



Boletín Técnico

PITRA-LanammeUCR

Volumen 8, N.º 2, Mayo 2017-UGM

ESTABILIZACIÓN DE SUELOS Y MATERIALES GRANULARES EN CAMINOS DE BAJO VOLUMEN DE TRÁNSITO, EMPLEANDO PRODUCTOS NO TRADICIONALES

CASO DE ESTUDIO: TRAMOS DE PRUEBA EN EL CAMINO C1-07-016 PIEDRAS
NEGRAS-EL PITO JARIS, CANTÓN DE MORA, SAN JOSÉ.

Ing. Alonso Ulate Castillo
Unidad de Gestión Municipal
alonso.ulate@ucr.ac.cr

La construcción y mantenimiento de carreteras requiere la utilización de agregados de calidad que cumplan con una serie de especificaciones técnicas, los cuales son cada vez más difíciles de encontrar y generalmente resultan costosos. Esta situación afecta principalmente a los caminos no pavimentados (grava o tierra), frecuentemente presentan problemas de transitabilidad en época lluviosa y generación de polvo en época seca, lo cual produce riesgo de seguridad vial y salud. Ante esta problemática, la utilización de productos o aditivos estabilizadores se presenta como una alternativa para hacer uso de los materiales o suelos existentes in situ y mejorar la transitabilidad de los caminos no pavimentados en condiciones húmedas y reducir la generación de polvo en condiciones secas.

Jones & Surdahl (2014) indican que en los pasados 100 años una gran variedad de tratamientos químicos se han desarrollado para mejorar el desempeño de suelos y agregados marginales, lo que a la vez ayuda a reducir el impacto ambiental y social asociado a la extracción de agregados de calidad. Tingle, Newman, Larson, Weiss, & Rushing (2007) clasifican los estabilizadores en dos categorías generales: tradicionales y no tradicionales. Los primeros corresponden a los conocidos cemento, cal y productos asfálticos, cuyo mecanismo de estabilización ha sido investigado y es conocido ampliamente. Por otro lado, se tienen los estabilizadores no tradicionales,

los cuales generalmente son productos orgánicos o químicos, cuya interacción con el suelo o agregados ha sido objeto de investigación en al menos los últimos 10 años. Estos productos son generalmente comercializados por fabricantes que los ofrecen como estabilizadores y reductores de polvo, sin embargo, como indica Jones & Surdahl (2014), generalmente ofrecen poca información acerca de sus componentes químicos, mecanismos de estabilización mecánica o las condiciones donde funcionan mejor (materiales, clima, volumen de tránsito, geometría del camino y otros).

MECANISMOS DE ESTABILIZACIÓN

Existen muchos estudios a nivel internacional que se han dado a la tarea de investigar los mecanismos químicos y físicos de estabilización de los estabilizadores no tradicionales, así como el rango de aplicación de cada uno. Tingle et al. (2007) clasifican los estabilizadores no tradicionales en siete categorías: iónicos, enzimas, sulfato de lignina, sales, resinas de petróleo, polímeros y resinas de plantas. Estos autores realizaron hipótesis acerca de los mecanismos de estabilización de cada una de las siete categorías de estabilizadores no tradicionales como se resume en la Tabla 1.

Comité Editorial 2017:

- Ing. Luis Guillermo Loría Salazar, PhD, Coordinador General PITRA, LanammeUCR
- Ing. Raquel Arriola Guzmán, Unidad de Normativa y Actualización Técnica, PITRA, LanammeUCR

Tabla 1. Resumen sobre categorías de estabilizadores no tradicionales.

