Por otro lado, la técnica análisis documental se utilizó para desarrollar el segundo y tercer objetivo planteado que consistieron en identificar softwares para evaluar el comportamiento de las aguas producto de las escorrentías e identificar modelos o sistemas sostenibles de evacuaciones pluviales desde la perspectiva de la sostenibilidad, respectivamente, de manera que se realizó una revisión sistemática de documentos de carácter científico relacionados con el tema de estudio.

3.6. Procedimiento de recolección de datos

El primer paso fue la identificación de documentos de carácter científico en inglés de los último cinco años mediante términos de búsqueda como: *Urban hydrology, urban pluvial flooding, urban drainage, sustainable urban drainage, basin and blind basin*, que permitieron recopilar la literatura a analizar y discutir en los resultados.

Las fuentes bibliográficas que se utilizaron en la tesis fueron principalmente revistas indexadas como *Scopus, Dialnet y Scielo*. Luego, se realizó el proceso de selección, para lo cual los documentos científicos fueron clasificados de acuerdo con sus títulos, resultados y conclusiones en una ficha de registro de datos, lo que permitió excluir aquellos artículos que no guardan relación con los objetivos planteados en el estudio.

Para obtener los resultados se consultaron 65 documentos entre artículos de revistas indexadas, informes y estudios realizados por entidades privadas (Consortio Inundaciones Piura) y gubernamentales (INDECI), de los cuales solo se incluyeron 62, de las cuales 60 fueron artículos donde se identificaron aspectos significativos para el desarrollo de la tesis. Posteriormente, se discutieron los resultados y se presentó una síntesis del conocimiento científico recabado a manera de conclusiones.

3.7. Rigor científico

Validez

Se logró a través de la aplicación rigurosa de técnicas y estrategias, como la selección adecuada de documentos de fuentes confiables y la interpretación cuidadosa de los datos, lo que contribuyó a garantizar que los resultados fueran confiables y representativos del fenómeno de estudio: Drenajes pluviales sostenibles como alternativa de mejora a los anegamientos en el distrito veintiséis de octubre de Piura. Además, los tres instrumentos diseñados para desarrollar los objetivos propuestos fueron revisados por juicio de expertos en la línea de investigación de estudio y quienes aprobaron su aplicación.

3.8. Método de análisis de información

La investigación se realizó principalmente para conocer los fundamentos subyacentes de las tendencias modernas de diseños sostenibles de drenajes pluviales para cuencas ciegas y ampliar la comprensión de este campo específico. Por tal motivo, la tesis se elaboró con una metodología de revisión sistemática de literatura científica de diferentes autores a nivel mundial para conocer e interpretar el conocimiento científico que existe en relación con el fenómeno que se investiga.

En ese sentido, luego de identificar y describir las categorías de estudio para entender a fondo el problema de investigación se siguieron los siguientes pasos para su análisis: En primer lugar, se prepararon y organizaron los datos, que consistió en transcribir la información relevante para el estudio en los instrumentos diseñados.

Luego se exploraron los datos, para eliminar ideas repetidas. Por último, se desarrolló un sistema de codificación de datos para categorizarlos por objetivos.

3.9. Aspectos éticos

La investigación respetó todos los aspectos éticos fundamentales que demanda la realización de una investigación científica como es el caso del respeto por la propiedad intelectual de los autores consultados para la fundamentación teórica y conceptual de las variables, de manera que, todos ellos fueron citados y se elaboraron las referencias correspondientes para cada publicación incluida de acuerdo con la norma Apa séptima edición. Además, se respetaron los lineamientos de la guía de la universidad para la elaboración de la tesis que incluyó una declaratoria de originalidad y otra de autenticidad de la investigación.

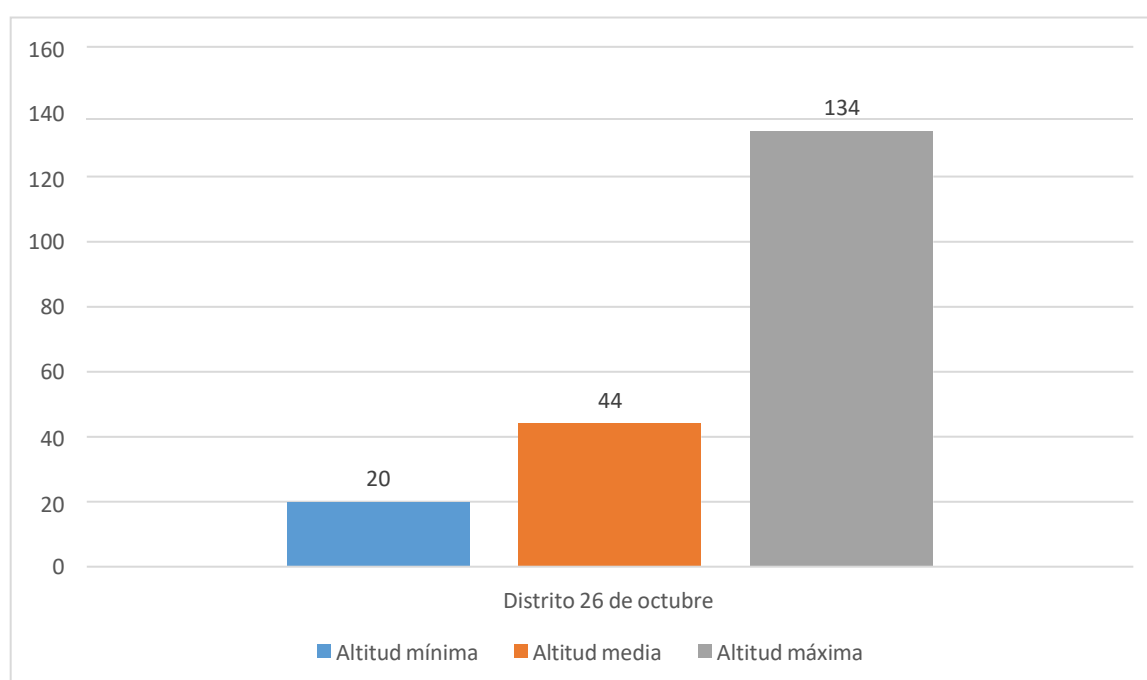
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados

A continuación, se presentan los principales hallazgos entorno al objetivo general de investigación para lo cual se desarrollaron cada uno de los objetivos específicos propuestos en el estudio:

Objetivo específico 1: Caracterizar los sistemas de drenaje pluvial en el distrito veintiséis de octubre de Piura.

Figura2. Topografía del área de estudio

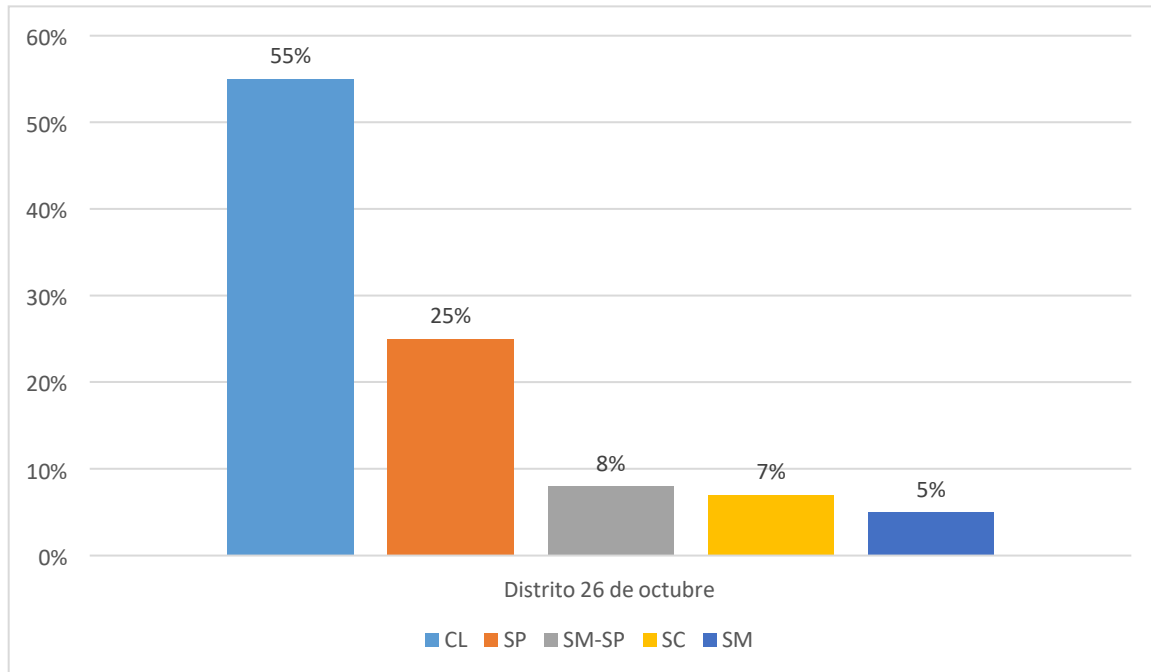


Nota. Fuente: Elaborado con información del Instituto Nacional de Defensa Civil – INDECI

Interpretación: La Figura 2 muestra que el distrito 26 de octubre se encuentra ubicado a una altitud mínima de 20 m, una altitud media de 44 metros y a una altitud máxima de 134 m, por tal motivo el relieve del distrito y sus áreas de expansión Urbana, presentan una topografía suave con pequeñas elevaciones constituidas por depósitos de arenas de grano medio a fino y depresiones que se constituyen en pequeñas “cuencas” por donde drenan las aguas durante las épocas de intensa

precipitación pluvial. Asimismo, las áreas con depresiones en periodos de intensas precipitaciones pluviales se convierten en zonas inundables. De igual forma, existen quebradas que se activan en épocas de fuertes precipitaciones pluviales y se convierte en colector de las aguas de escorrentía superficial, además de causar intensa erosión.

