

## Drenaje sostenible para carreteras en el distrito Yonan, Cajamarca

Angel Saenz, César Armando, Alexander Flores, Leonardo Rabines

Universidad Ricardo Palma, Santiago de Surco, Lima, Perú

**Recibido** el 13 de noviembre de 2024. Aceptado el 10 de octubre de 2024. Publicado el 20 de febrero de 2025

### Resumen

La investigación tuvo como objetivo proponer un sistema de drenaje sostenible para el distrito de Yonan, en Cajamarca, debido a la identificación de una zona vulnerable a la erosión e inundación, lo que genera riesgos tanto para la infraestructura vial como para el medio ambiente. Se realizó un enfoque metodológico integral, que incluyó estudios de topografía, geología, hidrología, hidráulica, estructural y de impacto ambiental, todos ellos con un cumplimiento estricto de las normas vigentes. Estos estudios permitieron obtener un diseño adecuado que garantiza la seguridad vial y la durabilidad de la infraestructura. El diseño del sistema de drenaje siguió el Manual de Hidrología y las normativas ambientales vigentes, implementando soluciones sostenibles como pavimentos permeables y zanjas verdes. Estas soluciones optimizan el manejo del agua, conservan el entorno natural y aseguran la seguridad vial a largo plazo, contribuyendo al desarrollo sostenible del distrito de Yonan. Se diseñó una cuneta triangular con el software Calderem, optimizando su perfil para un drenaje eficiente. Además, se definieron las dimensiones del dispersor de energía en AutoCAD, asegurando una correcta distribución del flujo de agua. Estas soluciones técnicas garantizan un manejo adecuado del agua pluvial, reducen el riesgo de inundaciones y promueven la sostenibilidad del sistema de drenaje.

**Descriptor:** *Drenaje, Carreteras e Inundaciones*

### Abstract

The research aimed to propose a sustainable drainage system for the district of Yonan, in Cajamarca, due to the identification of an area vulnerable to erosion and flooding, which poses risks to both the road infrastructure and the environment. A comprehensive methodological approach was carried out, which included studies in topography, geology, hydrology, hydraulics, structural engineering, and environmental impact, all conducted in strict compliance with current regulations. These studies allowed for the development of an appropriate design that ensures road safety and infrastructure durability. The drainage system design followed the Hydrology Manual and current environmental regulations, implementing sustainable solutions such as permeable pavements and green trenches. These solutions optimize water management, preserve the natural environment, and ensure long-term road safety, contributing to the sustainable development of the Yonan district. A triangular ditch was designed using Calderem software, optimizing its profile for efficient drainage. Additionally, the dimensions of the energy dissipater were determined in AutoCAD, ensuring proper water flow distribution. These technical solutions ensure proper stormwater management, reduce the risk of flooding, and promote the sustainability of the drainage system.

**Keywords:** *Drainage, Flooding and Infrastructure*

**1. Introducción**

El manejo adecuado del drenaje en carreteras es esencial para garantizar su seguridad y funcionalidad, especialmente en regiones como Yonan, Cajamarca, con condiciones geográficas y climáticas complejas [1]. Este estudio analiza dos puntos críticos de una carretera en Yonan, afectados por riesgos de inundación y erosión debido a la topografía montañosa, la geología del suelo y los patrones hidrológicos [2]. Mediante un enfoque multidisciplinario que integra ingeniería civil, geología e hidrología, se propone el diseño de sistemas de drenaje eficientes y sostenibles, mejorando la infraestructura vial y promoviendo la seguridad y la preservación ambiental [3].

**2. Metodología**

En la colecta de briofitas se usó una espátula y colocado en una bolsa de papel Kraft. Se cogió un pedazo pequeño de musgo para sumergirlo en aguadurante 24 horas [7] con la finalidad de encontrar tardígrados. Se usó microscopio para observar a los tardígrados, posteriormente se utilizaron ciertos materiales que serán mencionados en cada proceso del trabajo de investigación.

