



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA



LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

Programa de Infraestructura del Transporte (PITRA)

Informe: LM-PI-GM-INF-02-2021

EVALUACIÓN DE DIFERENTES TÉCNICAS DE ESTABILIZACIÓN DE MATERIALES EN CAMINOS NO PAVIMENTADOS EN EL CANTÓN DE MORA, SAN JOSÉ

Preparado por:
Unidad de Gestión Municipal
LanammeUCR

San José, Costa Rica
Junio, 2021



Año de las Universidades Públicas
por la conectividad como
derecho humano universal
2021 BICENTENARIO DE LA
INDEPENDENCIA DE COSTA RICA



Información técnica del documento

1. Informe LM-PI-GM-INF-02-2021		2. Copia No. 1
3. Título y subtítulo: Evaluación de diferentes técnicas de estabilización de materiales en caminos no pavimentados en el cantón de Mora, San José		4. Fecha del Informe: Junio, 2021
5. Organización y dirección Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales Universidad de Costa Rica, Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, de Montes de Oca, Costa Rica Tel: (506) 2511-2500 / Fax: (506) 2511-4440		
6. Notas complementarias		
7. Resumen <i>Este informe presenta los resultados de la evaluación de varios tratamientos de suelos y agregados en caminos no pavimentados, realizadas en parte de la ruta cantonal código C1-07-016, que une Piedras Negras con El Pito, Jaris en el cantón de Mora, San José. En dicha ruta se diseñó, construyó y evaluó seis tramos de prueba, ubicados principalmente en las secciones con pendiente longitudinal menor a 15% y curvatura con radio mínimo de 20 m. Se aplicaron cinco productos estabilizadores tradicionales y no tradicionales: dos productos iónicos diferentes, cemento hidráulico, estabilizador polimérico y cal hidratada. Para ello, se realizaron ensayos de laboratorio al material estabilizado, pruebas de campo y evaluación visual de deterioros en cada tramo por un periodo cercano a dos años. Se observó que los estabilizadores iónicos favorecieron la transitabilidad en los suelos arcillosos pero no aportaron resistencia a compresión adicional ni resistencia a la erosión en las zonas con mayor pendiente longitudinal; el material granular estabilizado con cemento hidráulico genera una capa rígida que resiste las cargas vehiculares, pero requiere de un sello superficial para resistir la erosión pluvial; el producto polimérico produce una capa con buena resistencia a la compresión, pero requiere aporte de agregados; y la cal hidratada funciona para estabilizar el suelo arcilloso de alta plasticidad, incluso en condiciones de humedad, pero también es susceptible a la erosión, en secciones de alta pendiente longitudinal.</i>		
8. Palabras clave Estabilización de suelos, caminos no pavimentados, cantón de Mora	9. Nivel de seguridad: Ninguno	10. Número de páginas: 122
11. Preparado por: Ing. Alonso Ulate Castillo, MEng Unidad de Gestión Municipal ALONSO JOSE ULATE CASTILLO (FIRMA) Firmado digitalmente por ALONSO JOSE ULATE CASTILLO (FIRMA) Fecha: 2021.06.02 12:33:44 -06'00'	Ing. Catalina Vargas Sobrado, MEng Unidad de Gestión Municipal ANA CATALINA VARGAS SOBRADO (FIRMA) Firmado digitalmente por ANA CATALINA VARGAS SOBRADO (FIRMA) Fecha: 2021.06.02 13:55:42 -06'00'	
12. Revisado por: Lic. Carlos Campos Cruz, MBA PITRA Carlos Campos Cruz (FIRMA) Digitally signed by Carlos Campos Cruz Date: 2021.07.05 14:12:56 -06'00'	Ing. Jaime Allen Monge, PhD Unidad de Investigación en Infraestructura y Transporte Jaime Allen Monge (FIRMA) Digitally signed by JAIME ALLEN MONGE (FIRMA) Date: 2021.06.04 09:34:10 -06'00'	
13. Revisión de informe: Ing. Ana Luisa Elizondo, M.Sc Coordinadora del PITRA ANA LUISA ELIZONDO SALAS (FIRMA) Firmado digitalmente por ANA LUISA ELIZONDO SALAS (FIRMA) Fecha: 2021.07.28 16:18:22 -06'00'	Ing. Fabián Elizondo Arrieta, MBA Unidad de Investigación en Infraestructura y Transporte Fabián Elizondo Arrieta (FIRMA) Firmado digitalmente por FABIAN ELIZONDO ARRIETA (FIRMA) Fecha: 2021.06.03 16:59:51 -06'00'	14. Revisión legal: Lic. Miguel Chacón Alvarado Asesor Legal LanammeUCR El documento cuenta con la revisión y visto bueno del Lic Miguel Chacón Alvarado, sin embargo, en razón de que éste profesional dejó de trabajar para el LanammeUCR del 1 de junio del 2021, la firma de revisión corresponde a la Lic. Nidia Seoura NIDIA MARIA SEGURA JIMENEZ (FIRMA) Firmado digitalmente por NIDIA MARIA SEGURA JIMENEZ (FIRMA) Fecha: 2021.11.11 15:27:33 -06'00'

Informe LM-PI-GM-INF-02-2021	Junio, 2021	Página 2 de 122
------------------------------	-------------	-----------------



TABLA DE CONTENIDO

1. Resumen	6
2. Introducción	6
3. Objetivos	8
3.1 Objetivo general.	8
3.2 Objetivos específicos	9
4. Alcance y limitaciones	9
4.1 Alcance.....	10
4.2 Limitaciones.....	10
5. Antecedentes y justificación.....	12
5.1 Los caminos no pavimentados.....	12
5.2 Fundamentos de estabilización y sus beneficios.	14
5.3 Objetivos de la estabilización.....	15
5.4 Tipos de estabilización.	17
5.5 Estabilización tradicional.....	18
5.6 Estabilización no tradicional.....	21
5.7 Selección del estabilizador.	28
6. Consideraciones en la estabilización de suelos y materiales granulares	32
6.1 Características de la red vial de Costa Rica y su entorno.	32
6.2 Tipos de estabilización usados en Costa Rica.	34
6.3 Especificaciones que rigen en Costa Rica para la estabilización.	39
7. Estabilización de varios tramos de prueba en el cantón de Mora.....	41
7.1 Descripción general de la evaluación.....	41
7.2 Metodología.....	42
7.3 Características del camino.....	46
7.4 Selección de los tramos de prueba.....	50
8. Técnicas de estabilización aplicadas	53
8.1 Tramo 1: Estabilización de suelo existente con producto IÓNICO I	54
8.2 Tramo 2: Base estabilizada con CEMENTO	65
8.3 Tramos 3 y 4: Estabilización de suelo existente con producto IÓNICO II.....	77
8.4 Tramo 5: Sistema de Estabilización con POLÍMERO-IO.....	93
8.5 Tramo 6: Estabilización de suelo existente con CAL HIDRATADA	105
9. Comentarios Finales.....	116
10. Recomendaciones	119
11. Bibliografía	121



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Usos favorables de los estabilizadores tradicionales.....	19
Tabla 2. Documentos de referencia sobre estabilización tradicional	20
Tabla 3. Resumen de características básicas de los estabilizadores no tradicionales	24
Tabla 4. Documentos de referencia sobre estabilización no tradicional	27
Tabla 5. Referencia técnica y normativa para la estabilización en Costa Rica	40
Tabla 6. Esquema de colaboración.....	42
Tabla 7. Resumen de conteos vehiculares y tránsito promedio diario.....	48
Tabla 8. Resumen de características geométricas de los tramos de prueba.....	52
Tabla 9. Resumen de caracterización de suelos de los tramos de prueba.....	52
Tabla 10. Asignación de tramos de prueba y productos estabilizadores aplicados.	53
Tabla 11. Usos y beneficios del estabilizador IÓNICO I.....	54
Tabla 12. Dosificación de diseño para el Tramo 1_IÓNICO I.....	55
Tabla 13. Estimación de costos para estabilización con IÓNICO I.....	56
Tabla 14. Caracterización del material del Tramo 1_IÓNICO I.....	57
Tabla 15. Índice de condición superficial (URCI) del Tramo 1_IÓNICO I	62
Tabla 16. Usos y beneficios del CEMENTO.....	66
Tabla 17. Dosificación de diseño para el Tramo 2_CEMENTO	67
Tabla 18. Estimación de costos para estabilización con CEMENTO.....	68
Tabla 19. Caracterización del material del Tramo 2_CEMENTO	70
Tabla 20. Índice de condición superficial (URCI) del Tramo 2_CEMENTO	74
Tabla 21. Usos y beneficios del estabilizador IÓNICO II	77
Tabla 22. Dosificación de diseño para el Tramo 3 y 4_IÓNICO II	78
Tabla 23. Estimación de costos para estabilización con IÓNICO II.....	80
Tabla 24. Índice de condición superficial del Tramo 3_IÓNICO II	88
Tabla 25. Índice de condición superficial (URCI) del Tramo 4_IÓNICO II	89
Tabla 26. Usos y beneficios del sistema POLÍMERO-IO.....	93
Tabla 27. Dosificación de diseño para el Tramo 5_POLÍMERO-IO	94
Tabla 28. Estimación de costos para estabilización con POLÍMERO-IO	95
Tabla 29. Caracterización del material del Tramo 5_POLÍMERO-IO.....	97
Tabla 30. Índice de condición superficial (URCI) del Tramo 5_POLÍMERO-IO	101
Tabla 31. Usos y beneficios de la CAL HIDRATADA	105
Tabla 32. Dosificación de diseño para el Tramo 6_CAL HIDRATADA	106
Tabla 33. Estimación de costos para estabilización con CAL HIDRATADA	107
Tabla 34. Caracterización del material del Tramo 6_CAL HIDRATADA.....	109
Tabla 35. Índice de condición superficial (URCI) del Tramo 6_CAL HIDRATADA.....	113



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa del camino C1-07-016 Piedras Negras-El Pito Jaris, Mora, San José.	8
Figura 2. Estadísticas básicas de la red vial no pavimentada de Costa Rica	13
Figura 3. Efectos de la estabilización en suelo y agregados en un camino	15
Figura 4. Objetivos generales de la aplicación de agentes estabilizadores	16
Figura 5. Tipos de estabilización de suelos y agregados	17
Figura 6. Tipos de estabilización tradicional.....	18
Figura 7. Tipos de estabilizadores no tradicionales.....	22
Figura 8. Proceso general de selección de estabilizador	31
Figura 9. Algunos de los deterioros típicos de caminos no pavimentados en Costa Rica	34
Figura 10. Estabilización con cemento en caminos no pavimentados.....	36
Figura 11. Tramos de prueba con suelo estabilizado con cal, Cartago	37
Figura 12. Sellos asfálticos para control de polvo en caminos no pavimentados	38
Figura 13. Aplicación de melaza para control de polvo	39
Figura 14. Metodología para la estabilización de tramos de prueba en cantón de Mora. .	45
Figura 15. Resumen de información meteorológica asociada al camino.....	49
Figura 16. Mapa de ubicación de tramos de prueba	51
Figura 17. Acabado final del Tramo 1_IÓNICO I.....	56
Figura 18. Resultados de compresión inconfiada del Tramo 1_IÓNICO I	58
Figura 19. Resultados de ensayos de campo para el Tramo 1_IÓNICO I.....	60
Figura 20. Curva de evaluación visual del Tramo 1_IÓNICO I.....	63
Figura 21. Acabado final del Tramo 2_CEMENTO.....	67
Figura 22. Resistencia a compresión inconfiada del Tramo 2_CEMENTO.....	70
Figura 23. Resultados de ensayos de campo para el Tramo 2_CEMENTO.....	72
Figura 24. Curva de evaluación visual del Tramo 2_CEMENTO.....	75
Figura 25. Acabado final del Tramo 3_IÓNICO II.....	79
Figura 26. Acabado final del Tramo 4_IÓNICO II.....	79
Figura 27. Resultados de compresión inconfiada del Tramo 3 y 4_IÓNICO II.....	81
Figura 28. Resultados de ensayos de campo para el Tramo 3_IÓNICO II.....	83
Figura 29. Resultados de ensayos de campo para el Tramo 4_IÓNICO II.....	86
Figura 30. Curva de evaluación visual del Tramo 3_IÓNICO II.....	90
Figura 31. Curva de evaluación visual del Tramo 4_IÓNICO II.....	90
Figura 32. Acabado final del Tramo 5_POLÍMERO-IO.....	95
Figura 33. Resistencia a la compresión inconfiada Tramo 5_POLÍMERO-IO.....	97
Figura 34. Resultados de ensayos de campo para el Tramo 5_POLÍMERO-IO.....	99
Figura 35. Curva de evaluación visual del Tramo 5_POLÍMERO-IO.....	102
Figura 36. Acabado final del Tramo 6_CAL HIDRATADA	107
Figura 37. Resistencia a la compresión inconfiada Tramo 6_CAL HIDRATADA.....	109
Figura 38. Resultados de ensayos de campo para el Tramo 6_CAL HIDRATADA.....	111
Figura 39. Curva de evaluación visual del Tramo 6_CAL HIDRATADA	114



1. Resumen

Se presenta una evaluación de resultados de la intervención con varias técnicas y productos para tratamiento de suelos y agregados de caminos no pavimentados, realizadas en el camino (ruta cantonal) código C1-07-016 que une Piedras Negras con El Pito, Jaris en el cantón de Mora, San José. Para ello se diseñó, construyó y evaluó seis tramos de prueba entre 80 y 250 m de longitud, ubicados principalmente en las secciones con pendiente longitudinal menor a 15% y curvatura con radio mínimo de 20 m. Se aplicaron cinco productos estabilizadores tradicionales y no tradicionales: dos productos iónicos diferentes, cemento hidráulico, estabilizador polimérico y cal hidratada. Se observó que los estabilizadores iónicos favorecieron la transitabilidad en los suelos arcillosos pero no aportaron resistencia a la compresión adicional ni resistencia a la erosión en las zonas con mayor pendiente longitudinal, el cemento genera una capa rígida que resiste las cargas vehiculares pero requiere de sello superficial para resistir la erosión pluvial, el producto polimérico produce una capa con buena resistencia a la compresión pero requiere aporte de agregados y la cal hidratada funciona para estabilizar el suelo arcilloso de alta plasticidad, incluso en condiciones de humedad, pero también es susceptible a la erosión en secciones de alta pendiente longitudinal.

2. Introducción

La Unidad de Gestión Municipal (UGM) del Programa de Infraestructura del Transporte (PITRA) LanammeUCR, brinda asesoría, capacitación y acompañamiento técnico a las municipalidades del país por medio de la ejecución de convenios de cooperación. Estas actividades se realizan con el objetivo de fortalecer los procesos de gestión vial de la Red Vial Cantonal, de conformidad con lo dispuesto en el artículo 6, inciso j), de la Ley N° 8114. De esta forma se ha trabajado en conjunto con la Unidad Técnica de Gestión Vial Municipal (UTGV) de la Municipalidad del Cantón de Mora desde el año 2012, realizando diferentes actividades relacionadas con la gestión vial del cantón bajo el marco establecido en los convenios R-6290-2012 y R-CONV-066-2017.

Informe LM-PI-GM-INF-02-2021	Junio, 2021	Página 6 de 122
------------------------------	-------------	-----------------



Recientemente ha aumentado la oferta de diferentes productos estabilizadores de suelos y agregados en el país, pero no se cuenta con referencias técnicas documentadas en Costa Rica, que permitan a los ingenieros de caminos hacer uso de estos productos y aplicarlos con claridad acerca de sus beneficios y limitaciones.

En el año 2016 se plantea la iniciativa de trabajar en conjunto, entre el LanammeUCR y la Municipalidad de Mora, para la aplicación y evaluación de diferentes técnicas y productos estabilizadores de suelos y materiales granulares. Así, se propone construir varios tramos de prueba en la ruta cantonal de código C1-07-016, la cual inicia en la localidad de Piedras Negras (ENT.N.316) y termina en la localidad de El Pito-Jaris (ENT.C.014). Este camino es parte de un corredor local estratégico para el cantón, que permite la comunicación entre los distritos de Colón y Piedras Negras, los cuales dan conexión a la localidad del Rodeo con las Rutas Nacionales N°.136 y N°.316 hacia San Antonio de Puriscal. La *Figura 1* muestra la ubicación del camino.

Con este documento se busca orientar a la Municipalidad de Mora sobre el resultado de la estabilización en los tramos de prueba construidos y, además se propone un primer acercamiento teórico y práctico en Costa Rica, acerca del tema de estabilización de suelos y agregados en caminos no pavimentados, ya sea con productos tradicionales o no tradicionales. Esto para propiciar su discusión y evidenciar la necesidad de investigación aplicada y coordinada entre los diferentes actores del ámbito de infraestructura vial nacional.

Se presentan los conceptos básicos recopilados en la revisión bibliográfica y la experiencia práctica obtenida en los tramos de prueba de la Ruta Cantonal C1-07-016, del cantón de Mora, sin pretender que este documento constituya un manual o guía para la estabilización de suelos o agregados en caminos no pavimentados.

El presente informe se emite en abril de 2021 debido al proceso de revisión correspondiente y ajuste del procedimiento interno de emisión de informes del LanammeUCR durante el año 2020 y 2021.

Informe LM-PI-GM-INF-02-2021	Junio, 2021	Página 7 de 122
------------------------------	-------------	-----------------

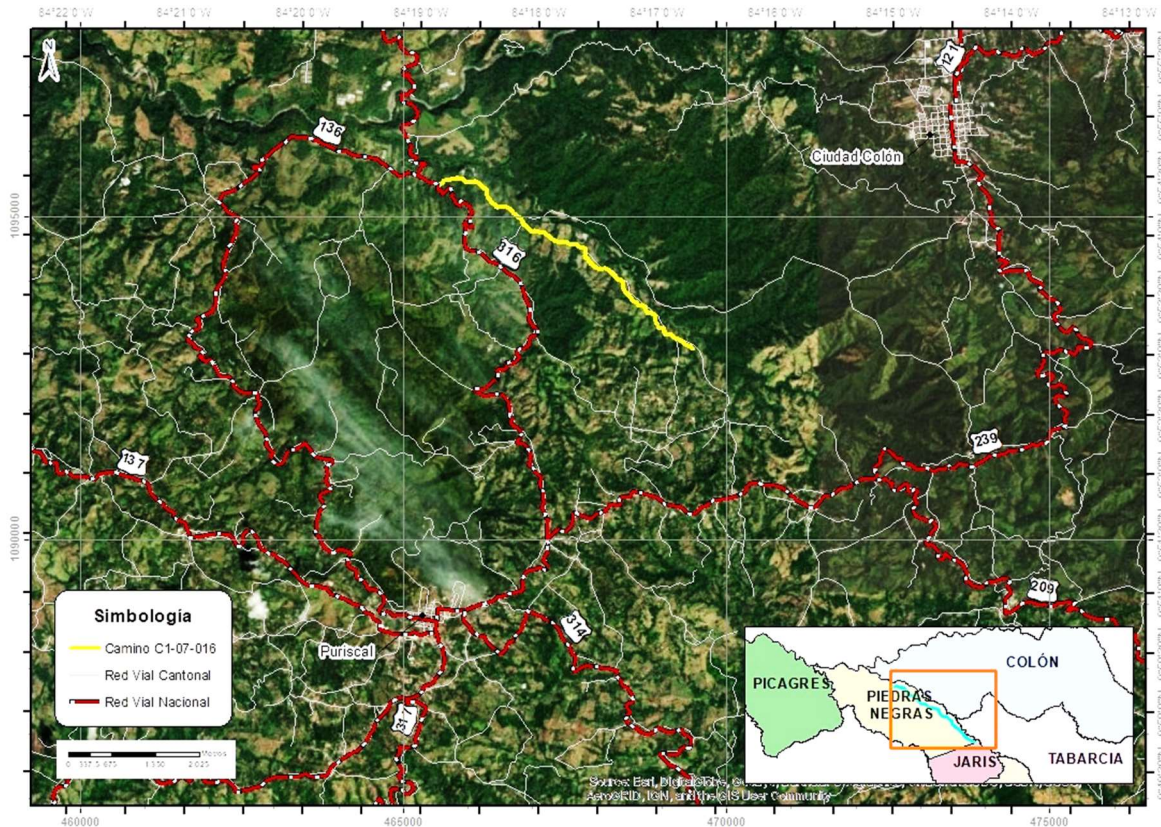


Figura 1. Mapa del camino C1-07-016 Piedras Negras-El Pito Jaris, Mora, San José.

3. Objetivos.

3.1 Objetivo general.

Investigar sobre la aplicación de diversas técnicas y productos de estabilización de suelos y agregados en seis tramos del camino cantonal con código C1-07-016 Piedras Negras-El Pito, Jaris, del cantón de Mora, provincia de San José, con el fin establecer recomendaciones para el mejoramiento y gestión de los caminos no pavimentados del cantón.



3.2 Objetivos específicos.

- Realizar una revisión bibliográfica referente a las técnicas de mejoramiento y estabilización de agregados y suelos para caminos no pavimentados.
- Describir los conceptos relacionados con estabilización no tradicional, de manera que se propicie la discusión, investigación y utilización adecuada de este tipo de productos en el país.
- Estudiar las condiciones que se presentan en el sitio incluyendo el tránsito vehicular, condición general del camino y caracterización de suelos y materiales granulares existentes.
- Documentar los diseños de las intervenciones para cada tramo de prueba de acuerdo con las indicaciones de los proveedores de cada producto estabilizador.
- Documentar el proceso constructivo de los tramos de prueba, de acuerdo con los diseños, especificaciones técnicas y las buenas prácticas de ingeniería.
- Evaluar el desempeño de las capas estabilizadas por medio de inspección visual y ensayos no destructivos.
- Evaluar en campo y laboratorio muestras de los materiales granulares y suelos para identificar beneficios y limitaciones de cada producto estabilizador utilizado.

4. Alcance y limitaciones

Durante el desarrollo del proyecto de evaluación se presentó una serie de circunstancias y variables, que son producto de la metodología utilizada, los actores involucrados y la naturaleza de la práctica realizada, las cuales se presentan a continuación como alcance y limitaciones:

Informe LM-PI-GM-INF-02-2021	Junio, 2021	Página 9 de 122
------------------------------	-------------	-----------------



4.1 Alcance.

- Los tramos de prueba se ubican en un mismo camino y presentan condiciones muy similares a lo largo de su trazado (suelos, tránsito, clima y geometría).
- Se incorporaron estabilizadores tradicionales y no tradicionales en los tramos de prueba, de acuerdo con la disponibilidad voluntaria de participar por parte de los fabricantes o representantes de los productos.
- Se realizó una caracterización general del camino, suelos y materiales existentes, en conjunto entre la Municipalidad y el LanammeUCR. Se realizó conteos vehiculares, sondeos o calicatas, caracterización de suelos en laboratorio, ensayos de CBR en sitio y medición del módulo de superficie de la capa de ruedo existente.
- El diseño de mezcla fue realizado por los representantes de los productos para los Tramos 1, 2, 3, 4 y 5, mientras tanto en el Tramo 6, el diseño de mezcla lo realizó el LanammeUCR.
- El procedimiento constructivo aplicado para la estabilización de los tramos de prueba fue acordado entre los representantes o fabricantes de productos estabilizadores, la Municipalidad y el LanammeUCR.
- El seguimiento incluyó ensayos de laboratorio y pruebas de campo y evaluación visual a diferentes edades desde la construcción.

4.2 Limitaciones.

- Los tramos de prueba se ubican en un mismo camino, con condiciones ambientales, materiales y de tránsito homogéneo, por lo cual no se asegura o descarta la funcionalidad de cualquiera de los productos utilizados bajo otras condiciones diferentes a las del camino C1-07-016 del cantón de Mora, San José.
- En la definición de los tramos de prueba se procuró obtener una geometría similar entre los diferentes tramos de prueba, en cuanto al ancho, longitud, pendiente y



drenajes, sin embargo, debido al trazado existente del camino, se presentan variaciones que podrían influir en los resultados de la evaluación realizada.

- La construcción de los tramos de prueba se realizó de forma consecutiva, conforme se obtuvo los recursos y disponibilidad de los diferentes colaboradores. Esto produjo que el primer tramo se construyera en diciembre de 2016 y el último tramo en marzo de 2018, por lo cual existe variabilidad en las condiciones climáticas y de tránsito a las que se vio sometido cada tramo y que pueden influir en los resultados de la evaluación realizada.
- El proceso constructivo de cada tramo de prueba se realizó con los recursos disponibles al momento acordado de intervención por parte de los colaboradores. Lo anterior en cuanto a la mano de obra y maquinaria aportada por la Municipalidad, así como el producto estabilizador, materiales y maquinaria adicional aportados por el representante de cada producto.
- No se realizaron aplicaciones sucesivas o rejuvenecedoras de los productos estabilizadores tradicionales o no tradicionales, como parte de un plan de mantenimiento.
- Durante el período de seguimiento del Tramo 3, 4 y 6, se realizó excavaciones en las cunetas o espaldones de la vía, esto para la reparación de la tubería de agua potable. Esto podría haber provocado alteraciones en la condición de la capa estabilizada, sin embargo, se mantuvo el seguimiento por medio de evaluación visual.
- Los ensayos de campo realizados con el DCP para la medición del CBR en sitio, mostraron variabilidad y dificultad para identificar los valores asociados a la capa estabilizada respecto del suelo de subrasante, por lo que no se consideraron dentro de los resultados del proceso de seguimiento.
- La metodología utilizada para la evaluación visual de los tramos de prueba fue el Índice de Condición de Vías No Pavimentadas (*URCI*, por sus siglas en inglés) del Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos, sin embargo, algunos deterioros



encontrados en los tramos de prueba podrían no adaptarse exactamente al tipo de fallas que fueron consideradas originalmente en esta metodología.

- La UTGV de la Municipalidad de Mora realizó actividades de mantenimiento rutinario como limpieza de espaldones y cunetas, pero no realizó actividades de reconformación de calzada y cunetas en los tramos de prueba durante el período de evaluación.

5. Antecedentes y justificación

5.1 Los caminos no pavimentados.

Los caminos no pavimentados son la base de la mayoría de las redes viales del mundo, se extienden principalmente por zonas rurales y dan acceso a poblados, centros de salud, instituciones educativas, servicios básicos y permiten el transporte de productos agropecuarios, entre otros. Como su nombre lo indica, en estos caminos la superficie de ruedo corresponde a una capa de suelo o agregados naturales o procesados, compactados o sueltos, cuya condición o nivel de servicio depende directamente del tránsito, materiales utilizados y existentes, clima, topografía, la frecuencia de mantenimiento y los drenajes existentes. Estos caminos presentan algunas desventajas como la generación de polvo durante épocas secas y problemas de transitabilidad cuando llueve, situaciones que a su vez producen deterioro acelerado de la superficie de ruedo.

La red global de vías se extiende por aproximadamente 64 millones de km (CIA, The World Factbook, s.f.), de la cual se estima que al menos 40% (25 millones de km) son caminos no pavimentados (Faiz, 2012). Estos caminos pueden dar servicio a toda clase de tránsito peatonal y vehicular, liviano o pesado, pero generalmente corresponden en su mayoría a rutas terciarias de bajo volumen vehicular, con tránsito menor a 500 vehículos por día (TPD < 500).

La red vial no pavimentada de Costa Rica, comúnmente llamada “red vial en lastre y tierra”, alcanza aproximadamente los 32.200 km, incluyendo la red vial nacional (RVN) que es

Informe LM-PI-GM-INF-02-2021	Junio, 2021	Página 12 de 122
------------------------------	-------------	------------------



administrada por el Concejo Nacional de Vialidad (CONAVI) y la red vial cantonal (RVC) que es administrada por las Municipalidades. Esto significa que 73% del total de la red vial de Costa Rica son caminos no pavimentados (Anuario Estadístico del Sector Transporte e Infraestructura 2018, 2019). Adicionalmente, la condición reportada de la RVC no pavimentada indica que aproximadamente 12.802 km (43,2% de la RVC) se encuentran en condición mala o muy mala, como se observa en la Figura 2. Esto muestra la necesidad de proponer medidas de intervención alternativas que faciliten la gestión de estos caminos para mejorar su nivel de servicios para las personas que los utilizan, principalmente en zonas rurales.

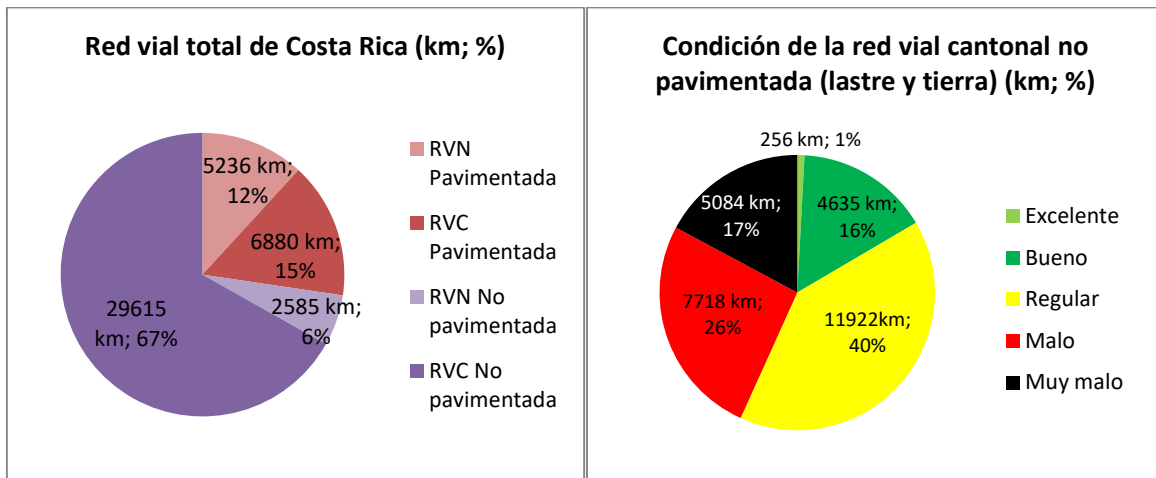


Figura 2. Estadísticas básicas de la red vial no pavimentada de Costa Rica

Fuente: Adaptado de (Anuario Estadístico del Sector Transporte e Infraestructura 2018, 2019)

Las actividades de mantenimiento que se requieren para que un camino no pavimentado conserve un buen nivel de servicio, son sencillas, pero deben ser frecuentes, debido a la naturaleza no cementada o ligada de sus materiales, lo cual se ve agravado por el clima tropical lluvioso que caracteriza al país. Esto se convierte en una dificultad para el CONAVI y Municipalidades que no disponen de programas de conservación bien establecidos, ya que generalmente pasa mucho tiempo sin que se realicen intervenciones de mantenimiento. El deterioro avanza hasta que es necesario rehabilitar el camino con actividades como



reconformación de la calzada y reposición del material granular, lo cual generalmente es más costoso y puede tener asociado un mayor impacto ambiental, principalmente por la extracción de agregados.

La estabilización de suelos y agregados es una alternativa que puede ayudar a la gestión de estos caminos, porque permite mejorar el desempeño de las capas de los materiales existentes o aportados. Posiblemente, se requiere de una inversión inicial mayor, pero si se realiza una aplicación correcta, puede generar una reducción en la frecuencia de mantenimiento y por lo tanto un ahorro en el costo total del ciclo de vida del camino no pavimentado.

Existe gran variedad de productos estabilizadores que se puede aplicar en suelos o agregados: se tienen los productos tradicionales como cemento hidráulico, cal y asfalto, así como productos no tradicionales como estabilizadores o mejoradores orgánicos, químicos o combinaciones de ellos, que generalmente son formulados por fabricantes especializados quienes brindan la asesoría y establecen la pauta en su aplicación según sea el caso específico.

De manera que, surge la necesidad de analizar las diversas técnicas de estabilización y evidenciar sus beneficios y limitaciones, dentro del contexto costarricense. La UTGV de la Municipalidad de Mora realizó una consulta a la UGM del PITRA, LanammeUCR, sobre el uso de diferentes productos estabilizadores no tradicionales, precisamente por el poco conocimiento que tienen al respecto, por lo que se acordó realizar la aplicación y evaluación de varios productos en un camino del cantón.

5.2 Fundamentos de estabilización y sus beneficios.

La estabilización es el término general que se utiliza para denominar el proceso mediante el cual se agrega un material o agente adicional al suelo o agregado, con el objetivo de mejorar alguna de sus propiedades físicas o químicas.

El propósito de la estabilización es mejorar alguna propiedad del material de alguna capa del pavimento o como superficie de rodamiento expuesta. Esto es especialmente



importante cuando se tiene materiales existentes (grava y suelo) que no cumplen con especificaciones de calidad y su sustitución es muy costosa. Asimismo, la estabilización de materiales presenta algunos beneficios adicionales, tanto ambientales en la reducción de explotación de canteras (principalmente ríos), como económicos con la reducción de costos de acarreo, y de los mismos materiales en sitios donde son escasos. La *Figura 3* resume de forma independiente los efectos favorables que se puede obtener cuando se estabiliza el suelo o materiales granulares de un camino.

Objetivos de estabilización en suelos y agregados

En suelos	En materiales granulares
<ul style="list-style-type: none"> • Reduce la plasticidad. • Mejora en su trabajabilidad. • Facilita el proceso de compactación para obtener mayor densidad. • Reduce la susceptibilidad ante la humedad y contracción. • Aumenta la capacidad de soporte de suelos blandos. • Puede reducir la generación de polvo junto con la aplicación de sellos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Genera adhesión entre las partículas de agregado para evitar que se suelten ante la erosión del tránsito vehicular. • Impermeabiliza el agregado para reducir la erosión pluvial. • Aumenta aporte estructural de capas granulares. • Mejora apariencia y comodidad de viaje para usuarios (regularidad). • Puede reducir la generación de polvo junto con la aplicación de sellos. • Extiende la vida útil de la capa de agregado y reduce la frecuencia de mantenimiento.

Figura 3. Efectos de la estabilización en suelo y agregados en un camino

Fuente: Adaptado de (Elizondo & Sibaja, 2007).

5.3 Objetivos de la estabilización.

Se pueden definir tres objetivos generales por los cuales se decide realizar una estabilización de suelos o materiales granulares, como se muestra en la *Figura 4*. Esto dependerá principalmente del aporte funcional o estructural requerido de la capa de suelo o agregado del camino, como lo indican (Elizondo & Sibaja, 2008) y (Jones D. , 2017).



Control de polvo	Mejoramiento	Estabilización
<ul style="list-style-type: none"> •Aglomerar entre sí las partículas finas del suelo o agregado. •Atrapar humedad del ambiente en climas secos para mantener la aglomeración de las partículas finas del material. •Formar corteza para reducir la erosión pluvial y reducir la permeabilidad del material. •Se puede aumentar la densidad con la compactación. •No se busca resistencia al corte, por lo que no hay aporte estructural. •Su aplicación más frecuente es por aspersión, pero también podría mezclarse en sitio. •Generalmente requiere aplicaciones sucesivas y mantenimiento. 	<ul style="list-style-type: none"> •Mejorar trabajabilidad del suelo o agregado. •Aumentar densidad con la compactación. •Reducir la susceptibilidad a humedad y contracción. •Reducir la plasticidad del material. •Aumentar la capacidad de soporte (CBR) del material mejorado. •Utilizar materiales marginales y reducir sustituciones. •Se usan bajas dosificaciones del agente estabilizador. •Se mezcla el agente estabilizador con el material (generalmente en sitio). •Puede requerir de sello adicional para mitigar la generación de polvo. 	<ul style="list-style-type: none"> •Adherir las partículas finas con las partículas gruesas y formar una pasta con resistencia al desgaste. •Alterar la química del material para reducir su susceptibilidad a la humedad. •Reducir la erosión pluvial del suelo o agregado. •Aumentar la rigidez de la capa estabilizada y obtener una aporte estructural. •Puede generar fisuramiento transversal por contracción en altas dosificaciones de algunos estabilizadores. •Se utilizan dosificaciones de moderadas a altas del agente estabilizador. •Se mezcla el agente estabilizador con el material (en sitio o en planta). •Puede requerir de sello adicional para mitigar la generación de polvo.

Figura 4. Objetivos generales de la aplicación de agentes estabilizadores

Fuente: Adaptado de (Elizondo & Sibaja, 2008) y (Jones D. , 2017)



5.4 Tipos de estabilización.

Existen diferentes procesos por medio de los cuales se puede estabilizar un suelo o material granular. Estos procesos se pueden clasificar en al menos tres categorías, como se resume en la *Figura 5*.

1. Estabilización mecánica y física

Permite mejorar el comportamiento mecánico y la trabajabilidad del material, aumenta la permeabilidad del material al mejorar su granulometría y reducir su plasticidad. Se puede clasificar en tres categorías:

- Compactación mecánica con equipo pesado (estabilización mecánica)
- Mezcla de materiales (estabilización física)
- Geosintéticos: geotextiles, geomallas, geocompuestos (estabilización física)

2. Estabilización tradicional

Se refiere a los productos más conocidos y comúnmente usados. Generalmente, estos productos permiten obtener adhesión entre las partículas de agregados principalmente, además de impermeabilizarlas. Se obtiene aporte estructural y aumento en la rigidez del material estabilizado. Se puede clasificar en tres categorías:

- Cal viva (CaO) o cal hidratada (CaOH_2)
- Cemento hidráulico
- Asfalto (emulsiones y asfalto espumado)

3. Estabilización no tradicional

Se refiere a una gran variedad de productos orgánicos o agentes químicos que se comercializan por parte de fabricantes o distribuidores para mejorar una o varias propiedades del suelo o agregado. Se pueden clasificar en al menos cinco categorías:

- Sales y productos higroscópicos (Cloruros)
- Productos orgánicos (glicerinas, aceites vegetales, sulfano de lignina y otros)
- Líquidos sintéticos y aceites provenientes del petróleo (líquidos isoalcanos)
- Estabilizadores líquidos concentrados (ácidos, enzimas, aditivos electroquímicos)
- Polímeros sintéticos (acetatos de vinilo, copolímeros acrílicos y otros)

Figura 5. Tipos de estabilización de suelos y agregados

Fuente: Adaptado de (Rahim, Saadeh, Harvey, & Jones, 2012) y (Jones D. , 2017)



5.5 Estabilización tradicional.

Se le llama estabilización tradicional, debido a que se utilizan agentes estabilizadores bien conocidos como el cemento hidráulico, la cal (viva o hidratada) y el asfalto. Además, los procesos de diseño y aplicación son comunes en la construcción de caminos. Se puede clasificar en dos categorías generales como se muestra en la *Figura 6*.

1. Estabilización cementicia

Permite generar adhesión entre las partículas de suelo o agregado, impermeabilizar y aumentar la rigidez del material. Su uso es más favorable para mejoramiento o estabilización que para control de polvo.

- **Cemento hidráulico** que se utiliza frecuentemente en la estabilización de suelos arenosos con baja plasticidad o agregados (bases y subbases granulares).
- **Cal viva (CaO) o hidratada (CaOH₂)** que se utiliza con mayor frecuencia en suelos limosos-arcillosos con plasticidad de moderada a alta.
- **Cenizas volantes** que son un subproducto industrial sólido fino, que se genera por la combustión de carbón en plantas térmicas de producción eléctrica y metalurgia. Se utiliza generalmente como puzolana para el cemento hidráulico y otros morteros. Su uso no se aborda en este documento.

2. Estabilización asfáltica

Permite reducir la susceptibilidad a la humedad de los materiales tratados, recubrir e impermeabilizar las partículas del material y aumentar su capacidad de soporte. Funciona mejor en suelos arenosos y agregados de baja plasticidad.

- **Emulsiones asfálticas:** mezcla de agua, asfalto y un agente emulsificante. Se aplica en líquido por aspersión a baja temperatura. Para estabilización se utilizan las emulsiones de rompimiento lento, para que se logre recubrir las partículas del material y homogenizar la mezcla.
- **Asfalto espumado:** mezcla de asfalto, aire y agua, que se aplica en espuma para facilitar el recubrimiento del material, por medio de un equipo especializado de estabilización en sitio o en planta, que se utiliza para rehabilitación de capas granulares de pavimentos existentes principalmente.

Figura 6. Tipos de estabilización tradicional

Fuente: Adaptado de (Rahim, Saadeh, Harvey, & Jones, 2012) y (Jones D. , 2017)

Informe LM-PI-GM-INF-02-2021	Junio, 2021	Página 18 de 122
------------------------------	-------------	------------------



5.5.1 Usos favorables de los estabilizadores tradicionales.

En la *Tabla 1*, se mencionan algunos problemas comunes que se pueden solventar con la utilización de estabilizadores cementicios o asfálticos. No se debe olvidar que cuando el suelo presenta condiciones específicas como alto contenido de sales (sulfatos), materia orgánica, bajo pH o alto contenido de cloruros, se debe tener previsiones específicas respecto al diseño y construcción.

Tabla 1. Usos favorables de los estabilizadores tradicionales

Problema	Descripción	Contribución de estabilizador tradicional
Exceso de polvo	<ul style="list-style-type: none"> • Genera pérdida de finos y erosión del material. • Afecta la salud respiratoria de usuarios y vecinos. • Reduce visibilidad para usuarios del camino. 	<ul style="list-style-type: none"> • El cemento o cal no eliminan el polvo, se requiere un sello superficial para controlar el polvo. • Los sellos asfálticos reducen significativamente la generación de polvo, sin embargo, tienen restricciones para su uso en función de la plasticidad del material a estabilizar.
Alto contenido de humedad	<ul style="list-style-type: none"> • Afecta la trabajabilidad y compactación del suelo o agregado. • Requiere escarificar y dejar secar. 	<ul style="list-style-type: none"> • Bajas dosificaciones de cal o cemento ayudan a secar el suelo o agregado. • La cal es muy efectiva para reducir humedad a menores dosificaciones que el cemento. • El asfalto no funciona bien bajo estas condiciones.
Alta plasticidad	<ul style="list-style-type: none"> • Afecta la trabajabilidad, compactación y resistencia del suelo. 	<ul style="list-style-type: none"> • La aplicación de cal o cemento ayuda a reducir la plasticidad. • La cal es efectiva para reducir plasticidad en menores dosificaciones que el cemento. El asfalto no funciona bien en materiales con altos índices de plasticidad.
Baja capacidad de soporte	<ul style="list-style-type: none"> • Afecta transitabilidad sobre todo en época lluviosa. • Genera deterioro acelerado de capas granulares de rodadura, bases o subbases. 	<ul style="list-style-type: none"> • La cal suele ser efectiva para mejorar la capacidad de soporte en suelos finos arcillosos y limosos. • El cemento y asfalto actúan bien en suelos arenosos y agregados (bases y subbases) para mejorar la capacidad de soporte y resistencia.

Fuente: Adaptado de (Rahim, Saadeh, Harvey, & Jones, 2012)



5.5.2 Documentos, guías y manuales sobre estabilización tradicional.

Existen varios documentos a nivel nacional e internacional en los cuales se puede obtener guía o referencia para la elección, diseño y construcción de estabilizaciones con productos tradicionales (cemento, cal o asfalto). Algunos de éstos se muestran en la *Tabla 2*.

Tabla 2. Documentos de referencia sobre estabilización tradicional

Título	Autor/ Institución y año	Temas
Guía para la selección de agentes estabilizadores para suelos y materiales granulares.	Universidad de Costa Rica, PITRA-LanammeUCR, 2017	Estabilización cementicia y asfáltica
Guía para la estabilización de suelos de subrasante en California.	Universidad de California, Pavement Research Center UC Davis, UC Bekeley, 2012	Estabilización mecánica, cementicia y asfáltica
Guía para el diseño y construcción de materiales estabilizados con emulsión y asfalto espumado.	Asphalt Academy c/o CSIR built Environment, 2009	Estabilización asfáltica con emulsiones y asfalto espumado
Guía para la estabilización o mejoramiento de rutas no pavimentadas.	Universidad de Costa Rica, PITRA-LanammeUCR, 2008	Estabilización cementicia y asfáltica
Guía para bases tratadas con cemento	Portland Cement Association, 2006	Estabilización de bases con cemento hidráulico
Manual de estabilización de suelo tratado con cal. Estabilización y modificación con cal.	National Lime Association, 2004	Estabilización de suelo con cal viva e hidratada



5.6 Estabilización no tradicional.

Se denominan estabilizadores no tradicionales a aquellos productos orgánicos o formulados químicamente que se utilizan para control de polvo o estabilización de suelos o materiales granulares. Generalmente, son ofrecidos por fabricantes, distribuidores o comercializadores que se encargan de asesorar a los clientes para definir las dosificaciones y proceso de aplicación según sea el caso específico. Se les conoce desde hace más de 20 años, sin embargo, existe conocimiento limitado y disperso acerca de su funcionamiento. No existe todavía una investigación que establezca con claridad y rigor científico, la forma en cómo diferentes variables como: el tipo de material, clima y tránsito, influyen en el desempeño de los materiales estabilizados con estos productos (Jones D. , 2017). Dado lo anterior, varias instituciones y profesionales, han establecido cinco categorías para facilitar la comprensión del tema, basadas en el origen, funcionamiento, usos favorables y potencial impacto ambiental de diferentes estabilizadores químicos, como se muestra en la Figura 7.



1. Sales y productos higroscópicos

- Los más conocidos son los cloruros Cloruro de Calcio (CaCl_2) y Cloruro de Magnesio (MgCl_2).
- Absorben humedad del ambiente para mantener aglomerado el material del camino.
- Son muy usados para control de polvo, generalmente no se utilizan para estabilización.
- Se aplican en salmuera o en sólido, ya sea por aspersión o mezclado en sitio.
- Se utilizan en zonas con climas secos, ya que son solubles en agua.
- Generalmente se requiere aplicaciones sucesivas al menos una vez al año.
- Se pueden mantener con equipo convencional para caminos no pavimentados (motoniveladora).

2. Productos orgánicos

- Son productos orgánicos que no provienen del petróleo como las glicerinas, sulfatos de lignina, melaza y aceites vegetales (soya, linaza, aceite de palma, aceite de canola o colza y otros).
- Funcionan como un pegamento que aglomera las partículas finas y gruesas del material del camino.
- Su uso es más favorable para control de polvo y se aplican por aspersión o mezclado en sitio.
- Se pueden combinar con otros productos estabilizadores.
- Generalmente requieren aplicaciones sucesivas al menos una vez al año.
- El mantenimiento se puede realizar con equipo convencional para caminos no pavimentados (motoniveladora).

3. Líquidos sintéticos y aceites del petróleo

- Se obtienen por la refinación del petróleo como grasas, lubricantes, resinas de petróleo y líquidos sintéticos.
- Funcionan por adhesión de las partículas del material (preferiblemente granular o arenos), no son solubles en agua, pero algunos se desprenden del material con la humedad.
- Se pueden utilizar, tanto para control de polvo, como para estabilización.
- Generalmente se requiere de aplicaciones sucesivas al menos una vez al año para control de polvo.
- Algunos forman una corteza dura que dificulta el mantenimiento con motoniveladora.

4. Estabilizadores líquidos concentrados

- En esta categoría se pueden incluir varios tipos de estabilizadores que generalmente son formulados por fabricantes y están asociados con derechos de autor o patentes. Algunos ejemplos son los aceites sulfonados, los estabilizadores iónicos, ácidos concentrados y enzimas.
- Funcionan por medio de intercambio electroquímico que permite reducir la afinidad por la humedad en las partículas de suelos finos arcillosos principalmente. Al reducir el acceso de la humedad a las partículas de arcilla se puede teóricamente ganar densidad cuando se aplica compactación.
- Su principal uso es para estabilización de subrasantes.

5. Polímeros sintéticos

- Son emulsiones poliméricas (acrilatos, acetatos, estireno-butadieno) puros o en combinaciones. Algunos son obtenidos como desechos de las industrias de pintura y adhesivos, o bien son fabricados especialmente para caminos no pavimentados.
- Funcionan al generar una adhesión flexible entre las partículas del material (suelo o agregado).
- Generalmente se aplican mezclados en sitio, pero también existen productos que se aplican por aspersión, por lo que pueden funcionar para control de polvo y/o estabilización.
- Los caminos que son tratados con polímeros sintéticos pueden ser mantenidos con equipo convencional.
- Generalmente se requieren aplicaciones adicionales del producto durante cada mantenimiento.

Figura 7. Tipos de estabilizadores no tradicionales

Fuente: Adaptado de (Jones D. , 2017)

Informe LM-PI-GM-INF-02-2021	Junio, 2021	Página 22 de 122
------------------------------	-------------	------------------



En Costa Rica, al menos durante los últimos cinco años, se han promocionado diferentes productos no tradicionales para la estabilización de suelos y materiales granulares. Sin embargo, todavía no existe referencia documentada acerca de las condiciones de aplicación más favorables, su efectividad y costo relativo.

Se pueden consultar reportes o guías enfocadas en los productos de estabilización química o no tradicional, que ofrecen información acerca de los tipos de estabilizadores, ventajas, limitaciones y aplicaciones más favorables. Se conoce sobre el uso exitoso de cloruros en los Caminos Básicos de Chile, sobre estabilizadores iónicos en Argentina y Colombia, pero existe poca referencia documentada sobre estabilización no tradicional en América Latina. La mayoría de los documentos, se han elaborado en los Estados Unidos de América, Canadá, Sudáfrica y Australia, como los que se indican más adelante, en la *Tabla 4*.

5.6.1 Usos favorables de los estabilizadores no tradicionales.

Los usos favorables de los estabilizadores no tradicionales dependen de las características del suelo o material granular y del mecanismo de estabilización del producto. Los usos son tan variados como la cantidad de productos que existen en el mercado, pero también tienen limitaciones como las que se mencionan en la *Tabla 3*.



Tabla 3. Resumen de características básicas de los estabilizadores no tradicionales

Categorías	Subcategoría	Uso, forma de presentación, funcionamiento y limitaciones
Sales y productos higroscópicos	Cloruro de Calcio (CaCl ₂)	<ul style="list-style-type: none"> Se usa para control de polvo y preservación de finos. Su forma de presentación es: <ul style="list-style-type: none"> CaCl₂: líquido o en granos (menos frecuente) MgCl₂: en líquido NaCl₂: en líquido o en cristales Absorbe humedad del aire dependiendo de las siguientes condiciones: <ul style="list-style-type: none"> CaCl₂: depende de la humedad relativa y la temperatura MgCl₂: 30% o más de humedad relativa, independiente de la temperatura NaCl₂: 80% o más de humedad relativa, independiente de la temperatura
	Cloruro de Magnesio (MgCl ₂)	<ul style="list-style-type: none"> Aglomera las partículas del material y las mantiene juntas mediante tensión superficial, por lo que pueden funcionar en agregados, arenas o suelos. Aumenta la resistencia del material en condiciones secas, pero no reduce la plasticidad, ni aumenta el CBR, aunque beneficia la compactación. Se puede reconformar y compactar la capa tratada luego de humedecer levemente, sin que se requiera aplicación adicional. Pueden ser corrosivos del acero y aluminio, además pueden escurrirse ante exceso de humedad o generar una superficie resbaladiza.
	Cloruro de sodio (NaCl ₂)	<ul style="list-style-type: none"> Se usa para control de polvo y preservación de finos. Se presenta en líquido y se suele combinar con otros productos estabilizadores orgánicos. Aglomera las partículas del material por adhesión y humectación. Efectivo a bajas temperaturas. No reduce la plasticidad, ni aumenta el CBR (a menos que se combine con otro estabilizador). Se puede reconformar y compactar la capa tratada luego de humedecer levemente, pero puede requerir aplicación adicional.
Productos orgánicos	Glicerinas	<ul style="list-style-type: none"> Se usa para control de polvo y preservación de finos. Se presenta en líquido o en polvo. Funciona por adhesión de las partículas del material y las mantiene juntas durante los períodos secos, pero al saturarse pierde la resistencia por ser soluble en agua, por lo que funcionan mejor en agregados y arenas limpias. Lo anterior sería una limitante para las condiciones climáticas de Costa Rica. No reduce la plasticidad, ni aumenta el CBR. Se puede reconformar y compactar la capa tratada luego de humedecer levemente, sin que se requiera aplicación adicional. Puede ser corrosivo del aluminio y sus aleaciones.
	Sulfato de Lignina	<ul style="list-style-type: none"> Se usa para control de polvo y preservación de finos. Se presenta en líquido. Se usa para control de polvo y preservación de finos. Se presenta en líquido.
	Melaza	<ul style="list-style-type: none"> Se usa para control de polvo y preservación de finos. Se presenta en líquido.



Categorías	Subcategoría	Uso, forma de presentación, funcionamiento y limitaciones
		<ul style="list-style-type: none"> • Funciona por adhesión de las partículas del material y las mantiene juntas temporalmente por períodos secos, pero al saturarse pierde la resistencia por ser soluble en agua, limitante importante por las condiciones climáticas de Costa Rica. • No reduce la plasticidad, ni aumenta el CBR. • Se puede reconformar y compactar la capa tratada luego de humedecer levemente. • Se requiere aplicación adicional luego de dar mantenimiento al camino.
	Aceites y resinas vegetales	<ul style="list-style-type: none"> • Se usa para control de polvo y preservación de finos. • Se presenta en líquido y funciona aglomerando y generando adherencia entre las partículas del material, por lo que funcionan mejor con agregados limpios y arenas. • No reduce la plasticidad, ni aumenta el CBR. • Las resinas vegetales (colofonias) funcionan como adhesivos entre las partículas y tienen mayor resistencia a la humedad que otros productos orgánicos. • Se puede reconformar y compactar la capa tratada luego de humedecer levemente. • Se requiere aplicación adicional luego de dar mantenimiento al camino.
	Aceites minerales y lubricantes	<ul style="list-style-type: none"> • Se usa para estabilización y control de polvo. • Se presentan en líquido (insolubles en agua). • Funciona por aglomeración y adhesión de las partículas del material por lo que funcionan mejor en agregados y arenas limpias. • Efectivo durante períodos secos sin humedad, principalmente a baja temperatura. • No reduce la plasticidad, ni aumenta el CBR. • Se puede reconformar y compactar la capa tratada luego de humedecer levemente.
Líquidos sintéticos y aceites del petróleo	Resinas de petróleo	<ul style="list-style-type: none"> • Se usa para estabilización y control de polvo. • Se presenta en líquido, aglomera las partículas del material. • Reduce la susceptibilidad a la humedad y mantiene efectividad en períodos secos. • No reduce la plasticidad, pero sí aumenta el CBR. • Se puede reconformar y compactar la capa tratada luego de humedecer levemente. • Generalmente requiere aplicación adicional luego de dar mantenimiento al camino.
	Líquidos sintéticos	<ul style="list-style-type: none"> • Se usan para control de polvo y preservación de finos. • Se presentan en líquido (insolubles en agua). • Aglomera las partículas del material mediante la cohesión. • Mantiene su efectividad en períodos secos o temperaturas extremas. • No reduce la plasticidad, ni aumenta el CBR. • Se puede reconformar y compactar la capa tratada luego de humedecer levemente.



Categorías	Subcategoría	Uso, forma de presentación, funcionamiento y limitaciones
	Líquidos sintéticos con adhesivos	<ul style="list-style-type: none"> • Se usan para control de polvo, preservación de finos o estabilización. • Se presentan en líquido (insolubles en agua). • Aglomera las partículas del material mediante la cohesión y adhesión. • Mantiene su efectividad en períodos secos o temperaturas extremas (altas o bajas). • Aumenta la resistencia del material en condiciones secas. • No reduce la plasticidad, pero puede aumentar el CBR (dependiendo del adhesivo usado). • Se puede reconfigurar y compactar la capa tratada luego de humedecer levemente. • Puede requerir aplicación adicional (dependiendo del adhesivo usado).
Estabilizadores iónicos y líquidos concentrados	Aditivos de alta y baja acidez, enzimas	<ul style="list-style-type: none"> • Se usa para estabilización de suelos arcillosos principalmente. • Son líquidos concentrados, lo que reduce significativamente el costo de transporte. • Los aditivos iónicos, generan intercambio de cationes con el suelo, lo que reduce su afinidad a la humedad. • Se presume que las enzimas forman una capa molecular alrededor de las partículas de suelo, lo que reduce su afinidad a la humedad y genera una leve adhesión entre ellas. • Mantiene su efectividad en períodos secos y son muy efectivos para aumentar la densidad con la compactación. • No reduce la plasticidad, pero aumenta el CBR (cuando se aplica por mezclado). • Su funcionalidad depende del contenido y tipo de minerales arcillosos y se puede requerir de meses para que se produzca la reacción en su totalidad. • Se puede reconfigurar y compactar la capa tratada luego de humedecer levemente. • Puede requerir de aplicaciones adicionales, luego de dar mantenimiento al camino. • Puede requerir un sello adicional para control de polvo.
Polímeros sintéticos	Polivinilo, Acrilato, Acetatos, Clorato-Polivinilo o Estireno-Butadieno	<ul style="list-style-type: none"> • Se usan para control de polvo, preservación de finos o estabilización. • Se presenta en líquido principalmente, pero existen en polvo también. • Funcionan por adhesión de las partículas del material por lo que funcionan mejor para agregado y arenas limpias. • Se combinan con otros estabilizadores para ser utilizados con suelos finos arcillosos. • Mantiene su efectividad en períodos secos. • No reduce la plasticidad, pero aumenta el CBR (cuando se aplica por mezclado). • Generalmente forman una corteza en la superficie de la capa tratada que no permite el uso de equipo convencional para dar mantenimiento en un camino no pavimentado. • Puede requerir de aplicaciones adicionales, luego de dar mantenimiento al camino.

Fuente: Adaptado de (Jones D. , 2017)



5.6.2 Documentos, guías y manuales sobre estabilización no tradicional.

Al menos durante los últimos 20 años se ha publicado una serie de documentos, guías o manuales con información acerca de los estabilizadores no tradicionales. En estos documentos se aborda su origen, clasificación, selección y recomendaciones para su aplicación. Sin embargo, existe poca referencia científica y coordinada acerca de la forma en que las diferentes variables presentes en cualquier camino (material, tránsito, temperatura, humedad y otros) influyen en el desempeño de la capa estabilizada. En la Tabla 4 se indica algunas referencias recomendadas para el estudio de la estabilización no tradicional.

Tabla 4. Documentos de referencia sobre estabilización no tradicional

Título	Autor/ Institución y año	Temas
Guide for the Selection, Specification and Application of Chemical Dust Control and Stabilization Treatments on Unpaved Roads	David Jones, University of California, Pavement Research Center UC Davis, UC Berkeley, 2017	Estabilización no tradicional de caminos no pavimentados
Managing Dust on Unpaved Roads and Airports	David Barnes, Billy Connor, Alaska Department of Transportation & Public Facilities, Alaska University Transportation Center, 2014	Control de polvo para caminos no pavimentados y aeropuertos
Maintenance Guide for Unpaved Roads: A Selection Method for Dust Suppressants and Stabilizers	Luc Beaulieu, Pascale Pierre, Sylvaine Juneau, Université Laval. Glen Légère, FP Innovations, 2011	Guía para selección de supresores de polvo y estabilizadores para caminos no pavimentados
Stabilization and Rehabilitation Measures for Low-Volume Forest Roads	Gordon Keller, Sandra Wilson-Musser, Pete Bolander, Vincent Barandino Jr., San Dimas Technology and Development Center, US Forest Service, 2011	Medidas de rehabilitación y estabilización para caminos de bajo volumen en bosques
Dust Palliative Selection and Application Guide	Peter Bolander, Alan Yamada, San Dimas Technology and Development Center, US Forest Service, 1999	Selección y aplicación de paliativos para control de polvo



5.7 Selección del estabilizador.

La selección del producto estabilizador más adecuado para un camino no pavimentado se puede realizar por medio de un proceso general como el que se muestra en la Figura 8 y se describe a continuación:

- **Evaluar los deterioros del camino y drenajes:** previo a intervenir un camino no pavimentado, se debe realizar una evaluación visual de los deterioros que muestra la superficie de ruedo, drenajes y estabilidad de taludes. No obstante, la estabilización del material de la calzada no solucionará problemas propios de drenaje o estabilidad de taludes del camino.
- **Evaluar las características del camino y tránsito vehicular:** con esto se recomienda definir si el camino tiene curvas cerradas (radios < 20 m), pendientes empinadas ($> 10\%$) y tránsito pesado (> 20 toneladas), que requiera propiedades específicas de los productos estabilizadores a aplicar.
- **Tomar muestras y evaluar los suelos:** se recomienda realizar sondeos y tomar muestras de los suelos y materiales granulares existentes en el camino para conocer sus propiedades tales como granulometría, plasticidad, CBR, entre otros.
- **Definir una estrategia u objetivo:** luego de evaluar las condiciones existentes del camino, se recomienda establecer un objetivo para la aplicación de la estabilización que atienda la necesidad encontrada, ya sea control de polvo, mejoramiento o estabilización, de acuerdo con lo descrito en la Figura 4.
 - **Estabilización tradicional:** en este grupo se puede analizar la utilización de asfalto, cal o cemento, de acuerdo con lo indicado en la Figura 6. El estabilizador elegido será el que resulte de aplicar una guía de selección como las recomendadas en la Tabla 2, la disponibilidad y experiencia de aplicación local del producto.
 - **Estabilización no tradicional:** en este grupo se puede analizar la aplicación de cualquiera de los productos de las categorías descritas en la Figura 7. Lo



primero es entender su origen, mecanismo de estabilización, usos favorables y limitaciones. Se selecciona uno o varios productos cuyas características se adapten a las condiciones del camino, tránsito y materiales existentes.

- **Definir el tipo de aplicación y dosificación:** para los estabilizadores tradicionales existen metodologías bien conocidas para realizar el diseño de mezcla y definir la dosificación del producto. En el caso de los estabilizadores no tradicionales, los fabricantes, distribuidores o vendedores son los que generalmente establecen la dosificación requerida para el suelo o material aportado.
- **Ensayar en laboratorio:** cualquiera que sea el caso, estabilización tradicional o no tradicional, se deben definir los ensayos de laboratorio a realizar para identificar los beneficios del producto.
- **Verificar el método de aplicación en campo:** ya sea por aspersión, mezclado en sitio espesor parcial (< 100 mm), mezclado en espesor total (>100 mm), ya sea con motoniveladora o con mezcladora móvil, tipo de compactación, acabado y curado debe definirse de previo a su aplicación.
- **Analizar impacto ambiental:** los potenciales efectos en el ambiente circundante al sitio de aplicación, cursos de agua por escurrimiento y otros, deben analizarse de previo. En el caso de los estabilizadores no tradicionales, se recomienda solicitar la evaluación del producto por parte de un laboratorio acreditado a nivel nacional que determine los componentes básicos y toxicidad del producto.
- **Estimar costos:** se recomienda no sólo incluir los costos iniciales de la intervención a realizar al camino con estabilización, sino que además se analicen las actividades de mantenimiento requeridas en el ciclo de vida del producto (al menos dos años), como sellos, aplicaciones sucesivas, reconformaciones u otros.
- **Aplicar el procedimiento:** el proceso de estabilización en el sitio debe ser definido claramente y ejecutado estrictamente, de acuerdo con las indicaciones del fabricante, distribuidor o vendedor para el caso de los estabilizadores no tradicionales. La aplicación de los estabilizadores tradicionales es bien conocida,



pero de igual manera debe respetarse las indicaciones de las normas y guías tomadas como referencia, para obtener un buen resultado. En ambos casos debe privar la seguridad de los trabajadores, vecinos del sitio y ambiente circundante.

