

## Factores que influyen en el deterioro de carreteras sin pavimentar: Una revisión

Factors influencing the deterioration of unpaved roads: A review

Geiner Rodrigo Guevara<sup>1\*</sup>  Edwar Cieza Sánchez<sup>1</sup> 

<sup>1</sup> Universidad Nacional Autónoma de Chota (UNACH), Escuela Profesional de Ingeniería Civil, Ciudad Universitaria Colpamatara, 06120, Chota, Cajamarca, Perú.

\*Autor de correspondencia: [email: 2013050152@unach.edu.pe]

### RESUMEN

Las carreteras sin pavimentar desempeñan un papel fundamental en la conectividad y el desarrollo de muchas regiones. Sin embargo, estas vías están sujetas a un rápido deterioro que afecta su funcionalidad y seguridad. Así, el objetivo fue presentar una revisión sobre los principales factores que contribuyen al deterioro de las carreteras sin pavimentar. Se analizaron diversos estudios de literatura relevante para identificar y discutir los factores clave que influyen en el deterioro de estas carreteras. Los hallazgos indican que el tráfico vehicular, las condiciones climáticas adversas, el inadecuado drenaje de agua, el mantenimiento deficiente, la calidad de los materiales utilizados, el diseño y construcción inapropiados son los principales factores que conducen al deterioro de las carreteras sin pavimentar.

*Palabras clave:* tráfico vehicular, condiciones climáticas, drenaje, mantenimiento, calidad de materiales, diseño y construcción.

### ABSTRACT

Unpaved roads play a fundamental role in the connectivity and development of many regions. However, these roads are subject to rapid deterioration that affects their functionality and safety. Thus, the objective was to present a review of the main factors contributing to the deterioration of unpaved roads. Several relevant literature studies were analyzed to identify and discuss the key factors that influence the deterioration of these roads. The findings indicate that vehicular traffic, adverse weather conditions, inadequate water drainage, poor maintenance, quality of materials used, inappropriate design and construction are the main factors leading to the deterioration of unpaved roads.

*Keywords:* vehicular traffic, climatic conditions, drainage, maintenance, material quality, design and construction.

### INTRODUCCIÓN

Las carreteras sin pavimentar, también conocidas como caminos de tierra o ripio,

desempeñan un papel fundamental en la conectividad y el desarrollo de muchas

regiones, especialmente en áreas rurales de difícil acceso. Estas vías proporcionan una importante infraestructura para el transporte de personas, bienes y servicios, siendo esenciales para el crecimiento económico y social de las comunidades (Coffin et al., 2021).

Sin embargo, las carreteras sin pavimentar están sujetas a un rápido deterioro, lo que afecta su funcionalidad, seguridad y la calidad de vida de los usuarios (Shtayat et al., 2020). El deterioro de estas carreteras puede generar problemas como la formación de baches, la acumulación de agua, la pérdida de material de la superficie y la degradación de la estructura subyacente. Estos problemas pueden obstaculizar el tránsito, aumentar los costos de mantenimiento y poner en riesgo la seguridad de los usuarios (da Silva et al., 2024).

Las carreteras sin pavimentar son vulnerables a una variedad de factores de deterioro que comprometen su funcionalidad y seguridad (Kuleno & Lera, 2020). Entre estos, las condiciones climáticas extremas, como lluvias intensas y variaciones térmicas, desempeñan un papel preponderante, al igual que la erosión del suelo y las cargas vehiculares que superan la capacidad soportada originalmente diseñada (Wang et al., 2022). Además, la falta de mantenimiento adecuado puede acelerar el proceso de deterioro (Mbiyana et al., 2023).

Para abordar eficazmente el problema del deterioro de las carreteras sin pavimentar, es fundamental comprender los factores clave que contribuyen a este fenómeno. El entendimiento profundo de los factores

que contribuyen a este deterioro permite la implementación de estrategias efectivas de gestión y mantenimiento (Yakubu et al., 2023).