Categoría	Descripción
Estabilizadores iónicos	<ul style="list-style-type: none"> – Productos ácidos o alcalinos concentrados, que se aplican en bajas dosificaciones a suelos de grano fino (arcillas o limos-arcillosos) y no tanto con gravas o arenas. – Las partículas de suelo atraen iones positivos (cationes) para balancear y neutralizar su carga eléctrica negativa neta, como indica (Vargas, 2002). – Producen intercambio de cationes que reducen la carga superficial de las partículas de suelo, lo cual genera la pérdida de la doble capa de agua que rodea los minerales arcillosos (montmorillonita y caolinita), permitiendo una mayor densificación del suelo y hasta floculación de los minerales arcillosos, como se observa en la Figura 1 (a).
Enzimas	<ul style="list-style-type: none"> – Estabilizadores orgánicos que se utilizan generalmente en bajas dosificaciones y catalizan reacciones químicas específicas dependiendo del tipo de suelo. – Requieren de un medio de movilidad que generalmente es el agua libre (la que ocupa los poros), un medio de reacción (que lo da la química del suelo) y tiempo para que se extienda la reacción. – Las partículas de enzimas cargadas positivamente, rodean la superficie cargada negativamente de las arcillas para neutralizar su afinidad por humedad como se muestra en la Figura 1(b). – Su efecto se mantiene en el suelo hasta que no exista alguno de estos elementos para que se catalice la reacción. – Funcionan mejor en suelos arcillosos de alta plasticidad y no tanto en suelos limosos, arenas o gravas
Lignosulfonatos	<ul style="list-style-type: none"> – La lignina es una sustancia que aparece en los tejidos leñosos de vegetales que une las fibras de celulosa. – Cubren las partículas del suelo con una capa adhesiva que las une, por lo tanto su efecto principal es cementante y no tanto químico. – Aunque algunos productos tienen efecto iónico y suelen ser solubles en agua, podrían infiltrarse en el suelo. – Especificaciones generales para el uso de sulfatos de lignina para control de polvo están incluidas en la Sección 306 del CR-2010.
Sales y productos higroscópicos	<ul style="list-style-type: none"> – Utilizados como reductores de polvo y no tanto como estabilizadores – Funcionan por atracción de humedad del ambiente para evitar que el suelo se seque. – El cloruro de calcio (CaCl_2) y cloruro de magnesio (Mg Cl_2) son los más conocidos. – Generan intercambio de cationes entre el suelo y la sal, lo que permite formar cristales de sal en los poros y uniones entre las partículas y aumentar la densidad del material. – (Bolander & Yamada, 1999) indican que el cloruro de magnesio suele funcionar mejor en condiciones húmedas pero es corrosivo y puede infiltrarse.

Categoría	Descripción
Resinas de petróleo	<ul style="list-style-type: none"> Se utilizan tanto como supresores de polvo o estabilizadores. Son emulsiones asfálticas o líquidos sintéticos (generalmente usados en perforaciones). Las emulsiones asfálticas catiónicas, de rompimiento medio o lento, son generalmente utilizadas para estabilizar materiales granulares. Su funcionamiento se basa en la adhesión de las partículas del suelo y formación de una película impermeabilizadora, lo cual depende de un buen recubrimiento de las partículas, que se reduce severamente en materiales finos o suelos, por su alta superficie específica. Los líquidos sintéticos (isoalcanos) se utilizan como aditivos para compactación o perforaciones, dispersan las partículas de suelo, no se secan o curan y son insolubles en agua, lo cual permite reducir la susceptibilidad del suelo a humedad. Sin embargo, no generan adhesión entre las partículas del suelo.
Polímeros	<ul style="list-style-type: none"> Son acetatos de vinilo o copolímeros acrílicos suspendidos en emulsiones o tensoactivos que crean una fuerte adhesión entre las partículas. Funcionan como supresores de polvo y estabilizadores, principalmente en agregados ya que en suelos la alta superficie específica, hace más complicado obtener una mezcla uniforme. Los polímeros son resistentes al agua por lo que permiten impermeabilizar las capas estabilizadas.
Resinas vegetales	<ul style="list-style-type: none"> Son productos de la industria de madera y papel. Se utilizan junto a agentes emulsificantes para facilitar su aplicación. Su efecto adhesivo es menor que el de los polímeros, pero también funciona mejor en materiales granulares que en suelos finos. Son menos solubles en agua que los lignosulfonatos, por lo que pueden generar menos infiltración, pero su efectividad puede ser variable.

Fuente: Adaptado de (Tingle, Newman, Larson, Weiss, & Rushing, 2007).

