

Implementación de techos verdes con flora nativa para la mitigación de inundaciones pluviales en zonas susceptibles de la provincia de Trujillo, 2025

Implementation of green roofs with native flora to mitigate stormwater flooding in vulnerable areas of Trujillo province, 2025

Dayanna Chigne Sandoval ¹ , Jeferson Fernandez Sanchez ² ,
Bethsabé Pérez López ³ , Valeria Valderrama Lara ⁴ ,
Haniel Solis Muñoz ⁵ 

RESUMEN

El presente estudio tuvo como objetivo identificar zonas urbanas con alta susceptibilidad a inundaciones pluviales en la provincia de Trujillo y evaluar la implementación de techos verdes con flora nativa como medida de mitigación. Mediante análisis geoespacial con SIG, se integraron datos de precipitación (2020–2024) y elevación terrestre para delimitar las áreas más vulnerables. Se seleccionaron tres puntos críticos en los distritos de Moche, Víctor Larco Herrera y Trujillo, donde se diseñaron y evaluaron prototipos de techos verdes utilizando las especies nativas *Aptenia cordifolia* y *Alternanthera amarilla*. La eficacia en la retención hídrica fue evaluada a través de simulaciones de lluvia de 4 litros en condiciones controladas, con análisis estadístico ANOVA para comparar el rendimiento de las especies. *Aptenia cordifolia* mostró una retención inicial de hasta 93,75 %, mientras que *Alternanthera amarilla* alcanzó 77,25 %; sin embargo, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre ambas ($p = 0,9460$). Los resultados evidencian que los techos verdes con vegetación nativa representan una estrategia viable y replicable para reducir el escurrimiento superficial y fortalecer la resiliencia urbana frente a eventos extremos de precipitación.

Palabras clave: Techos verdes; Inundaciones pluviales; Flora nativa; Retención hídrica; Trujillo.

ABSTRACT

The present study aimed to identify urban areas with high susceptibility to rainfall flooding in the province of Trujillo and to evaluate the implementation of green roofs with native flora as a mitigation measure. Using GIS geospatial analysis, precipitation (2020–2024) and land elevation data were integrated to delimit the most vulnerable areas. Three critical points were selected in the districts of Moche, Víctor Larco Herrera and Trujillo, where prototype green roofs were designed and evaluated using the native species *Aptenia cordifolia* and *Alternanthera amarilla*. Water retention efficiency was evaluated through 4-litre rainfall simulations under controlled conditions, with ANOVA statistical analysis to compare the performance of the species. *Aptenia cordifolia* showed an initial retention of up to 93.75 %, while *Alternanthera amarilla* reached 77.25 %; however, no statistically significant differences were found between the two ($p = 0.9460$). The results show that green roofs with native vegetation represent a viable and replicable strategy to reduce surface runoff and strengthen urban resilience to extreme precipitation events.

Keywords: Green roofs; Pluvial flooding; Native flora; Water retention; Trujillo.

¹ Universidad Nacional de Trujillo, Ciudad Trujillo, País Perú. t1053701221@unitru.edu.pe

² Universidad Nacional de Trujillo, Ciudad Trujillo, País Perú. jfernandezsa@unitru.edu.pe

³ Universidad Nacional de Trujillo, Ciudad Trujillo, País Perú. bperezl@unitru.edu.pe

⁴ Universidad Nacional de Trujillo, Ciudad Trujillo, País Perú. vvalderramal@unitru.edu.pe

⁵ Universidad Nacional de Trujillo, Ciudad Trujillo, País Perú. hsolism@unitru.edu.pe

1. INTRODUCCIÓN

Las inundaciones pluviales urbanas (UPF) ocurren cuando precipitaciones intensas y escorrentías superan la capacidad de los sistemas de drenaje, provocando daños sanitarios, económicos y sociales de gran magnitud. A nivel global, eventos como el huracán Harvey en Houston (68 muertes; pérdidas de 90 000–160 000 M USD), el “cloudburst” de Copenhague en 2011 (> 1 000 M USD de daños) y las inundaciones de Bangkok y Pekín en 2011 y 2012, respectivamente, ilustran la creciente vulnerabilidad de las ciudades frente a lluvias extremas (Azizi et al., 2022). En Latinoamérica, la frecuencia anual de UPF pasó de 4 en los años sesenta a más de 22 en la década de 2020, con pérdidas medias de 1 726 M USD por año, impulsadas por el incremento de áreas impermeables y la exposición de bienes y personas en zonas de riesgo (Van der Borgh & Pallares-Barbera, 2024).

En Perú, las oscilaciones costeras de El Niño intensifican las lluvias y huaicos, especialmente en la costa norte y áreas montañosas áridas. El evento costero de 2017 dejó más de 130 fallecidos y daños superiores a 3 000 M USD en Piura, Tumbes, Lambayeque y La Libertad, siendo la provincia de Trujillo una de las más afectadas (French et al., 2020; Grupo INCLAM, 2020). La provincia de Trujillo enfrenta inundaciones recurrentes por deficiencias en su red de drenaje, desarrollo urbano desordenado y el uso inapropiado del sistema de alcantarillado para evacuar aguas pluviales, lo que agrava bloqueos por sedimentos y residuos (SEDALIB, 2021). El 29 de marzo de 2025, precipitaciones intensas provocaron huaicos e inundaciones en diversos distritos, entre ellos Trujillo, Víctor Larco y Huanchaco, con daños en viviendas y vías de comunicación; sin intervenciones efectivas, se proyecta que los impactos económicos en el área de influencia podrían ascender a S/. 820 970 000 (INDECI, 2025; Gobierno Regional de La Libertad, 2018).

Ante este escenario, es necesario explorar soluciones sostenibles que reduzcan el escurrimiento superficial y refuercen la capacidad de gestión del agua pluvial. Estudios internacionales han demostrado que los techos verdes retienen más del 50 % de la lluvia acumulada y mejoran la resiliencia urbana frente a eventos extremos (Lönnqvist et al., 2025; Jung et al., 2025). Sin embargo, en el contexto peruano y específicamente en Trujillo, faltan estudios que integren análisis espacial de susceptibilidad con diseños de techos verdes adaptados a especies nativas y condiciones climáticas locales.

