



# **Estabilización de suelo mediante adición de ceniza de caña de azúcar en la vía Jerusalén – Guataqui, Cundinamarca, Colombia**

**Cristian Liñan Rodriguez, Sophy Camila Ortiz Leal, Cristhian David Guzmán Hernández, Michael Afranio Diaz Ricardo**

**Universidad Piloto de Colombia  
Girardot, Colombia**

## **Resumen**

La vía Jerusalén - Guataqui en el departamento de Cundinamarca, Colombia, es un corredor vial clave que conecta importantes centros de producción agrícola, pecuaria e industrial de la región del Alto Magdalena con la red nacional de carreteras. Sin embargo, esta arteria presenta un deterioro progresivo y graves fallas estructurales como erosiones, deformaciones y hundimientos que restringen la movilidad y aumentan los tiempos y costos de transporte.

La causa fundamental radica en las deplorables condiciones geotécnicas de la subrasante, compuesta principalmente por arcillas expansivas de muy baja capacidad portante que se saturan y pierden resistencia ante las cargas del frecuente tráfico pesado, muy por encima de la capacidad de diseño original de la vía. Si no se interviene oportunamente, el deterioro total de esta ruta es inminente, con considerables consecuencias económicas negativas para la región.

Las alternativas convencionales de estabilización con cal, cemento o geosintéticos se vuelven inviables debido a sus altos costos. Como solución innovadora, se plantea aprovechar un residuo abundante de los productores locales de panela: la ceniza de la quema de bagazo de la variedad de caña de azúcar POJ-2878, ampliamente cultivada en la región del Alto Magdalena y sus alrededores.

Numerosos estudios previos han demostrado que esta ceniza, rica en sílice reactiva, posee propiedades puzolánicas que al ser adicionada a suelos arcillosos generan reacciones de cementación que incrementan su resistencia y disminuyen su plasticidad, compresibilidad y potencial de expansión. Sin embargo, se requiere determinar el porcentaje óptimo de adición para maximizar la estabilización en las condiciones geotécnicas específicas del corredor vial.

Esta investigación experimental de laboratorio evalúa el efecto de diferentes dosificaciones de ceniza de caña POJ-2878 sobre las propiedades mecánicas y físicas de muestras del suelo arcilloso extraídas del tramo crítico de la vía Jerusalén-Guataqui a la altura del K5+500. Inicialmente se caracterizan las propiedades del suelo natural y de la ceniza mediante pruebas normalizadas como granulometría, límites de Atterberg, Proctor modificado, CBR, entre otras. Luego, se preparan mezclas con diversas proporciones de ceniza adicionada y se determinan sus características de resistencia a la compresión y al esfuerzo cortante, compresibilidad, plasticidad, densidad máxima y humedad óptima de compactación. El análisis de los resultados permite identificar la dosis óptima de ceniza que brinde las mayores mejoras en la estabilización del suelo arcilloso de subrasante.

Los hallazgos del estudio sentarán unas bases técnicas para el uso masivo de este residuo industrial como aditivo estabilizador efectivo, económico y amigable con el ambiente para recuperar y extender la vida útil de la vía Jerusalén-Guataqui. Esto no solo evita el deterioro de esta importante ruta, sino que contribuye a los Objetivos de Desarrollo Sostenible 9 (Industria, Innovación e Infraestructura), 11 (Ciudades y Comunidades Sostenibles) y 13 (Acción por el Clima) al proveer infraestructura vial resiliente mediante procesos innovadores, aprovechamiento eficiente de recursos locales y mitigación de la contaminación por desechos agroindustriales.

**Palabras claves:** estabilización, ceniza, caña de azúcar.

### **Abstract**

*The Jerusalem-Guataqui Road in the department of Cundinamarca, Colombia, is a key road corridor that connects important agricultural, livestock and industrial production centers in the Alto Magdalena region with the national road network. However, this artery is experiencing progressive deterioration and serious structural failures such as erosion, deformations and subsidence that restrict mobility and increase transportation times and costs.*

*The fundamental cause lies in the deplorable geotechnical conditions of the subgrade, composed mainly of expansive clays with very low bearing capacity that become saturated and lose strength under the loads of frequent heavy traffic, well above the original design capacity of the road. If not addressed promptly, the total deterioration of this route is imminent, with considerable negative economic consequences for the region.*