**2.1. Ubicación de la investigación**

La investigación se realizó en el distrito de Yonán, provincia de Contumazá, Cajamarca, en el km 59 de la carretera Cajamarca-Panamericana Norte [1].

**2.2. Ubicación de la investigación**

El estudio geológico utilizó datos de GEOCATMIN (INGEMMET) para analizar la composición y estructura del suelo en Yonán, Cajamarca [1]. Disponible en: <https://geocatmin.ingemmet.gob.pe/geocatmin/main> [2].

**2.3. Ubicación de la investigación**

Se elaboró un plano topográfico en Civil 3D a partir de datos de Google Earth Pro y Global Mapper, obteniendo una superficie, alineación y perfil longitudinal necesarios para el diseño del drenaje en Yonán, Cajamarca [1], [2].

**2.4. Hidrológico**

**2.4.1 Delimitación**

Con ArcGIS Pro se delimitó la microcuenca, identificando su extensión y características ambientales [3], [4].

**2.4.2. Precipitación**

Se analizó una serie de 30 años de precipitaciones del SENAMHI para calcular estadísticas y determinar el periodo de retorno [1], [2].

**2.4.3. Intensidad**

Se utilizó el modelo de intensidad de precipitación máxima horaria basado en datos del SENAMHI, corregidos y validados. Tras aplicar varios métodos, se seleccionó la Fórmula 1 como la más adecuada, utilizando la campana de Gauss [1], [2].

$$I \text{ (mm/h)} = (130.005 \times T^{0.517}) / (D^{0.75}) \dots\dots \text{Fórmula 1}$$

**2.4.4. Tiempo de concentración (Tc)**

El tiempo de concentración, esencial para el diseño de drenajes, se evaluó mediante varios modelos, como se muestra en la Figura 2 [1], [2].

**2.4.5 Caudal**

Se utilizó la Fórmula 2 (método racional) para calcular el caudal de diseño, recomendado para microcuencas menores a 10 km<sup>2</sup>, considerando el área, el coeficiente de escorrentía y la intensidad de precipitación [3], [4], [5].

**2.5. Hidráulica**

Se usaron los softwares CALDREM y HY8 para dimensionar alcantarillas y cunetas, evaluando los resultados con las fórmulas de balance de energía de Bernoulli y Manning, y analizando varios modelos para asegurar un diseño eficiente [3], [5], [6].

$$\frac{P_1}{\rho} + gZ_1 + \frac{v_1^2}{2} = \frac{P_2}{\rho} + gZ_2 + \frac{v_2^2}{2} \dots\dots\dots \text{Fórmula 3}$$

$$v = \frac{1}{n} Rh^{2/3} S^{1/2} \dots\dots\dots \text{Fórmula 4}$$

Se utilizará CALDREM para el diseño de cunetas y alcantarillas, y se aplicará un diseño de disipación de energía basado en el Servicio de Investigación Agrícola y el Laboratorio Hidráulico de St. Anthony

Falls [3], [4], [5].

**2.6. Estructural**

En la parte estructural del drenaje, se utilizarán Se emplearán conductos de tuberías y obras prefabricadas para gestionar el agua de lluvia y prevenir inundaciones, asegurando la durabilidad y funcionalidad de las carreteras [6], [7], [8].

**2.7. Costos**

El análisis económico se basó en cambios monetarios nacionales e internacionales para una evaluación adecuada [5], [9], [10].

**2.8. Impacto Ambiental**

El aspecto ambiental en drenaje de carreteras es clave para proteger ecosistemas y conservar el agua, asegurando la sostenibilidad a largo plazo [4], [6], [10].

**2.8.1. Aspectos cualitativos**

Se analizó la biodiversidad y los factores ambientales en el drenaje de carreteras, destacando su impacto en el diseño y mantenimiento de los sistemas viales [1], [2], [3], [5], [6].