- **Monitorear y mantener:** por medio de inspecciones periódicas para verificar la existencia de deterioros prematuros o defectos constructivos que corregir. Además, ejecutar las aplicaciones sucesivas recomendadas por el fabricante, sobre todo en el caso de los estabilizadores no tradicionales.

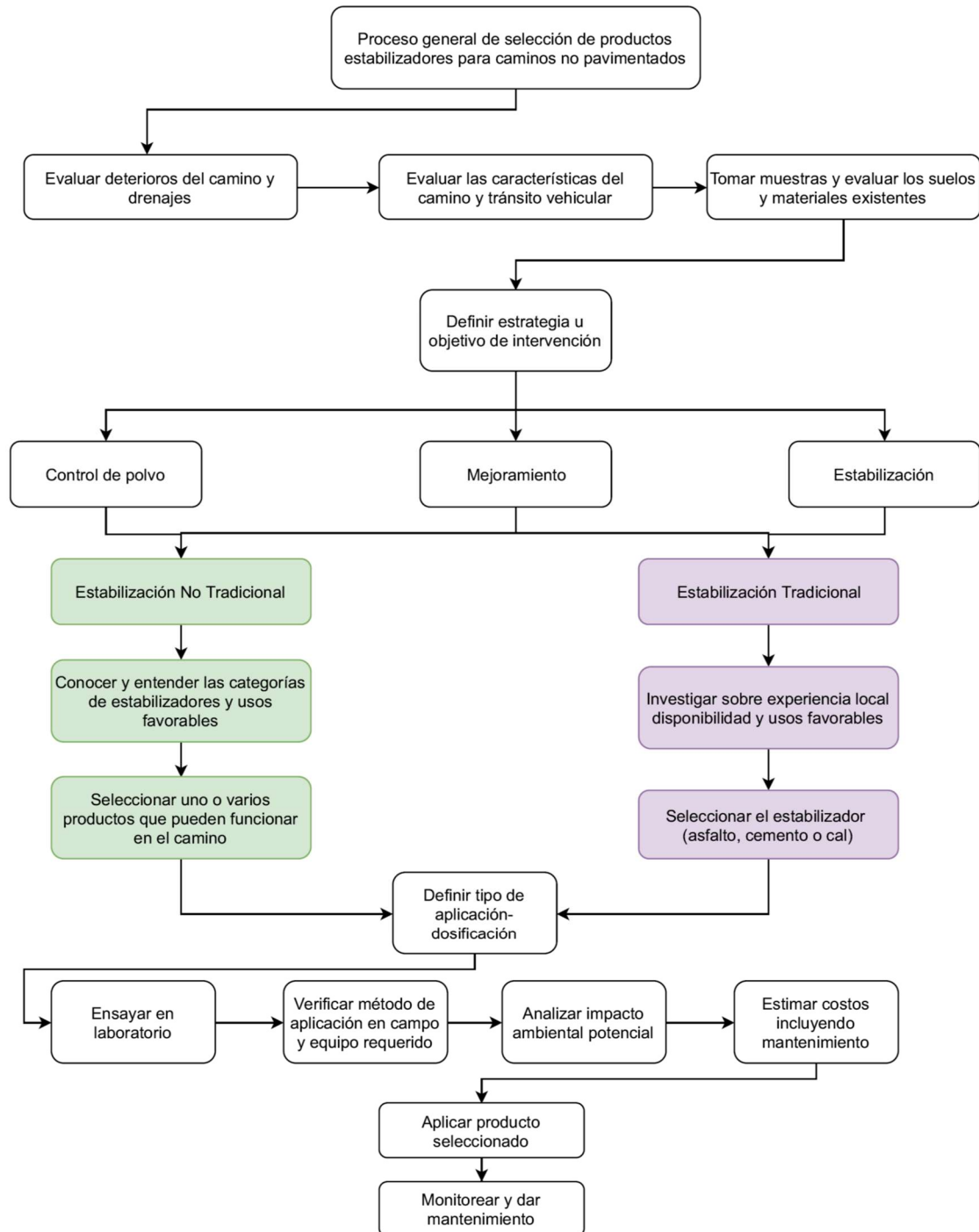


Figura 8. Proceso general de selección de estabilizador
Fuente: Adaptado de (Jones D. , 2017) y (Elizondo & Sibaja, 2008).



6. Consideraciones en la estabilización de suelos y materiales granulares

6.1 Características de la red vial de Costa Rica y su entorno.

La densidad vial de Costa Rica se aproxima a los 850 m/km², la cual es una de las mayores de América, esto significa que se tiene acceso a casi todo el territorio nacional, posiblemente por medio de un camino no pavimento, en el caso de las zonas más remotas. Algunas de las características del país que influyen en la gestión de los caminos no pavimentados son las siguientes:

- Zonas montañosas con altas pendientes, muchas veces mayores a 10 %.
- Zonas planas, donde se dificulta el drenaje pluvial.
- Predominan los suelos residuales arcillosos rojizos, con baja capacidad de soporte en condiciones húmedas (CBR < 3 %) y alta plasticidad (IP > 20).
- Materiales granulares de calidad variable (fuentes de río de buena calidad y fuentes de cantera de calidad regular o mala).
- Dos estaciones climáticas generales: época seca (diciembre a abril) y época lluviosa (mayo a noviembre). Siete regiones con variedad climática, desde zonas secas, hasta zonas muy lluviosas.
- Temperatura promedio anual que puede variar entre 18°C y 30°C.
- Alta humedad relativa (> 50%) y precipitación media anual (≈1.580 mm).
- Eventos climáticos extremos cada vez más frecuentes (tormentas y sequías).
- Gestión enfocada en la rehabilitación más que en la conservación.
- Incipiente desarrollo de referencia técnica enfocada en alternativas para la atención de caminos de bajo volumen y no pavimentados.



La superficie de ruedo de estos caminos en Costa Rica puede ser de tierra, lastre (grava) o una combinación de las anteriores, lo que puede generar problemas o deterioros típicos como lo que se muestran en la Figura 9 y se describen a continuación:

- Generación de polvo durante la época seca, que afecta la salud de los habitantes de zonas circundantes y provoca deterioro del camino por pérdida de finos.
- Desprendimientos y corrugaciones, por el uso de materiales con especificaciones de base o subbase granular para la capa de ruedo expuesta. La nula o baja plasticidad y sobre tamaños de estos materiales provoca que se suelte rápidamente, debido a la tracción del tránsito vehicular.
- Erosión pluvial, sobre todo en zonas con alta pendiente.
- Erosión por el tránsito vehicular, generalmente provocado por circulación a altas velocidades en zonas planas o por tracción vehicular en zonas de aceleración y desaceleración como curvas cerradas y pendientes.
- Durante la época lluviosa, se presentan problemas de transitabilidad y proliferan los huecos, por la saturación de suelos y materiales granulares que pierden soporte ante el exceso de humedad.

La frecuencia de mantenimiento en estos caminos es variable y depende de los recursos disponibles, ya sea del CONAVI o de la Municipalidad. En caminos no pavimentados conectores, se procura realizar actividades de mantenimiento, al menos una vez al año durante la época seca. Se suele reconformar la calzada, espaldones y cunetas. En caminos no pavimentados de menor jerarquía, pueden pasar varios años entre actividades de mantenimiento, por lo que muchas veces se requiere al menos rehabilitar el camino con la reposición del material granular (relastrado).

Generación de polvo en Corredores, Puntarenas



Agregado suelto en Nicoya, Guanacaste



Corrugaciones en camino de La Cruz,



Huecos en camino a Monteverde, Puntarenas



Figura 9. Algunos de los deterioros típicos de caminos no pavimentados en Costa Rica

6.2 Tipos de estabilización usados en Costa Rica.

En Costa Rica es muy utilizada la estabilización de capas de base con cemento, en la construcción de carreteras pavimentadas nuevas o rehabilitación de estructuras de pavimento existente. En caminos no pavimentados, la estabilización tradicional o no tradicional es menos frecuente, pero se pueden mencionar algunos casos como los siguientes:

- **El cemento hidráulico:** se usa principalmente en zonas del camino que son susceptibles a la humedad y erosión pluvial. El cemento ayuda a rigidizar la capa estabilizada y aumenta la resistencia a la erosión pluvial en las secciones de alta



pendiente longitudinal (>10%). Algunos ejemplos de aplicaciones de la estabilización con cemento para caminos no pavimentados en Costa Rica son las siguientes:

- Pavimento Unicapa de Alto Desempeño (PUAD): donde una sola capa (20 a 25 cm de espesor) de suelo o material granular existente es mezclado con cemento y compactado. La dosificación de cemento por peso puede variar entre 8 y 20% dependiendo de las propiedades del material.
- Suelo-cemento: se han mejorado caminos cantonales, con suelo o grava-cemento y un aditivo, de una marca comercial determinada, que otorga características de un concreto de alto rendimiento que solidifica el suelo en 24 horas aproximadamente, que según indica el fabricante mejora la reacción suelo-cemento al contribuir en el proceso de hidratación y curado de la mezcla. El proceso involucra la utilización de maquinaria especializada para realizar la trituración del agregado existente en sitio, luego se mezcla en sitio el cemento, aditivo, agregado y suelo en un espesor aproximado de 30 cm. Se utilizan dosificaciones por peso de cemento de 8 a 10% y cercanas a 1% del aditivo. Otras intervenciones se realizan solamente con el material granular o lastre existente en el sitio y cemento hidráulico para mejorar zonas del camino con alta pendiente, como en Coronado, San José. Con esto se obtiene una capa semirrígida, impermeable que mejora la transitabilidad, reduce la erosión de la capa de agregados y disminuye el polvo como se observa en la Figura 10. Algunos de estos caminos, se dejan expuestos por un tiempo y posteriormente se coloca un tratamiento superficial bituminoso o una carpeta asfáltica delgada como superficie de ruedo y para mejorar el control de polvo.
- Base o subbase mejorada con cemento: algunas rutas nacionales no pavimentadas se han intervenido recientemente por tramos con la colocación de base o subbase granular mejorada con cemento y un sello asfáltico. El proceso se realiza en sitio con la distribución manual del cemento, mezclado por medio de una máquina recuperadora, compactación vibratoria, curado por riego de agua y colocación del sello de imprimación con emulsión de rompimiento rápido (CRS-1) y distribución de

material de secado. Un ejemplo de esto es la intervención de la ruta nacional No.163 en Jicaral, como se observa en la Figura 10.

Lastre cemento con aditivo, Tilarán, Guanacaste



Lastre cemento con aditivo, Sarapiquí, Heredia



Lastre-cemento en ruta cantonal,
Coronado, San José



Base mejorada con cemento RN. 163,
Jicaral, Puntarenas



Figura 10. Estabilización con cemento en caminos no pavimentados

- **Cal:** su uso para proyectos viales ha sido limitado, a pesar de los beneficios que puede ofrecer para la estabilización de suelos arcillosos en presencia de humedad y alta plasticidad. El país no cuenta con producción formal de cal que garantice la calidad del producto, por esta razón se ha utilizado principalmente en tramos de prueba construidos en rutas cantonales. (Badilla & Ávila, 2011) realizaron una evaluación de desempeño sobre tramos de prueba en Cañas, Guanacaste 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 11.



Figura 11. Tramos de prueba con suelo estabilizado con cal, Cartago

Fuente: (Badilla & Ávila, 2011).

- **Asfalto:** se utiliza emulsiones asfálticas para reducir la generación de polvo y erosión del material de base, en modalidades como la que se observa en la Figura 12 y se describen brevemente a continuación:
 - Sellos de imprimación: con emulsión de rompimiento rápido (CRS-1) y material de secado.
 - Sellos integrados: en los que se mezcla en sitio con motoniveladora la emulsión de rompimiento lento (CSS-1h) con el material existente o aportado (tipo base o subbase granular), en una capa de 5 a 10 cm de espesor. La dosificación total de emulsión varía entre 4 y 6 l/m². El desempeño de estos sellos integrados ha demostrado beneficios en cuanto a la impermeabilización de la superficie, preservación de finos y control de polvo por un período de entre 1 a 2 años antes de requerir mantenimiento con bacheo localizado y riego superficial adicional.
 - Material perfilado de carpeta asfáltica: se coloca con un espesor promedio de 5 a 10 cm compactado sobre capas de grava (tipo base o subbase), para obtener una

superficie de rodamiento impermeable, reducción de polvo y más resistente a la erosión.

Sello asfáltico anti-erosión, San Carlos, Alajuela



Sello de imprimación, Cóbano, Puntarenas



Figura 12. Sellos asfálticos para control de polvo en caminos no pavimentados

- **Los estabilizadores no tradicionales:** en años recientes fabricantes o distribuidores de estabilizadores no tradicionales, se han presentado en el mercado nacional para introducir sus productos, pero aún no existe registro de proyectos donde se hayan diseñado y aplicado formalmente. Por tal razón, se presenta este documento como un primer acercamiento a la temática. Las aplicaciones de estos productos en Costa Rica son principalmente artesanales en cuanto al uso de productos orgánicos o algunas pruebas de productos químicos en caminos cantonales o privados. Por ejemplo, en las zonas de Guanacaste, Península de Nicoya y Zona Norte, se suele aplicar melaza por parte de iniciativas privadas, comerciales y organizaciones comunales para el control de polvo. Se aplica de forma tópica manualmente, diluida en agua, en dosificaciones



variables de 0,5 a 1,0 l/m². Funciona muy bien durante la época seca, pero con las primeras lluvias se diluye, se dispersa, suele generar malos olores y atrae algunos insectos. La Figura 13 muestra la aplicación de melaza en Cóbano de Puntarenas.

Ruta Nacional No.624, Cóbano, Puntarenas



Ruta cantonal en Montezuma, Cóbano, Puntarenas



Figura 13. Aplicación de melaza para control de polvo

6.3 Especificaciones que rigen en Costa Rica para la estabilización.

En Costa Rica la normativa para estabilización consta de varios documentos que ofrecen especificaciones, guías o disposiciones técnicas relacionadas con la estabilización de suelos y materiales granulares. Las referencias oficiales de especificaciones para la construcción y conservación de caminos, carreteras y puentes en el país son los manuales CR-2010, MCV-2015 y sus actualizaciones. En la Tabla 5 se presentan varios documentos, donde se puede encontrar normativa y especificaciones sobre estabilización de suelos y materiales granulares en el país.



Tabla 5. Referencia técnica y normativa para la estabilización en Costa Rica

Manuales oficiales	Guías, disposiciones y otros
<p>➤ Manual de especificaciones generales para la construcción de carreteras, caminos y puentes (CR-2010) y sus actualizaciones, publicadas en los decretos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • DE-40333-MOPT de enero 2017 • DE-41286-MOPT de junio del 2018 <p>Las secciones de este manual relacionadas con estabilización son:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sección 213 Estabilización de la subrasante <ul style="list-style-type: none"> -Cal -Cemento -Aditivos químicos -Emulsión asfáltica • Sección 302 Base estabilizada con cemento (BE-25) • Sección 304 Estabilización de los agregados • Sección 306 Estabilizador de polvo <ul style="list-style-type: none"> -Emulsión asfáltica -Sulfato de lignina -Cloruro de Calcio -Cloruro de Magnesio • Sección 309 Base estabilizada con emulsión asfáltica • Sección 411 Tratamientos superficiales asfálticos • Sección 419 Geotextiles <p>➤ Manual de especificaciones generales para la conservación de caminos, carreteras y puentes (MCV-2015). Las secciones de este manual relacionadas con estabilización son:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sección 505 Mejoramiento de una superficie de ruedo en lastre <ul style="list-style-type: none"> -Cemento portland -Cal -Emulsión asfáltica • Sección 507 Control de polvo mediante riego de agua y otros estabilizadores <ul style="list-style-type: none"> -Emulsión asfáltica -Cloruro de Calcio -Cloruro de Magnesio -Revestimiento sulfonado 	<p>➤ MOPT-02-01-09-001-2017 Sello Asfáltico Integrado No Estructural Con Emulsión Asfáltica (MOPT, 2017)</p> <p>➤ Guía para la selección de agentes estabilizadores para suelos y materiales granulares (Ávila y Ulloa, 2017)</p> <p>➤ Sello asfáltico con emulsión de rompimiento lento (Elizondo y Ulate, 2016)</p> <p>➤ Procedimiento para el diseño de mezcla, Guía para el Diseño de Materiales Estabilizados con Emulsión y Ensayos de Control de Calidad (Ulloa y Múnera, 2013)</p> <p>➤ Boletín Mejoramiento y estabilización de subrasantes con cal (Badilla y Elizondo, 2010)</p> <p>➤ Guía para la estabilización o mejoramiento de rutas no pavimentadas (Elizondo y Sibaja, 2008)</p>



7. Estabilización de varios tramos de prueba en el cantón de Mora

El objetivo principal de este informe es dar a conocer a la Municipalidad de Mora sobre el resultado del estudio de estabilización de los tramos de prueba y establecer un primer acercamiento teórico-práctico al tema de estabilización para caminos no pavimentados, principalmente en lo relacionado con estabilizadores no tradicionales, debido a la falta de información técnica documentada y al reciente auge de fabricantes y representantes de estos productos en el país.

Adicionalmente, este documento presenta información básica, respecto de la experiencia obtenida y las lecciones aprendidas del proceso, para que las instituciones administradoras de infraestructura vial de Costa Rica valoren incorporar la estabilización tradicional o no tradicional como alternativas de intervención de caminos no pavimentados, siempre bajo el marco técnico adecuado y con conciencia sobre las fortalezas y limitaciones de los diferentes productos que existen en el mercado.

7.1 Descripción general de la evaluación.

Tal y como se ha indicado anteriormente, la estabilización de tramos de prueba en el cantón de Mora surgió por una consulta realizada por la UTGV de la municipalidad de Mora, a la UGM del PITRA, LanammeUCR, sobre el uso de diferentes productos estabilizadores no tradicionales. Esto ante el poco conocimiento y falta de referencia técnica oficial a nivel nacional sobre el uso de este tipo de productos, a pesar de que cada día existe mayor cantidad de fabricantes, distribuidores o representantes comerciales promoviendo su utilización para estabilizar suelos, y tomando en cuenta la necesidad de contar con alternativas de intervención que mejoren la transitabilidad y aumenten la vida útil y desempeño de las rutas no pavimentadas que corresponden aproximadamente a un 80% de la red vial de Costa Rica.

Se planteó una modalidad de colaboración para la construcción de los tramos de prueba, en la cual cada entidad involucrada aportara, voluntariamente y de común acuerdo, los

Informe LM-PI-GM-INF-02-2021	Junio, 2021	Página 41 de 122
------------------------------	-------------	------------------



recursos que tuviera a su alcance y bajo el área de conocimiento o práctica particular, tal como se resume en la Tabla 6.

Finalmente, se integraron a participar cinco fabricantes o representantes de diferentes productos estabilizadores de suelos y materiales granulares para la construcción de seis tramos de prueba.

Tabla 6. Esquema de colaboración

Entidad o institución	Aporte en esquema de colaboración
Municipalidad de Mora	<ul style="list-style-type: none"> • Coordinación general en conjunto con el LanammeUCR • Definición del camino y tramos para estabilizar • Aporte de personal y equipo para estudios preliminares • Mano de obra (personal de construcción) • Maquinaria (equipo básico de construcción): vagoneta, backhoe, tanque de agua, motoniveladora y compactadora (3 toneladas)
UGM, PITRA LanammeUCR	<ul style="list-style-type: none"> • Coordinación general en conjunto con la Municipalidad de Mora • Asesoría técnica • Estudios preliminares con colaboración de la Municipalidad de Mora (inventario, sondeos y conteos vehiculares) • Seguimiento técnico a tramos estabilizados • Elaboración de informe final
Fabricantes o representantes de productos estabilizadores	<ul style="list-style-type: none"> • Asesoría en uso y aplicación del producto • Asesoría en diseño de dosificación y proceso de aplicación del producto • Aporte del producto necesario para tramo de prueba • Aporte de equipo o maquinaria adicional: compactadora (8 a 10 toneladas), tractor rotomezclador de suelos en sitio u otro

7.2 Metodología.

La metodología aplicada se compone de siete fases, desde las primeras inspecciones del camino realizadas en conjunto entre la Municipalidad de Mora y el LanammeUCR hasta la



etapa de seguimiento de cada uno de los tramos de prueba, como se muestra en el gráfico de la Figura 14 y se describe a continuación.

- I. **Estudio de las características del camino:** en esta etapa se incluye la inspección inicial del camino, en conjunto entre la Municipalidad y el LanammeUCR, así como la medición de tránsito vehicular.
- II. **Definición de tramos de prueba:** la UTGV de la Municipalidad de Mora establece los criterios de selección de los tramos de prueba y en acompañamiento de la UGM del LanammeUCR se establecen las características de ubicación, longitud, ancho, pendiente longitudinal, curvatura y tipo de material existente que se indican más adelante en este documento.
- III. **Análisis de tramos de prueba:** incluye la excavación de sondeos o calicatas, muestreo del material existente en el camino para su caracterización por medio de ensayos de laboratorio, se realizan pruebas de campo como CBR en sitio con el Cono de Penetración Dinámico (DCP, por sus siglas en inglés) y mediciones del módulo de superficie con el Deflectómetro Liviano (LWD, por sus siglas en inglés). También, se realiza un inventario de la geometría de los tramos de prueba y se verifica la condición de los drenajes pluviales.
- IV. **Coordinación y asignación de tramos:** incluye la coordinación entre la Municipalidad, LanammeUCR y los representantes de estabilizadores para conocer los diferentes productos estabilizadores, visitar el sitio y asignar el o los tramos a intervenir, por mutuo acuerdo.
- V. **Diseño de intervenciones:** en esta etapa se realiza muestreos adicionales del suelo o material existente, ya sea por parte del representante del producto estabilizador o en conjunto, entre la Municipalidad y el LanammeUCR. Lo anterior para elaborar los diseños de mezcla y establecer las dosificaciones de cada uno de los estabilizadores y definir el proceso constructivo a aplicar.
- VI. **Construcción de tramos de prueba:** se realizó por coordinación entre la Municipalidad, el representante o fabricante del producto estabilizador y el



acompañamiento del LanammeUCR. Una vez definida la fecha de intervención para cada tramo de prueba, se procuró que el proceso constructivo se pudiera completar en un solo día, desde la reconformación, aplicación del producto, mezcla y homogenización en sitio, distribución y compactación final. Se tomó muestras del material antes y después de la aplicación del producto y se realizó control de contenido de humedad y compactación de la capa estabilizada.

- VII. Seguimiento de tramos de prueba:** se realizó por medio de ensayos de campo con el Deflectómetro liviano LWD (ASTM E2583-7 y ASTM E2835-11), medición de densidad y contenido de humedad en sitio con densímetro nuclear (ASTM D6938), todo esto aproximadamente a los 7, 30, 60 y 90 días desde la construcción del tramo. Se realizó inspección visual de la condición superficial de los tramos de prueba cada 6 meses aproximadamente, pero varía según el tramo. Para esto se utilizó la metodología del Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos, para estimar el Índice de Condición de Vías No Pavimentadas (*URCI*, por sus siglas en inglés) que va de 100 (vía recién intervenida en perfectas condiciones) a 0 (vía destruida que debe ser reconstruida).

Adicionalmente, en los casos donde fue posible, se tomaron muestras de suelo natural y suelo o material estabilizado para realizar ensayos de laboratorio de caracterización como análisis granulométrico (ASTM D422), Límites de Atterberg (ASTM D4318), Próctor Estándar o Modificado (AASHTO T99), CBR de laboratorio (AASHTO T193), elaboración de especímenes para falla a la compresión confinada secos (ASTM D1633) y se sometieron algunos especímenes a condicionamiento por saturación por 24 horas previo a la falla.

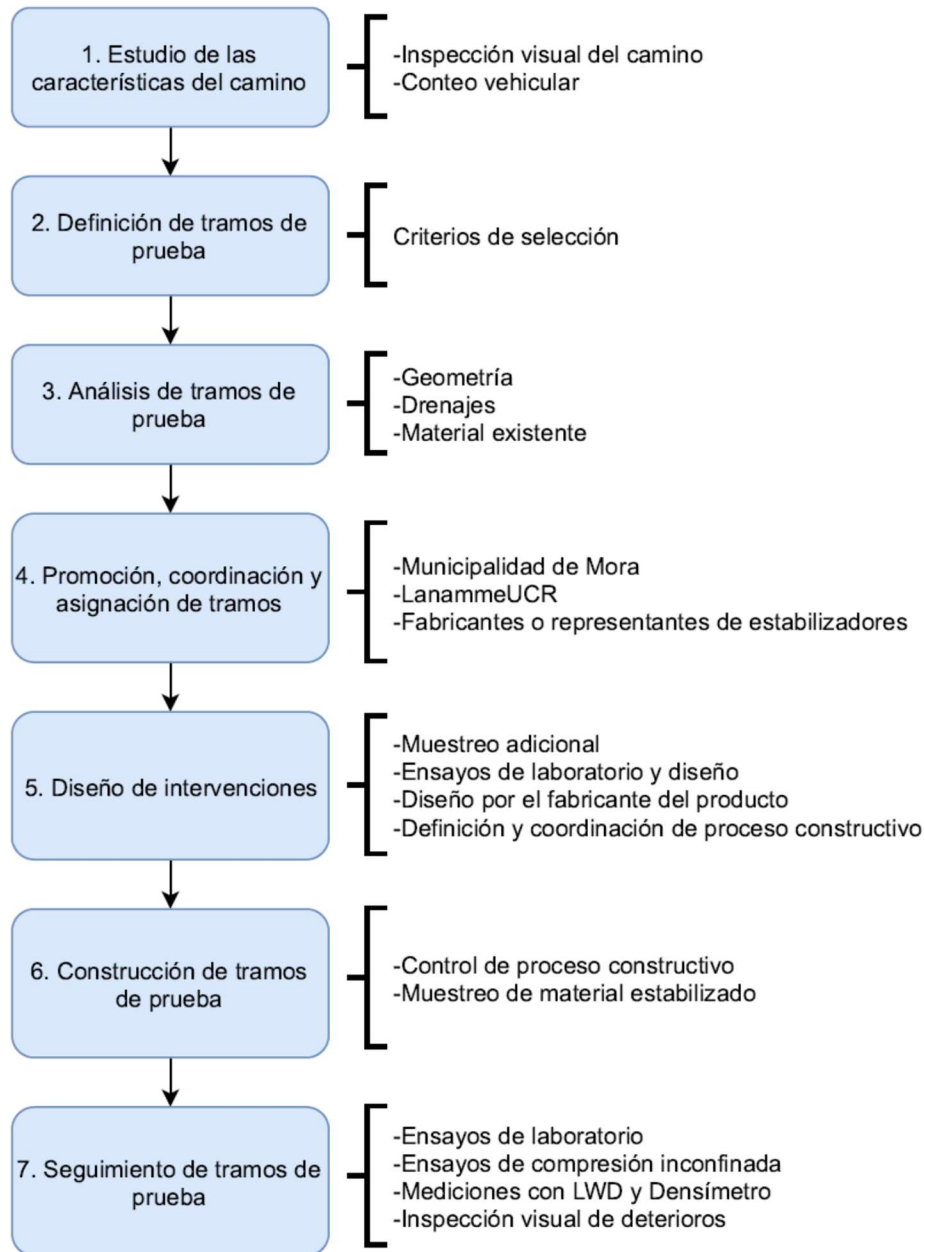


Figura 14. Metodología para la estabilización de tramos de prueba en cantón de Mora.



7.3 Características del camino.

El camino cantonal con código C1-07-016 comunica el pueblo de Piedras Negras con El Pito-Jaris, lo que constituye una parte importante de la ruta intercantonal entre Mora y Puriscal, así como ruta alterna a la Ruta Nacional N° 239, como se muestra en la Figura 1. Los principales usuarios del camino son los habitantes de la zona y productores locales. El trazado es ondulado, con pendiente longitudinal variable ($< 15\%$), de ancho reducido (< 5 m) y una superficie de suelo o grava. El principal problema es la reducción de transitabilidad durante la época lluviosa, por la presencia de suelos muy susceptibles a la humedad, lo que genera zonas fangosas y blandas, donde sólo se puede viajar en vehículo todo terreno.

7.3.1 Condiciones existentes en el camino.

El Anexo 1 presenta una serie de fotografías de las condiciones originales del camino en agosto del año 2015, donde se identificaron los siguientes elementos:

- Ancho de calzada variable ($A = 4,0-5,0$ m).
- Pendiente longitudinal máxima en tramos de ascenso ($G_{max} \approx 10-15\%$).
- Pendiente transversal variable ($B \approx 0-6\%$).
- Algunas curvas cerradas ($R < 20m$).
- Superficie de ruedo compuesta por una combinación de grava sin seleccionar con algunos sobretamaños y suelo arcilloso de alta plasticidad.
- Zonas con problemas de transitabilidad cuando llueve, principalmente en los tramos de ascenso y generación de polvo moderado en condiciones secas.
- Ahuellamientos moderados ($h = 3-8$ cm) y severos ($h > 8$ cm), principalmente en las zonas con poca proporción de grava y en tramos de ascenso.
- Cobertura de árboles que produce sombra, falta de cunetas y salidas de agua en casi todo el camino.



Debido a lo anterior, la UTGV de la Municipalidad de Mora realizó una intervención de todo el camino en febrero de 2016, previo a la construcción de los tramos de prueba. Se realizaron actividades de limpieza, descuaje, reconformación de la calzada, conformación de cunetas a ambos lados del camino y salidas laterales, como se observa en el Anexo 2.

7.3.2 Sección transversal típica.

Se definió una sección transversal típica con un ancho de 4,5 a 5,0 m, cunetas de 1,10 m de ancho y 0,30 m de profundidad y capa a estabilizar de 0,15 a 0,20 m de espesor. Esta sección transversal se utilizó para las intervenciones de reconformación y estabilización del camino, proceso en el cual se buscó obtener, en la medida de lo posible y de acuerdo con las condiciones del camino, las dimensiones mostradas en el Anexo 3.

7.3.3 Tránsito vehicular.

La determinación del tránsito vehicular estuvo a cargo de la Unidad de Gestión Municipal del PITRA, LanammeUCR y se midió por medio de contadores vehiculares tipo *Radar*, los cuales clasifican el tránsito en cinco categorías por tamaño de vehículo. La ubicación y datos completos de los tres conteos vehiculares de 24 horas, realizados en 2015, 2017 y 2019, cuyos resultados se presentan en la Tabla 7 y Anexo 4.

Se puede observar que, según los conteos realizados, el TPD varía desde 60 hasta 120 vehículos por día, siendo el dato más reciente de 77 vehículos por día. Además, se registró una proporción de entre 6% y 8% de vehículos pesados tipo C2 (dos ejes), que es el vehículo de carga típico que utilizan los productores de la zona.



Tabla 7. Resumen de conteos vehiculares y tránsito promedio diario

Conteo	Fecha	CLASE			Total (TPD)
		1	2	3	
		Bicicletas y Motos	Livianos y Pick-Up	Camión C2 y C2+	
1	Mayo 2015	31	81	10	122
		25%	66%	8%	100%
2	Junio 2017	14	42	4	60
		23%	70%	7%	100%
3	Octubre 2019	18	54	5	77
		23%	70%	6%	100%

7.3.4 El clima.

La información acerca de las variables climáticas a las cuales se sometieron los tramos de prueba, fue obtenida de la estación meteorológica del Instituto Meteorológico Nacional de Costa Rica (IMN), que está ubicada a 3 km del camino, en la Universidad para la Paz, Ciudad Colón, Mora. Se solicitó el registro disponible de la estación y se obtuvo datos entre enero de 2016 y setiembre de 2019, respecto de precipitación total diaria, temperatura promedio diaria y humedad relativa promedio diaria. Estos datos se adjuntan en el Anexo 5, junto con la ubicación exacta de la estación meteorológica.

La Figura 15 muestra el resumen de los datos meteorológicos obtenidos, en el cual se puede observar que el camino está sometido a una precipitación promedio anual aproximada de 2.000 mm, temperatura promedio anual cercana a 23 °C y humedad relativa promedio de casi 78%. Lo anterior muestra que las condiciones de transitabilidad del camino, se pueden dificultar frecuentemente debido a la constante precipitación y alta humedad de la zona, en combinación con la presencia de suelos finos arcillosos de alta plasticidad, las condiciones de pendientes longitudinales, tránsito pesado de la ruta y curvas cerradas con radios menores a 20m. Estas condiciones influyen directamente en el desempeño y durabilidad de los materiales estabilizados, como se comenta más adelante en el análisis de cada tramo de prueba.

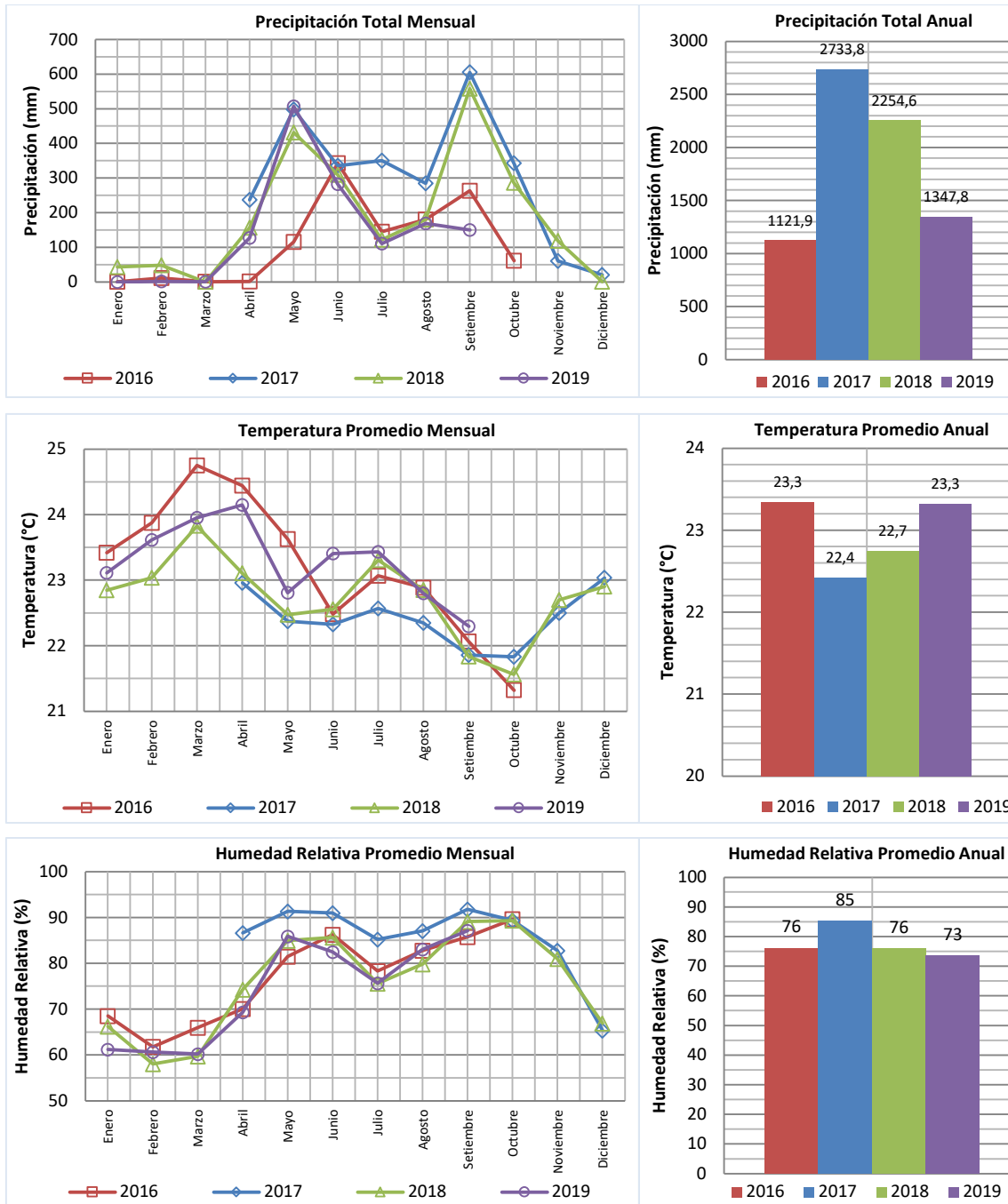


Figura 15. Resumen de información meteorológica asociada al camino
Fuente: Estación Meteorológica 84209 Universidad para la Paz, Mora (IMN).



7.4 Selección de los tramos de prueba.

7.4.1 Criterios de selección.

La definición de tramos de prueba fue realizada por la UTGV de la Municipalidad de Mora con el acompañamiento del LanammeUCR. En este proceso se le dio prioridad a la estabilización de las zonas con mayor pendiente longitudinal, donde frecuentemente se dificulta transitar por las condiciones de humedad y suelos blandos. Se eligieron finalmente seis tramos de prueba cuya ubicación y características se muestran en el mapa de la Figura 16 y en la Tabla 8, respectivamente. Los criterios de selección utilizados fueron los siguientes:

- Ancho de calzada entre 5,0 y 6,0 m.
- Longitud variable entre 80 y 250 m.
- Pendiente máxima 15%.
- Sección rectilínea o con radio de curvatura mínimo de $R \geq 20$ m.
- Separación entre tramos de al menos 50 m de longitud.
- Zonas con problemas de transitabilidad por suelos blandos.
- Secciones de camino sin problemas de estabilidad de taludes.
- Existencia de cunetas no revestidas y salidas hacia cauces o terrenos cercanos.
- Preferible poca cobertura de árboles para evitar sombra.

7.4.2 Análisis de tramos.

Se realizó una caracterización general de cada tramo con las siguientes características:

- Geométrica básica: ancho promedio, longitud, pendiente longitudinal máxima y radio mínimo de curvatura.
- Sondeos a cielo abierto o calicata para observar las capas de material y suelo existente en el camino y tomar muestras.

Informe LM-PI-GM-INF-02-2021	Junio, 2021	Página 50 de 122
------------------------------	-------------	------------------



- Ensayos de laboratorio para caracterización de los suelos.
- Ensayos de campo: CBR en sitio con el DCP y ensayo de campo del Módulo de Superficie M_0 con el LWD.

Los resultados del proceso de análisis de tramos se adjuntan en el Anexo 6 y se resumen en la Tabla 8.

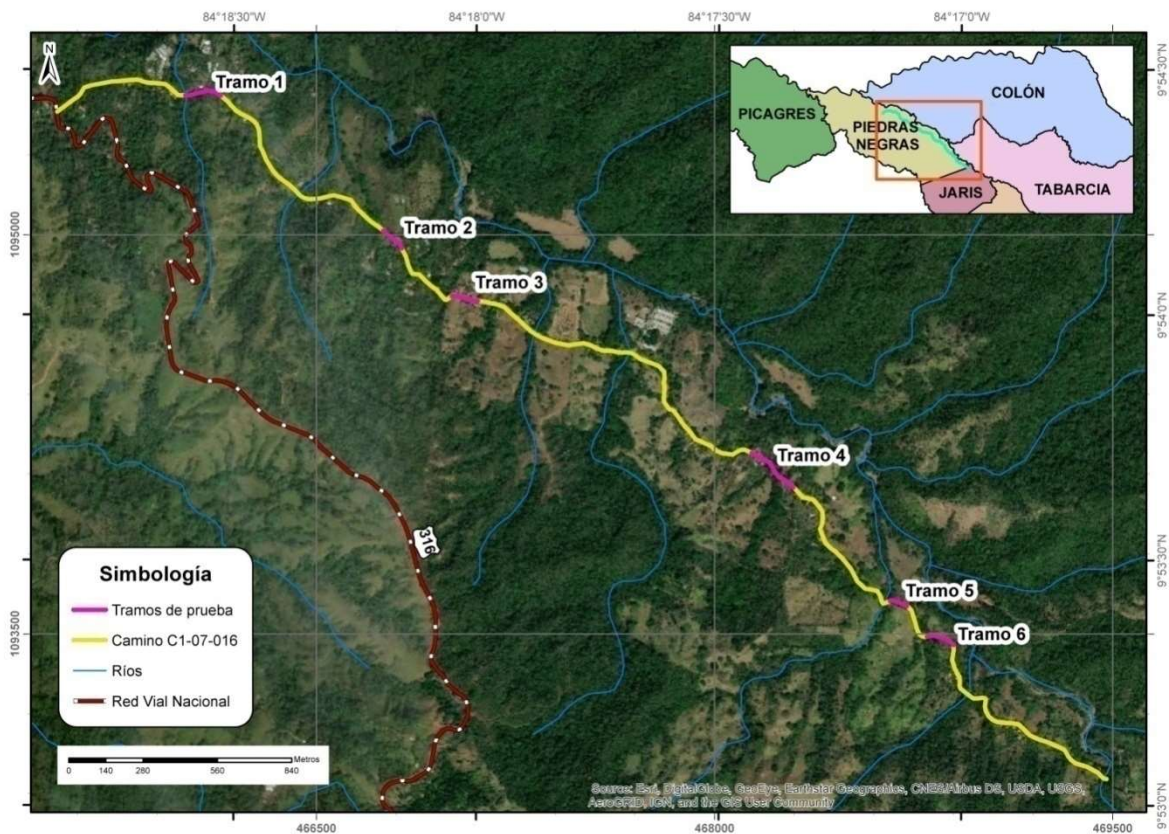


Figura 16. Mapa de ubicación de tramos de prueba



Tabla 8. Resumen de características geométricas de los tramos de prueba

Tramo de Prueba N°	Estación		Longitud (m)	Ancho promedio (m)	Pendiente máxima (%)	Radio mínimo (m)
	Inicio	Final				
1	0+600	0+720	120	5,5	9	30
2	1+550	1+650	100	5,5	12	30
3	1+900	2+000	100	4,5	15	50
4	3+360	3+560	200	4,5	15	20
5	4+250	4+330	80	5,0	5	40
6	4+430	4+530	100	5,5	12	20

Tabla 9. Resumen de caracterización de suelos de los tramos de prueba

Tramo de Prueba N°	Sondeo	Límites de Atterberg			Tipo de suelo (SUCS)	Tipo de suelo (AASHTO)	Espesor capa de rueda*	CBR en sitio promedio DCP (%)		Módulo de superficie promedio M_0^{**} (MPa)
		LL	LP	IP				Capa de rueda	Suelo sub.	
1	1	38	24	14	SC	A-6(2)	10	35,6	24,8	36,7
2	2	61	32	29	MH	A-7-5(20)	20	18,4	6,7	30,9
3	3	63	38	25	MH	A-7-5(20)	13	40,1	5,6	35,4
4	4	73	38	35	MH	A-7-5(30)	15	11,0	5,4	36,3
4	5	54	32	22	MH	A-7-5(12)	10	18,0	17,8	44,1
5	6	47	29	18	ML	A-7-6(20)	15	26,5	6,7	69,5
6	7	72	51	21	MH	A-7-5(22)	10	5,7	7,4	33,2

*Capa de suelo mezclada con grava, **Módulo de superficie sobre capa de rueda existente

Fuente: Adaptado de Informe de Laboratorio I-1012-15 y bitácoras de campo, LanammeUCR (ver Anexo 6)



8. Técnicas de estabilización aplicadas

La asignación o distribución final de los tramos de prueba para los diferentes productos estabilizadores se muestra en la Tabla 10.

Tabla 10. Asignación de tramos de prueba y productos estabilizadores aplicados.

Tramo de Prueba N°	Tipo de Estabilización	Estabilización		Fecha de construcción
		Subtipo	Nombre genérico (*)	
1	No tradicional	Estabilizador Iónico	IÓNICO I	07/02/2017
2	Tradicional	Cementicia	CEMENTO	18/01/2017
3	No tradicional	Estabilizador Iónico	IÓNICO II	06/12/2016
4	No tradicional	Estabilizador Iónico	IÓNICO II	07/12/2016
5	No tradicional	Sistema estabilizador a base de polímero y producto Iónico	POLÍMERO-IÓNICO	19/06/2017
6	Tradicional	Cementicia	CAL HIDRATADA	15/03/2018

(*) Para efectos de este estudio se usarán los nombres genéricos y se enumeran para distinguir los que tienen similar naturaleza.

A continuación, se presentan los resultados de cada tramo de prueba, con una breve descripción del producto utilizado, el diseño aplicado, observaciones sobre el procedimiento constructivo, resultados del seguimiento realizado en pruebas de campo, laboratorio e inspección visual, así como una valoración sobre las lecciones aprendidas, beneficios y limitaciones observadas.

Se adjunta el detalle de la información recabada durante todo el proceso para cada tramo en los Anexos del 7 al 11.



8.1 Tramo 1: Estabilización de suelo existente con producto IÓNICO I

8.1.1 Descripción del producto.

El producto IÓNICO I es un estabilizador de suelos, el cual modifica las propiedades de adsorción de humedad en los suelos finos, principalmente arcillosos. La aplicación del producto modifica permanentemente la afinidad que tiene el suelo arcilloso por el agua y lo vuelve hidrofóbico. La reacción que se produce durante, su aplicación, contribuye a la expulsión del agua adherida entre las moléculas de arcilla, lo que propicia una mejor compactación o aumento de densidad seca respecto a un suelo no tratado. Además, puede utilizarse en combinación con estabilizadores tradicionales como el cemento o cal, de forma que se alcanza mayor resistencia con la misma cantidad de producto o se reduce la cantidad de cal o cemento respecto a una estabilización de suelo donde no se use el estabilizador IÓNICO I. Según lo indicado por el fabricante, los principales usos y beneficios al utilizar este estabilizador se resumen en la *Tabla 11*, en el Anexo 7.1 se adjunta la información completa tomada de la ficha técnica del producto.

Tabla 11. Usos y beneficios del estabilizador IÓNICO I

Usos	Beneficios técnicos	Beneficios económicos y ambientales
<ul style="list-style-type: none"> • Consolidación de caminos rurales, forestales, urbanos, mineros y otros. • Estabilización de suelos de subrasante para vías. • Posible reducción de cal (hasta un 50%) y cemento (hasta un 40%) en estabilizaciones de suelo. • Mejoramiento de fundación para vías ferroviarias, estacionamientos, terraplenes, rellenos, pistas de aterrizaje y otros. 	<ul style="list-style-type: none"> • Reduce el índice plástico del suelo. • Aumenta la densidad seca máxima. • Aumenta el valor de soporte CBR. • Disminuye el hinchamiento. • Reduce la generación de polvo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Transitabilidad permanente del camino. • Mejora la trabajabilidad de suelos arcillosos. • Reducción de costos en materiales y proceso constructivo. • Reducción de costos de mantenimiento de la vía. • No es tóxico ni produce impacto ambiental nocivo.

Fuente: Información suministrada por el proveedor del aditivo



8.1.2 Diseño para la estabilización.

El diseño de la estabilización o dosificación para aplicar en el *Tramo 1* fue realizado por el fabricante y el proveedor en Costa Rica. Se utilizó como referencia la información de caracterización del tramo que se resume en la *Tabla 8* y Anexo 6. El resumen del diseño aplicado al tramo de prueba se muestra en la Tabla 12.

Tabla 12. Dosificación de diseño para el Tramo 1_IÓNICO I

Variable	Valor
Espesor de capa estabilizada	0,15 m
Ancho promedio de calzada estabilizada	5,5 m
Longitud del tramo de prueba	120 m
Área del tramo de prueba	600 m ²
Volumen de suelo estabilizado	90 m ³
Volumen total de producto estabilizador aplicado	5,2 L
Dosificación por área de producto estabilizador	0,009 L/m ²
Dosificación por volumen de producto estabilizador	0,06 L/m ³

Fuente: Información suministrada por el proveedor del aditivo

8.1.3 Proceso constructivo.

Se aplicó el procedimiento constructivo recomendado por el fabricante y el distribuidor de estabilizador IÓNICO I, en acuerdo con la UTGV de la Municipalidad de Mora y el LanammeUCR. En este caso la UTGV de la Municipalidad de Mora aportó la maquinaria y mano de obra para la construcción del tramo de prueba, de la forma que se describe en el Anexo 7.2, para obtener el acabado final que se observa en la Figura 17.



Figura 17. Acabado final del Tramo 1_IÓNICO I

8.1.4 Costos.

Se estimaron los costos de intervención del tramo de prueba, de acuerdo con lo indicado por la UTGV de la Municipalidad de Mora y la empresa proveedora, respecto del costo del producto estabilizador y equipo de construcción aportado; sin embargo, es importante mencionar que estos datos variarán de acuerdo con la ubicación y características de cada camino a intervenir, pues consideraciones de accesibilidad, longitud del tramo y disponibilidad de recurso humano incidirán en cada proyecto a ejecutar. La estimación de costos detallada se adjunta en el Anexo 7.3 y se resume en la Tabla 13.

Tabla 13. Estimación de costos para estabilización con IÓNICO I

Rubro	Descripción	Costo	
Mano de obra	Personal técnico para construcción: Encargado de obra, operadores de equipo, operarios y peones.	¢ 277 900,00	
Equipo y maquinaria	Equipo utilizado en la construcción del tramo de prueba: Niveladora, Backhoe, Tanque de Agua, Compactador, Vagoneta, Camión y otros.	¢ 1 224 800,00	
Materiales	Producto estabilizador IÓNICO I y Piedra Cuarta (TM=25mm)	¢ 1 883 300,00	
Costos indirectos	Imprevistos, personal de oficina, verificación del laboratorio.	¢ 169 300,00	
Total		¢ 3 555 300,00	
Producción estimada	5,5 m x 250 m = 1375 m ²	Costo unitario/m²	¢ 2 585,67
	5,5 m x 250 m x 0,15 m = 206,25 m ³	Costo unitario/m³	¢ 17 237,82

Nota: los costos se presentan para una producción máxima estimada de dos veces lo obtenido en el tramo de prueba, debido a que el equipo y maquinaria se subutiliza en una sección de camino tan corta.



8.1.5 Seguimiento.

Se recopiló información sobre el efecto del producto estabilizador en el material del *Tramo 1*, con ensayos de laboratorio, pruebas de campo y monitoreo de la evolución de la condición superficial. Los resultados de cada actividad de seguimiento realizada se presentan a continuación.

Ensayos de laboratorio

Se realizaron ensayos de Análisis Granulométrico, Límites de Atterberg, Proctor Estándar y CBR de laboratorio para muestras de suelo natural y suelo estabilizado, ambas muestras fueron tomadas en sitio durante el proceso de construcción del *Tramo 1*.

Los resultados de los ensayos de laboratorio realizados a las muestras tomadas en el sitio, de suelo sin producto lónico I y suelo con producto lónico I, se pueden observar en la Tabla 14 y Anexo 7.4.

Tabla 14. Caracterización del material del Tramo 1_IÓNICO I.

Tipo de muestra	Límites de Atterberg			Densidad Máxima Proctor (kg/m ³)	Contenido de humedad Óptimo (%)	CBR de laboratorio*
	LL	LP	IP			
Suelo estabilizado (sin IÓNICO I)	42	28	14	1.610	20,5	4,9
Suelo natural (con IÓNICO I)	42	27	15	1.668	18,2	2,7

Fuente: Adaptado del Informe I-0254-17, I-0266-17, I-0271-17 Laboratorio Geotecnia, LanammeUCR

Se elaboraron especímenes cilíndricos de ensayo del material estabilizado para fallar a la compresión inconfiada a diferentes edades, a lo cuales se les aplicó curado por aspersión de agua dos veces al día, por siete días en el laboratorio. La Figura 18 muestra que la resistencia, en condiciones secas al aire, alcanzó un máximo de 1,31 MPa a los 31 días. Por otro lado, cuando se aplica el condicionamiento por saturación, la resistencia obtenida es de sólo 0,22 MPa, en comparación con la resistencia de 1,22 MPa obtenida a los 59 días en condiciones secas.

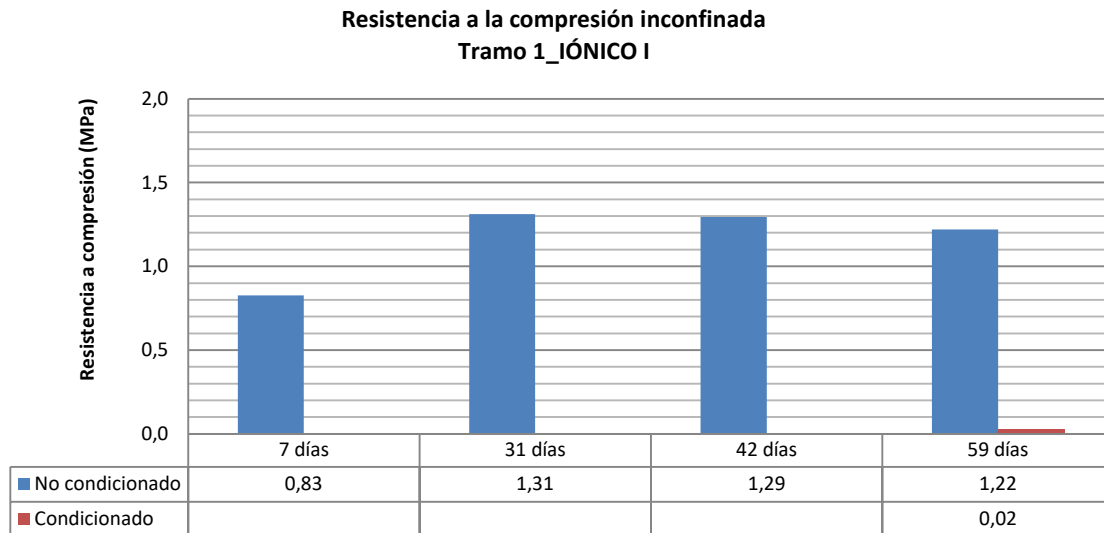


Figura 18. Resultados de compresión inconfiada del Tramo 1_IÓNICO I

Fuente: Con base en bitácoras de Laboratorio de Geotécnica, LanammeUCR.

De acuerdo con lo anterior, puede interpretarse que, en este tramo de prueba, el producto estabilizador IÓNICO I, no generó adhesión o cementación entre las partículas del suelo, ya que no incrementó la resistencia a la compresión inconfiada luego de ser condicionado con saturación. Por otro lado, se observó una mínima diferencia en las propiedades de plasticidad, contenido de humedad óptimo, densidad máxima de compactación de Próctor Estándar y CBR de laboratorio entre las muestras de suelo sin producto Iónico I y suelo con producto Iónico I. Sin embargo, no se puede asegurar que estas diferencias sean producto de la aplicación del producto iónico o de la variabilidad del ensayo.

Se observa que el suelo con aditivo mantiene un CBR de laboratorio que se puede considerar bajo, en comparación con materiales granulares como subbase granular (CBR $\geq 20\%$), base granular o capa granular de rodadura (CBR $\geq 80\%$).

Ensayos de campo

Se realizó mediciones de campo para dar seguimiento a la condición del *Tramo 1*, a diferentes edades desde la construcción y en cuatro ubicaciones diferentes. Se midió la densidad y contenido de humedad con el densímetro nuclear y se realizaron mediciones



del Módulo de Superficie M_0 con el LWD, cuyos resultados se resumen en la Figura 19 y Anexo 7.5.

Se puede observar que la densidad seca presenta una tendencia al aumento en el tiempo para los estacionamientos 0+025, 0+050 y 0+100, mientras que en el estacionamiento 0+075, se mantuvo casi constante entre los 8, 30 y 58 días. El contenido de humedad presenta una tendencia a la reducción en el tiempo, similar en los cuatro estacionamientos. En los estacionamientos 0+025 y 0+050 se observa que la densidad se mantuvo muy cerca o superior de la densidad máxima de 1.668 kg/m^3 , ya que en el estacionamiento 0+025, se alcanzó 1.699 kg/m^3 a los 58 días y en el estacionamiento 0+050, se alcanzó valores de 1.914 kg/m^3 y 1.846 kg/m^3 a los 30 días y 58 días, respectivamente. En el estacionamiento 0+100, se observa que durante la construcción el contenido de humedad superó el óptimo para compactación (21,6%), por lo que no se obtuvo la densidad máxima requerida. A pesar de esto, se observa una tendencia al aumento en el tiempo, lo que llevó a un máximo de 1.593 kg/m^3 a los 8 días, acercándose al 95% de la densidad máxima (1.604 kg/m^3).

Los resultados obtenidos en el *Tramo 1* para el módulo de superficie M_0 , son similares en las estaciones 0+025, 0+075 y 0+100, a los 8, 30 y 58 días. En estas estaciones el M_0 varía desde un mínimo de 42,56 MPa hasta un máximo de 95,5 MPa. Se observa que en la estación 0+100, se obtuvo los menores valores relativos de módulo de superficie, que a su vez están asociados con las menores densidades relativas y mayores valores de contenido de humedad. Además, en la estación 0+050, se obtuvo los valores máximos de 230,4 MPa a los 30 días y 167,1 MPa a los 58 días, lo cual coincide con la ubicación donde se obtuvo los valores máximos de densidad y mínimos de contenido de humedad.

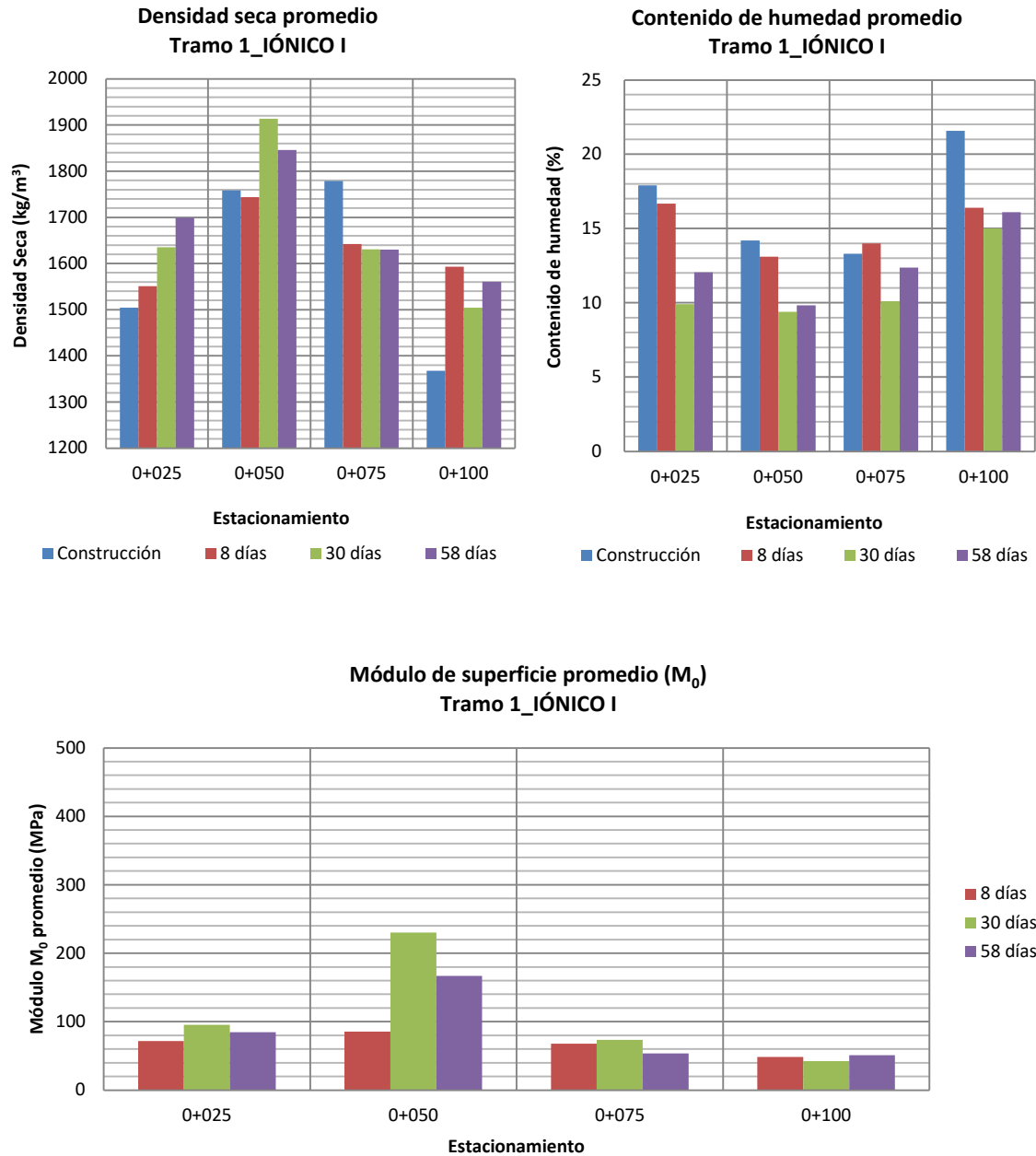


Figura 19. Resultados de ensayos de campo para el Tramo 1_IÓNICO I

Fuente: Con base en bitácoras de Laboratorio de Geotécnica y de Campo, LanammeUCR.



Se puede interpretar de lo anterior, que el material estabilizado mantiene su comportamiento típico de suelo fino arcilloso, que al ser modificado por el producto estabilizador y el aporte del agregado para dar textura superficial (piedra cuarta), presenta un aumento en el módulo de superficie respecto de la condición original indicada la Tabla 9, donde se había obtenido un M_0 promedio de 36,7 MPa.

Adicionalmente, como se mencionó en el párrafo anterior, el aumento observado en el M_0 también podría deberse también al proceso de compactación y contenido de humedad presente durante las mediciones.

Evaluación visual

Los resultados de la evaluación visual del *Tramo 1*, estabilizado con el producto IÓNICO I, realizada por personal de la UGM del LanammeUCR, a los 6, 10, 13 y 32 meses desde la construcción, se describen a continuación. En la Tabla 15, se presentan el Índice de Condición Superficial (URCI) para cada evaluación y una serie de comentarios relacionados con la condición observada. La **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** muestra la curva de condición, de acuerdo con el índice obtenido en cada evaluación visual. En el Anexo 7.6, se adjunta una serie de fotografías de este tramo de prueba que muestran la condición existente durante cada evaluación.