*Conventional stabilization alternatives with lime, cement or geosynthetics become unfeasible due to their high costs. As an innovative solution, it is proposed to take advantage of an abundant residue from local producers of panela: the ash from the burning of bagasse from the POJ-2878 sugarcane variety, widely grown in the Alto Magdalena region and its surroundings.*

*Numerous previous studies have shown that this ash, rich in reactive silica, possesses pozzolanic properties that when added to clay soils generate cementation reactions that increase their strength and decrease their plasticity, compressibility, and expansion potential. However, it is necessary to*

*determine the optimal addition percentage to maximize stabilization under the specific geotechnical conditions of the road corridor.*

*This experimental laboratory research evaluates the effect of different dosages of POJ-2878 sugarcane ash on the mechanical and physical properties of clay soil samples extracted from the critical section of the Jerusalem-Guataqui Road at K5+500. Initially, the properties of the natural soil and ash are characterized through standardized tests such as grain size distribution, Atterberg limits, modified Proctor, CBR, among others. Then, mixtures with various proportions of added ash are prepared and their characteristics of compressive and shear strength, compressibility, plasticity, maximum density, and optimum compaction moisture are determined. The analysis of the results allows identifying the optimal ash dosage that provides the greatest improvements in the stabilization of the clay subgrade soil.*

*The findings of the study will lay technical foundations for the massive use of this industrial residue as an effective, economical, and environmentally friendly stabilizing additive to recover and extend the useful life of the Jerusalem-Guataqui Road. This will not only prevent the deterioration of this important route, but also contribute to Sustainable Development Goals 9 (Industry, Innovation and Infrastructure), 11 (Sustainable Cities and Communities) and 13 (Climate Action) by providing resilient road infrastructure through innovative processes, efficient use of local resources and mitigation of pollution from agro-industrial wastes.*

**Keywords:** Stabilization, ash, sugarcane.

## 1. Introducción

La infraestructura vial es fundamental para el desarrollo económico y social de cualquier región. Las vías de comunicación permiten la movilidad de personas, productos e insumos, facilitando el comercio y la actividad productiva. En la región del Alto Magdalena, en el departamento de Cundinamarca, Colombia, la vía Jerusalén - Guataqui constituye un corredor estratégico que conecta importantes centros de producción agrícola, pecuaria e industrial con los principales mercados del país a través de la red vial nacional. Sin embargo, esta arteria presenta un avanzado estado de deterioro con graves fallas estructurales que amenazan con colapsar por completo si no se toman medidas correctivas urgentes.

El principal factor que ha ocasionado el crítico deterioro de esta vía son las deplorables condiciones geotécnicas de la subrasante, compuesta por suelos arcillosos de muy baja capacidad portante. Estas arcillas expansivas se saturan con la humedad y pierden casi por completo su resistencia bajo las cargas del tráfico de vehículos pesados, muy superior a la capacidad de diseño original. Como consecuencia, se han generado severas patologías como erosiones, deformaciones plásticas, hundimientos y agrietamientos que impiden una circulación segura y eficiente.

Las soluciones convencionales como la estabilización con cal, cemento o refuerzos de geo sintéticos resultan técnicamente viables, pero económicamente inviables dada la longitud del corredor vial junto con los escasos recursos económicos disponibles en la región para obras de infraestructura.

Por lo tanto, se requiere una alternativa innovadora que aproveche eficientemente recursos y materiales disponibles localmente.

En este contexto, la presente investigación plantea el uso de la ceniza derivada de la quema de bagazo de la variedad de caña de azúcar POJ-2878, ampliamente cultivada en esta zona, como aditivo puzolánico para estabilizar la subrasante arcillosa. Numerosos estudios previos han demostrado que las reacciones de cementación producidas al adicionar esta ceniza rica en sílice reactiva a suelos arcillosos incrementan significativamente su resistencia al tiempo que reducen su plasticidad, compresibilidad y potencial de expansión (Espinoza, et al., 2018).

No obstante, para implementar esta tecnología de forma masiva y económicamente viable en la recuperación del tramo crítico de la vía Jerusalén-Guataqui, es indispensable determinar la dosificación óptima de ceniza que logre maximizar las mejoras en las propiedades mecánicas de la subrasante en las condiciones geotécnicas específicas de esta región. Esta investigación aborda precisamente esa necesidad mediante un riguroso estudio experimental de laboratorio donde se evalúan diversas mezclas de suelo arcilloso y ceniza de caña POJ-2878 para identificar las proporciones óptimas.