Este trabajo tiene como objetivo identificar las zonas más susceptibles a inundaciones pluviales en la provincia de Trujillo mediante SIG y análisis de datos pluviométricos, y proponer la implementación de techos verdes con plantas nativas (*Aptenia cordifolia* y *Alternanthera amarilla*) como estrategia sostenible para reducir el escurrimiento superficial y mitigar el riesgo de inundaciones. Asimismo, diseñar y evaluar un prototipo de techo verde, cuantificando su volumen de retención durante lluvias simuladas, con el fin de aportar un método replicable a otras ciudades con retos similares.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Tipo de estudio

La investigación se estructuró en dos fases complementarias. En primer lugar, se llevó a cabo un análisis no experimental, transeccional correlacional para evaluar la vulnerabilidad a inundaciones pluviales en la zona urbana de Trujillo, basado en la recolección puntual de datos de precipitación y elevación sin manipular las variables (Hernández-Sampieri et al., 2014). Seguidamente, se implementó un diseño experimental puro: se construyeron prototipos de techos verdes, se introdujo de manera controlada la capa vegetal nativa y se midió su efecto sobre la retención de agua.

2.2. Población

La población de estudio comprendió las áreas urbanas de la provincia de Trujillo más susceptibles a inundaciones pluviales, según los datos históricos y el análisis geoespacial realizados. Estos distritos incluyen: El Porvenir, Florencia de Mora, Trujillo, La Esperanza, Víctor Larco Herrera, Huanchaco y Moche.

2.3. Muestra

La muestra comprendió tres puntos ubicados en las zonas más susceptibles a inundaciones pluviales, caracterizadas por una mayor tendencia a la precipitación y menor elevación terrestre.

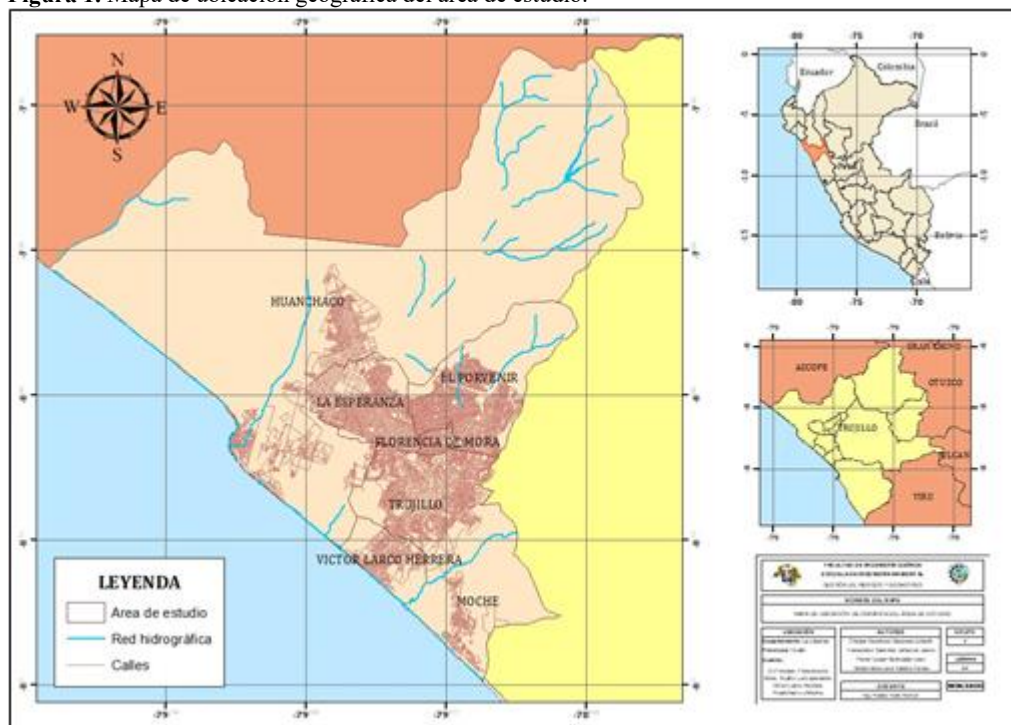
2.4. Muestreo

Los puntos de muestreo se seleccionaron considerando criterios de susceptibilidad, precipitación y elevación. Este enfoque resultó en un tipo de muestreo no probabilístico, específicamente por criterio o conveniencia, dado que se eligieron puntos críticos que demandaban la intervención de techos verdes.

2.5. Recolección de datos

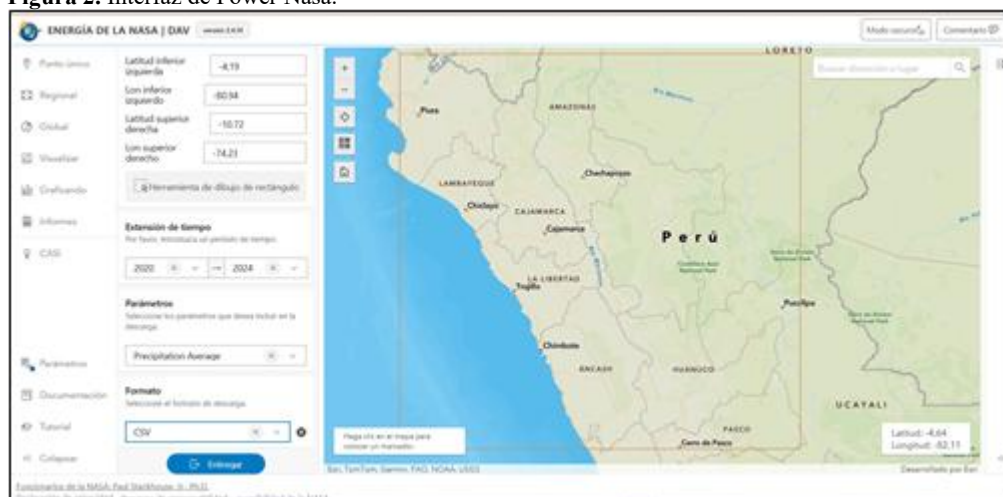
En primer lugar, se delimitó el área de estudio. Para ello, se descargaron los archivos shapefile con los datos de provincias y distritos del Perú, así como los archivos shape de las calles de La Libertad y de la red hídrica nacional (ríos y otros cuerpos de agua) desde la página de GEOGPS PERÚ. Con esta información, se generó el mapa de ubicación geográfica del área de estudio utilizando el software ArcGIS en su versión 10.8.2. El área de estudio incluyó los distritos de Huanchaco, Moche, La Esperanza, El Porvenir, Víctor Larco Herrera, Florencia de Mora y Trujillo.