En ese contexto, esta revisión tiene como objetivo presentar un estado del arte sobre los principales factores que influyen en el deterioro de las carreteras sin pavimentar, con el fin de proporcionar una base sólida para el desarrollo de estrategias de construcción, mantenimiento y rehabilitación más efectivas.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación se llevó a cabo mediante una revisión bibliográfica sistemática con el objetivo de analizar y sintetizar la evidencia existente sobre factores que influyen en el deterioro de carreteras sin pavimentar.

En primer lugar, se realizó una exhaustiva búsqueda en bases de datos académicas, tales como Google académico, Scopus y Web of Science, utilizando una combinación de palabras clave relevantes al tema de estudio. Se incluyeron solamente estudios publicados en los últimos cinco años para garantizar la actualidad de la información recopilada.

La selección de artículos se llevó a cabo siguiendo criterios de inclusión y exclusión predefinidos en la Tabla 1. Se consideraron elegibles aquellos estudios que abordaban directamente el tema de investigación, presentaban una metodología rigurosa y aportaban datos significativos. Se excluyeron aquellos estudios que no cumplían con los criterios de inclusión, así como aquellos que presentaban un nivel de evidencia insuficiente o eran duplicados.

**Tabla 1.** Criterios de inclusión y exclusión de estudios para la revisión.

Criterios de inclusión	Criterios de exclusión
Estudios que abordan factores de deterioro	Estudios sin relevancia directa al tema de estudio
Carreteras sin pavimentar	Estudios con un nivel de evidencia insuficiente
Metodología rigurosa	Estudios duplicados

Se revisaron 45 artículos científicos referentes al tema, de las cuales se seleccionaron 20 estudios de los últimos cinco años (2020-2024), categorizados como los resultados más relevantes de acuerdo con la gráfica de Funnel o gráfico del embudo.

Una vez seleccionados los estudios, se procedió a la extracción de datos relevantes utilizando una matriz de extracción diseñada específicamente para este estudio.

Se registraron variables tales como los objetivos de cada estudio, la metodología utilizada, los hallazgos principales y las conclusiones.

La síntesis de la información se realizó mediante un enfoque narrativo. Se identificaron los temas emergentes en la literatura revisada, se realizó una comparación y análisis crítico de los resultados de los diferentes estudios.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La revisión bibliográfica efectuada ha permitido determinar que los factores que inciden en el deterioro de las carreteras, en general, se alinean con los elementos presentados en la Tabla 2. Estos factores pueden abarcar desde el tránsito vehicular intenso hasta condiciones climáticas adversas, pasando por el diseño y la calidad de los materiales utilizados en la construcción de la vía.

**Tabla 2.** Factores que influyen en el deterioro de las carreteras no pavimentadas.

Factores	Número de investigaciones	Citas
Volumen de tráfico	5	(Kuleno & Lera, 2020),(Alvis et al., 2022), (Žuraulis et al., 2021), (Kanoungo et al., 2021), (Jacob et al., 2020)
Condiciones climáticas	6	(Shtayat et al., 2020),(Kuleno & Lera, 2020), (Le Vern et al., 2022), (Alvis et al., 2022), (Workman et al., 2023), (Ngezahayo et al., 2021)
Sistema de drenaje	5	(Kuleno & Lera, 2020),(Yakubu et al., 2023), (Alvis et al., 2022), (Otto et al., 2020), (Ntakiyimana et al., 2022)
Prácticas de mantenimiento	3	(Shtayat et al., 2020),(Mbiyana et al., 2023), (Khoza, 2020)

Factores	Número de investigaciones	Citas
Calidad del material de la superficie	4	(Kuleno & Lera, 2020),(Alvis et al., 2022), (Aghililotf et al., 2021), (Kamal & Bas, 2021)
Diseño y construcción inadecuados	4	(Shtayat et al., 2020),(Kuleno & Lera, 2020), (Alvis et al., 2022), (Bhogaraju & Korupalli, 2020)