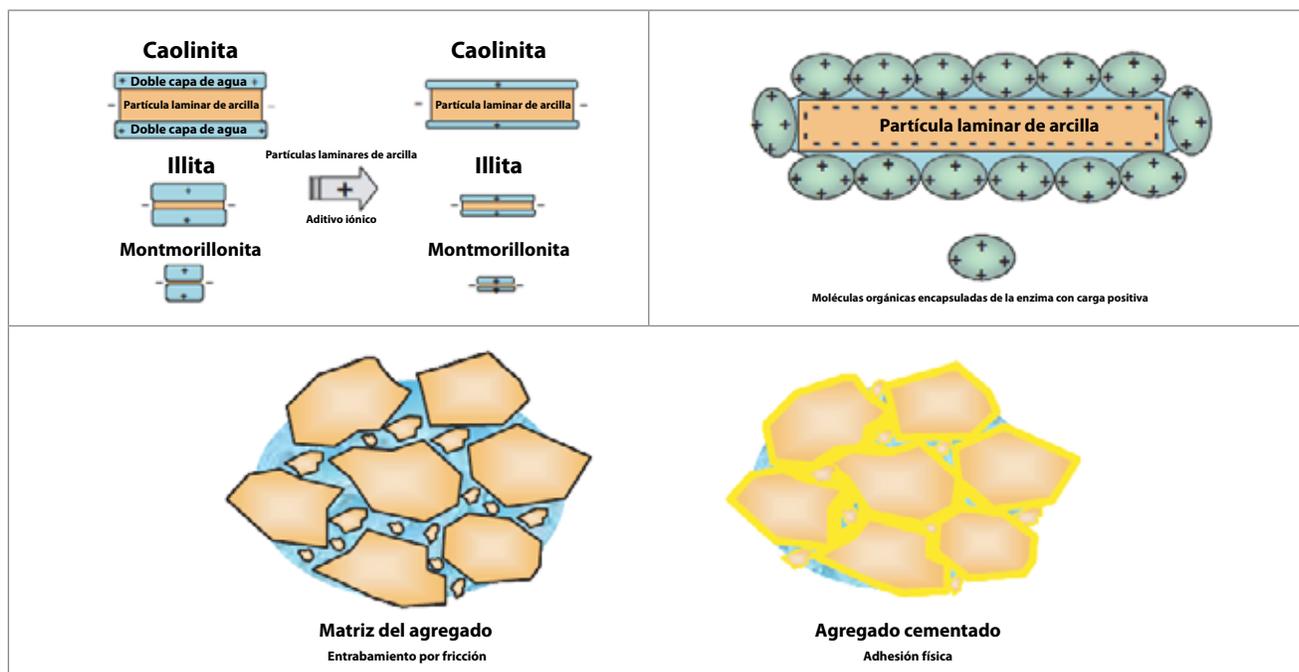


Figura 1. Mecanismo de estabilización

Fuente: (Tingle, Newman, Larson, Weiss, & Rushing, 2007)

SELECCIÓN DEL PRODUCTO ESTABILIZADOR

Además de entender los mecanismos de estabilización de los productos no tradicionales, se debe considerar como punto de partida la definición del objetivo que se busca con la estabilización, esto para efectuar la elección correcta del producto a utilizar. En este proceso pueden intervenir muchas variables como el tipo de suelo o material existente, características de la ruta, clima y otros que se comentan a continuación.

El propósito u objetivo de la aplicación de un producto estabilizador debe ser el primer paso a definir. Generalmente, se busca reducción de polvo, conservación de finos, aporte estructural o todos los anteriores.

Por ejemplo, Jones & Surdahl (2014) proponen cuatro objetivos típicos muy sencillos que permiten clasificar el desempeño esperado a partir de la aplicación de un producto estabilizador o reductor de polvo no tradicional, como se resume en la Figura 2.

Posteriormente se deben valorar varios parámetros relacionados a las características de la ruta, tránsito vehicular, tipo de material existente, condiciones climáticas y costos. La Figura 3 resume algunas recomendaciones a tomar en cuenta, las cuales algunos autores han brindado a partir de sus investigaciones.