Figura 1. Mapa de ubicación geográfica del área de estudio.



A continuación, se recopiló información sobre la precipitación en los últimos cinco años (2020-2024) para comprender el comportamiento de este fenómeno en la zona de estudio. Los datos se exportaron en formato CSV de la plataforma POWER NASA, seleccionando en su interfaz las opciones "Regional", "Monthly & Annual" y el parámetro "Precipitation Average".

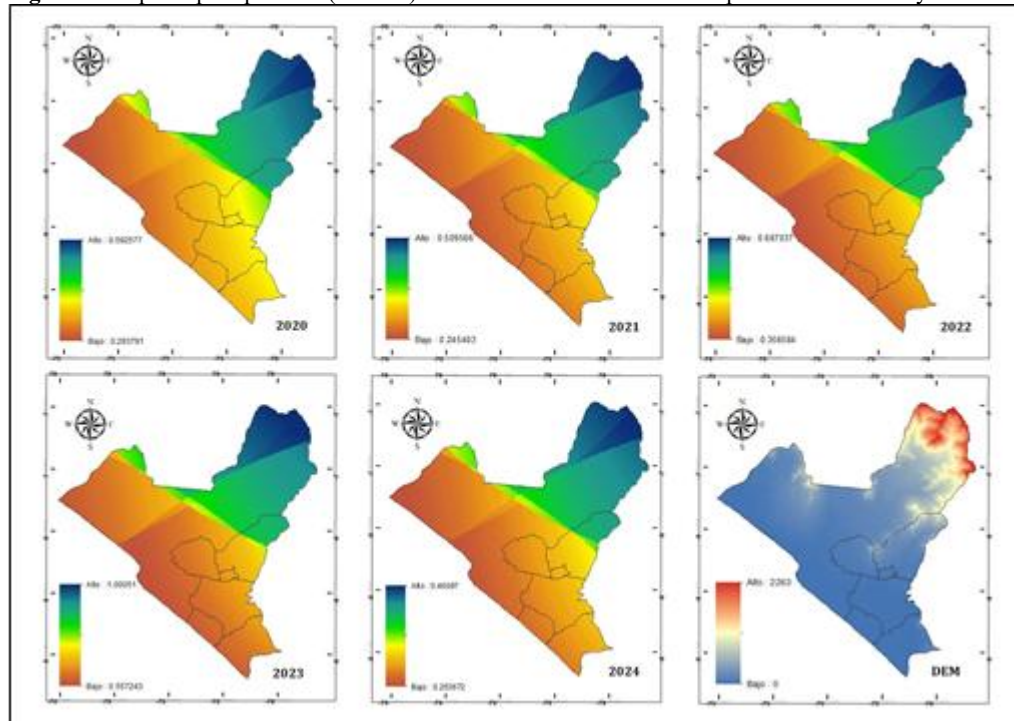
Figura 2. Interfaz de Power Nasa.



Este archivo se importó al software Excel 2024 utilizando la opción "Desde texto/CSV". Hecho esto, se extrajeron manualmente los datos correspondientes a cada año en archivos de Excel individuales que, finalmente se guardaron en formato CSV para garantizar su compatibilidad con ArcGIS. Una vez aquí, estos archivos fueron convertidos a formato shapefile de tipo punto. Posteriormente, se añadió a ellos el polígono del área de estudio y se realizó una interpolación IDW (Inverse Distance Weighted), utilizando la columna de "precipitación promedio" como

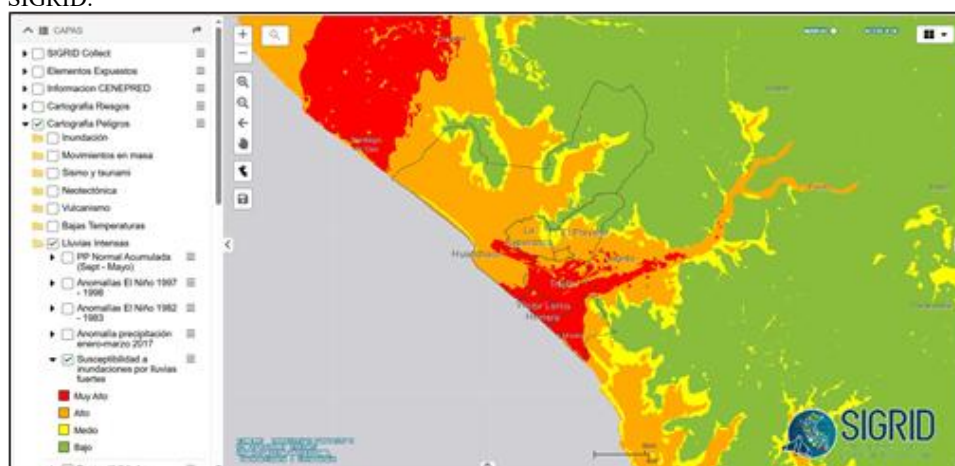
campo de interpolación. Cada resultado se guardó en formato TIFF (.tif), repitiéndose el proceso para cada año del periodo 2020-2024. Por su parte, la elevación del terreno se obtuvo procesando las cartas nacionales en formato ráster correspondientes a la zona de Trujillo descargadas de GEOGPS PERÚ. Estas cartas se unieron e intersectaron con el área de estudio para generar un ráster DEM (Modelo Digital de Elevación) en formato tif. Con todas estas capas se elaboró el mapa de precipitación y elevación presentado en la figura 3.