El *Tramo 1*, desde su construcción hasta octubre de 2019, fue sometido a un tránsito total estimado de 73.263 vehículos, lo que significa cargas aproximadas de 5.636 Ejes equivalentes de diseño (ESAL) y a una precipitación total estimada de 6.336 mm de lluvia (cerca de tres períodos lluviosos completos), desde su construcción hasta octubre de 2019. Además, el promedio anual de precipitación es de 1864 mm entre 2016 y 2019, de acuerdo con los datos disponibles indicados en la Figura 15.

La capa de suelo existente estabilizada con IÓNICO I se mostró inicialmente como un material denso, consolidado entre las partículas finas de suelo y las gruesas de agregado existente, posteriormente el agregado (piedra cuarta) colocado para obtener textura superficial se soltó y se empezó a acumular a los lados de la calzada. En condiciones secas se observó una capa superficial, de partículas finas del suelo sueltas sobre la superficie de la calzada, lo que producía polvo leve. A los cuatro meses comenzó a formarse un



ahuellamiento, que se extendió posteriormente a todo el ancho de la calzada con una longitud de 30 m, esto como producto del aparente afloramiento de agua subterránea en ese sitio específico. En la zona de mayor pendiente y curvatura se formaron surcos por erosión pluvial, que luego se ampliaron en ancho y profundidad para formar cunetas secundarias a los lados de la calzada. Las actividades de mantenimiento realizadas por la municipalidad fueron solamente limpieza y chapea de vegetación en las cunetas y espaldones, pero la transitabilidad durante la época lluviosa, se mantuvo durante todo el período de evaluación del tramo de prueba.

Tabla 15. Índice de condición superficial (URCI) del Tramo 1_IÓNICO I

Evento	Fecha	Meses desde construcción	URCI	Comentarios
Construcción	2/7/2017	0	100	<ul style="list-style-type: none"> Condición superficial excelente, sin deterioros, producto de la conformación y compactación del material de capa de ruedo existente estabilizado con IÓNICO I.
Evaluación # 1	30/08/2017	6	77,2	<ul style="list-style-type: none"> A 30 días se observó desprendimiento del agregado colocado para obtener textura superficial y partículas finas del suelo, que producen polvo en condiciones secas. A 3 meses se observa que el agregado desprendido se acumuló en los lados de la calzada, pero se mantiene la conformación sin deterioros severos. A 4 meses se observa la aparición de un ahuellamiento severo en el lado izquierdo de la vía y leve erosión pluvial en puntos aislados. A 6 meses se observa vegetación en cunetas, agregado suelto leve, crecimiento del ahuellamiento observado anteriormente y puntos aislados de erosión pluvial.
Evaluación # 2	20/12/2017	10	70,0	<ul style="list-style-type: none"> A 8 meses se observa exposición de las partículas de agregado gruesas existentes en la capa estabilizada, la zona de ahuellamiento se volvió severa y abarca la mitad de la calzada con acumulación de humedad. Se observa crecimiento de los surcos por erosión pluvial y zonas localizadas con leve formación de lodo. A 10 meses se observa pérdida de la conformación en la calzada en la zona del ahuellamiento en todo el ancho de la calzada y longitud de 20 m, agregado suelto leve, surcos por erosión pluvial y huecos en puntos aislados.
Evaluación # 3	23/03/2018	13	65,0	<ul style="list-style-type: none"> Se observa crecimiento de la zona de ahuellamiento y deformación de la calzada a 25m de longitud. Se observa agregado sueltos en ambos lados de la calzada Los surcos por erosión pluvial se han ampliado y profundizado formando una cuneta secundaria sobre la calzada.



Evento	Fecha	Meses desde construcción	URCI	Comentarios
Evaluación # 4	24/10/2019	32	52,6	<ul style="list-style-type: none"> La erosión pluvial ha removido la capa superficial del suelo fino estabilizado y se observa agregado grueso expuesto. Se mantiene la deformación severa de la calzada en la zona que inició como un ahuellamiento y se extendió a una longitud mayor a 30 m. Los surcos por erosión pluvial se extendieron en longitud y ancho formando cunetas secundarias a ambos lados de la calzada. A pesar del deterioro se mantiene la transitabilidad en el tramo de prueba, en condiciones de humedad.

Evaluación Visual Tramo 1_IÓNICO I

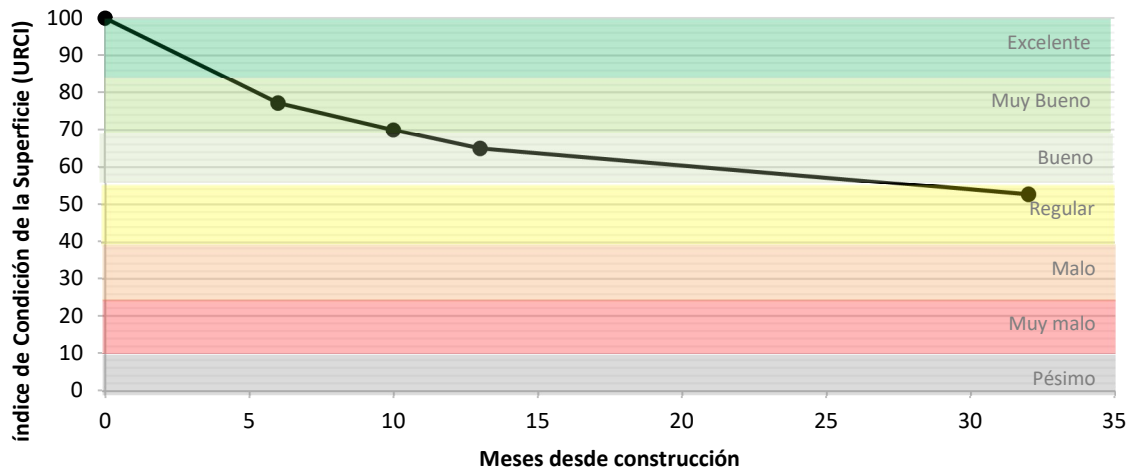


Figura 20. Curva de evaluación visual del Tramo 1_IÓNICO I

De acuerdo con los resultados de los ensayos de laboratorio, pruebas de campo y la evaluación visual realizada en el tramo de prueba, a continuación, se describen una serie de ventajas, beneficios y limitaciones asociadas a lo observado en el *Tramo 1*, estabilizado con el producto IÓNICO I.



8.1.6 Ventajas y beneficios identificados con el uso del producto IÓNICO I.

- La dosificación o diseño de mezcla de suelo y el producto IÓNICO I, fue definida por el fabricante del producto, lo que facilita el proceso de contratación y compra para los clientes interesados.
- Se observó que el proceso de dosificación y aplicación del producto en sitio es sencillo, ya que se diluye en agua para compactación y se aplica por riego.
- En el *Tramo 1*, no se observó cambios significativos en la plasticidad del suelo arcilloso, densidad máxima Proctor, contenido de humedad óptima y CBR de laboratorio, entre el suelo natural y el suelo con producto Iónico I. Esto sugiere que el suelo se continúa comportando como tal y no se obtiene cementación o adhesión de partículas que genere aumento de rigidez o resistencia a la compresión de la capa estabilizada.
- En el *Tramo 1* se mantuvo la transitabilidad durante el período de evaluación, lo que sugiere que el producto puede ayudar a mejorar las subrasantes de suelos arcillosos, de baja capacidad de soporte y que son susceptibles a la humedad.
- La estabilización de suelo con IÓNICO I es de bajo costo relativo, ya que se utiliza bajas dosificaciones y el método de aplicación es sencillo.
- Se puede mantener la superficie estabilizada por medio de actividades de reconformación y compactación, con equipo convencional como motoniveladora y compactadora y además realizar aplicaciones sucesivas para reforzar el efecto del producto IÓNICO I.

8.1.7 Limitaciones identificadas con el uso del producto IÓNICO I.

- El diseño de mezcla o dosificación lo realiza exclusivamente el fabricante del producto, lo cual podría limitar el conocimiento sobre los criterios y la metodología utilizados para definir la cantidad de producto a aplicar, ante diferentes condiciones de los suelos a estabilizar y poder garantizar una mejoría en el desempeño ligado

Informe LM-PI-GM-INF-02-2021	Junio, 2021	Página 64 de 122
------------------------------	-------------	------------------



al aumento de vida útil respecto al material sin estabilizar. Generar experiencia respecto de cuáles suelos plásticos generan una mayor tasa de mejora.

- Según indica el fabricante del producto, se requiere un determinado contenido de minerales arcillosos para que el producto reaccione, por lo tanto, en caminos con material arenoso o grava sería necesario aportar suelo arcilloso.
- En el *Tramo 1*, del producto IÓNICO I, no se identificó la generación de adhesión entre las partículas del suelo, lo que tampoco produjo resistencia a la erosión pluvial en la sección de mayor pendiente longitudinal.
- En el Laboratorio se observó que la resistencia a la compresión confinada obtenida en condición seca, correspondiente al material estabilizado en el Tramo 1, se reduce significativamente cuando se somete a condiciones de saturación.
- El agregado que se colocó para producir textura superficial en la capa estabilizada del *Tramo 1*, se soltó rápidamente de la superficie compactada, debido a la abrasión del tránsito vehicular y erosión pluvial.
- Según se indica por parte del fabricante la reacción del suelo con el producto IÓNICO I se va desarrollando paulatinamente, por lo que además puede requerir de aplicaciones sucesivas para reforzar el efecto en el tiempo.

8.2 Tramo 2: Base estabilizada con CEMENTO

8.2.1 Descripción del producto.

Este producto es un cemento hidráulico fabricado especialmente para la estabilización de suelos y materiales granulares. La principal diferencia con un cemento hidráulico convencional es que genera menor calor de hidratación, por lo que produce menor contracción y posibilidades de agrietamiento en el material estabilizado, para una misma resistencia a la compresión, lo que también implica mayores tiempos de reacción o evolución de ganancia de resistencia en periodos más extensos. El procedimiento de diseño y aplicación es el mismo que se utiliza tradicionalmente en las estabilizaciones con

Informe LM-PI-GM-INF-02-2021	Junio, 2021	Página 65 de 122
------------------------------	-------------	------------------



cemento, ya sea en suelos o materiales granulares como bases o subbases de pavimentos. Según lo indicado por el fabricante, los principales usos y beneficios al utilizar este estabilizador se resumen en la *Tabla 16*, en el Anexo 8.1 se adjunta la información completa tomada de la ficha técnica de este producto.

Tabla 16. Usos y beneficios del CEMENTO

Usos	Beneficios técnicos	Beneficios económicos y ambientales
<ul style="list-style-type: none"> • Mejoramiento y estabilización de caminos municipales, vías vecinales, calles internas de fincas o empresas productoras. • Construcción de pavimentos unicapa. • Bases para pavimento de vías de bajo y alto volumen de tránsito vehicular. 	<ul style="list-style-type: none"> • Mayor durabilidad debido a su mayor capacidad de soporte, así como a su mayor resistencia a los agentes atmosféricos. • Reduce el riesgo de bombeo de finos y susceptibilidad a la humedad. • Reduce la plasticidad del suelo, aumenta su capacidad de soporte CBR y resistencia a la compresión. • Reduce el riesgo de agrietamiento por contracción, comparado con cementos convencionales. • Reduce los espesores de las capas de bases de los pavimentos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Reducción de costos por acarreo en zonas con escasez de fuentes de materiales granulares. • Reducción de actividades de mantenimiento. • Extensión de la vida útil de las capas estabilizadas. • Reducción de emisiones de carbono y consumo de combustibles fósiles respecto a una aplicación convencional con materiales granulares. • No es tóxico ni nocivo para el ambiente.

Fuente: Información suministrada por el proveedor del aditivo

8.2.2 *Diseño para la estabilización.*

El diseño de dosificación de cemento para aplicar en el *Tramo 2* fue realizado por el laboratorio asignado por el fabricante del producto estabilizador. Se inició con el diseño de dosificación de cemento para el material de rasante existente (suelo y grava), sin embargo, se determinó que la dosificación resultante para cumplir con la resistencia de diseño debía ser muy alta (7,4 sacos/m³), esto debido al contenido de finos y alta plasticidad del suelo, características de un material de mala calidad. Ante esto se propuso aportar material de base granular graduación C, para estabilizarlo con CEMENTO, con la dosificación que se



resume en la Tabla 17. Se adjuntan los informes de laboratorio correspondientes al proceso de diseño de dosificación en el Anexo 8.2.

Tabla 17. Dosificación de diseño para el Tramo 2_CEMENTO

Variable	Valor
Espesor de capa estabilizada	0,15 m
Ancho promedio de calzada estabilizada	5,5 m
Longitud del tramo de prueba	100 m
Área del tramo de prueba	550 m ²
Volumen de base granular	82,5 m ³
Dosificación de diseño por peso seco	3,3 %
Resistencia a la compresión de diseño (7 días)	3,0 MPa (30 kg/cm ²)
Cantidad total de producto estabilizador aplicado	124 sacos de 50 kg (6200 kg)
Dosificación por área de producto estabilizador	0,23 sacos*/m ² (11,3 kg/m ²)
Dosificación por volumen de producto estabilizador	1,5 sacos*/m ³ (75 kg/m ³)

Fuente: Incluye datos del Informe de Laboratorio 4947-2016 del Laboratorio CACISA, 2016.

8.2.3 Proceso constructivo.

Se aplicó el procedimiento constructivo recomendado por el proveedor del producto. Además del CEMENTO, el proveedor aportó el material de base granular, motoniveladora y compactador de 8 toneladas. En el Anexo 8.3 se describe el proceso constructivo cuyo acabado final se muestra en la Figura 21, donde se aprecia la superficie con el sello de imprimación.



Figura 21. Acabado final del Tramo 2_CEMENTO



8.2.4 Costos

Los costos de construcción del tramo de prueba se estimaron de acuerdo con lo indicado por la empresa proveedora y por la UTGV de la Municipalidad de Mora. Lo anterior, respecto del costo del cemento, base granular, equipo, maquinaria y personal aportado. La estimación detallada de los costos se adjunta en el Anexo 8.4 y se resume en la Tabla 18.

Tabla 18. Estimación de costos para estabilización con CEMENTO

Rubro	Descripción	Costo
Mano de obra	Personal técnico para construcción: Encargado de obra, operadores de equipo, operarios y peones.	¢ 277 900,00
Equipo y maquinaria	Equipo utilizado en la construcción del tramo de prueba: Niveladora, Backhoe, Tanque de Agua, Compactador, Vagoneta, Camión y otros.	¢ 1 224 800,00
Materiales	Base granular Graduación C y Cemento (sacos 50 kg)	¢ 5 213 000,00
Costos indirectos	Imprevistos, personal de oficina, verificación del laboratorio.	¢ 335 785,00
Total		¢ 7 051 485,00
Producción estimada	5,5 m x 200 m = 1100 m ²	Costo unitario/m² ¢ 6 410,44
	5,5 m x 200 m x 0,15 m = 165 m ³	Costo unitario/m³ ¢ 42 736,27

Nota: los costos se presentan para una producción máxima estimada de dos veces lo obtenido en el tramo de prueba, debido a que el equipo y maquinaria se subutiliza en una sección de camino tan corta.

8.2.5 Seguimiento.

El proceso de seguimiento para evaluar el material estabilizado y la condición superficial del *Tramo 2*, en el tiempo incluyó pruebas de campo, muestreo de material estabilizado para falla a compresión en el laboratorio y evaluación visual. Los resultados del seguimiento realizado al tramo de base estabilizada con CEMENTO se presentan a continuación.

Ensayos de laboratorio

El material existente del *Tramo 2* fue analizado por el laboratorio asignado por el fabricante del producto estabilizador, el cuál indicó que para estabilizar el suelo existente se requería un alto contenido de cemento, lo cual no resultaba eficiente como ya se mencionó en el apartado de diseño. Por lo tanto, se decidió aportar material de base granular para ser



estabilizado con una menor dosificación de cemento, lo que permitió obtener una mayor resistencia a la compresión, como se observa en la Tabla 19 y Anexo 8.5.

Se tomaron muestras del material estabilizado durante el proceso constructivo y se elaboraron especímenes para falla a la compresión inconfínada en el laboratorio, a las edades de 7, 14, 28 y 79 días. Los especímenes fueron curados en cámara húmeda por siete días por aspersión de agua y uno de ellos fue sometido a condicionamiento por saturación durante 24 horas antes de ser fallado a los 79 días. Los resultados de estos ensayos se muestran en la Figura 22, donde se puede observar que se obtuvo una resistencia de 6,1 MPa a los 7 días, lo cual duplica la resistencia de diseño de 3,0 MPa. Luego entre 14 y 79 días se observa que la resistencia varió entre 8,7 y 11,2 MPa.

El espécimen que se falló condicionado obtuvo una resistencia de 8,1 MPa muy similar a la resistencia del espécimen fallado en seco que resistió hasta 8,8 MPa. Esto sugiere que el CEMENTO produjo adhesión o cementación entre las partículas del material de base granular utilizado en el *Tramo 2*, lo cual generó aumento de la rigidez, impermeabilización y resistencia a la compresión, incluso cuando fue condicionado ante la humedad.

La alta resistencia a la compresión obtenida en los especímenes pueden ser el resultado de varios factores como diferencias entre el material de base utilizado en el diseño y el material aportado en el sitio, proceso de distribución y mezclado con niveladora no adecuado, o bien porque se tomó la muestra de material estabilizado en un sitio donde se concentró mayor cantidad de cemento.

La desventaja de obtener altas resistencias a la compresión en una capa de base estabilizada con cemento es la posible aparición de agrietamientos por contracción y un comportamiento muy frágil ante las cargas del tránsito, debido a su alta rigidez.

Tabla 19. Caracterización del material del Tramo 2_CEMENTO

Tipo de muestra	Límites de Atterberg			Contenido de fino pasando malla. 200 0,075mm (%)	Diseño de estabilización			
	LL	LP	IP		Densidad seca promedio (kg/m ³)	Contenido de humedad (%)	Contenido de cemento (%)	Resistencia a compresión promedio (MPa)
Suelo estabilizado (con cemento)	61	32	29	93,2	1.393	27,8	6	0,43
					1.413	28,7	18	1,23
					1.459	28,6	30	2,05
Base estabilizada TM=38 mm (con cemento)	NP	NP	NP	8,0	1.832	12,2	1	1,83
					1.833	12,3	3	3,08
					1.836	12,1	5	4,29

Fuente: Adaptado de Informes de Ensayo 4901-2016 y 4947-2016 y, Laboratorio CACISA.

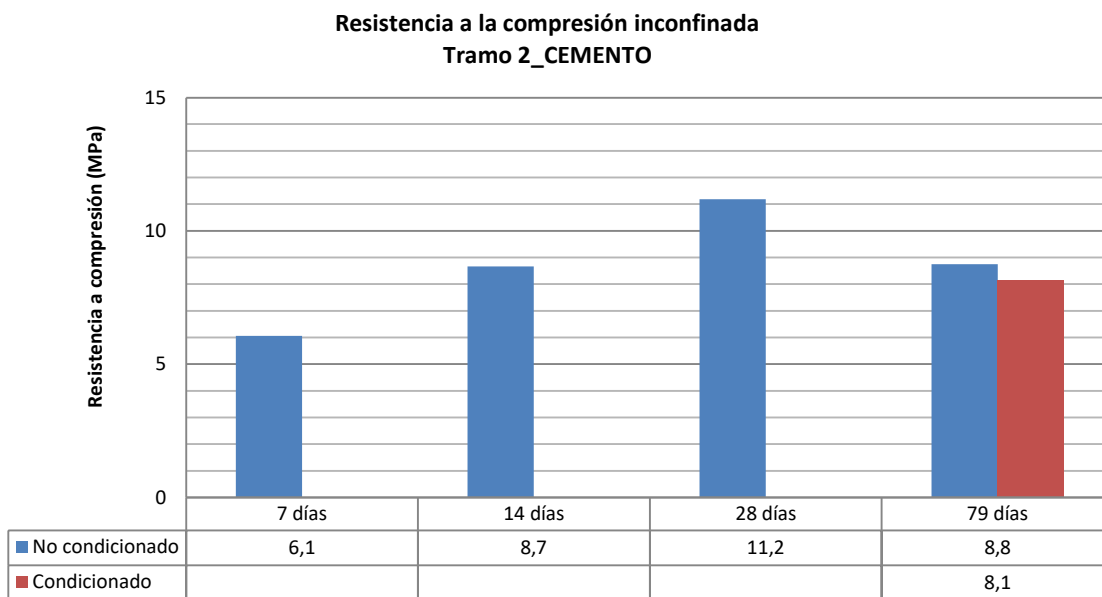


Figura 22. Resistencia a compresión inconfiada del Tramo 2_CEMENTO



Ensayos de campo

Se realizó ensayos de densidad y contenido de humedad en sitio con el método nuclear. Además, se midió el módulo de superficie M_0 con el LWD, a diferentes edades desde la construcción y en diferentes estacionamientos del *Tramo 2*, como se muestra en la Figura 23 y Anexo 8.6.

El valor de densidad seca medido en la construcción y a los 9 días, supera en todas las estaciones, el 95% de la densidad máxima Próctor Modificado de laboratorio. Se observa que la densidad seca muestra un comportamiento similar entre los estacionamientos 0+025, 0+050 y 0+075, con valores que varían entre 1.704,3 y 1.823,3 kg/m³, mientras que el estacionamiento 0+097, presenta valores relativos menores, sobre todo en las edades de 16, 33 y 78 días. El contenido de humedad presenta un comportamiento similar entre las estaciones 0+025, 0+050 y 0+075, donde se observa una disminución entre las edades de 16, 33 y 78 días, que varían entre 4,9% y 8,4%. En la estación 0+097, se observa un mayor contenido de humedad generalizado entre 13,1% y 9,1%.

Las mediciones del módulo de superficie M_0 con el LWD, muestran que la estabilización del material de base granular con cemento, produce una capa rígida con módulos superiores a 87,6 MPa en todos los casos. Estos valores superan el módulo de superficie promedio de 30,9 MPa, que fue medido antes de la construcción, en la capa de ruedo de grava y suelo existente, como se indica en la Tabla 9.

El M_0 medido a los 9 días varía desde 87,6 MPa en la estación 0+097, hasta 241,4 MPa en la estación 0+050, mientras que en las estaciones 0+075 y 0+097 se midieron 93,6 MPa y 87,6 MPa, respectivamente. En general en el M_0 , se observa una tendencia al aumento en el tiempo, para las estaciones 0+050, 0+075 y 0+097, lo que se puede asociar con la ganancia de resistencia y rigidez, típica de un material estabilizado con cemento hidráulico.

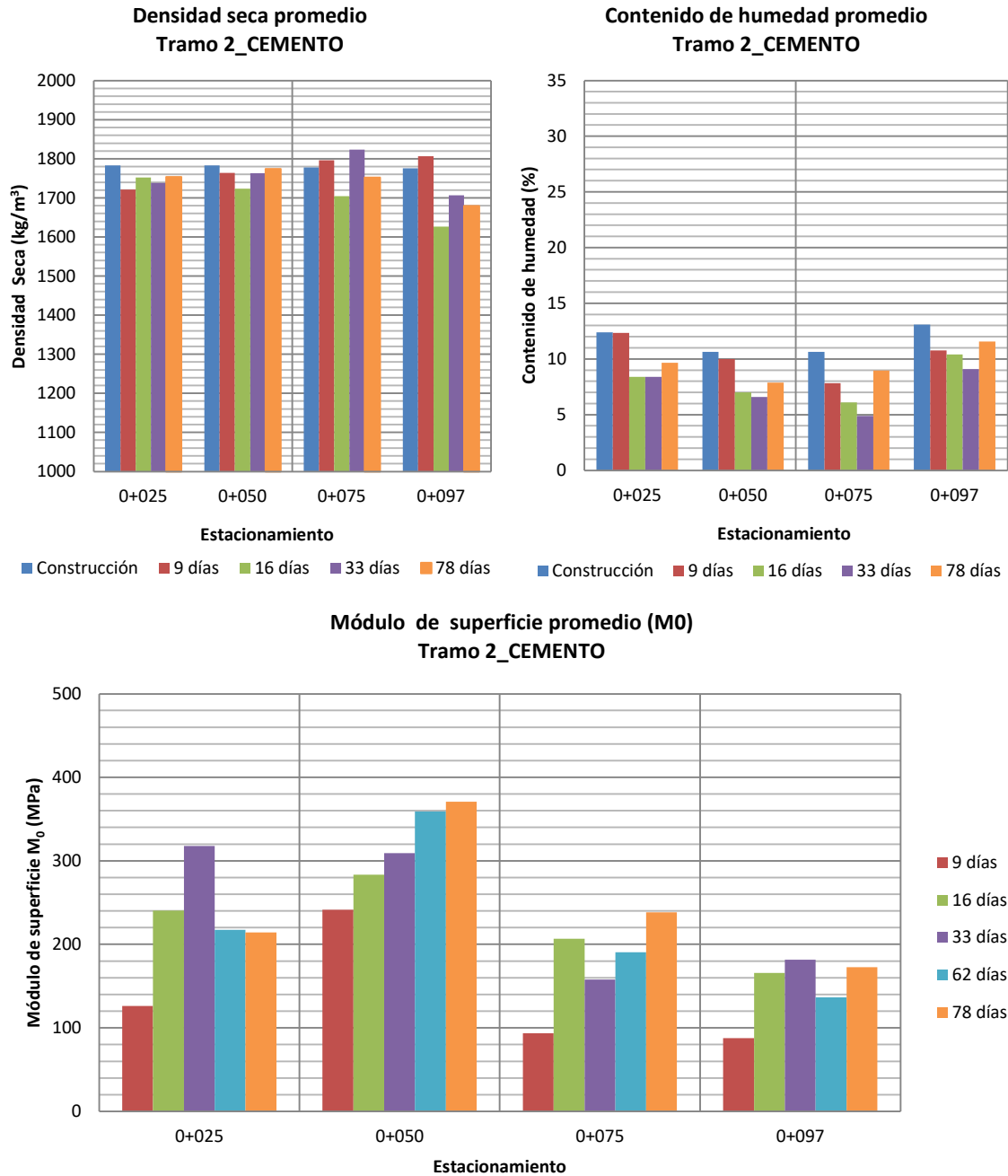


Figura 23. Resultados de ensayos de campo para el Tramo 2_CEMENTO

Fuente: Con base en bitácoras de Laboratorio de Geotécnica y de Campo, LanammeUCR.



Evaluación visual

Los resultados de la evaluación visual del *Tramo 2* estabilizado con CEMENTO, realizada por personal de la UGM, LanammeUCR a los 5, 11, 14, 27 y 33 meses desde la construcción, se describen a continuación. En la Tabla 20 se presenta el Índice URCI obtenido para cada evaluación, junto con algunos comentarios acerca de los deterioros observados en cada momento. La Figura 24 muestra la curva de condición superficial asociada al URCI obtenido en cada inspección visual y en el Anexo 8.7, se adjunta una serie de fotografías que muestran las condiciones del tramo de prueba durante cada evaluación visual realizada. El *Tramo 2* tuvo un tránsito vehicular total de aproximadamente 74.463 vehículos, lo que equivale a cerca de 5.729 ESAL y una precipitación total estimada de 6.336 mm de lluvia (cerca de tres períodos lluviosos completos). Además, el promedio anual de precipitación es de 1.864 mm entre 2016 y 2019, de acuerdo con los datos disponibles indicados en la Figura 15.

La capa de material de base granular estabilizada con CEMENTO, presentó una muy buena condición superficial durante el primer año después de su construcción. En este período se mantuvo una capa densa, con leves deterioros superficiales que permitió mantener muy buena transitabilidad, incluso en la zona de mayor pendiente longitudinal y curvatura del tramo de prueba. Posteriormente, se observó pérdida del sello de imprimación, la aparición de muchos surcos por erosión pluvial y la formación de un ahuellamiento severo al lado derecho. También la cuneta del lado derecho se erosionó de forma severa hasta deteriorar el borde de la calzada. Hacia el final del período de evaluación, se observó que el material granular se fue desprendiendo en algunas zonas hasta dejar visible el suelo de subrasante, lo que hace necesario reducir la velocidad para transitar, casi hasta detenerse en algunos puntos. Se debe indicar que se tienen dos entradas de propiedades adyacentes al tramo de prueba, lo que puede haber acelerado el deterioro en esa zona del tramo de prueba, debido a la tracción de los vehículos al entrar y salir. Durante el período de evaluación no se realizó actividades de mantenimiento, más allá de la limpieza y corta de vegetación en los espaldones y cunetas. Tampoco se reconformó la cuneta del lado derecho que se deterioró por erosión en la zona con mayor pendiente longitudinal del *Tramo 2*.



Tabla 20. Índice de condición superficial (URCI) del Tramo 2_CEMENTO

Evento	Fecha	Meses desde construcción	URCI	Comentarios
Construcción	18/01/2017	0	100	<ul style="list-style-type: none"> Condición excelente sin deterioros, calzada recién conformada y compactada con base granular estabilizada con cemento.
Evaluación # 1	28/06/2017	5	86,0	<ul style="list-style-type: none"> Entre 9 y 30 días se observa una capa densa, con leve agregado suelto sobre la calzada. No se identifican fisuras por contracción, sólo algunas fisuras muy finas y cortas en puntos aislados. Entre 2,5 y 5 meses se observan puntos donde el sello de imprimación se ha desprendido dejando poros abiertos. Se observa erosión de la cuneta al lado derecho que ha empezado a deteriorar el borde de la calzada. Se observa la formación de un ahuellamiento severo que abarca la mitad de la calzada con una longitud de 3 m. Se observa surcos por erosión pluvial en la zona de mayor pendiente y curvatura. La conformación general de la calzada y transitabilidad se mantiene.
Evaluación # 2	20/12/2017	11	79,1	<ul style="list-style-type: none"> Entre 7 y 11 meses se observa desprendimiento generalizado de agregado en toda la calzada. Los surcos por erosión pluvial se han extendido y profundizado en algunos casos a más de 8 cm, principalmente en la zona de mayor pendiente y curvatura del tramo de prueba. Se ha formado algunos huecos leves con $\varnothing < 10$ cm y profundidad < 5 cm. El ahuellamiento del lado izquierdo de la calzada se ha extendido a más de 5 m de longitud y profundizado a más de 8 cm. La cuneta del lado derecho ha generado erosión severa en el borde de la calzada. Sin embargo, se mantiene la conformación general y transitabilidad.
Evaluación # 3	23/03/2018	14	68,0	<ul style="list-style-type: none"> A 14 meses se observa aumento en el agregado suelto, la zona de ahuellamiento se ha extendido a más de 15 m de longitud. En la zona de mayor pendiente y curvatura proliferan los surcos en todo el ancho de la calzada con profundidad mayor a 8 cm, algunos se han convertido en huecos.
Evaluación # 4	4/4/2019	27	52,0	<ul style="list-style-type: none"> A 27 meses se tiene una condición general regular, con agregado suelto en toda la calzada, los surcos se han unido entre sí generando huecos con $\varnothing \approx 40$ cm y profundidad > 8 cm, principalmente en la zona de curvatura del tramo. En la zona con mayor pendiente se formó una cuneta secundaria. La zona donde había un ahuellamiento severo se convirtió en hueco de más 10 m de longitud y 3 m de ancho, donde se debe reducir la velocidad para transitar.
Evaluación # 5	24/10/2019	33	23,0	<ul style="list-style-type: none"> A 33 meses se tiene una condición general mala, en el hueco ubicado al lado izquierdo y surcos más profundos aflora suelo de subrasante en condiciones de humedad. Las cunetas han perdido su forma lo que ha producido erosión del lado derecho de la calzada. En algunas zonas se ha perdido por completo la capa estabilizada con cemento. Se debe reducir la velocidad para transitar por la zona deformada.

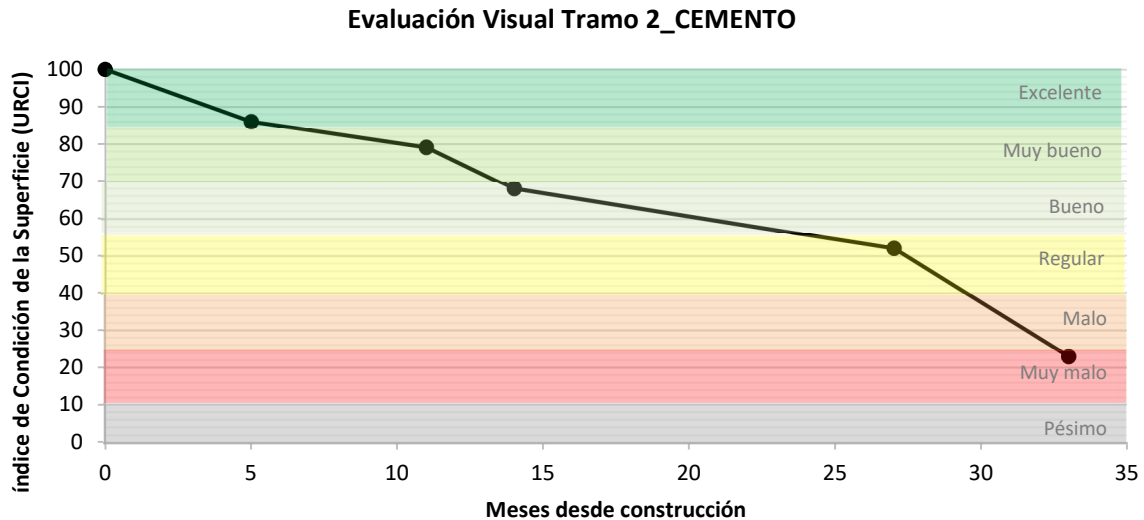


Figura 24. Curva de evaluación visual del Tramo 2_CEMENTO

Luego del análisis de los resultados de los ensayos de laboratorio, pruebas de campo y la evaluación visual, se presenta una serie de ventajas, beneficios y limitaciones asociadas a la colocación de la capa de base granular estabilizada con CEMENTO, según lo observado en el *Tramo 2*.

8.2.6 Ventajas y beneficios identificados con el uso de CEMENTO.

- La estabilización con CEMENTO permite obtener una capa de material que tiene aporte estructural, rigidez y resistencia a la compresión, lo que constituye una buena alternativa para las zonas de alta pendiente y curvatura, donde los suelos o materiales granulares sueltos no estabilizados se deterioran rápidamente.
- El proceso de estabilización de suelos o materiales granulares con CEMENTO es igual a la estabilización con cemento hidráulico convencional, la cual es bien conocida a nivel nacional e internacional, se puede ejecutar tanto con equipo convencional como motoniveladora, o con equipos especiales como distribuidor de cemento, recuperadora o camión estabilizador.



- La estabilización de una base granular con CEMENTO, requiere de la aplicación de una membrana de curado o sello de imprimación con emulsión asfáltica, para reducir el polvo, siempre y cuando se retire luego de unos días el material de secado que se coloca para evitar el levantamiento del sello al abrir el paso del tránsito.
- El CEMENTO es un producto fabricado y distribuido en el país, lo que asegura su disponibilidad a nivel nacional.
- El producto es distribuido en sacos de 50 kg, lo que facilita su almacenamiento, transporte, manejo y colocación.
- El CEMENTO utilizado, es un producto fabricado especialmente para la estabilización de materiales granulares y suelos, que ayuda a disminuir el agrietamiento por contracción. Un buen diseño y aplicación debe favorecer la construcción de capas de suelo o materiales granulares estabilizados de calidad.

8.2.7 Limitaciones identificadas con el uso de CEMENTO.

- Se observó que la estabilización de suelos finos arcillosos de alta plasticidad, requieren una alta dosificación de CEMENTO, lo cual puede elevar los costos para la estabilización de materiales existentes con contenidos altos de arcillas y limos limitando su uso en estas condiciones y generar fisuramiento por contracción en la capa estabilizada. Ante esto, se recomienda el aporte de agregados tipo base o subbase para ser estabilizados.
- Se observó que la capa de base estabilizada con CEMENTO del *Tramo 2*, es susceptible a la erosión pluvial debido a su alta rigidez, esto ocurre sobre todo en zonas con cobertura de árboles y alta pendiente longitudinal, lo que genera deterioros severos que reducen su durabilidad. Un tratamiento superficial asfáltico o capa de ruedo con mezcla asfáltica impermeabiliza la superficie, lo que podría extender la vida útil de la capa estabilizada con cemento.
- Se observó en el *Tramo 2* que, una vez deteriorada la capa estabilizada con CEMENTO, se puede dificultar el mantenimiento de la calzada con equipo



convencional para caminos no pavimentados (como motoniveladora), ya que se requiere realizar bacheo con concreto hidráulico o se necesita equipo especial (como recuperadora) para triturar y volver a estabilizar la capa deteriorada.

8.3 Tramos 3 y 4: Estabilización de suelo existente con producto IÓNICO II

8.3.1 Descripción del producto.

IÓNICO II es un producto químico iónico para suelos arcillosos, su principal efecto es el intercambio de iones con las partículas de los minerales arcillosos del suelo, para liberar el agua adsorbida mediante la ruptura de los enlaces electroquímicos que la sostienen. Esto permite reducir la susceptibilidad a la humedad del suelo y reorientar las partículas de forma más ordenada durante la compactación, lo que a su vez genera mayor densidad de la capa de suelo tratada. Según lo indicado por el fabricante, los principales usos y beneficios que se pueden obtener al utilizar este estabilizador se resumen en la Tabla 21, en el Anexo 9.1 se adjunta la información completa tomada de la ficha técnica y hoja de seguridad de este producto.

Tabla 21. Usos y beneficios del estabilizador IÓNICO II

Usos	Beneficios técnicos	Beneficios económicos y ambientales
<ul style="list-style-type: none"> • Mantenimiento de vías no pavimentadas. • Construcción de capa de rodadura (con el suelo existente) de vías secundarias y terciarias. • Consolidación de suelos naturales. • Mejoramiento de vías para explotación agrícola, minera, forestal y otras. • Estabilización de subrasantes y subbases para estructuras de pavimento. • Construcción de terraplenes y rellenos. • Mantenimiento de pistas de aterrizaje no pavimentadas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Aumento en la densidad máxima seca del suelo. • Disminución del índice de plasticidad del suelo. • Aumento del CBR del suelo. • Disminución del hinchamiento del suelo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Mejoramiento en la transitabilidad de la vía. • Reducción de hasta 50% en costos de ejecución. • Reducción en la frecuencia de mantenimientos futuros. • Reducción de hasta 45% en costo de estructuras de pavimento. • No produce efectos negativos en el ambiente.

Fuente: Información suministrada por el proveedor del aditivo



8.3.2 Diseño para la estabilización.

El diseño de la estabilización o dosificación para aplicar en el *Tramo 3 y 4* fue realizado por el fabricante a partir del análisis de muestras de suelo tomadas por su representante en Costa Rica, y de la información de caracterización de los tramos de prueba que se resume en la Tabla 8 y Anexo 6. El resumen de la dosificación de diseño se muestra en la Tabla 22. La principal diferencia entre el *Tramo 3 y 4* corresponde a la longitud y trazado del camino que tiene más curvas en el *Tramo 4* que en el *Tramo 3*.

Tabla 22. Dosificación de diseño para el Tramo 3 y 4_ IÓNICO II

Variable	Valores	
	Tramo 3	Tramo 4
Espesor de capa estabilizada	0,15 m	0,15 m
Ancho promedio de calzada estabilizada	4,3 m	4,5 m
Longitud del tramo de prueba	100 m	200 m
Área del tramo de prueba	517 m ²	926 m ²
Volumen de suelo estabilizado	77,6 m ³	139 m ³
Volumen total de producto estabilizador aplicado	4,8 L	8,7 L
Dosificación por área de producto estabilizador	0,01 L/m ²	0,01 L/m ²
Dosificación por volumen de producto estabilizador	0,06 L/m ³	0,06 L/m ³

8.3.3 Proceso constructivo.

Se aplicó el procedimiento constructivo recomendado por el fabricante y distribuidor del producto IÓNICO II, en acuerdo con la UTGV de la Municipalidad de Mora y el LanammeUCR. El distribuidor del producto estabilizador también aportó una compactadora de 8 toneladas con operador. La Figura 25 y Figura 26 muestran el acabado final del *Tramo 3 y 4*, respectivamente. La reseña del proceso constructivo se muestra en el Anexo 9.2.



Figura 25. Acabado final del Tramo 3_IÓNICO II



Figura 26. Acabado final del Tramo 4_IÓNICO II

8.3.4 Costos.

Los costos asociados a la construcción del tramo de prueba se estimaron a partir de la información suministrada por la empresa proveedora y la UTGV de la Municipalidad de Mora. La estimación detallada de los costos se adjunta en el Anexo 9.3 y se resume en la Tabla 23.



Tabla 23. Estimación de costos para estabilización con IÓNICO II

Rubro	Descripción	Costo	
Mano de obra	Personal técnico para construcción: Encargado de obra, operadores de equipo, operarios y peones.	¢ 277 900,00	
Equipo y maquinaria	Equipo utilizado en la construcción del tramo de prueba: Niveladora, Backhoe, Tanque de Agua, Compactador, Vagoneta, Camión y otros.	¢ 1 224 800,00	
Materiales	Producto estabilizador IÓNICO II y Piedra Cuarta (TM=25 mm).	¢ 892 100,00	
Costos indirectos	Imprevistos, personal de oficina, verificación del laboratorio.	¢ 120 740,00	
Total		¢ 2 535 540,00	
Producción estimada	4,5 m x 250 m = 1125 m ²	Costo unitario/m²	¢ 2 253,81
	4,5 m x 250 m x 0,15 m = 168,8 m ³	Costo unitario/m³	¢ 15 025,42

Nota: los costos se presentan para una producción máxima estimada de dos veces lo obtenido en el tramo de prueba, debido a que el equipo y maquinaria se subutiliza en una sección de camino tan corta.

8.3.5 Seguimiento.

Se realizó el proceso de seguimiento con ensayos de laboratorio y de campo para valorar las propiedades del material estabilizado a diferentes edades desde la construcción, además se realizó evaluación visual de la condición superficial de los *Tramos 3 y 4* que fueron estabilizados con el producto IÓNICO II, lo cual se presenta a continuación.

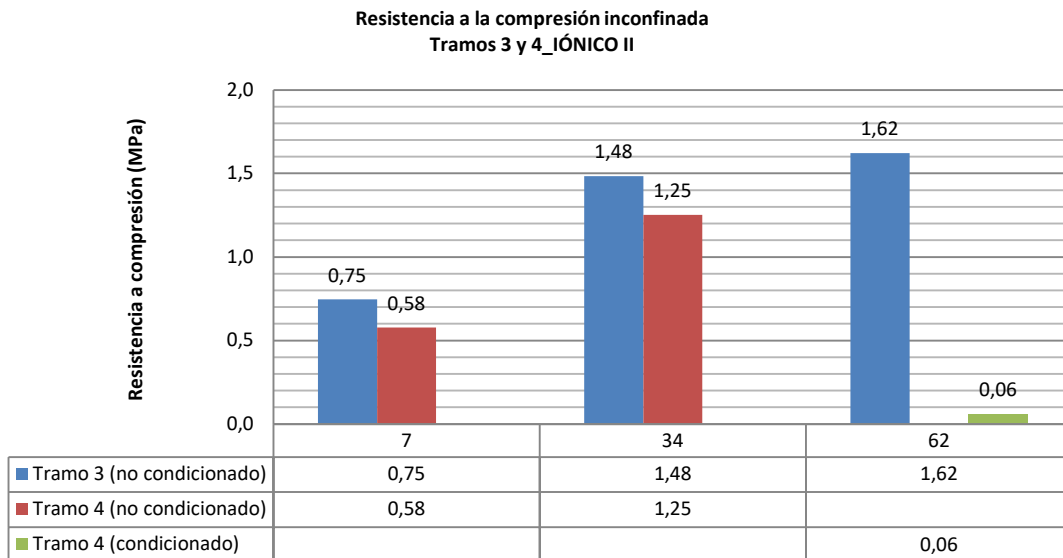
Ensayos de laboratorio

En la Figura 27 y Anexo 9.4 se presentan los resultados de resistencia a la compresión confinada, que se obtuvo para los especímenes de suelo estabilizado que fueron moldeados en sitio y curados por aspersión durante siete días. Los especímenes moldeados con el suelo estabilizado del *Tramo 3* se fallaron en condiciones secas a los 7, 34 y 62 días, no se fallaron muestras acondicionada por saturación a 24 horas porque no se dispuso de suficientes especímenes de prueba. Los especímenes del *Tramo 4* se fallaron en condiciones secas para las edades de 7 y 34 días, por otro lado, los especímenes para los 62 días se fallaron luego de ser condicionados por saturación a 24 horas.

Se observa una tendencia generalizada del aumento en la resistencia a la compresión confinada en condiciones secas para los especímenes de ambos tramos estabilizados con el producto IÓNICO II. Se obtuvo un mínimo de 0,58 MPa en el *Tramo 4* a los 7 días y un máximo de 1,62 MPa a los 62 días en el *Tramo 3*. Además, la resistencia a la compresión



inconfiada en condiciones secas al aire, que se obtuvo para los especímenes del *Tramo 3* presenta valores relativos más altos que para el *Tramo 4*, a las mismas edades de falla de 7 y 34 días. Este comportamiento, se puede asociar en mayor medida con la pérdida de humedad de los especímenes mantenidos al ambiente del laboratorio, luego del curado y en menor medida a la generación de adhesión entre las partículas del suelo, ya que los especímenes, que fueron fallados luego de ser condicionados por 24 horas por saturación, presentaron una resistencia a la compresión muy baja de 0,06 MPa.



Nota: En el Tramo 3, no se realizaron ensayos de muestras condicionadas por saturación.

Figura 27. Resultados de compresión inconfiada del Tramo 3 y 4_ IÓNICO II

Fuente: Con base en bitácoras de Laboratorio de Geotécnica, LanammeUCR.



Ensayos de campo

- *Tramo 3:*

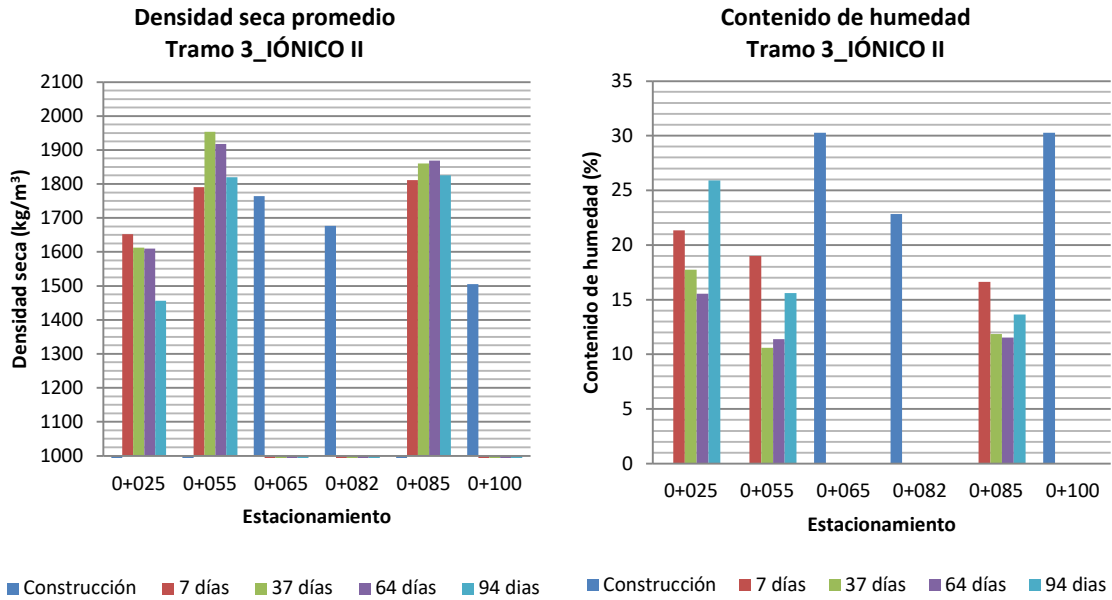
En el Anexo 9.5 se adjunta los resultados de las mediciones de densidad, contenido de humedad y módulo de superficie M_0 para el *Tramo 3*, los cuales se resumen en la Figura 28.

Las mediciones de densidad para la construcción se realizaron en los estacionamientos 0+065, 0+082 y 0+100, debido a las fugas sucedidas en tuberías de agua potable del sitio. En estos puntos se midió contenidos de humedad de 30,3%, 22,8% y 30,3%, respectivamente, debido a las lluvias que se presentaron en los días previos a la construcción. Esto dificultó el proceso de compactación, lo cual se evidencia en los valores de densidad seca que alcanzaron 95%, 91% y 81% para los mismos puntos respectivamente, respecto de la densidad seca máxima de compactación obtenida en el laboratorio de 1.840 kg/m^3 .

Los valores de densidad seca medidos en las estaciones 0+055 y 0+085 presentan un comportamiento de variación, similar entre sí, con valores medidos a 37 y 64 días mayores respecto de las mediciones a los 7 y 94 días. Sin embargo, en la estación 0+025 se observa una disminución de la densidad entre la medición de los 7 y 94 días. Además, se puede observar que, a mayor contenido de humedad medido en sitio, la densidad seca tiende a disminuir y viceversa. Si se compara la densidad medida durante la construcción, con los valores medidos en las estaciones 0+055 y 0+085 a las diferentes edades, se puede identificar un aumento de la densidad seca en sitio de la capa de suelo estabilizado con el producto IÓNICO II, con el paso del tiempo entre la construcción y los 64 días. Sin embargo, luego volvió a disminuir a los 94 días, hasta un valor similar al de los 7 días.

El Módulo M_0 , que se midió con el LWD en la estación 0+025 presenta valores menores que los obtenidos en las estaciones 0+055 y 0+085, para las edades de 37, 64 y 94 días. Sin embargo, a los 7 días se obtuvo un módulo mayor (131,2 MPa) en esta estación, que en las otras dos (20,8 MPa y 33,8 MPa).

Informe LM-PI-GM-INF-02-2021	Junio, 2021	Página 82 de 122
------------------------------	-------------	------------------



**Módulo de superficie promedio M_0
Tramo 3_IÓNICO II**

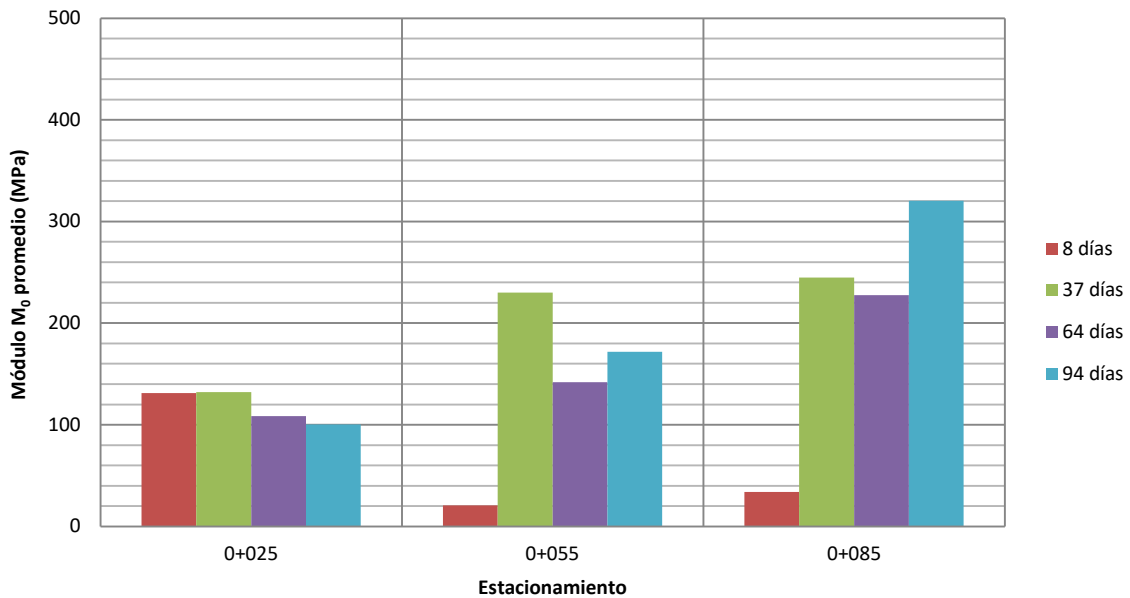


Figura 28. Resultados de ensayos de campo para el Tramo 3_IÓNICO II

Fuente: Con base en bitácoras de Laboratorio de Geotécnica y de Campo, LanammeUCR.



En general, el comportamiento de variación del módulo de superficie se puede asociar a los valores de densidad seca y contenido de humedad observados. De manera que, a mayor densidad seca, mayor módulo de superficie y mayor contenido de humedad, el módulo disminuye. En la estación 0+025, el módulo de superficie varía de un máximo de 132 MPa medido a los 37 días, hasta un mínimo de 100,2 MPa medido a los 94 días, mientras que en las estaciones 0+055 y 0+085, se identifica un comportamiento general de aumento en el tiempo. En todos los casos se superó el módulo medido en las condiciones originales del tramo de prueba de 35,4 MPa (como se indica en la Tabla 9) excepto en las estaciones 0+055 y 0+085 a los 7 días, donde resultó un poco menor o similar.

- *Tramo 4:*

En el Anexo 9.5 se adjunta los resultados de las mediciones de densidad, contenido de humedad y módulo de superficie M_0 para el *Tramo 4*, que se resumen en la Figura 29. No se dispone de mediciones de campo a los 90 días, debido a que, en ese momento, se estaba realizando una excavación en un lado del camino para la colocación de tubería de agua potable del acueducto local, como ya se mencionó en el proceso constructivo.

En el *Tramo 4* se realizó la medición de densidad y contenido de humedad en los estacionamientos 0+020, 0+070, 0+142 y 0+177. En estos puntos se alcanzó un mínimo de 65% de compactación en la estación 0+177 y un máximo de 82% en la estación 0+070, respecto de la densidad máxima de referencia, determinada en el laboratorio de 1.950 kg/m³. Se observa altos contenidos de humedad desde 25,9% hasta 38,3%, que superan el contenido óptimo para compactación de 11,2%. Esto ocurrió debido a la lluvia que se presentó durante el proceso constructivo, y por tanto mantuvo el suelo con mayor contenido de humedad del óptimo para el proceso de compactación.

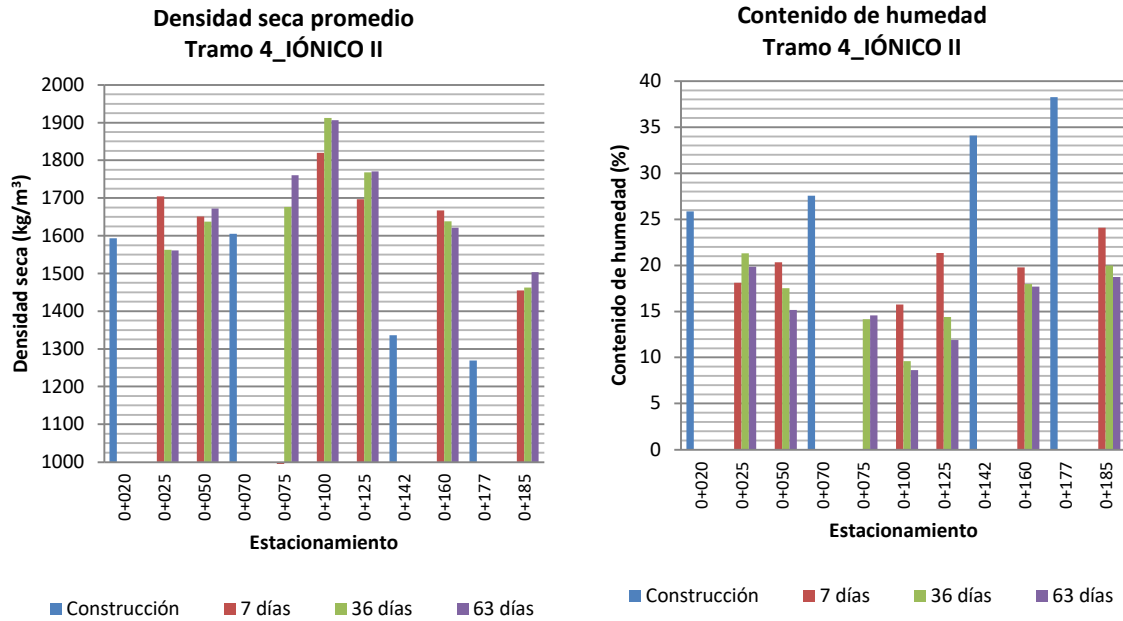
A pesar de lo anterior, en las mediciones realizadas en los estacionamientos 0+025, 0+050, 0+100, 0+0125, 0+0160 y 0+0185 a las edades de 7, 36 y 63 días, se observó que la densidad seca medida fue mayor que la obtenida durante la construcción hasta obtener valores máximos de hasta 1.912,3 kg/m³ en la estación 0+100 a los 36 días.



Se identifica una tendencia general de aumento de la densidad seca, en los estacionamientos 0+050, 0+100, 0+125 y 0+0185 entre las edades de 7 y 63 días, sin embargo, en las estaciones 0+025 y 0+160 ocurrió lo contrario, con valores mínimos de 1.561,3 kg/m³ y 1.621 kg/m³ a los 63 días, respectivamente. Además, se observa que, a menor contenido de humedad medido en sitio, se obtuvo mayor densidad seca en la capa de suelo del *Tramo 4* estabilizado con el producto IÓNICO II.

En las mediciones del módulo de superficie M_0 del *Tramo 4*, se puede identificar dos comportamientos generales. El primero, que corresponde a la distancia entre el estacionamiento 0+025 y 0+075, donde se observa una tendencia uniforme con valores entre un mínimo de 51,2 MPa y máximo de 85,2 MPa. El segundo, desde el estacionamiento 0+100 hasta el 0+185, donde se observa mayor variabilidad, con valores entre un mínimo de 17,3 MPa en la estación 0+100 a los 7 días y extremos máximos de 382,0 y 371,3 MPa, para las estaciones 0+100 y 0+125 a los 36 días. Se observa variabilidad en los módulos medidos, pero se puede indicar que en la mayoría de las mediciones posteriores a los 7 días se superó el módulo medido en condiciones naturales del suelo de 36,3 MPa y 44,1 MPa (indicados en la *Tabla 9*).

Todo lo anterior sugiere que el producto IÓNICO II puede ayudar al aumento de la densidad del suelo conforme pasa el tiempo y se va desarrollando el efecto estabilizador con el suelo arcilloso. Esto puede reducir la susceptibilidad a la humedad de la capa estabilizada y favorecer el módulo de forma moderada, a pesar de no generar fuerzas de adhesión o cementación entre las partículas del suelo que contribuyan a generar rigidez.



**Módulo de superficie promedio M_0
Tramo 4_IÓNICO II**

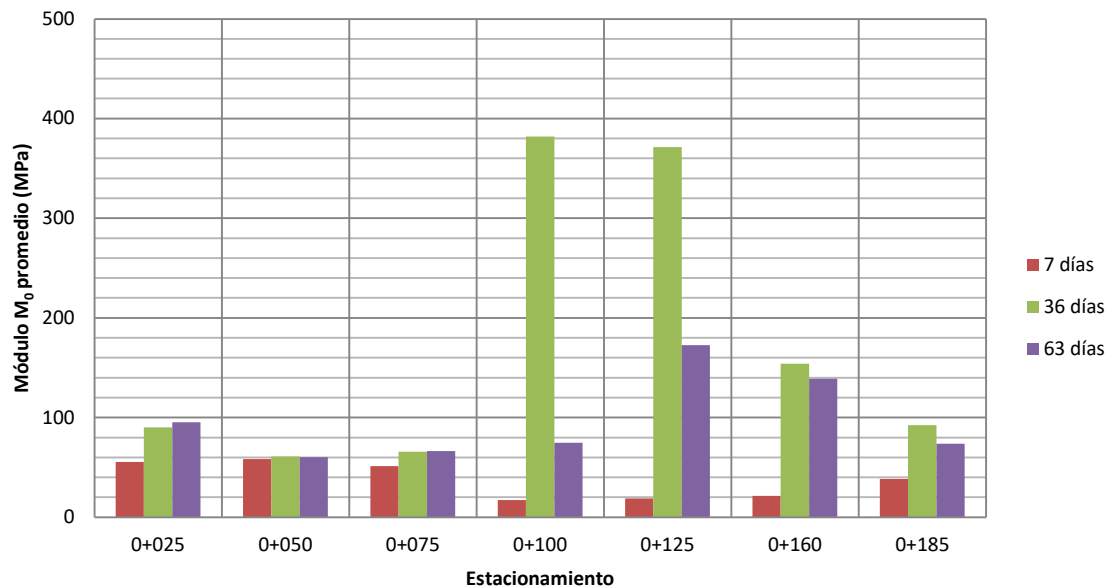


Figura 29. Resultados de ensayos de campo para el Tramo 4_IÓNICO II

Fuente: Con base en bitácoras de Laboratorio de Geotécnica y de Campo, LanammeUCR.



Evaluación visual

Los resultados de la evaluación visual realizada en los *Tramos 3 y 4* por personal de la UGM, LanammeUCR, a los 6, 12, 15, 28 y 34, meses desde la construcción, se describen en la Tabla 24 y Tabla 25, respectivamente. En estas tablas se presenta el Índice de Condición Superficial (URCI) para cada evaluación y una serie de comentarios sobre los deterioros observados. En la Figura 30 y Figura 31, se presenta la curva de evaluación visual de acuerdo con el índice URCI obtenido a los 6, 12, 15, 28 y 34 meses desde la construcción, para los *Tramos 3 y 4* respectivamente. Además, en el Anexo 9.6 se adjunta varias fotografías, donde se observa la condición de ambos tramos en cada evaluación visual realizada. El tránsito vehicular total estimado, que circuló por ambos tramos de prueba, fue de 77.000 vehículos y 5.900 ESAL. La precipitación total fue de 6.336 mm de lluvia (casi tres períodos lluviosos), desde la fecha de construcción hasta octubre de 2019. Además, el promedio anual de precipitación es de 1864 mm entre 2016 y 2019, de acuerdo con los datos disponibles indicados en la Figura 15.