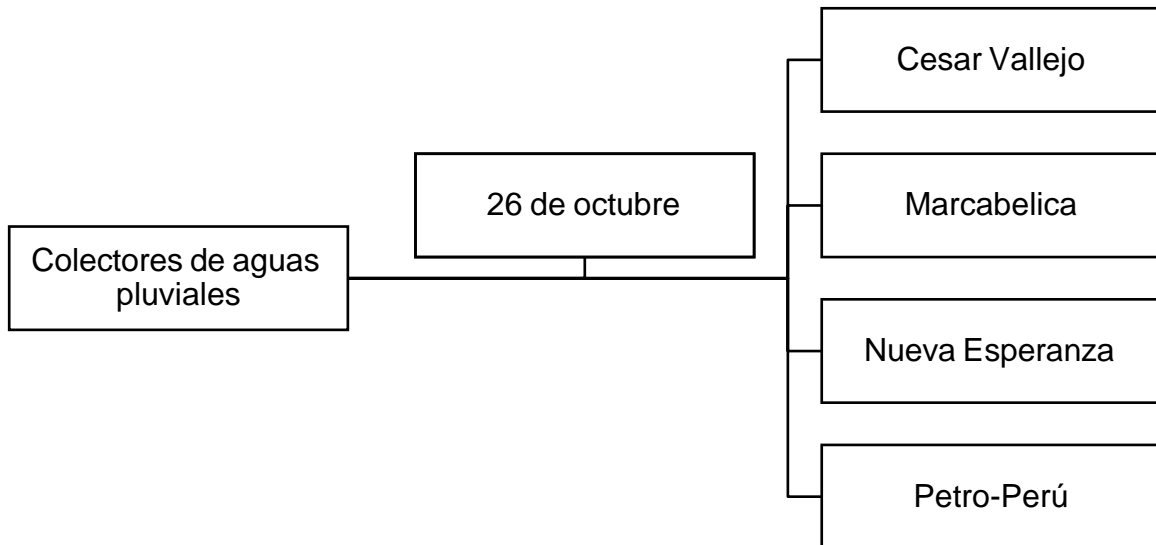
Figura3. Tipo de suelo



Nota. Fuente: Elaborado con información del Instituto Nacional de Defensa Civil - INDECI

Interpretación: La Figura 3 muestra que, De acuerdo con la Clasificación SUCS de suelos, se han determinado en las diferentes áreas del distrito los siguientes tipos de suelos: CL (55%), SP (25%), SM-SP (8%), SC (7%) y SM (5%). Siendo el tipo cohesivo a medianamente denso (arcillas arenosas CL) el de mayor predominancia. Cabe destacar que, los suelos de la zona de estudio se comportan como suelos permeables y que en épocas de grandes precipitaciones pluviales se producen infiltraciones, que relacionados a eventos sísmicos de gran magnitud se pueden presentar procesos de licuefacción de arenas y generar asentamientos diferenciales.

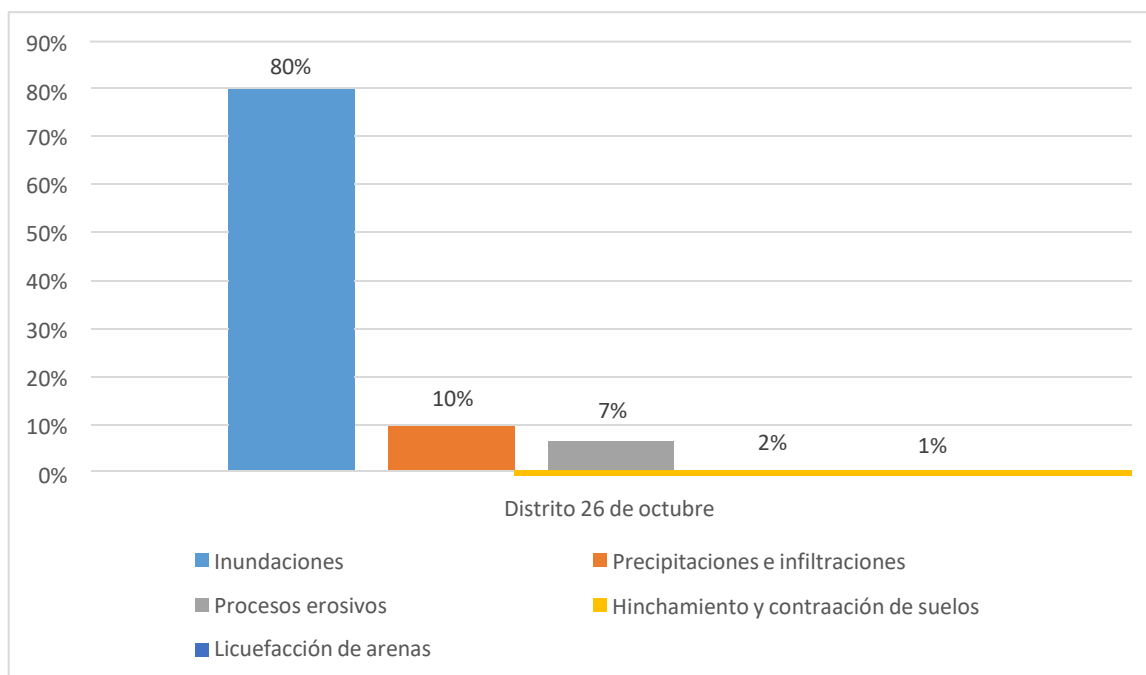
Figura4. *Colectores principales de aguas pluviales*



Nota. Fuente: Elaborado con información del Instituto Nacional de Defensa Civil - INDECI

Interpretación: La Figura 4 muestra que, por la zona de estudio, en dirección Norte - Sur, aproximadamente, recorren diferentes drenes: Cesar Vallejo, Marcavelica, Nueva Esperanza y Petro-Perú, que se constituyen en colectores principales de aguas pluviales provenientes de los diferentes asentamientos humanos y urbanizaciones ubicados en zonas aledañas a las mismas.

Figura5. Principales fenómenos que predominan en el área de estudio



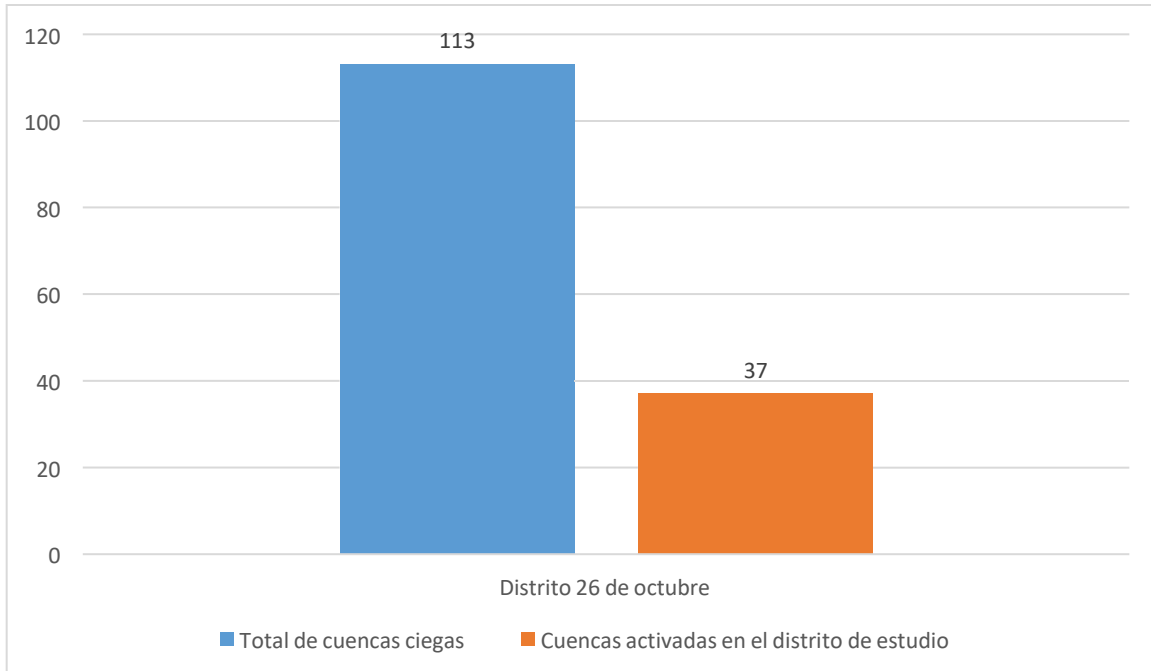
Nota. Fuente: Elaborado con información del Instituto Nacional de Defensa Civil – INDECI

Interpretación: La Figura 5 muestra que, desde el punto de vista de la Geodinámica Externa, los principales fenómenos que predominan en el área de estudio son las inundaciones en las áreas depresivas (80%), las precipitaciones pluviales e infiltraciones en el subsuelo (10%), los procesos erosivos por acción fluvial (7%), procesos de hinchamiento y contracción de suelos (2%) y licuefacción de arenas (1%).

Teniendo en cuenta que periódicamente se presentan importantes eventos pluviométricos (como ocurre con el fenómeno de "El Niño"), y reconociendo que en ciertos sectores del Distrito 26 de octubre existen depresiones que, durante las fuertes lluvias, se transforman en áreas inundables y forman "pequeñas microcuencas ciegas", se ha considerado necesario realizar en primer lugar un levantamiento topográfico para determinar niveles y pendientes exactos.

Posteriormente, realizaremos un estudio hidrológico con el propósito de diseñar sistemas de drenaje sustentables para gestionar efectivamente el escurrimiento de aguas pluviales.

Figura6. Existencia de cuencas ciegas

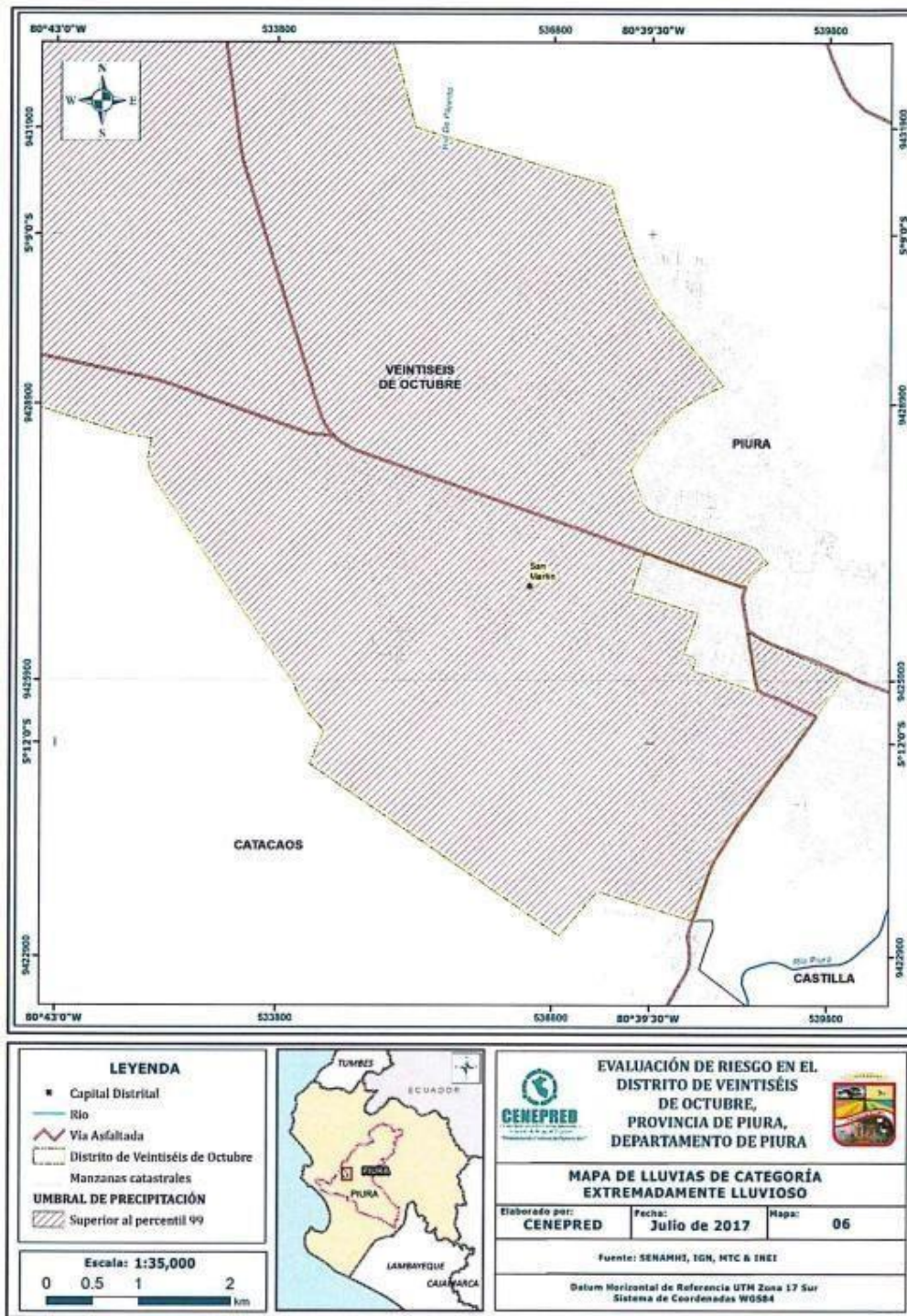


Nota. Fuente: Elaborado con información del Instituto Nacional de Defensa Civil - INDECI