Figura 3. Mapa de precipitación (mm/día) en el área de estudio durante el periodo 2020-2024 y elevación terrestre (m)



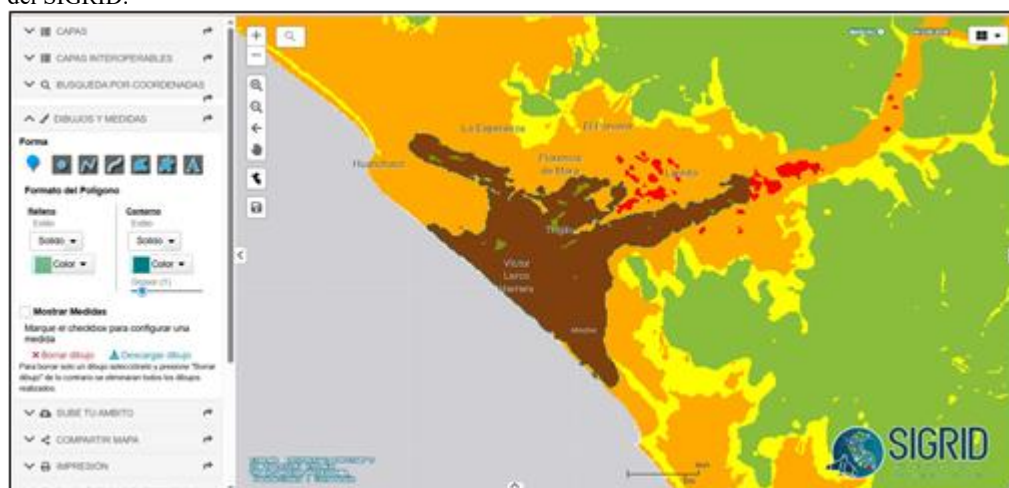
Comprendida la presencia del riesgo a inundaciones en la zona, se procedió a crear un mapa que refleja la susceptibilidad a inundaciones pluviales del área de estudio. Este mapa se elaboró directamente en el visor de mapas del SIGRID (Sistema de Información para la Gestión de Riesgos y Desastres), haciendo uso de la opción “sube tu ámbito de consulta” para ingresar el archivo del área de estudio. La capa de susceptibilidad se encontró en la ruta Cartografía Peligros > Lluvias intensas > Susceptibilidad a inundaciones por lluvias fuertes.

Figura 4. Capa de susceptibilidad a inundaciones por lluvias fuertes para el área de estudio en la interfaz del visor de mapas del SIGRID.



Una vez visualizado, se identificaron los distritos del área de estudio con mayor susceptibilidad, los cuales se consideraron para la posible implementación de techos verdes. Finalmente, el mapa se guardó y exportó. Acto seguido, se delinearono específicamente las áreas clasificadas con susceptibilidad muy alta; estas corresponden en su mayoría a los distritos de Trujillo, Víctor Larco Herrera y Moche. Este delineado se realizó con la opción de "Dibujos y medidas" y después se exportó en formato shapefile para su posterior carga en ArcGIS.

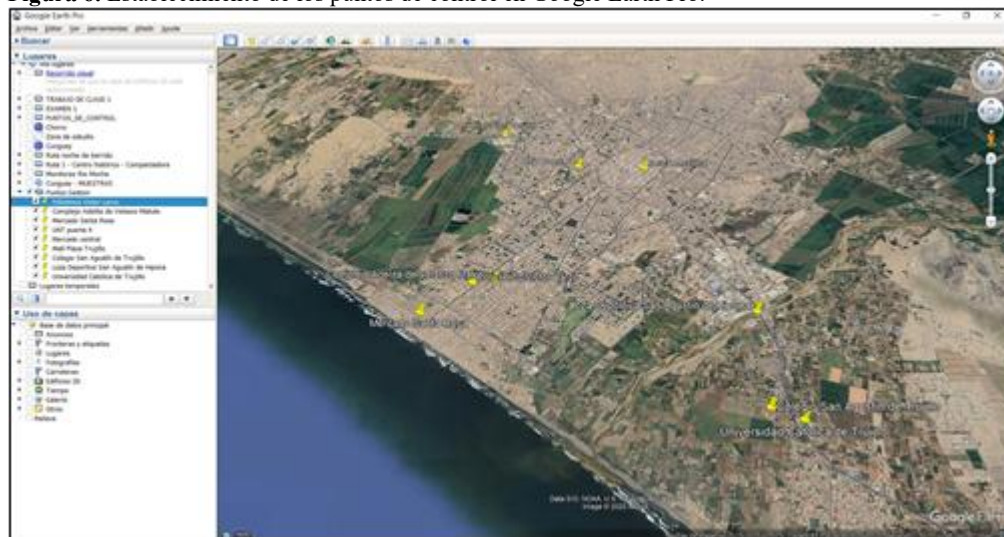
Figura 5. Delineado de las zonas de muy alta susceptibilidad a inundaciones por lluvias fuertes en la interfaz del visor de mapas del SIGRID.



En base a las zonas identificadas con alta susceptibilidad, se establecieron un total de 9 puntos de control. Estos puntos se ubicaron estratégicamente en calles y edificios que, según información de medios de comunicación y la experiencia personal del equipo, suelen ser afectados por precipitaciones intensas. Dichos puntos fueron ubicados en Google Earth Pro y exportados como archivo Kml; para cada uno de ellos se extrajeron los valores de elevación y precipitación correspondientes al periodo 2020 a 2024. Una vez completada esta fase, la capa de puntos de control contenía todos los valores necesarios en su tabla de atributos.