### A. Tráfico vehicular

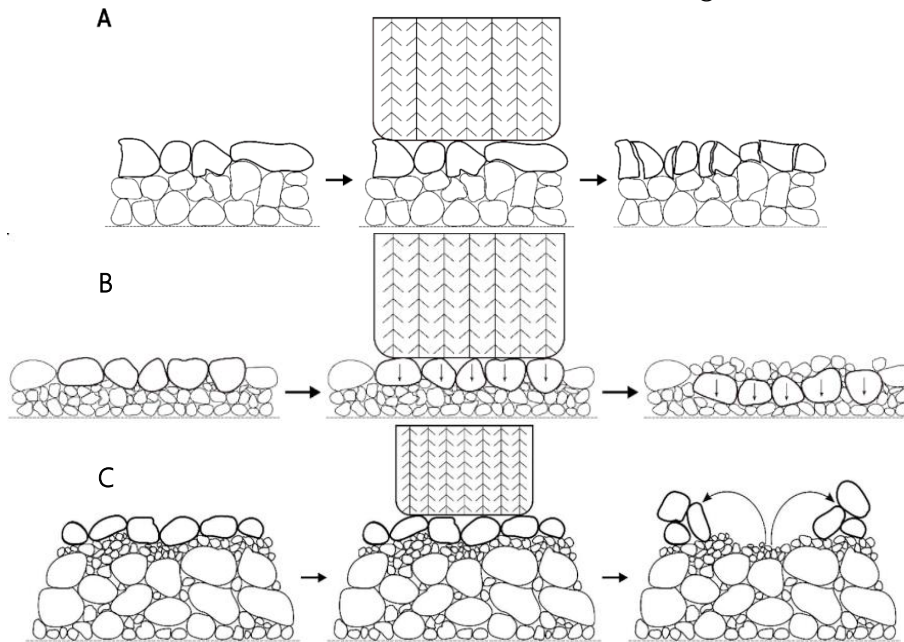
El tráfico vehicular es uno de los factores más importantes que contribuyen al deterioro de las carreteras sin pavimentar. El paso constante y el peso de los vehículos, especialmente de los vehículos pesados, pueden causar la deformación del suelo que conforma la superficie de la carretera (Le Vern et al., 2022). Esto puede dar lugar a la formación de baches, ondulaciones y otras irregularidades en la superficie, lo que a su vez afecta la comodidad y la seguridad de los usuarios (da Silva et al., 2024).

Diversos estudios han demostrado que el volumen y la composición del tráfico vehicular están estrechamente relacionados con el deterioro de las carreteras sin pavimentar (Tabla 3). Cuanto mayor sea el tráfico, especialmente de vehículos pesados, mayor será el impacto y la degradación de la superficie de la carretera (Alvis et al., 2022; Žuraulis et al., 2021). Un mayor tráfico genera más tensiones en la superficie, lo que provoca un desgaste prematuro.

**Tabla 3.** Condiciones del tráfico vehicular que causan deterioro en las carreteras no pavimentadas

Condiciones	Descripción	Citas
Alto volumen de tráfico	Mayores tasas de deterioro de las carreteras debido a mayores volúmenes y cargas de tráfico. Los mayores volúmenes de tráfico resultan en mayores tasas de pérdida de grava y daños a la superficie.	(Alvis et al., 2022), (Kanoungo et al., 2021)
Vehículos pesados	Vehículos sobrecargados contribuyen al deterioro de vías sin pavimentar	(Kuleno & Lera, 2020), (Alvis et al., 2022), (Jacob et al., 2020)
Velocidad del tráfico	Las velocidades más altas conducen a mayores tasas de deterioro de las carreteras	(Alvis et al., 2022)
Carga de tráfico	Las intensas cargas de tráfico aceleran el deterioro de las vías sin pavimentar	(Alvis et al., 2022), (Žuraulis et al., 2021)

El proceso de erosión inducido por el tráfico en carreteras sin pavimentar puede presentar diferentes esquemas de falla, como: (A) Esquema del proceso de trituración. En un agregado típico de superficie de carretera (izquierda), cuando los vehículos pasan sobre la carretera (centro), el sedimento más grande se descompone en sedimento más fino (derecha). (B) Esquema del proceso de bombeo. Los sedimentos más grandes sobre los más finos (izquierda) son empujados hacia abajo debido al peso de los vehículos (centro), lo que fuerza al sedimento más fino hacia arriba (derecha). (C) La superficie de la carretera desarrolla una capa de armadura de sedimentos más grandes (izquierda). Una vez que el tráfico perturba la carretera (centro), la capa de armadura se dispersa, exponiendo los sedimentos finos debajo (derecha). Imagen no a escala. Tal como, se detalla en la Figura 1.