Interpretación: La Figura 6 muestra que, de las 113 cuencas ciegas que se han cuantificado en la ciudad de Piura, en total fueron 37 cuencas ciegas las que se activaron en el distrito Veintiséis de octubre de diferentes sectores: Asentamiento 31 de enero, Micaela Bastidas, San Sebastián, Salitral de Los Pinos y Las Dalias. Los principales puntos críticos fueron las cuencas ciegas 5 esquinas, 2 grifos, 31 de enero. Cabe destacar que, la activación de las cuencas fue consecuencia de la categoría extremadamente lluviosa a la que pertenece el distrito 26 de octubre como se muestra a continuación:

Figura 7

Mapa de lluvias

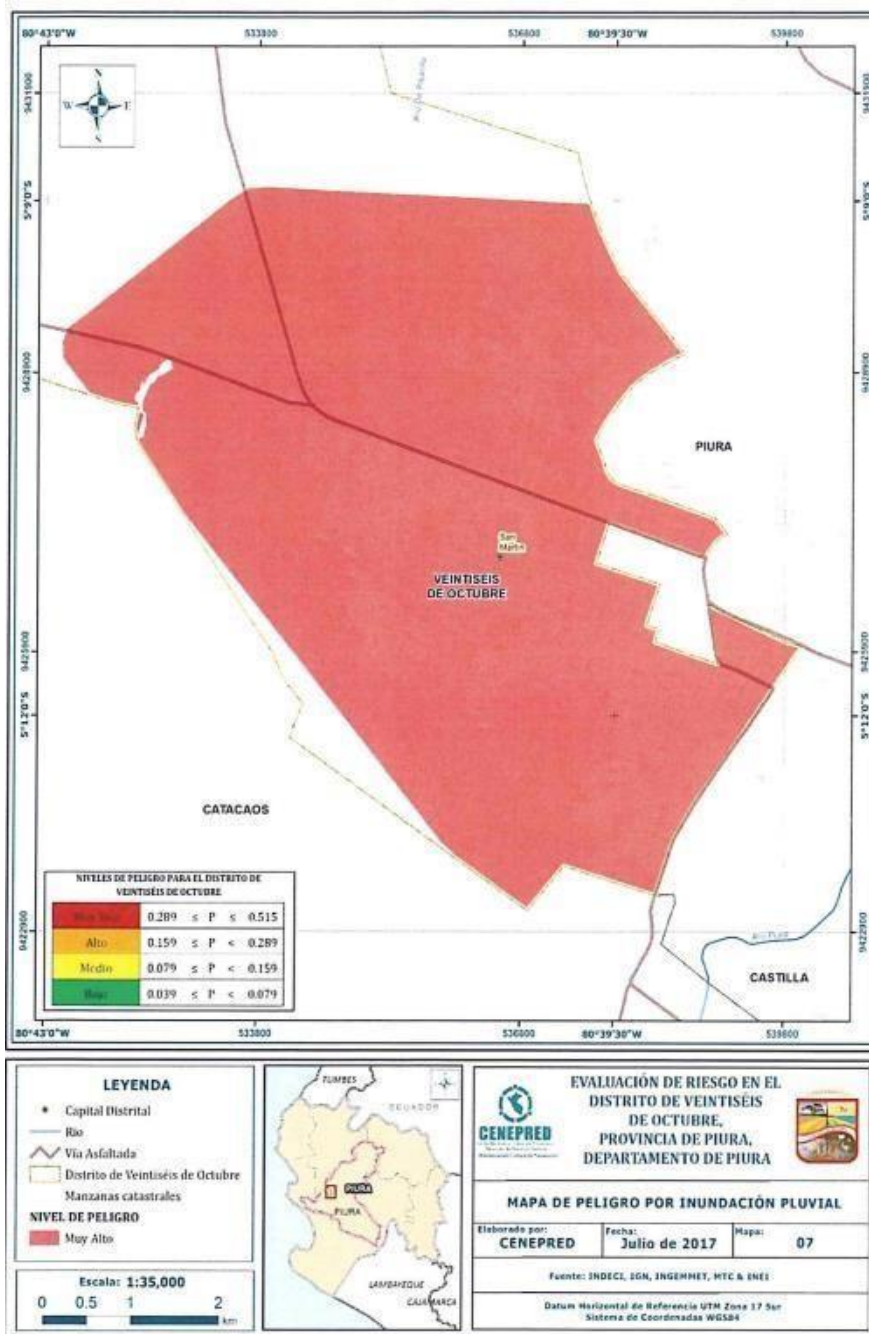


Nota. Fuente: CENEPRED, 2017.

Vinculado a lo anterior, el peligro por inundación pluvial es alto en el distrito como muestra la siguiente figura:

Figura 8

Mapa de peligro por inundación pluvial



Nota. Fuente: CENEPRED, 2017.

Figura 9

Visita a la cuenca ciega denominada cinco esquinas



Nota. Fuente: Trabajo de campo realizado por el investigador.

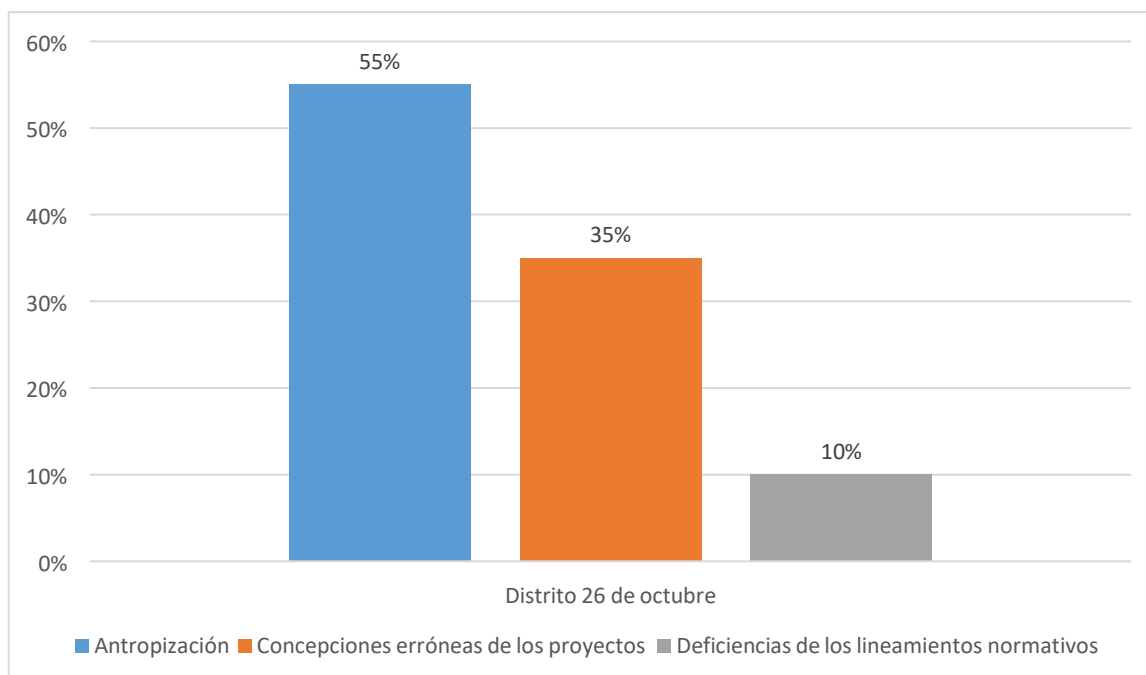
Figura 10

Visita a la cuenca ciega ubicada a espaldas de la universidad César Vallejo



Nota. Fuente: Trabajo de campo realizado por el investigador.

Figura11. Causas de las fallas en los sistemas



Nota. Fuente: Elaborado con información del Instituto Nacional de Defensa Civil - INDECI

Interpretación: Durante las visitas de campo, se identificaron en el distrito fallas en los sistemas de drenaje urbano. Estos problemas están relacionados con la intensa antropización de las zonas urbanas (55%), las concepciones erróneas de los proyectos (35%) y las deficiencias de los lineamientos normativos (10%), que pretenden orientar el uso y la ocupación del suelo.

Los sistemas de drenaje pluvial en el distrito 26 de octubre cuentan con un doble sistema: Escorrentía superficial sobre las calles y red de tuberías subterráneas que interactúan durante los eventos de lluvia. Sin embargo, en un marco operativo, en caso de lluvias intensas, los sistemas de alcantarillado pueden considerarse ineficientes, debido a que, en la práctica, la escorrentía superficial puede considerarse la contribución más crítica a las inundaciones. Otra fuente que contribuye significativamente a las inundaciones reside en la topografía y geometría urbanas.

Por otro lado, en el distrito 26 de octubre, los sistemas de drenaje urbano todavía se basan únicamente en la eficiencia hidráulica de los conductos, lo que trae resultados inmediatos, pero es ineficiente en el largo plazo. Esta ineficiencia se debe al hábito de abordar el problema a través de la gestión de la oferta y no de la gestión de la demanda. La gestión de la oferta se caracteriza por centrarse en aumentar las dimensiones de los conductos, permitiendo el drenaje de mayores volúmenes y con mayor rapidez, mientras que la gestión de la demanda se caracteriza por un enfoque sostenible en el que se compensa el efecto de la urbanización sobre el ciclo hidrológico.

Este resultado concuerda con el hallado por Seyedashraf et al. (2021) quien evaluó la optimización multiobjetivo de sistemas de drenaje en áreas urbanas, evidenciando que las zonas urbanas carecen de una política de diseño única para todos. En segundo lugar, existe una distribución desigual de los sistemas asociados con la infraestructura de drenaje que no facilitan la gestión de inundaciones en las cuencas ciegas urbanas o mejoran la calidad de la escorrentía de aguas pluviales, tomando en cuenta que, tradicionalmente la evaluación del rendimiento de la infraestructura de drenaje sostenible se ha limitado a un conjunto limitado de objetivos de diseño para simplificar su implementación y proceso de toma de decisiones.