Por último, se copió y analizó la tabla de atributos de la capa puntos de control en Excel con el fin de identificar los tres puntos con mayor precipitación y menor elevación. Respectos a la precipitación, se calculó un promedio de todos los valores a fin de obtener, a groso modo, una idea de las zonas con mayor tendencia a la precipitación y que, por ende, podrían requerir ayuda para el 2025 incluso en ausencia de fenómenos meteorológicos o eventos anómalos.

Figura 6. Establecimiento de los puntos de control en Google Earth Pro.



Con los puntos previamente identificados, se procedió con el diseño del prototipo de techo verde. Se construyeron dos prototipos en total. Cada uno de ellos contó con dos capas de lona o plástico impermeable, una capa de manta geotextil antiaíces, una capa de manta de drenaje, y una capa de 7 cm de sustrato. La capa superior consistió en flora nativa, rodeada de grava en los bordes. Las especies nativas utilizadas fueron *Aptenia cordifolia* y *Alternanthera amarilla*, las cuales fueron recolectadas en la Universidad Nacional de Trujillo y trasplantadas con su sustrato original. Estas capas fueron dispuestas dentro de contenedores de madera (jabas de frutas), a los cuales se les practicó un orificio para permitir el paso del agua filtrada, simulando la conexión al sistema de alcantarillado doméstico.

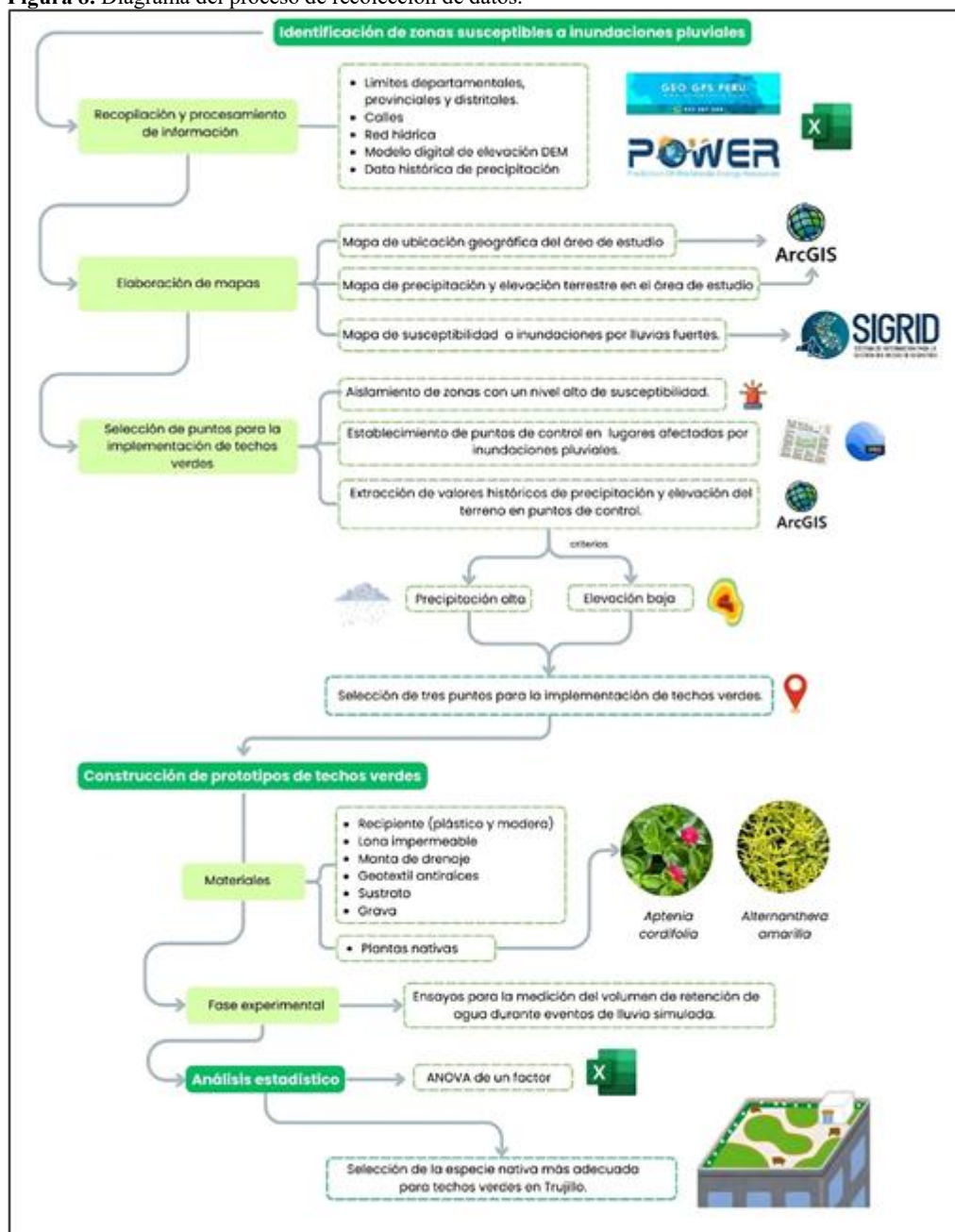
Figura 7. Prototipos de techo verde. (a) *Aptenia cordifolia* (b) *Alternanthera amarilla*



El agua que escurría por dicho orificio fue recolectada en un recipiente de plástico. En cada prototipo se evaluó el volumen de escorrentía durante eventos de lluvia simulados, mediante tres ensayos, con el fin de determinar el volumen de agua retenida, siendo el volumen inicial añadido de cuatro litros. Estas evaluaciones se llevaron a cabo los días 10, 11 y 14 de julio.

Por último, los datos se analizaron estadísticamente mediante un análisis ANOVA de un factor, elaborado en Excel 2024, para determinar la especie nativa más adecuada para la implementación de techos verdes en los puntos de mayor susceptibilidad a inundaciones pluviales encontrados anteriormente.