**Figura 1.** Procesos de erosión inducidos por el tráfico en carreteras sin pavimentar  
Fuente: (Alvis et al., 2022).

### B. Condiciones climáticas

Las condiciones climáticas adversas, como las lluvias intensas, la humedad y las temperaturas extremas generan el deterioro de las carreteras sin pavimentar (Tabla 4). La erosión causada por las lluvias,

el congelamiento y descongelamiento del suelo pueden debilitar la estructura de la carretera y provocar desprendimientos, deformaciones, además de pérdida de material de la superficie (Alvis et al., 2022; Workman et al., 2023).

**Tabla 4.** Condiciones del clima que causan deterioro en las carreteras no pavimentadas

Condiciones	Descripción	Citas
Variaciones de temperatura	Los cambios extremos de temperatura, como las grandes fluctuaciones diarias o estacionales, pueden hacer que la superficie de la carretera sin pavimentar se expanda y se contraiga, provocando grietas.	(Shtayat et al., 2020)
Precipitación	Las fuertes lluvias y precipitaciones pueden hacer que el suelo absorba el exceso de humedad, lo que provoca hinchazón y contracción de la superficie de la carretera sin pavimentar, así como erosión y pérdida de material de la superficie.	(Kuleno & Lera, 2020), (Alvis et al., 2022), (Ngezahayo et al., 2021)
Ciclos de congelación y descongelación	Los ciclos repetidos de congelación y descongelación pueden desestabilizar la estructura de la carretera sin pavimentar, provocando baches, surcos y otras formas de deterioro.	(Workman et al., 2023)
Viento	Los fuertes vientos pueden contribuir a la pérdida de material de la superficie, como grava o polvo, de los caminos no pavimentados, acelerando el proceso de deterioro.	(Le Vern et al., 2022)

Ngezahayo et al. (2021) construyeron y calibraron un simulador de lluvia para investigar la erosionabilidad en caminos no pavimentados, demostrando que gotas de lluvia de 1 a 6 mm de diámetro, con intensidad de 30 a 68 mm/h, pueden desprender suelos en caminos sin

pavimentar. Por medio de los resultados de Ngezahayo et al. (2021) con su simulador de lluvia fue determinado que, el espesor del afirmado de carreteras sin pavimentar se puede reducir considerablemente cuando es afectado por los factores climáticos, datos que se presentan en la Tabla 5.

**Tabla 5.** Promedio de reducción del espesor del afirmado (cm) de las carreteras sin pavimentar cuando están sometidas a condiciones climáticas

Factores	Promedio de Espesor afirmado (cm)	Promedio de Espesor final (cm)
Condiciones climáticas	19.50	17.50
Ciclos de congelación y descongelación	20.00	18.00
Precipitación	19.20	17.20
Variaciones de temperatura	20.00	18.00
Viento	20.00	18.00

### C. Inadecuado drenaje de agua

La falta de un sistema de drenaje adecuado es otro factor que contribuye al deterioro de las carreteras sin pavimentar. La acumulación de agua en la superficie de la

carretera puede provocar la formación de charcos y la saturación del suelo, lo que debilita la estructura aumentando el riesgo de erosión (Figura 2).



**Figura 2.** Efecto del mal sistema de drenaje en las carreteras sin pavimentar

Nota: Imagen de un camino sin pavimentar lleno de baches con agua fluyendo en uno de los surcos en lugar de ir hacia la línea de la zanja, haciendo evidente el mal drenaje.

Fuente: (Alvis et al., 2022).

Un sistema de drenaje deficiente que no logra evacuar eficazmente el agua contribuye al deterioro prematuro de los caminos no pavimentados al provocar encharcamientos y erosión (Otto et al., 2020). La ausencia o el mal funcionamiento

de los sistemas de drenaje, como: cunetas, alcantarillas y desagües, pueden acelerar el deterioro de la carretera (Kuleno & Lera, 2020). Siendo así, existen diferentes condiciones de inadecuado drenaje, mismas que se presentan en la Tabla 6.