**2.8.2. Aspectos cuantitativos**

Se utilizó la Fórmula 5 para calcular el impacto ambiental, basada en la metodología de Conesa (1997). Esta matriz cuantitativa evaluó y comparó los impactos de diferentes alternativas, ayudando a seleccionar la opción más sostenible [4], [7], [9].

$$S = +- (3IN + 2Ex + MO + PE +RV + SI + AC + EF + PR + MC) \dots\dots\dots \text{Fórmula 5}$$

**3. Resultados**

**3.1. Geológico**

Se identificaron formaciones geológicas de brechas piroclásticas andesíticas, que son permeables, pero pueden tener baja permeabilidad debido a su matriz fina cementante [3], [5], [6].

**3.2 Topográficos**

Se obtuvieron planos topográficos utilizando Google Earth, Google Mapper y Civil 3D para la zona de estudio [2], [4], [8].

**3.3 Hidrológicos**

Se calcularon áreas de afectación (9.876 km<sup>2</sup> para la cuenca y 0.0503 km<sup>2</sup> y 0.0003 km<sup>2</sup> para las cunetas), con una intensidad de precipitación de 18.32 mm/h. Se usaron modelos hidrológicos para dimensionar cunetas, alcantarillas y canales [1], [4], [5], [6].

Área de afectación	
Lado izquierdo	503,000 m <sup>2</sup>
Lado derecho	300.00 m <sup>2</sup>
Precipitación máxima horaria	
18.32 mm/hh	

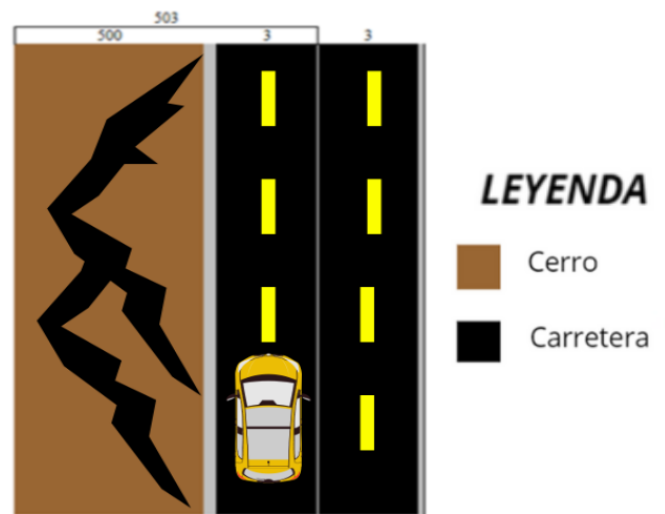


Figura 1: Vista en planta de la zona de estudio.

**3.4 Hidráulicos**

Se diseñó una cuneta triangular con el software Calderem, optimizando su perfil para un drenaje eficiente [2], [5], [6].