Figura 8. Diagrama del proceso de recolección de datos.



2.6. Análisis de datos

El análisis estadístico se realizó mediante un análisis de varianza de un factor (ANOVA de una vía) utilizando el software Excel 2024. Esta prueba permitió comparar la eficacia en la retención de agua entre las dos especies vegetales utilizadas en los prototipos de techo verde (*Aptenia cordifolia* y *Alternanthera amarilla*), determinando si existían diferencias estadísticamente significativas en sus rendimientos.

El ANOVA evalúa la hipótesis nula (H_0) de que no hay diferencias entre los promedios de los grupos comparados, frente a la hipótesis alternativa (H_1), que plantea que al menos un grupo difiere significativamente.

2.7. Aspectos éticos

Este estudio se realizó conforme a lo dispuesto en la Resolución N° 0247-2016/UNT, que establece los lineamientos éticos de la Universidad Nacional de Trujillo (Universidad Nacional de Trujillo, 2016), garantizando el respeto a los derechos humanos, el bienestar animal y el cuidado del medio ambiente. En concordancia con ello, se aseguraron la integridad científica, el respeto por los derechos de autor y la aplicación de medidas éticas como la anonimización

de datos geoespaciales y el uso exclusivo de especies nativas no invasoras. Asimismo, no se utilizaron fertilizantes ni pesticidas sintéticos, evitando la contaminación de cuerpos de agua. Los materiales sobrantes fueron reciclados o dispuestos adecuadamente. De este modo, la investigación promueve una práctica ética y ambientalmente responsable.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se observa que distritos como Trujillo, Víctor Larco Herrera y Moche, concentran zonas con alta y muy alta susceptibilidad (colores rojo y naranja). Estas áreas coinciden en gran parte con sectores de baja elevación y mayor exposición a eventos de precipitación intensa.

De acuerdo con Chowdhuri, Pal y Chakraborty (2020), la acumulación y análisis de datos como cobertura de tierra, precipitación, índice de vegetación de diferencias normalizadas (NDVI), elevación e índice de humedad topográfica (TWI) permitieron identificar zonas susceptibles a inundaciones. A partir de 264 puntos históricos de inundación, los autores realizaron una modelación predictiva, logrando una precisión del 87,9 % con el modelo EBF. Estos resultados demuestran que los datos históricos de elevación y precipitación son particularmente relevantes para la creación de mapas de susceptibilidad, ya que permiten anticipar las zonas que podrían verse afectadas con mayor intensidad.

Figura 9. Mapa de susceptibilidad a inundaciones por lluvias fuertes en el área de estudio.

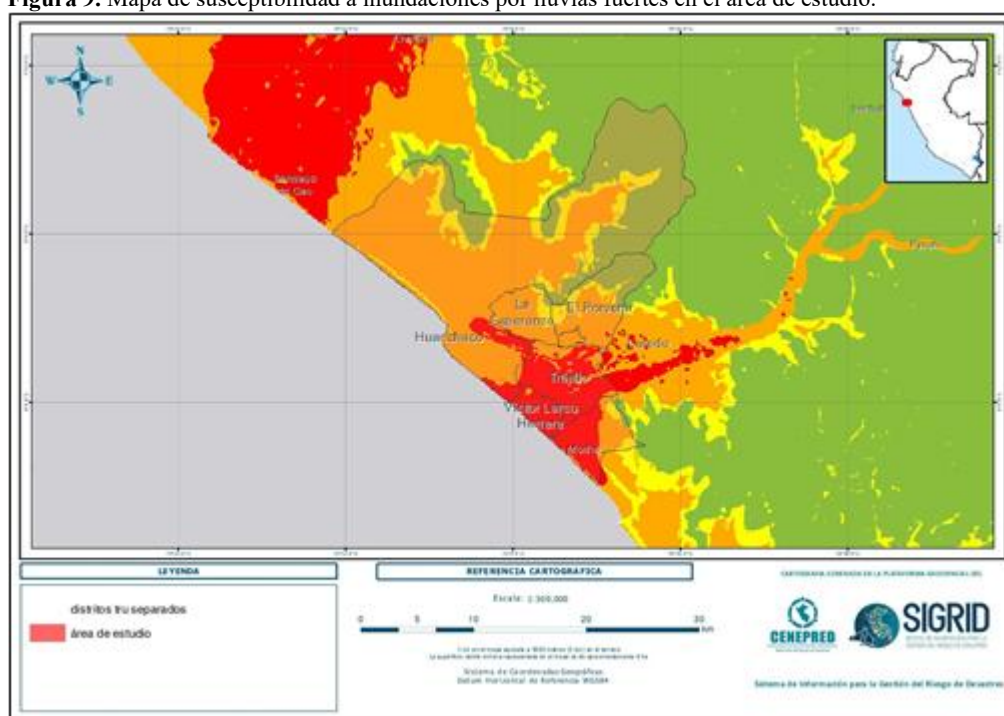


Tabla 1. Puntos de control seleccionados para la implementación de techos verdes

Punto	Referencia	Distrito	Precipitación (mm/día)	Elevación (m)
9	Universidad Católica de Trujillo	Moche	0,39660	4
2	Complejo Adelita de Velasco Matute	Víctor Larco Herrera	0,38379	5
3	Mercado Santa Rosa	Víctor Larco Herrera	0,37712	0

Nota. Se tomaron en cuenta los puntos con mayor precipitación con relación a la elevación que presentaba.

La Universidad Católica de Trujillo presentó el valor más alto de precipitación (0,39660 mm/día), con una elevación de solo 4 metros sobre el nivel del mar. Este patrón se repite en los otros puntos: altas precipitaciones en zonas de baja elevación, lo cual sugiere una mayor posibilidad de acumulación superficial y riesgo de escorrentía urbana.