**Tabla 6.** Condiciones del inadecuado drenaje de agua que causan deterioro en las carreteras no pavimentadas

Condiciones	Descripción	Citas
Mal drenaje	El drenaje inadecuado provoca la acumulación de agua en las superficies de las carreteras.	(Kuleno & Lera, 2020), (Alvis et al., 2022)
Zanjas de drenaje inexistentes	La ausencia de zanjas de drenaje impide la eliminación eficaz del agua, lo que provoca el deterioro de las carreteras y las inundaciones.	(Otto et al., 2020)
Zanjas de drenaje insuficientes	La falta de construcción o mantenimiento de zanjas de drenaje provoca retención de agua en las carreteras, lo que contribuye a daños en la superficie y erosión.	(Otto et al., 2020)

Construcción inadecuada de alcantarillas	Las alcantarillas mal diseñadas o construidas pueden no eliminar eficazmente el agua de las carreteras, provocando erosión y deterioro.	(Yakubu et al., 2023)
Elevación insuficiente	Las secciones de carreteras bajas o propensas a inundaciones sin una elevación o drenaje adecuados pueden provocar acumulación de agua.	(Alvis et al., 2022), (Ntakiyimana et al., 2022)

#### D. Mantenimiento deficiente

La falta de mantenimiento regular y adecuado es un factor clave en el deterioro de las carreteras sin pavimentar (Tabla 7).

**Tabla 7.** Condiciones del mantenimiento deficiente que causan deterioro en las carreteras no pavimentadas

Condiciones	Descripción	Citas
Falta de mantenimiento de rutina	No realizar actividades regulares de mantenimiento, como nivelación y repavimentación de grava, conduce al deterioro acelerado de los caminos no pavimentados.	(Shtayat et al., 2020), (Mbiyana et al., 2023)
Reparaciones retrasadas	Posponer tareas necesarias de reparación y mantenimiento, como rellenar baches o reparar daños estructurales, provocando un mayor deterioro de las vías no pavimentadas.	(Khoza, 2020)
Repavimentación insuficiente de grava	No reponer las superficies de grava de manera oportuna, lo que genera mayor rugosidad, pérdida de multas y reducción de la calidad de la carretera.	(Khoza, 2020)

**Tabla 8.** Condiciones de la calidad de los materiales que causan deterioro en las carreteras no pavimentadas

Condiciones	Descripción	Citas
Mala calidad de la subrasante o afirmado	La subrasante o afirmado de baja calidad puede provocar una mayor aspereza, pérdida de finos y una reducción de la calidad de la carretera.	(Aghililotf et al., 2021), (Kamal & Bas, 2021)

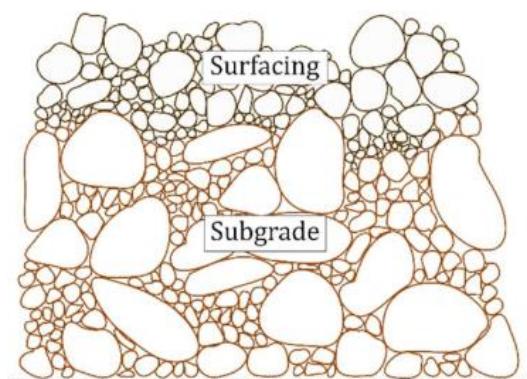
Condiciones	Descripción	Citas
Compactación inadecuada	Una compactación insuficiente de las superficies de grava puede provocar un drenaje deficiente, una mayor erosión y una menor durabilidad de la carretera.	(Kuleno & Lera, 2020), (Alvis et al., 2022)
Profundidad de afirmado inadecuado	Una profundidad de grava insuficiente puede provocar una mayor erosión, una menor estabilidad de la carretera y un deterioro acelerado.	(Kuleno & Lera, 2020), (Alvis et al., 2022)
Mala distribución del afirmado	Una mala distribución de la grava puede provocar una mayor erosión, una menor estabilidad de la carretera y un deterioro acelerado.	(Aghililoft et al., 2021)

La utilización de materiales de baja calidad o inadecuados para las condiciones específicas del terreno puede resultar en una mayor susceptibilidad al deterioro (Alvis et al., 2022).