Objetivo específico 2: Identificar softwares para evaluar el comportamiento de las aguas producto de las escorrentías.

La evolución constante de las herramientas informáticas, acompañada del acceso a datos de alta resolución y la creciente necesidad de información precisa sobre la localización y magnitud de las inundaciones, han potenciado significativamente el uso de aplicaciones software en tiempos recientes. Para simular la propagación detallada de las inundaciones en la superficie del suelo, se han desarrollado muchos como se evidencia a continuación:

Tabla 1

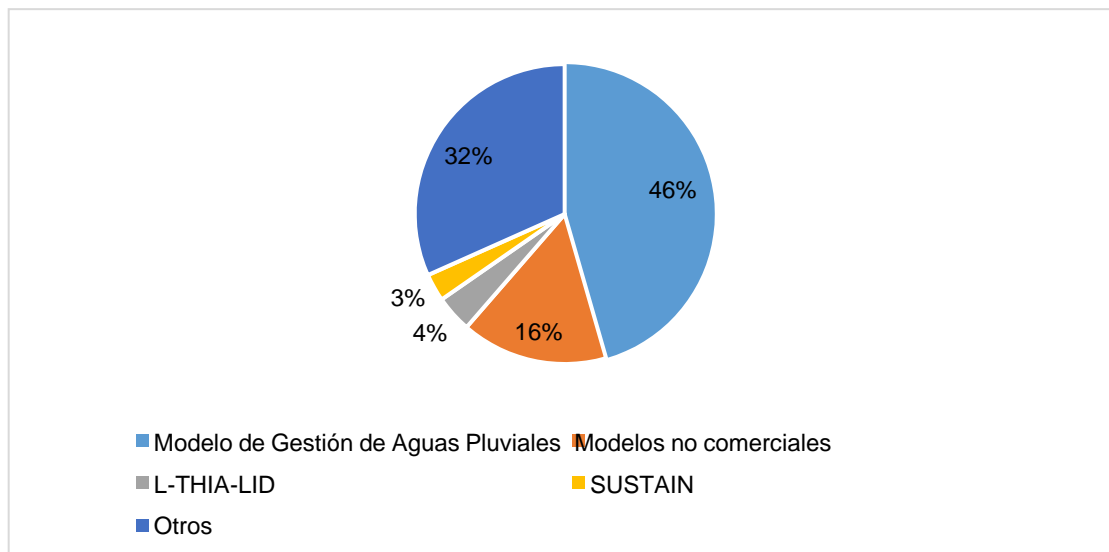
Softwares

Softwares	Porcentaje (%)	Número de estudios (N)
Modelo de Gestión de Aguas Pluviales	46	28
Modelos no comerciales	16	10
L-THIA-LID	4	2
SUSTAIN	2	1
Otros	32	19
Total	100	60

Nota. Fuente: Elaborado por el investigador.

Figura 12

Softwares para evaluar el comportamiento de las aguas



Nota. Fuente: Elaborado por el investigador.

Interpretación: La figura 12 muestra que el Modelo de Gestión de Aguas Pluviales (SWMM) fue el más utilizado en los trabajos evaluados (46% de los estudios). El segundo software más común fueron los modelos no comerciales de desarrollo propio, con el 16% de los estudios, seguidos de L-THIA-LID (4%) y SUSTAIN (2%). En el resto de los estudios, que representan el 32% del total de artículos, se utilizaron otros programas (MIKE URBAN, SUDSLOC, GISP, ReVISIONS, SSANTO, UrbanBEATS, WSCT).

De igual forma, los resultados obtenidos concuerdan con el estudio de Bao et al. (2023) quien determinó que el anegamiento urbano es un problema ambiental desafiante que se puede prevenir mediante la integración de esquemas de predicción. Se calculó la cantidad máxima de agua para bombear desde zonas inundadas a depósitos candidatos con un costo de energía mínimo. Este enfoque integrado se aplicó con éxito a también a una cuenca ciega, en este caso de 11 km². Esto podría atribuirse a la posibilidad de que los modelos propuestos para predecir inundaciones urbanas y emergencias de drenaje puedan optimizar el proceso de toma de decisiones. Este enfoque mejorado tiene como objetivo aumentar la eficacia de los planes de emergencia y minimizar las pérdidas asociadas a los anegamientos urbanos. Este resultado guarda relación también con el hallado por Raimondi et al. (2023) quien estableció ecuaciones para estimar la probabilidad de escorrentía y almacenamiento residual y evaluar la eficiencia del volumen de almacenamiento tanto en términos de control de inundaciones como, en términos de tiempo de vaciado o suministro de necesidades de agua.

La investigación aporta a la ingeniería civil información relacionada con los softwares más empleados para diseños de drenajes pluviales sostenibles que resultaron eficientes en el modelado del terreno y cuencas, de manera que puedan replicarse los resultados positivos obtenidos. Cabe destacar que, el software que ha sido ampliamente adoptado en estudios académicos en las prácticas de ingeniería fue el Modelo de Gestión de Aguas Pluviales que es un modelo de código abierto con funciones completas.

Objetivo específico 3: Identificar modelos o sistemas sostenibles de evacuaciones pluviales desde la perspectiva de la sostenibilidad.

En los años recientes, hemos presenciado un desarrollo acelerado en las capacidades informáticas, el cual ha facilitado la representación de procesos detallados a una escala más amplia. En el caso de los modelos SUDS, estos avances permitieron refinar la representación del proceso y una resolución espacial y temporal más precisa como muestra la tabla:

Tabla 2

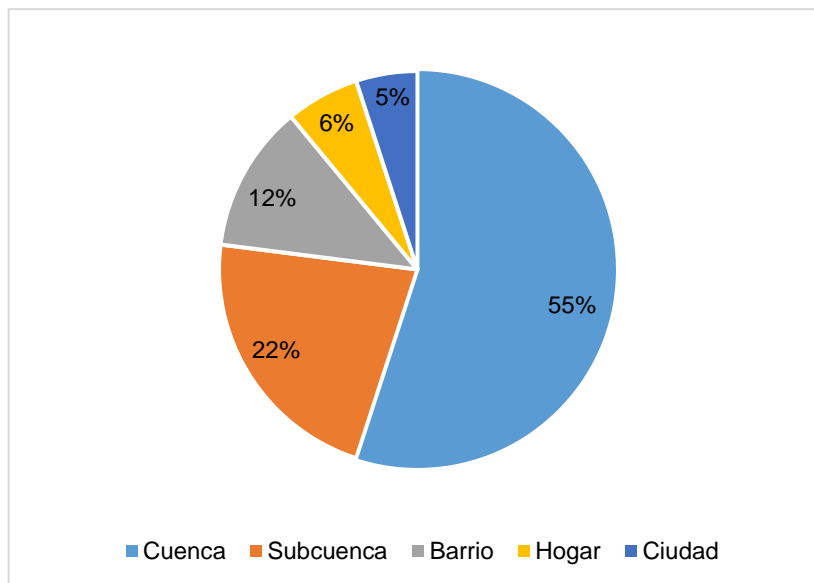
Escala de modelos SUDS

Escala	Porcentaje (%)	Número de estudios (N)
Cuenca	55	33
Subcuenca	22	13
Barrio	12	7
Hogar	6	4
Ciudad	5	3
Total	100	60

Nota. Fuente: Elaborado por el investigador.

Figura 13

Escala de modelos SUDS



Nota. Fuente: Elaborado por el investigador.

Interpretación: La figura 13 muestra que, de los documentos evaluados, el 55% utilizó una escala de cuenca, el 22% una escala de subcuenca, seguida de la escala de barrio, hogar y ciudad, con 12%, 6% y 5%, respectivamente. Este resultado guarda relación con el hallado por Seyedashraf et al. (2021) evaluó la optimización multiobjetivo de sistemas de drenaje sostenibles en áreas urbanas con diferentes pendientes superficiales, encontrando que el impacto de la pendiente superficial media de la cuenca urbana en las soluciones de diseño óptimas se discute en términos de distribución espacial de tipos de drenaje. Adicionalmente, los hallazgos indicaron que diversas inclinaciones de captación generan una distribución heterogénea en los diseños de sistemas de drenaje urbano sostenible. Esta variabilidad conduce a incrementos significativos tanto en costos capitales como en la expansión del área superficie correspondiente a activos verdes, aspectos estos fortalecidos particularmente por las pendientes más empinadas.

De igual forma, McEwan et al. (2022) revelaron que los comentarios de los vecinos después de implementar el plan incluyeron sentir que los sistemas de drenaje pluvial urbano sostenible mejoraron el área; valorar el espacio verde adicional en la zona vecina; y querer a los sistemas sostenibles en las calles vecinas, de manera que, con el plan, los comportamientos sostenibles aumentaron significativamente en un 17% en el área del esquema y en un 9% en las calles vecinas.

Las técnicas comunes de SUDS comprendieron pavimentos permeables, pavimentos semipermeables, reservorios de retención, trinchera de infiltración, franjas filtrantes, zanjas de infiltración, microdepósitos, pozo de infiltración, techos verdes, depósito subterráneo y franjas de césped. A continuación, se describen cada uno de los sistemas sostenibles:

Pavimento permeable

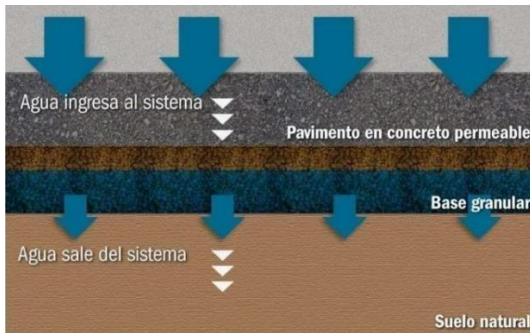
Se puede reducir o eliminar la necesidad de drenar las aguas superficiales fuera del lugar donde se generan. Esta meta se puede alcanzar dirigiendo el flujo de agua a través de pavimentos permeables, fabricados con materiales como bloques de concreto, roca triturada o asfalto. Dependiendo las características del terreno, existe la posibilidad de que el agua sea absorbida directamente por el suelo subyacente.

Alternativamente, podría ser acumulada en una reserva subterránea; por ejemplo,

dentro de una capa estratificada de roca triturada o más simplemente almacenarse en un depósito respectivo

Figura 14

Pavimento permeable



Nota. Fuente: Revisión documental.

Pavimento semipermeable

Los pavimentos semipermeables se diseñan meticulosamente utilizando bloques de hormigón huecos rellenos con material granulado como arena o vegetación como césped. Estos se disponen estratégicamente sobre una capa base granular, que luego se recubre con filtros geotextiles para evitar cualquier migración del granulado subyacente. La utilización de pavimentos semipermeables elimina la necesidad de cuencas colectoras y conductos de agua, ya que prácticamente erradica la escorrentía.

Figura 15

Pavimento semipermeable



Nota. Fuente: Revisión documental.