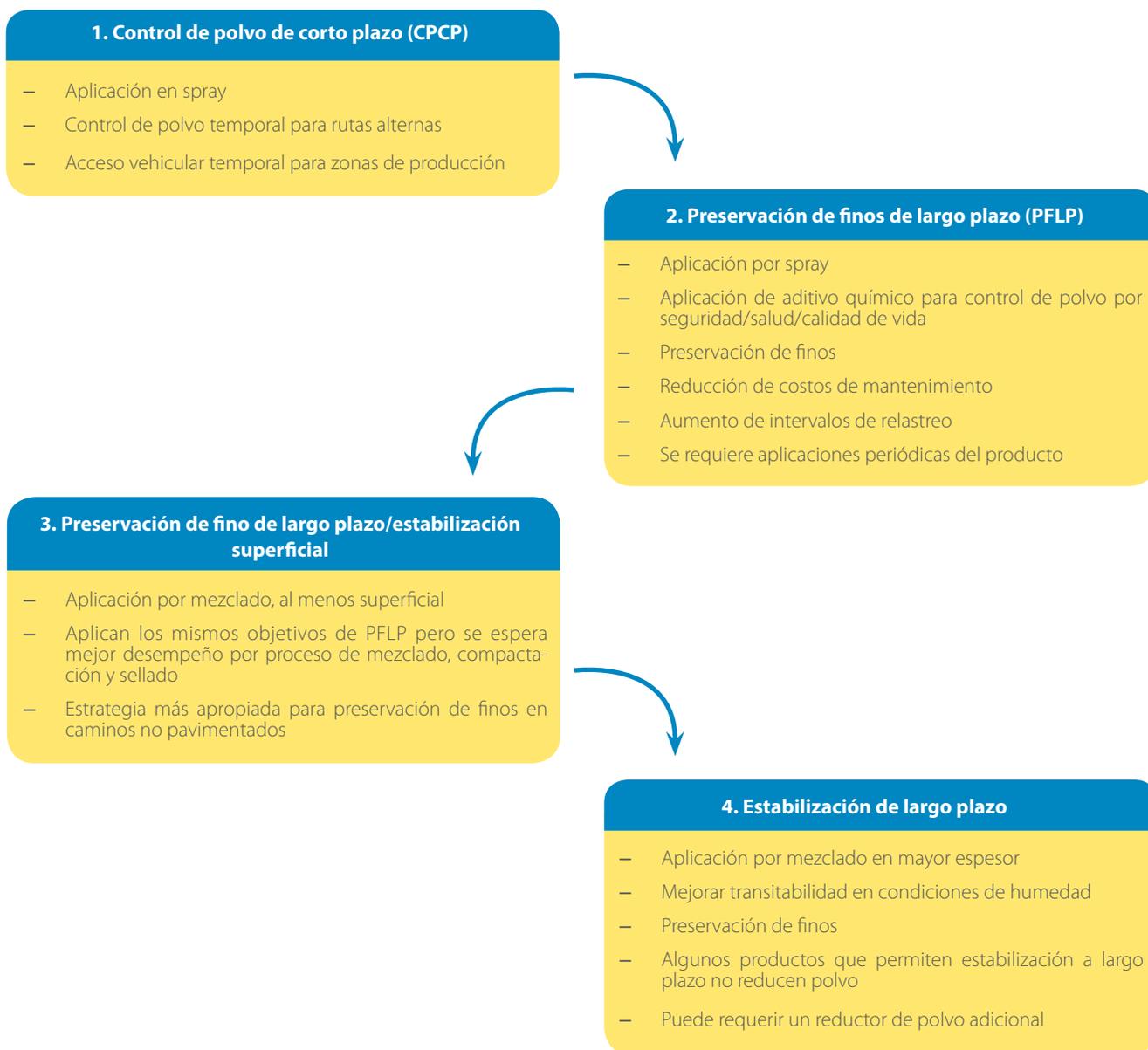


Figura 2. Resumen de objetivos típicos a considerar para la aplicación de productos estabilizadores no tradicionales.

Fuente: Adaptado de (Jones & Surdahl, 2014)



Figura 3. Resumen de parámetros adicionales considerados para la elección de estabilizadores no tradicionales.

Fuente: Adaptado de (Jones & Surdahl, 2014) , (Beaulieu, Pierre, Juneau, & Lérege, 2011) y (Bolander & Yamada, 1999).

EL CASO DE COSTA RICA

Según estadísticas del Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT, 2016), la longitud total de caminos en grava o tierra al 2015 (incluyendo red vial nacional y cantonal) es de aproximadamente 33 400 km, de los cuales 28 880 km pertenecen a la red vial cantonal en grava o lastre y prácticamente un 87% se encuentra en condición de regular a muy mala. Lo anterior podría asociarse indirectamente a problemas de transitabilidad en época lluviosa y polvo en época seca, que se evidencia con el frecuente clamor de los habitantes de estas zonas por los “pavimentados” para reducir el barro y polvo. Sin embargo, es conocido que tanto la reposición periódica de material granular como la colocación de una carpeta de mezcla asfáltica en caliente, resultan medidas de intervención muy costosas o implican mejoramientos que quedan fuera de los presupuestos y marco legal de conservación vial aplicable.

En Costa Rica se han realizado aplicaciones de productos estabilizadores tradicionales principalmente, ya que los esfuerzos por conocer, investigar o aplicar estabilizadores no tradicionales han sido aislados y poco divulgados. A continuación, se realiza una breve reseña, que no pretende ser exhaustiva, acerca de iniciativas generadas a nivel público y privado para estabilizar caminos de grava y controlar el polvo, ya sea con productos tradicionales o no tradicionales:

- **Melaza y aceite de palma:** estos productos orgánicos se han aplicado de forma artesanal por iniciativas privadas, comerciales y organizaciones comunales para el control de polvo. En la zona Norte, Guanacaste y Península de Nicoya, se utiliza melaza y en la zona sur se usa el aceite de palma. Ambos productos parecen funcionar muy bien durante la época seca, pero con las primeras lluvias se escurren e infiltran en el suelo. Se aplican de forma tópica manualmente, diluidos en agua, en dosificaciones variables de 0.5-1 l/m². Sin embargo, no se cuenta con información técnica sobre la aplicación, desempeño o impacto ambiental de estos productos. La Figura 4 muestra la aplicación de melaza en Cóbano de Puntarenas, tanto en rutas nacionales como cantonales.
- **Productos asfálticos:** son los más conocidos y utilizados en el país para impermeabilizar la superficie de caminos de bajo volumen, preservar finos, reducir erosión y polvo. Las técnicas conocidas son: bases asfálticas y estabilizadas con asfalto espumado (usadas