Las características del material utilizado para la superficie de la carretera sin pavimentar, como la gradación y la plasticidad, afectan su resistencia al deterioro. Los materiales inadecuados aceleran la formación de baches y

corrugaciones (Kuleno & Lera, 2020; Aghililoft et al., 2021).

La selección inadecuada de materiales, como suelos de baja calidad o agregados inapropiados puede comprometer la integridad de la estructura de la carretera (Kamal & Bas, 2021). Así mismo, la falta de compactación de los materiales puede llevar a que estos presenten erosión u otros (Figura 3).



**Figura 3.** Efecto de la falta de compactación en los materiales en las carreteras sin pavimentar

Nota: Esquema de una sección transversal de una carretera donde la integridad de la subrasante se ha visto comprometida, provocando deformación de la superficie. Este ejemplo demuestra un caso en el que la subrasante fue compactada inadecuadamente (es decir, débil) cuando se construyó el camino.

Fuente: (Alvis et al., 2022).

### E. Diseño y construcción inapropiados

Un diseño y construcción inapropiados aceleran el deterioro de las carreteras sin pavimentar. La falta de una base sólida, una compactación adecuada del suelo y una geometría adecuada pueden comprometer la durabilidad de la carretera (Shtayat et al., 2020).

En ese sentido, números estudios han destacado que un diseño y construcción deficientes son factores que contribuyen al deterioro de las carreteras sin pavimentar (Tabla 9).

Colocar la Tabla 9

La utilización de técnicas y procedimientos inadecuados durante la construcción puede dar lugar a problemas estructurales que aceleran el deterioro de la carretera (Bhogaraju & Korupalli, 2020).

El alineamiento vertical y horizontal de la vía también influye en su deterioro. Las

secciones con pendientes y curvas pronunciadas tienden a presentar un mayor desgaste superficial (Alvis et al., 2022). Un alineamiento deficiente puede resultar en curvas demasiado cerradas o en tramos con visibilidad reducida, aumentando el riesgo de accidentes y el desgaste irregular de la superficie debido al tráfico constante en áreas específicas. Por otro lado, una pendiente incorrectamente diseñada puede provocar una acumulación de agua en la superficie de la carretera durante eventos de lluvia, llevando a la erosión, formación de surcos y charcos que debilitan la estructura del camino. Además, pendientes excesivas facilitan el escurrimiento rápido del agua, lo cual puede no solo erosionar el material de la carretera, sino también reducir la eficacia del drenaje diseñado.

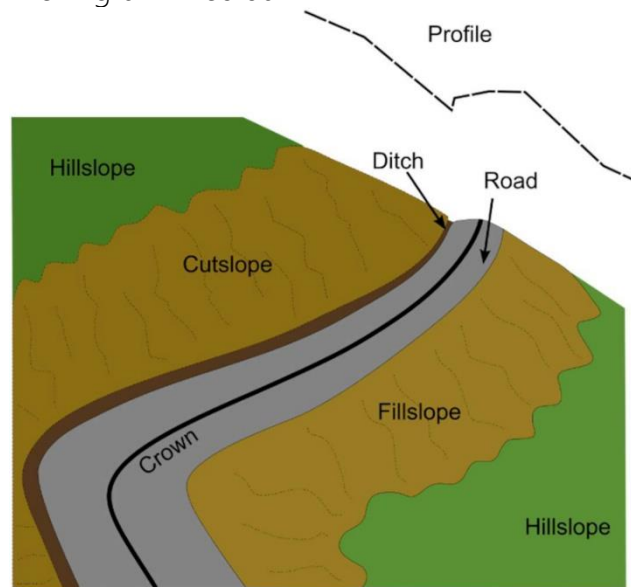
**Tabla 9.** Condiciones del diseño y construcción ineficientes que causan deterioro en las carreteras no pavimentadas

Condiciones	Descripción	Citas
Mala alineación de la carretera	La alineación de las carreteras que no coincide con las condiciones predominantes puede provocar una mayor erosión y deterioro.	(Alvis et al., 2022), (Bhogaraju & Korupalli, 2020)
Ancho de la carretera insuficiente	Las carreteras demasiado estrechas pueden provocar profundos surcos, normas de seguridad deficientes y grandes pérdidas de grava.	(Alvis et al., 2022)