Se observó que la capa de suelo estabilizada con el producto IÓNICO II, se mantuvo consolidada en ambos tramos, hasta mostrar desprendimiento del agregado (piedra cuarta) colocado para obtener textura superficial y se formó una capa suelta de finos en condiciones secas. Posteriormente, cerca de los 6 meses se observó la formación de surcos por erosión pluvial en las secciones con mayor pendiente longitudinal de ambos tramos. En ambos tramos se produjo eventos imprevistos que pueden haber influido en la evolución del deterioro. En el *Tramo 3* se presentó un pequeño deslizamiento de un talud adyacente al camino, que bloqueó la cuneta y propició mayor erosión en la superficie estabilizada, además los surcos producidos por la erosión fueron rellenados con material granular a los 15 meses desde la construcción. En el *Tramo 4*, se realizó una excavación en la cuneta para colocar tubería de agua potable, que pudo alterar la conformación del hombro de la calzada. Se identificó que en ambos tramos se perdió la conformación de la calzada en las zonas con mayor pendiente, por la profundización de los surcos y formación de cunetas secundarias en la calzada, cerca de los 28 meses y hasta la última evaluación realizada a los 34 meses. A pesar de lo anterior, se mantuvo la transitabilidad general en condiciones de humedad en ambos tramos de prueba.



Tabla 24. Índice de condición superficial del Tramo 3_ IÓNICO II

Evento	Fecha	Meses desde construcción	URCI	Comentarios
Construcción	12/6/2016	0	100	<ul style="list-style-type: none"> Condición superficial excelente, pero se observa agregado suelto que no fue embebido en la capa estabilizada.
Evaluación # 1	28/06/2017	6	75,0	<ul style="list-style-type: none"> Entre 7 días y 2 meses se observa desprendimiento del agregado superficial en el centro y lados de la calzada. Se observa una capa de suelo fino suelto en condiciones secas que genera polvo. Se mantiene la conformación original de la calzada. Entre 5 y 6 meses se observa la formación de dos surcos por erosión pluvial en la sección de mayor pendiente con longitud de 20 m y 5 cm de profundidad. Se observa erosión de la calzada al lado derecho por bloqueo de cuneta debido a un leve derrumbe del talud. En la sección de menor pendiente la calzada conserva la conformación original.
Evaluación # 2	20/12/2017	12	60,6	<ul style="list-style-type: none"> Entre 9 y 10 meses se observa agregado suelto a ambos lados de la calzada, leve exposición del agregado grueso que quedó embebido en el suelo, se extienden los surcos por erosión pluvial en la zona de mayor pendiente, formando una cuneta secundaria en lado derecho. La conformación de la calzada se mantiene en la sección con menor pendiente longitudinal. A 12 meses se observa mayor exposición de agregado grueso por erosión de la capa de suelo estabilizado en la zona de mayor pendiente del tramo. Los surcos se han ampliado en ancho y profundizado más de 8 cm, por lo que se debe reducir la velocidad en esta zona del tramo. En la zona de menor pendiente se observa leve erosión, sin la formación de surcos.
Evaluación # 3	23/03/2018	15	78,3	<ul style="list-style-type: none"> A los 15 meses se observa la colocación de material granular tipo base para rellenar los surcos que dificultaban el tránsito por la zona de mayor pendiente del tramo. Esto favorece la condición del tramo en comparación con los demás tramos, debido a la intervención realizada. En la zona de menor pendiente del tramo se observa agregado suelto a ambos lados y buena conformación de la calzada.
Evaluación # 4	04/04/2019	28	59,0	<ul style="list-style-type: none"> A los 28 meses se forman nuevamente los surcos y cuneta secundaria en la zona de mayor pendiente longitudinal del tramo de prueba. Se observa erosión del material granular colocado y en algunas zonas se logra ver el suelo de la capa original estabilizada. Se tiene agregado suelto a ambos lados de la calzada.
Evaluación # 5	25/10/2019	34	53,2	<ul style="list-style-type: none"> A los 34 meses se tiene una condición general de regular a mala. El material colocado a los 15 meses se ha erosionado casi en su totalidad y se ve la capa de suelo estabilizado original. Un deslizamiento del talud derecho ha bloqueado la cuneta, lo que ha provocado mayor erosión en el lado derecho de la calzada y formación de barro en condiciones húmedas. Algunos surcos tienen profundidad de hasta 10 cm y se observa la pérdida de la conformación original de la calzada.



Tabla 25. Índice de condición superficial (URCI) del Tramo 4_IÓNICO II

Evento	Fecha	Meses desde construcción	URCI	Comentarios
Construcción	12/7/2016	0	100	<ul style="list-style-type: none"> Excelente condición superficial. Se observa agregado suelto en la superficie que no fue embebido en la capa de suelo estabilizado.
Evaluación # 1	28/06/2017	6	65,4	<ul style="list-style-type: none"> Entre 7 días y 2 meses, la capa estabilizada luce húmeda y blanda en puntos localizados con marcas de neumáticos. Se tiene agregado suelto a ambos lados de la calzada. En condiciones secas se observa una capa de finos de suelo arcilloso sobre la superficie, que produce polvo. A los 6 meses se excavó en la cuneta para colocar tubería de agua potable. Se observa leve erosión del material fino desprendido a los 2 meses, agregado suelto a ambos lados, lodo en la sección central del tramo, junto con deformaciones y ahuellamientos por alta acumulación de humedad. En las secciones de mayor pendiente longitudinal se forman surcos leves. La conformación general de la calzada se mantiene.
Evaluación # 2	20/12/2017	12	59,4	<ul style="list-style-type: none"> Entre los 9 y 10 meses se observa agregado suelto a ambos lados y en el centro de la calzada, surcos leves por erosión pluvial en zonas de mayor pendiente longitudinal, ahuellamientos severos en la zona central del tramo, donde existe mucha sombra de árboles. Mayor afloramiento de agregado grueso por erosión pluvial del suelo fino. A los 12 meses se observa partículas gruesas expuestas, mayor cantidad de surcos por erosión pluvial, que empiezan a formar cunetas secundarias en la primera sección del tramo. Se tiene ahuellamientos moderados y severos en la parte central del tramo. Se conserva la conformación de la calzada sobre todo en la segunda sección del tramo de prueba.
Evaluación # 3	23/03/2018	15	58,6	<ul style="list-style-type: none"> A los 15 meses, en la primera sección del tramo, se observa erosión del suelo y surcos que forman una cuneta secundaria al lado derecho. En la zona central del tramo, se mantienen los ahuellamientos provocados por la humedad. La segunda sección del tramo presenta mayor grado de erosión con la formación de surcos leves y moderados. En general se mantiene la transitabilidad por el tramo de prueba incluso en condiciones de humedad.
Evaluación # 4	04/04/2019	28	56,5	<ul style="list-style-type: none"> A los 28 meses se observa una condición general regular, los surcos por erosión pluvial se han ampliado generando cunetas secundarias. Se tiene agregado suelto a los lados y centro de la vía. Se ha perdido la conformación original de la calzada y aflora gran cantidad partículas gruesas.
Evaluación # 5	25/10/2019	34	55,6	<ul style="list-style-type: none"> A los 34 meses se observa deformaciones y ahuellamientos en zonas blandas por humedad. Mayor erosión que profundiza las cunetas secundarias en las zonas de mayor pendiente, agregado suelto a ambos lados y en el centro de la vía. En la segunda sección del tramo se observa afloramiento de lecho rocoso de subrasante en puntos localizados. Se mantiene la transitabilidad en condiciones húmedas.

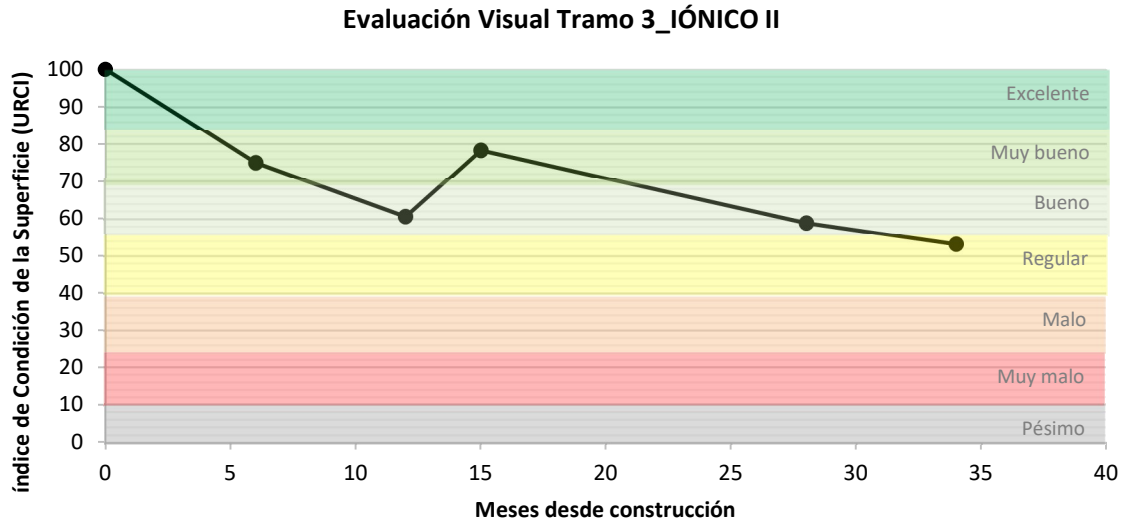


Figura 30. Curva de evaluación visual del Tramo 3_IÓNICO II

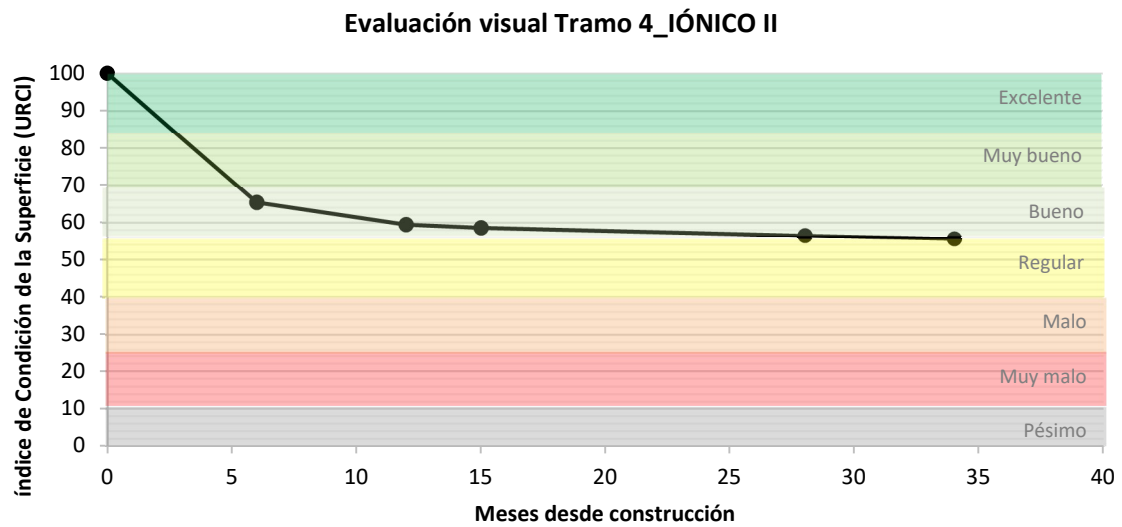


Figura 31. Curva de evaluación visual del Tramo 4_IÓNICO II



Se presenta a continuación, las ventajas, beneficios y limitaciones identificadas a partir del análisis de los ensayos de laboratorio, pruebas de campo y evaluación visual de los *Tramos 3 y 4*, donde se realizó la estabilización del suelo arcilloso existente con el producto **IÓNICO II**.

8.3.6 Ventajas y beneficios identificados con el uso del producto IÓNICO II.

- La dosificación o diseño de mezcla de suelo y el producto **IÓNICO II**, fue definida por el fabricante del producto lo que facilita el proceso de contratación y compra para los clientes interesados.
- El proceso de dosificación y aplicación en campo es sencillo, ya que se diluye el producto en el agua de la compactación y se aplica por riego.
- El fabricante indica que el producto genera una reducción de la plasticidad y reducción de la susceptibilidad ante la humedad del suelo arcilloso estabilizado. Esto puede producir un aumento de la densidad máxima y CBR de laboratorio, cuya proporción dependerá de las características particulares del suelo a estabilizar en cada sitio.
- Se observó que la capa estabilizada de los *Tramos 3 y 4*, mantuvo la transitabilidad general durante la época lluviosa a pesar de la pendiente longitudinal existente.
- El proceso de estabilización con el producto **IÓNICO II** presenta un bajo costo relativo, ya que se utilizan dosificaciones muy bajas.
- La capa estabilizada con el producto **IÓNICO II** permite ser mantenida con métodos y equipo convencional para caminos no pavimentados, como reconformación y compactación de la calzada, además si la capa estabilizada queda expuesta como superficie de ruedo en un camino no pavimentado, se puede realizar aplicaciones sucesivas para reforzar el efecto del producto estabilizador.



8.3.7 Limitaciones identificadas con el uso de IÓNICO II.

- El diseño de mezcla o dosificación lo realiza exclusivamente el fabricante del producto, lo cual podría limitar el conocimiento sobre los criterios y la metodología utilizados para definir la cantidad de producto a aplicar, ante diferentes condiciones de los suelos a estabilizar.
- El fabricante indica que se requiere un determinado contenido de minerales arcillosos para que el producto genere el efecto. En caminos con material arenoso o alta proporción de grava, la efectividad de este producto puede ser limitada y más bien requiere del aporte de suelo arcilloso.
- En los *Tramos 3 y 4* no se identificó que la capa estabilizada tuviera adhesión o cementación entre las partículas del suelo, lo cual genera susceptibilidad a la erosión pluvial en las zonas de mayor pendiente longitudinal.
- Se observó que la resistencia a la compresión inconfiada obtenida en condiciones secas con los suelos estabilizados de los *Tramos 3 y 4*, prácticamente desaparece cuando se somete a condicionamiento por saturación.
- Se observó que en los *Tramos 3 y 4*, el agregado que se coloca para producir textura superficial en la capa estabilizada se suelta rápidamente debido a la abrasión del tránsito vehicular y erosión pluvial.
- La reacción inicial del producto con el suelo arcilloso puede tomar tiempo y además puede requerir de aplicaciones sucesivas para reforzar el efecto en el tiempo.



8.4 Tramo 5: Sistema de Estabilización con POLÍMERO-IO

8.4.1 Descripción del producto.

El sistema POLÍMERO-IO utilizado es un estabilizador de suelos y materiales granulares, híbrido, que consta de dos componentes principales: un estabilizador líquido de tipo polimérico que aporta adhesión entre las partículas y un estabilizador sólido tipo iónico que reacciona químicamente con el suelo y provee impermeabilización. El sistema de estabilización puede ser utilizado en suelos finos cohesivos o en suelos granulares, ya que se diseña según el material disponible. Según lo indica el fabricante, los usos potenciales y beneficios del producto, se resumen en la *Tabla 26* además, en el Anexo 10.1 se adjunta la información completa tomada de la ficha técnica, hoja de seguridad y otros documentos relacionados.

Tabla 26. Usos y beneficios del sistema POLÍMERO-IO

Usos	Beneficios técnicos	Beneficios económicos y ambientales
<ul style="list-style-type: none"> • Estabilización de suelos finos existentes o materiales granulares. • Estabilización de caminos no pavimentados. • Estabilización de subrasantes, bases y subbases de caminos pavimentados. • No es tóxico y es inocuo para el ambiente. 	<ul style="list-style-type: none"> • Activa las fuerzas cohesivas del suelo y reduce la influencia del agua de forma permanente. • Es un sistema de estabilización que se diseña de acuerdo con las condiciones del sitio y materiales disponibles. • Se prueba en laboratorio y se conoce su resistencia de previo a la aplicación. • Aumenta la flexibilidad y capacidad de la capa estabilizada. • Impermeabiliza la capa estabilizada y reduce su capilaridad. • No requiere fragua ni secado, se puede abrir al tránsito inmediatamente. • Al estabilizar la subrasante o subbase se puede obtener reducción de espesor en capas de ruedo (base y carpeta asfáltica). 	<ul style="list-style-type: none"> • Reducción en los costos de extracción y producción de agregados de hasta 75%. • Reducción en costo de construcción de base y subbase entre 50% y 80%. • Se puede obtener un ahorro entre 50% y 60% respecto a una intervención convencional de un camino pavimentado. • Reducción de los costos de mantenimiento de hasta 80%. • No genera impactos negativos en el ambiente.

Fuente: Información suministrada por el proveedor del aditivo



8.4.2 Diseño para la estabilización.

El diseño de la estabilización o dosificación para aplicar en el *Tramo 5* fue realizado por el fabricante del sistema POLÍMERO-IO, a partir del análisis de muestras de suelo tomadas por la empresa proveedora y la información de caracterización de los tramos de prueba, que se resume en la *Tabla 8* y Anexo 6. El diseño aportado por la empresa se adjunta Anexo 10.2 y se resume en la *Tabla 27*, donde se debe aclarar que además de los productos estabilizadores se incluye material granular piedra y arenas como parte del sistema de estabilización.

Tabla 27. Dosificación de diseño para el Tramo 5_POLÍMERO-IO

Variable	Valor
Espesor de suelo a incorporar a la estabilización	0,10 m
Espesor de agregados a aportar	0,12 m
Espesor total de la capa estabilizada	0,20 m
Ancho promedio de calzada estabilizada	5,5 m
Longitud del tramo de prueba	80 m
Área del tramo de prueba	440 m ²
Volumen de suelo a estabilizado	44 m ³
Volumen aportado de arena fina	30 m ³
Volumen aportado de piedra cuarta (TM=25 mm)	20 m ³
Volumen de suelo y agregados (arena y piedra) estabilizado	94 m ³
Cantidad total de producto estabilizador POLÍMERO-IO Líquido	2,5 estañones (300L)
Cantidad total de producto estabilizador POLÍMERO-IO Sólido	2 sacos <i>bigbag</i> (4600Kg)
Dosificación por área de producto estabilizador POLÍMERO-IO Líquido	0,7 L/m ²
Dosificación por área de producto estabilizador POLÍMERO-IO Sólido	10,5 kg/m ²
Dosificación por volumen de producto estabilizador POLÍMERO-IO Líquido	3,2 L/m ³
Dosificación por volumen de producto estabilizador <i>POLÍMERO-IO Sólido</i>	49 kg/m ³

Fuente: Información suministrada por el proveedor del aditivo

8.4.3 Proceso constructivo.

Se aplicó el procedimiento constructivo recomendado por el fabricante del sistema POLÍMERO-IO, en acuerdo con la UTGV de la Municipalidad de Mora y el LanammeUCR. Los representantes de la empresa proveedora del producto estuvieron presentes en el proceso constructivo y además del producto estabilizador, también aportaron un compactador de 8 toneladas y un tractor agrícola rotomezclador de suelos para

homogenizar la capa estabilizada. El detalle del proceso constructivo se adjunta en el Anexo 10.3 y en la Figura 32 se muestra el acabado final del tramo de prueba.



Figura 32. Acabado final del Tramo 5_POLÍMERO-IO

8.4.4 Costos.

Se estimaron los costos de construcción del tramo de prueba, de acuerdo con la información brindada por la empresa proveedora del producto y la UTGV de la Municipalidad de Mora, respecto de los materiales, mano de obra, equipo y maquinaria aportados. Se adjunta en el Anexo 10.4 la estimación detallada de costos y se resume en la Tabla 28.

Tabla 28. Estimación de costos para estabilización con POLÍMERO-IO

Rubro	Descripción	Costo	
Mano de obra	Personal técnico para construcción: encargado de obra, operadores de equipo, operarios y peones.	¢ 277 900,00	
Equipo y maquinaria	Equipo utilizado en la construcción del tramo de prueba: niveladora, backhoe, tanque de agua, tractor rotomezclador de suelos, compactador, vagoneta, camión y otros.	¢ 2 244 800,00	
Materiales	Producto Estabilizador <i>POLÍMERO-IO Líquido</i> , Producto Estabilizador <i>POLÍMERO-IO Sólido</i> , Arena fina y Piedra Cuarta (TM=25 mm).	¢ 6 512 400,00	
Costos indirectos	Imprevistos, personal de oficina, verificación del laboratorio.	¢ 451 755,00	
Total		¢ 9 486 855,00	
Producción estimada	5,0 x 160 m = 800 m ²	Costo unitario/m²	¢ 11 858,57
	5,0 x 160 m x 0,22 m = 176 m ³	Costo unitario/m³	¢ 53 902,59

Nota: los costos se presentan para una producción máxima estimada de dos veces lo obtenido en el tramo de prueba, debido a que el equipo y maquinaria se subutiliza en una sección de camino tan corta.



8.4.5 Seguimiento.

Se evaluó el material estabilizado con el sistema POLÍMERO-IO y se dio seguimiento a la condición del *Tramo 5*, con el muestreo del material estabilizado para ensayar en el laboratorio, ensayos de campo y evaluación visual. Los resultados de este proceso se presentan a continuación.

Ensayos de laboratorio

Se tomó muestras del material existente en el *Tramo 5* y del material estabilizado con el sistema POLÍMERO-IO y agregados aportados. Los resultados de los Límites de Atterberg, densidad máxima, contenido de humedad óptimo y CBR de laboratorio, se muestran en la Tabla 29 y Anexo 10.5.

Al comparar el suelo natural respecto del material estabilizado, se obtuvo una reducción en el Límite Líquido e Índice de Plasticidad, también se observa aumento de la densidad máxima de 1.530 kg/m^3 a 1.786 kg/m^3 , reducción del contenido de humedad óptimo de 23% a 16% y aumento del CBR de laboratorio de 3,9% a 31%.

Los resultados de resistencia a la compresión inconfiada de los especímenes moldeados el día de la construcción del *Tramo 5* y curados por aspersión durante siete días, se presentan en la Figura 33 y Anexo 10.5. La resistencia a la compresión en condición seca varió entre un mínimo de 0,7 MPa, a 30 días y un máximo de 1,1 MPa, a los 92 días. Además, se obtuvo una resistencia de 0,57 y 0,54 MPa, para los especímenes sometidos a condicionamiento a los 65 y 92 días, respectivamente.

Los resultados anteriores sugieren que en el *Tramo 5*, el sistema POLÍMERO-IO generó fuerzas de adhesión moderadas entre las partículas del material estabilizado (suelo y agregados aportados). Los especímenes sometidos a condicionamiento por saturación alcanzaron una resistencia cercana a la mitad del valor obtenido en condiciones secas, lo que sugiere que el material estabilizado retiene una porción de la resistencia a la compresión, a pesar de la presencia de humedad.



Tabla 29. Caracterización del material del Tramo 5_POLÍMERO-IO

Tipo de muestra	Límites de Atterberg			Densidad Máxima Próctor (kg/m ³)	Contenido de humedad Óptimo (%)	CBR de laboratorio* (%)
	LL	LP	IP			
Suelo natural (sin POLÍMERO-IO)	47	29	18	1.530	23,0	3,9
Suelo estabilizado (con POLÍMERO-IO y material de aporte agregado- arena)	35	25	10	1.786	14,6	31,0

Fuente: Adaptado del Informe I-0836-17, Laboratorio Geotecnia, LanammeUCR

**Resistencia a la compresión inconfiada
Tramo 5_POLÍMERO-IO**

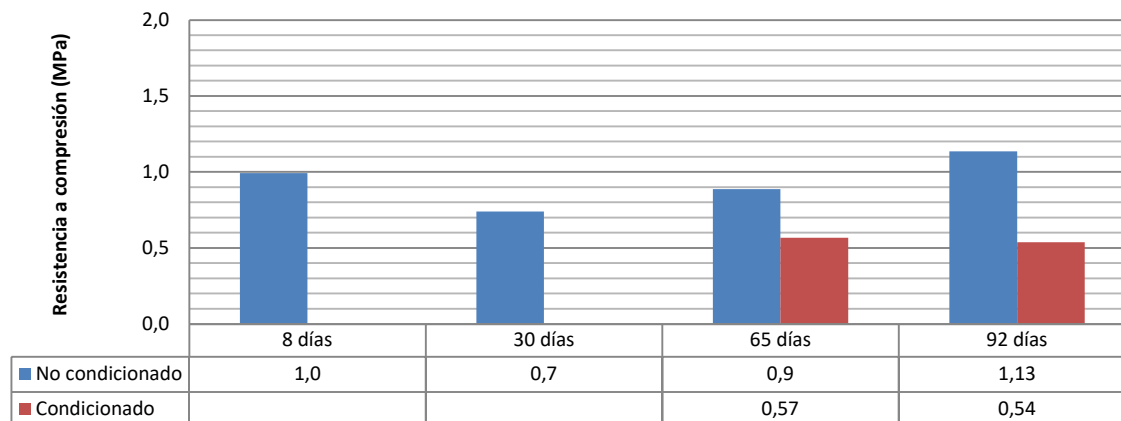


Figura 33. Resistencia a la compresión inconfiada Tramo 5_POLÍMERO-IO

Fuente: Con base en bitácoras de Laboratorio de Geotécnica, LanammeUCR.

Ensayos de campo

Los resultados de las mediciones de densidad y contenido de humedad realizadas con el densímetro nuclear, y las mediciones del módulo de superficie M_0 que se realizaron con el LWD, se presentan en la Figura 34 y Anexo 10.6.

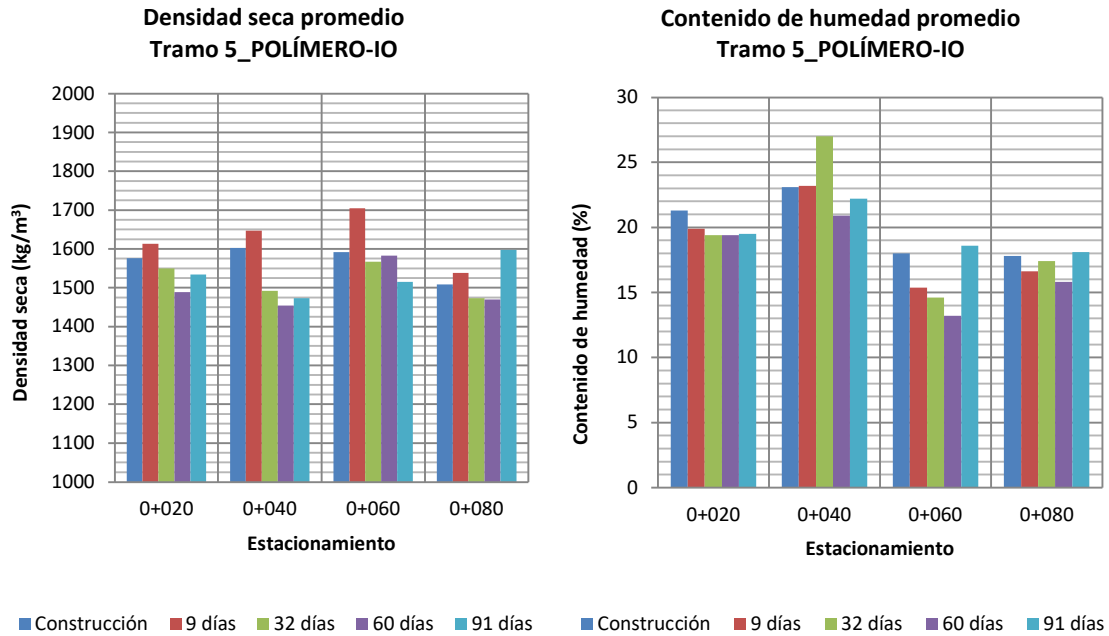
Se midió valores de densidad seca (entre 1.509 kg/m³ y 1.603 kg/m³) que no alcanzaron el 95% de la densidad máxima, lo cual se puede asociar a los altos contenidos de humedad



(17,8% en 0+080 y 23,1% en 0+040) generados por la precipitación ocurrida el día de la construcción. A pesar de lo anterior, se observa un aumento de la densidad seca a los 9 días, respecto del valor obtenido el día de la construcción, en todos los estacionamientos, al punto de superar el 95% de la densidad máxima en la estación 0+060. Las mediciones posteriores a los 32, 60 y 90 días presentan una tendencia generalizada de disminución de la densidad seca, principalmente en los estacionamientos 0+020, 0+040 y 0+060. El contenido de humedad muestra variación desde un mínimo de 13,2%, medido en la estación 0+060 a los 60 días, hasta un máximo de 27,0% medido en la estación 0+040 a los 32 días. Las estaciones 0+020 y 0+040 están ubicadas en una zona con cobertura de árboles, mientras que las estaciones 0+060 y 0+080 tienen mayor exposición a luz solar directa, lo cual explica el menor contenido de humedad medido en sitio.

Las mediciones del módulo de superficie M_0 presentan un comportamiento similar en las estaciones 0+020, 0+040 y 0+060, en el cual se observa un aumento entre las mediciones realizadas a los 9 días y los 32 días, pero luego disminuye en las mediciones realizadas a los 60 y 91 días. En la estación 0+080, se obtuvo valores similares en las cuatro edades de medición, que variaron entre 151 MPa, a los 9 días y 180,6 MPa, a los 91 días. En las estaciones 0+020 y 0+040, se obtuvo valores máximos de 406,2 MPa y 474,0 MPa a los 32 días, mientras que en la estación 0+040, se obtuvo un mínimo de 49,8 MPa, a los 9 días. Finalmente, los valores medidos en las cuatro estaciones, a los 91 días, presentan menor variación que en el resto de las edades, pues se obtuvo un mínimo de 133,4 MPa en la estación 0+040 y un máximo de 180,6 MPa, en la estación 0+080.

Estos datos sugieren que el producto estabilizador POLÍMERO-IO, aplicado en el *Tramo 5*, generó adhesión moderada entre las partículas del material estabilizado, lo que se vio reflejado en la resistencia a la compresión inconfiada y en menor medida en las mediciones del módulo de superficie M_0 , porque estas mediciones variaron entre las diferentes estaciones y en el tiempo. A pesar de esto, se observa que la capa estabilizada supera el módulo medido en el suelo natural, que fue de 69,5 MPa (como se indica en la *Tabla 9*), excepto en la estación 0+040 a los 9 días.



Módulo de superficie promedio Mo Tramo 5_POLÍMERO-IO

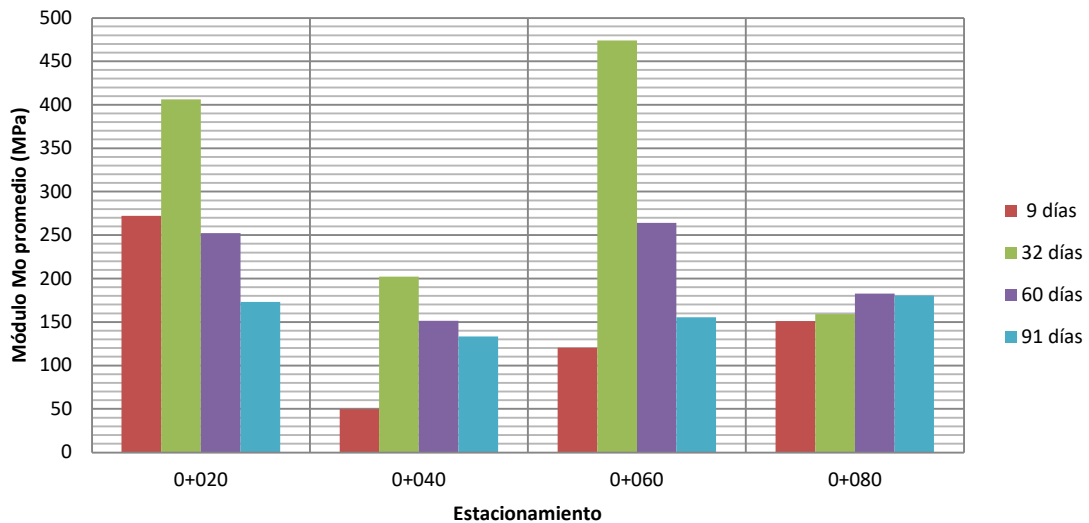


Figura 34. Resultados de ensayos de campo para el Tramo 5_POLÍMERO-IO

Fuente: Con base en bitácoras de Laboratorio de Geotécnica y de Campo, LanammeUCR.



Evaluación visual

Los resultados de la evaluación visual realizada en el *Tramo 5* donde se utilizó POLÍMERO-IO, se muestran en la Tabla 30 y Figura 35, para los 4, 6, 9, 22 y 28 meses desde la construcción. En el Anexo 10.7, se adjunta una serie de fotografías, que muestran la condición de deterioro en el momento de cada evaluación.

El tránsito vehicular total estimado, que pasó por el *Tramo 5*, fue de 65.343 vehículos, lo que implica cargas cercanas a 5.021 ESAL. La precipitación total aproximada, que recibió el *Tramo 5*, es de 5.385 mm de lluvia desde el momento de construcción, hasta octubre de 2019. Además, el promedio anual de precipitación es de 1864 mm entre 2016 y 2019, de acuerdo con los datos disponibles indicados en la Figura 15.

Al inicio del período de evaluación, el *Tramo 5* mostró leve desprendimiento del agregado grueso (piedra cuarta incorporada), que quedó suelto en la superficie de la capa estabilizada, sin embargo, se observó una capa mayormente consolidada, sin zonas blandas evidentes. Además, se observaron algunas fisuras finas cortas en algunos puntos localizados, principalmente en condiciones secas.

Posteriormente, se observó erosión pluvial leve que produjo mayor desprendimiento de agregado y la aparición de pequeños descascaramientos o huecos de poca profundidad. Se observó el crecimiento de maleza en ambos lados de la calzada, lo cual pudo influir en la formación de las cunetas secundarias que aparecieron sobre la superficie de ruedo en ambos lados de la calzada.

Hacia el final del período de evaluación, se observó mayor grado de erosión, principalmente en la zona que tiene una leve pendiente longitudinal de 5%, con la formación de surcos y afloramiento de las partículas de agregados más gruesos. Sin embargo, la deformación de la conformación original de la calzada no es severa, ya que no se identificaron ahuellamientos y surcos por erosión pluvial profundos, ni se observa afloramiento del suelo de subrasante original.

En este tramo no se identificaron actividades de mantenimiento como reconformación de la calzada y cunetas.



Tabla 30. Índice de condición superficial (URCI) del Tramo 5_POLÍMERO-IO

Evento	Fecha	Meses desde construcción	URCI	Comentarios
Construcción	19/6/2017	0	100	<ul style="list-style-type: none"> • Condición original excelente, sin deterioros.
Evaluación # 1	17/10/2017	4	67,9	<ul style="list-style-type: none"> • Entre 1 y 3 meses se observa leve desprendimiento de agregado grueso. La capa estabilizada se mantiene consolidada y la calzada conserva la conformación original. Se identifica algunas fisuras finas y erosión leve en sitios aislados. • A los 4 meses se observa mayor cantidad de agregado suelto en toda la calzada, pero se conserva la conformación original sin ahuellamientos o surcos notables.
Evaluación # 2	20/12/2017	6	66,9	<ul style="list-style-type: none"> • Entre los 5 y 6 meses se observa leve erosión superficial, mayor cantidad de agregado suelto, pero se mantiene la capa estabilizada consolidada. • Se mantiene la conformación original de la calzada.
Evaluación # 3	23/03/2018	9	65,1	<ul style="list-style-type: none"> • Se observa mayor cantidad de agregado suelto a ambos lados y centro de la vía. • Erosión pluvial que ha generado surcos leves en varios puntos del tramo de prueba. • Se observa un par de huecos pequeños y de poca profundidad. • Se mantiene buena conformación y transitabilidad.
Evaluación # 4	04/04/2019	22	61,0	<ul style="list-style-type: none"> • Se observa mayor erosión moderada que genera leve deformación de la calzada, así como algunos huecos leves y pequeños. • Agregado suelto moderado a ambos lados y en el centro. • Se observan desprendimiento de finos sobre la superficie que generan polvo en condiciones secas. • Las cunetas tienen maleza, principalmente en lado derecho de la vía, lo que puede dificultar el drenaje pluvial adecuado. • Se observa leve deformación de la conformación original de la calzada, pero se mantiene buena transitabilidad en condiciones secas o húmedas.
Evaluación # 5	24/10/2019	28	59,3	<ul style="list-style-type: none"> • Se observa erosión pluvial en forma de surcos en la zona de mayor pendiente longitudinal (5%), donde el agregado grueso ha aflorado y en algunos casos está suelto. • Se observan algunas zonas con mayor cohesión que otras, que se han mantenido adheridas, posiblemente por segregación del proceso de estabilización. • A pesar de existir sombra de árboles en la zona de curvatura del tramo de prueba, se observa erosión leve y un par de huecos pequeños de profundidad moderada. • Se observa la formación de una cuneta secundaria, principalmente en el lado derecho del tramo, esto debido a la erosión y crecimiento de maleza en el hombro y cuneta que obstaculiza el drenaje pluvial. • La calzada se ha deformado levemente, pero se mantiene muy buena transitabilidad.

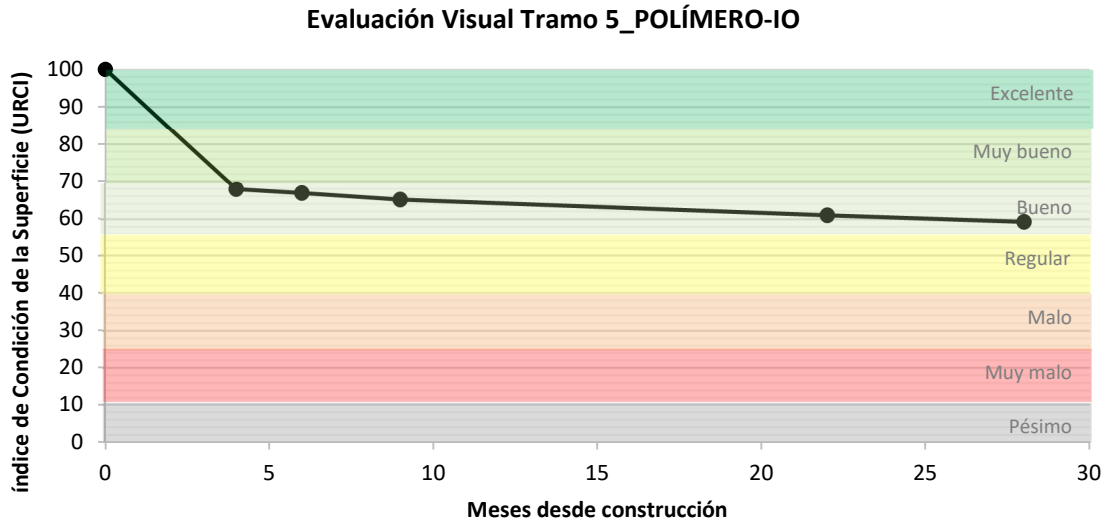


Figura 35. Curva de evaluación visual del Tramo 5_POLÍMERO-IO

A continuación, se describe las principales ventajas, beneficios y limitaciones, que fueron identificadas, a partir del análisis de resultados de ensayos de laboratorio, pruebas de campo y la evaluación visual del *Tramo 5*, que fue estabilizado con POLÍMERO-IO.

8.4.6 Ventajas y beneficios identificados con el uso del sistema POLÍMERO-IO.

- El fabricante del POLÍMERO-IO ofrece una solución que se puede adaptar a las condiciones particulares del suelo existente en el camino y presenta un paquete completo de diseño de dosificación y suministro del producto, lo cual puede facilitar el proceso de contratación y compra para los clientes interesados.
- En el *Tramo 5*, se observó una capa rígida consolidada, que además de permitir la transitabilidad, mantiene su conformación sin la formación de huecos o desprendimientos severos.
- En el *Tramo 5* se observó que el sistema POLÍMERO-IO requiere de aporte de agregados (arena y piedra) en volumen variable, lo que depende del tipo de suelo encontrado en el sitio. Esto puede reducir la utilización de agregados y acarreo,



respecto de la colocación de materiales granulares como base o subbases en capas no estabilizadas.

- En el *Tramo 5*, se observó una leve reducción en la plasticidad del material estabilizado, que corresponde a una mezcla del producto estabilizador, arena y piedra, respecto al suelo existente en el camino.
- En el *Tramo 5*, se observó un aumento en la densidad máxima y una reducción en el contenido de humedad óptimo de la mezcla de producto estabilizador con arena y piedra, respecto del suelo existente en el camino.
- En el *Tramo 5* se identificó aumento del CBR de laboratorio, de la mezcla de producto estabilizador, arena y piedra (31%), respecto del suelo existente en el camino (3,9%).
- En el *Tramo 5*, se observó que el material estabilizado genera resistencia a la compresión confinada moderada de hasta 1 MPa en condiciones secas y de 0,5 MPa en condiciones de saturación.
- La presencia de material granular y arenas de aporte podrían tener relación con las reducciones en plasticidad, aumento en densidad y CBR.
- No se observó erosión pluvial en la superficie del tramo estabilizado. Sin embargo, este tramo tiene la menor pendiente máxima (5%) de los seis tramos.
- La capa estabilizada puede abrirse al tránsito casi de manera inmediata, luego de la correspondiente compactación.

8.4.7 Limitaciones identificadas con el uso del sistema POLÍMERO-IO.

- El diseño del sistema de estabilización POLÍMERO-IO es realizado exclusivamente por el fabricante del producto, lo cual podría limitar el conocimiento sobre los criterios utilizados para su dosificación ante diferentes condiciones de suelos o materiales granulares.



- En la estabilización con POLÍMERO-IO realizada en el *Tramo 5*, se observó la reducción del aporte de agregados respecto de un camino de grava, o una estabilización de base o subbase granular, sin embargo, no se elimina totalmente el uso de agregados, lo que requiere de la extracción y acarreo correspondiente.
- En el *Tramo 5*, se observó agregado suelto leve y moderado a ambos lados y en el centro de la calzada, lo cual indica que no se generó una adhesión total entre las partículas del material estabilizado.
- El proceso de estabilización utilizado en el *Tramo 5* con POLÍMERO-IO, requirió de la homogenización de la capa del suelo existente, distribución del estabilizador líquido y homogenización, distribución del producto sólido, distribución de agregados (arena y piedra), homogenización y compactación final.
- El rendimiento constructivo o producción observada en el *Tramo 5* que se estabilizó con el producto POLÍMERO-IO, es bajo respecto de otras técnicas de estabilización, debido a los dos diferentes componentes del sistema y a los procesos que se deben realizar, situación que se hace más crítica si se utiliza equipo convencional como motoniveladora, backhoe, vagoneta y compactadora. Ante lo anterior, se recomienda utilizar equipo especial para estabilización como recuperadora, camión estabilizador especial o roto-mezclador de suelos.
- El componente líquido del sistema *POLÍMERO-IO* es entregado en estañones de 120 L y se diluye en el agua del riego para la compactación. El tamaño y peso de los estañones puede dificultar la manipulación manual en el sitio.
- El componente sólido del sistema *POLÍMERO-IO* es entregado en sacos de aproximadamente 1 m³, por lo que su distribución se dificulta con equipo convencional como motoniveladora, backhoe o vagoneta. Este producto es muy liviano y parte de él se suspende en el aire, tanto durante el proceso de distribución como de homogenización. Se recomienda utilizar un equipo especial dosificador de cemento o camión estabilizador para reducir la suspensión del producto en el aire.



- El costo inicial del sistema POLÍMERO-IO es alto respecto de otros productos estabilizadores, debido a las diferentes etapas que requiere el proceso constructivo, la aplicación de dos componentes estabilizadores, aporte de agregados y el uso preferible de equipo especial para homogenizar.

8.5 Tramo 6: Estabilización de suelo existente con CAL HIDRATADA

8.5.1 Descripción del producto.

La cal hidratada o hidróxido de calcio ($\text{Ca} [\text{OH}]_2$) es un estabilizador tradicional de suelos finos arcillosos, que produce una reacción química exotérmica con el agua y los minerales arcillosos, genera floculación y aglomeración de las partículas del suelo, aumenta el pH y finalmente genera una matriz de suelo cementada por la formación de hidratos de calcio. La reacción de secado se inicia en el momento de aplicación, luego se presenta la modificación química en cuestión de horas y finalmente la formación de la matriz cementada puede durar años. Según lo indicado por el fabricante, los principales usos y beneficios al utilizar este estabilizador se resumen en la Tabla 31. En el Anexo 11.1 se adjunta la información completa tomada de la ficha técnica de este producto.

Tabla 31. Usos y beneficios de la CAL HIDRATADA

Usos	Beneficios técnicos	Beneficios económicos y ambientales
<ul style="list-style-type: none"> • Se puede utilizar cal para secar cualquier tipo de suelo húmedo, ya que reacciona produciendo calor. • Mejorar la trabajabilidad y resistencia de los suelos a corto plazo. • Estabilización de suelos finos arcillosos de alta plasticidad que se utilizan como subrasante, subbase o rellenos de préstamo en carreteras. • Estabilización de materiales de base que no cumplen con las especificaciones. • Estabilización de terraplenes, aeródromos y suelos de fundación para edificaciones. 	<ul style="list-style-type: none"> • Se puede utilizar como polvo o en lechada. • Aumenta el CBR, la resistencia al corte y la resistencia a la compresión del suelo estabilizado. • El efecto continúa en el tiempo, con un aumento en la resistencia • Reduce la plasticidad y aumenta el pH del suelo estabilizado. • Reduce la humedad del suelo estabilizado. 	<ul style="list-style-type: none"> • Reducción de producción y acarreo de agregados para sustitución de subrasantes. • Reducción de espesores en capas de estructura de pavimento debido al aumento en la capacidad de soporte del suelo. • Reducción en costos de mantenimiento en todo tipo de vías. • Reducción en la emisión de carbono y consumo de combustibles fósiles por producción y acarreo de agregados.

Fuente: Información suministrada por el proveedor del aditivo



8.5.2 Diseño para la estabilización.

El diseño de dosificación de la estabilización del *Tramo 6* con cal hidratada fue realizado en el LanammeUCR con el material y asesoría del proveedor. Se utilizó la información de caracterización de los tramos de prueba que se resume en la Tabla 8 y Anexo 6, así como muestras adicionales de suelo para el diseño de mezcla en laboratorio. El diseño se muestra en el Anexo 11.2 y se resume en la *Tabla 32*.

Tabla 32. Dosificación de diseño para el Tramo 6_CAL HIDRATADA

Variable	Valor
Espesor de la capa estabilizada	0,20 m
Ancho promedio de calzada estabilizada	5,5 m
Longitud del tramo de prueba	100 m
Área del tramo de prueba	550 m ²
Dosificación de diseño por peso seco	3,5%
Resistencia a la compresión de diseño (7 días)	0,3 MPa (3,1 kg/cm ²)
Cantidad total de producto estabilizador aplicado	180 sacos de 25 kg (4500 kg)
Dosificación por área de producto estabilizador	0,33 sacos de 25 kg/m ² (8,1 kg/m ²)
Dosificación por volumen de producto estabilizador	1,6 sacos de 25 kg/m ³ (40 kg/m ³)

6.5.3 Proceso constructivo

Se aplicó el procedimiento acordado entre el proveedor de CAL HIDRATADA, la UTGV de la Municipalidad de Mora y el LanammeUCR. Los representantes de la empresa proveedora estuvieron presentes en el proceso constructivo y además del producto estabilizador, aportaron un compactador de 8 toneladas. El detalle del proceso constructivo aplicado se adjunta en el Anexo 11.3 y el acabado final se muestra en la Figura 36.



Figura 36. Acabado final del Tramo 6 _CAL HIDRATADA

8.5.3 Costos.

Los costos asociados al proceso constructivo para la estabilización del *Tramo 6*, se estimaron a partir de la información suministrada por la empresa proveedora y la UTGV de la Municipalidad de Mora, respecto del costo del producto estabilizador, otros materiales, equipo y mano de obra. En el Anexo 11.4 se presenta la hoja de cálculo utilizada para la estimación de costos, que se resume en la Tabla 33.

Tabla 33. Estimación de costos para estabilización con CAL HIDRATADA

Rubro	Descripción	Costo	
Mano de obra	Personal técnico para construcción: encargado de obra, operadores de equipo, operarios y peones.	¢ 277 900,00	
Equipo y maquinaria	Equipo utilizado en la construcción del tramo de prueba: niveladora, backhoe, tanque de agua, compactador, vagoneta, camión y otros.	¢ 1 244 800,00	
Materiales	Cal hidratada de HORCALSA (sacos 25 kg)	¢ 1 800 000,00	
Costos indirectos	Imprevistos, personal de oficina, verificación del laboratorio.	¢ 166 135,00	
Total		¢ 3 488 835,00	
Producción estimada	5,5 x 200 m = 1100 m ²	Costo unitario/m²	¢ 3 171,67
	5,5 x 200 m x 0,20 m = 220 m ³	Costo unitario/m³	¢ 15 858,34

Nota: los costos se presentan para una producción máxima estimada de dos veces lo obtenido en el tramo de prueba, debido a que el equipo y maquinaria se subutiliza en una sección de camino tan corta.



8.5.4 Seguimiento.

Los resultados de los ensayos de laboratorio realizados al suelo natural y estabilizado, las pruebas de campo ejecutadas y la evaluación visual realizada para dar seguimiento a la condición superficial del *Tramo 6*, donde se aplicó CAL HIDRATADA, se muestran a continuación.

Ensayos de laboratorio

Se tomaron muestras de suelo natural y estabilizado con cal para realizar ensayos de caracterización básica cuyos resultados, se muestran en la Tabla 34 y Anexo 11.5. El efecto de la cal hidratada se observa en el Límite Líquido, que pasó de 64 a 45 para el suelo natural y el suelo estabilizado, respectivamente, lo que a su vez reduce el Índice de Plasticidad de 25 a 6. También, se observa que el CBR pasó de 8,6% a 22,0%, entre el suelo natural y estabilizado con cal. La densidad máxima se redujo de 1.448 kg/m³ a 1.358 kg/m³ y el contenido de humedad aumentó de 27,5% a 31,2%, debido a la demanda de humedad requerida para la hidratación de la cal.

La Figura 37 y Anexo 11.5 muestra los resultados de la resistencia a la compresión inconfiada obtenida para los especímenes que fueron moldeados y curados por aspersión durante 7 días. Esto se realizó en condiciones secas y bajo condicionamiento por saturación, a edades de 7, 30, 60 y 90 días.

La resistencia en condiciones secas varió de un mínimo de 0,31 MPa obtenido a los 7 días, hasta un máximo de 1,52 MPa obtenido a los 30 días. La resistencia bajo condicionamiento varió de un mínimo de 0,33 MPa a los 7 días, hasta un máximo de 0,59 MPa obtenido a los 30 días. Por otro lado, la resistencia en condiciones secas a los 7 días es similar a la resistencia obtenida bajo condicionamiento, sin embargo, a las edades de 30, 60 y 90 días, la resistencia en condiciones secas es mucho mayor que la resistencia obtenida bajo condicionamiento. A pesar de esta diferencia, el suelo estabilizado con cal retiene una proporción de resistencia a la compresión bajo condicionamiento que varía entre 30% y 39%.



Lo anterior sugiere que la reacción generada entre la cal hidratada y el suelo arcilloso produce modificación del comportamiento del material ante la humedad y además se producen fuerzas de adhesión o cementación entre las partículas del suelo que desarrollan resistencia a la compresión del material estabilizado, lo cual se mantiene en una proporción bajo las condiciones críticas de saturación.

Tabla 34. Caracterización del material del Tramo 6_CAL HIDRATADA

Tipo de muestra	Límites de Atterberg			Densidad Máxima Próctor (kg/m ³)	Contenido de humedad Óptimo (%)	CBR de laboratorio (%)
	LL	LP	IP			
Suelo natural (sin cal hidratada)	64	39	25	1.448	27,5	8,6
Suelo estabilizado (con cal hidratada)	45	39	6	1.358	31,2	22,0

Fuente: Adaptado del Informe I-0840-18, Laboratorio de Geotecnia, LanammeUCR

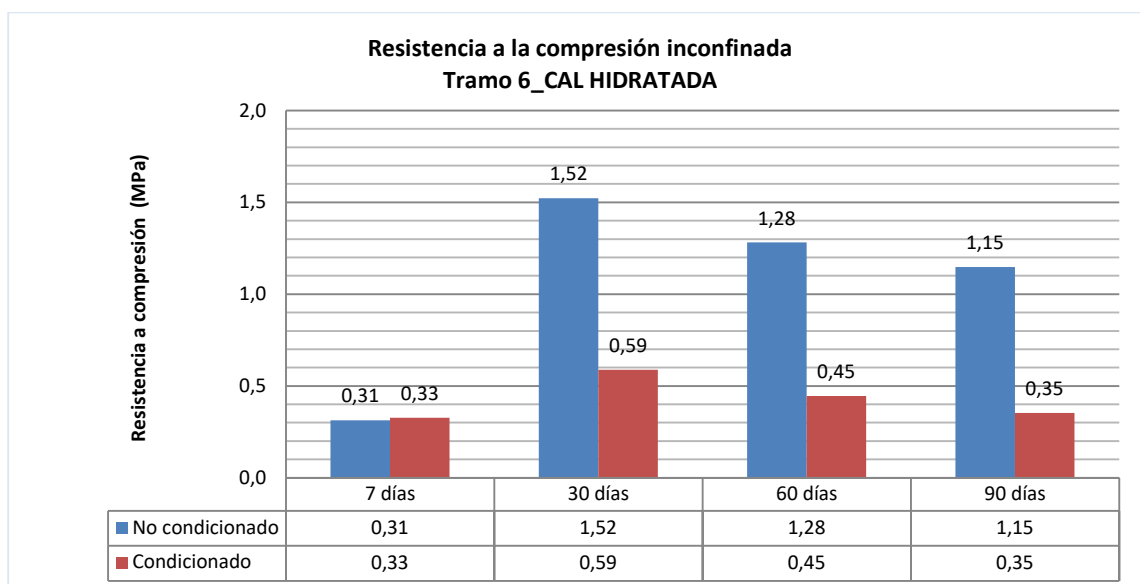


Figura 37. Resistencia a la compresión inconfiada Tramo 6_CAL HIDRATADA

Fuente: Con base en bitácoras de Laboratorio de Geotécnica, LanammeUCR.



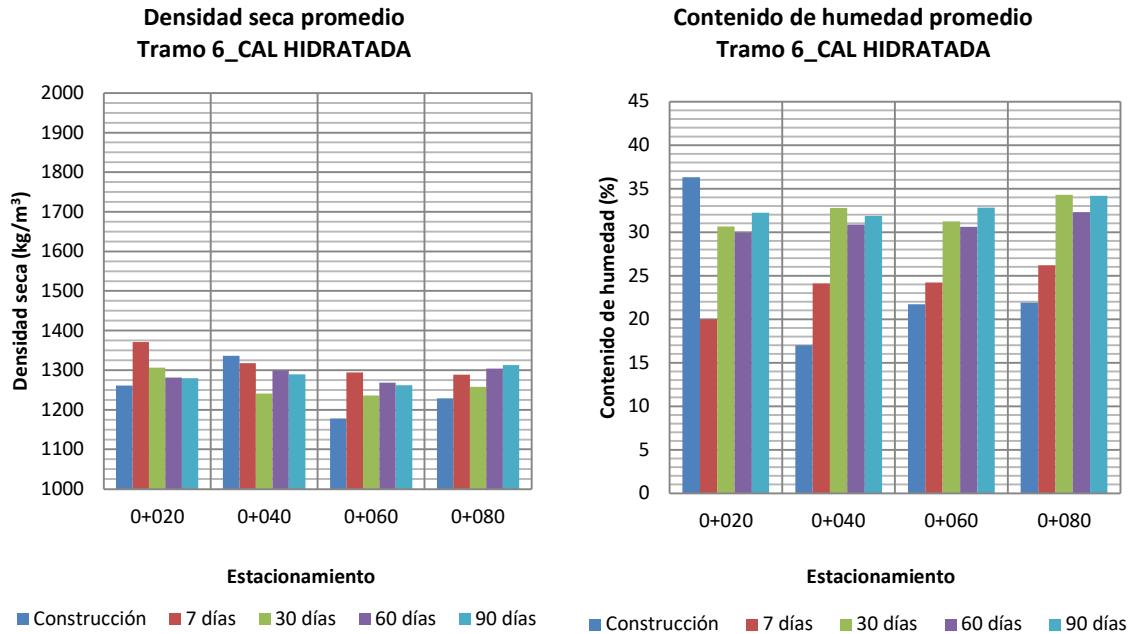
Ensayos de campo

Se realizó mediciones de densidad y contenido de humedad con el método nuclear, así como mediciones del módulo de superficie M_0 con el LWD, a diferentes edades desde la construcción del *Tramo 6*. Los resultados de los ensayos de campo se presentan en la Figura 38 y Anexo 11.6

La densidad seca obtenida durante el proceso constructivo cumple con un grado de compactación mayor al 95% de Próctor Estándar para las estaciones 0+020, 0+040 y 0+080, mientras que en la estación 0+060 se alcanzó 92,3% de compactación, respecto de la densidad seca máxima de referencia que se había establecido en el diseño de 1.276 kg/m³. Esto indica que el proceso de compactación fue efectivo, a pesar de las dificultades que se tuvieron para mantener la humedad en el tramo de prueba, debido a las condiciones secas y soleadas del clima, el día de la construcción. El contenido de humedad para la construcción varió entre un máximo de 36,3% en la estación 0+020 y un mínimo de 17,0% en la estación 0+040.

Las mediciones de densidad seca en sitio para las edades de 7, 30, 60 y 90 días, muestran una tendencia de variación similar para los cuatro estacionamientos, donde se observan valores altos a los 7 días, que disminuyen hacia los 30 días y de ahí en adelante se mantienen aproximadamente constantes. El contenido de humedad presenta un comportamiento donde se observa menor contenido de humedad a los 7 días, el cual tiende a aumentar hacia los 30 días y de ahí en adelante se mantienen cerca de ser constantes.

El módulo de superficie M_0 presenta una tendencia de variación similar, entre los diferentes estacionamientos y edades a las cuales se realizó las mediciones con el LWD. Se observa un valor mínimo de 53,3 MPa y un valor extremo máximo de 217,2 MPa, ambos en la estación 0+060 a los 7 y 60 días, respectivamente. El resto de las mediciones varían entre 58,7 MPa medido a los 7 días en la estación 0+080 y 107,1 MPa medido a los 60 días en la estación 0+020.



**Módulo de superficie promedio M_0
Tramo 6_CAL HIDRATADA**

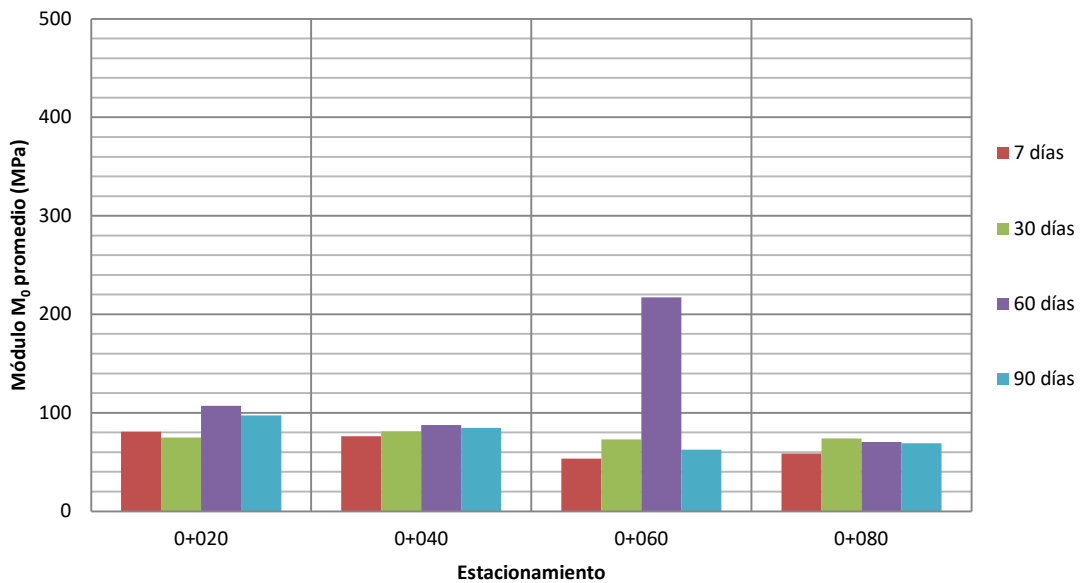


Figura 38. Resultados de ensayos de campo para el Tramo 6_CAL HIDRATADA

Fuente: Con base en bitácoras de Laboratorio de Geotécnica y de Campo, LanammeUCR.



Lo anterior sugiere que la estabilización del suelo existente con CAL HIDRATADA genera resistencia a la compresión, que es retenida en una proporción cercana al 30% bajo condicionamiento por humedad. Esta adhesión entre las partículas del suelo generada por la cal hidratada produce a su vez ganancia en la rigidez de la capa estabilizada, que se ve reflejada en el módulo de superficie que presenta una tendencia de variación uniforme entre las diferentes estaciones y edades de medición. Además, el módulo de superficie del suelo estabilizado con cal supera el valor obtenido en las condiciones naturales del suelo sin estabilizar (33,2 MPa), esto a pesar de que las mediciones a los 30, 60 y 90 días, se realizaron bajo contenidos de humedad altos que variaron entre 30,6% y 34,3%.

Evaluación visual

La evaluación visual del Tramo 6_CAL HIDRATADA, fue realizada por personal de la Unidad de Gestión Municipal del PITRA, LanammeUCR, a los 2, 3, 13 y 19 meses desde la construcción del tramo de prueba. En la Tabla 35, se presenta el índice URCI para cada evaluación y una serie de comentarios acerca de la condición observada. En la Figura 39 se presenta la curva de evaluación asociada a la condición de acuerdo con el índice obtenido en cada evaluación visual. En el Anexo 11.7 se adjunta una serie de fotografías que muestran la condición observada en cada evaluación realizada.

El tránsito vehicular total estimado, que pasó por el *Tramo 6* fue de 49.200 vehículos y 3.767 ESAL. La precipitación total estimada para el período de evaluación desde la construcción del tramo es de 3.511 mm de lluvia, correspondientes a dos temporadas lluviosas completas, hasta octubre de 2019. Además, el promedio anual de precipitación es de 1864 mm entre 2016 y 2019, de acuerdo con los datos disponibles indicados en la Figura 15.

Luego de la construcción, se observó una capa consolidada de suelo estabilizada con cal hidratada que ofrecía soporte al tránsito sin que se apreciaran zonas blandas. A los siete días se observa la formación de trozos separados de suelo en la mayoría de la superficie, posiblemente por contracción debido a condiciones climáticas muy secas, esto a pesar de realizar el proceso de curado con riego de agua. En la zona con sombra por presencia de árboles se observa menor grado de contracción, por la conservación de humedad del suelo.