Reservorios de retención

El principal beneficio de los depósitos de retención reside en su capacidad para ser instalados en espacios públicos, tales como plazas, parques y campos deportivos, que recuperan su funcionalidad tras episodios de precipitaciones. Por otro lado, los embalses de detención se caracterizan por mantener una capa constante de agua a la vez que mantienen un control riguroso sobre la calidad del agua.

Figura 16

Reservorios de retención



Nota. Fuente: Revisión documental.

Trinchera de infiltración

Las trincheras de infiltración representan reservorios repletos de piedras, destinados a la recolección inicial del agua pluvial. A partir de este punto, el líquido se infiltra paulatinamente en el subsuelo.

Figura 17

Trinchera de infiltración



Zanjas de infiltración

Las Zanjas de infiltración son técnicas compensatorias que consisten en simples depresiones excavadas en el terreno con la finalidad de recoger el agua de lluvia, realizar almacenamiento temporal y favorecer la infiltración.

Figura 18

Zanjas de infiltración



Nota. Fuente: Revisión documental.

Microdepósito

Los microdepósitos son dispositivos de almacenamiento de agua precipitada que actúan en el sentido de retrasar el tiempo de concentración, mitigando los picos de flujo de los hidrogramas.

Figura 19

Microdepósito



Nota. Fuente: Revisión documental.

Pozo de infiltración

Los pozos de infiltración son dispositivos aislados que permiten la infiltración del agua pluvial al suelo. Tienen las ventajas de un bajo coste de ejecución e intentan equilibrar el ciclo hidrológico urbano mediante la intermediación de la recarga del nivel freático.

Figura 20

Pozo de infiltración



Nota. Fuente: Revisión documental.

Techos verdes

Los techos verdes pueden reducir los flujos máximos locales y el volumen total descargado al sistema de drenaje convencional. La reutilización del agua de lluvia implica recogerla en el lugar y su uso como sustituto del agua tratada.

Figura 21

Techos verdes



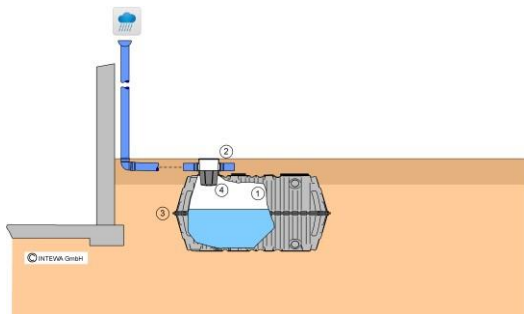
Nota. Fuente: Revisión documental.

Depósito subterráneo

Un depósito subterráneo es un tipo de tanque impermeable que funciona como un depósito, de modo que debe contar con un mecanismo para evitar la acumulación de contaminantes y sedimentos, requiere mantenimiento frecuente y está restringido a zonas con precipitaciones más frecuentes.

Figura 22

Depósito subterráneo



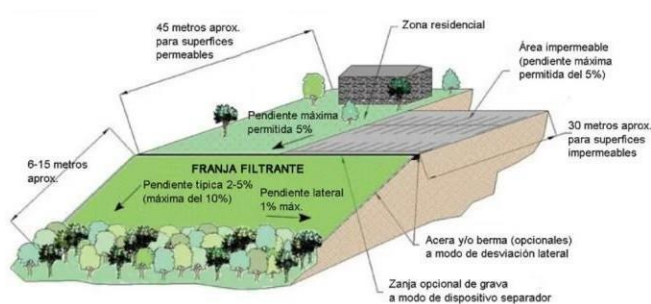
Nota. Fuente: Revisión documental.

Franjas de pasto

El principal valor agregado de las franjas de césped radica en su notable capacidad para disminuir la velocidad de escorrentía superficial, contribuyendo de manera significativa a moderar los caudales máximos en entornos urbanos.

Figura 23

Franjas de pasto



Nota. Fuente: Revisión documental.

La normativa nacional establece que el drenaje pluvial es un servicio básico y exige su obligatoriedad en toda habilitación urbana. Por lo tanto, es necesario y justificable el desarrollo de la presente tesis, por ende, a continuación, se diseñó un sistema de drenaje pluvial urbano sostenible en el distrito 26 de octubre mediante drenes filtrantes.

Propuesta de sistema

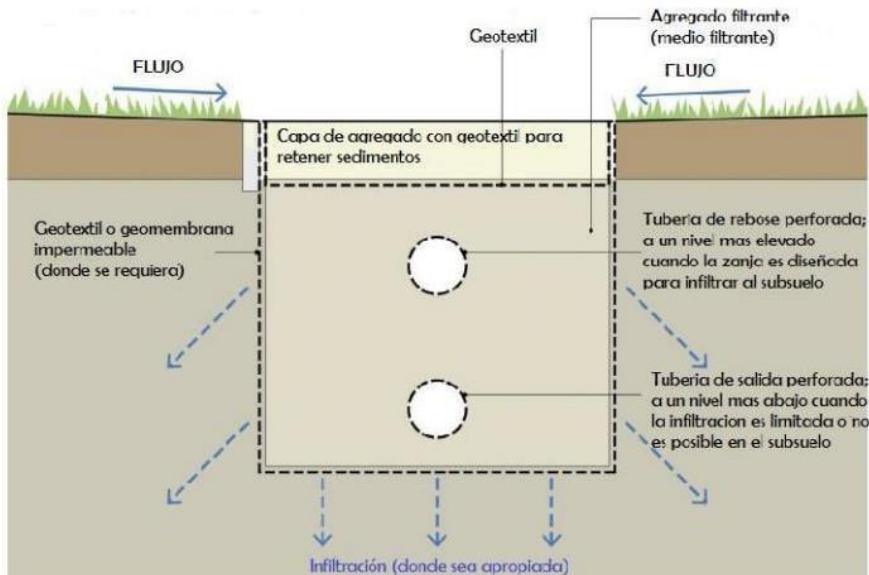
Los Drenes Filtrantes se refieren a las zanjas de escasa profundidad, que están rellenas con material como piedra o grava. Este diseño ofrece una capacidad de almacenamiento subterráneo temporal y es fundamental para la atenuación, el transporte y la filtración eficiente del flujo superficial de agua. El contenido de estas zanjas puede estar albergado en una simple estructura delineada por un geotextil u otro revestimiento permeable; alternativamente, podría encontrarse dentro de un revestimiento más robusto fabricado en hormigón. Los Drenes Filtrantes pueden caracterizarse por su impermeabilidad o permitir infiltración, en base a las propiedades inherentes del terreno y el nivel de protección implementado para la preservación del agua subterránea.

Los Drenajes Filtrante contribuyen significativamente a reducir el contenido de contaminantes en la escorrentía, abordando un dilema común que plantean los sistemas de alcantarillado convencionales. Esto se logra mediante una filtración eficaz de sedimentos finos, metales, hidrocarburos y otros contaminantes, al tiempo que se mejoran ciertos procesos cruciales como la absorción y la biodegradación. Posteriormente, es imprescindible colocar una tubería perforada cerca de la base de estas zanjas para recoger y canalizar el agua aguas abajo hacia sistemas de drenaje adecuados. El almacenamiento de atenuación que ofrecen los huecos dentro del relleno de agregado se puede optimizar utilizando mecanismos de control de flujo aguas abajo. Además, también se puede instalar otra tubería perforada en la parte superior para facilitar una ruta de salida del exceso de flujo generado durante los eventos de diseño. En la Figura 24 se muestra un ejemplo de una sección transversal de un filtro de drenaje. La capa de agregado de sacrificio en la parte superior puede ser necesaria solo en los casos en que los sistemas de eliminación de sedimentos aguas arriba se

consideren insuficientes.

Figura 24

Sección transversal del dren filtrante.



Las consideraciones generales de diseño son las siguientes: La profundidad recomendada para los Drenes Filtrantes suele oscilar entre 1 y 2 metros. En circunstancias donde se permite la infiltración, es crucial mantener un nivel freático máximo al menos de 1 metro por debajo del canal trazado. El índice de vacíos y permeabilidad inherente al relleno granular debe ser inspeccionado con minuciosidad para garantizar una percolación adecuada; a su vez, esto coadyuvará en el control eficaz del riesgo asociado a posibles obstrucciones.

Cuando se emplean tuberías perforadas en sistemas de distribución o como colectores, se deben colocar meticulosamente sobre un espesor de lecho adecuado. Estos conductos perforados necesitan un área adecuada de aberturas para gestionar eficazmente el flujo previsto dentro y fuera de las tuberías. El diámetro mínimo requerido para tuberías perforadas debe ser de 200 mm. Es imperativo mantener una velocidad mínima de 0,5 m/s para evitar cualquier obstrucción dentro de la tubería debido a la acumulación de sedimentos. La pendiente longitudinal no debe exceder el 15% para mantener las velocidades bajas necesarias para un transporte estable a

través del medio filtrante y garantizar la ejecución efectiva de los procesos de eliminación de contaminantes. La máxima velocidad permitida para estas tuberías es de 3 metros por segundo. Adicionalmente, la cobertura (geotextil) y el filtro deben situarse alrededor de la tubería perforada proporcionando un recubrimiento mínimo de 10 centímetros de grosor.

En cuanto a la selección y localización de los drenes filtrantes en el distrito 26 de octubre la mejor ubicación se encuentra adyacente a áreas impermeables tales como zonas de estacionamiento, autopistas, avenidas y calles. Estos espacios pueden ser utilizados para drenar la escorrentía tanto urbana como no urbana y cuando se cubren con geotextiles, se pueden emplear para dirigir el escurrimiento superficial desde las áreas que presenten un alto riesgo de contaminación del agua subterránea. Por ende, el cálculo para su diseño del dren filtrante se puede visualizar en el **Anexo N°06**.

Cabe destacar, que el caudal de las aguas del dren filtrante que se ha diseñado serán direccionadas al dren "Cesar Vallejo" para que continúe su cauce así poder mejorar la calidad de vida de las personas del distrito 26 de octubre de anegamientos urbanos y inundaciones pluviales causadas por las lluvias de baja y alta intensidad.

V. CONCLUSIONES

- En resumen, la presente tesis aporta a la carrera de ingeniería información relacionada con las características del distrito que permitirán a elaborar un plan maestro de drenaje pluvial del distrito 26 de octubre a través de la gestión de las aguas pluviales en cuencas ciegas empleando sistema de drenaje sostenibles, pues se identificó que la capacidad de diseño de los sistemas de drenaje limita su capacidad para hacer frente a la escorrentía que excede el estándar de diseño.
- Los softwares para evaluar el comportamiento de las aguas producto de las escorrentías más empleadas fueron el Modelo de Gestión de Aguas Pluviales en el 46% de los estudios, seguido de los modelos no comerciales de desarrollo propio que representó el 16% de los estudios. En tercer lugar, se identificó el software L-THIA-LID (4%) y SUSTAIN (2%). En el resto de los estudios se emplearon los softwares MIKE URBAN, SUDSLOC, GISP, ReVISIONS, SSANTO, UrbanBEATS y WSCT, que representan el 32% del total de los artículos.
- En los últimos años, ha habido un rápido desarrollo de las técnicas de sistemas de drenaje pluvial eficientes entre las cuales destacan los pavimentos permeables, pavimentos semipermeables, reservorios de retención, trinchera de infiltración, franjas filtrantes, zanjas de infiltración, microdepósitos, pozo de infiltración, techos verdes, depósito subterráneo y franjas de césped. Cabe destacar que, cada uno de los sistemas identificados representan una alternativa eficiente para abordar la problemática identificada en el distrito relacionada con el anegamiento pluvial, sin embargo, demandan diferentes niveles de trabajo para su correcta implementación que permita en época de lluvias ya sea de forma individual o combinada la evacuación oportuna de las aguas debido al aumento de escorrentías en cuencas ciegas.