Condiciones	Descripción	Citas
Ancho excesivo del camino	Las carreteras que son demasiado anchas pueden provocar que se requiera un exceso innecesario de grava en la superficie y un mantenimiento de la niveladora, lo que resulta en una rápida pérdida de forma.	(Alvis et al., 2022)
Geometría de la carretera inadecuada	Una mala geometría de la carretera puede provocar una mayor erosión, una menor estabilidad de la carretera y un deterioro acelerado.	(Alvis et al., 2022)
Construcción inadecuada	Las malas prácticas de construcción pueden provocar una mayor erosión, una menor estabilidad de las carreteras y un deterioro acelerado.	(Shtayat et al., 2020), (Kuleno & Lera, 2020)

Las características topográficas, como la longitud de la carretera y la pendiente, se encuentran entre las influencias más citadas sobre la erosión de la superficie de la carretera y la afectan en gran medida

generando su deterioro, esto debido al esquema típico que se forma cuando el diseño del alineamiento no es adecuado (Figura 4).



**Figura 4.** Esquema de una carretera no pavimentada típica y su entorno, donde el diseño del alineamiento causa su deterioro

Fuente: (Alvis et al., 2022).

Por estas razones, es esencial que las carreteras no pavimentadas sean

diseñadas, construidas y mantenidas con un enfoque holístico que contemple un

alineamiento con pendientes óptimos para garantizar la funcionalidad de la infraestructura vial en el largo plazo.

## CONCLUSIONES

El tráfico vehicular, las condiciones climáticas adversas, el inadecuado drenaje de agua, el mantenimiento deficiente, la calidad de los materiales utilizados, el diseño y construcción inapropiados son los principales factores que conducen al deterioro de estas carreteras.

Es necesario implementar estrategias de diseño, mejorar los sistemas de drenaje, utilizar materiales de calidad, aplicar técnicas de construcción y mantenimiento apropiados. Además, se recomienda establecer programas de mantenimiento preventivo y regular, así como monitorear constantemente el estado de las carreteras.

## Financiamiento

Los autores no recibieron financiamiento para ejecutar el trabajo de investigación.

## Conflicto de intereses

No existe ningún tipo de interés con los contenidos del artículo científico.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aghililof, M., Palassi, M., & Ramezani pour, A. M. (2021). Mechanical and durability assessment of unconfined recycled concrete aggregates and natural aggregates used in road constructions. *International Journal of Pavement Engineering*, 22(12),

1518-1530.

<https://doi.org/10.1080/10298436.2019.1701190>

Alvis, A. D., Luce, C. H., & Istanbuluoglu, E. (2022). How does traffic affect erosion of unpaved forest roads?. *Environmental Reviews*, 31(1), 182-194.

<https://doi.org/10.1139/er-2022-0032>

Bhogaraju, S. D., & Korupalli, V. R. K. (2020, January). Design of smart roads-a vision on indian smart infrastructure development. In *2020 International conference on communication systems & networks (COMSNETS)* (pp. 773-778). IEEE. 10.1109/COMSNETS48256.2020.9027404.

Coffin, A. W., Ouren, D. S., Bettez, N. D., Borda-de-Água, L., Daniels, A. E., Grilo, C., ... & Rauschert, E. (2021). The ecology of rural roads: Effects, management, and research. *Biological, Geological and Environmental*, 251(1), 1-38.

da Silva, W. O. P., Farias, B. A., Monteiro, I. B., Pegorini, V., Casanova, D., & Bisconsini, D. R. (2024). Development of Global Quality Index of Unpaved Roads. *Journal of Construction Engineering and Management*, 150(1), 04023147. <https://doi.org/10.1061/JCEMD4.COENG-1408>

Jacob, O. O., Chukwudi, I. C., Thaddeus, E. O., & Agwu, E. E. (2020). Estimation of the impact of the overloaded truck on the service life of pavement structures in Nigeria. *Int. J. Traffic*