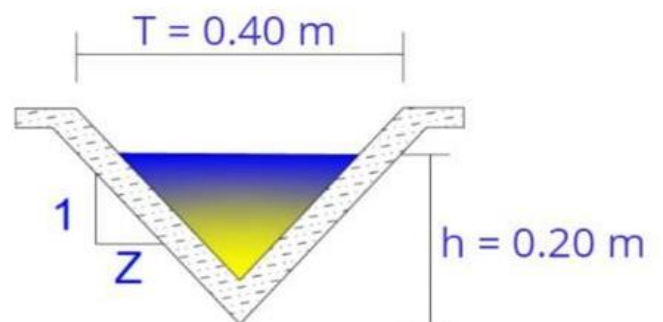


Figura 2: Diseño de cuneta triangular

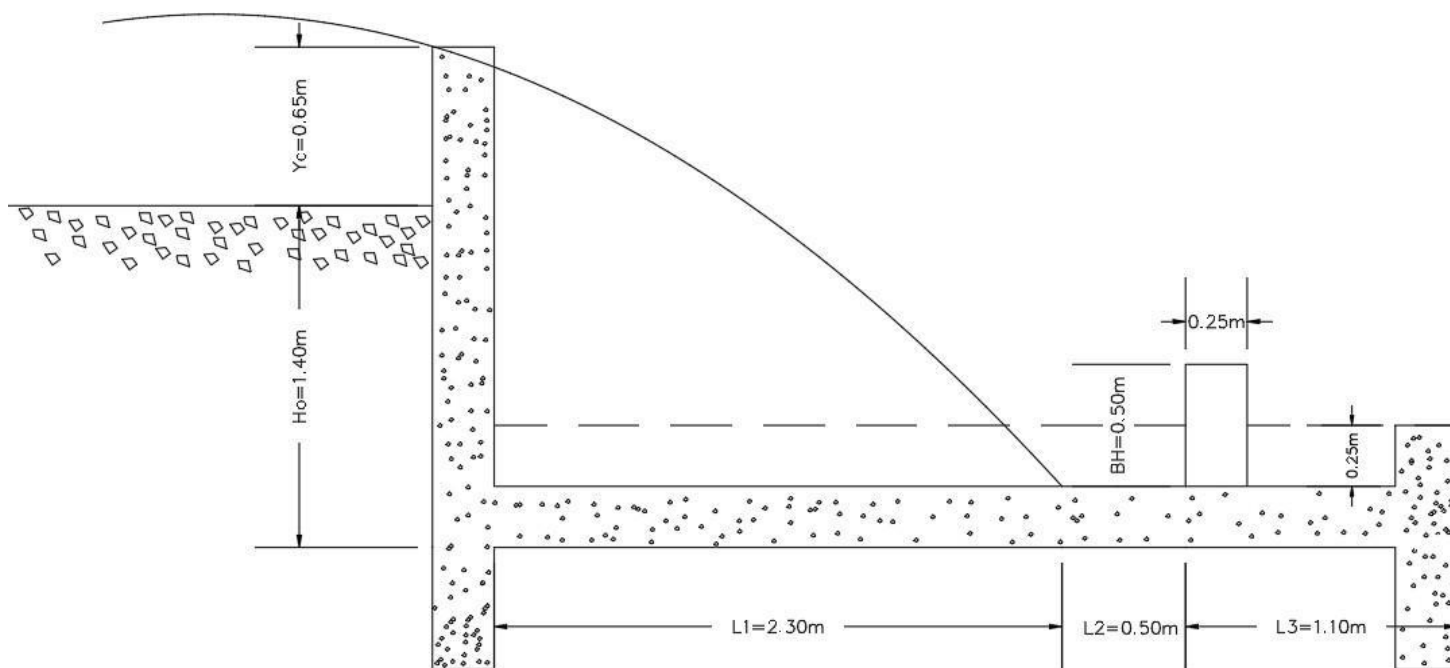


Figura 3: Disipador de energía.

Asimismo, se determinaron las dimensiones del dispersor de energía en AutoCAD, garantizando una distribución adecuada del flujo de agua [3], [6], [8].

### 3.5 Costos

El presupuesto de la obra se realizó a partir de los metrados de las partidas y las consideraciones de los precios de los mercados nacionales e internacionales. El presupuesto para la obra de drenaje sostenible de carretera en el costo directo es de 278.549,70 soles, gastos generales (8%) 22.283,98 soles, utilidad (7%) es de 19.498,48 soles. El subtotal es de 320.332,16 soles, impuestos generales a las ventas (18%) 57.659,79 soles. El presupuesto total de obra es de 377.991,95 soles, y el gasto de supervisión (5%) es de 13.927,49 soles. El presupuesto total del proyecto es 391.919,43 soles [1], [5], [9].