- En general, al evaluar el sistema drenaje pluvial en el distrito veintiséis de octubre de Piura e investigar drenajes pluviales urbano sostenible como alternativa de solución se determinó que los diseños resultan insuficientes e ineficientes ante el incremento de la escorrentía producto de la activación de las cuencas ciegas del distrito en periodos de lluvia moderada e intensa, que afectan la integridad de los moradores y del mismo modo ocasionan daño considerable a la propiedad pública como carreteras que en su mayoría son pavimentos asfaltados acelerando su deterioro y con ello afectando el nivel de serviciabilidad de las mismas, que pueden desencadenar accidentes. En ese contexto, se identificó como solución el uso de sistemas de drenaje pluvial urbano sostenible como pavimentos permeables, pavimentos semipermeables, reservorios de retención, trinchera de infiltración techos verdes, entre otros.

VI. RECOMENDACIONES

- Se recomienda que se haga un trabajo de investigación más exhaustivo para así mejorar la propuesta planteada en esta presente investigación y pueda mejorar la calidad de vida de los pobladores del distrito 26 de octubre que se ve severamente afectada por anegamientos urbanos y por la falta drenaje eficiente y sobre todo que sea sostenible.
- Para evitar los riesgos de inundaciones urbanas, se recomienda diseñar sistemas de drenaje adecuados para recoger y transportar las aguas pluviales. No obstante, la veloz urbanización y las modificaciones en el nivel máximo de precipitaciones vinculadas al cambio climático poseen la capacidad potencial para exceder la funcionalidad de los sistemas de drenaje. Este hecho podría dar lugar a inundaciones y ocasionar perjuicios considerables a la infraestructura, interrupciones en los servicios económicos y sociales además de incrementar significativamente el riesgo hacia integridad humana.
- Desde una perspectiva metodológica, se recomienda para futuras investigaciones similares identificar nuevas y mejores alternativas de solución ecoamigables que se adapten a las necesidades de la población a través de una eficiente evacuación del agua pluvial que garantice la seguridad de las personas y la propiedad privada. En esa misma línea, se recomienda impulsar el desarrollo de estrategias de gestión que involucren a todos los residentes del distrito 26 de octubre en todos sus niveles, es decir, que abarque autoridades municipales, vecinos, la empresa privada como Provias y entidades privadas como universidades, centros comerciales, colegios, etc.
- En general, se recomienda desde un enfoque práctico realizar una evaluación de los sistemas de drenaje pluvial urbano de otros distritos de la provincia de Piura a fin de conocer su situación actual para optar decisiones oportunas y eficientes, que se puedan complementar con las planteadas en la presente investigación para integrarlos y crear una red a gran escala que posibilite una mayor eficiencia y mejores resultados en torno a la prevención de anegamientos en cuencas ciegas debido a los diferentes factores asociados (saturación del suelo, factores meteorológicos y/o de diseño de los sistemas).

REFERENCIAS

- Abdollahi, S., Akhoond-Ali, A., Mirabbasi, R. *et al.* Probabilistic Event Based Rainfall-Runoff Modeling Using Copula Functions. *Water Resour Manage* 33,3799–3814 (2019). <https://doi.org/10.1007/s11269-019-02339-z>
- Adobati, F. & Garda, E. (2020). Soil releasing as key to rethink water spaces in urban planning. *City Territ Archit*, 7, 9. <https://doi.org/10.1186/s40410-020-00117-8>
- Agarwal, S. & Kumar, S. (2019). Applicability of SWMM for Semi Urban Catchment Flood modeling using Extreme Rainfall Events. *Int. J. Recent Technol. Eng.*, 8, 245–251. <https://www.ijrte.org/portfolio-item/A3169058119/>
- Aranda, J.Á.; Beneyto, C.; Sánchez-Juny, M.; Bladé, E. (2021). Efficient Design of Road Drainage Systems. *Water*, 13, 1661. <https://doi.org/10.3390/w13121661>
- Bao, S., Lai, Z., Chen, B. *et al.* (2023). Urban drainage decision model for storm emergency management based on multi-objective optimization. *Stoch Environ Res Risk Assess* 37, 813–829. <https://doi.org/10.1007/s00477-022-02315-x>
- Chen, S., Li, D., Bu, S. & Li, Y. (2021). Modelling the Effect of Rainfall Patterns on the Runoff Control Performance of Permeable Pavements. *Water Sci. Technol*, 84, 1566–1578. <https://iwaponline.com/wst/article/84/7/1566/83862/Modelling-the-effect-of-rainfall-patterns-on-the>
- Cui, M., Ferreira, F., Fung, T., & Matos, J. (2021). Tale of Two Cities: How Nature-Based Solutions Help Create Adaptive and Resilient Urban Water Management Practices in Singapore and Lisbon. *Sustainability*, 13(18), 10427. <http://dx.doi.org/10.3390/su131810427>

Dasgupta, P., Kumar, V., Malik, A. et al. (2023). Wastewater Treatment Systems for City-Based Municipal Drains for Achieving Sustainability. *Circ.Econ. Sust*, 3, 585–606. <https://doi.org/10.1007/s43615-022-00163-z>

Dasgupta, P., Kumar, V., Malik, A. et al. (2023). Wastewater Treatment Systems for City-Based Municipal Drains for Achieving Sustainability. *Circ.Econ. Sust*, 3, 585–606. <https://doi.org/10.1007/s43615-022-00163-z>

Delnaz, A., Nasiri, F. & Li, S. (2023). Asset management analytics for urban water mains: a literature review. *Environ Syst Res*, 12, 12. <https://doi.org/10.1186/s40068-023-00287-7>

Dwivedi, S., Chandra, N., Bahuguna, S., Pandey, A., Khanduri, S., Lingwal, S., Sharma, N. & Singh, G. (2022). Hydrometeorological disaster risk assessment in upper Gori-Ramganga catchment, Uttarakhand, India. *Geocarto Int.*, 22, 12–27. <https://doi.org/10.1080/10106049.2022.2063403>

Elsharqawy, H., Elbarmelgy, M. & Elmalt, A. (2022). Evolutionary urban resilience as an incremental approach to sustainability: a multifunctional pluvial flood and wastewater risk reduction framework. *J. Eng. Appl. Sci.*, 69, 80. <https://doi.org/10.1186/s44147-022-00136-x>

Faisal, B. & Hayakawa, Y. (2022). Geomorphological processes and their connectivity in hillslope, fluvial, and coastal areas in Bangladesh: A review. *Prog Earth Planet Sci*, 9, 41. <https://doi.org/10.1186/s40645-022-00500-8>

Fernandez, E. L. (2022). Análisis del impacto ambiental del sistema de drenaje pluvial en la Urbanización Campo Real, ciudad de Cajamarca 2021 [Tesis de titulación, Universidad Privada del Norte]. Repositorio de la Universidad Privada del Norte. <https://hdl.handle.net/11537/32522>

Fu, X., Wang, D., Luan, Q., Liu, J. & Wang, H. (2020). Construction and Simulation of SWMM in large scale pipeless flow data Urban Area—Model Parameter validation and storm runoff Simulation Analysis. *Adv. Water Sci.*, 31, 51–60. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/detail.aspx?doi=10.14042/j.cnki.32.1309.2020.01.006>

- Ghadua, Z. & Bhattacharya, B. (2019). Improving flash flood forecasting with a Bayesian probabilistic approach: A case study on the Posina Basin in Italy. *Int. J. Environ. Ecol. Eng.*, 13, 331–337. <https://zenodo.org/record/2702891>
- Hossain, A., Cohen, S. & Praskievicz, S. (2020). Sensitivity of Urban Flood Simulations to Stormwater Infrastructure and Soil Infiltration. *J. Hydrol.*, 588. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0022169420304881?via%3Dihub>
- Joder, BT. et al. (2022). Contaminación de aguas residuales en canales urbanos de Vietnam: restauración utilizando soluciones basadas en la naturaleza. *Ciencias Ambientales Aplicadas e Ingeniería para un Futuro Sostenible*, 127- 173. https://doi.org/10.1007/978-3-031-18412-3_6
- Khalaj, M., Noor, H. & Dastranj, A. (2021). Investigation and simulation of flood inundation hazard in urban areas in Iran. *Geoenviron Disasters*, 8, 18. <https://doi.org/10.1186/s40677-021-00191-1>
- Kim, H. & Han, K. (2020). Inundation Map Prediction with Rainfall Return Period and Machine Learning. *Water*, 12, 1552. <https://doi.org/10.3390/w12061552>
- Kim, H. & Han, K. (2020). Urban Flood Prediction Using Deep Neural Network with Data Augmentation. *Water*, 12, 899. <https://doi.org/10.3390/w12030899>
- Kumar, A., Button, C., Gupta, S., & Amezaga, J. (2023). Water Sensitive Planning for the Cities in the Global South. *Water*, 15(2), 235. <http://dx.doi.org/10.3390/w15020235>
- Kumar, S., Rahman, A. & Esraz, M. (2021). Simulation-based Modeling of Urban Waterlogging in Khulna City. *J. Water Clim. Chang*, 12, 566–579. <https://iwaponline.com/jwcc/article/12/2/566/73955/Simulation-based-modeling-of-urban-waterlogging-in>
- La Loggia, G., Puleo, V. & Freni, G. Floodability: A New Paradigm for Designing Urban Drainage and Achieving Sustainable Urban Growth. *Water Resour Manage* 34, 3411–3424 (2020). <https://doi.org/10.1007/s11269-020-02620-6>

Lin, J., He, P., Yang, L., He, X., Lu, S. & Liu, D. (2022). Predicting future urban waterlogging-prone areas by coupling the maximum entropy and FLUS model. *Sustain. Cities Soc*, 80, 103812. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S221067072200141X?via%3Dihub>

Linh, N., Ahmed, F. & Loc, H. (2022). Applications of Nature-Based Solutions in Urban Water Management in Singapore, Thailand and Vietnam. *Applied Environmental Science and Engineering for a Sustainable Future*, 101-126. https://doi.org/10.1007/978-3-031-18412-3_5

Liu, S., Zheng, Y., Feng, L. et al. (2021). Are only floods with large discharges threatening? Flood characteristics evolution in the Yangtze River Basin. *Geosci. Lett.*, 8, 32. <https://doi.org/10.1186/s40562-021-00203-w>