- Transp. Eng*, 9, 41-47. DOI: 10.5923/j.jtte.20200902.03
- Kamal, I., & Bas, Y. (2021). Materials and technologies in road pavements-an overview. *Materials Today: Proceedings*, 42, 2660-2667. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.12.643>
- Kanoungo, A., Sharma, U., Goyal, A., Kanoungo, S., & Singh, S. (2021). Assessment of causes of pothole development on Chandigarh roads. *Journal of The Institution of Engineers (India): Series A*, 102(2), 411-419. <https://doi.org/10.1007/s40030-021-00520-5>
- Khoza, S. C. (2020). *Assessment Of Factors And Maintenance Strategies Related To Recurring Potholes In Bloemfontein Roads*. Central University of Technology. <http://hdl.handle.net/11462/2347>
- Kuleno, M., & Lera, E. (2020). Cause and Effects of Unpaved Road Deterioration-A Review. *Global Scientific Journal*, 8(1), 3104-3113.
- Le Vern, M., Razakamanantsoa, A., Murzyn, F., Larrarte, F., & Cerezo, V. (2022). Effects of soil surface degradation and vehicle momentum on dust emissions and visibility reduction from unpaved roads. *Transportation Geotechnics*, 37, 100842. <https://doi.org/10.1016/j.trgeo.2022.100842>
- Mbiyana, K., Kans, M., Campos, J., & Håkansson, L. (2023). Literature Review on Gravel Road Maintenance: Current State and Directions for Future Research. *Transportation Research Record*, 2677(5), 506-522. <https://doi.org/10.1177/03611981221133102>
- Ngezahayo, E., Burrow, M., & Ghataora, G. (2021). Calibration of the simple rainfall simulator for investigating soil erodibility in unpaved roads. *International Journal of Civil Infrastructure*, 4, 144-156. DOI: 10.11159/ijci.2021.018
- Ntakiyimana, C., Zhang, Y., & Twagirayezu, G. (2022). Road Flooding in Kigali City, Rwanda: Causes, Effects on Road Transportation and Mitigation Measures. *Polish Journal of Environmental Studies*, 31(4). <https://doi.org/10.15244/pjoes/146215>
- Otto, A., Rolt, J., & Mukura, K. (2020). The impact of drainage on the performance of low volume sealed roads. *Sustainability*, 12(15), 6101. <https://doi.org/10.3390/su12156101>
- Shtayat, A., Moridpour, S., Best, B., Shroff, A., & Raol, D. (2020). A review of monitoring systems of pavement condition in paved and unpaved roads. *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*, 7(5), 629-638. <https://doi.org/10.1016/j.jtte.2020.03.004>
- Wang, C., Liu, B., Yang, Q., Pang, G., Long, Y., Wang, L., ... & Wang, E. (2022). Unpaved road erosion after heavy storms in mountain areas of northern China. *International Soil and Water Conservation*

- Research*, 10(1), 29-37.  
<https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2021.04.012>
- Workman, R., Wong, P., Wright, A., & Wang, Z. (2023). Prediction of Unpaved Road Conditions Using High-Resolution Optical Satellite Imagery and Machine Learning. *Remote Sensing*, 15(16), 3985.  
<https://doi.org/10.3390/rs15163985>
- Yakubu, J. A., Daku, S. S., Gusikit, R. B., Emmanuel, E. D., & Mangai, M. C. (2023). Causes of failure of Nigerian roads: A review. *World Journal of Advanced Engineering Technology and Sciences*, 8(2), 217-223.  
<https://doi.org/10.30574/wjaets.2023.8.2.0079>
- Žuraulis, V., Sivilevičius, H., Šabanovič, E., Ivanov, V., & Skrickij, V. (2021). Variability of gravel pavement roughness: An analysis of the impact on vehicle dynamic response and driving comfort. *Applied Sciences*, 11(16), 7582.  
<https://doi.org/10.3390/app11167582>

#### Contribución de autoría

1. Geiner Rodrigo Guevara: Concepción, análisis de datos y elaboración del manuscrito.
2. Edwar Cieza Sánchez: Concepción y elaboración del manuscrito.

Recibido: 08-07-2024 Aceptado: 17-12-2024 Publicado: 31-12-2024