Posteriormente, en la zona de mayor pendiente y curvatura del *Tramo 6*, aparece erosión pluvial en forma de surcos que se van profundizando durante la época lluviosa hasta generar una zona blanda, donde parece haber pérdida de la capa estabilizada y se han formado profundos ahuellamientos, que dificultan el tránsito en condiciones de humedad. Además, a los 13 meses se observó una excavación en la cuneta derecha para la reparación de tubería de agua potable, que puede haber afectado el drenaje y compactación del hombro de la calzada. Hacia el final del período de evaluación la condición general es regular, se ha perdido la conformación de la calzada en la zona de mayor pendiente, mientras tanto en la zona con menor pendiente longitudinal se conserva la transitabilidad incluso en condiciones de humedad.

El análisis de resultados de los ensayos de laboratorio, las pruebas de campo y la evaluación visual, permite identificar una serie de ventajas, beneficios y limitaciones, asociadas a la estabilización con CAL HIDRATADA del *Tramo 6*, que se presentan a continuación.

Tabla 35. Índice de condición superficial (URCI) del Tramo 6_CAL HIDRATADA

Evento	Fecha	Meses desde construcción	URCI	Comentarios
Construcción	15/3/2018	0	100	<ul style="list-style-type: none"> Condición superficial excelente.
Evaluación # 1	15/5/2018	2	99,3	<ul style="list-style-type: none"> A los 7 días se observa una capa de suelo bien consolidada sin deterioros visibles. Se observa contracción por falta de humedad con la formación de trozos de 20 cm de diámetro en condiciones muy secas. A los 30 días se observa el inicio de erosión en la zona de mayor pendiente, que coincide con la curvatura del tramo de prueba. Se mantiene la conformación original. A los 2 meses se aprecia surcos leves y moderados provocados por la erosión pluvial en la zona de mayor pendiente y curvatura del tramo de prueba. Empieza a observarse la superficie de partículas más gruesas que habían quedado embebidas en la capa estabilizada, pero la calzada mantiene buena transitabilidad y conformación.
Evaluación # 2	14/6/2018	3	90,5	<ul style="list-style-type: none"> El surco ubicado en el lado derecho de la calzada se ha profundizado a 7 cm con ancho de 80 cm y longitud de 10 m. Este deterioro está ubicado en la zona de mayor pendiente y curvatura del tramo de prueba. En la cuneta derecha también se observa erosión pluvial por el aumento de velocidad del agua debido a la pendiente.



Evento	Fecha	Meses desde construcción	URCI	Comentarios
				<ul style="list-style-type: none"> Se observa mayor afloramiento de partículas gruesas que habían quedado embebidas en la capa estabilizada. En la zona con menor pendiente del tramo se conserva la calzada con la conformación original y un par de zonas donde se identifica erosión puntual del suelo estabilizado.
Evaluación # 3	04/04/2019	13	54,4	<ul style="list-style-type: none"> Se realizó excavación en el lado derecho del tramo para reparación de tubería de agua potable, lo que provoca pérdida de conformación de la cuneta y altera la compactación en el hombro derecho. Se observa una condición general regular, con mayor erosión en la zona con pendiente y curvatura del tramo, al punto de formarse varios surcos profundos y la formación de cunetas secundarias. En la zona de menor pendiente, donde existe sombra por árboles, se observa mejor condición superficial y menor erosión de la capa estabilizada.
Evaluación # 4	24/10/2019	19	49,6	<ul style="list-style-type: none"> Se observa condición general regular. En la zona con mayor pendiente longitudinal y curvatura, se observa la capa de suelo muy blanda, con surcos y ahuellamientos de hasta 15 cm de profundidad que dificultan el tránsito. En la zona de menor pendiente, mayor sombra de árboles y por lo tanto donde se conserva mayor humedad, se observa menor deterioro de la calzada y se mantiene la transitabilidad.

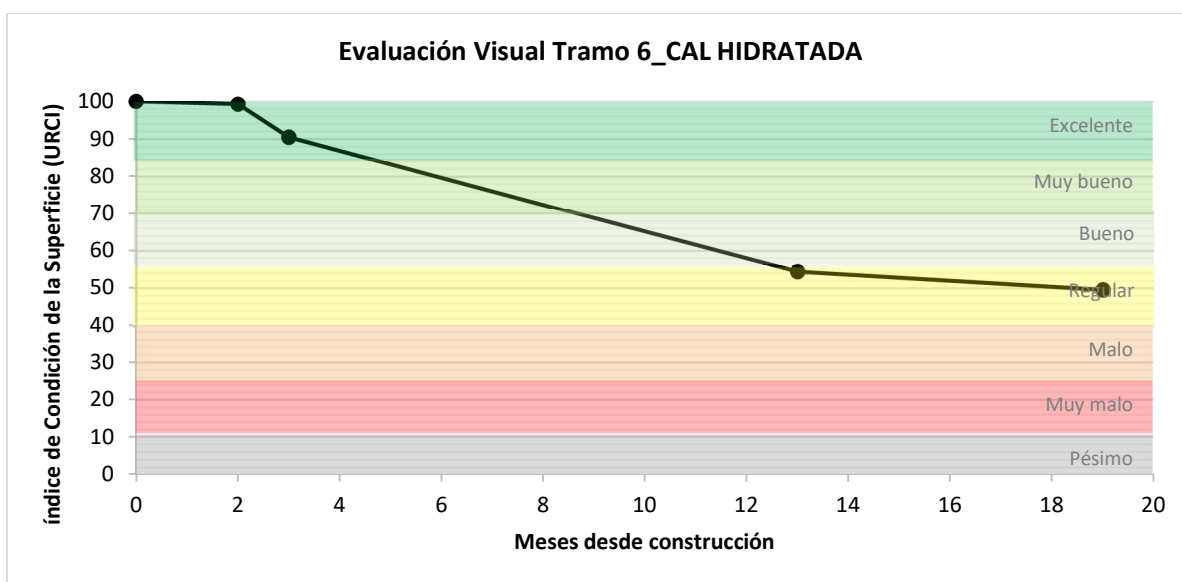


Figura 39. Curva de evaluación visual del Tramo 6_CAL HIDRATADA



8.5.5 ***Ventajas y beneficios identificados con el uso del CAL HIDRATADA.***

- En el *Tramo 6* que fue estabilizado con CAL HIDRATADA, se observó una capa rígida consolidada, que permite la transitabilidad en época lluviosa a pesar de la ausencia de agregado en la capa estabilizada.
- El uso de CAL HIDRATADA en el *Tramo 6*, permitió la estabilización del suelo arcilloso existente, sin la necesidad de aportar agregados, lo cual reduce la extracción, el acarreo y por lo tanto los costos asociados.
- En el *Tramo 6*, se observó que la estabilización de suelo arcilloso de alta plasticidad con CAL HIDRATADA permite obtener resistencia a la compresión del material estabilizado, que se mantiene tanto en condiciones secas como en condiciones de humedad, debido al efecto químico y adhesión que se genera entre las partículas del suelo.
- El uso de CAL HIDRATADA puede ayudar a la intervención de zonas donde existe exceso de humedad, donde el drenaje se dificulta o se tiene problemas de niveles freáticos superficiales en caminos no pavimentados.
- La presentación de la CAL HIDRATADA en sacos de 25 kg facilita el manejo manual, almacenamiento y distribución del producto en el camino.

8.5.6 ***Limitaciones identificadas con el uso de CAL HIDRATADA.***

- En el *Tramo 6*, se observó que la estabilización de suelos con CAL HIDRATADA se puede realizar con equipo de construcción convencional (motoniveladora), pero es preferible el uso de maquinaria especial como camiones estabilizadores, recuperadora o al menos tractor roto-mezclador de suelos.
- En el *Tramo 6*, se observó que la estabilización de suelos con CAL HIDRATADA requiere del tiempo de "*marinado*" posterior a la aplicación y homogenización de la capa a estabilizar. Esto puede tomar hasta 48 horas, lo que implica mayor tiempo de apertura al tránsito, que otras técnicas de estabilización.



- En el *Tramo 6*, se observó que la estabilización de suelo con CAL HIDRATADA requiere de un período de curado con riego frecuente de agua por al menos 7 días o la aplicación de una membrana de curado.
- En el *Tramo 6*, se observó en algunas zonas aisladas el afloramiento de cal sin reaccionar en pequeños grumos, lo cual puede deberse a que sólo fue posible “marinar” por un período de 2 horas aproximadamente.
- En el *Tramo 6*, se observó erosión severa en la zona con mayor pendiente (15%) del tramo de prueba, lo cual puede indicar que, a pesar de la adhesión o cementación lograda, se puede requerir de una capa granular adicional o un sello superficial que impermeabilice la superficie y sea resistente a la erosión.
- Según el conocimiento del LanammeUCR, en Costa Rica no existe por el momento un productor y/o distribuidor formal de cal hidratada que cumpla con los estándares de calidad y volumen de producción requeridos para la estabilización de suelos en caminos.

9. Comentarios Finales

Las principales enseñanzas y lecciones aprendidas durante la estabilización y evaluación de varios tramos de prueba del cantón de Mora son las siguientes:

- Los diferentes productos estabilizadores que se aplicaron en los tramos de prueba permitieron extender su período de operación con buenas condiciones de transitabilidad, respecto de otras secciones con características similares del camino donde no se aplicó ningún producto estabilizador.
- La estabilización de suelo existente o con aporte de materiales granulares permite mantener por mayor tiempo la transitabilidad de los caminos no pavimentados, ante condiciones de humedad, principalmente en las secciones de mayor pendiente longitudinal y curvatura.



- Los principales beneficios no tangibles de la estabilización de suelos existentes o con menor aporte de agregados, incluyen menor frecuencia de mantenimientos, reducción del aporte de sedimentos a los cuerpos de agua, lo que a su vez reduce el mantenimiento de pasos de alcantarillas y cunetas por sedimentación, así como reducción en la extracción y acarreo de agregados, lo que reduce costos e impacto ambiental.
- La estabilización de suelos, agregados o una combinación de estos, debe disponer del diseño de laboratorio correspondiente, en el cual se caracterice el material a estabilizar y se establezca la dosificación óptima del producto, de acuerdo con el beneficio esperado, ya sea mejora en la granulometría, reducción o aumento de plasticidad, aumento de CBR, aumento de resistencia a la compresión, entre otros.
- Los productos iónicos o estabilizadores concentrados como IÓNICO I y IÓNICO II se pueden utilizar para la estabilización de suelos arcillosos de subrasante, lo que permite mantener la transitabilidad incluso en condiciones de humedad. Sin embargo, no se genera resistencia a la compresión por adhesión o cementación, esto implica que el suelo sigue siendo susceptible a la erosión en secciones de alta pendiente y a deformaciones ante tránsito vehicular pesado. En ese caso, se requiere una capa de ruedo de material granular que distribuya las cargas vehiculares y un sello superficial que impermeabilice la superficie para resistir la erosión pluvial, principalmente en las zonas con mayor pendiente longitudinal.
- El CEMENTO funciona para la estabilización de materiales granulares (arenas o gravas), pero se requiere de alta dosificación para la estabilización de suelos arcillosos de alta plasticidad. La capa estabilizada es muy resistente a la compresión, pero cuando se usan altas dosificaciones de cemento, se puede presentar agrietamiento por contracción, el material se vuelve muy rígido, frágil y susceptible a la erosión cuando no cuenta con un sello de protección.
- El sistema de estabilización POLÍMERO-IO requiere de aporte de agregado fino y grueso, para obtener una capa estabilizada combinada entre suelo, agregados y el



producto estabilizador, la cual genera resistencia a la compresión moderada incluso en condiciones de humedad. El proceso constructivo es más sofisticado y requiere varios procesos de mezcla y homogenización, por lo que su rendimiento es menor y se requiere de equipo especial.

- La CAL HIDRATADA es un estabilizador eficiente y efectivo para suelos arcillosos de alta plasticidad, que permite obtener resistencia a la compresión incluso en condiciones de alta humedad. El proceso de aplicación debe ser cuidadoso para activar químicamente la cal con el suelo y obtener una capa estabilizada resistente. Se observó que el suelo estabilizado con cal hidratada mantiene su susceptibilidad a la erosión en las zonas de mayor pendiente longitudinal, por lo que se requiere protección con una capa de ruedo granular o un sello superficial.
- El costo inicial de la estabilización generalmente está asociado al aporte estructural y resistencia a la erosión pluvial buscada en la intervención, lo que a su vez debe asociarse a las solicitaciones de carga vehicular requeridas en el camino. En caminos no pavimentados la estabilización surge como una alternativa a considerar cuando no se cuenta con fuentes de materiales cercanas, se identifican secciones con suelos suaves y susceptibles a la humedad, donde se dificulta el paso en época lluviosa. En el caso de tramos donde se combina alta pendiente longitudinal ($G > 15\%$) y curvatura reducida ($R < 20$ m), se recomienda considerar alternativas como sellos superficiales, pavimentos de concreto o asfalto que generen mayor grado de adhesión, cementación e impermeabilización entre las partículas del agregado para obtener mayor durabilidad.
- La decisión de realizar una estabilización y la escogencia del producto, se debe tomar a partir de un análisis que incluya la caracterización en el laboratorio del material existente, verificación en el laboratorio de la compatibilidad y aporte del producto estabilizador con el suelo, la capacidad operativa requerida (por ejemplo equipo y maquinaria) para obtener la aplicación óptima, la frecuencia y tipo de labores de mantenimiento requeridas y la inversión total a realizar incluyendo el ciclo de vida.



10. Recomendaciones

Las recomendaciones más importantes que se identificaron a partir de la evaluación de los tramos estabilizados son las siguientes:

- Se recomienda, en la medida de lo posible, que el proceso de estabilización en sitio se realice con equipo especial como recuperadora, camión estabilizador, mezclador agrícola de discos o rotomezclador de suelos. Esto permite obtener una capa estabilizada de mayor calidad y durabilidad, homogénea, con la dosificación correcta y de espesor uniforme.
- Se recomienda en todo proceso de estabilización de caminos, se cuente con los elementos de drenaje necesarios (bombeo, cunetas, cordón y caño, pasos de alcantarilla y otros) para evacuar la escorrentía pluvial del camino, de manera que la vida útil del camino no se vea afectada por erosión o saturación excesiva de los materiales o suelos del sitio.
- Se recomienda realizar un análisis de costos de ciclo de vida para comparar entre diferentes alternativas de intervención, incluyendo la estabilización, para un determinado camino no pavimentado. Además, incluir los costos de la intervención inicial, mantenimiento rutinario, mantenimiento periódico, aplicaciones sucesivas y rehabilitaciones si es necesario.
- Se recomienda incorporar el descuaje de árboles como una actividad de mantenimiento periódico en los caminos no pavimentados, ya que la densa cobertura de árboles genera sombra que conserva la humedad y contribuye a la erosión de la capa de ruedo, ya sea de suelo, agregados o cualquier material estabilizado.
- Se recomienda promover la elaboración y oficialización de un protocolo de ensayo de laboratorio y pruebas de campo, entre el MOPT y el LanammeUCR para la elaboración de un registro de productos estabilizadores no tradicionales disponibles y aprobados para su utilización a nivel nacional.



- Se le recomienda a las Municipalidades, CONAVI y MOPT, solicitar a los fabricantes y representantes de cualquier producto estabilizador no tradicional, la documentación que demuestre la composición, sanidad, toxicidad y efectividad del producto, antes de ser utilizado.
- Se recomienda articular esfuerzos entre instituciones como las Municipalidades, MOPT, CONAVI y el LanammeUCR para promover estudios de laboratorio y campo similares al presente, que permitan ampliar el conocimiento sobre la estabilización de suelos, de manera que se reduzca la extracción y acarreo de agregados, así como los impactos ambientales asociados.



11. Bibliografía

- (2017). *Anuario Estadístico del Sector Transporte e Infraestructura 2017*. Ministerio de Obras Públicas y Transportes, Secretaria de Planificación Sectorial.
- Ávila, T., & Ulloa, A. (2017). *Guía para la selección de agentes estabilizadores para suelos y materiales granulares*. Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales, Universidad de Costa Rica, San Pedro, Montes de Oca, Costa Rica.
- 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.
- 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.
- CIA, The World Factbook. (s.f.). <https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/index.html>. Recuperado el 30 de Setiembre de 2019
- Elizondo, F., & Sibaja, D. (2007). *Guía para la Estabilización o Mejoramiento de Rutas No Pavimentadas*. Universidad de Costa Rica, Unidad de Investigación (UI), Lanamme.
- Elizondo, F., & Sibaja, D. (2008). *Guía para la Estabilización o Mejoramiento de Rutas No pavimentadas*. Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.
- Faiz, A. (2012). *The Promise of Rural Roads*. Transportation Research Board of The National Academies, TRB Low-Volume Roads Committee, Washington, D.C.
- Jones, D. (2017). *Guidelines for the Selection, Specification and Application of Chemical Dist Control and Stabilization Treatments on Unpaved Roads*. University of California Pavement Research Center, Department of Civil and Environmental Engineering, UC Davis, 1 Shields Avenue, Davis CA 95616.



- Jones, D., & Surdahl, R. (2014). *A New Procedure for Selecting Chemical Treatments for Unpaved Roads*. University of California Davis, University of California Pavement Research Center, Department of Civil and Environmental Engineering, Davis, CA.
- Jones, D., Kociolek, A., Surdahl, R., Bolander, P., Drewes, B., Matthew, D., . . . Williams, B. (2013). *Unpaved Road Dust Management, A Successful Practitioner's Handbook*. Western Transportation Institute. Federal Highway Administration, Central Federal Lands Highway Division,.
- Little, D., & Nair, S. (2009). *Recommended Practice for Stabilization of Subgrades Soils and Base Materials*. National Cooperative Highway Research Program, Texas.
- Monlux, S., & Mitchell, M. R. (2006). *Surface-Aggregate Stabilization with Chloride Materials*. U.S. Department of Agriculture , Forest Service, National Technology and Development Program.
- National Lime Association. (2004). *Manual de estabilización de suelo tratado con cal*.
- Rahim, A., Saadeh, S., Harvey, J., & Jones, D. (2012). *Guidelines for the Stabilization of Subgrade Soils in California*. University of California Pavement Research Center. California Department of Transportation, Division of Research and Innovation, Office of Roadway Research.
- Tingle, J., Newman, J. K., Larson, S. L., Weiss, C. A., & Rushing, J. F. (2007). *Stabilization Mechanisms of Nontraditional Additives*. U.S. Army Engineer Research and Development Center. Washington D.C.: Transportation Research Board: Journal of the Transportation Research Board No. 1989, Vol 2. Transportation Research Board of the National Academies .



ANEXOS

ANEXO	Descripción
1	Camino original
2	Camino reconformado
3	Sección transversal
4	Conteos vehiculares
5	Información Meteorológica
6	Análisis de tramos
7	Tramo 1-INÓNICO I
7.1	Resumen de información del producto
7.2	Procedimiento constructivo
7.3	Estimación de costos
7.4	Ensayos de laboratorio
7.5	Ensayos de campo
7.6	Evaluación visual
8	Tramo 2-CEMENTO HIDRAULICO
8.1	Resumen de información del producto
8.2	Diseño estabilización
8.3	Procedimiento constructivo
8.4	Estimación de costos
8.5	Ensayos de laboratorio
8.6	Ensayos de campo
8.7	Evaluación visual
9	Tramo 3 y 4-IÓNICO II
9.1	Resumen de información del producto
9.2	Procedimiento constructivo
9.3	Estimación de costos
9.4	Ensayos de laboratorio
9.5	Ensayos de campo
9.6	Evaluación visual
10	Tramo 5-POLIMERO-IO
10.1	Resumen de información del producto
10.2	Diseño estabilización
10.3	Procedimiento constructivo
10.4	Estimación de costos
10.5	Ensayos de laboratorio
10.6	Ensayos de campo
10.7	Evaluación visual
11	Tramo 6-CAL HIDRATADA
11.1	Resumen de información del producto
11.2	Diseño estabilización
11.3	Procedimiento constructivo
11.4	Estimación de costos
11.5	Ensayos de laboratorio
11.6	Ensayos de campo
11.7	Evaluación visual

ANEXO 1

Condiciones originales del camino C1-07-016 (Agosto 2015)

Fotografías	Observaciones
	<ul style="list-style-type: none"> • Inicio del camino Entronque. RN.316 • Superficie de ruedo con suelo y grava no seleccionada. • Suelo fino arcilloso, color café claro anaranjado. • Ancho promedio del camino $A \approx 4,5$ m.
	<ul style="list-style-type: none"> • Se observan ahuellamientos severos $h > 8$cm. • Se observa que el material granular (grava) está embebido en el suelo. • Se observan algunas partículas de sobre tamaño en la grava ($TM \approx 10$cm).
	<ul style="list-style-type: none"> • Pendiente longitudinal de 10% • Se requiere mejorar los drenajes pluviales, principalmente las cunetas. • Se observa cobertura vegetación adyacente al camino que genera sombra en el camino.



Condiciones originales del camino C1-07-016 (Agosto 2015)

Fotografías

Observaciones



- Zona fangosa, producto de suelos susceptible a la humedad.
- Suelo arcilloso color café claro anaranjado.
- Falta conformación de cunetas.
- Zona que presenta problemas de transitabilidad en condiciones lluviosas.



- Suelo arcilloso de alta plasticidad en superficie de ruedo del camino.
- Muy poca proporción de material granular.



- Zona que presenta problemas de transitabilidad en condiciones lluviosas.
- Capa de ruedo de suelo arcilloso y poco material granular o grava.
- Ahuellamientos severos en la capa de ruedo $h > 8$ cm.
- Se tiene cunetas no revestidas en ambos lados del camino.
- Se requiere reconformación de calzada y cunetas.

Condiciones originales del camino C1-07-016 (Agosto 2015)

Fotografías	Observaciones
	<ul style="list-style-type: none"> • Ancho promedio, $A=4,5$ m • Zona con presencia de arboles que producen sombras en la calzada del camino. • Se observan ahuellamientos moderados en la calzada $h=3-8$ cm. • Se cuenta con cunetas no revestidas en ambos lados del camino. • Pendiente longitudinal máxima $G_{max} \approx 10\%$
	<ul style="list-style-type: none"> • Ancho promedio, $A=5,0$ m • Zona con menor cobertura de árboles y menor sombra. • Se requiere mejorar conformación de calzada y cunetas en ambos lados del camino. • Se observan ahuellamientos moderados en la calzada $h=3-8$ cm. • Pendiente longitudinal de 13%. • Generación de polvo moderada en condiciones secas.
	<ul style="list-style-type: none"> • Capa de ruedo con mayor proporción de grava. • Material granular sin seleccionar, con algunos sobretamaños y combinado con suelo. • Se requiere mejorar conformación de cunetas en los lados del camino. • Se requiere mejorar conformación de calzada y cunetas en ambos lados del camino.



Condiciones originales del camino C1-07-016 (Agosto 2015)

Fotografías

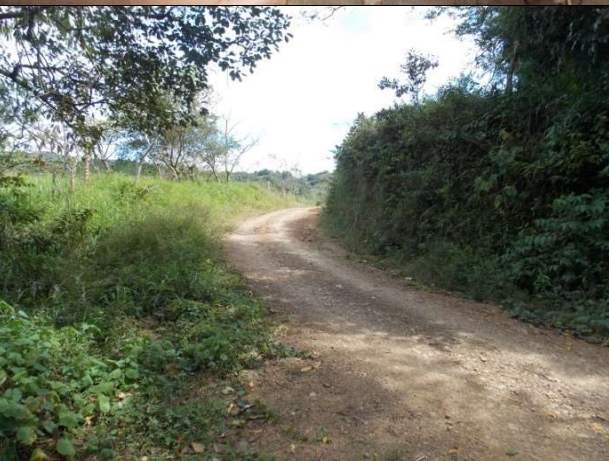
Observaciones



- Ancho promedio, $A=5,5$ m
- Se observa conformación de cunetas no revestidas al lado izquierdo del camino.
- Se observan ahuellamientos moderados en la calzada $h=3-8$ cm.
- Pendiente longitudinal de 15%
- Generación de polvo moderada en condiciones secas.



- Superficie de rueda compuesta por suelo principalmente.
- Suelo arcilloso color café claro anaranjado.
- Suelo de alta plasticidad.
- En condiciones secas se observa agrietamiento del suelo por contracción.



- Zona que produce problemas de transitabilidad en época lluviosa.
- Curva cerrada ($R<20$ m) con pendiente longitudinal de 12%
- Se observa maleza en ambos lados del camino.
- Se requiere conformación de cunetas a ambos lados del camino.
- Zona con poca cobertura de arboles por lo hay poca sombra.

ANEXO 2

Reconformación de calzada y cunetas en camino C1-07-016 (Febrero 2016)	
Fotografías	Observaciones
	<ul style="list-style-type: none"> • Inicio del camino Entronque. RN.316 • Reconformación de calzada y cunetas a ambos lados del camino.
	<ul style="list-style-type: none"> • Se realiza limpieza de maleza a ambos lados de la calzada.
	<ul style="list-style-type: none"> • Se homogeniza la capa de ruedo entre suelo y grava existente. • No se realiza aporte de material granular nuevo.

Reconformación de calzada y cunetas en camino C1-07-016 (Febrero 2016)

Fotografías

Observaciones



- Reconformación de calzada y cunetas a ambos lados del camino.
- No se amplía la calzada más allá del ancho existente.



- Cuneta no revestida en lado derecho de la calzada.



- Capa de rueda homogenizada, con material existente: suelo y grava.

Reconformación de calzada y cunetas en camino C1-07-016 (Febrero 2016)

Fotografías

Observaciones



- Reconformación de calzada y cunetas a ambos lados del camino.



- Reconformación de calzada y cunetas a ambos lados del camino.
- Ancho de calzada $A=4,5-5,5$ m
- No se realiza ampliación de la calzada existente.
- Se realiza limpieza de cunetas y maleza a los lados del camino.



- Capa de ruedo homogenizada, con material existente: suelo y grava.
- Suelo arcilloso de alta plasticidad, color café claro anaranjado.
- Grava no seleccionada, embebida en suelo con $TM \approx 100$ mm

Reconformación de calzada y cunetas en camino C1-07-016 (Febrero 2016)

Fotografías	Observaciones
	<ul style="list-style-type: none"> • Conformación de cunetas no revestidas al lado derecho del camino. • Conformación de calzada con bombeo de 4% a 6%
	<ul style="list-style-type: none"> • Conformación de calzada y cunetas a ambos lados de la vía. • La reconformación de la calzada generó una capa de suelo mezclada con la grava existente.
	<ul style="list-style-type: none"> • Capa de ruedo homogenizada, con material existente: suelo y grava. • Suelo arcilloso de alta plasticidad, color café claro anaranjado. • Grava no seleccionada, embebida en suelo con $TM \approx 100$ mm.



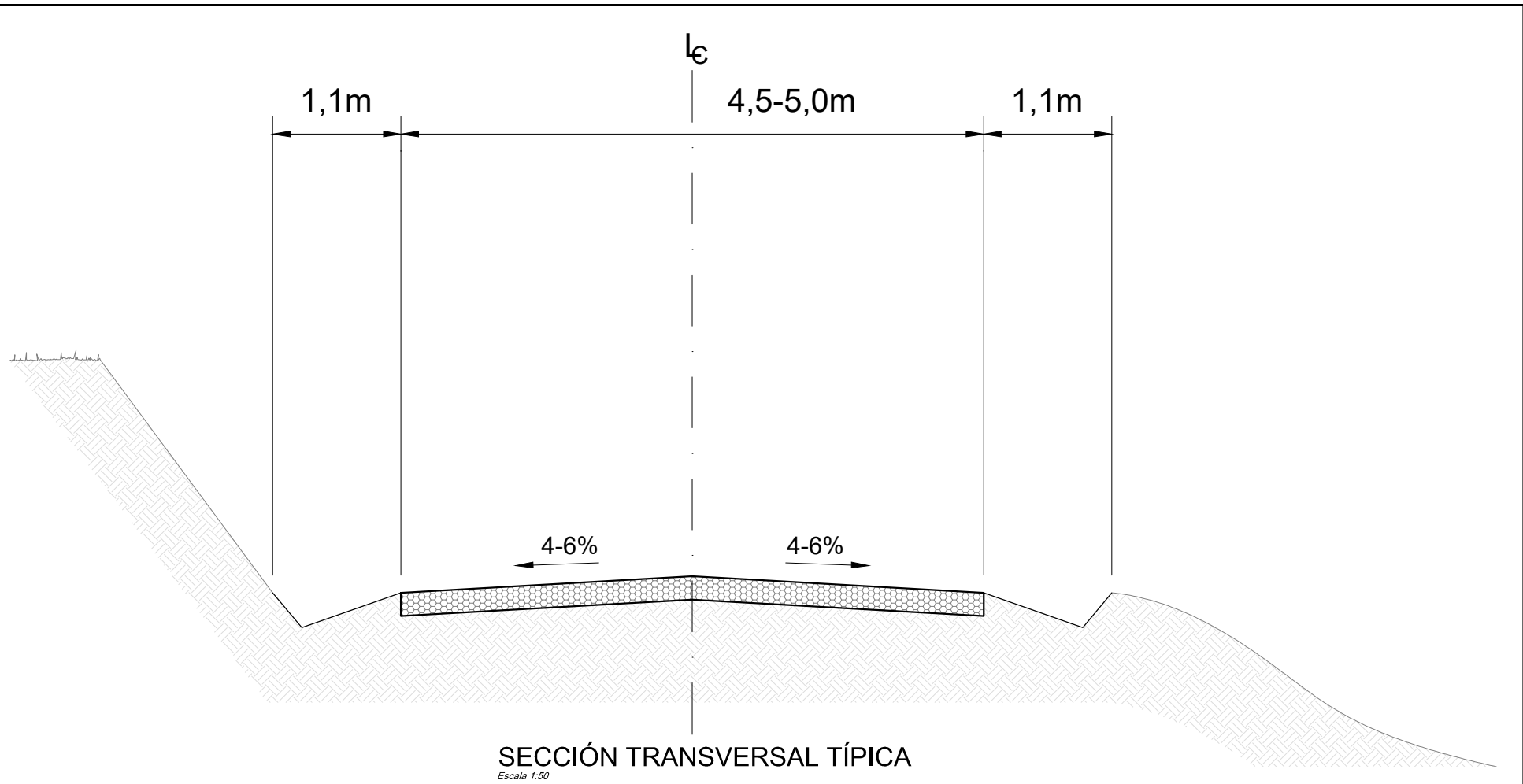
UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA



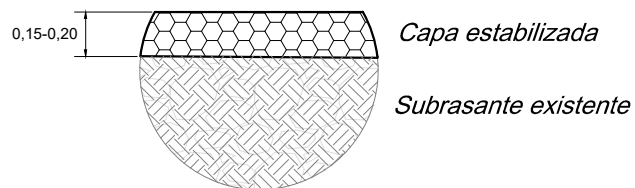
LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

ANEXO 3

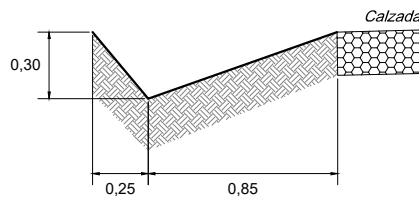
SECCION TRANSVERSAL DEL CAMINO



DETALLE DE CAPAS
Sin escala



DETALLE CUNETAS
Sin escala



SECCIÓN TRANSVERSAL TÍPICA
Camino 1-07-016 PIEDRAS NEGRAS-EL PITO JARIS
Cantón: Mora Provincia: San José Escala: Indicada



**UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA**



**LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES**

ANEXO 4

MAPA DE UBICACIÓN DE CONTEOS VEHICULARES

Realizados por el LanammeUCR



ANEXO 4

RESULTADOS DE CONTEOS VEHICULARES

CONTEO 1

CLASIFICACION		TOTAL	CLASE				
FECHA	HORA		1 BICICLETAS- MOTOS	2 LIVIANOS- PICKUP	3 CAMION C2, C2+	4 CAMION C3,C4,BUS	5 CAMION T3-S2- MAYORES
8/5/2015	12:00 a.m.	0	0	0	0	0	0
8/5/2015	01:00 a.m.	0	0	0	0	0	0
8/5/2015	02:00 a.m.	0	0	0	0	0	0
8/5/2015	03:00 a.m.	0	0	0	0	0	0
8/5/2015	04:00 a.m.	1	0	1	0	0	0
8/5/2015	05:00 a.m.	9	2	6	1	0	0
8/5/2015	06:00 a.m.	11	5	5	1	0	0
8/5/2015	07:00 a.m.	6	0	6	0	0	0
8/5/2015	08:00 a.m.	7	2	4	1	0	0
8/5/2015	09:00 a.m.	8	2	6	0	0	0
8/5/2015	10:00 a.m.	4	0	4	0	0	0
8/5/2015	11:00 a.m.	4	1	3	0	0	0
8/5/2015	12:00 p.m.	13	2	10	1	0	0
8/5/2015	01:00 p.m.	5	1	4	0	0	0
8/5/2015	02:00 p.m.	7	1	5	1	0	0
8/5/2015	03:00 p.m.	11	4	6	1	0	0
8/5/2015	04:00 p.m.	3	0	1	2	0	0
8/5/2015	05:00 p.m.	17	5	11	1	0	0
8/5/2015	06:00 p.m.	8	2	5	1	0	0
8/5/2015	07:00 p.m.	1	0	1	0	0	0
8/5/2015	08:00 p.m.	4	3	1	0	0	0
8/5/2015	09:00 p.m.	2	0	2	0	0	0
8/5/2015	10:00 p.m.	1	1	0	0	0	0
8/5/2015	11:00 p.m.	0	0	0	0	0	0
TOTAL		122	31	81	10	0	0
Porcentaje		100%	25%	66%	8%	0%	0%
V24	FEH 1	122	31	81	10	0	0
	FED 1,047						
TPDA	FED 1,047	114	30	77	10	0	0
FACTOR CAMION				0,011	1,163	3,155	2,695
ESAL día				0,84	10,91	0,00	0,00
Ejes Equivalentes de Diseño (ESAL diseño)	FACTORES			1	año	GF	2 588
	CREC. ANUAL %	4,0%	8	años	9,21422626		25 677
	LDS	1	10	años	12,00610712		33 456
	DS	0,65	15	años	20,02358764		55 798
	DIAS	365	20	años	29,77807858		82 980



CONTEO 2

CLASIFICACION		TOTAL	CLASE				
FECHA	HORA		1 BICICLETAS- MOTOS	2 LIVIANOS- PICKUP	3 CAMION C2, C2+	4 CAMION C3,C4,BUS	5 CAMION T3-S2- MAYORES
27/6/2017	1:00 p.m.	1	0	1	0	0	0
27/6/2017	2:00 p.m.	0	0	0	0	0	0
27/6/2017	3:00 p.m.	2	0	2	0	0	0
27/6/2017	4:00 p.m.	2	0	2	0	0	0
27/6/2017	5:00 p.m.	8	1	6	1	0	0
27/6/2017	6:00 p.m.	3	0	3	0	0	0
27/6/2017	7:00 p.m.	1	0	1	0	0	0
27/6/2017	8:00 p.m.	0	0	0	0	0	0
27/6/2017	9:00 p.m.	0	0	0	0	0	0
27/6/2017	10:00 p.m.	0	0	0	0	0	0
27/6/2017	11:00 p.m.	0	0	0	0	0	0
27/6/2017	12:00 a.m.	0	0	0	0	0	0
28/6/2017	1:00 a.m.	1	0	1	0	0	0
28/6/2017	2:00 a.m.	0	0	0	0	0	0
28/6/2017	3:00 a.m.	0	0	0	0	0	0
28/6/2017	4:00 a.m.	0	0	0	0	0	0
28/6/2017	5:00 a.m.	4	1	3	0	0	0
28/6/2017	6:00 a.m.	8	2	6	0	0	0
28/6/2017	7:00 a.m.	5	2	2	1	0	0
28/6/2017	8:00 a.m.	4	3	1	0	0	0
28/6/2017	9:00 a.m.	2	1	0	1	0	0
28/6/2017	10:00 a.m.	5	0	5	0	0	0
28/6/2017	11:00 a.m.	8	3	5	0	0	0
28/6/2017	12:00 p.m.	6	1	4	1	0	0
TOTAL		60	14	42	4	0	0
Porcentaje		100%	23%	70%	7%	0%	0%
V24	FEH	60	14	42	4	0	0
	1						
TPDA	FED	55	13	38	4	0	0
	1,095						
FACTOR CAMION				0,011	1,163	3,155	2,695
ESAL dia				0,42	4,24	0,00	0,00
Ejes Equivalentes de Diseño (ESAL diseño)	FACTORES		1	año	GF	1 006	
	CREC. ANUAL %	4,0%	8	años	9,21422626	10 190	
	LDS	1	10	años	12,00610712	13 277	
	DS	0,65	15	años	20,02358764	22 143	
	DIAS	365	20	años	29,77807858	32 930	



CONTEO 3

CLASIFICACION		TOTAL	CLASE				
FECHA	HORA		1 BICICLETAS- MOTOS	2 LIVIANOS- PICKUP	3 CAMION C2, C2+	4 CAMION C3,C4,BUS	5 CAMION T3-S2- MAYORES
24/10/2019	11:00	7	0	7	0	0	0
24/10/2019	12 p.m.	5	2	3	0	0	0
24/10/2019	13:00	5	0	4	1	0	0
24/10/2019	14:00	3	0	3	0	0	0
24/10/2019	15:00	8	4	3	1	0	0
24/10/2019	16:00	11	2	9	0	0	0
24/10/2019	17:00	2	0	2	0	0	0
24/10/2019	18:00	0	0	0	0	0	0
24/10/2019	19:00	1	0	1	0	0	0
24/10/2019	20:00	1	0	1	0	0	0
24/10/2019	21:00	0	0	0	0	0	0
24/10/2019	22:00	0	0	0	0	0	0
24/10/2019	23:00	1	0	1	0	0	0
25/10/2019	10/25/19	1	0	1	0	0	0
25/10/2019	01:00	0	0	0	0	0	0
25/10/2019	02:00	0	0	0	0	0	0
25/10/2019	03:00	1	1	0	0	0	0
25/10/2019	04:00	2	1	1	0	0	0
25/10/2019	05:00	13	5	8	0	0	0
25/10/2019	06:00	5	1	3	1	0	0
25/10/2019	07:00	6	1	4	1	0	0
25/10/2019	08:00	1	1	0	0	0	0
25/10/2019	09:00	0	0	0	0	0	0
25/10/2019	10:00	4	0	3	1	0	0
TOTAL		77	18	54	5	0	0
Porcentaje		100%	23%	70%	6%	0%	0%
V24	FEH	77	18	54	5	0	0
	1						
TPDA	FED	71	18	53	5	0	0
	1,024						
FACTOR CAMION				0,011	1,163	3,155	2,695
ESAL dia				0,55	5,34	0,00	0,00
Ejes Equivalentes de Diseño (ESAL diseño)	FACTORES			1	año	GF	1 267
	CREC. ANUAL %	4,0%	8	años	9,21422626		12 867
	LDS	1	10	años	12,00610712		16 766
	DS	0,65	15	años	20,02358764		27 962
	DIAS	365	20	años	29,77807858		41 583

84°18'30"W

84°18'0"W

84°17'30"W

84°17'0"W



9°54'30"N

9°54'0"N

9°53'30"N

9°53'0"N

1095000

1093500

466500

468000

469500

N° CONTEO	FECHA
1	Mayo 2015
2	Junio 2017
3	Octubre 2019

Conteo vehicular

Simbología

- Camino C1-07-016
- Red Vial Nacional



Source: Esri, DigitalGlobe, GeoEye, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AeroGRID, IGN, and the GIS User Community



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA



LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

ANEXO 5

DATOS ESTACION METEOROLÓGICA 84209 UNIVERSIDAD PARA LA PAZ, MORA (IMN)

HUMEDAD RELATIVA PROMEDIO DIARIA (%)																																		
Año	Mes	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10	D11	D12	D13	D14	D15	D16	D17	D18	D19	D20	D21	D22	D23	D24	D25	D26	D27	D28	D29	D30	D31	Promedio Mensual	
2016	1	61	60	67	73	69	69	81	82	82	68	60	67	68	81	79	83	75	59	58	60	66	69	55	64	68	70	74	75	53	62	65	68	
2016	2	73	69	72	69	57	55	56	55	62	60	62	63	59	60	64	65	60	60	59	56	57	62	72	71	54	61	57	62	60	-	-	62	
2016	3	64	62	58	63	62	71	74	63	69	64	60	65	68	67	61	61	78	75	76	73	59	61	62	60	58	58	70	71	64	71	76	66	
2016	4	79	70	69	60	58	52	52	57	52	54	53	58	76	72	74	79	83	71	62	60	64	71	76	82	84	83	88	88	86	89	-	70	
2016	5	86	85	85	87	90	89	62	67	74	76	82	72	64	64	77	87	79	85	87	76	73	76	90	87	86	90	88	91	89	92	91	82	
2016	6	93	92	88	90	94	87	87	89	87	88	92	90	87	89	91	89	89	88	82	79	87	91	84	77	86	83	84	76	71	78	-	86	
2016	7	93	82	77	63	72	76	83	82	75	77	89	88	69	73	76	76	76	91	89	81	72	80	88	68	74	76	70	78	88	73	72	78	
2016	8	76	79	91	90	87	-	-	77	71	79	87	91	89	91	86	72	75	73	80	85	79	66	73	77	89	91	92	90	92	91	83		
2016	9	91	89	89	86	85	87	89	90	86	90	88	91	86	91	92	89	87	75	65	88	89	85	90	89	86	90	86	82	73	70	-	86	
2016	10	83	88	90	87	91	91	90	96	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	90	
2016	11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2016	12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Promedio Anual 2016																															76			
Maximo Anual 2016																															96,0			
Minima Anual 2016																															52,0			
Año	Mes	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10	D11	D12	D13	D14	D15	D16	D17	D18	D19	D20	D21	D22	D23	D24	D25	D26	D27	D28	D29	D30	D31	Promedio Mensual	
2017	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2017	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2017	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2017	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2017	5	88	87	89	90	86	92	93	94	90	91	92	96	98	94	92	91	91	92	93	91	92	91	91	92	90	89	87	93	93	93	92	91	91
2017	6	92	92	95	87	92	94	90	95	92	96	95	86	88	90	93	91	94	94	93	92	92	92	91	92	87	81	92	94	94	79	85	-	91
2017	7	90	79	85	88	85	83	95	76	72	81	90	91	92	73	77	89	89	80	84	91	93	85	87	84	80	79	84	83	91	93	92	85	
2017	8	92	74	76	90	92	92	88	91	88	88	86	86	90	91	83	81	67	83	87	92	92	93	90	93	92	78	78	88	93	90	90	87	
2017	9	88	87	92	91	92	92	90	92	91	92	94	91	89	91	92	91	93	91	94	91	90	92	93	95	93	93	94	93	93	94	-	92	
2017	10	94	94	94	97	98	85	88	93	93	88	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	89
2017	11	81	69	79	80	81	83	86	75	83	83	84	91	92	95	94	86	70	76	85	84	93	95	86	82	85	86	73	81	80	66	-	83	
2017	12	63	53	66	64	74	79	91	94	85	62	63	67	66	65	62	60	55	59	57	62	60	56	60	56	58	55	58	61	76	72	67	65	
Promedio Anual 2017																															85			
Maximo Anual 2017																															98			
Minima Anual 2017																															53			
Año	Mes	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10	D11	D12	D13	D14	D15	D16	D17	D18	D19	D20	D21	D22	D23	D24	D25	D26	D27	D28	D29	D30	D31	Promedio Mensual	
2018	1	60	63	69	62	64	63	63	85	81	84	87	76	64	63	61	73	64	64	66	64	65	61	64	61	59	60	60	60	61	60	65	66	
2018	2	62	55	56	51	53	56	57	58	55	62	58	57	55	50	58	63	65	59	55	57	61	56	54	66	70	62	60	54	-	-	58		
2018	3	56	54	53	48	58	64	64	61	64	65	65	73	66	62	59	67	58	59	66	73	58	54	52	62	59	52	52	54	61	65	57	60	
2018	4	47	66	77	77	81	88	88	87	84	80	73	77	83	83	78	59	65	66	64	61	67	68	67	67	72	79	86	87	79	72	-	74	
2018	5	57	63	74	77	85	81	80	65	81	84	87	87	85	84	88	90	91	90	88	90	92	93	92	91	90	92	92	92	91	89	92	85	
2018	6	80	84	85	87	90	90	86	77	76	90	91	93	90	91	91	91	89	74	91	91	88	90	85	85	77	87	82	86	76	76	-	86	
2018	7	73	72	78	91	83	78	66	64	64	66	75	80	70	85	72	68	66	73	63	72	75	81	78	73	77	82	79	88	89	82	81	76	
2018	8	91	88	91	87	62	76	80	68	80	71	77	71	85	77	82	89	82	67	82	81	73	65	79	86	90	79	88	84	74	80	89	80	
2018	9	92	90	91	85	91	90	91	93	91	92	91	90	87	89	91	90	91	89	85	91	84	90	79	86	90	85	84	92	91	92	-	89	
2018	10	92	90	89	97	97	89	88	93	93	91	92	96	93	95	96	96	96	91	93	90	77	84	86	91	92	93	93	71	68	75	83	89	
2018	11	90	90	91	93	92	90	85	88	90	77	70	67	79	78	70	69	70	67	73	70	83	82	71	83	76	82	86	91	88	89	-	81	
2018	12	90	90	87	71	59	60	68	70	66	65	60	53	78	86	64	59	57	62	80	83	64	65	57	59	62	59	60	60	62	60	57	67	
Promedio Anual 2018																															76			
Maximo Anual 2018																															97			
Minima Anual 2018																															47			
Año	Mes	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10	D11	D12	D13	D14	D15	D16	D17	D18	D19	D20	D21	D22	D23	D24	D25	D26	D27	D28	D29	D30	D31	Promedio Mensual	
2019	1	60	64	61	62	62	61	65	65	61	62	62	62	58	53	55	58	53	50	66	65	56	55	63	68	63	64	78	65	67	61	52	61	
2019	2	57	64	59	62	57	57	50	53	48	53	56	69	63	49	69	72	69	64	59	68	68	67	64	60	61	58	61	61	-	-	61		
2019	3	64	69	70	69	55	57	56	55	52	59	61	58	55	63	65	61	61	62	70	66	57	52	54	59	61	56	55	52	61	64	67	60	
2019	4	65	55	52	56	62	76	83	74	80	78	82	83	81	82	64	59	65	83	84	59	52	57	63	73	75	78	71	63	63	62	-	69	
2019	5	65	70	67	75	82	74	77	88	86	89	83	89	89	90	91	90	89	91	88	88	91	83	91	92	89	89	96	90	90	89	91	86	
2019	6	86	87	88	89	89	85	89	91	91	88	88	92	93	83	82	78	66	69	78	89	85	83	72	88	88	70	64	64	78	81	-	82	
2019	7	78	75	76	59	53	75	88	94	91	90	83	89	84	81	91	64	77	71	72	63	70	84	74	90	74	66	72	67	57	62	76	76	
2019	8	82	87	91	76	86	84	92	93	80	74	86	71	74	83	93	88	90	90	91	92	91	82	82	70	80	76	72	66	80	84	89	83	
2019	9	86	85	91	91	82	86	82	84	94	83	77	89	88	90	90	92	94	85	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	87
Promedio Anual 2019																															73			
Maximo Anual 2019																															96			
Minima Anual 2019																															48			

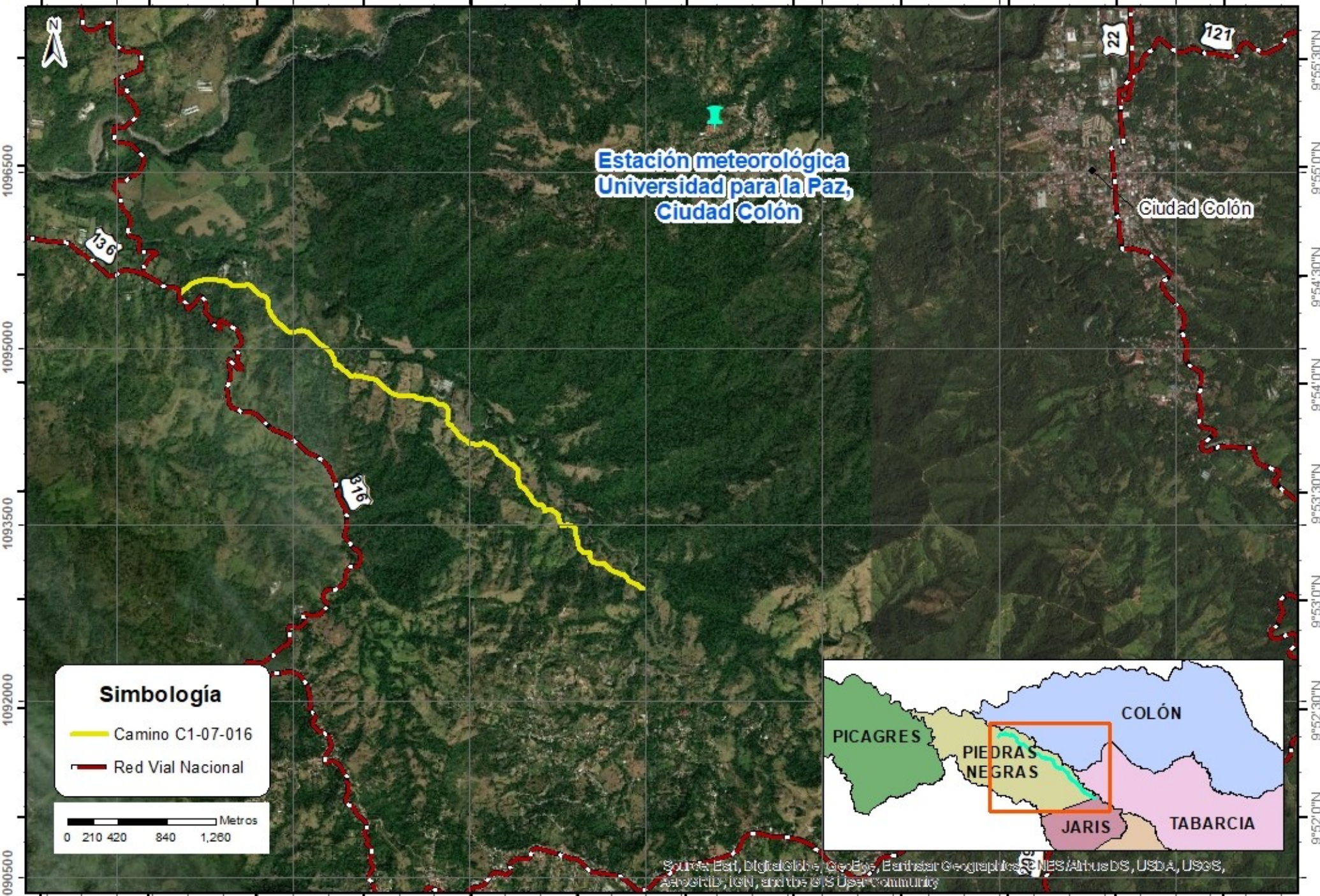
Fuente: Estación 84209 Universidad para la Paz, Mora.Instituto Meteorológico Nacional (IMN)

PRECIPITACION TOTAL DIARIA (mm)																																		
Año	Mes	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10	D11	D12	D13	D14	D15	D16	D17	D18	D19	D20	D21	D22	D23	D24	D25	D26	D27	D28	D29	D30	D31	Total Mensual	
2016	Enero	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7
2016	Febrero	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,7	2,2	0,2	0,4	0,4	0,5	0,0	0,0	0,6	1,2	0,8	0,4	0,0	0,0	0,0	0,4	0,8	0,2	0,2	0,0	-	-	11,0	
2016	Marzo	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,2	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,8	
2016	Abril	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,2	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,2	0,1	0,0	-	1,4	
2016	Mayo	0,0	0,0	0,0	0,3	0,3	0,1	0,2	0,0	0,1	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	0,2	0,4	0,0	0,7	2,5	0,0	0,0	16,4	7,0	26,1	2,7	17,5	3,6	6,4	10,6	3,5	16,3	115,4	
2016	Junio	21,0	44,8	1,8	5,5	18,2	0,5	0,1	6,7	2,4	16,8	45,7	0,1	0,0	14,4	37,6	6,0	0,1	36,7	0,1	3,4	29,7	26,9	7,8	0,4	0,0	1,7	14,0	0,0	0,0	0,4	-	342,8	
2016	Julio	1,8	1,2	0,0	0,8	0,0	0,2	11,0	7,8	0,0	0,2	7,2	2,2	0,0	0,0	0,0	6,6	0,0	12,6	10,6	0,0	0,0	1,8	14,8	0,0	0,0	4,8	0,0	0,0	61,4	0,2	0,0	145,2	
2016	Agosto	0,0	0,0	13,2	8,4	0,0	-	-	-	2,8	0,2	0,0	6,6	5,8	2,6	0,0	0,0	0,0	1,0	0,2	0,0	21,4	0,4	0,2	0,0	10,8	1,2	48,4	4,8	50,4	1,8	180,2		
2016	Setiembre	50,4	6,1	9,4	4,0	0,0	8,4	0,1	5,2	9,7	1,0	9,3	41,3	0,1	14,7	40,1	9,4	0,0	0,0	0,0	0,0	13,5	1,8	0,6	5,5	4,5	20,0	3,1	4,7	0,0	0,6	-	263,5	
2016	Octubre	2,4	7,1	0,8	1,2	0,6	29,4	9,3	10,1	0,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	60,9	
2016	Noviembre	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2016	Diciembre	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total Anual 2016																														1121,9				
Mínimo diario 2016																														0,0				
Promedio diario 2016																														4,0				
Máximo diario 2016																														61,4				
Año	Mes	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10	D11	D12	D13	D14	D15	D16	D17	D18	D19	D20	D21	D22	D23	D24	D25	D26	D27	D28	D29	D30	D31	Total Mensual	
2017	Enero	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2017	Febrero	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2017	Marzo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2017	Abril	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	36,4	30,0	13,6	4,4	0,2	0,0	0,0	38,6	1,4	39,0	0,4	1,8	28,4	42,8	-	237,0	
2017	Mayo	13,6	0,2	26,6	1,6	2,2	26,2	18,0	32,2	11,0	1,4	2,8	3,4	42,2	15,0	0,8	1,6	4,0	12,0	7,0	67,0	1,4	2,8	24,0	1,0	5,0	0,0	0,2	65,4	23,6	50,0	35,6	497,8	
2017	Junio	1,6	1,6	2,6	0,0	17,8	12,0	5,0	50,4	4,6	38,0	0,0	0,2	0,0	2,4	3,0	7,4	34,0	32,4	3,2	4,4	0,0	2,6	0,4	2,0	15,2	3,8	40,2	45,0	0,2	5,6	-	335,6	
2017	Julio	6,8	0,0	11,2	16,0	5,6	10,8	22,6	0,2	0,0	0,0	8,8	16,2	44,4	0,2	0,0	0,0	25,4	0,0	0,0	10,8	34,4	0,0	0,0	0,0	0,6	0,2	1,4	1,0	74,2	42,0	17,8	350,6	
2017	Agosto	1,8	0,2	0,0	0,2	56,2	11,6	11,4	0,0	2,6	0,2	0,0	1,4	0,4	0,0	0,0	1,2	0,0	0,6	0,6	14,0	21,8	7,0	37,2	3,8	34,8	0,2	0,0	32,2	38,6	6,2	0,2	284,4	
2017	Setiembre	0,2	28,4	18,4	7,4	20,4	49,0	0,0	43,0	5,2	4,0	7,6	0,6	0,2	39,6	0,0	51,8	37,6	0,0	13,0	19,2	1,2	25,8	4,6	60,8	12,4	3,2	33,6	6,4	54,4	57,2	-	605,2	
2017	Octubre	7,8	24,2	7,6	117,0	141,8	2,8	0,0	1,6	9,4	1,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5,6	8,0	0,0	0,0	0,0	15,6	342,6	
2017	Noviembre	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,0	11,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	9,4	4,6	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	16,6	5,8	3,0	0,4	0,2	0,0	0,0	0,2	3,8	0,0	-	60,4	
2017	Diciembre	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	19,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	20,2	20,2	
Total Anual 2017																														2733,8				
Mínimo diario 2017																														0,0				
Promedio diario 2017																														11,2				
Máximo diario 2017																														141,8				
Año	Mes	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10	D11	D12	D13	D14	D15	D16	D17	D18	D19	D20	D21	D22	D23	D24	D25	D26	D27	D28	D29	D30	D31	Total Mensual	
2018	Enero	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	3,0	0,8	0,0	0,0	38,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	42,8
2018	Febrero	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	12,6	34,4	0,0	0,0	0,0	-	-	-	48,0	
2018	Marzo	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	
2018	Abril	0,0	10,0	0,4	0,4	18,2	9,2	45,4	1,0	2,4	0,4	0,2	1,0	0,2	0,2	20,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	5,8	0,0	0,0	0,0	0,0	25,2	4,4	11,2	0,0	-	156,6	
2018	Mayo	0,0	0,0	0,0	0,0	3,2	0,8	0,2	0,0	50,2	0,2	27,4	0,2	15,6	31,8	0,0	22,2	1,6	0,0	0,0	0,0	54,0	6,4	7,6	60,8	4,0	16,6	39,2	10,2	16,8	42,0	20,4	431,4	
2018	Junio	0,2	29,4	74,0	1,0	0,2	0,0	0,6	0,2	0,0	5,4	5,6	8,4	53,4	12,6	30,8	0,2	0,8	0,0	1,4	66,4	3,8	0,2	1,0	0,2	0,0	11,4	0,2	1,2	0,2	0,0	-	308,8	
2018	Julio	0,0	0,2	0,0	33,8	12,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,2	21,4	26,6	0,4	1,8	0,0	3,2	0,0	0,2	0,2	0,0	0,2	0,0	4,0	6,8	0,2	0,2	6,6	0,0	2,0	122,4	
2018	Agosto	16,0	18,2	0,0	0,0	0,2	0,0	0,4	0,0	14,8	0,0	2,8	0,0	3,4	3,2	9,2	77,0	0,2	0,0	0,4	0,0	0,0	0,8	0,2	12,0	10,6	0,2	8,8	0,2	0,0	0,0	2,0	180,6	
2018	Setiembre	13,2	3,0	12,0	0,2	43,2	49,0	3,2	3,8	0,6	57,4	43,6	39,2	8,4	10,0	15,2	62,8	10,0	0,8	0,2	0,6	19,0	2,2	0,4	6,8	0,4	9,2	56,0	41,6	6,8	39,4	-	558,2	
2018	Octubre	30,4	0,2	6,6	51,8	27,0	0,2	0,0	24,6	4,8	0,2	12,2	22,6	1,0	18,8	38,0	7,8	11,4	0,2	3,2	13,2	0,2	0,0	0,0	1,2	0,4	9,6	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	285,8	
2018	Noviembre	0,8	6,6	2,6	37,2	4,2	0,6	0,2	0,2	1,2	0,4	0,0	0,0	1,4	1,8	0,2	0,0	0,0	0,0	1,8	0,0	5,0	0,6	0,0	7,2	0,0	0,0	3,0	43,4	0,4	0,0	-	118,8	
2018	Diciembre	0,2	0,2	0,2	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,8	
Total Anual 2018																														2254,6				
Mínimo diario 2018																														0,0				
Promedio diario 2018																														6,2				
Máximo diario 2018																														77,0				
Año	Mes	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10	D11	D12	D13	D14	D15	D16	D17	D18	D19	D20	D21	D22	D23	D24	D25	D26	D27	D28	D29	D30	D31	Total Mensual	
2019	Enero	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
2019	Febrero	0,0	0,0	0,0	1,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-	-	-	1,6		
2019	Marzo	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	
2019	Abril	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	49,4	30,0	0,2	3,4	0,2	0,0	3,4	0,2	15,8	0,2	0,0	0,0	20,0	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,4	1,2	0,0	0,0	0,0	-	127,2	
2019	Mayo	0,0	0,0	0,0	0,0	2,4	0,2	0,0	3,6	0,2	1,8	0,4	157,0	26,2	13,2	20,2	36,0	7,0	50,2	6,4	2,0	73,8	14,0	29,8	5,4	9,2	0,4	11,0	19,6	12,6	0,2	4,6	507,4	

TEMPERATURA PROMEDIO DIARIA (°C)