en rutas de medio a alto tránsito), colocación de perfilado de carpeta asfáltica, tratamientos superficiales bituminosos, sellos de imprimación reforzada y sellos integrados (en caminos de bajo tránsito). Se coloca material perfilado de carpeta asfáltica (RAP) en espesor promedio de 5 a 15 cm sobre capas de grava (tipo base o subbase), para obtener una superficie de rodamiento más impermeable y reducción de polvo, como se observa en la Figura 5 para la RN 320. Se utilizan riegos de emulsión asfáltica catiónica de rompimiento rápido tipo CRS-1 junto con riegos de agregado de diferente granulometría para los tratamientos superficiales bituminosos y sellos de imprimación reforzada como se observa en la Figura 5 en Santa Teresa de Cóbano, Puntarenas. Los sellos integrados se realizan al mezclar en sitio una capa (5 a 7 cm) de material granular (tipo base o subbase) nuevo o existente con emulsión asfáltica catiónica de rompimiento lento (CSS-1h) en dosificaciones variables de 4 a 6 l/m² y además se coloca un sello de imprimación reforzada como superficie impermeabilizadora. Esta técnica se comenzó a utilizar en el país, en la Macroregión Guanacaste del MOPT y se ha aplicado en caminos cantonales del PRVC-I (MOPT-BID) como se observa en la Figura 5 en Cutris de San Carlos y en contratos de control de polvo de la Comisión Nacional de Emergencias (CNE) en Guanacaste. El LanammeUCR ha monitoreado varios proyectos donde se aplicó esta técnica y se observa un desempeño adecuado en cuanto a impermeabilización de la superficie, preservación de finos y control de polvo por un período de entre 1.5 a 2 años antes de requerir mantenimiento con bacheo localizado y riego superficial adicional.

- **Cemento hidráulico:** el cemento hidráulico es un producto tradicional que se ha utilizado durante muchos años en el país para la estabilización principalmente de bases materiales granulares, por lo que su comportamiento se conoce bastante bien. De forma similar, han surgido iniciativas para utilizar el cemento hidráulico para la estabilización de suelos, por ejemplo el Pavimento Unicapa de Alto Desempeño (PUAD) originado en El Salvador hace unos 15 años, es una sola capa (20 a 25 cm de espesor) de suelo o material granular existente,

mezclado y compactado con cemento en dosificación de 8 a 20%. El PUAD se ha aplicado en algunos caminos en cantones como La Cruz, Hojancha y Santa Cruz de Guanacaste. Por otro lado, recientemente se han intervenido caminos cantonales combinando el cemento con un aditivo llamado Altacrete, que según el fabricante mejora la reacción suelo-cemento. El proceso es similar al PUAD, donde se utiliza maquinaria especializada para realizar la trituración del agregado existente, luego se mezcla en sitio el cemento, aditivo, agregado y suelo en un espesor de 30 cm. Se utilizan dosificaciones por peso de cemento de 8 a 10% y cercanas a 1% del aditivo. En ambos casos, se obtiene una capa semirígida, impermeable que mejora la transitabilidad, reduce la erosión de los agregados y disminuye el polvo con vida útil como se observa en la Figura 6.

- **Cal:** es un producto tradicional, ya sea como cal viva (CaO) o hidratada (CaOH₂) que tiene un carácter aglomerante y afinidad por el agua como lo indican Elizondo & Sibaja (2007). Su aplicación es especialmente efectiva para suelos de alta plasticidad y en presencia de humedad, donde genera aumento de trabajabilidad, mejoría en la resistencia y reducción de la plasticidad. Se pueden obtener buenos resultados de mejoramiento de suelos arcillosos con dosificaciones por peso desde 3% a 8% dependiendo de la plasticidad y contenido de finos del suelo. Badilla & Ávila (2011) realizaron una evaluación de desempeño sobre tramos de prueba en Cañas y Cartago, los cuales presentaron resultados muy favorables en cuanto a capacidad de soporte, resistencia y buena condición superficial por más de un año de monitoreo como se observa en la Figura 7.



Figura 4. Aplicación de melaza para control de polvo.



Figura 5. Productos asfálticos utilizados para impermeabilización, control de erosión y polvo.



Fuente: La Voz de Guanacaste, 2014

Figura 6. Estabilización de agregados con cemento y aditivo en Horquetas, Sarapiquí.



Fuente (Badilla & Ávila, 2011)



Fuente (Badilla & Ávila, 2011)

Figura 7. Tramo de prueba de suelo estabilizado con cal en Cartago, 2011.