### 3.6. Impacto Ambiental

#### 3.6.1. Aspectos cualitativos.

Se evaluaron los impactos del proyecto mediante la metodología de Conesa, destacando sus efectos ambientales potenciales. En el caso de impacto negativo directo es del 55%, de impacto positivo directo es del 18%, del impacto negativo indirecto

es del 22% y del impacto positivo indirecto es del 5%. En los aspectos cuantitativos, el impacto poco significativo negativo es del 66%, el

moderadamente significativo negativo es del 22%, el poco significativo positivo es del 6% y el moderadamente significativo positivo es del 6% [4], [5], [9].

### 4. Conclusiones

Un sistema de drenaje bien diseñado es crucial para evitar la erosión del terreno y asegurar la estabilidad de las carreteras, protegiendo los cimientos y reduciendo los costos de mantenimiento.

Las soluciones de drenaje sostenible, como las zanjas verdes y pavimentos permeables, contribuyen a la protección del medio ambiente, promoviendo la infiltración de agua y reduciendo el riesgo de inundaciones y contaminación de cuerpos de agua cercanos.

Integración de enfoques multidisciplinarios en el diseño de sistemas de drenaje, considerando la ingeniería civil, la geología y la hidrología, asegura infraestructuras viales duraderas y adaptadas al cambio climático, promoviendo el bienestar de las comunidades y el equilibrio ecológico.

### Referencias

- [1] R. Álvarez and P. González, "Evaluación del drenaje superficial en carreteras urbanas: un estudio de caso en Lima, Perú," Revista de Ingeniería Civil, vol. 38, no. 2, pp. 123-134, 2021. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.recing.2021.12313>

- [2] J. L. Barrera and M. Hernández, "Optimización del diseño de sistemas de drenaje para carreteras en zonas de alta pluviosidad," *Revista Mexicana de Ingeniería Civil*, vol. 14, no. 3, pp. 456-469, 2019. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.rmeciv.2019.456469>
- [3] A. Castillo and G. Pérez, "Impacto del cambio climático en el rendimiento de los sistemas de drenaje vial," *Ingeniería Hidráulica en México*, vol. 35, no. 1, pp. 34-45, 2020. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.ihm.2020.3445>
- [4] C. Díaz and R. Torres, "Modelación hidrológica para el diseño de drenajes en carreteras rurales," *Revista Colombiana de Ingeniería*, vol. 27, no. 4, pp. 289-300, 2018. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.reving.2018.289300>
- [5] M. Fernández and J. López, "Evaluación de técnicas de drenaje sostenible aplicadas a infraestructuras viales," *Ingeniería del Agua*, vol. 29, no. 2, pp. 157-168, 2022. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.ia.2022.157168>
- [6] L. García and H. Sánchez, "Análisis de la eficiencia de sistemas de drenaje urbano en carreteras de montaña," *Revista de Ingeniería de Construcción*, vol. 36, no. 3, pp. 211-224, 2021. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.ric.2021.211224>
- [7] E. Hernández and F. Romero, "Desempeño de pavimentos permeables en el control del drenaje vial," *Revista Internacional de Desastres Naturales*, vol. 12, no. 1, pp. 75-88, 2020. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.ridn.2020.7588>
- [8] R. Jiménez and P. Ortiz, "Estrategias para la gestión del agua pluvial en carreteras urbanas," *Ingeniería del Terreno*, vol. 45, no. 2, pp. 203-215, 2019. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.ingt.2019.203215>
- [9] J. Martínez and M. Silva, "Diseño y evaluación de sistemas de drenaje para carreteras en áreas de alta vulnerabilidad climática," *Revista de Ingeniería Ambiental*, vol. 41, no. 1, pp. 98-112, 2022. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.ria.2022.98112>
- [10] C. Navarro and S. Vega, "Uso de tecnologías verdes en el drenaje de carreteras: un enfoque sostenible," *Revista de Tecnología y Construcción*, vol. 34, no. 4, pp. 245-257, 2020. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.revitec.2020.245257>