Los hallazgos técnicos derivados sientan las bases para el aprovechamiento eficiente de un residuo abundante en la estabilización económica de la subrasante, posibilitando la rehabilitación y extensión de la vida útil de esta vital arteria vial con enormes beneficios económicos, ambientales y sociales al evitar su colapso inminente. Esta investigación contribuye así a los Objetivos de Desarrollo Sostenible promoviendo infraestructura resiliente mediante procesos innovadores y uso eficiente de recursos locales.

## 2. Justificación

La vía Jerusalén - Guataqui se considera importante dentro de la movilidad y conectividad de la región del Alto Magdalena, conectando importantes centros de producción agrícola, pecuaria e industrial con los principales centros de consumo del país. Su deterioro progresivo está causando graves traumatismos en la movilidad de personas y productos, con tiempos de viaje cada vez mayores y sobrecostos crecientes en transporte y logística.

La causa fundamental de este deterioro es la muy deficiente capacidad de soporte de los suelos arcillosos de la subrasante, que se saturan y pierden resistencia. El constante tráfico pesado acelera el daño estructural de la vía. Las soluciones tradicionales de mejoramiento con cemento, cal o geomallas tienen costos prohibitivos dada la extensión del corredor, el bajo presupuesto que se maneja en la zona para el desarrollo de obras de infraestructura y el poco interés de los gobiernos locales y departamental.

La región y sus alrededores producen considerables cantidades de ceniza de la quema de caña de azúcar, principalmente de la variedad POJ-2878, con propiedades puzolánicas potencialmente benéficas, pero esta es desechada de forma irresponsable, generando contaminación ambiental. Aprovechar este residuo como aditivo estabilizador de suelos arcillosos podría ser técnica y

económicamente viable, contribuyendo a los Objetivos de Desarrollo Sostenible 9 (Industria, Innovación e Infraestructura), 11 (Ciudades y Comunidades Sostenibles) y 13 (Acción por el Clima) al proporcionar infraestructura vial resiliente y sostenible mediante procesos innovadores, uso eficiente de recursos locales y reducción de contaminación.

Sin embargo, no existen estudios rigurosos que determinen las dosis óptimas ni los procedimientos adecuados para el uso masivo de ceniza en las condiciones geotécnicas específicas de la vía. Esta investigación experimental cubriría ese vacío, analizando en laboratorio el efecto de diferentes proporciones de ceniza sobre las propiedades mecánicas, químicas y físicas de muestras del suelo de subrasante.

Los resultados permitirían diseñar especificaciones y protocolos para la utilización de la ceniza como agente estabilizador efectivo y económico. El uso de este aditivo reciclaría un pasivo ambiental convirtiéndolo en activo para recuperar esta vital vía, prolongando sustancialmente su vida útil y evitando su colapso total, con enormes beneficios sociales, económicos y ambientales para la región.

### **3. Objetivos**

#### **3.1. Objetivo General**

Determinar la influencia de la adición de ceniza de caña de azúcar de la variedad POJ-2878 en la estabilización de suelos para el mejoramiento de subrasante arcillosa en la vía Jerusalén – Guataqui.

#### **3.2. Objetivos Específicos**

- Identificar las propiedades físico-mecánicas de la subrasante de la vía Jerusalén – Guataqui y de la ceniza de la caña de azúcar POJ-2878.
- Identificar las propiedades físico-mecánicas de la subrasante de la vía Jerusalén – Guataqui con la adición en diferentes porcentajes de ceniza de caña de azúcar POJ-2878.
- Determinar cómo influye la ceniza de caña de azúcar de la variedad POJ-2878 en el mejoramiento de la subrasante arcillosa de la vía Jerusalén – Guataqui.

### **4. Metodología**

Los estudios exploratorios son esenciales cuando se aborda un tema o problema de investigación novedoso o poco estudiado. Su objetivo principal es obtener una comprensión más profunda del fenómeno en cuestión, en lugar de probar hipótesis específicas. Permiten familiarizarse con un tema desconocido, generar ideas e hipótesis preliminares, aclarar conceptos clave, identificar posibles desafíos y limitaciones, y establecer prioridades para futuras investigaciones. (Hernández Sampieri, et al., 2014)



Por ende, la metodología implementada en la investigación es experimental, puesto que se debe realizar una serie de ensayos de laboratorio con el fin de lograr el objetivo principal, de esta manera, se hace uso del método estadístico descriptivo, ya que, a través de los ensayos de mecánica de suelos, se obtienen un conjunto de datos, los cuales se analizan, ordenan y representan en tabulaciones, diagramas y gráficos, que se generan por medio del programa Excel.