EL TRABAJO DEL LANAMMEUCR PARA LOS CAMINOS DE BAJO VOLUMEN DE COSTA RICA

El PITRA del LanammeUCR por medio de la Unidad de Gestión Municipal (UGM), Unidad de Materiales y Pavimentos (UMP) y sus laboratorios realizan esfuerzos para generar investigación aplicada para la gestión, diseño y construcción de caminos de bajo volumen a nivel nacional. Actualmente, se trabaja en el Manual de Diseño de Pavimentos de Bajo Volumen incluyendo el uso del Cono de Penetración Dinámico (CPD) y en el reporte de Evaluación de Caminos de Grava y Sellos Asfálticos (rugosidad y deterioros). Recientemente se adquirió un equipo para monitoreo ambiental que se estará utilizando para evaluar la efectividad de productos controladores de polvo y también se trabaja en un proyecto de evaluación de diferentes productos estabilizadores o mejoradores de suelos en tramos de prueba en el cantón de Mora, el cual se describe a continuación.

EVALUACIÓN DE PRODUCTOS ESTABILIZADORES EN TRAMOS DE PRUEBA EN CAMINO DE MORA, SAN JOSÉ.

La Municipalidad de Mora, por medio de la Unidad Técnica de Gestión Vial (UTGV) y la UGM del LanammeUCR plantearon en 2015, un proyecto de tramos de prueba para generar información sobre el uso de diferentes productos estabilizadores o mejoradores de suelos (tradicionales y no tradicionales) que se comercializan a nivel nacional. Se definieron ocho tramos de prueba en el camino que va de Piedras Negras a El Pito, Jarís como se observa en la Figura 8.

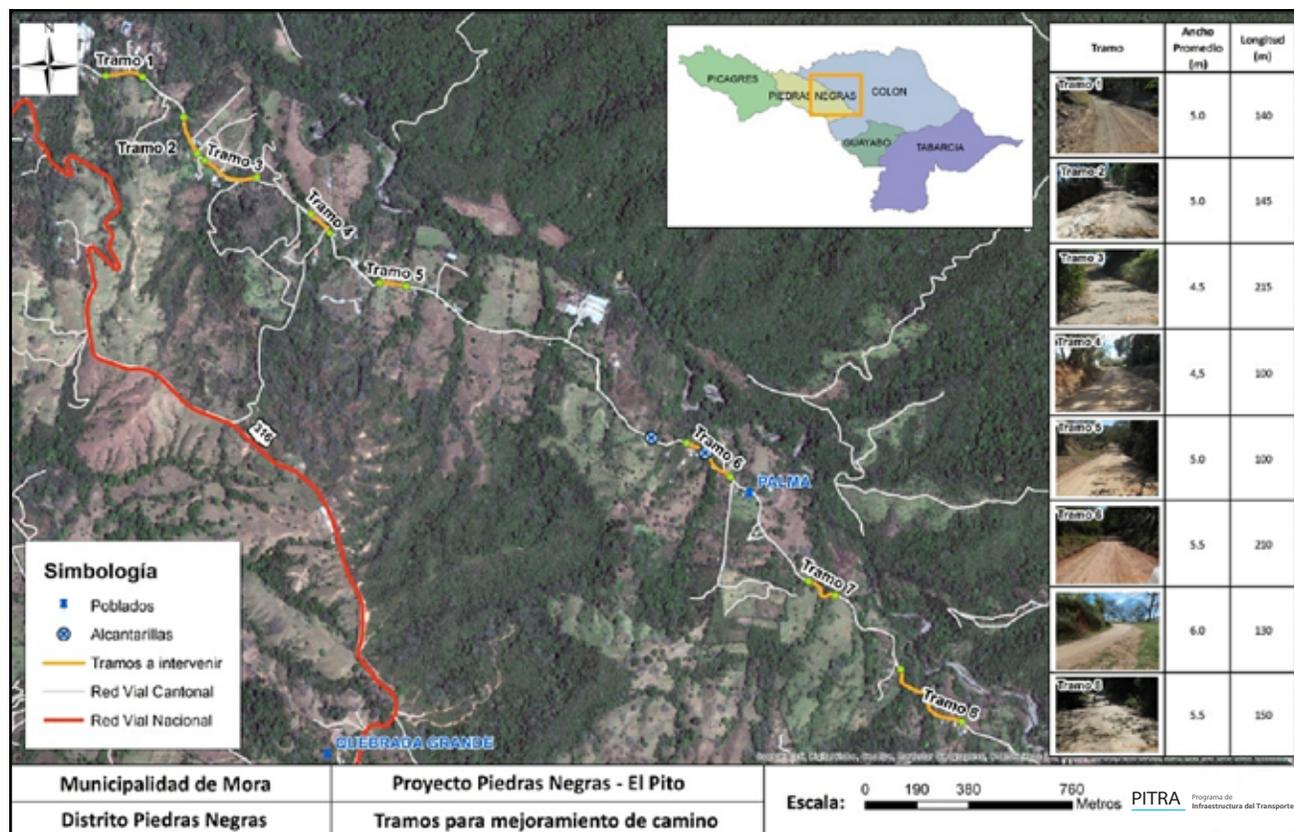


Figura 8. Tramos de prueba en Camino C1-07-016 Piedras Negras-El Pito Jaris, Cantón de Mora.