Lopez, A. & Villavicencio, R. (2023). Sistema urbano de drenaje sostenible para evitar inundaciones de origen pluvial mejorando áreas verdes, cruce Av. Mateo Pumacahua – Av. Separadora Industrial, Distrito Villa El Salvador 2021 [Tesis de titulación, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas]. Repositorio de la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas. <http://hdl.handle.net/10757/657404>

McEwan, K., Xenias, D., Hodgkinson, S. et al. (2022). Greener streets and behaviours, and green-eyed neighbours: a controlled study evaluating the impact of a sustainable urban drainage scheme in Wales on sustainability. *Sustain. Water Resour. Manag.* 8, 143. <https://doi.org/10.1007/s40899-022-00723-z>

Megahed, H. & El Bastawesy, M. (2020). Hydrological problems of flash floods and the encroachment of wastewater affecting the urban areas in Greater Cairo, Egypt, using remote sensing and GIS techniques. *Bull Natl Res Cent*, 44(188). <https://doi.org/10.1186/s42269-020-00442-5>

Meng, X., Zhang, M., Wen, J., Du, S., Xu, H., Wang, L., & Yang, Y. (2019). A Simple GIS-Based Model for Urban Rainstorm Inundation Simulation. *Sustainability*, 11(10), 2830. <http://dx.doi.org/10.3390/su11102830>

Merlo, V. H., & Soto, G. R. (2021). Análisis del sistema de drenaje urbano en base a estudios de nivel internacional y su relación al sistema de drenaje en la ciudad de Cajamarca, 2020 [Tesis de titulación, Universidad Privada del Norte]. Repositorio de la Universidad Privada del Norte. <https://hdl.handle.net/11537/28623>

Nguyen T., et al (2019). Implementation of a specific urban water management - Sponge City. *Science of The Total Environment*, 652, 147–162. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.168>

Park, J., Kim, S.H. & Bae, D. (2019). Evaluating Appropriateness of the Design Methodology for Urban Sewer System. *J. Korea Water Resour. Assoc*, 52, 411–420. <https://jkwra.or.kr/articles/xml/4dkd/>

Park, S., Berenguer, M. & Sempere, D. (2019). Long-term analysis of gauge-adjusted radar rainfall accumulations at European scale. *J. Hydrol*, 573, 768–777. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0022169419303221?via%3Dihub>

Peng, J., Ouyang, J. & Yu, L. (2021). The Model of Low Impact Development of a Sponge Airport: A Case Study of Beijing Daxing International Airport. *J. Water Clim. Chang.*, 12, 116–126. <https://iwaponline.com/jwcc/article/12/1/116/72215/The-model-of-low-impact-development-of-a-sponge>

Popick, H., Brinkmann, M. & McPhedran, K. (2022). Assessment of stormwater discharge contamination and toxicity for a cold-climate urban landscape. *Environ Sci Eur* 34, 43. <https://doi.org/10.1186/s12302-022-00619-x>

Raimondi, A., Di Chiano, M.G., Marchioni, M. *et al.* Probabilistic modeling of sustainable urban drainage systems. *Urban Ecosyst* 26, 493–502 (2023). <https://doi.org/10.1007/s11252-022-01299-4>

Rojas, D. R. (2021). Sistema de drenaje urbano sostenible entre la Av. Nuevo Cajamarca y Jr. Yurimagyas, Cajamarca 2021 [Tesis de titulación, Universidad Privada del Norte]. Repositorio de la Universidad Privada del Norte. <https://hdl.handle.net/11537/30002>

Seyed, G., Zhenduo, Z., L. Shawn, AL. Rabideau, M. (2023). Optimal siting of rainwater harvesting systems for reducing combined sewer overflows at city scale, *Water Research*, 230. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2022.119533>

Seyedashraf, O., Bottacin-Busolin, A. & Harou, J.J. Many-Objective Optimization of Sustainable Drainage Systems in Urban Areas with Different Surface Slopes. *Water Resour Manage* 35, 2449–2464 (2021). <https://doi.org/10.1007/s11269-021-02840-4>

Shi H., et al. (2020). A new method for estimation of spatially distributed rainfall through merging satellite observations, raingauge records, and terrain digital elevation model data. *Journal of Hydro-environment Research*, 28, 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.jher.2017.10.006>

Shi, Z., Shen, Q., Tan, Q., & Li, T. (2021). Development of Integrated Flooding Early Warning and Rainfall Runoff Management Platform for Downtown Area of Shanghai. *Sustainability*, 13(20), 11250. <http://dx.doi.org/10.3390/su132011250>

Stevaux J., et al. (2020). Changing fluvial styles and backwater flooding along the Upper Paraguay River plains in the Brazilian Pantanal wetland. *Geomorphology*, 350. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2019.106906>

Tarek, S. & Ouf, A. (2021). Biophilic smart cities: the role of nature and technology in enhancing urban resilience. *J. Eng. Appl. Sci*, 68, 40. <https://doi.org/10.1186/s44147-021-00042-8>

Vorobevskii, I., Al Janabi, F., Schneebeck, F., Bellera, J., & Krebs, P. (2020). Urban Floods: Linking the Overloading of a Storm Water Sewer System to Precipitation Parameters. *Hydrology*, 7(2), 35. <http://dx.doi.org/10.3390/hydrology7020035>

Wang, H., Wang, T., Xue, G. et al. (2021). Key technologies and equipment for contaminated surface/groundwater environment in the rural river network area of China: integrated remediation. *Environ Sci Eur*, 33, 5. <https://doi.org/10.1186/s12302-020-00451-1>

Wang, W., Wang, L., Miao, Y. et al. (2020). A survey on the influence of intense rainfall induced by climate warming on operation safety and service life of urban asphalt pavement. *J Infrastruct Preserv Resil*, 1, 4. <https://doi.org/10.1186/s43065-020-00003-0>

Wang, X., Kinsland, G., Poudel, D &, Fenech, A. (2019). Urban flood prediction under heavy precipitation. *J. Hydrol*, 577, 123984. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.123984>

Wong, T. (2023). Tackling Climate Risks to Urban Water Security in Coastal Cities in Asia. *Palgrave Studies in Climate Resilient Societies*, 89-117. https://doi.org/10.1007/978-3-031-16648-8_5

Wu, Z.; Liu, S., Wang, H. (2021). Calculation Method of Short-Duration Rainstorm Intensity Formula Considering Nonstationarity of Rainfall Series: Impacts on the Simulation of Urban Drainage System. *J. Water Clim. Chang*, 12, 3464–3480. <https://iwaponline.com/jwcc/article/12/7/3464/83570/Calculation-method-of-short-duration-rainstorm>

Xu, H., Wang, Y., Fu, X., Wang, D., & Luan, Q. (2023). Urban Flood Modeling and Risk Assessment with Limited Observation Data: The Beijing Future Science City of China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(5), 4640. <http://dx.doi.org/10.3390/ijerph20054640>

Yang, L., Li, J., Kang, A. et al. (2020). The Effect of Nonstationarity in Rainfall on Urban Flooding Based on Coupling SWMM and MIKE21. *Water Resour Manage* 34, 1535–1551. <https://doi.org/10.1007/s11269-020-02522-7>

Yang, Y., Sun, L., Li, R., Yin, J. & Yu, D. (2020). Linking a Storm Water Management Model to a Novel Two-Dimensional Model for Urban Pluvial Flood Modeling. *Int. J. Disaster Risk Sci.*, 1–11. <https://doi.org/10.1007/s13753-020-00278-7>

Yang, Y., Xu, X., & Liu, D. (2023). An Event-Based Stochastic Parametric Rainfall Simulator (ESPRS) for Urban Stormwater Simulation and Performance in a Sponge City. *Water*, 15(8), 1561. <http://dx.doi.org/10.3390/w15081561>

Yousif, M. & Hussien, H. (2020). Flash floods mitigation and assessment of groundwater possibilities using remote sensing and GIS applications: Sharm El Sheikh, South Sinai, Egypt. Bull Natl Res Cent, 44, 50. <https://doi.org/10.1186/s42269-020-00307-x>

Zanchetta, A., & Coulibaly, P. (2020). Recent Advances in Real-Time Pluvial Flash Flood Forecasting. Water, 12, 570. <https://doi.org/10.3390/w12020570>

Zeng, Z., Li, Y., Lan, J. & Hamidi, A. (2021). Utilizing User-Generated Content and GIS for Flood Susceptibility Modeling in Mountainous Areas: A Case Study of Jian City in China. Sustainability, 13. <https://doi.org/10.3390/su13126929>

Zhang, H., Yuan, Y., Li, W. & Zhang, B. (2019). A real-time precipitable water vapor monitoring system using the national GNSS network of China: Method and preliminary results. IEEE J. Sel. Top. Appl. Earth Obs. Remote Sens, 12, 1587–1598. <https://ieeexplore.ieee.org/document/8693831>

Zhao, G., Wan, Y.L., Lei, Z., Liang, R., Li, K., Pu, X. (2021). Effect of Urban Underlying Surface Change on Stormwater Runoff Process Based on the SWMM and Green-Ampt Infiltration Model. Water Supply, 21, 4301–4315. <https://iwaponline.com/ws/article/21/8/4301/82461/Effect-of-urban-underlying-surface-change-on>

Consortio inundaciones Piura. (2021). Plan Maestro Integral para el Control de Inundaciones y la Gestión de Transporte de Sedimentos de la Cuenca del Río Piura. <https://www.rcc.gob.pe/2020/wp-content/uploads/2023/01/Plan-maestro-Rio-Piura.pdf>

INDECI. (2007). Estudio Mapa de Peligros de la Ciudad de Piura. (2^aed.). Piura, Perú: OEA Proyecto

ANEXOS

Anexo 1. Matriz de de categorización

Unidad de estudio	Definición conceptual	Pregunta de investigación	Objetivo general	Objetivos específicos	Categorías	Subcategorías
Drenajes pluviales sostenibles como alternativa de mejora a los anegamientos	Es aquel sistema complementario al drenaje pluvial convencional de las ciudades capaz de gestionar de manera integral el agua proveniente de la lluvia. Los sistemas de drenaje pluvial urbano sostenible, también conocidos como estructuras de bajo impacto, infraestructura verde y mejores prácticas de gestión, son soluciones de drenaje urbano multifuncionales basadas en la naturaleza, que se pueden utilizar para mitigar el impacto ambiental de la urbanización	¿Los drenajes pluviales urbano sostenible son eficientes para mitigar el anegamiento urbano de los diferentes sectores del distrito veintiséis de octubre de Piura?	Evaluar el sistema drenaje pluvial en el distrito veintiséis de octubre de Piura e investigar drenajes pluviales urbano sostenible como alternativa a la problemática antes mencionada	OE 1. Caracterizar los sistemas de drenaje pluvial en el distrito veintiséis de octubre de Piura.	Sistemas de drenaje pluvial	Descripción del sistema actual de drenaje pluvial.
				OE 2. Evaluar mediante software el comportamiento de las aguas producto de las escorrentías.	Comportamiento de las aguas pluviales	Descripción del comportamiento de las aguas producto de las escorrentías.
				OE 3. Identificar modelos o sistemas sostenibles de evacuaciones pluviales desde la perspectiva de la sostenibilidad.	Sistemas sostenibles de evacuaciones.	Concepciones de nuevos sistemas de drenaje desde la perspectiva de la sostenibilidad.