El enfoque cuantitativo es un proceso secuencial, probatorio y ordenado que se basa en la medición de variables, la recolección de datos numéricos y el análisis estadístico para probar hipótesis y extraer conclusiones objetivas sobre un fenómeno o problema de investigación. (Hernández Sampieri, et al., 2014)

Por otra parte, el enfoque cualitativo se basa en un proceso inductivo, flexible y circular, donde los temas y preguntas de investigación surgen y se van refinando a medida que se recolectan y analizan los datos. No sigue una secuencia rígida, sino que se adapta al contexto y avanza entre la recolección y la interpretación de la información. (Hernández Sampieri, et al., 2014)

Por ende se establece que esta investigación tiene un enfoque mixto, debido a que primero, se sigue una normatividad técnica que establece los parámetros a cumplir para la correcta realización de la investigación, entre ella se tiene el manual de normas de ensayo de materiales para carreteras implantado por el Instituto Nacional de Vías (INVIAS) y las Normas Técnicas Colombianas (NTC); y posteriormente se manejan datos y variables numéricas, formulaciones y elementos visuales que permiten establecer conclusiones de lo analizado.

La estabilización de suelos es un aspecto crucial en el ámbito de la ingeniería civil y la construcción, ya que permite mejorar las propiedades físicas y mecánicas de los suelos, lo que a su vez aumenta su capacidad portante y resistencia. En este contexto, el uso de materiales de desecho como aditivos para la estabilización de suelos ha ganado creciente atención debido a sus beneficios económicos y ambientales.

En este proyecto, se investigará el potencial de la ceniza de caña de azúcar como estabilizante de suelo en el tramo vial que conecta los municipios de Jerusalén y Guataqui, Cundinamarca. Para ello, se han establecido tres fases metodológicas principales:

- **Fase 1**

En esta fase se lleva a cabo una revisión exhaustiva de la literatura existente sobre el tema de estabilización de suelos utilizando ceniza de caña de azúcar como aditivo. Esto incluye la revisión de artículos científicos, investigaciones previas, patentes y cualquier otra fuente relevante. El objetivo es comprender el estado actual del conocimiento en este campo, identificar las técnicas y métodos utilizados, y obtener una comprensión profunda de los conceptos y principios fundamentales involucrados.

La ceniza de caña de azúcar es un material puzolánico silicoso y aluminosilicato que se genera por la combustión de bagazo de caña en las calderas de las industrias azucareras (Osinubi, et al., 2009). Está compuesta principalmente de sílice reactiva ( $\text{SiO}_2$ ) y óxidos de aluminio y hierro, además de pequeñas cantidades de óxido de calcio, magnesio, sodio y potasio (Aquino, 2020).

De acuerdo con diversas investigaciones se ha podido establecer que la adición de ceniza de caña en porcentajes entre 10% y 20% permite incrementos importantes en la resistencia a la compresión simple y al corte de suelos arcillosos y limosos. Porcentajes mayores no representan mejoras significativas en la estabilización (Espinoza, et al., 2018). Por ende se llevarán a cabo ensayos de laboratorio utilizando muestras de suelo tratadas con porcentajes de ceniza de caña de azúcar del 15% y 20% en peso respecto al suelo seco.

## • Fase 2

Se realizan una serie de ensayos y pruebas de laboratorio para caracterizar las propiedades físicas y mecánicas del suelo en estudio, tanto en su estado natural como después de la adición de la ceniza de caña de azúcar.

Las muestras tomadas para su estudio se toman a la altura del Km 05+500 del corredor vial que conecta los municipios de Jerusalén y Guataqui, Cundinamarca, que se considera el tramo más crítico debido a su alto contenido de arcillas. El corredor vial se encuentra en su gran mayoría sobre zona montañosa compuesta en gran porcentaje por arcillas expansivas de color gris, como se puede evidenciar en la ilustración 1 donde se muestra la beta de arcilla que presenta la montaña.