La ejecución se realiza de forma colaborativa entre la municipalidad, que aporta la maquinaria y mano de obra; el LanammeUCR, que aporta el apoyo técnico (ensayos de campo y laboratorio) y las empresas comercializadoras, que aportan el producto estabilizador o mejorador de suelo. Las técnicas de intervención,

productos y empresas que se han incorporado a participar al proyecto se observan en la Tabla 1. La construcción de los tramos de prueba se inició en diciembre de 2016 y a la fecha se han construido cuatro tramos como se observa en la Figura 9. En los próximos dos meses se estarían construyendo los tramos restantes.

Tabla 1. Resumen de tramos de prueba, empresas y productos aplicados.

Tramo	Longitud (m)	Ancho Promedio (m)	Representante	Producto/Tipo de intervención	Tipo de estabilizador
1	140	5.0	Crear Arquitectura	CON-AID	Iónico
2	145	5.0	EcoConcretos de Centroamérica	Suelo cemento-Altacrete	Polvo Mineral mejorador de reacción-suelo cemento
3	215	4.5			
4	100	4.5	Holcim	Base granular estabilizada	Cemento
5	100	5.0	Plexus	BIOCEC	Iónico
6	210	5.5			
7	130	6.0	ESCESA	Compact XT	Híbrido polimérico
8	150	5.5	Cemex	PUAD	Suelo cemento

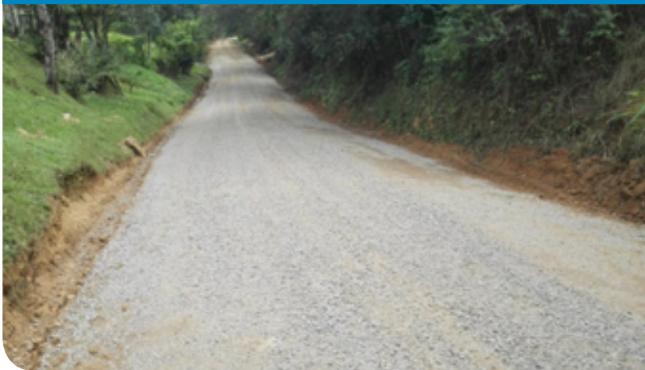
Tramo 1



Tramo 4



Tramo 5



Tramo 6



Figura 9. Cuatro tramos construidos en camino Piedras Negras-El Pito, Jaris, Cantón de Mora.

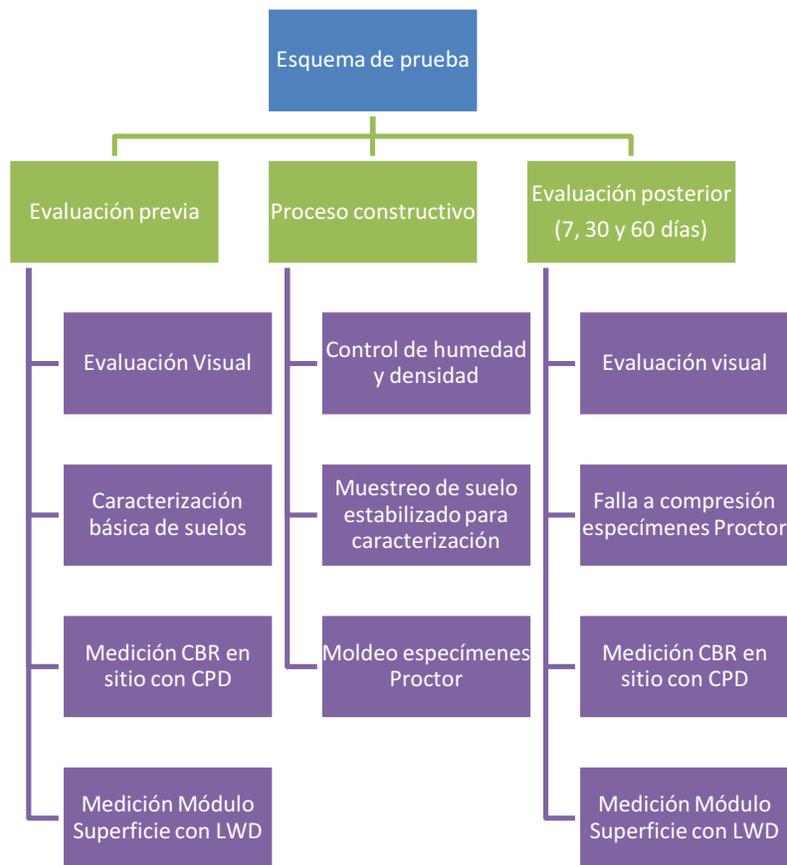


Figura 10. Esquema de prueba para tramos en el camino Piedras Negras-El Pito Jaris, Cantón de Mora.