Año	Mes	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10	D11	D12	D13	D14	D15	D16	D17	D18	D19	D20	D21	D22	D23	D24	D25	D26	D27	D28	D29	D30	D31	Promedio Mensual	
2016	1	24,7	24,0	24,2	23,6	24,3	24,0	22,6	22,9	22,6	23,6	23,4	22,7	23,0	22,3	22,4	22,5	23,3	23,7	22,9	23,5	23,7	23,2	24,2	22,7	24,2	23,7	22,9	22,8	24,4	24,2	23,8	23,4	
2016	2	22,5	23,0	23,1	23,2	23,1	23,3	22,7	23,5	24,2	23,4	23,8	24,0	23,7	23,8	24,7	24,5	25,2	24,7	23,9	24,1	24,9	25,0	23,8	24,3	24,6	23,5	23,9	23,6	24,3	-	-	23,9	
2016	3	24,3	24,5	25,0	24,9	24,9	24,1	23,6	24,9	24,1	25,0	25,3	25,1	24,1	24,0	24,4	24,5	23,1	24,2	24,4	25,2	25,6	24,4	25,0	25,8	25,8	26,2	24,6	24,7	25,6	24,7	25,3	24,8	
2016	4	24,9	24,9	25,0	25,1	24,6	25,3	25,2	24,7	25,0	24,6	25,2	25,0	23,1	24,0	23,8	23,8	23,3	24,6	25,7	24,9	25,3	25,3	24,1	24,0	23,9	23,8	23,4	23,1	23,9	23,7	-	24,4	
2016	5	23,7	23,2	23,2	23,0	22,8	22,6	24,0	23,5	23,5	23,8	23,0	24,6	25,9	25,8	24,3	23,0	24,7	23,7	23,3	24,3	25,0	25,0	23,7	24,1	24,1	22,6	22,8	22,4	22,7	22,0	22,1	23,6	
2016	6	21,6	21,7	22,4	22,6	21,2	21,8	22,2	22,0	21,6	21,9	21,5	22,1	22,7	21,6	21,9	22,0	22,5	22,1	23,0	22,5	21,7	21,8	23,0	23,9	22,8	23,2	23,0	24,7	25,0	24,4	-	22,5	
2016	7	22,3	21,6	23,1	24,3	24,3	24,3	23,3	23,5	24,0	24,3	22,1	22,1	23,5	23,9	23,3	22,9	23,3	21,1	21,5	23,0	23,9	22,3	21,0	23,5	23,4	23,2	24,3	23,5	21,7	22,7	23,9	23,1	
2016	8	24,1	23,5	21,7	22,2	22,5	-	-	-	22,9	24,8	22,8	21,7	22,3	22,6	21,9	22,7	24,5	24,3	24,3	23,4	22,3	23,6	23,8	24,3	23,0	21,7	22,3	22,1	22,2	21,9	21,4	22,9	
2016	9	20,8	21,1	21,6	21,8	22,1	22,0	22,1	21,5	22,4	21,7	21,5	20,9	21,7	22,0	21,6	21,8	22,6	24,0	24,9	21,4	20,8	21,9	21,4	22,2	22,0	21,6	22,1	22,8	23,8	23,8	-	22,1	
2016	10	22,1	21,6	21,2	21,8	21,8	21,8	21,2	21,0	19,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	21,3
2016	11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2016	12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Promedio Anual 2016																																		23,3
Maximo Anual 2016																																		26,2
Minima Anual 2016																																		19,4
Año	Mes	D1 <th>D2</th> <th>D3</th> <th>D4</th> <th>D5</th> <th>D6</th> <th>D7</th> <th>D8</th> <th>D9</th> <th>D10</th> <th>D11</th> <th>D12</th> <th>D13</th> <th>D14</th> <th>D15</th> <th>D16</th> <th>D17</th> <th>D18</th> <th>D19</th> <th>D20</th> <th>D21</th> <th>D22</th> <th>D23</th> <th>D24</th> <th>D25</th> <th>D26</th> <th>D27</th> <th>D28</th> <th>D29</th> <th>D30</th> <th>D31</th> <th>Promedio Mensual</th>	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10	D11	D12	D13	D14	D15	D16	D17	D18	D19	D20	D21	D22	D23	D24	D25	D26	D27	D28	D29	D30	D31	Promedio Mensual	
2017	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2017	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2017	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2017	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	22,5	22,8	21,7	22,2	23,2	24	24,2	23,1	22,6	22,5	23,1	23,3	22,8	23,4	-	-	23,0	
2017	5	22,6	22,8	22,6	22,3	22,5	21,3	21,4	21,6	22,5	22,1	22,5	21,9	21,1	22,8	23,3	23	22,6	22,6	22,1	22	21,8	22	22,7	23,1	24,1	23,2	23,3	21,7	21,6	22,1	22	22,4	
2017	6	22,5	23,2	22,8	23,6	22,3	22,6	23	22	21,6	21,4	21,8	23,1	22,7	21,7	21,9	22	21,6	21,4	21,8	22	22,1	21,7	22,5	23	23,8	21,8	21,8	21,6	23,3	23,1	-	22,3	
2017	7	22,5	22,7	21,9	21,7	22,3	23,2	21,4	23,7	23,7	23,2	21,9	21,6	21,4	24	23,1	22,1	22,1	22,7	22,5	22,6	21,5	23,1	22,9	23,3	23,7	24	23	23,3	22,1	21,1	21	22,6	
2017	8	21,7	23,9	24,5	22,7	21,6	21,9	22,4	23,1	22	22,3	22,4	22	21,7	22,4	23,3	23,5	23,9	22,9	23	21,8	21,7	22	21,6	20,9	21,2	23,1	23,1	21,7	21	21,4	22	22,3	
2017	9	22,8	22,6	21,9	22,4	21,3	21,8	22,7	21,8	21,3	20,9	21,2	21,6	22,8	22,1	22,1	21,4	21	21,5	21,9	22	22,3	22,3	22	21,4	21,5	21,9	21,8	22	22	21,4	-	21,9	
2017	10	21,4	21,3	21,4	20,7	19,1	21,8	21,6	21,9	21	21,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	23,3	22	22,5	23,7	23,1	23	21,8
2017	11	24,2	25,1	24,6	24,2	23,4	23,7	22,4	22,9	21,8	22,1	22,2	22,3	22,5	21,8	21,3	21,8	22,7	21,4	21,2	21,5	20,8	21,4	22	22,1	22,4	22,5	22,9	22,1	22	23,6	-	22,5	
2017	12	23,3	23,8	23	23,9	23,7	23,5	21,7	21,7	22,9	21,9	20,7	20,5	20,7	23,2	22,6	23,7	24,1	24,1	24,3	24,1	23,6	23,9	23,9	23,8	23,5	23,3	23,1	23,6	22,3	23	23	23,0	
Promedio Anual 2017																																		22,4
Maximo Anual 2017																																		25,1
Minima Anual 2017																																		19,1
Año	Mes	D1 <th>D2</th> <th>D3</th> <th>D4</th> <th>D5</th> <th>D6</th> <th>D7</th> <th>D8</th> <th>D9</th> <th>D10</th> <th>D11</th> <th>D12</th> <th>D13</th> <th>D14</th> <th>D15</th> <th>D16</th> <th>D17</th> <th>D18</th> <th>D19</th> <th>D20</th> <th>D21</th> <th>D22</th> <th>D23</th> <th>D24</th> <th>D25</th> <th>D26</th> <th>D27</th> <th>D28</th> <th>D29</th> <th>D30</th> <th>D31</th> <th>Promedio Mensual</th>	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10	D11	D12	D13	D14	D15	D16	D17	D18	D19	D20	D21	D22	D23	D24	D25	D26	D27	D28	D29	D30	D31	Promedio Mensual	
2018	1	22,9	23,0	22,5	21,5	22,1	22,7	22,0	21,6	21,9	21,5	21,2	22,5	22,6	21,9	21,8	22,4	23,2	23,0	22,9	24,2	24,0	23,6	23,3	23,8	23,6	23,5	23,7	23,9	23,6	24,0	23,8	22,8	
2018	2	23,9	23,7	22,8	23,4	23,0	23,0	23,5	22,8	23,7	23,1	24,0	24,1	23,0	23,0	23,1	22,8	22,9	22,6	23,4	22,9	22,9	23,7	23,4	21,6	21,1	22,6	22,2	22,8	-	-	-	23,0	
2018	3	22,8	23,1	22,7	23,9	23,0	22,4	22,5	23,4	24,7	24,9	25,2	23,8	24,2	24,3	24,2	24,4	24,2	24,6	24,3	23,1	24,0	23,5	23,7	23,5	23,8	24,4	24,2	24,4	24,1	23,7	23,7	23,8	
2018	4	24,5	22,9	22,9	22,7	21,8	21,2	21,3	21,7	21,6	22,3	22,1	21,9	21,8	22,2	23,0	24,3	23,9	24,1	24,4	24,8	25,1	24,7	24,4	24,5	24,4	23,5	22,2	22,1	23,0	23,8	-	23,1	
2018	5	24,9	24,6	23,6	23,6	22,6	22,9	22,8	24,5	22,2	21,5	22,2	22,2	22,0	22,3	22,0	22,0	22,3	22,6	22,7	21,8	21,5	21,7	21,9	21,9	22,1	21,6	21,7	22,1	22,3	22,4	22,1	22,5	
2018	6	23,7	22,3	22,5	22,7	22,4	22,6	22,8	24,6	24,3	21,9	22,1	21,9	22,1	21,8	21,5	22,2	22,8	24,3	21,6	21,3	22,0	22,5	22,4	22,5	23,4	21,4	22,9	22,2	22,9	23,0	-	22,6	
2018	7	23,4	23,0	22,6	21,5	22,9	23,1	23,8	24,6	24,6	24,2	22,9	23,2	24,1	22,0	24,1	23,9	24,9	24,1	25,0	23,3	23,6	23,4	23,3	24,2	23,5	22,8	22,4	21,8	21,8	21,9	22,5	23,3	
2018	8	21,1	21,3	21,7	22,5	25,0	23,5	23,7	25,3	23,8	24,3	22,7	24,3	23,3	22,0	21,6	21,4	23,2	24,8	22,2	23,1	24,3	25,0	22,7	22,0	21,6	22,5	21,1	21,8	21,8	21,9	22,5	21,0	22,9
2018	9	21,9	21,9	21,5	22,7	21,6	20,8	21,4	21,1	21,6	21,4	21,6	21,6	22,0	22,0	21,2	21,6	21,9	22,4	22,8	22,0	23,1	21,9	22,9	22,1	21,9	22,2	21,8	20,7	21,8	21,6	-	21,8	
2018	10	21,6	21,9	21,6	20,1	19,3	20,9	21,8	22,0	21,6	21,9	22,0	20,9	20,7	21,0	20,7	20,5	20,4	21,4	22,0	21,8	22,0	21,7	21,7	21,9	21,8	21,6	21,4	23,3	23,5	23,4	22,0	21,6	
2018	11	22,1	21,4	21,7	21,0	21,1	21,6	22,4	22,6	22,0	23,0	24,7	24,6	22,7	23,1	23,6	24,1	24,7	24,3															

84°19'30"W 84°19'0"W 84°18'30"W 84°18'0"W 84°17'30"W 84°17'0"W 84°16'30"W 84°16'0"W 84°15'30"W 84°15'0"W 84°14'30"W 84°14'0"W



Estación meteorológica
Universidad para la Paz,
Ciudad Colón

Ciudad Colón

Simbología

- Camino C1-07-016
- Red Vial Nacional

0 210 420 840 1,260 Metros



Source: Esri, DigitalGlobe, GeoEye, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AeroGRID, IGN, and the GIS User Community

1090500 1092000 1093500 1095000 1096500

465000 466500 468000 469500 471000 472500 474000



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA



LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

ANEXO 6

Análisis de información recabada para los tramos de prueba

Resultados de ensayos de caracterización de suelos

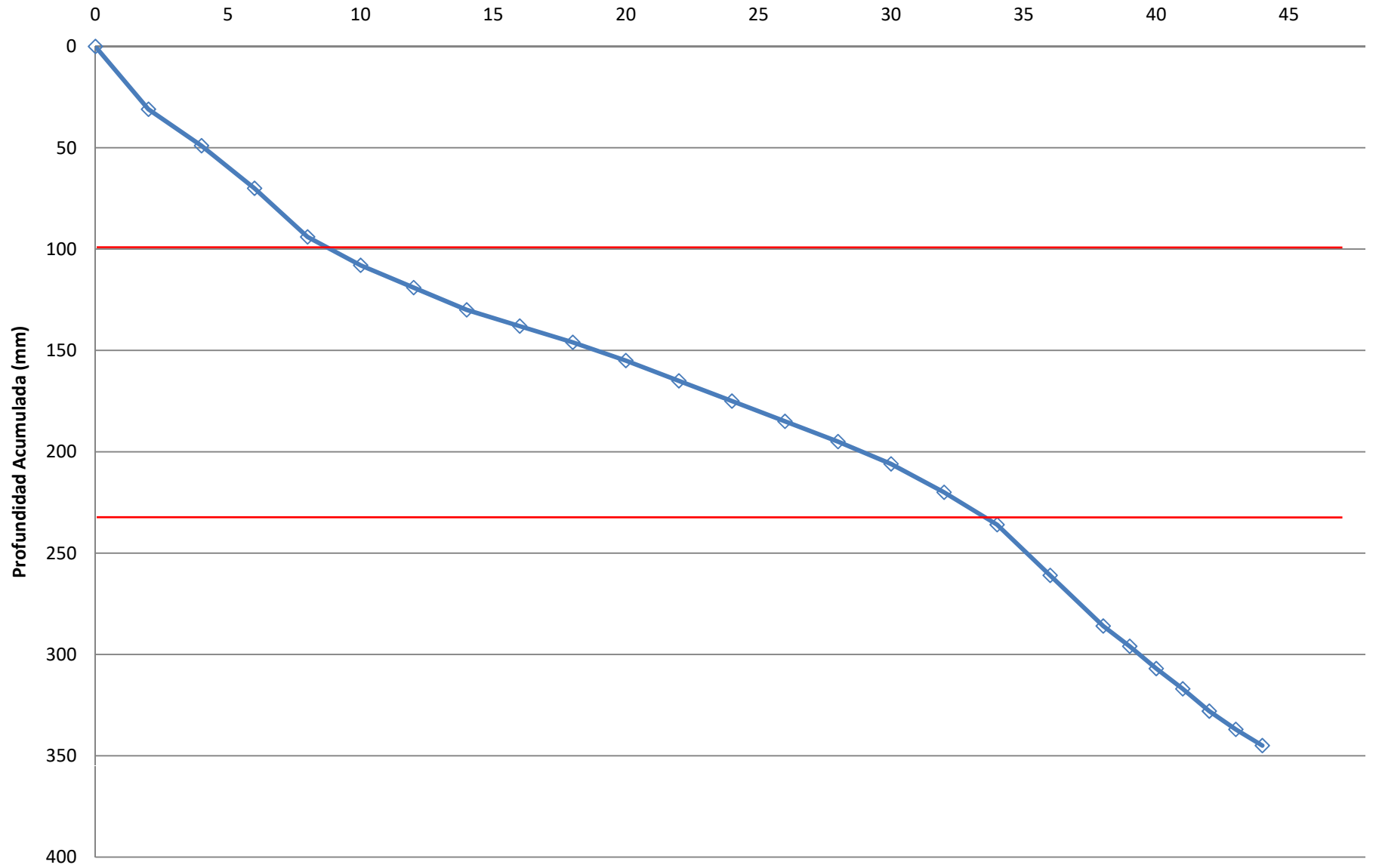
Sondeo	Tramo	Pav_cm	Análisis de granulometría							Límites de Atterberg					Clasificación de suelos (SUCS y AASHTO)						
			F4	F10	F40	F200	FG	FS	CF	LL	LP	IP	IP _A	LL-30	SUCS	AASHTO	a	b	c	d	IG
1	1	10	74,2	63,4	51,2	41,2	25,8	33	41,2	38	24	14	13,1	8,0	SC	A-6	6,2	-2	26,2	4	2
2	2	20	100	99	97	93,2	0	6,8	93,2	61	34	27	29,9	31,0	MH	A-7-5	58,2	21	78,2	17	20
3	3	13	99,1	96,7	89,7	71,0	0,9	28,1	71	63	38	25	31,4	33,0	MH	A-7-5	36	23,0	56	15	20
4	4	15	98,1	97,3	92,5	75,8	1,9	22,3	75,8	73	38	35	38,7	43,0	MH	A-7-5	40,8	33,0	60,8	25	30
5	4	10	99,9	98,8	90,3	60,5	0,1	39,4	60,5	54	32	22	24,8	24,0	MH	A-7-5	25,5	14,0	45,5	12	12
6	5	15	76,2	69,3	61,6	54,7	23,8	21,5	54,7	47	29	18	19,7	17,0	ML	A-7-6	19,7	7,0	39,7	8	20
7	6	10	91,2	86,7	79,4	71,4	8,8	19,8	71,4	72	51	21	38,0	42,0	MH	A-7-5	36,4	32,0	56,4	11	22

Fuente: Adaptado de Informe de Laboratorio I-1012-15 y bitácoras de campo, LanammeUCR

1. UBICACIÓN		2. DIMENSIONES GENERALES		6. CBR (DCP)			
PROVINCIA	San José	LONGITUD (Km):	7,0	MASA UTILIZADA (kg)	8		
CANTON	Mora	ANCHO PROM SR (m):	5,5	No. GOLPES	LECTURA (mm)	No. GOLPES	LECTURA (mm)
DISTRITO	Piedras Negras	ANCHO PROM DV (m):	12,0	0	54	2	544
CODIGO DEL CAMINO	Camino C1-07-016 Piedras Negras-El Pito Jaris			2	85	2	554
DE:	Piedras Negras (ENT.N.316)			2	103	2	563
A:	El Pito-Jaris (ENT.C.014)			2	124	2	570
3. SONDEOS				2	148	2	575
SONDEO No	Sondeo 1			2	162	2	579
ESTACIONAMIENTO	Tramo 1			2	173	2	583
COORDENADAS GPS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	2	184	2	589
N	9	54	27,3	2	192		
W	84	18	34,0	2	200		
4. ESTRUCTURA DE PAVIMENTO				2	209		
CAPAS	DENOMINACION	ESPESOR (cm)		2	219		
No. 1	SR	15,0		2	229		
No. 2	SUELO	-		2	239		
No. 3	-	-		2	249		
No. 4	-	-		2	260		
No. 5	-	-		2	274		
No. 6	-	-		2	290		
CAPAS	DESCRIPCIÓN			2	315		
No. 1	Superficie de ruedo existente, suelo con material granular			2	340		
No. 2	Suelo subrasante arcilloso color café			1	350		
No. 3	-			1	361		
No. 4	-			1	371		
No. 5	-			1	382		
No. 6	-			1	391		
5. LECTURAS DEL ANILLO DE CARGA				1	399		
1		11		1	407		
2		12		1	415		
3		13		1	421		
4		14		1	428		
5		15		1	435		
6		16		1	444		
7		17		2	462		
8		18		2	483		
9		19		2	503		
10		20		2	523		
7. CONDICIONES DEL SITIO Y OBSERVACIONES GENERALES							
Sondeo realizado desde la superficie de la capa granular existente							
FECHA	5/5/2015			APUNTADOR	AUC		

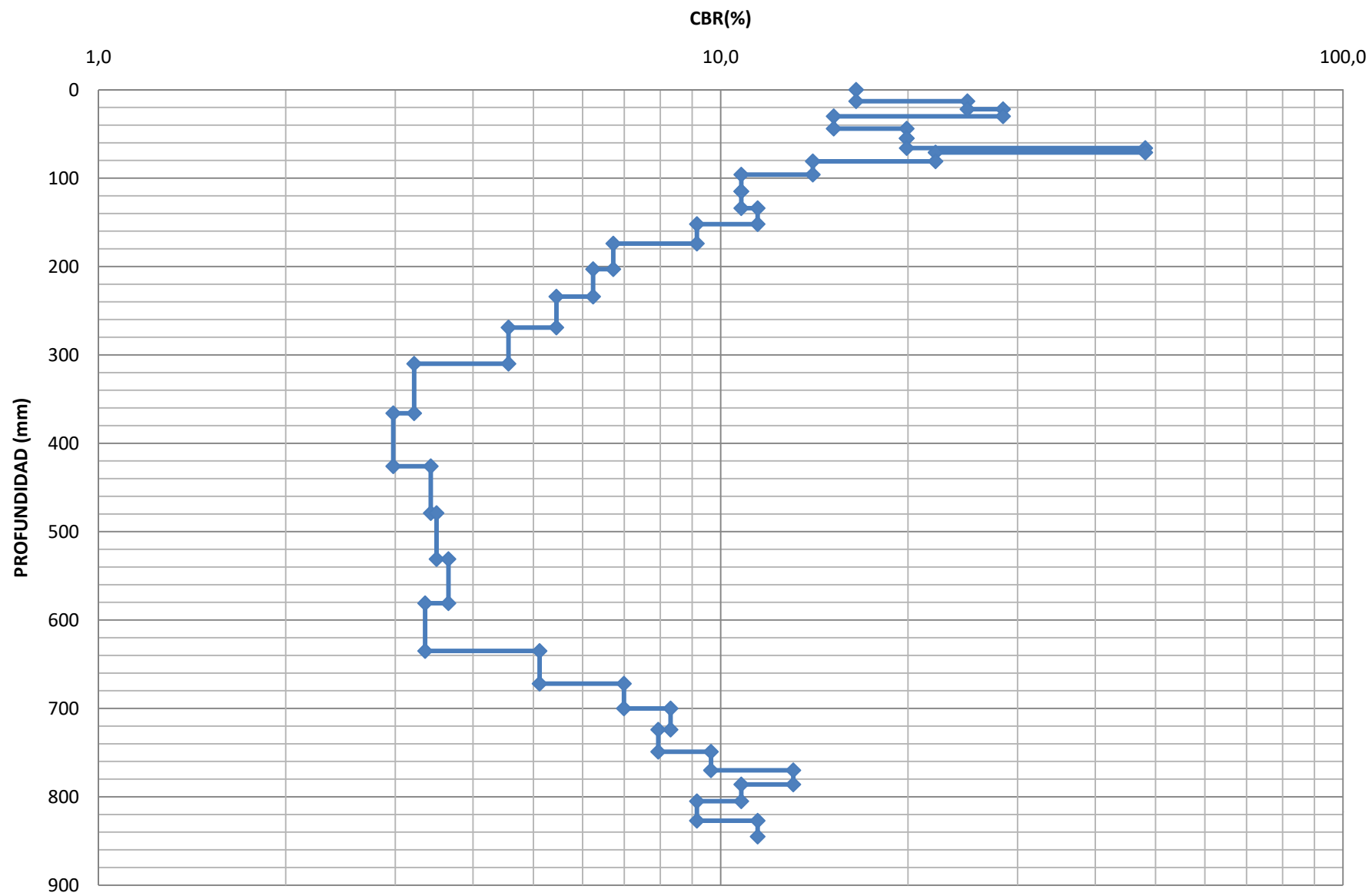
SONDEO 1

No. Golpes Acumulados

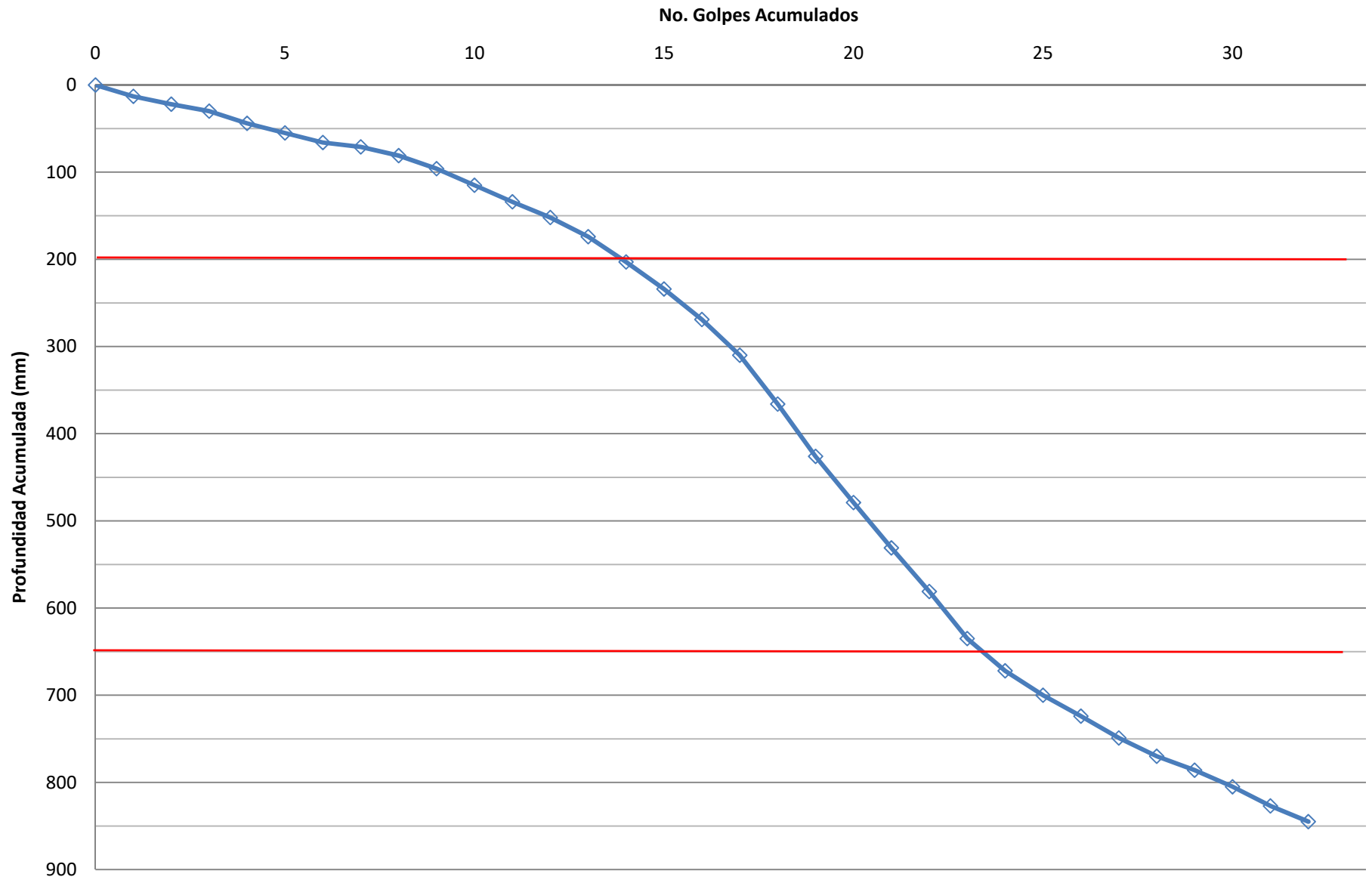


1. UBICACIÓN		2. DIMENSIONES GENERALES		6. CBR (DCP)			
PROVINCIA	San José	LONGITUD (Km):	7,0	MASA UTILIZADA (kg)	8		
CANTON	Mora	ANCHO PROM SR (m):	5,5	No. GOLPES	LECTURA (mm)	No. GOLPES	LECTURA (mm)
DISTRITO	Piedras Negras	ANCHO PROM DV (m):	12,0	0	20		
CODIGO DEL CAMINO	Camino C1-07-016 Piedras Negras-El Pito Jaris			1	33		
DE:	Piedras Negras (ENT.N.316)			1	42		
A:	El Pito-Jaris (ENT.C.014)			1	50		
3. SONDEOS				1	64		
SONDEO No	Sondeo 2 (LI)			1	75		
ESTACIONAMIENTO	Tramo 2			1	86		
COORDENADAS GPS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	1	91		
N	9	54	10,3	1	101		
W	84	18	11,4	1	116		
4. ESTRUCTURA DE PAVIMENTO				1	135		
CAPAS	DENOMINACION	ESPESOR (cm)		1	154		
No. 1	SR	20,0		1	172		
No. 2	SUELO	-		1	194		
No. 3				1	223		
No. 4				1	254		
No. 5				1	289		
No. 6		-		1	330		
CAPAS	DESCRIPCIÓN			1	386		
No. 1	Superficie de ruedo existente, suelo con material granular			1	446		
No. 2	Suelo subrasante arcillosos color café			1	499		
No. 3	-			1	551		
No. 4	-			1	601		
No. 5	-			1	655		
No. 6	-			1	692		
5. LECTURAS DEL ANILLO DE CARGA				1	720		
1		11		1	744		
2		12		1	769		
3		13		1	790		
4		14		1	806		
5		15		1	825		
6		16		1	847		
7		17		1	865		
8		18					
9		19					
10		20					
7. CONDICIONES DEL SITIO Y OBSERVACIONES GENERALES							
FECHA	5/9/2016			APUNTADOR	AUC		

SONDEO 2



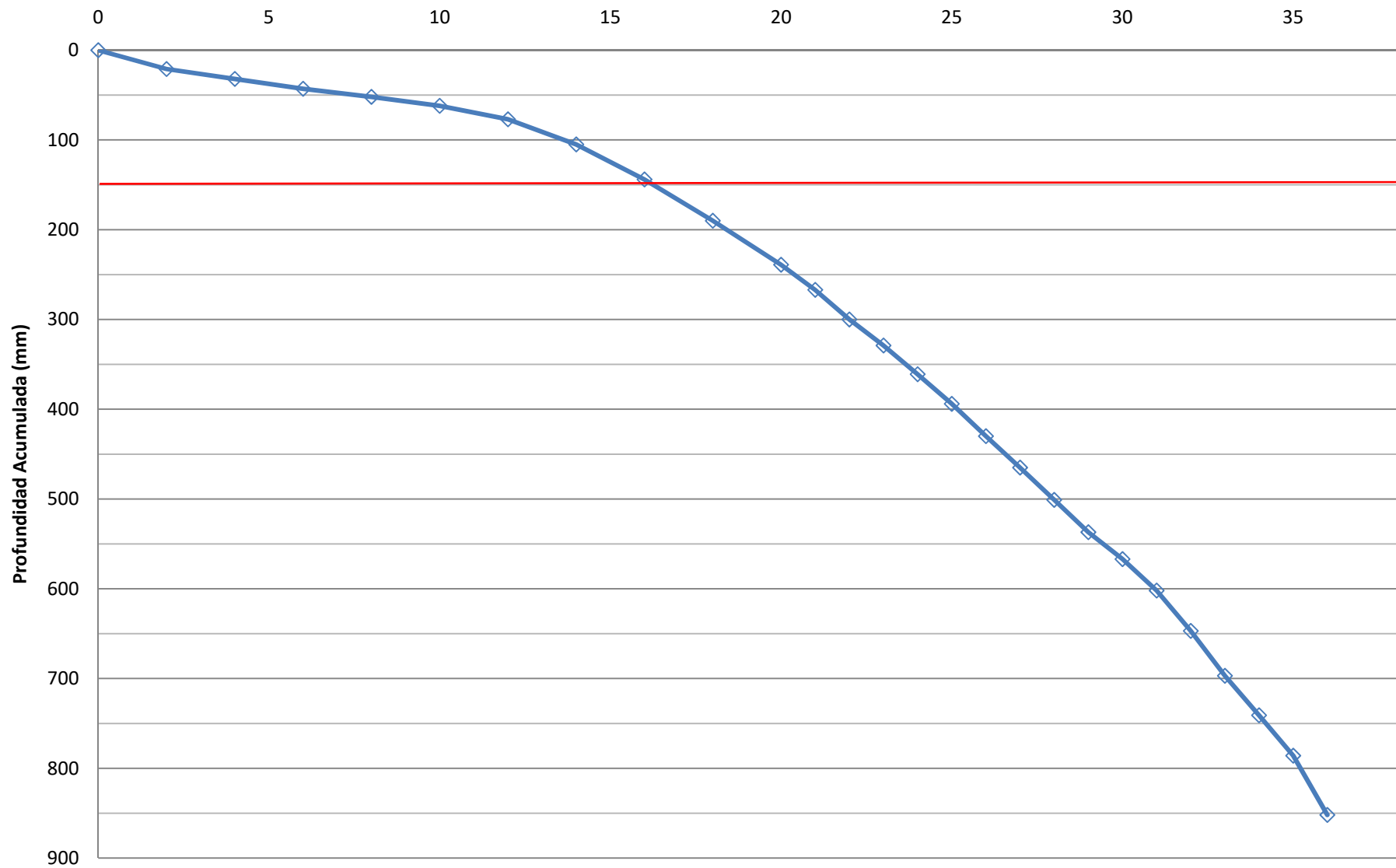
SONDEO 2



1. UBICACIÓN		2. DIMENSIONES GENERALES		6. CBR (DCP)			
PROVINCIA	San José	LONGITUD (Km):	7,0	MASA UTILIZADA (kg)	8		
CANTON	Mora	ANCHO PROM SR (m):	5,5	No. GOLPES	LECTURA (mm)	No. GOLPES	LECTURA (mm)
DISTRITO	Piedras Negras	ANCHO PROM DV (m):	12,0	0	53		
CODIGO DEL CAMINO	Camino C1-07-016 Piedras Negras-El Pito Jaris			2	74		
DE:	Piedras Negras (ENT.N.316)			2	85		
A:	El Pito-Jaris (ENT.C.014)			2	96		
3. SONDEOS				2	105		
SONDEO No	Sondeo 3			2	115		
ESTACIONAMIENTO	Tramo 3			2	130		
COORDENADAS GPS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	2	158		
N	9	54	2,4	2	197		
W	84	18	2,0	2	243		
4. ESTRUCTURA DE PAVIMENTO				2	292		
CAPAS	DENOMINACION	ESPESOR (cm)		1	320		
No. 1	SR	15,0		1	353		
No. 2	SUELO	-		1	382		
No. 3	-	-		1	414		
No. 4	-	-		1	447		
No. 5	-	-		1	483		
No. 6	-	-		1	518		
CAPAS	DESCRIPCIÓN			1	554		
No. 1	Superficie de ruedo existente, suelo con material granular			1	590		
No. 2	Suelo subrasante arcilloso color café			1	620		
No. 3	-			1	655		
No. 4	-			1	700		
No. 5	-			1	750		
No. 6	-			1	794		
5. LECTURAS DEL ANILLO DE CARGA				1	839		
1		11		1	905		
2		12					
3		13					
4		14					
5		15					
6		16					
7		17					
8		18					
9		19					
10		20					
7. CONDICIONES DEL SITIO Y OBSERVACIONES GENERALES							
FECHA	5/5/2015			APUNTADOR	AUC		

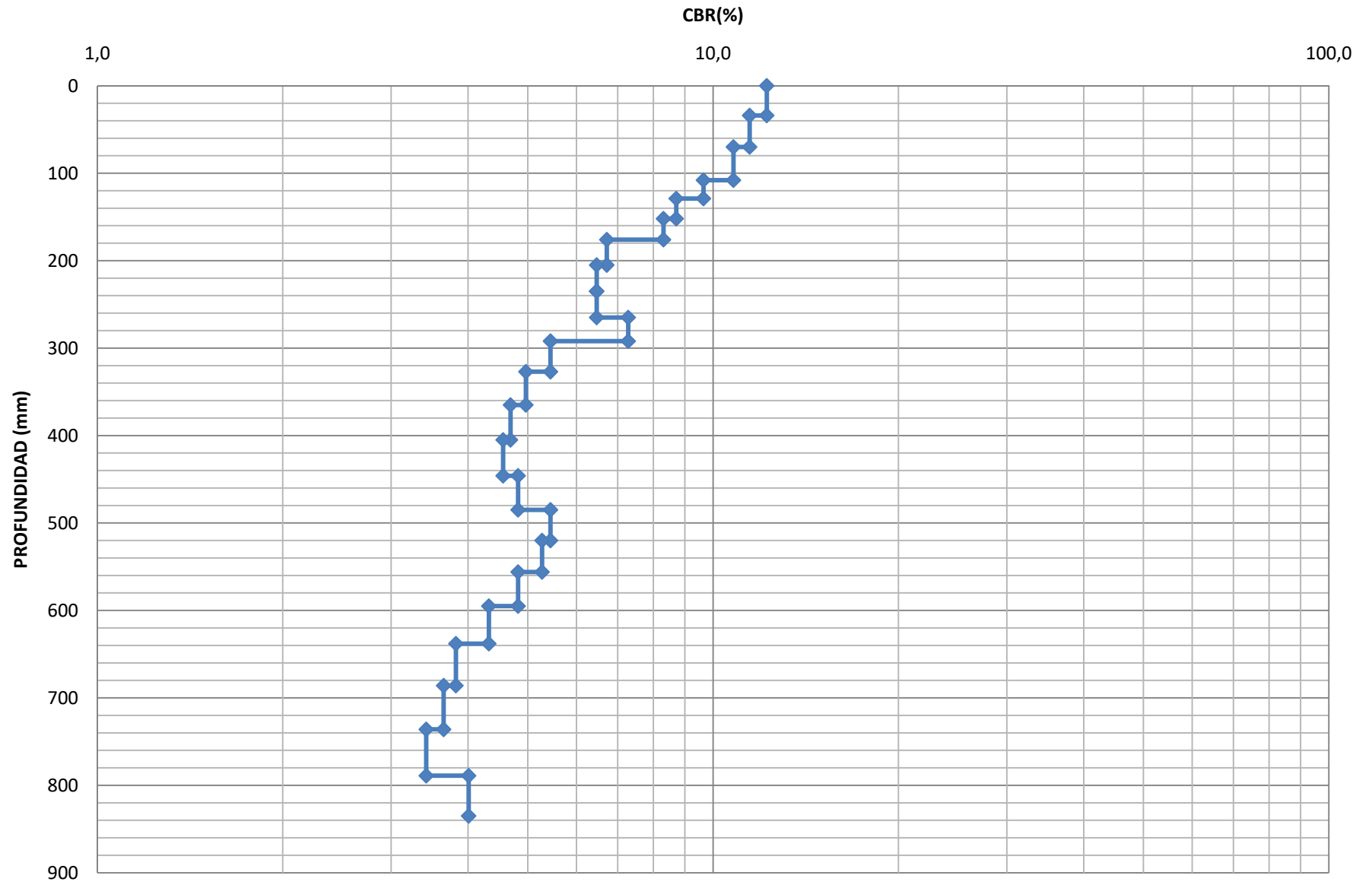
SONDEO 3

No. Golpes Acumulados



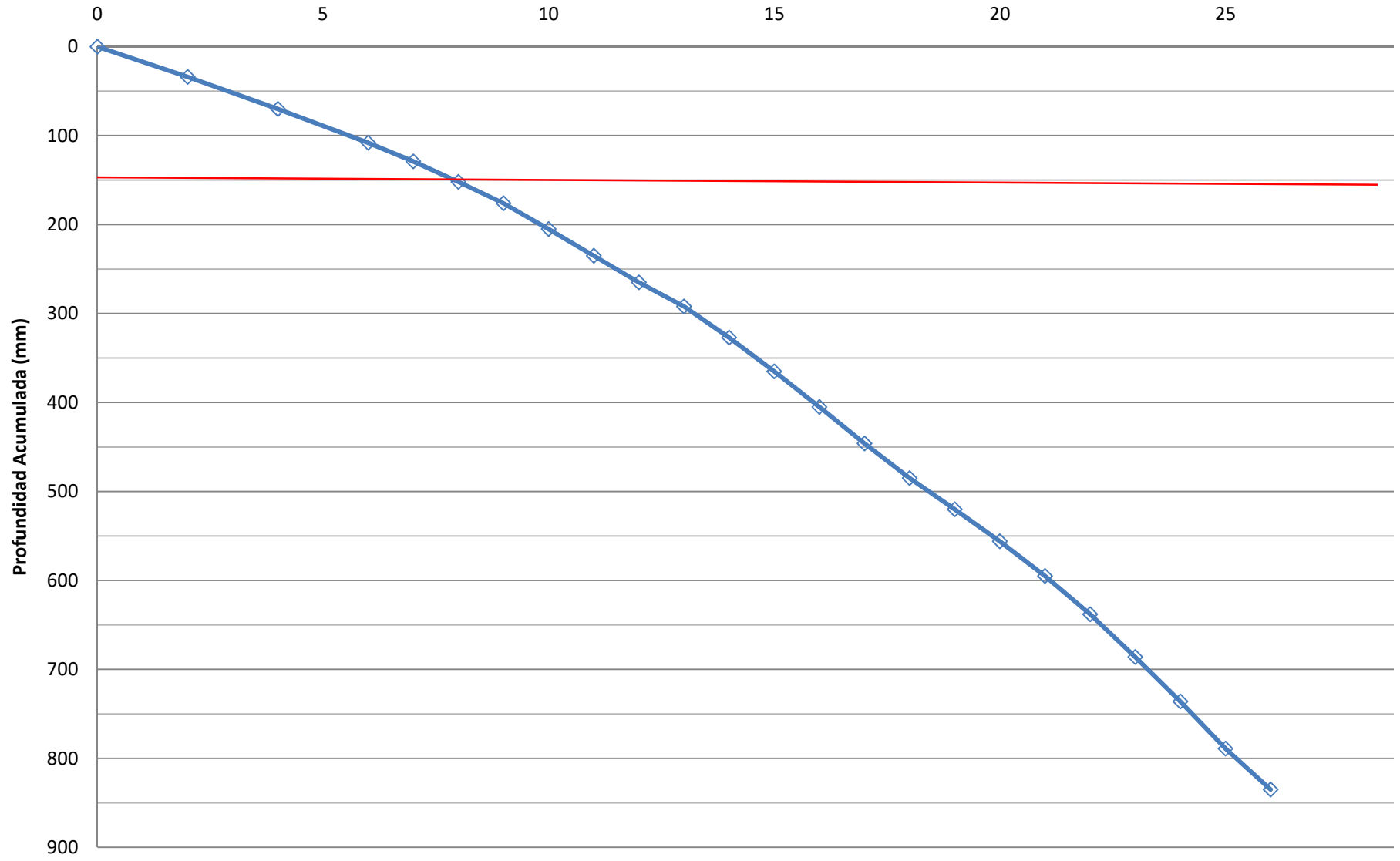
1. UBICACIÓN		2. DIMENSIONES GENERALES		6. CBR (DCP)			
PROVINCIA	San José	LONGITUD (Km):	7,0	MASA UTILIZADA (kg)	8		
CANTON	Mora	ANCHO PROM SR (m):	5,5	No. GOLPES	LECTURA (mm)	No. GOLPES	LECTURA (mm)
DISTRITO	Piedras Negras	ANCHO PROM DV (m):	12,0	0	45		
CODIGO DEL CAMINO	Camino C1-07-016 Piedras Negras-El Pito Jaris			2	79		
DE:	Piedras Negras (ENT.N.316)			2	115		
A:	El Pito-Jaris (ENT.C.014)			2	153		
3. SONDEOS				1	174		
SONDEO No	Sondeo 4			1	197		
ESTACIONAMIENTO	Tramo 4			1	221		
COORDENADAS GPS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	1	250		
N	9	53	43,0	1	280		
W	84	17	28,3	1	310		
4. ESTRUCTURA DE PAVIMENTO				1	337		
CAPAS	DENOMINACION	ESPESOR (cm)		1	372		
No. 1	SR	15,0		1	410		
No. 2	SUELO	-		1	450		
No. 3	-	-		1	491		
No. 4	-	-		1	530		
No. 5	-	-		1	565		
No. 6	-	-		1	601		
CAPAS	DESCRIPCIÓN			1	640		
No. 1	Superficie de ruedo existente, suelo con material granular			1	683		
No. 2	Suelo subrasante arcilloso color café			1	731		
No. 3	-			1	781		
No. 4	-			1	834		
No. 5	-			1	880		
No. 6	-						
5. LECTURAS DEL ANILLO DE CARGA							
1		11					
2		12					
3		13					
4		14					
5		15					
6		16					
7		17					
8		18					
9		19					
10		20					
7. CONDICIONES DEL SITIO Y OBSERVACIONES GENERALES							
FECHA	5/9/2016			APUNTADOR	AUC		

SONDEO 4



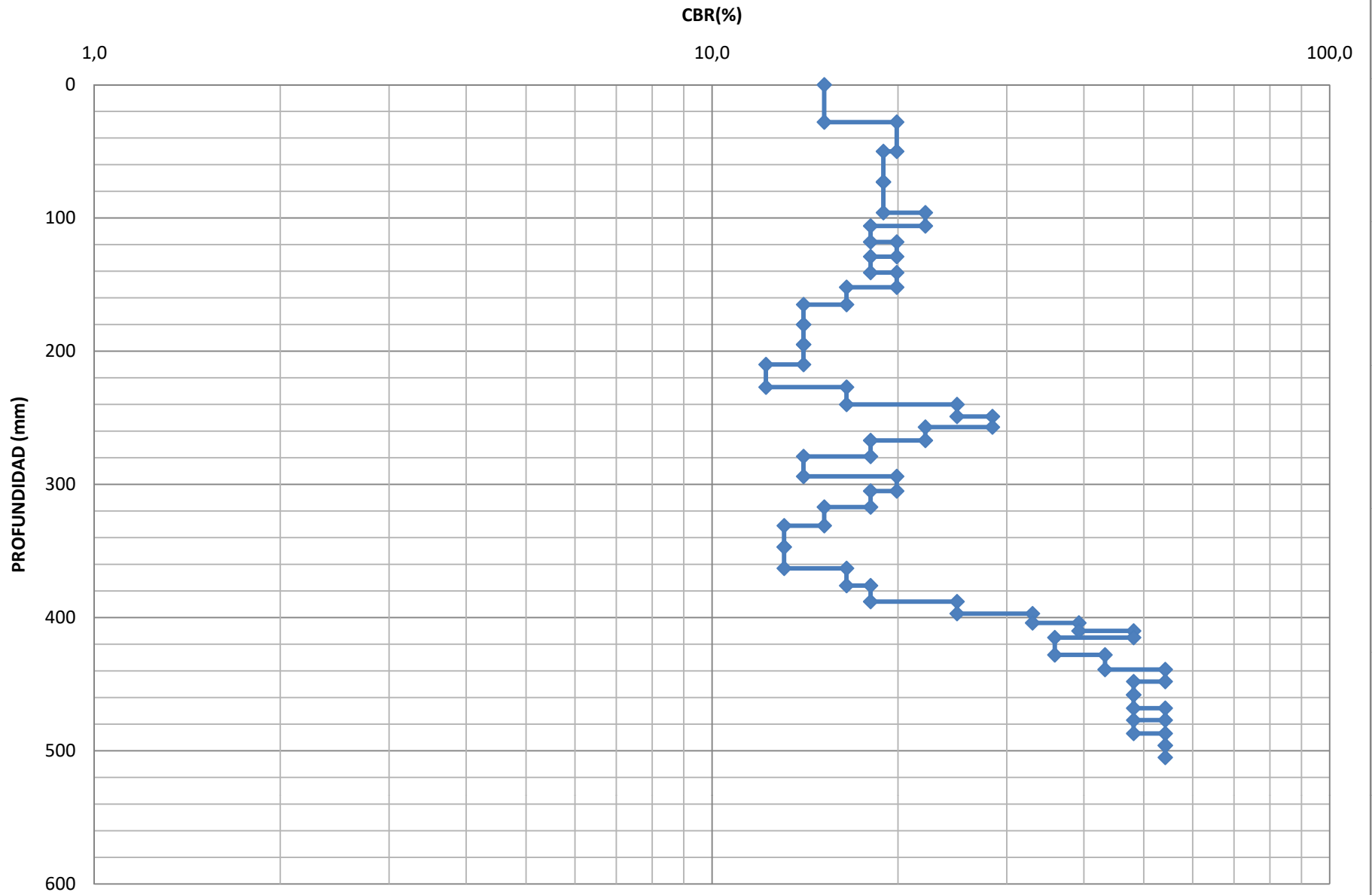
SONDEO 4

No. Golpes Acumulados



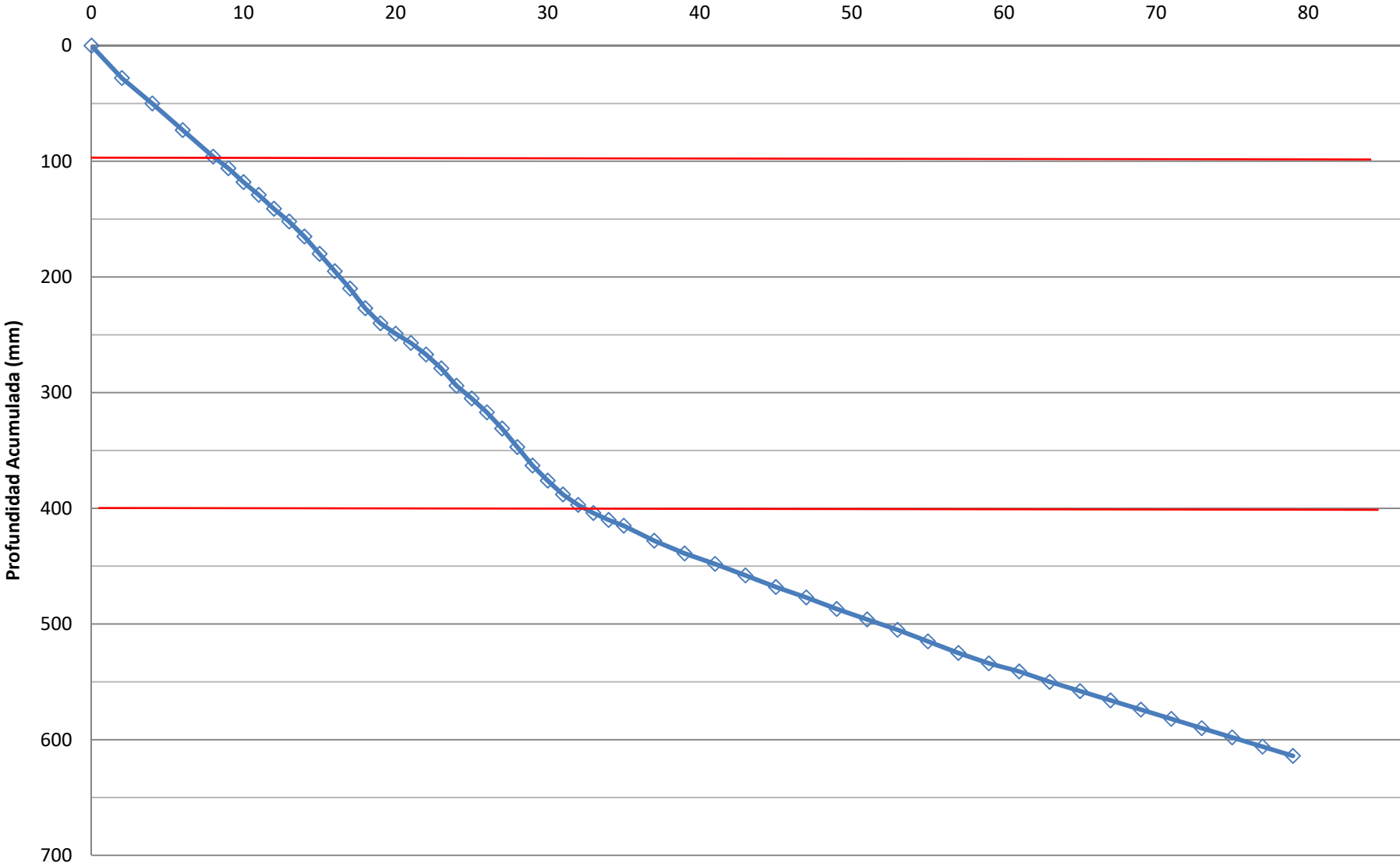
1. UBICACIÓN		2. DIMENSIONES GENERALES		6. CBR (DCP)			
PROVINCIA	San José	LONGITUD (Km):	7,0	MASA UTILIZADA (kg)	8		
CANTON	Mora	ANCHO PROM SR (m):	5,5	No. GOLPES	LECTURA (mm)	No. GOLPES	LECTURA (mm)
DISTRITO	Piedras Negras	ANCHO PROM DV (m):	12,0	0	44	2	512
CODIGO DEL CAMINO	Camino C1-07-016 Piedras Negras-El Pito Jaris			2	72	2	521
DE:	Piedras Negras (ENT.N.316)			2	94	2	531
A:	El Pito-Jaris (ENT.C.014)			2	117	2	540
3. SONDEOS				2	140	2	549
SONDEO No	Sondeo 5			1	150	2	559
ESTACIONAMIENTO	Tramo 4			1	162	2	569
COORDENADAS GPS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	1	173	2	578
N	9	53	44,1	1	185	2	585
W	84	17	30,5	1	196	2	594
4. ESTRUCTURA DE PAVIMENTO				1	209	2	602
CAPAS	DENOMINACION	ESPESOR (cm)		1	224	2	610
No. 1	SR	10,0		1	239	2	618
No. 2	SUELO	-		1	254	2	626
No. 3	-	-		1	271	2	634
No. 4	-	-		1	284	2	642
No. 5	-	-		1	293	2	650
No. 6	-	-		1	301	2	658
CAPAS	DESCRIPCIÓN			1	311		
No. 1	Superficie de ruedo existente, suelo con material granular			1	323		
No. 2	Suelo subrasante arcilloso color café			1	338		
No. 3	-			1	349		
No. 4	-			1	361		
No. 5	-			1	375		
No. 6	-			1	391		
5. LECTURAS DEL ANILLO DE CARGA				1	407		
1		11		1	420		
2		12		1	432		
3		13		1	441		
4		14		1	448		
5		15		1	454		
6		16		1	459		
7		17		2	472		
8		18		2	483		
9		19		2	492		
10		20		2	502		
7. CONDICIONES DEL SITIO Y OBSERVACIONES GENERALES							
FECHA	5/5/2015			APUNTADOR	AUC		

Sondeo 5



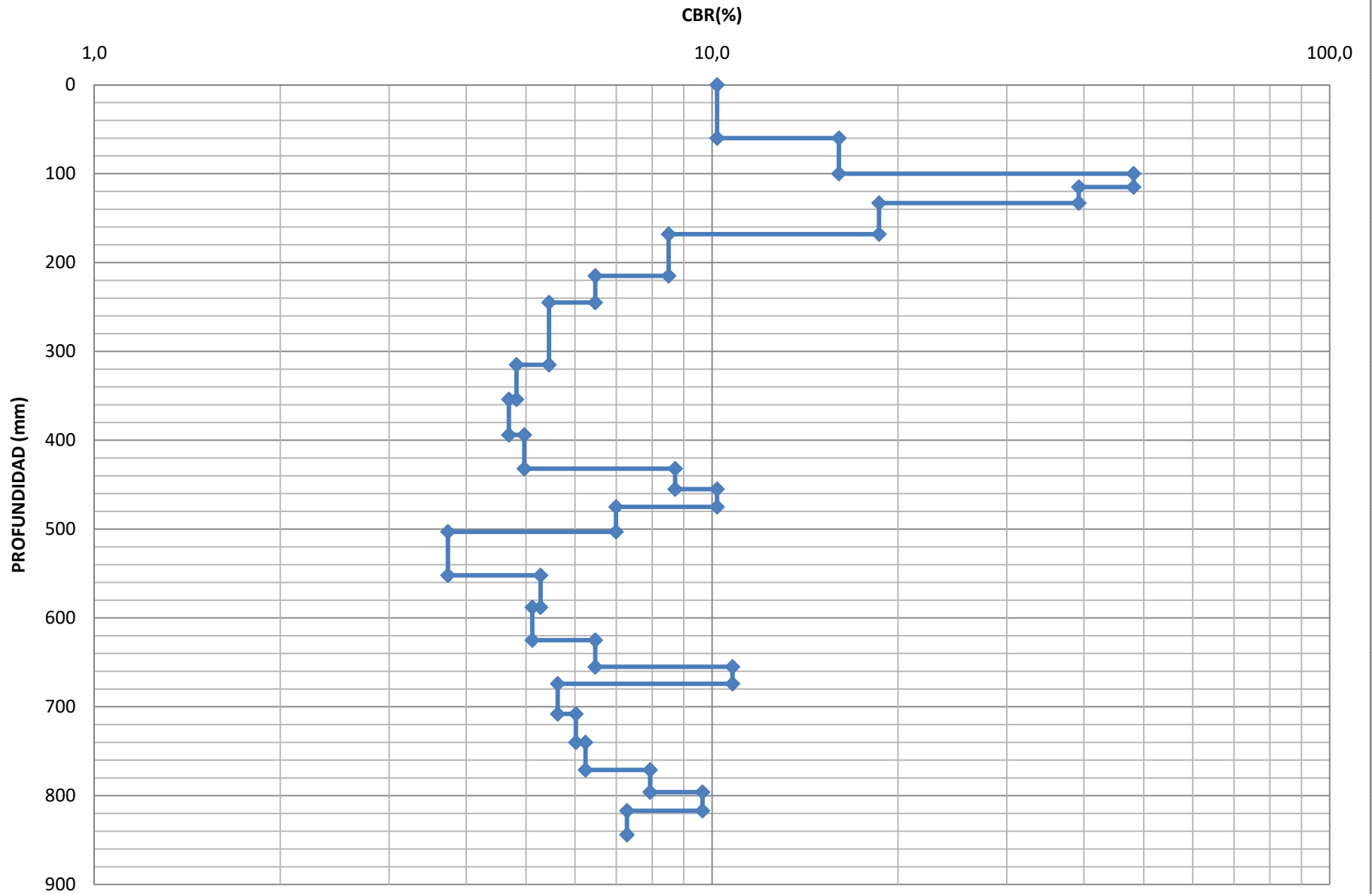
Sondeo 5

No. Golpes Acumulados



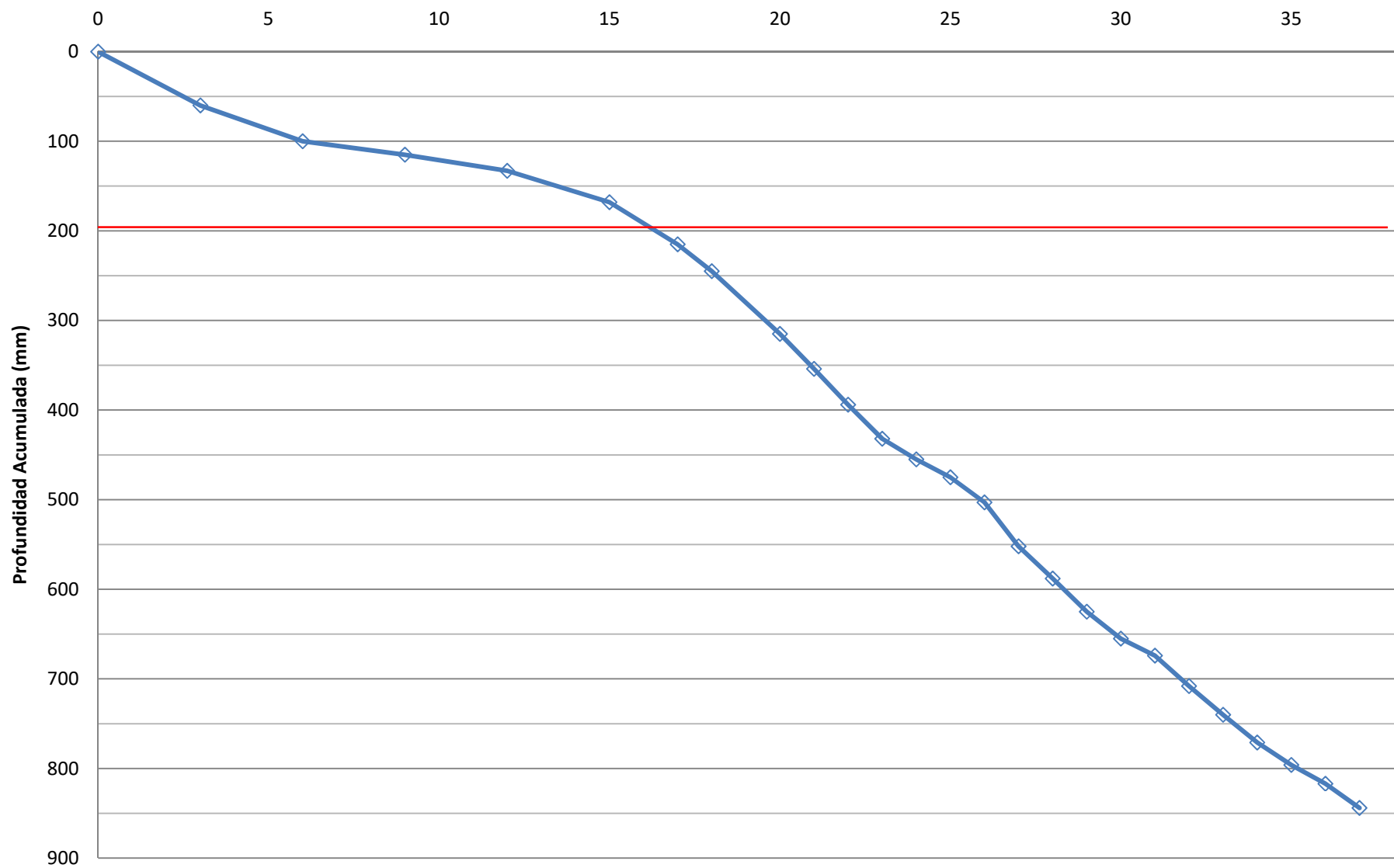
1. UBICACIÓN		2. DIMENSIONES GENERALES		6. CBR (DCP)			
PROVINCIA	San José	LONGITUD (Km):	7,0	MASA UTILIZADA (kg)	8		
CANTON	Mora	ANCHO PROM SR (m):	5,5	No. GOLPES	LECTURA (mm)	No. GOLPES	LECTURA (mm)
DISTRITO	Piedras Negras	ANCHO PROM DV (m):	12,0	0	30		
CODIGO DEL CAMINO	Camino C1-07-016 Piedras Negras-El Pito Jaris			3	90		
DE:	Piedras Negras (ENT.N.316)			3	130		
A:	El Pito-Jaris (ENT.C.014)			3	145		
3. SONDEOS				3	163		
SONDEO No	Sondeo 6 (c)			3	198		
ESTACIONAMIENTO	Tramo 5			2	245		
COORDENADAS GPS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	1	275		
N	9	53	24,3	2	345		
W	84	17	5,8	1	384		
4. ESTRUCTURA DE PAVIMENTO				1	424		
CAPAS	DENOMINACION	ESPESOR (cm)		1	462		
No. 1	SR	15,0		1	485		
No. 2	SUELO	-		1	505		
No. 3	-	-		1	533		
No. 4	-	-		1	582		
No. 5	-	-		1	618		
No. 6	-	-		1	655		
CAPAS	DESCRIPCIÓN			1	685		
No. 1	Superficie de ruedo existente, suelo con material granular			1	704		
No. 2	Suelo subrasante arcilloso color café			1	738		
No. 3	-			1	770		
No. 4	-			1	801		
No. 5	-			1	826		
No. 6	-			1	847		
5. LECTURAS DEL ANILLO DE CARGA				1	874		
1		11					
2		12					
3		13					
4		14					
5		15					
6		16					
7		17					
8		18					
9		19					
10		20					
7. CONDICIONES DEL SITIO Y OBSERVACIONES GENERALES							
FECHA	9/6/2017			APUNTADOR	AUC		