**Ilustración 1.** Suelo corredor vial Jerusalén-Guataqui, Fuente: (Autor, 2024)

Las propiedades físico-mecánicas del suelo se determinan mediante los ensayos de laboratorio de granulometría (INV E-213-13), límites de Atterberg (INV E-125-13 e INV E-126-13), clasificación de suelos mediante SUCS (INV E-181-13), Proctor modificado (INV E-142-13) y California Bearing Ratio (CBR) (INV E-148-13). Por otra parte, las propiedades fisicoquímicas de la ceniza se

determinan según lo establecido en la NTC 3823 donde se realizan los procedimientos que se muestran en la ilustración 2.

Muestreo	Secciones
	6
<b>ANÁLISIS QUÍMICO</b>	
Reactivos y aparatos	9
Contenido de Humedad	10 y 11
Pérdida al fuego	12 y 13
Dióxido de Silicio, óxido de Aluminio, óxido de hierro, óxido de calcio, óxido de magnesio, y trióxido de azufre	14
Alcalis disponibles	15 y 16
<b>ENSAYOS FÍSICOS</b>	
Densidad	17
Finura	18
Incremento en la contracción por secado de barras de mortero	19 a 21
Estabilidad volumétrica	22
Aire incorporado en el mortero	23 y 24
Índice de actividad de resistencia con cemento Hidráulico	25 a 28
Requerimiento de agua	29
Efectividad del aditivo mineral en el control de las reacciones álcali-sílice	30

Ilustración 2. Procedimientos para el análisis de la muestra de ceniza de caña de azúcar  
Fuente: (ICONTEC, 1997)

- **Fase 3**

En esta fase final, se analizarán e interpretarán los datos obtenidos en la fase anterior. Se evaluará el impacto de la adición de la ceniza de caña de azúcar en las propiedades físico-mecánicas del suelo y se determinarán las conclusiones sobre su eficacia como estabilizante de suelo. Se identificarán las dosis óptimas, las limitaciones y los posibles usos en aplicaciones prácticas. Además, se proporcionarán recomendaciones para futuras investigaciones o implementaciones en proyectos aplicativos.

## 5. Resultados Esperados

Los principales resultados esperados de esta investigación experimental son fundamentales para establecer la viabilidad técnica y económica del uso masivo de ceniza de caña de azúcar como agente estabilizador de la subrasante mayormente arcillosa de la vía Jerusalén - Guataqui.

En primer lugar, se obtendrá una caracterización detallada de las propiedades fisicoquímicas y mecánicas tanto del suelo arcilloso natural como de la ceniza de la variedad POJ-2878 predominante en la región. Mediante ensayos normalizados como granulometría, límites de Atterberg, Proctor modificado, CBR, entre otros, se determinarán parámetros clave que permitan comprender el comportamiento de estos materiales y su potencial interacción.

Posteriormente, se evaluará el efecto de adicionar la ceniza en dosificaciones del 15% y 20% sobre muestras del suelo arcilloso. Se analizarán las propiedades físico-mecánicas resultantes de estas mezclas, incluyendo resistencia a la compresión y al cortante, compresibilidad, plasticidad,

densidad máxima y humedad óptima de compactación. Esto permitirá cuantificar los cambios producidos por las reacciones puzolánicas de la ceniza sobre la matriz arcillosa.

El análisis integral de los resultados permitirá identificar la dosis óptima de ceniza que maximice la estabilización del suelo, brindando los mayores incrementos en sus propiedades mecánicas como resistencia y rigidez, así como la mayor reducción en su plasticidad y potencial de expansión. Se determinará el porcentaje óptimo de adición de ceniza POJ-2878 que logre las mejoras más significativas respecto al suelo natural.

Finalmente, se cuantificarán los aumentos específicos en parámetros claves como la resistencia a la compresión y al corte alcanzados con la dosis óptima de ceniza en comparación con el suelo arcilloso sin tratar. Esto dimensionará los beneficios concretos que puede aportar la estabilización con este aditivo derivado de residuos agroindustriales para rehabilitar y extender la vida útil del corredor vial.

## 6. Conclusiones

Los hallazgos de esta investigación experimental sentarán las bases técnicas para el uso masivo de la ceniza de caña de azúcar como un aditivo estabilizador efectivo, económico y amigable con el ambiente para los suelos arcillosos problemáticos de la subrasante de la vía Jerusalén-Guataqui.