El LanammeUCR definió un esquema de prueba sencillo para obtener información acerca de los beneficios y comportamiento de los productos mejoradores o estabilizadores, como se muestra en la Figura 10.

Los resultados de este proyecto de evaluación de productos estabilizadores en tramos de prueba en el cantón de Mora, se estarán compartiendo con la municipalidad y empresas representantes involucradas y próximamente, serán publicados para informar a los interesados del sector vial nacional. Todo lo anterior

para dar continuidad al proceso de transferencia de conocimiento a cargo del PITRA-LanammeUCR, generado en este caso, con base en el esfuerzo conjunto de investigación aplicada, en una temática cuya atención, pretende la mejora en las condiciones de transitabilidad de caminos no pavimentados y la reducción en la generación de polvo lo cual se traduce en el logro de un fin primordial, que es provocar un impacto social positivo en la seguridad vial y salud de los ciudadanos que habitan en las cercanías de este tipo de redes de caminos de grava o tierra.

REFERENCIAS

- Badilla, G., & Ávila, T. (2011). *Evaluación del Desempeño de Materiales Tratados con Cal en Tramos de Prueba-Municipalidad de Cañas*. Universidad de Costa Rica, Unidad de Investigación (IU), PITRA-Lanamme.
- Beaulieu, L., Pierre, P., Juneau, S., & Lérege, G. (2011). *Maintenance Guide for Unpaved Roads, A Selection Method for Dust Suppressants and Stabilizers*. FP Innovations y Université LAVAL.
- Bolander, P., & Yamada, A. (1999). *Dust Palliative Selection and Application Guide*. United States Department of Agriculture, Forest Service Technology & Development Program . San Dimas, California: San Dimas Technology and Development Center.
- Elizondo, F., & Sibaja, D. (2007). *Guía para la Estabilización o Mejoramiento de Rutas No Pavimentadas*. Universidad de Costa Rica, Unidad de Investigación (UI), Lanamme.
- Jones, D., & Surdahl, R. (2014). *A New Procedure for Selecting Chemical Treatments or Unpaved Roads*. University of California Davis, University of California Pavement Research Center, Department of Civil and Environmental Engineering, Davis, CA.
- Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT). (2016). *Anuario Estadístico del Sector Transporte e Infraestructura*. Secretaría de Planificación Sectorial.
- Tingle, J. S., Newman, K. K., Larson, S. L., Weiss, C. A., & Rushing, J. F. (2007). *Stabilization Mechanism of Nontraditional Additives*. U.S. Army Engineer Research and Development Center. Washington, D.C.: Transportation Research Board Record: Journal of the National Academies.
- Vargas, W. (2002). Minerales Arcillosos, consistencia y plasticidad. *Curso Mecánica de Suelos 1* .



LanammeUCR

**LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES**

PROGRAMA DE INFRAESTRUCTURA DEL TRANSPORTE

PITRA

Ing. Luis Guillermo Loría Salazar, PhD.

Coordinador General

Ing. Fabián Elizondo Arrieta, MBA

Subcoordinador

UNIDADES

Unidad de Auditoría Técnica (UAT)

Ing. Wendy Sequeira Rojas, MSc

Coordinadora

Unidad de Seguridad Vial y Transporte (USVT)

Ing. Diana Jiménez Romero, MSc, MBA

Coordinadora

Unidad de Normativa y Actualización Técnica (UNAT)

Ing. Raquel Arriola Guzmán

Coordinadora

Unidad de Materiales y Pavimentos (UMP)

Ing. José Pablo Aguiar Moya, PhD.

Coordinador

Unidad de Gestión y Evaluación de la Red Vial Nacional (UGERVN)

Ing. Roy Barrantes Jiménez

Coordinador

Unidad de Gestión Municipal (UGM)

Lic. Carlos Campos Cruz

Coordinador

CENTRO DE TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA

Diagramación, diseño y control de calidad: Licda. Daniela Martínez Ortiz / Óscar Rodríguez Quintana

Boletín técnico: ESTABILIZACIÓN DE SUELOS Y MATERIALES GRANULARES EN CAMINOS DE BAJO VOLUMEN DE TRÁNSITO, EMPLEANDO PRODUCTOS NO TRADICIONALES / Junio, 2017