Este criterio se basa en estudios como el de Breinl et al. (2021), quienes demostraron que en cuencas húmedas de Austria las lluvias extremas y los caudales de los ríos presentan comportamientos similares, especialmente cuando la elevación es baja y el suelo se encuentra saturado. En su análisis de 428 pluviómetros y 314 estaciones de caudal, encontraron que un aumento del 1 % en la intensidad de la lluvia puede generar un aumento proporcional en la descarga fluvial, lo que se refleja en elasticidades cercanas a uno. Esto indica que, en zonas con características similares, como las observadas en Moche y Víctor Larco, pequeños incrementos en la lluvia pueden traducirse rápidamente en eventos de inundación.

Además, Li et al. (2025) reforzaron esta idea en un contexto urbano, al demostrar que la combinación de lluvia intensa con niveles altos en los ríos aumenta las áreas inundadas hasta en un 12,80 %. Aunque en este caso no se modelaron niveles de río, se reconoce que la baja elevación de los puntos seleccionados podría facilitar la acumulación de agua, especialmente si se considera la infraestructura de drenaje limitada en zonas urbanas costeras.

Por tanto, la selección de estos puntos responde a la evidencia de que la interacción entre precipitación y topografía influye directamente en la acumulación y escurrimiento de agua.

Tabla 2. Resultados de los ensayos de lluvia simulada en prototipos.

Ensayo	Aptenia cordifolia			Alternanthera amarilla		
	Volumen de agua filtrada (L)	Volumen de agua retenida (L)	Eficacia de retención (%)	Volumen de agua filtrada (L)	Volumen de agua retenida (L)	Eficacia de retención (%)
1	0,25	3,75	93,75	0,91	3,09	77,25
2	3,03	0,97	24,25	2,90	1,10	27,50
3	2,96	1,04	26,00	2,67	1,33	33,25

Nota. El volumen de agua retenida es la diferencia obtenida entre el volumen inicial (4 L) y el volumen filtrado de cada ensayo.

En el Ensayo 1, *Aptenia cordifolia* logró una retención del 93,75 %, superando ampliamente a *Alternanthera amarilla* con 77,25 %. Sin embargo, en los ensayos 2 y 3, ambas especies mostraron una notable disminución en su capacidad de retención, con valores promedio de 25,13 % para *Aptenia* y 30,38 % para *Alternanthera*, lo cual indica una variabilidad en la eficacia de retención posiblemente relacionada con la condición previa del sustrato, la intensidad de simulación y la estructura radicular.

Estos resultados son consistentes con lo reportado por Flores Asin (2019), quien destaca que *Aptenia cordifolia* presentó una cobertura vegetal superior al 87,9 % en condiciones de máxima expresión vegetativa, lo cual podría favorecer su capacidad de interceptación inicial del agua. Sin embargo, también advierte que condiciones como la radiación intensa, el confinamiento de raíces y la baja humedad del sustrato pueden reducir temporalmente su eficacia.

Asimismo, estudios como el de Contreras & Villegas (2019), realizados en Bogotá, han demostrado que la retención hídrica en techos verdes no solo depende de la vegetación, sino también del tipo de sustrato utilizado, y que plantas como *Sedum* mostraron buena resistencia frente a lluvias frecuentes. En ese mismo estudio, se destaca la importancia de seleccionar materiales adecuados para mejorar la calidad del agua filtrada y la eficiencia general del sistema.

Tabla 3. Análisis de varianza (ANOVA) de un factor

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	0,0096	1	0,0096	0,0052	0,9460	7,7086
Dentro de los grupos	7,3960	4	1,8490			
Total	7,4056	5				

Nota. El análisis de varianza fue elaborado automáticamente con la herramienta de “Análisis de datos” del software de Excel 2024.

Se planteó la hipótesis nula (H_0) de que no hay diferencias significativas entre la retención de agua de las especies *Aptenia cordifolia* y *Alternanthera amarilla*, frente a la hipótesis alternativa (H_a) que plantea que al menos hay una

especie significativamente diferente. Para comprobar esto, se empleó un análisis de varianza (ANOVA), siguiendo lo señalado por Pace (2022) , quien explica que este método compara múltiples medidas simultáneamente para determinar si existen diferencias significativas entre grupos. Además, Pace (2022) menciona que un valor alto de F implica el rechazo de la hipótesis nula.

En este estudio, la F calculada fue de 0,0052 y la F crítica fue de 7,7086, por lo que no se rechaza la hipótesis nula. Asimismo, el valor p fue 0,9460, mayor que el umbral de 0,05, indicando que no existe evidencia estadística significativa para afirmar que la retención de agua difiere entre ambas especies.

No obstante, esta falta de diferencias podría estar relacionada con el régimen de riego aplicado durante los ensayos. Se suministró un volumen de 0,012 m³ de agua durante 3 días y el área de cada celda fue de 0,15 m², lo que equivale a una simulación de 80 mm de lluvia, posiblemente causando una sobresaturación en las plantas.

4. CONCLUSIONES

El análisis geoespacial mediante SIG permitió identificar con precisión las áreas más susceptibles a inundaciones pluviales en la provincia de Trujillo, destacando a los distritos de Trujillo, Víctor Larco Herrera y Moche como zonas de muy alta susceptibilidad. Los puntos críticos seleccionados (Universidad Católica de Trujillo, Complejo Adelita de Velasco Matute y Mercado Santa Rosa) presentaron las condiciones más desfavorables con precipitaciones entre 0,377-0,397 mm/día y elevaciones menores a 5 metros.

Los prototipos de techos verdes demostraron capacidad variable de retención hídrica, con la *Aptenia cordifolia* alcanzando una eficacia máxima del 93,75% en condiciones óptimas y la *Alternanthera amarilla* un 77,25%. Sin embargo, la saturación del sustrato en ensayos posteriores evidenció la importancia del diseño del sistema de drenaje y la gestión del riego para mantener la efectividad a largo plazo.