Sondeo 6



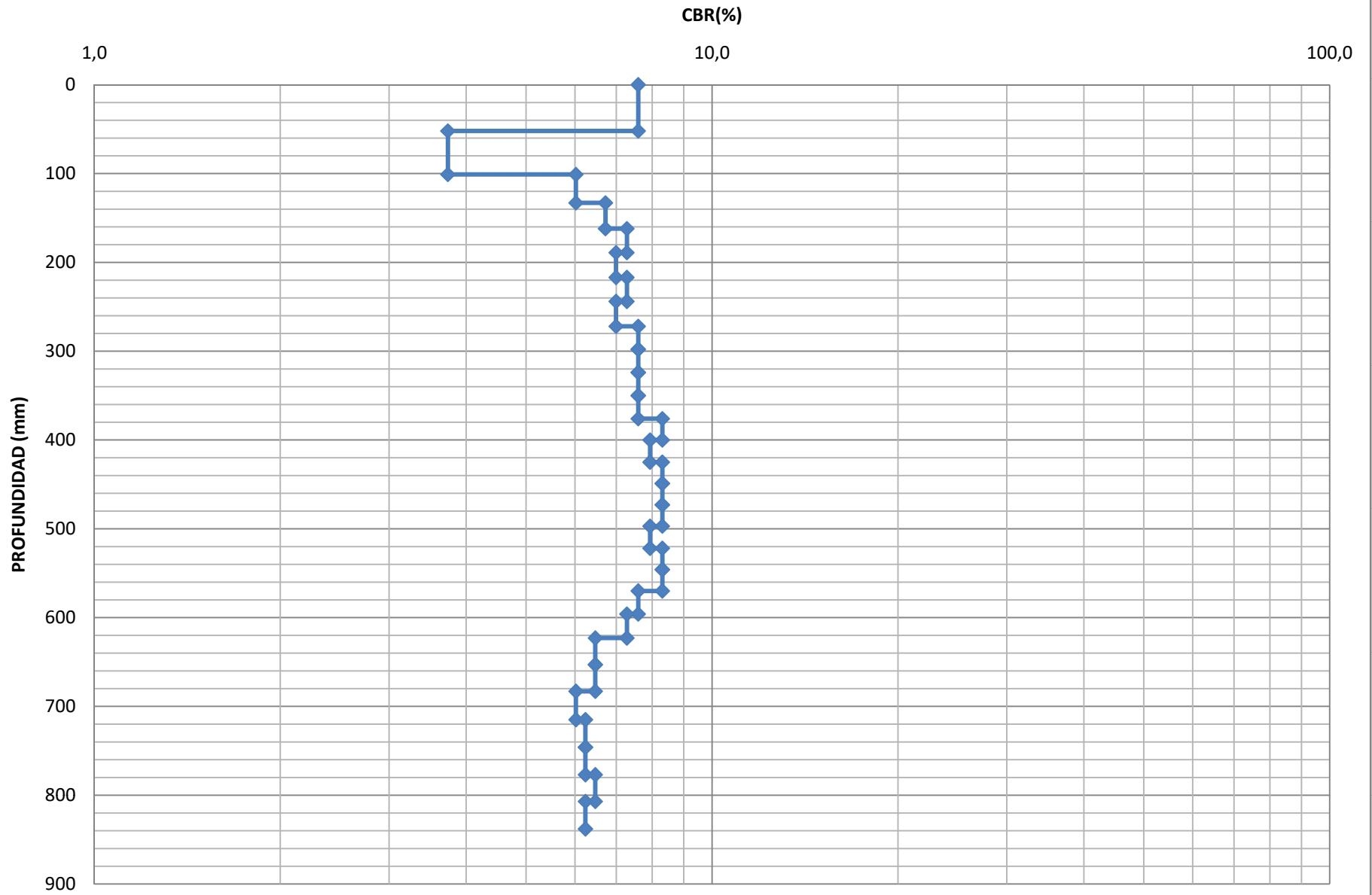
SONDEO 6

No. Golpes Acumulados



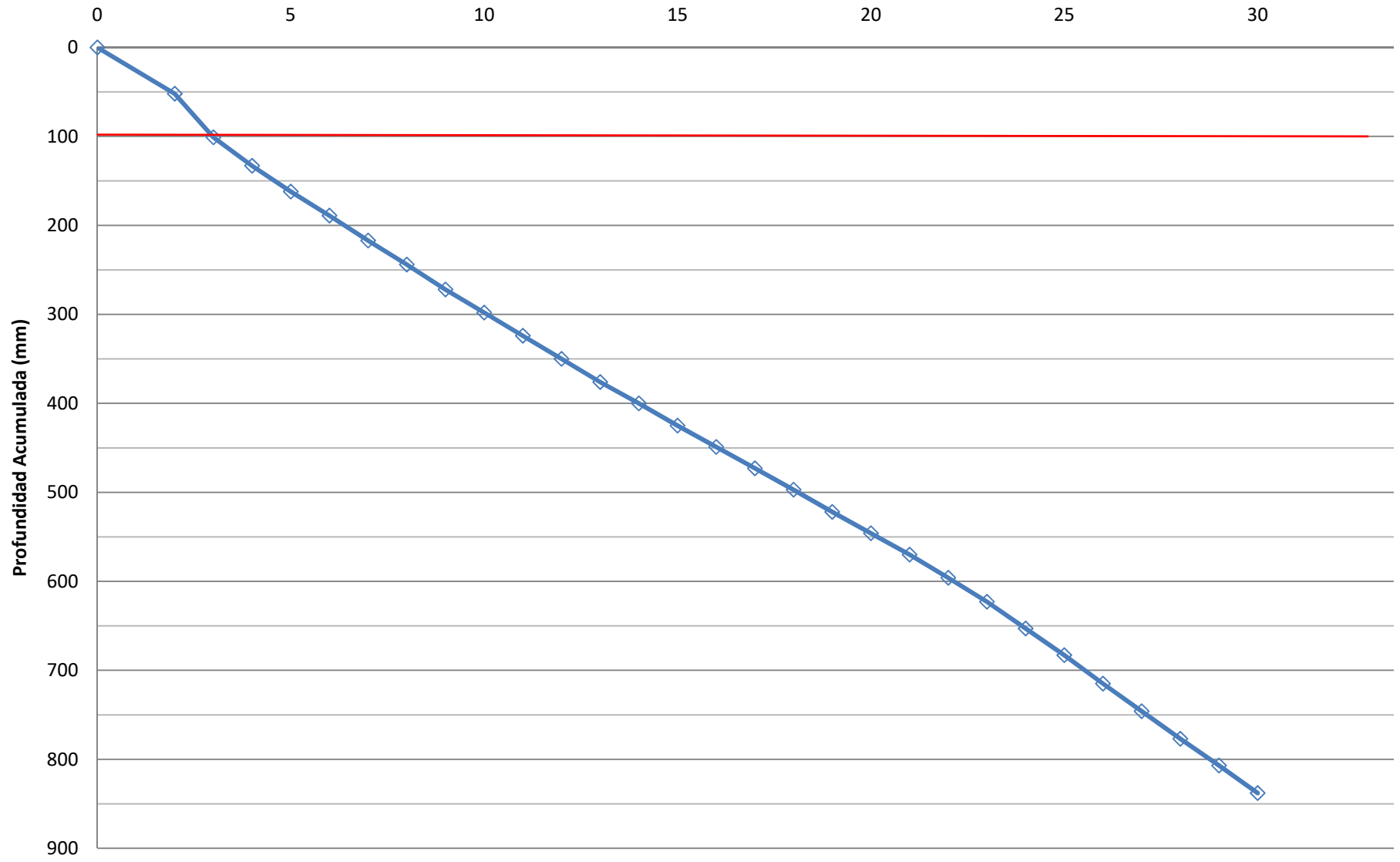
1. UBICACIÓN		2. DIMENSIONES GENERALES		6. CBR (DCP)			
PROVINCIA	San José	LONGITUD (Km):	7,0	MASA UTILIZADA (kg)	8		
CANTON	Mora	ANCHO PROM SR (m):	5,5	No. GOLPES	LECTURA (mm)	No. GOLPES	LECTURA (mm)
DISTRITO	Piedras Negras	ANCHO PROM DV (m):	12,0	0	52		
CODIGO DEL CAMINO	Camino C1-07-016 Piedras Negras-El Pito Jaris			2	104		
DE:	Piedras Negras (ENT.N.316)			1	153		
A:	El Pito-Jaris (ENT.C.014)			1	185		
3. SONDEOS				1	214		
SONDEO No	Sondeo 7			1	241		
ESTACIONAMIENTO	Tramo 6			1	269		
COORDENADAS GPS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	1	296		
N	9	53	20,3	1	324		
W	84	17	1,9	1	350		
4. ESTRUCTURA DE PAVIMENTO				1	376		
CAPAS	DENOMINACION	ESPESOR (cm)		1	402		
No. 1	SR	10,0		1	428		
No. 2	SUELO	-		1	452		
No. 3				1	477		
No. 4				1	501		
No. 5				1	525		
No. 6		-		1	549		
CAPAS	DESCRIPCIÓN			1	574		
No. 1	Superficie de ruedo existente, suelo con material granular			1	598		
No. 2	Suelo subrasante arcilloso color café			1	622		
No. 3				1	648		
No. 4				1	675		
No. 5				1	705		
No. 6				1	735		
5. LECTURAS DEL ANILLO DE CARGA				1	767		
1		11		1	798		
2		12		1	829		
3		13		1	859		
4		14		1	890		
5		15					
6		16					
7		17					
8		18					
9		19					
10		20					
7. CONDICIONES DEL SITIO Y OBSERVACIONES GENERALES							
FECHA	21/11/2017			APUNTADOR	AUC		

Sondeo 7



SONDEO 7

No. Golpes Acumulados



1. UBICACIÓN		2. DIMENSIONES GENERALES		3. IDENTIFICACION DEL CAMINO	
PROVINCIA	San José	LONGITUD (Km):	7,1	CODIGO DEL CAMINO	1-07-016-00
CANTON	Mora	ANCHO PROM SR (m):	5	DE:	(ENT.N.316) Piedras Negras
DISTRITO	Piedras Negras	ANCHO PROM DV (m):	11,2	A:	(ENT.C.014) El Pito-Jaris

4. FOTOS

S1	S2
FOTO 1	FOTO 1



FOTO 2



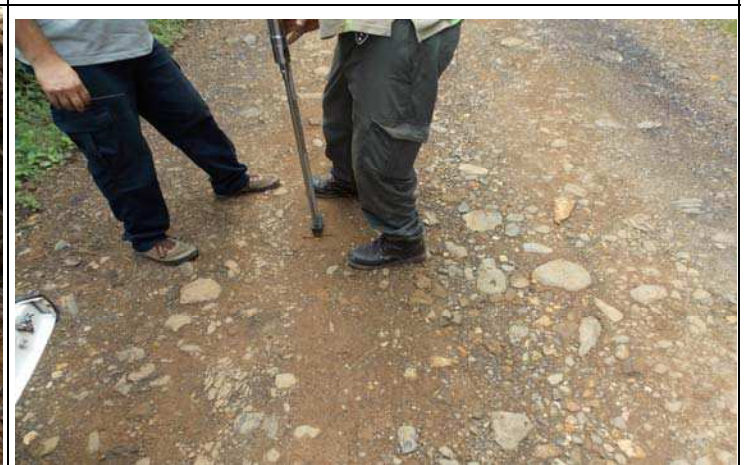
FOTO 2



FOTO 3



FOTO 3



FECHA

5/5/2015 y 05/09/2016

APUNTADOR

AUC

1. UBICACIÓN		2. DIMENSIONES GENERALES		3. IDENTIFICACION DEL CAMINO	
PROVINCIA	San José	LONGITUD (Km):	7,1	CODIGO DEL CAMINO	1-07-016-00
CANTON	Mora	ANCHO PROM SR (m):	5	DE:	(ENT.N.316) Piedras Negras
DISTRITO	Piedras Negras	ANCHO PROM DV (m):	11,2	A:	(ENT.C.014) El Pito-Jaris

4. FOTOS

S3

FOTO 1



S4

FOTO 1



FOTO 2



FOTO 2



FOTO 3



FOTO 3





SONDEOS A CIELO ABIERTO



1. UBICACIÓN		2. DIMENSIONES GENERALES		3. IDENTIFICACION DEL CAMINO	
PROVINCIA	San José	LONGITUD (Km):	7,1	CODIGO DEL CAMINO	1-07-016-00
CANTON	Mora	ANCHO PROM SR (m):	5	DE:	(ENT.N.316) Piedras Negras
DISTRITO	Piedras Negras	ANCHO PROM DV (m):	11,2	A:	(ENT.C.014) El Pito-Jaris

4. FOTOS

S5

FOTO 1



S6

FOTO 1



FOTO 2



FOTO 2



FOTO 3



FOTO 3



FECHA

5/5/2015 Y 9/6/2017

APUNTADOR

AUC



SONDEOS A CIELO ABIERTO



1. UBICACIÓN		2. DIMENSIONES GENERALES		3. IDENTIFICACION DEL CAMINO	
PROVINCIA	San José	LONGITUD (Km):	7,1	CODIGO DEL CAMINO	1-07-016-00
CANTON	Mora	ANCHO PROM SR (m):	5	DE:	(ENT.N.316) Piedras Negras
DISTRITO	Piedras Negras	ANCHO PROM DV (m):	11,2	A:	(ENT.C.014) El Pito-Jaris

4. FOTOS

S7	0
FOTO 1	FOTO 1



FOTO 1

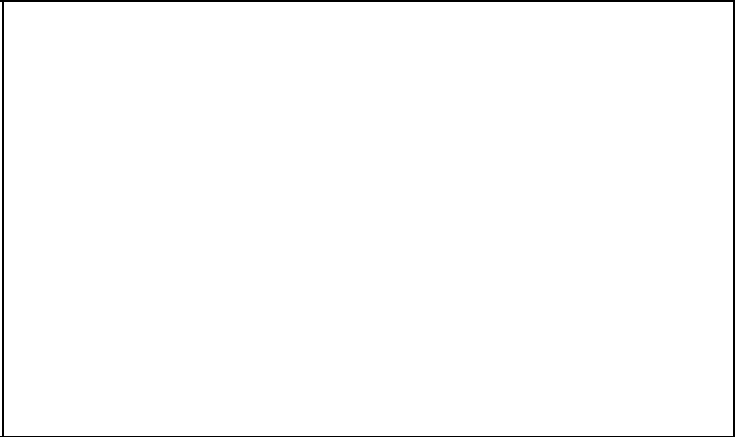


FOTO 1



FOTO 2

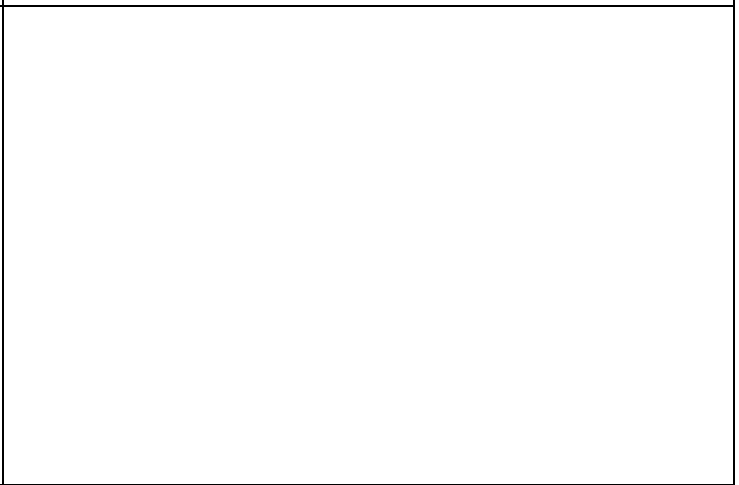


FOTO 2



FOTO 3

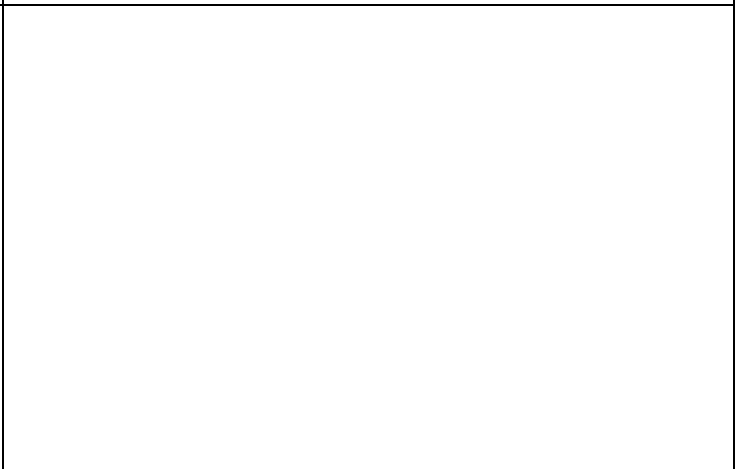


FOTO 3

FECHA

21/11/2017

APUNTADOR

AUC

No. de informe: I-1012-15

Informe de Ensayo

RC-80 v.05 (Sistema de Gestión de Calidad, LanammeUCR. Norma INTE ISO/IEC 17025:2005)

ST- 0777 -15

1. Información del cliente:

Nombre: Unidad de Gestión Municipal (Ing. Eliécer Arias).
Proyecto: Municipalidad de Mora.
Domicilio: 400 metros norte de Muñoz y Nanne, San Pedro, Montes de Oca, San José.

2. Método de ensayo:

IT-GC-01 (ASTM D 422) (**)
Método de ensayo para el análisis de tamaño de partículas de suelo (vía seca y húmeda).
IT-GC-02 (ASTM D 2216) (*).
Procedimiento para determinar el contenido de humedad de suelos y rocas.
IT-GC-04 (ASTM D 854) (*).
Procedimiento para determinar la gravedad específica del suelo mediante un picnómetro con agua.
IT-GC-05 (ASTM D 4318) (*).
Procedimiento para determinar el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de un suelo.

(*) Ensayo acreditado. Ver alcance en www.eca.or.cr

(**) Ensayo no acreditado.

3. Información de la(s) muestra(s) o espécimen(es) de ensayo:

<u>No. de identificación:</u>	<u>Descripción:</u>
1133-15	2 Bolsas con suelo. Identificadas por el cliente como: S1, suelo subrasante, Sondeo 1. Suelo limo-arcilloso color café claro, combinado con vetas de suelo semicompacto, color café oscuro y amarillento, posee algunas partículas de roca semicompacta no mayor 25,4 mm de diámetro.

Dirección: 500 metros al Norte del Supermercado Muñoz y Nanne. Finca 2, Universidad de Costa Rica.

Apartado: 11501-2060 San Pedro, Montes de Oca, San José, Costa Rica.

Teléfono: 2511-2500 Fax: 2511-4440 Email: direccion.lanamme@ucr.ac.cr

www.lanamme.ucr.ac.cr

No. de informe: I-1012-15

- 1134-15 2 Bolsas con suelo. Identificadas por el cliente como: S2, suelo subrasante, Sondeo 2. Suelo arcilloso, color café oscuro, combinado, con suelo semicompacto de vetas amarillentas y negruzcas. Presenta roca semicompacta tipo cascajo no mayor a 76,2 mm.
- 1135-15 2 Bolsas con suelo. Identificadas por el cliente como: S3, suelo subrasante, Sondeo 3. Suelo limo-arcilloso, color café claro, combinado con piedra, tipo cascajo, de roca (talud), posiblemente degradable con el agua.
- 1136-15 2 Bolsas con suelo. Identificadas por el cliente como: S4, suelo subrasante, Sondeo 4. Suelo limo-arcilloso color café claro, combinado con suelo semicompacto, de veta color negruzco y amarillento, no posee roca compacta.
- 1137-15 2 Bolsas con suelo. Identificadas por el cliente como: S5, suelo subrasante, Sondeo 5. Suelo arcilloso, color amarillento, presenta algunas partículas de suelo semicompacto, color blancuzco, suelo bastante homogéneo, no presenta o posee roca compacta.
- 1138-15 2 Bolsas con suelo. Identificadas por el cliente como: S6, suelo subrasante, Sondeo 6. Suelo arcilloso, color café claro, combinado con vetas de suelo, semicompacto, color amarillento y negruzco, no posee roca compacta.
- 1139-15 2 Bolsas con suelo. Identificadas por el cliente como: S7, suelo subrasante, Sondeo 7. Suelo arcilloso, color café claro, combinado con vetas de suelo semicompacta color rojizo y negruzco, no posee roca compacta.
- 1140-15 2 Bolsas con suelo. Identificadas por el cliente como: S8, suelo subrasante, Sondeo 8. Suelo arcilloso, color café claro, combinado con suelo semicompacto, tipo cascajo, color negruzco y amarillento, no posee roca compacta.
- 1141-15 2 Bolsas con suelo. Identificadas por el cliente como: S9, suelo subrasante, Sondeo 9. Suelo limo-arcilloso, color café claro, combinado con suelo semicompacto de color amarillento, con presencia de algunas raíces (material orgánico) y algunas partículas de roca semicompacta.

No. de informe: I-1012-15

1142-15

2 Bolsas con suelo. Identificadas por el cliente como: S10, suelo subrasante, Sondeo 10. Suelo arcilloso color café oscuro, combinado con roca compacta de un tamaño no mayor a 76,2 mm de diámetro, mayormente homogéneo, de material arcilloso.

Aportadas por:

Ing. Alonso Ulate.

Fecha de recepción :

15/07/07

Fecha de realización del ensayo:

15/06/18-15/07/23

4. Información del muestreo:

Fecha de muestreo:

15/05/05

Ubicación:

Municipalidad de Mora, 1-07-016 Piedras Negras - El Pito Jaris.

Procedimiento de muestreo:

Muestreo de agregado realizado por la Unidad de Gestión Municipal de acuerdo a la norma ASTM D-75. Personal responsable de las muestras: Ing. Alonso Ulate.

Condiciones ambientales:

No aplica pues en el laboratorio los especímenes se acondicionan, en el cuarto húmedo.

5. Resultados:

Tabla 1 . Límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de un suelo. Muestras Indicadas

MUESTRA	LÍMITE LÍQUIDO	LÍMITE PLÁSTICO	ÍNDICE PLÁSTICIDAD
1133-15	42	28	14
1134-15	38	24	14
1135-15	38	28	10
1136-15	42	31	11
1137-15	55	35	20
1138-15	63	38	25
1139-15	73	38	35
1140-15	54	32	22
1141-15	46	29	17
1142-15	67	35	32

Nota:

- Las muestras fueron acondicionadas por el método de preparación seco.
- Procedimiento por el cual fue determinado el límite líquido, es por el método A, método multipunto.

No. de informe: I-1012-15

Tabla 2. Gravedad específica del suelo. Muestras Indicadas.

MUESTRA	MÉTODO	G _T	G _S
1133-15	A	2,582	2,581
1134-15	A	2,674	2,672
1135-15	A	2,625	2,623
1136-15	A	2,626	2,624
1137-15	A	2,594	2,592
1138-15	A	2,540	2,539
1139-15	A	2,746	2,744
1140-15	A	2,662	2,660
1141-15	A	2,723	2,721
1142-15	A	2,747	2,745

Tabla 3. Contenido de Humedad de los suelos y rocas, Muestras Indicadas.

MUESTRA	HUMEDAD NATURAL (%)
1133-15	15,3
1134-15	15,0
1135-15	17,8
1136-15	28,2
1137-15	29,8
1138-15	28,3
1139-15	32,5
1140-15	26,8
1141-15	17,7
1142-15	23,2

No. de informe: I-1012-15

Tabla 4. Análisis granulométrico de suelos vía seca: muestra 1133-15.

MASA INICIAL: 781 g MASA FINAL: 412 g

MALLA No.	ABERTURA (mm)	MASA RET.	% RET.	% RET AC.	% PAS.
3/4"	19,0	0,00	0,00	0,00	100
1/2"	12,5	7,21	0,92	0,92	99,1
3/8"	9,50	12,9	1,65	2,57	97,4
Nº 4	4,75	22,0	2,82	5,39	94,6
Nº 10	2,00	63,8	8,16	13,6	86,4
Nº 20	0,85	88,9	11,4	24,9	75,1
Nº 40	0,43	55,7	7,13	32,1	67,9
Nº60	0,25	42,3	5,41	37,5	62,5
Nº100	0,15	42,2	5,40	42,9	57,1
Nº140	0,11	33,5	4,28	47,1	52,9
Nº200	0,08	43,8	5,60	52,7	47,3

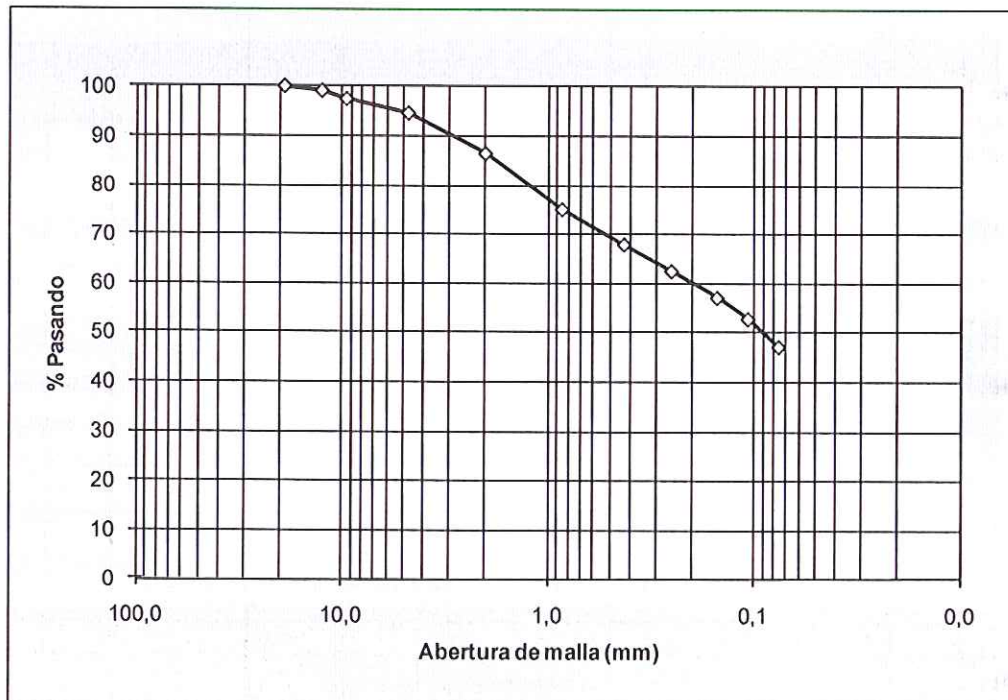


Gráfico 1. Curva granulométrica: muestra 1133-15.

No. de informe: I-1012-15

Tabla 5 . Análisis granulométrico de suelos vía seca: muestra 1134-15.

MASA INICIAL: 1574 g MASA FINAL: 926 g

MALLA No.	ABERTURA (mm)	MASA RET.	% RET.	% RET AC.	% PAS.
1"	25,0	0,00	0,00	0,00	100
3/4"	19,0	77,5	4,93	4,93	95,1
1/2"	12,5	119	7,57	12,5	87,5
3/8"	9,50	61,6	3,91	16,4	83,6
N° 4	4,75	149	9,44	25,8	74,2
N° 10	2,00	169	10,7	36,6	63,4
N° 20	0,85	124	7,86	44,4	55,6
N° 40	0,43	68,4	4,35	48,8	51,2
N°60	0,25	44,3	2,82	51,6	48,4
N°100	0,15	38,7	2,46	54,0	46,0
N°140	0,11	31,4	1,99	56,0	44,0
N°200	0,08	44,1	2,81	58,8	41,2

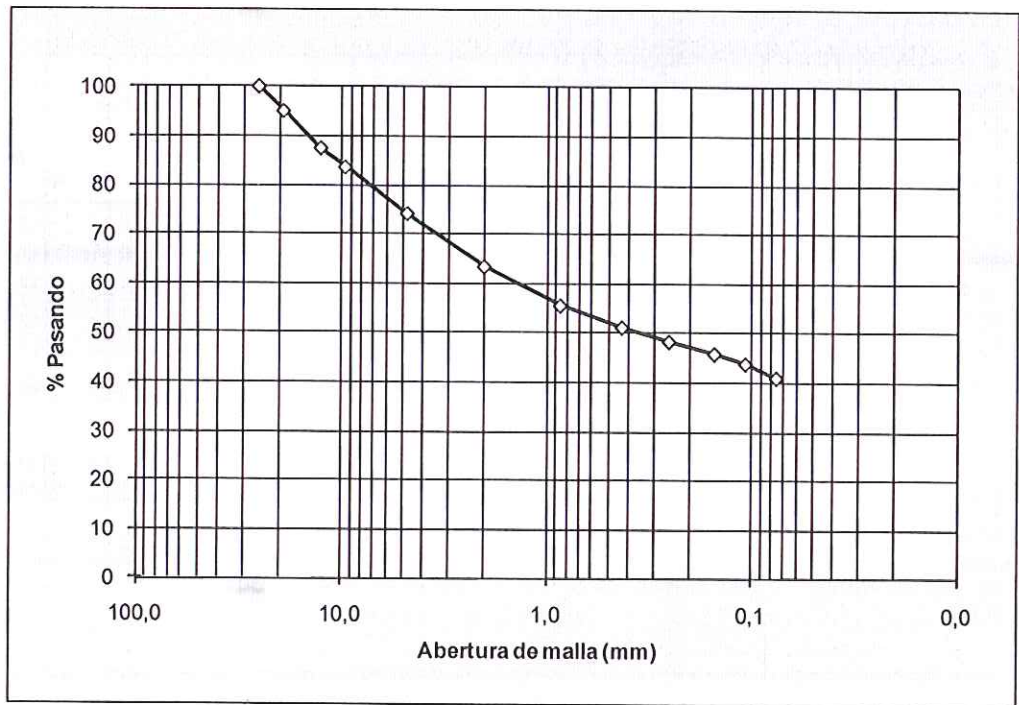


Gráfico 2. Curva granulométrica: muestra 1134-15.

No. de informe: I-1012-15

Tabla 6 . Análisis granulométrico de suelos vía seca: muestra 1135-15.

MASA INICIAL: 1593 g MASA FINAL: 1065 g

MALLA No.	ABERTURA (mm)	MASA RET.	% RET.	% RET AC.	% PAS.
1"	25,0	0,00	0,00	0,00	100
3/4"	19,0	75,7	4,75	4,75	95,2
1/2"	12,5	155	9,73	14,5	85,5
3/8"	9,50	172	10,8	25,3	74,7
N° 4	4,75	245	15,4	40,6	59,4
N° 10	2,00	163	10,3	50,9	49,1
N° 20	0,85	98,6	6,19	57,1	42,9
N° 40	0,43	45,1	2,83	59,9	40,1
N°60	0,25	26,8	1,68	61,6	38,4
N°100	0,15	24,8	1,55	63,1	36,9
N°140	0,11	21,9	1,38	64,5	35,5
N°200	0,08	37,2	2,33	66,9	33,1

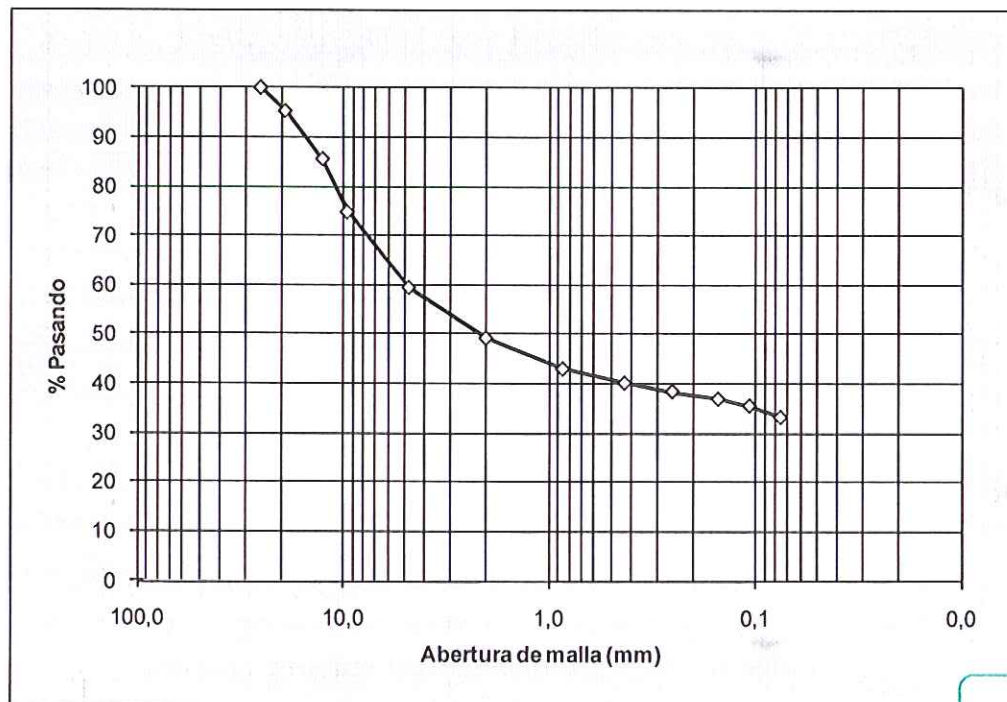


Gráfico 3. Curva granulométrica: muestra 1135-15.

No. de informe: I-1012-15

Tabla 7. Análisis granulométrico de suelos vía seca: muestra 1136-15.

MASA INICIAL: 843 g MASA FINAL: 308 g

MALLA No.	ABERTURA (mm)	MASA RET.	% RET.	% RET AC.	% PAS.
3/8"	9,50	0,00	0,00	0,00	100
N° 4	4,75	1,62	0,19	0,19	99,8
N° 10	2,00	8,19	0,97	1,16	98,8
N° 20	0,85	28,6	3,40	4,56	95,4
N° 40	0,43	21,0	2,49	7,06	92,9
N°60	0,25	27,1	3,22	10,3	89,7
N°100	0,15	57,0	6,76	17,0	83,0
N°140	0,11	68,9	8,17	25,2	74,8
N°200	0,08	95,7	11,4	36,6	63,4

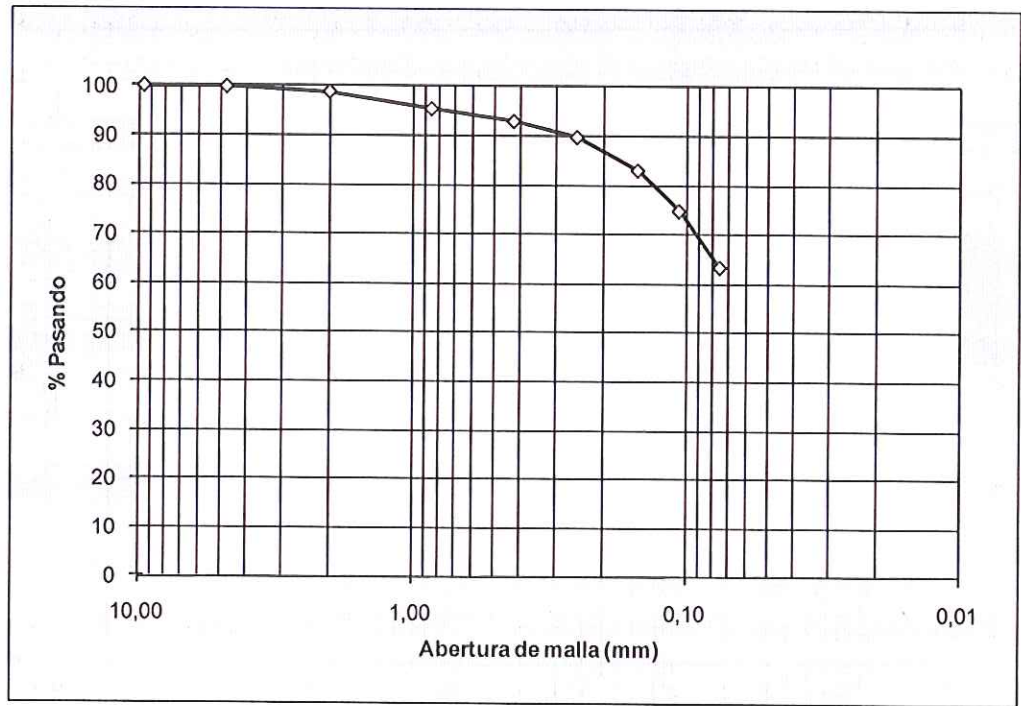


Gráfico 4. Curva granulométrica: muestra 1136-15.

No. de informe: I-1012-15

Tabla 8 . Análisis granulométrico de suelos vía seca: muestra 1137-15.

MASA INICIAL: 885 g MASA FINAL: 205 g

MALLA No.	ABERTURA (mm)	MASA RET.	% RET.	% RET AC.	% PAS.
1"	25,0	0,00	0,00	0,00	100
3/4"	19,0	7,38	0,83	0,83	99,2
1/2"	12,5	2,24	0,25	1,09	98,9
3/8"	9,50	3,21	0,36	1,45	98,5
Nº 4	4,75	7,80	0,88	2,33	97,7
Nº 10	2,00	17,8	2,01	4,34	95,7
Nº 20	0,85	36,2	4,09	8,44	91,6
Nº 40	0,43	32,2	3,63	12,1	87,9
Nº60	0,25	25,0	2,82	14,9	85,1
Nº100	0,15	25,4	2,87	17,8	82,2
Nº140	0,11	20,2	2,29	20,1	79,9
Nº200	0,08	27,7	3,14	23,2	76,8

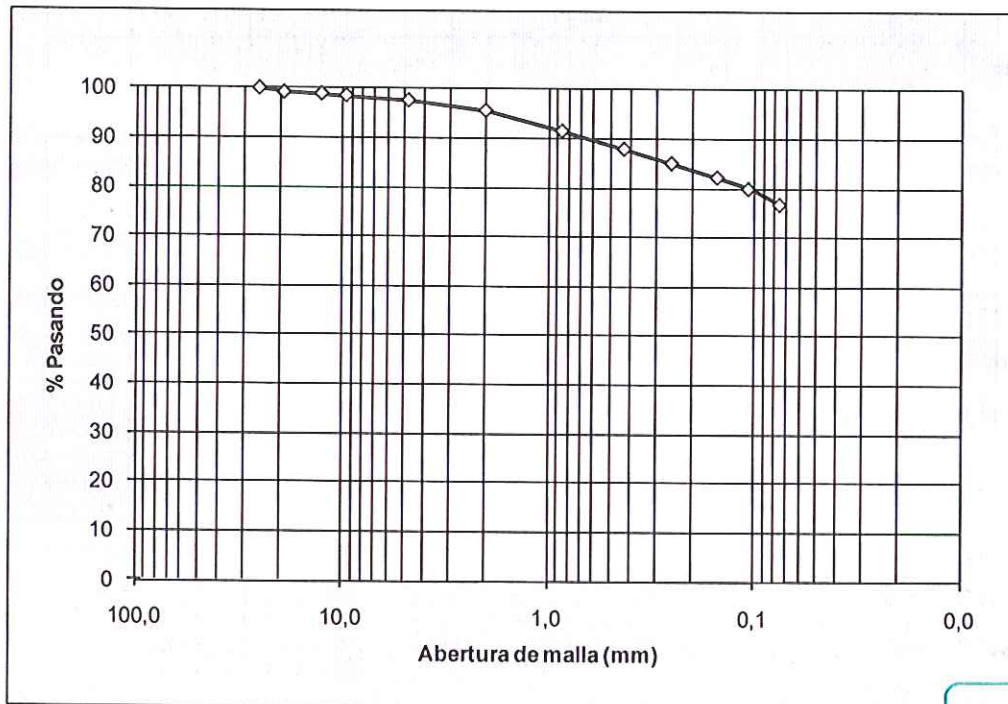


Gráfico 5. Curva granulométrica: muestra 1137-15.

No. de informe: I-1012-15

Tabla 9 . Análisis granulométrico de suelos vía seca: muestra 1138-15.

MALLA No.	ABERTURA (mm)	MASA RET.	% RET.	% RET AC.	% PAS.
3/8"	9,50	0,00	0,00	0,00	100
Nº 4	4,75	10,4	0,86	0,86	99,1
Nº 10	2,00	29,8	2,46	3,32	96,7
Nº 20	0,85	43,7	3,61	6,93	93,1
Nº 40	0,43	40,8	3,37	10,3	89,7
Nº60	0,25	44,0	3,63	13,9	86,1
Nº100	0,15	61,9	5,12	19,1	80,9
Nº140	0,11	54,9	4,54	23,6	76,4
Nº200	0,08	66,0	5,45	29,0	71,0

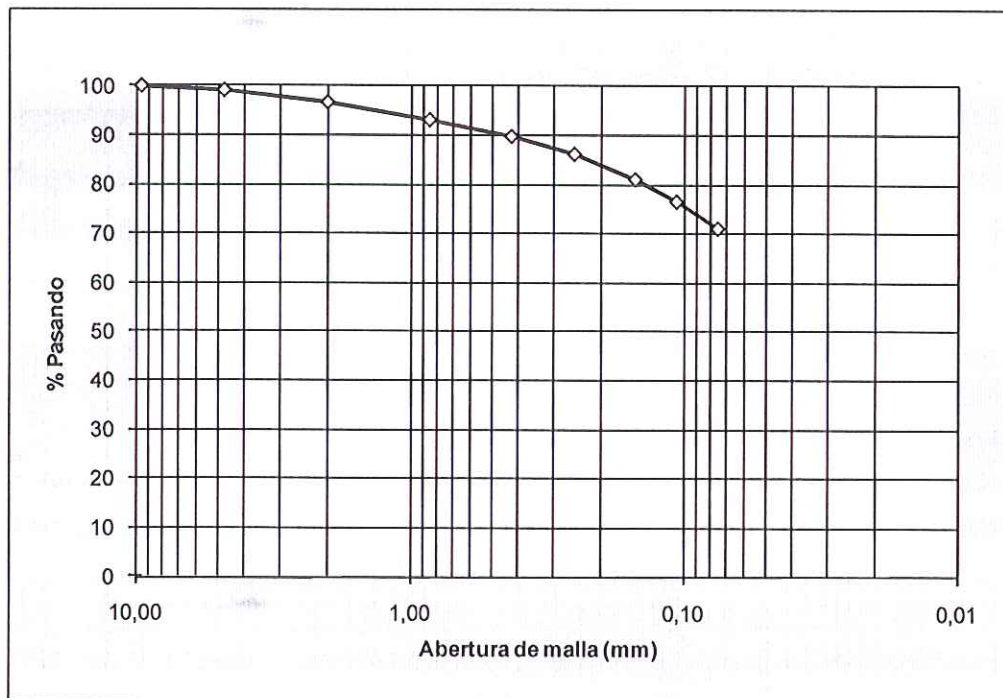


Gráfico 6. Curva granulométrica: muestra 1138-15.

No. de informe: I-1012-15

Tabla 10 . Análisis granulométrico de suelos vía seca: muestra 1139-15.

MASA INICIAL: 894 g MASA FINAL: 216 g

MALLA No.	ABERTURA (mm)	MASA RET.	% RET.	% RET AC.	% PAS.
1"	25,0	0,00	0,00	0,00	100
3/4"	19,0	10,6	1,19	1,19	98,8
3/8"	9,50	0,87	0,10	1,28	98,7
N° 4	4,75	5,26	0,59	1,87	98,1
N° 10	2,00	7,81	0,87	2,75	97,3
N° 20	0,85	18,6	2,08	4,83	95,2
N° 40	0,43	23,6	2,64	7,47	92,5
N°60	0,25	29,6	3,31	10,8	89,2
N°100	0,15	39,4	4,40	15,2	84,8
N°140	0,11	34,9	3,90	19,1	80,9
N°200	0,08	45,5	5,09	24,2	75,8

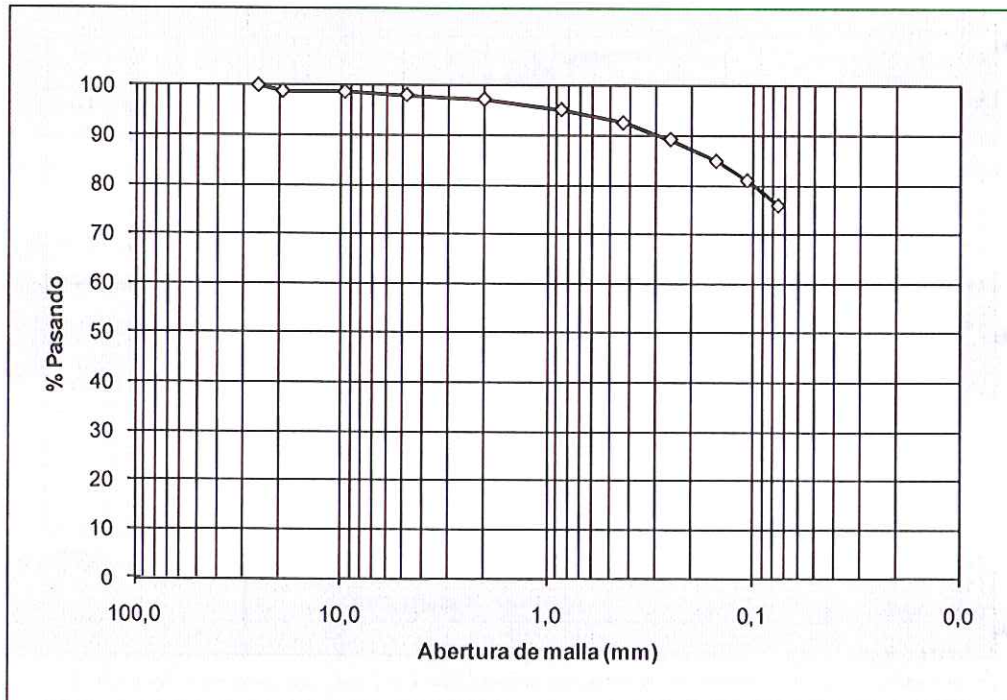


Gráfico 7. Curva granulométrica: muestra 1139-15.

No. de informe: I-1012-15

Tabla 11 . Análisis granulométrico de suelos vía seca: muestra 1140-15.

MASA INICIAL: 1477 g MASA FINAL: 584 g

MALLA No.	ABERTURA (mm)	MASA RET.	% RET.	% RET AC.	% PAS.
3/8"	9,50	0,00	0,00	0,00	100
Nº 4	4,75	0,77	0,05	0,05	99,9
Nº 10	2,00	16,9	1,14	1,19	98,8
Nº 20	0,85	56,2	3,81	5,00	95,0
Nº 40	0,43	69,9	4,73	9,73	90,3
Nº 60	0,25	79,9	5,41	15,1	84,9
Nº 100	0,15	116	7,87	23,0	77,0
Nº 140	0,11	108	7,32	30,3	69,7
Nº 200	0,08	136	9,18	39,5	60,5

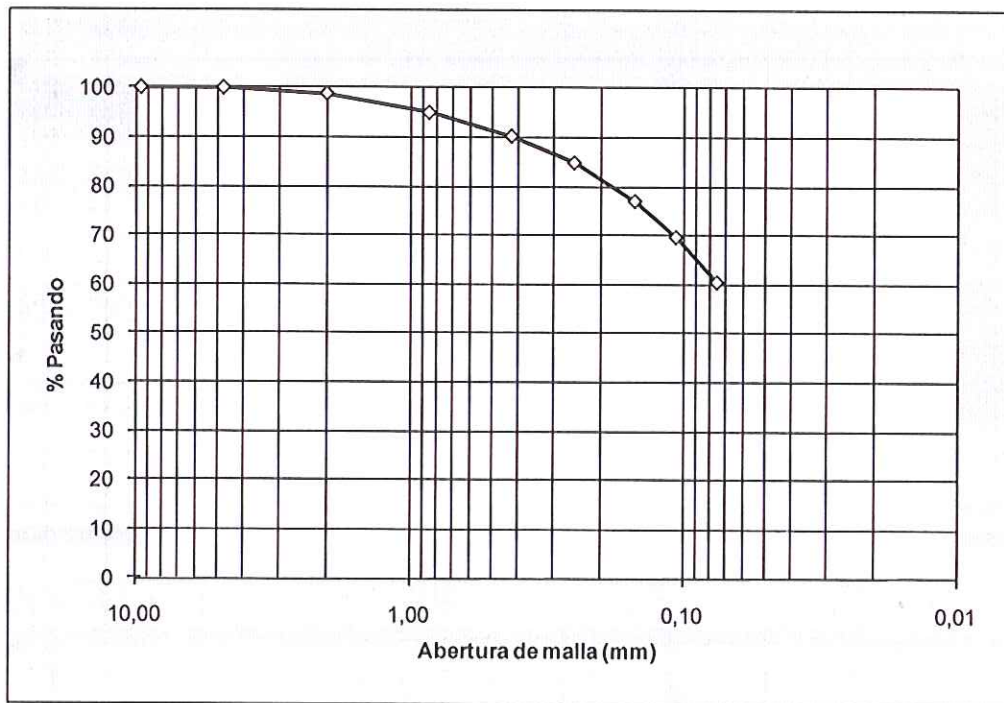


Gráfico 8. Curva granulométrica: muestra 1140-15.

No. de informe: I-1012-15

Tabla 12 . Análisis granulométrico de suelos vía seca: muestra 1141-15.

MASA INICIAL: 1368 g MASA FINAL: 722 g

MALLA No.	ABERTURA (mm)	MASA RET.	% RET.	% RET AC.	% PAS.
1"	25,0	0,00	0,00	0,00	100
3/4"	19,0	43,8	3,21	3,21	96,8
1/2"	12,5	94,7	6,93	10,1	89,9
3/8"	9,50	33,5	2,45	12,6	87,4
Nº 4	4,75	84,6	6,19	18,8	81,2
Nº 10	2,00	97,7	7,14	25,9	74,1
Nº 20	0,85	81,5	5,96	31,9	68,1
Nº 40	0,43	59,7	4,37	36,2	63,8
Nº60	0,25	58,1	4,25	40,5	59,5
Nº100	0,15	59,3	4,34	44,8	55,2
Nº140	0,11	45,0	3,29	48,1	51,9
Nº200	0,08	64,0	4,68	52,8	47,2

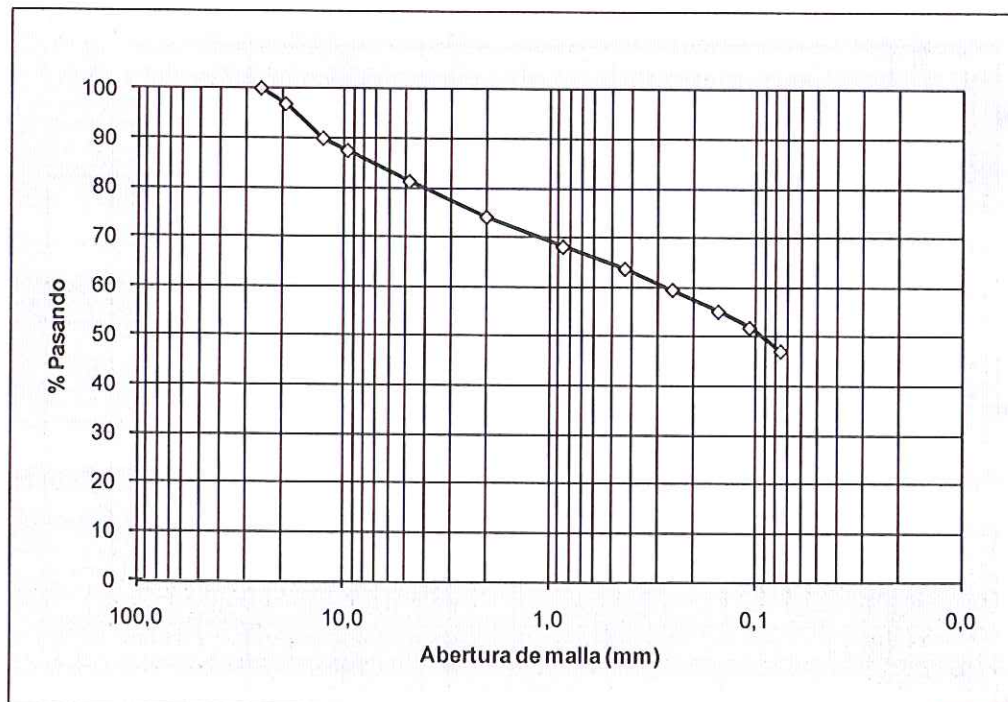


Gráfico 9. Curva granulométrica: muestra 1141-15.

No. de informe: I-1012-15

Tabla 13 . Análisis granulométrico de suelos vía seca: muestra 1142-15.

MASA INICIAL: 1367 g MASA FINAL: 480 g

MALLA No.	ABERTURA (mm)	MASA RET.	% RET.	% RET AC.	% PAS.
1 1/2"	37,5	0,00	0,00	0,00	100
1"	25,0	26,9	1,97	1,97	98,0
3/4"	19,0	23,7	1,73	3,70	96,3
1/2"	12,5	18,7	1,37	5,07	94,9
3/8"	9,50	10,4	0,76	5,83	94,2
Nº 4	4,75	21,2	1,55	7,38	92,6
Nº 10	2,00	27,5	2,01	9,39	90,6
Nº 20	0,85	26,0	1,90	11,3	88,7
Nº 40	0,43	41,1	3,01	14,3	85,7
Nº60	0,25	91,8	6,72	21,0	79,0
Nº100	0,15	72,4	5,30	26,3	73,7
Nº140	0,11	55,7	4,07	30,4	69,6
Nº200	0,08	64,3	4,70	35,1	64,9

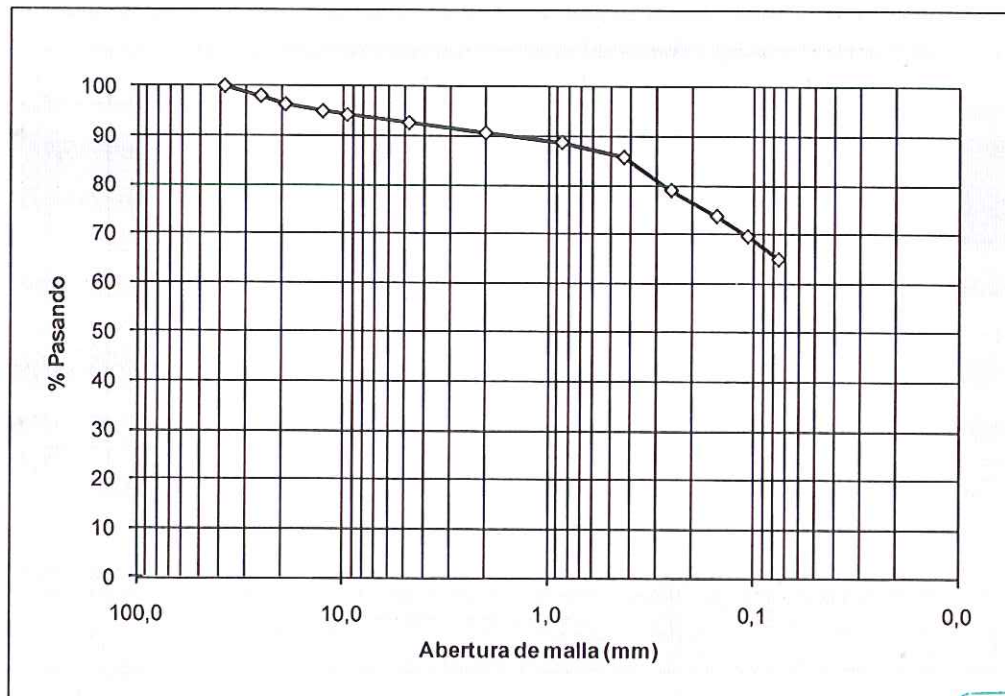
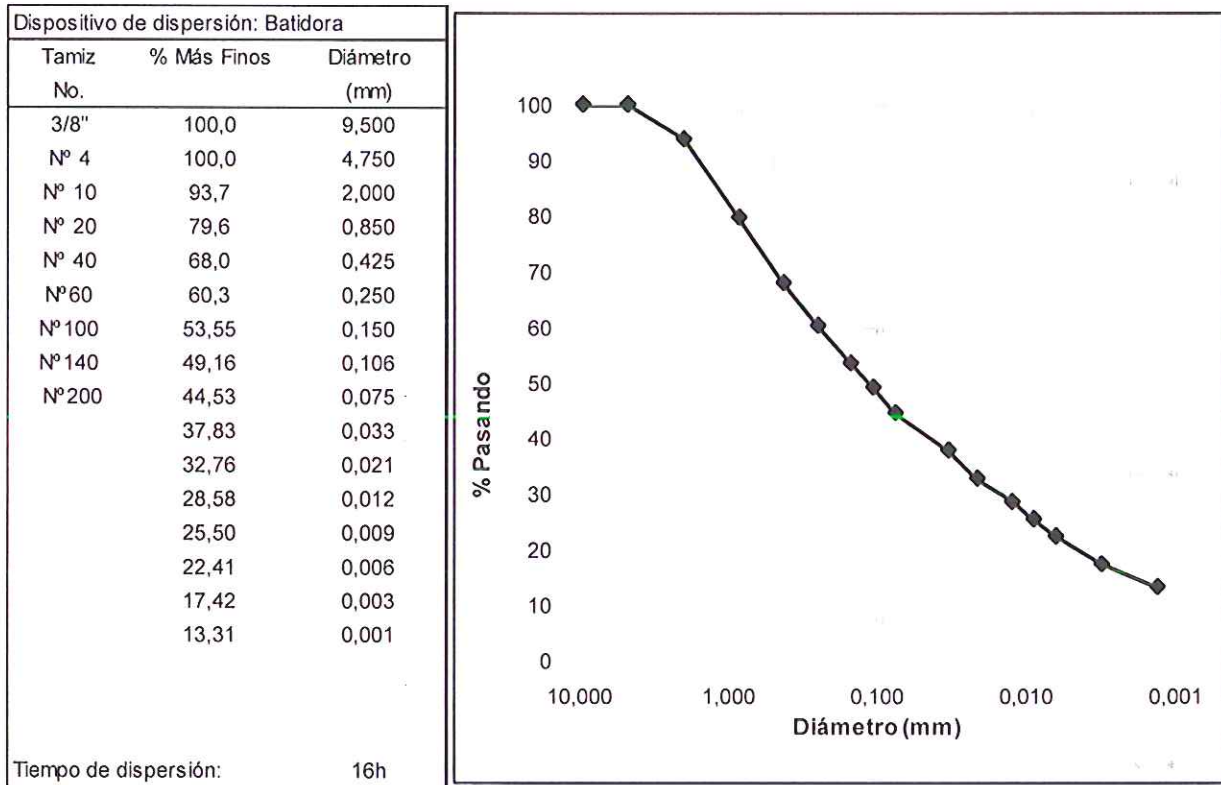


Gráfico 10. Curva granulométrica: muestra 1142-15.

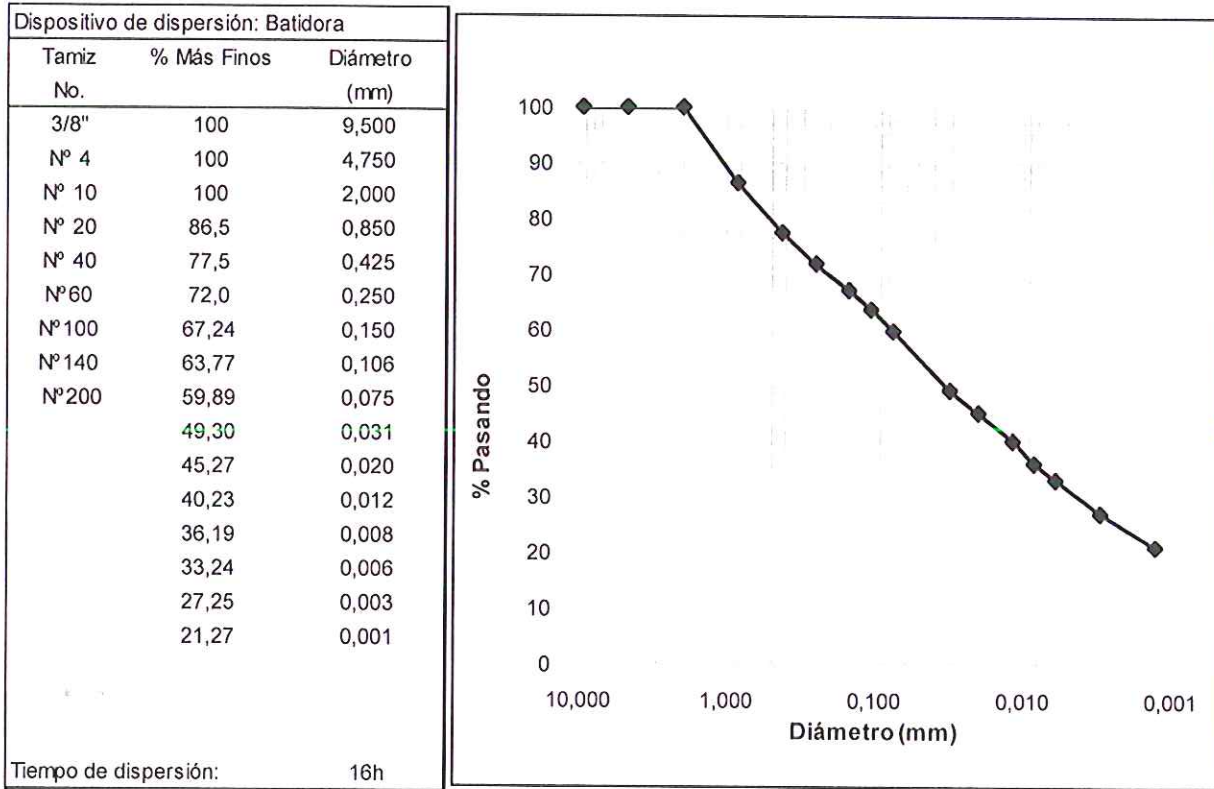
No. de informe: I-1012-15

Tabla 14 . Análisis granulométrico de suelos vía húmeda: muestra 1133-15.



No. de informe: I-1012-15

Tabla 15 . Análisis granulométrico de suelos vía húmeda: muestra 1134-15.

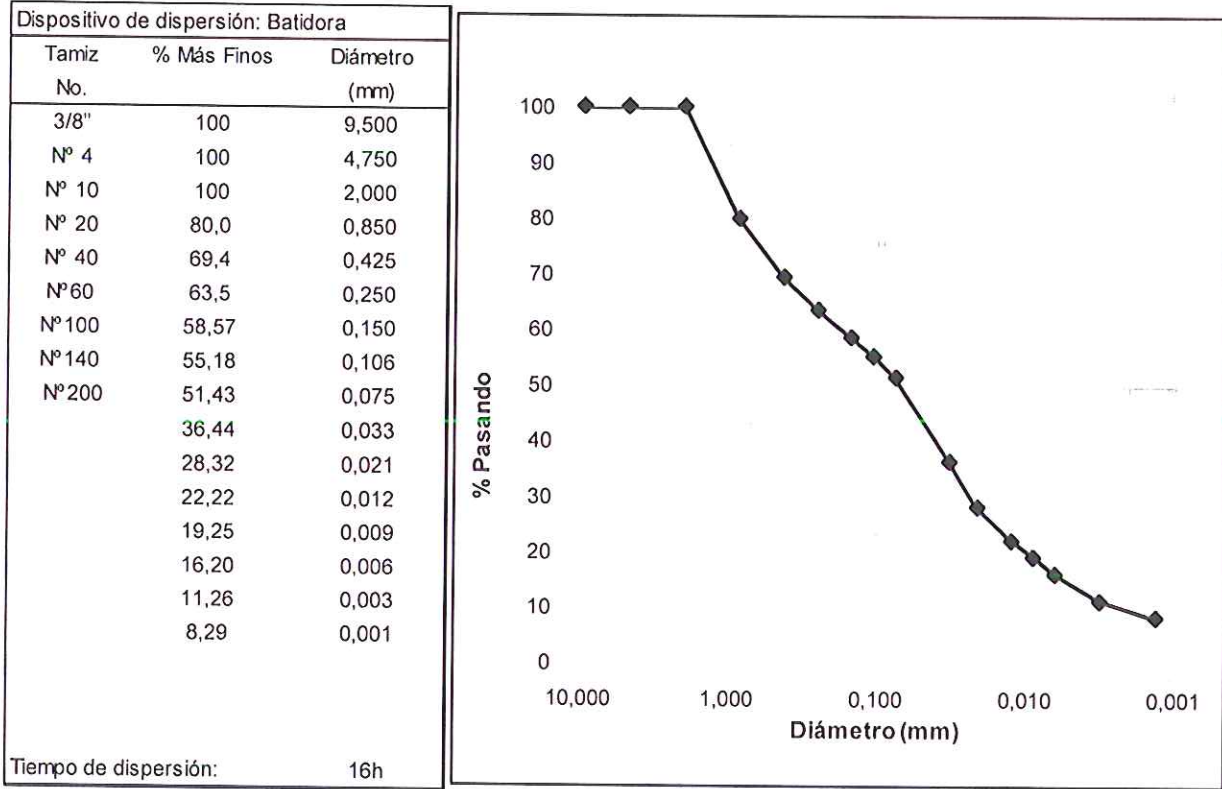


Nota:

- El porcentaje de partículas pasando el tamiz No.10 es 69,1%.