Nota: Elaboración propia, 2023

Anexo 2. Instrumentos

Ficha de observación de los sistemas de drenaje pluvial

Ficha de observación de los sistemas de drenaje pluvial			
Título:	Investigación de drenajes pluviales sostenible como alternativa de mejora a los anegamientos en el distrito veintiséis de octubre de Piura		
Autor:	Flores Huertas, Jeanfranco Jhamill	Asesor:	MSc. Marcelo Sánchez, Ary Garlyn
Facultad:	Ingeniería	Escuela:	Ingeniería Civil
Foto		Descripción:	
Foto		Descripción:	
Foto		Descripción:	
Foto		Descripción:	

Ficha de registro de datos de software para evaluar el comportamiento de las aguas producto de las escorrentías.

Ficha de registro de datos de software			
Título:	Investigación de drenajes pluviales sostenible como alternativa de mejora a los anegamientos en el distrito veintiséis de octubre de Piura		
Autor:	Flores Huertas, Jeanfranco Jhamill	Asesor:	MSc. Marcelo Sánchez, Ary Garlyn
Facultad:	Ingeniería	Escuela:	Ingeniería Civil
Software		Descripción:	
Software		Descripción:	
Software		Descripción:	
Software		Descripción:	

Ficha de registro de modelos o sistemas sostenibles

Ficha de registro de modelos o sistemas sostenibles			
Título:	Investigación de drenajes pluviales sostenible como alternativa de mejora a los anegamientos en el distrito veintiséis de octubre de Piura		
Autor:	Flores Huertas, Jeanfranco Jhamill	Asesor:	MSc. Marcelo Sánchez, Ary Garlyn
Facultad:	Ingeniería	Escuela:	Ingeniería Civil
Sistemas sostenibles		Descripción:	
Sistemas sostenibles		Descripción:	
Sistemas sostenibles		Descripción:	
Sistemas sostenibles		Descripción:	

Anexo 3. Evidencia fotográfica



Foto 1. Visita de campo en el área de estudio (Cuenca 5 esquinas).



Foto 2. Visita de campo a cuenca ciega ubicada a espaldas de la universidad César Vallejo.

ANEXO 4: Evaluación por juicio de expertos

MATRIZ PARA EVALUACION DE EXPERTOS

TITULO DE INVESTIGACION	"Investigación de drenajes pluviales sostenible como alternativa de mejora a los anegamientos en el distrito veintiséis de octubre de Piura"
LINEA DE INVESTIGACION	Diseño de Obras Hidráulicas y Saneamiento

Mediante la matriz de evaluación de expertos, Ud tiene la facultad de evaluar cada una de las preguntas marcando con una "x" en las columnas de Si o No Asimismo le exhortamos en la corrección de los ítems, indicando sus observaciones y/o sugerencias, con la finalidad de mejorar la medición sobre la variable en estudio

ITEMS	PREGUNTAS	APRECIA		OBSERVACIONES
		SI	NO	
1	¿El instrumento de medición de datos tiene relación con el título de la investigación?	X		
2	¿En el instrumento de medición se mencionan las variables de investigación?	X		
3	¿El instrumento de medición facilitará el logro de los objetivos de la investigación?	X		
4	¿El instrumento de medición presenta el diseño adecuado?	X		
5	¿El instrumento de medición se relaciona con las variables de estudio?	X		
6	¿Cada una de los ítems del instrumento de medición se relaciona con cada uno de los elementos de los indicadores	X		
7	¿El diseño del instrumento de medición facilitará el análisis y procesamiento de datos?	X		
8	¿El instrumento de medición es claro, preciso y sencillo de manera que se pueda obtener los datos requeridos?	X		
9	El documento está redactado con vocabulario adecuado	X		

Sugerencias

DATOS GENERALES	Prospero Cristhian Omphe Zapata Mendoza
DNI	43476447
PROFESIÓN	Arquitecto
SELLO Y FIRMA	



P. Cristhian O. Zapata Mendoza
ARQUITECTO
C.A.P N° 12153


MATRIZ PARA EVALUACION DE EXPERTOS

TITULO DE INVESTIGACION	"Investigación de drenajes pluviales sostenible como alternativa de mejora a los anegamientos en el distrito veintiséis de octubre de Piura"
LINEA DE INVESTIGACION	Diseño de Obras Hidráulicas y Saneamiento

Mediante la matriz de evaluación de expertos, Ud tiene la facultad de evaluar cada una de las preguntas marcando con una "x" en las columnas de Si o No Asimismo le exhortamos en la corrección de los ítems, indicando sus observaciones y/o sugerencias, con la finalidad de mejorar la medición sobre la variable en estudio

ITEMS	PREGUNTAS	APRECIA		OBSERVACIONES
		SI	NO	
1	¿El instrumento de medición de datos tiene relación con el título de la investigación?	X		
2	¿En el instrumento de medición se mencionan las variables de investigación?	X		
3	¿El instrumento de medición facilitará el logro de los objetivos de la investigación?	X		
4	¿El instrumento de medición presenta el diseño adecuado?	X		
5	¿El instrumento de medición se relaciona con las variables de estudio?	X		
6	¿Cada una de los ítems del instrumento de medición se relaciona con cada uno de los elementos de los indicadores?	X		
7	¿El diseño del instrumento de medición facilitará el análisis y procesamiento de datos?	X		
8	¿El instrumento de medición es claro, preciso y sencillo de manera que se pueda obtener los datos requeridos?	X		
9	El documento está redactado con vocabulario adecuado	X		

Sugerencias

DATOS GENERALES	MIGUEL AGUIRTO MENA
DNI	03497820
PROFESIÓN	ING. CIVIL
SELLO Y FIRMA	

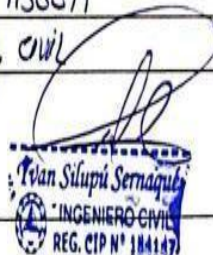
MATRIZ PARA EVALUACION DE EXPERTOS

TITULO DE INVESTIGACION	"Investigación de drenajes pluviales sostenible como alternativa de mejora a los anegamientos en el distrito veintiséis de octubre de Piura"
LINEA DE INVESTIGACION	Diseño de Obras Hidráulicas y Saneamiento

Mediante la matriz de evaluación de expertos, Ud tiene la facultad de evaluar cada una de las preguntas marcando con una "x" en las columnas de Si o No Asimismo le exhortamos en la corrección de los ítems, indicando sus observaciones y/o sugerencias, con la finalidad de mejorar la medición sobre la variable en estudio

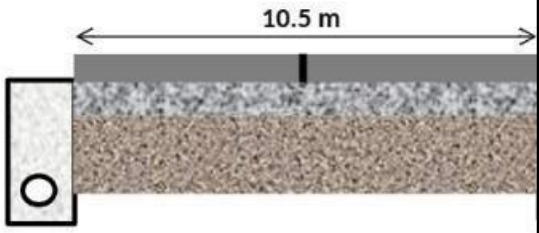
ITEMS	PREGUNTAS	APRECIA		OBSERVACIONES
		SI	NO	
1	¿El instrumento de medición de datos tiene relación con el título de la investigación?	X		
2	¿En el instrumento de medición se mencionan las variables de investigación?	X		
3	¿El instrumento de medición facilitará el logro de los objetivos de la investigación?	X		
4	¿El instrumento de medición presenta el diseño adecuado?	X		
5	¿El instrumento de medición se relaciona con las variables de estudio?	X		
6	¿Cada una de los ítems del instrumento de medición se relaciona con cada uno de los elementos de los indicadores?	X		
7	¿El diseño del instrumento de medición facilitará el análisis y procesamiento de datos?	X		
8	¿El instrumento de medición es claro, preciso y sencillo de manera que se pueda obtener los datos requeridos?	X		
9	El documento está redactado con vocabulario adecuado	X		

Sugerencias

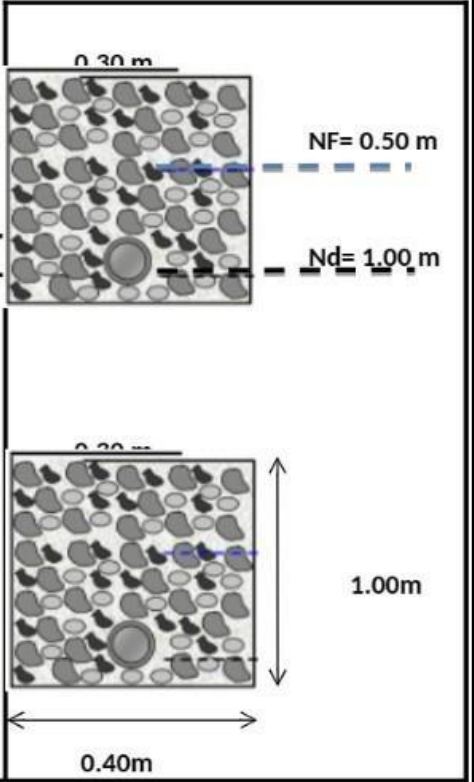
DATOS GENERALES	YVAN SILUPU SERRAQUE
DNI	4 1136819
PROFESIÓN	Ing. CIVIL
SELLO Y FIRMA	

Anexo N°06.DISEÑO DE DREN FILTRANTE

1) DATOS INICIALES	
PENDIENTE LONGITUDINAL=	1%
ANCHO VIA=	10.5 m
LONGITUD=	50 m
NF=	0.50 m
SUELO=	ML
K=	0.000025 m/s
D85=	0.085 mm
IR=	0.000017 m/s



2) CAUDAL DE INFILTRACIÓN	
QInf (m3/s)=	9.79E-04
3) CAUDAL POR NIVEL FREÁTICO	
i=	0.095
A=	25 m2
QNF (m3/s)=	1.190E-04
QTOTAL (m3/s)=	1.10E-03
4) DIMENSIONAMIENTO DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL	
QF (m3/s)=	1.10E-03
V(m/s)=	0.0032
A=	0.343 m2
Ancho=	0.40m
5) DIAMETRO DE LA TUBERIA A USAR	
TIPO TUBERIA	100 mm
6) DETERMINACIÓN TIPO DE GEOTEXTIL	
GEOTEXTIL ELEGIDO	NT 2500
Criterio de retención (TAA)	CUMPLE
Criterio de Permeabilidad	CUMPLE
Criterio de Colmatación	CUMPLE



Criterios de Supervivencia				
Propiedad	Resistencia a la tensión(Grab)	Resistencia a la costura	Resistencia a la penetración con pistón 50mm de diametro	Resistencia al rasgado trapezoidal
Norma de ensayo	INV E-901	INV E-901	INV E-913	INV E-903
valor minimo promedio por rollo	700 N	630 N	1375 N	250 N
	CUMPLE		CUMPLE	CUMPLE