El análisis ANOVA ($F = 0,0052$, $p = 0,9460$) reveló que no existen diferencias estadísticamente significativas entre ambas especies nativas en términos de retención de agua. Esta homogeneidad sugiere que ambas plantas pueden ser utilizadas indistintamente según criterios de adaptabilidad local, disponibilidad y costos de mantenimiento.

5. AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Dios por bendecirnos con sabiduría y fortaleza durante este proceso de investigación. Expresamos nuestra gratitud a la Universidad Nacional de Trujillo por proporcionar el entorno académico y los recursos necesarios para realizar este trabajo. Reconocemos la valiosa guía del Dr. Haniel Solís Muñoz y su orientación durante el desarrollo de esta investigación. Finalmente, agradecemos a todos los miembros del equipo por su colaboración y compromiso, elementos clave para la elaboración de este artículo.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Azizi, K., Diko, S. K., Saija, L., Ghadir Zamani, M., & Meier, C. I. (2022). Integrated community-based approaches to urban pluvial flooding research, trends and future directions: A review. *Urban Climate*, 44, 101237. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2022.101237>
- Breinl, K., Lun, D., Müller-Thomy, H. y Blöschl, G. (2021). Comprensión de la relación entre la precipitación y la probabilidad de inundación mediante el análisis combinado de intensidad-duración-frecuencia. *Journal of Hydrology*, 602, 126759. <https://doi.org/10.1016/J.JHYDROL.2021.126759>
- Chowdhuri, I., Pal, S. y Chakraborty, R. (2020). Mapeo de la susceptibilidad a inundaciones mediante la función de creencia evidencial de conjunto y el modelo de regresión logística binomial en la cuenca hidrográfica del este de la India. *Avances en la Investigación Espacial*, 65, 1466-1489. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2019.12.003>
- Contreras-Bejarano, O., & Villegas-González, P. A. (2019). Techos verdes para la gestión integral del agua: caso de estudio Chapinero, Colombia. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 10(5), 282-318. <https://www.scielo.org.mx/pdf/tca/v10n5/2007-2422-tca-10-05-282.pdf>
- Flores Asin, J. E. (2019). Tecnologías verdes en zonas áridas. Diseño y evaluación energético-ambiental de sistemas de vegetación de aplicación en cubiertas edilicias (Tesis doctoral). Universidad Nacional de Salta, Salta, Argentina. <https://core.ac.uk/download/pdf/224998138.pdf>
- French, A., Mechler, R., Arestegui, M., MacClune, K., & Cisneros, A. (2020). Root causes of recurrent catastrophe: The political ecology of El Niño-related disasters in Peru. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 47, 101539–101539. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2020.101539>
- Gobierno Regional de La Libertad. (2018). *Resolución ejecutiva regional N° 230-2018-GRLL-GOB*. https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/972289/Resolucion_N%C2%BA_230-2018-G_RLL-GOB20200709-22286-ogmbfp.pdf
- Grupo INCLAM. (2020). *Trujillo, una región azotada por las inundaciones*. IAgua. <https://www.iagua.es/noticias/grupo-inclam/trujillo-region-azotada-inundacionesf>
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., Baptista Lucio, M. P., & María del Pilar. (2014). *Metodología de la investigación* (6ª ed.). México: McGraw Hill Interamericana Editores S.A. de C.V. <https://www.esup.edu.pe/wp-content/uploads/2020/12/2.%20Hernandez.%20Fernandez%20y%20Baptista-metodolog%C3%ADa%20Investigacion%20Cientifica%206ta%20ed.pdf>
- INDECI. (2025). *Reporte complementario N° 4398 - 2/4/2025 / COEN - INDECI / 23:10 horas (Reporte N° 6): Lluvias intensas en la provincia de Trujillo - La Libertad*. INDECI. <https://portal.indeci.gob.pe/wp-content/uploads/2025/03/REPORTE-COMPLEMENTARIO-N.%C2%BA-4398-2ABR2025-LLUVIAS-INTENSAS-EN-LA-PROVINCIA-DE-TRUJILLO-L A-LIBERTAD-6.pdf>
- Jung, M., Gomes, S. L., & Remme, R. P. (2025). Strategic green roofs placement in Toronto to maximize benefits while incorporating citizen preferences. *Urban Forestry & Urban Greening*, 128798–128798. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2025.128798>
- Li, W., Wang, C., Mo, J., Hou, S., Dang, X., Shi, H. y Gong, Y. (2025). Evaluación del riesgo de inundación compuesto por precipitaciones extremas y crecidas del río. *Agua*. <https://doi.org/10.3390/w17060841>
- Lombardi Perú. (2023). *Drenaje Pluvial Urbano Ciudad Trujillo*. <https://lombardi.group.pe/esp/projects/drenaje-pluvial-urbano-ciudad-trujillo>
- Lönnqvist, J., Broekhuizen, I., Viklander, M., & Blecken, G. (2025). Green roof runoff reduction of 84 rain events: Comparing Sedum, life strategy-based vegetation, unvegetated and conventional roofs. *Journal of Hydrology*, 646, 132325. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2024.132325>
- Pace, L. (2022). One-Way Analysis of Variance. *Statistics in Plain English*. https://doi.org/10.1007/978-1-4302-4555-1_10

- SEDALIB. (2021). *Plan de emergencia y mitigación de desastres Sedalib S.A. 2021* (Oficina de gestión de riesgos de desastres y cooperación técnica). <https://sedalib.com.pe/sistemacms/app-pdi/uploads/090e05cd63feec0abc358e4246102f66.pdf>
- Universidad Nacional de Trujillo. (2016). Resolución de consejo universitario N° 0247-2016/UNT. Trujillo, Perú. http://vin.unitru.edu.pe/images/etica/rcu_0247_codigo_de_etica.pdf
- Van der Borght, R., & Pallares-Barbera, M. (2024). Greening to shield: The impacts of extreme rainfall on economic activity in Latin American cities. *Global Environmental Change*, 87, 102857. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2024.102857>