Se espera que los resultados demuestren que la adición de ceniza de la variedad POJ-2878, ampliamente cultivada en la región del Alto Magdalena, produzca reacciones puzolánicas benéficas al ser mezclada con el suelo arcilloso extraído del corredor vial. Estas reacciones aumentarán significativamente la resistencia del suelo tratado, al tiempo que disminuirán su plasticidad, compresibilidad y potencial de expansión.

El análisis integral de los datos permitirá identificar la dosis óptima de ceniza, probablemente entre un 15% y 20% respecto al peso seco del suelo, que maximice las mejoras en las propiedades mecánicas clave como resistencia a la compresión y al corte. Se cuantificarán los incrementos específicos en estos parámetros al comparar el suelo tratado con la dosis óptima contra el suelo natural sin tratamiento.

En consecuencia, se demostrará la viabilidad técnica del uso de este residuo agroindustrial como agente estabilizador para recuperar y extender sustancialmente la vida útil de la vía Jerusalén-Guataqui, evitando su colapso inminente. Esto no solo traerá enormes beneficios económicos y sociales, sino que también contribuirá al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible 9, 11 y 13 al proveer infraestructura vial resiliente mediante procesos innovadores que aprovechan eficientemente recursos locales y mitigan la contaminación ambiental.

## 7. Referencias

### - Libros



- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la Investigación Sexta edición*. Ciudad de Mexico. McGraw-Hill.

#### - Fuentes electrónicas

- Aquino Mendoza, M. A. (2020). *Estabilización de suelos con ceniza de bagazo de caña de azúcar para su uso en subrasantes en el distrito de Laredo-Trujillo, La Libertad*. Tesis para optar al título de Ingeniero Civil. Obtenido de: <http://repositorio.uprit.edu.pe/handle/UPRIT/280>
- Espinoza Chuquino, A. E., & Velásquez Pérez, J. J. (2018). *Estabilización de suelos arcillosos adicionando ceniza de caña de azúcar en el tramo de Pinar-Marian, Distrito de Independencia 2018*. Universidad Cesar Vallejo. Obtenido de: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/26696>
- ICONTEC. (1997). *Muestreo y ensayo de cenizas volantes o puzolanas naturales para uso como aditivo mineral en el concreto de cemento Portland*. NTC 3823. Obtenido de: <https://es.scribd.com/document/341784720/NTC-3823-Muestreo-y-Ensayo-de-Cenizas-Volantes-o-Puzolanas-Naturales-para-Uso-como-Aditivo-Mineral-en-el-Concreto-de-Cemento-Portland-pdf>
- Osinubi, K., Bafyau, V., & Eberemu, A. (2009). *Estabilización de suelos lateríticos con cenizas de bagazo*. Obtenido de Springer, Dordrecht: [https://doi.org/10.1007/978-1-4020-9139-1\\_26](https://doi.org/10.1007/978-1-4020-9139-1_26)

#### Sobre los autores

- **Cristian Liñan Rodríguez:** Estudiante de pregrado de Ingeniería Civil. Integrante del Semillero Experimental de la Universidad Piloto de Colombia Seccional del Alto Magdalena (SEUS). [cristian-linan@upc.edu.co](mailto:cristian-linan@upc.edu.co)
- **Sophy Camila Ortiz Leal:** Estudiante de pregrado de ingeniería civil. [sophy-ortiz@upc.edu.co](mailto:sophy-ortiz@upc.edu.co)
- **Cristhian David Guzmán Hernández:** Docente de los programas de Ingeniería Civil y Especialización en Diseño y Construcción de Vías; Ingeniero Civil – Universidad de Ibagué; Especialista en Gerencia de Proyectos de Construcción e Infraestructura – Universidad del Rosario; Especialista en Gestión Pública – ESAP; Especialista en Diseño y Construcción de Vías – Universidad Piloto de Colombia; Magister en Urbanismo – Universidad del Tolima. [cristhian-guzman2@unipiloto.eu.co](mailto:cristhian-guzman2@unipiloto.eu.co)
- **Michael Afranio Díaz Ricardo:** Docente de los programas de Ingeniería Civil y Especialización en Diseño y Construcción de Vías; Topógrafo – Universidad del Tolima; Ingeniero Civil – Universidad Cooperativa de Colombia; Magíster en Infraestructura Vial – Universidad Santo Tomás. [michael-diaz1@upc.edu.co](mailto:michael-diaz1@upc.edu.co)

---

Los puntos de vista expresados en este artículo no reflejan necesariamente la opinión de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería.

Copyright © 2024 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI)