No. de informe: I-1012-15

Tabla 16 Análisis granulométrico de suelos vía húmeda: muestra 1135-15.

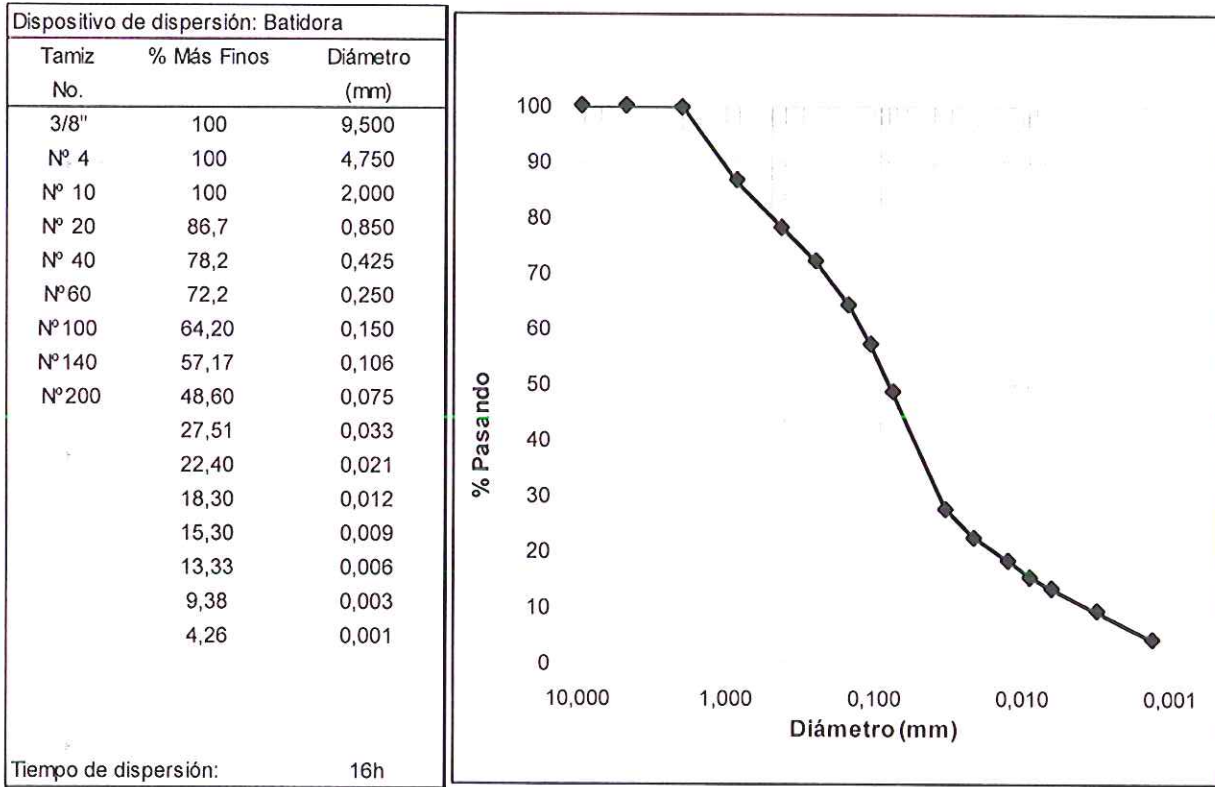


Nota:

- El porcentaje de partículas pasando el tamiz No.10 es 50,8%.

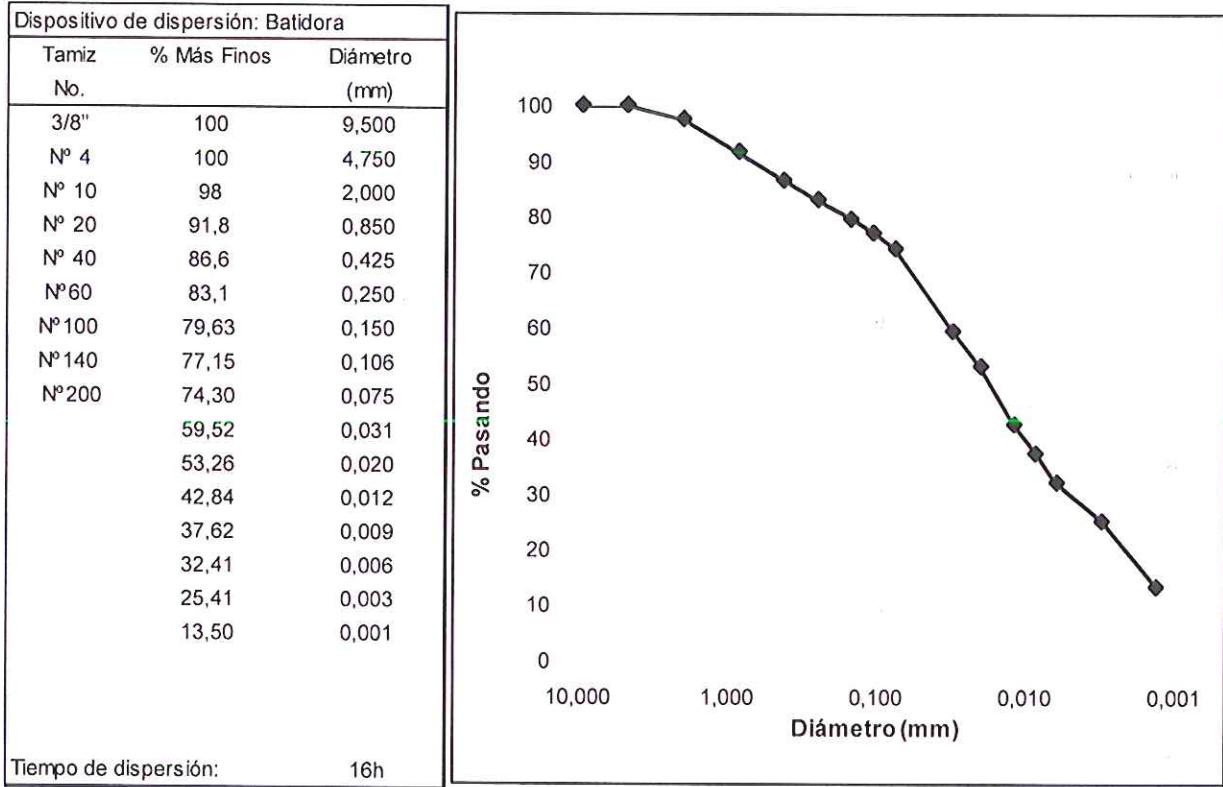
No. de informe: I-1012-15

Tabla 17 . Análisis granulométrico de suelos vía húmeda: muestra 1136-15.



No. de informe: I-1012-15

Tabla 18 . Análisis granulométrico de suelos vía húmeda: muestra 1137-15.

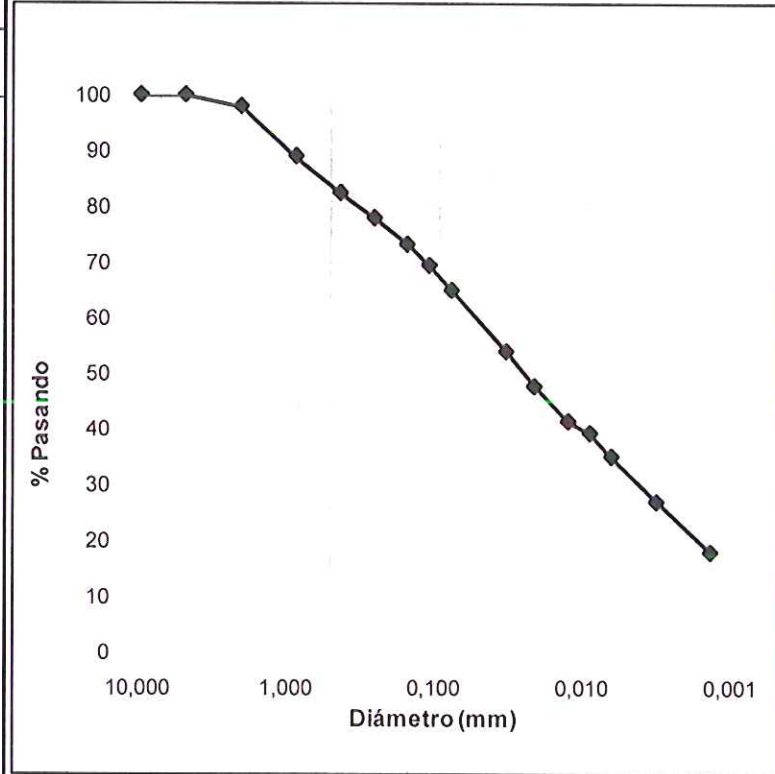


No. de informe: I-1012-15

Tabla 19 . Análisis granulométrico de suelos vía húmeda: muestra 1138-15.

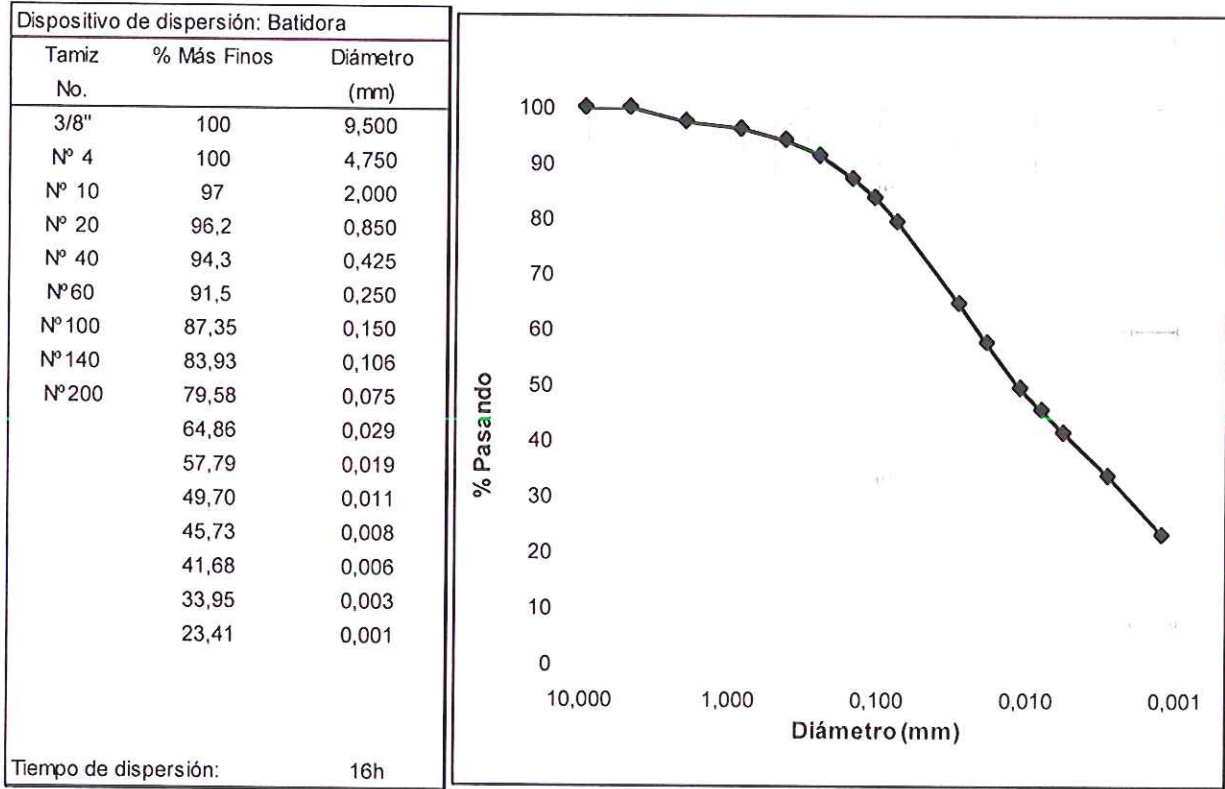
Dispositivo de dispersión: Batidora		
Tamiz No.	% Más Finos	Diámetro (mm)
3/8"	100	9,500
Nº 4	100	4,750
Nº 10	98	2,000
Nº 20	88,9	0,850
Nº 40	82,4	0,425
Nº 60	77,9	0,250
Nº 100	73,19	0,150
Nº 140	69,42	0,106
Nº 200	64,93	0,075
	53,88	0,032
	47,63	0,021
	41,30	0,012
	39,19	0,009
	34,97	0,006
	26,90	0,003
	17,88	0,001

Tiempo de dispersión: 16h



No. de informe: I-1012-15

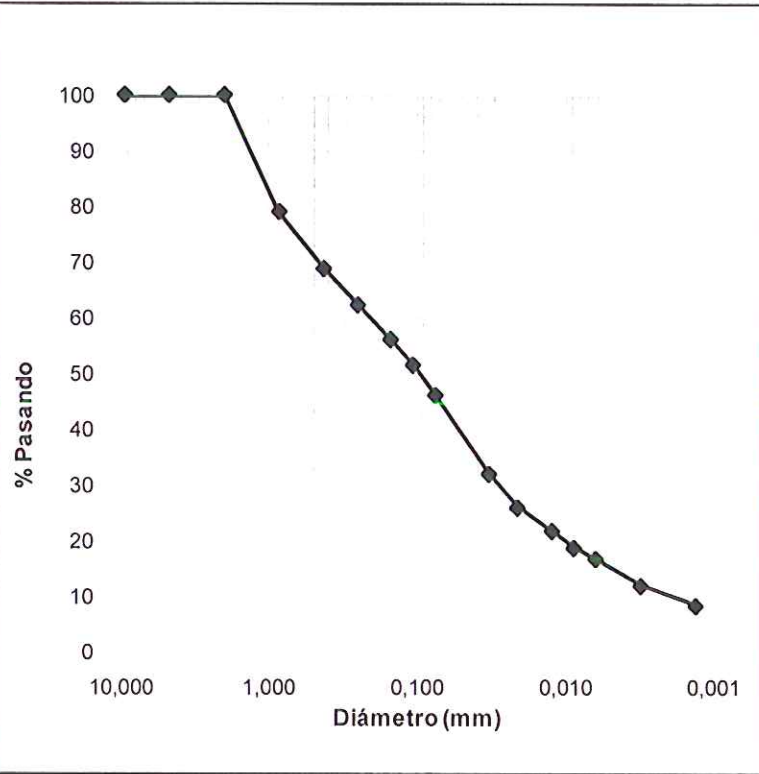
Tabla 20 . Análisis granulométrico de suelos vía húmeda: muestra 1139-15.



No. de informe: I-1012-15

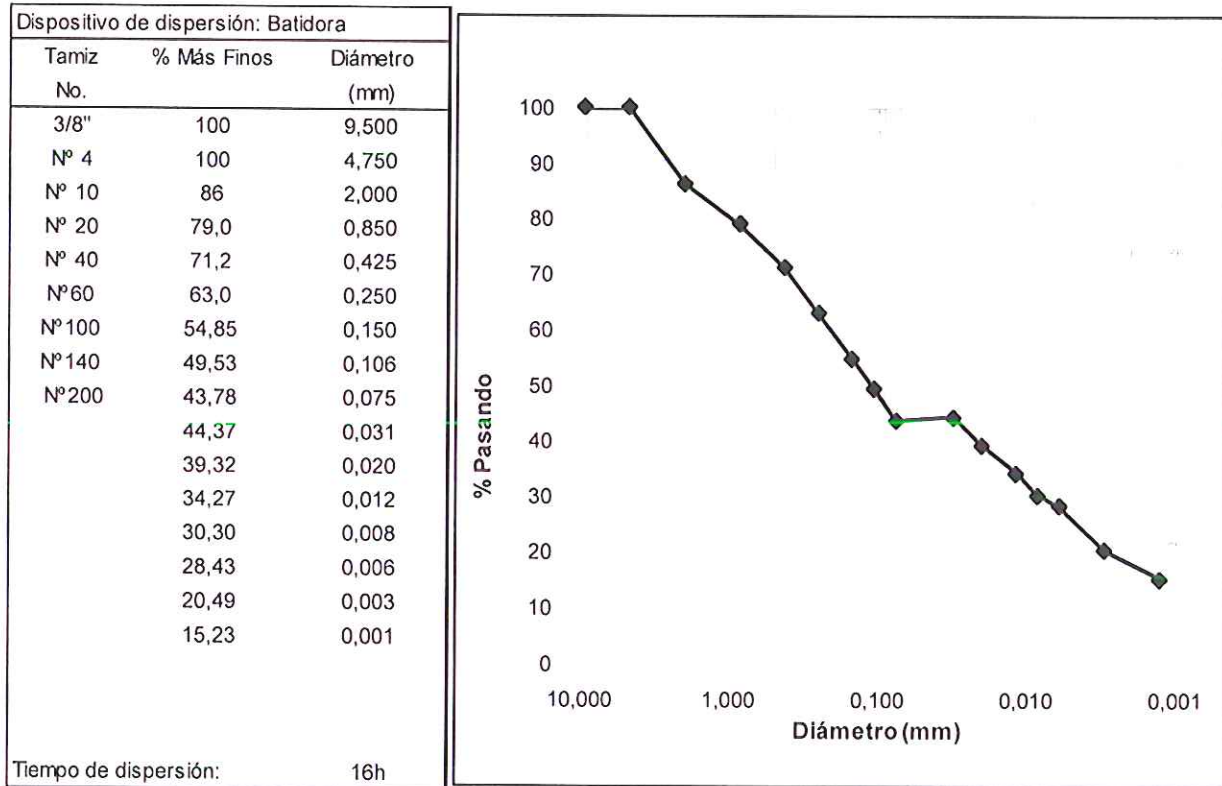
Tabla 21 . Análisis granulométrico de suelos vía húmeda: muestra 1140-15.

Dispositivo de dispersión: Batidora		
Tamiz No.	% Más Finos	Diámetro (mm)
3/8"	100	9,500
Nº 4	100	4,750
Nº 10	100	2,000
Nº 20	79,0	0,850
Nº 40	68,8	0,425
Nº 60	62,3	0,250
Nº 100	56,14	0,150
Nº 140	51,55	0,106
Nº 200	46,16	0,075
	32,13	0,033
	26,12	0,021
	21,97	0,012
	18,92	0,009
	16,92	0,006
	12,09	0,003
	8,47	0,001
Tiempo de dispersión:		16h



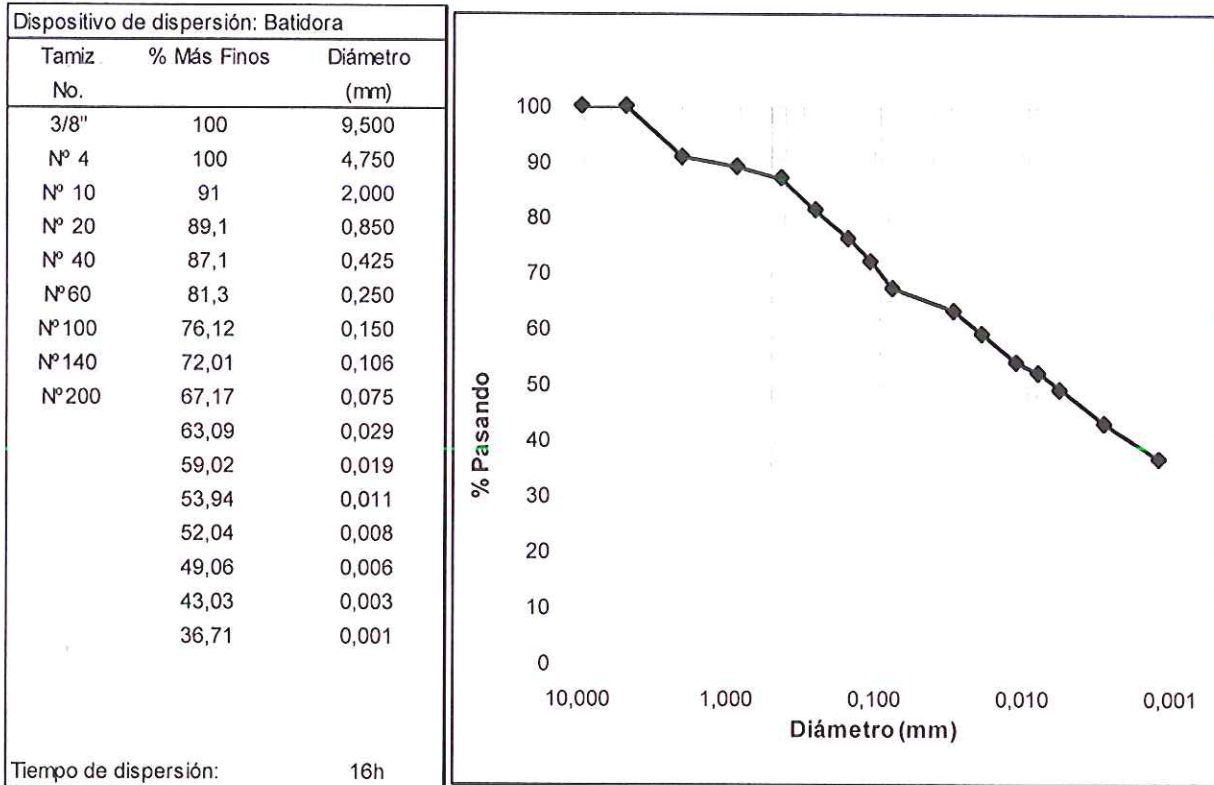
No. de informe: I-1012-15

Tabla 22 . Análisis granulométrico de suelos vía húmeda: muestra 1141-15.



No. de informe: I-1012-15

Tabla 23 . Análisis granulométrico de suelos vía húmeda: muestra 1142-15.

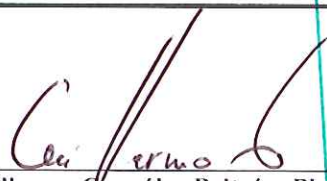


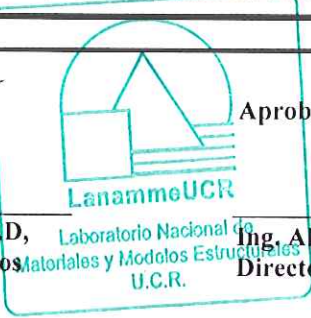
Nota:

- El ensayo del hidrómetro es realizado para todas las muestras con material pasando el tamiz Nº 10.

Aclaraciones:

- El presente informe de ensayo sólo ampara las mediciones reportadas en el momento y condiciones ambientales y de uso en que se realizó esta prueba, para las muestras indicadas en este informe.
- Este informe de resultados tiene validez únicamente en su forma íntegra y original.
- No se permite la reproducción parcial de este documento sin la autorización del Director del LanammeUCR.

Revisó: 



Aprobó: 

Ing. Guillermo González Beltrán, Ph.D,
Coordinador General de Laboratorios

Laboratorio Nacional de
Materiales y Modelos Estructurales
U.C.R.

Ing. Alejandro Navas Carro, M.Sc.
Director LanammeUCR

ANEXO 7.1 Resumen de información del producto estabilizador IÓNICO I.

Nombre	CON-AID <i>CBR Plus</i>
Distribuidor/Representante	CON-AID Argentina S.A. Representante Exclusivo en Latinoamérica conaid@conaid.com.ar, www.conaid.com.ar Grupo Crear S.A. Representante en Costa Rica infrocrearc@gmail.com
Tipo de estabilizador	Estabilizador químico de suelos de acción iónica
Descripción del estabilizador, según el representante	<ul style="list-style-type: none"> • Estabilizador líquido diseñado para mejoramiento de suelos. • Trabaja por intercambio iónico para reducir la capa de agua adsorbida de las partículas de arcilla, mejorando así su comportamiento mecánico al disminuir su plasticidad, facilitar la compactación reducir y expansión. • Su rango de utilización abarca todos los suelos arcillosos y limosos o los que al menos contengan un 5% de arcilla. • En los suelos arcillosos modificará sus características físicas y químicas (hidrofugando sus partículas y mejorando su comportamiento mecánico) • En los suelos donde se tenga menor contenido de arcillas facilitará la compactación y aumentará su capacidad de soporte. • No es efectivo en arenas limpias o suelos orgánicos.
Usos recomendados por el representante	<ul style="list-style-type: none"> • Consolidación de caminos naturales. • Estabilización de suelos para subrasantes, subbases y bases de pavimentos. • Rehabilitación de pavimentos con fallas en su estructura. • Playas de estacionamiento y pistas de aeródromos. • Terraplenes y rellenos y banquinas. • Caminos de explotaciones mineras, petroleras y forestales.
Beneficios técnicos del producto estabilizador, según el representante	<ul style="list-style-type: none"> • Reduce el Índice Plástico. • Aumenta la Densidad Seca Máxima. • Aumenta el valor de soporte relativo CBR y resistencia a la compresión. • Disminuye el hinchamiento. • Reduce el desprendimiento de polvo.
Beneficios económicos y funcionales del producto estabilizador, según el representante.	<ul style="list-style-type: none"> • Permite la utilización permanente del camino y su posterior pavimentación. • Reduce costos de ejecución y mantenimiento, ya que facilita la compactación y el uso de materiales locales. • Menor afectación de la lluvia durante el proceso de construcción y aumento notable en rapidez de secado luego de las lluvias.
Dosificación/Rendimiento	<ul style="list-style-type: none"> • De manera general un tambor de 100 litros de CON-AID Super rinde en promedio 15.000 m² (0,15 m de espesor). • La cantidad de producto se define en ensayos de reactividad realizados en muestras del suelo a tratar por parte del representante del producto.
Consideraciones constructivas especiales	<ul style="list-style-type: none"> • El estabilizador se agrega o disuelve en el agua de compactación para ser regado en el suelo. • El proceso de intercambio iónico ocurre después de la compactación, por lo que se debe dar curado con riegos de agua de 7 a 10 días, tiempo durante el cual puede abrirse al tránsito vehicular.
Consideraciones ambientales	<ul style="list-style-type: none"> • Producto no tóxico, ni contaminante. • No daña la vegetación. • No es peligroso para el manipuleo para las personas ni maquinaria.

Fuente: Adaptado de <https://www.conaid.com.ar/> y documentos en físico brindados por el representante.

ANEXO 7.2 Proceso constructivo Tramo 1_IÓNICO I (07-02-2017)

Procedimiento constructivo

Preparación (06-02-2017):

- Se escarifica, homogeniza, se retiran partículas de sobretamaño, se distribuye el material existente y se conforma la calzada del camino.
- Se limpian y conforman las cunetas no revestidas del camino a ambos lados.
- Se procura obtener la sección transversal especificada en el Anexo 3.

Estabilización (07-02-2017):

- Se disuelve el producto estabilizador en el tanque de agua, de acuerdo con el diseño establecido por el fabricante y/o distribuidor.
- Se vuelve a escarificar la calzada con la motoniveladora, en un espesor de 0,15 m y ancho de calzada de 5,5 m.
- Se vuelve a retirar las partículas de sobretamaño de forma manual.
- Se homogeniza el material para romper grumos antes de aplicar el producto estabilizador.
- Se aplica riego con el producto estabilizador disuelto en el tanque de agua, generalmente se realizan dos pasadas para distribuir mejor el producto estabilizador.
- Se mezcla el suelo con el producto estabilizador por medio de la motoniveladora.
- Se conforma la capa estabilizada con la motoniveladora, se verifica la pendiente transversal de la calzada (4%-6%) y se realizan las correcciones correspondientes.
- Se verifica el contenido de humedad de la capa de suelo estabilizado, previo a la compactación.
- Si es necesario se aplica riego de agua adicional para alcanzar $\pm 2\%$ de la humedad óptima de compactación.
- Se compacta la capa estabilizada, primero con una pasada sin vibración para amasado y luego al menos dos pasadas con vibración. En este caso se utilizó una compactadora de 3 ton, por lo que se realizaron 4 pasadas para obtener la densidad requerida.
- Se verifica la densidad obtenida con el densímetro nuclear, si es necesario se realizan pasadas adicionales para obtener 95% de la densidad seca máxima.
- Se aplica leve riego de agua final para acabado.
- Se distribuye piedra "cuarta" (TM = 25mm) en una tasa de aplicación aproximada de 1 kg/m^2 , esto para obtener textura superficial y evitar una superficie resbalosa para los usuarios.
- Se realiza una pasada final de compactación para incrustar la piedra en la capa estabilizada.
- Se aplican dos riegos de agua al día diario por al menos 7 días a manera de curado.

Notas y observaciones

- El procedimiento constructivo se realizó con la presencia de un representante de la empresa proveedora.
 - Se utilizó el compactador disponible en el momento de la construcción, el cual fue aportado por le UTGV de la Municipalidad de Mora. Este equipo es un compactador de doble rodillo vibratorio de 3 ton. Se procedió a duplicar las pasadas del equipo para procurar cumplir con la densidad óptima de compactación.
-



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA



LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

Disolución del producto ConAid en el tanque de agua



Escarificación de la calzada previamente conformada



Retiro de partículas de sobretamaño





UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA



LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

Mediciones de densidad y muestreo de suelo sin IÓNICO I



Aplicación de riego de agua con IÓNICO I



Mezclado y distribución del suelo





UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA



LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

Proceso de compactación



Riego adicional de agua con IÓNICO I



Verificación de densidad y muestreo de pastillas para falla a compresión



Distribución de piedra para textura superficial



Riego de agua y compactación final



Acabado final





ANEXO 7.3 Estimación de costos Tramo 1_ IÓNICO I (nombre genérico)

TABLA DE ESTIMACIÓN DE COSTOS					
		Cantidad	Costo (₡)	Horas	Costo total (₡)
Mano de Obra	Peon	5	2 500,00	8	100 000,00
	Encargado de obra	1	5 000,00	8	40 000,00
	Operador Niveladora	1	4 687,50	8	37 500,00
	Operador Backhoe	1	4 062,50	8	32 500,00
	Operador Compactadora	1	3 750,00	2	7 500,00
	Chofer Vagoneta	1	2 500,00	4	10 000,00
	Chofer Tanque de Agua	1	3 125,00	4	12 500,00
	Chofer Camión	1	3 750,00	2	7 500,00
	Viaticos	1	400,00	76	30 400,00
					277 900,00
Equipo		Cantidad	Costo (₡)	Horas	Costo total (₡)
	Niveladora 140H	1	50 000,00	8	400 000,00
	BackHoe	1	17 500,00	8	140 000,00
	Tanque de Agua (10 000 L)	1	7 800,00	4	31 200,00
	Vagoneta (9-11 m3)	8	17 800,00	4	569 600,00
	Compactador Vibratorio (3 ton)	1	30 000,00	2	60 000,00
	Camión (5 ton)	1	12 000,00	2	24 000,00
					1 224 800,00
Materiales		Cantidad	Costo (₡)	Horas	Costo total (₡)
	PRODUCTO IÓNICO I (L)	13,0	141 600,00	1	1 840 800,00
	Piedra Cuarta (TM=25mm)	2,5	17 000,00	1	42 500,00
		0		0	0,00
		0		0	0,00
		0		0	0,00
					1 883 300,00
Rubro	Costo (₡)				
Subtotal	3 386 000,00				
Produccion (m3)	206,25				
Costo	16 416,97				
Rubro	Porcentaje	Costo (₡)			
Verificación laboratorio	1%	164,17			
Imprevisto	3%	492,51			
Administración oficina central	1%	164,17			
Utilidad	0,0%	0,00			
	€/m3	17 237,82			



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA



LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

ANEXO 7.4

Ensayos de laboratorio Tramo 1_IÓNICO I (nombre genérico)

ANEXO 7.4

Resultados ensayos de compresión inconfiada Tramo 1_IÓNICO I (nombre genérico)

Ejecutado por el LanammeUCR

Tramo	No. Especímen	Fecha Moldeo	Fecha Ensayo	Edad (días)	Diámetro D (mm)				Altura L (mm)				Relación L/D	Area (cm ²)	Carga máxima (KN)	Presión máxima (MPa)	Presión máxima Prom (Mpa)	Carga máxima (Kgf)	Presión máxima (Kg/cm ²)	Presión máxima Prom (Kg/cm ²)
					1	2	3	Prom	1	2	3	Prom								
Tramo 1	215-17	7/2/2017	14/2/2017	7	100,12	100,55	100,46	100,38	116,6	115,89	115,85	116,11	1,16	79,13	6,5	0,8	0,83	662,81	8,38	8,43
Tramo 1	215-17	7/2/2017	14/2/2017	7	100,38	100,41	100,57	100,45	115,65	115,57	115,67	115,63	1,15	79,25	6,6	0,8		673,00	8,49	
Tramo 1	215-17	7/2/2017	9/3/2017	30	100	99,82	100	99,94	115,6	115,4	115,47	115,49	1,16	78,45	9,8	1,2	1,31	999,31	12,74	13,37
Tramo 1	215-17	7/2/2017	9/3/2017	30	99,84	100,08	100,27	100,06	115,41	115,39	115,81	115,54	1,15	78,64	10,8	1,4		1101,28	14,00	
Tramo 1	215-17	7/2/2017	21/3/2017	42	100,08	100,05	100,46	100,20	115,96	115,66	115,343	115,65	1,15	78,85	10,2	1,3	1,3	1040,09	13,19	13,19
Tramo 1	215-17	7/2/2017	7/4/2017	59	100,12	100,09	100	100,07	116,44	115,27	115,63	115,78	1,16	78,65	9,6	1,2	1,2	978,912	12,45	12,45
Tramo 1	215-17	7/2/2017	7/4/2017	59 cond	102,45	102,96	102,91	102,77	119,34	119,51	119,93	119,59	1,16	82,96	0,2	0,0	0,02	20,394	0,25	0,25

Resumen de resultados

Edad (días)	No condicionado		Condicionado	
	kg/cm ²	MPa	kg/cm ²	MPa
7	8,43	0,83	-	-
30	13,37	1,31	-	-
42	13,19	1,29	-	-
59	12,45	1,22	0,25	0,02



No. de informe: I-0254-17

Informe de Ensayo

RC-80 v.07 (Sistema de Gestión de Calidad, LanammeUCR. Norma INTE ISO/IEC 17025:2005)

Informe Parcial

ST-0208-17

1. Información del cliente:

Nombre: Unidad de Gestión Municipal.

Proyecto: Camino el Pito-Jarís, Mora, Tramo.

Domicilio: 400 metros norte de Muñoz y Nanne, San Pedro, Montes de Oca, San José.

2. Método de ensayo:

IT-GC-05 (ASTM D 4318) (*)
Procedimiento para determinar el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de un suelo.

IT-GC-06 (AASHTO T 99) (*)
Procedimiento estandar de ensayo para la relación densidad-humedad de suelos usando un mazo de 2,5 kg y una caída de 305 mm

IT-GC-08 (AASHTO T 193) (*)
Método estándar de ensayo para determinar el índice de soporte de California (CBR).



(*) Ensayo acreditado. Ver alcance en www.eca.or.cr.

3. Información de las muestras o especímenes de ensayo:

<u>No. de identificación:</u>	<u>Descripción:</u>
0232-17	3 Sacos de aproximadamente 100 kg, material de rasante existente, suelo identificado como Mora-Tramo 7-2-17 sin CONAID.
0233-17	3 Sacos de aproximadamente 100 kg, material de rasante mezclada con estabilizador CONAID, suelo identificado como Mora-Tramo 7-2-17 con CONAID.





No. de informe: I-0254-17

Aportadas por: Ing. Alonso Ulate.
Fecha de recepción: 2017/02/09
Fecha de realización del ensayo: 2017/02/27-2017/03/13

4. Información del muestreo:

Fecha de muestreo: 2017/02/07
Ubicación del muestreo: Camino el Pito-Jarís, Mora, Tramo.

Procedimiento de muestreo:

Muestreo de agregado realizado por la Unidad de Gestión Municipal de acuerdo a la norma ASTM D-75. Personal responsable de las muestras: Ing. Alonso Ulate.

Condiciones ambientales: No aplica pues en el laboratorio los especímenes se acondicionan.

5. Resultados:

Tabla 1 . Límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de un suelo, muestra 0233-17.

Table with 4 columns: MUESTRA, LÍMITE LÍQUIDO, LÍMITE PLÁSTICO, ÍNDICE PLÁSTICIDAD. Row 1: 0233-17, 42, 27, 15

Nota:

- Las muestras fueron acondicionadas por el método de preparación seco.
- Procedimiento por el cual fue determinado el límite líquido, es por el método A, método multipunto.





No. de informe: I-0254-17

Tabla 2. Resultados próctor estándar, muestra 0232-17.

RESULTADOS	
Ensayo	Próctor Estándar
Método	C
Contenido de agua óptimo	20,5%
Densidad seca máxima estándar	1610 kg/m ³
Forma de la superficie	Circular

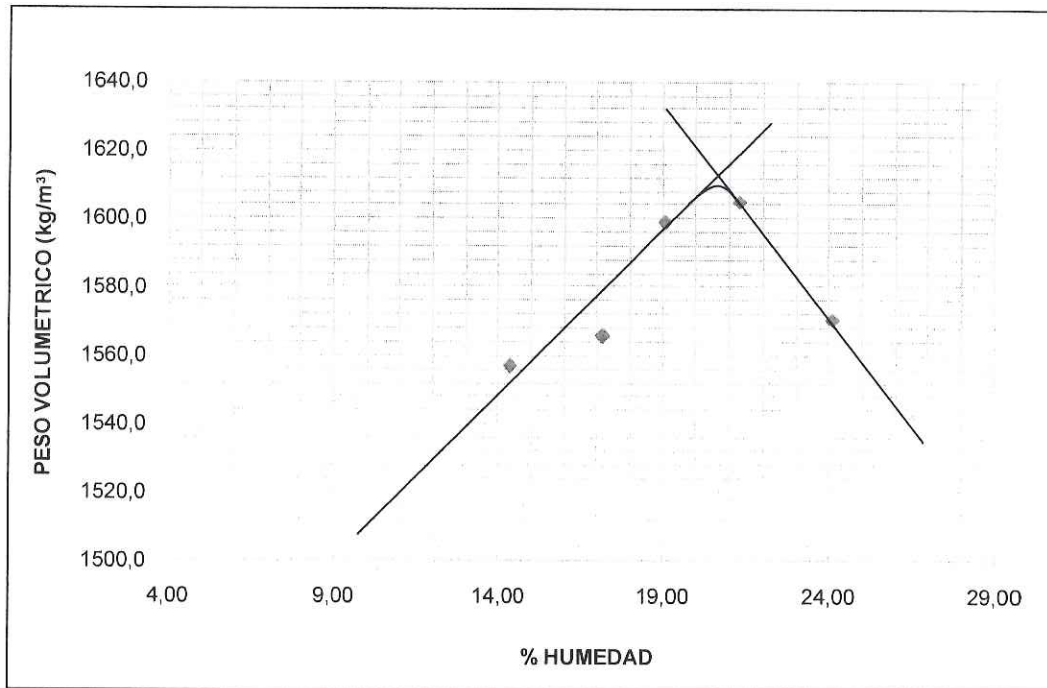


Gráfico 1. Peso volumétrico contra humedad, muestra 0232-17.



No. de informe: I-0254-17

Tabla 3. Resultados próctor estándar, muestra 0233-17.

RESULTADOS	
Ensayo	Próctor Estándar
Método	C
Contenido de agua óptimo	18,2%
Densidad seca máxima estándar	1668 kg/m ³
Forma de la superficie	Circular

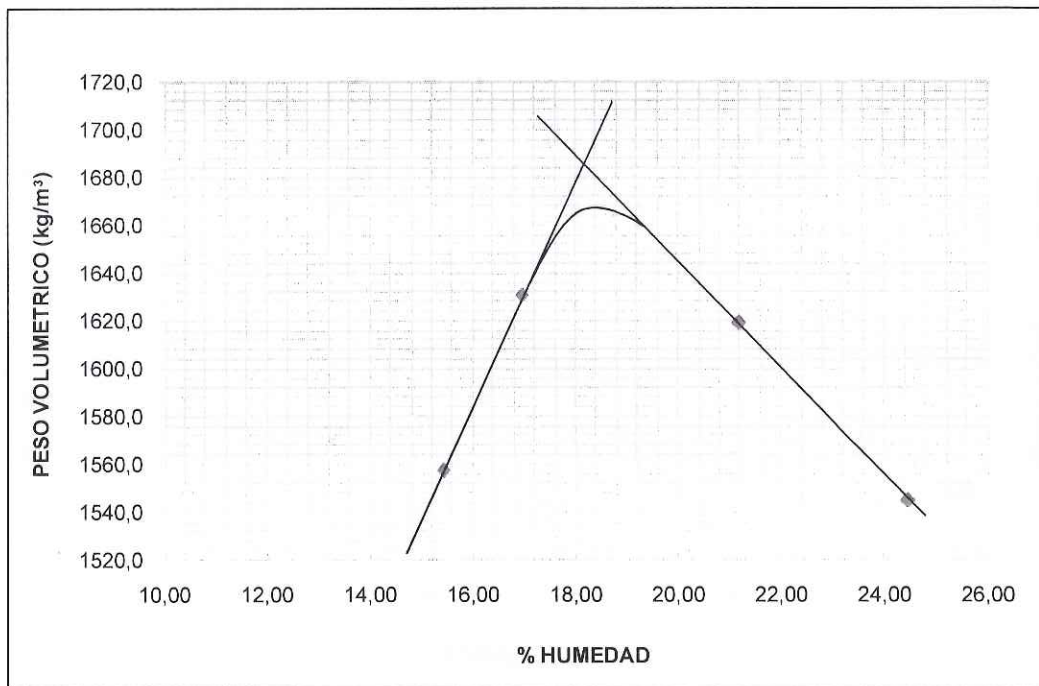


Gráfico 2. Peso volumétrico contra humedad, muestra 0233-17.



No. de informe: I-0254-17

Tabla 4. Resultados de CBR, muestra 0233-17.

SIMBOLOGÍA					
δs	Densidad seca				
C	Porcentaje de compactación				
W	Porcentaje de humedad en cada espécimen				
*	No se tomaron lecturas de deformación				

GOLPES	MOLDE	δs (kg/m ³)	C (%)	W (%)
56	38	1597,8	95,8	18,2
25	44	1464,1	87,8	18,4
10	47	1334,2	80,0	18,3

MOLDE	% EXPANSIÓN			
	24 horas	48 horas	72 horas	96 horas
38	2,66	*	*	2,82
44	2,27	*	*	2,33
47	0,79	*	*	0,86

PENETRACIÓN (mm)	ESFUERZO UNITARIO DE COMPACTACIÓN MOLDES		
	38 (kPa)	44 (kPa)	47 (kPa)
0,00	0,0	0,0	0,0
0,64	26	32	27
1,27	39	64	30
1,91	89	93	34
2,54	139	119	40
3,18	184	139	43
3,81	223	156	47
5,08	294	190	58
7,62	388	225	73
10,2	479	240	88
12,7	584	254	100

No. GOLPES	C (%)	% CBR CALCULADO		% CBR CORREGIDO	
		0,1 pulg 2,54 mm	0,2 pulg 5,08 mm	0,1 pulg 2,54 mm	0,2 pulg 5,08 mm
56	95,8	2,0	2,9	2,8	3,1
25	87,8	1,7	1,8	1,7	1,8
10	80,0	0,6	0,6	0,6	0,6

Nota:

- (*) No se registran valores pues son lecturas de fin de semana.
- Los valores de CBR para la curva de 56 golpes fueron corregidos por curvatura según norma.



No. de informe: I-0254-17

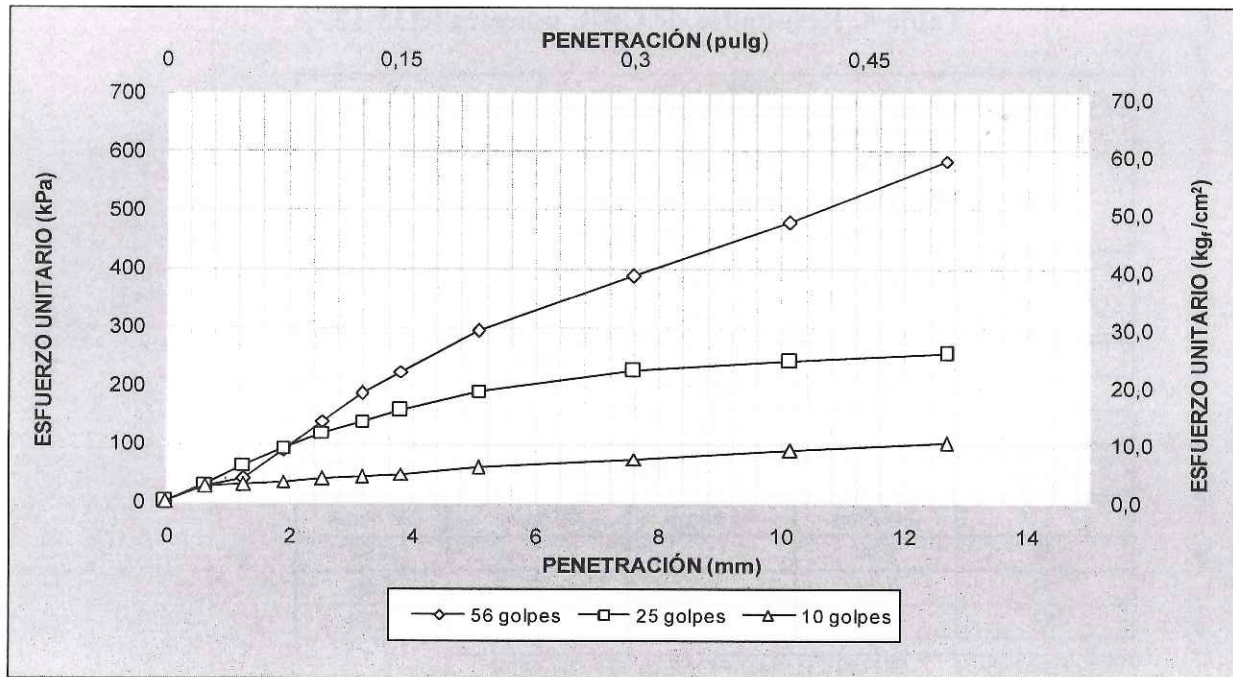


Gráfico 3. Esfuerzo unitario contra penetración, muestra 0233-17.

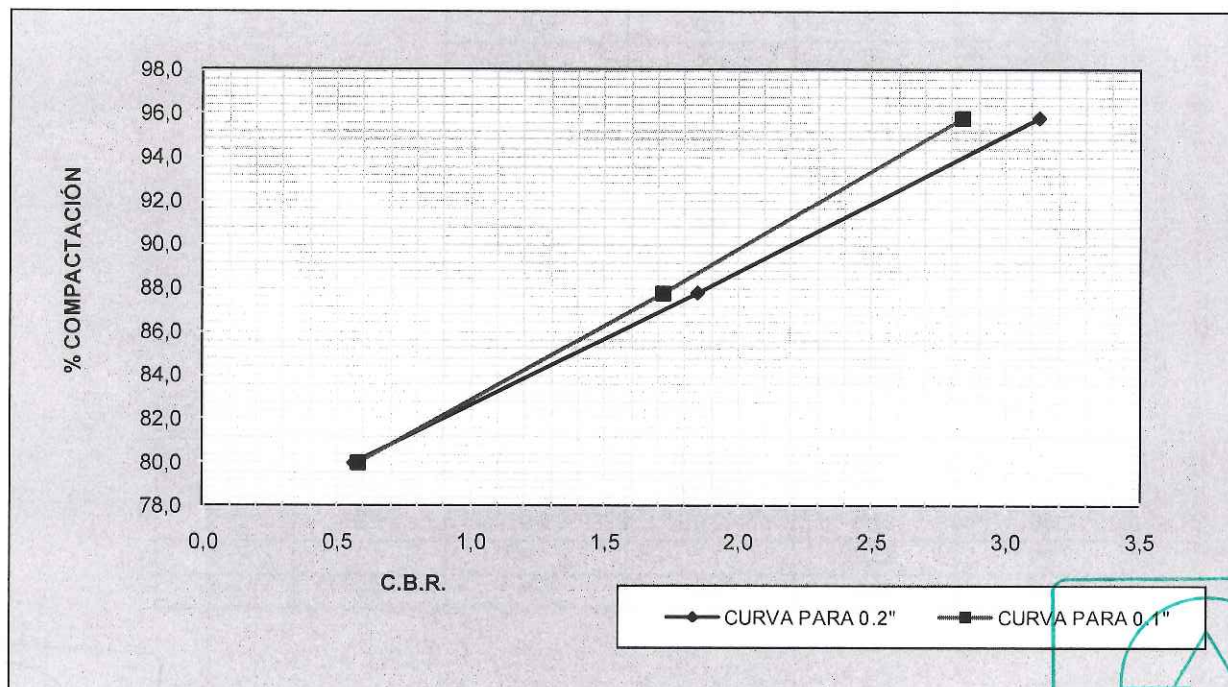


Gráfico 4. Porcentaje de compactación contra CBR, muestra 0233-17.



No. de informe: I-0254-17

Notas:

- Se recomienda la repetición del ensayo de CBR, según lo establece la norma debido a que los valores de CBR para la curvatura 0,2" (5,08 mm) son mayores que los valores para la curva de 0,1" (2,54 mm) de penetración.

Aclaraciones:

- El presente informe de ensayo sólo ampara las mediciones reportadas en el momento y condiciones ambientales y de uso en que se realizó esta prueba, para las muestras indicadas en este informe.
- Este informe de resultados tiene validez únicamente en su forma íntegra y original.
- No se permite la reproducción parcial de este documento sin la autorización del Director del LanammeUCR.

Preparó:

Ing. Oscar Valerio Salas
Jefe Laboratorio de Geotecnia

Revisó:

Ing. Luis Carlos Meseguer Quesada, MBA
Coordinador de Laboratorios
de Infraestructura Civil

Aprobó:

Ing. Alejandro Navas Carro, M.Sc.
Director LanammeUCR



No. de informe: I-0266-17

Informe de Ensayo

RC-80 v.07 (Sistema de Gestión de Calidad, LanammeUCR. Norma INTE ISO/IEC 17025:2005)

Informe Parcial

ST-0208-17

1. Información del cliente:

Nombre: Unidad de Gestión Municipal.

Proyecto: Camino el Pito-Jarís, Mora, Tramo.

Domicilio: 400 metros norte de Muñoz y Nanne, San Pedro, Montes de Oca, San José.

2. Método de ensayo:

IT-GC-08 (AASHTO T 193) (*)
Método estándar de ensayo para determinar el índice de soporte de California (CBR).



(*) Ensayo acreditado. Ver alcance en www.eca.or.cr.

3. Información de las muestras o especímenes de ensayo:

<u>No. de identificación:</u>	<u>Descripción:</u>
0232-17	3 Sacos de aproximadamente 100 kg, material de rasante existente, suelo identificado como Mora-Tramo 7-2-17 sin CONAID.
<u>Aportadas por:</u>	Ing. Alonso Ulate.
<u>Fecha de recepción:</u>	2017/02/09
<u>Fecha de realización del ensayo:</u>	2017/02/27-2017/03/13





No. de informe: I-0266-17

4. Información del muestreo:

Fecha de muestreo: 2017/02/07

Ubicación del muestreo: Camino el Pito-Jarís, Mora, Tramo.

Procedimiento de muestreo:

Muestreo de agregado realizado por la Unidad de Gestión Municipal de acuerdo a la norma ASTM D-75. Personal responsable de las muestras: Ing. Alonso Ulate.

Condiciones ambientales: No aplica pues en el laboratorio los especímenes se acondicionan.





No. de informe: I-0266-17

5. Resultados:

Tabla 1. Resultados de CBR, muestra 0232-17.

SIMBOLOGÍA					
δs	Densidad seca				
C	Porcentaje de compactación				
W	Porcentaje de humedad en cada espécimen				
*	No se tomaron lecturas de deformación				
GOLPES	MOLDE	δs (kg/m ³)	C (%)	W (%)	
56	37	1583,6	98,4	21,2	
25	41	1479,7	91,9	21,4	
10	46	1333,3	82,8	21,5	
MOLDE	% EXPANSIÓN				
	24 horas	48 horas	72 horas	96 horas	
37	0,04	*	*	1,71	
41	0,03	*	*	1,71	
46	0,03	*	*	1,54	
PENETRACIÓN (mm)	ESFUERZO UNITARIO DE COMPACTACIÓN MOLDES				
	37 (kPa)	41 (kPa)	46 (kPa)		
0,000	0	0	0		
0,64	55	50	34		
1,27	151	76	38		
1,91	271	133	44		
2,54	397	186	57		
3,18	541	245	72		
3,81	659	297	81		
5,08	830	377	97		
7,62	1048	463	124		
10,2	1233	539	148		
12,7	1403	611	146		
No. GOLPES	C (%)	% CBR CALCULADO		% CBR CORREGIDO	
		0,1 pulg 2,54 mm	0,2 pulg 5,08 mm	0,1 pulg 2,54 mm	0,2 pulg 5,08 mm
56	98,4	5,7	8,1	7,3	8,4
25	91,9	2,7	3,7	3,1	3,8
10	82,8	0,8	0,9	0,8	0,9

Nota:

- (*) No se registran valores pues son lecturas de fin de semana.
- Los valores de CBR para la curva de 56 y 25 golpes fueron corregidos por curvatura según norma.



No. de informe: I-0266-17

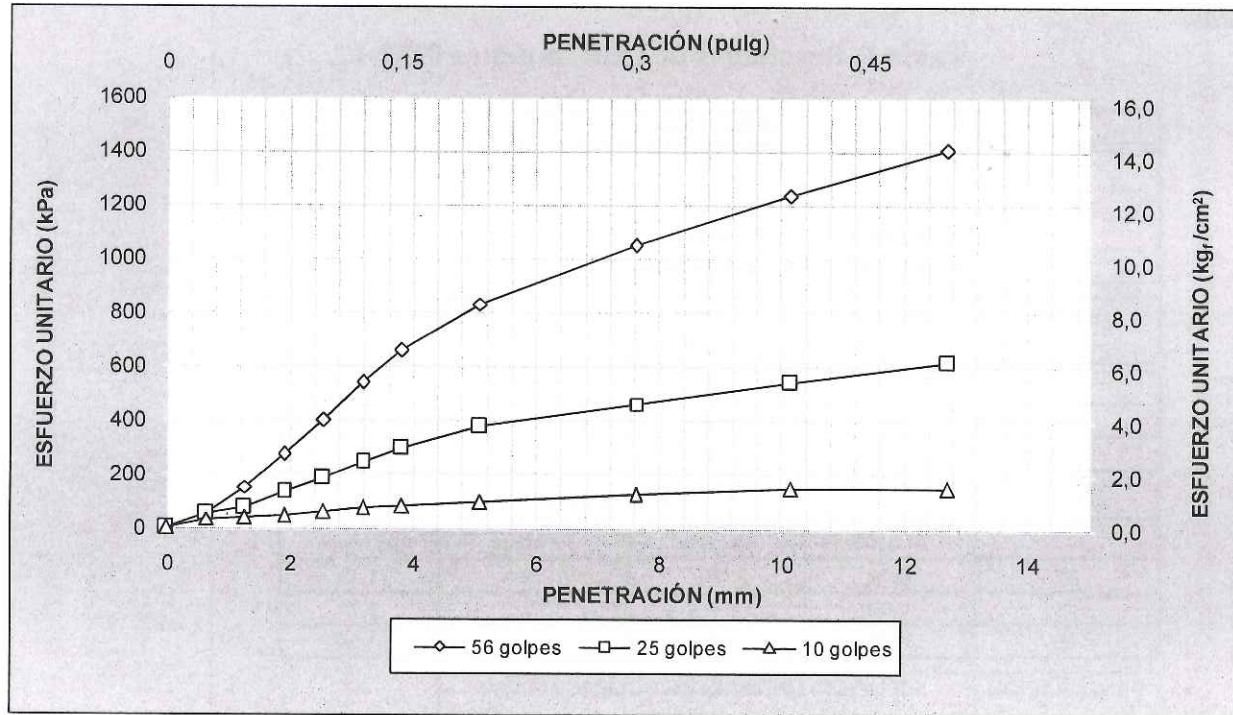


Gráfico 1. Esfuerzo unitario contra penetración, muestra 0232-17.

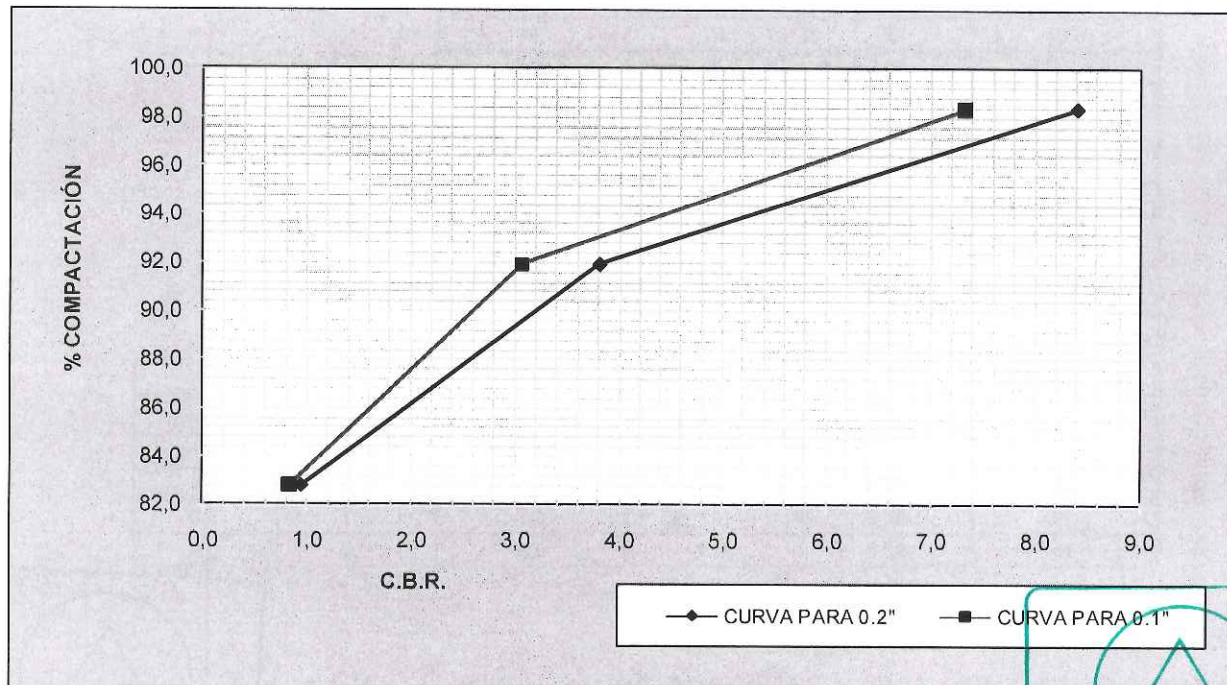


Gráfico 2. Porcentaje de compactación contra CBR, muestra 0232-17.



No. de informe: I-0266-17

Notas:

- Se recomienda la repetición del ensayo de CBR, según lo establece la norma debido a que los valores de CBR para la curvatura 0,2" (5,08 mm) son mayores que los valores para la curva de 0,1" (2,54 mm) de penetración.

Aclaraciones:

- El presente informe de ensayo sólo ampara las mediciones reportadas en el momento y condiciones ambientales y de uso en que se realizó esta prueba, para las muestras indicadas en este informe.
- Este informe de resultados tiene validez únicamente en su forma íntegra y original.
- No se permite la reproducción parcial de este documento sin la autorización del Director del LanammeUCR.
- El presente informe complementa al informe: I-0254-17.

Preparó:

Ing. Oscar Valerio Salas
Jefe Laboratorio de Geotecnia

Revisó:

Ing. Luis Carlos Meseguer Quesada, MBA
Coordinador de Laboratorios
de Infraestructura Civil

Aprobó:

Ing. Alejandro Navas Carro, M.Sc.
Director LanammeUCR



No. de informe: I-0271-17

Informe de Ensayo

RC-80 v.07 (Sistema de Gestión de Calidad, LanammeUCR. Norma INTE ISO/IEC 17025:2005)

Informe Final

ST-0208-17

1. Información del cliente:

Nombre: Unidad de Gestión Municipal.

Proyecto: Camino el Pito-Jarís, Mora, Tramo.

Domicilio: 400 metros norte de Muñoz y Nanne, San Pedro, Montes de Oca, San José.

2. Método de ensayo:

IT-GC-05 (ASTM D 4318) (*)
 Procedimiento para determinar el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de un suelo.



(*) Ensayo acreditado. Ver alcance en www.eca.or.cr.

3. Información de las muestras o especímenes de ensayo:

<u>No. de identificación:</u>	<u>Descripción:</u>
0232-17	3 Sacos de aproximadamente 100 kg, material de rasante existente, suelo identificado como Mora-Tramo 7-2-17 sin CONAID.
<u>Aportadas por:</u>	Ing. Alonso Ulate.
<u>Fecha de recepción:</u>	2017/02/09
<u>Fecha de realización del ensayo:</u>	2017/02/27-2017/03/22





No. de informe: I-0271-17

4. Información del muestreo:

Fecha de muestreo: 2017/02/07

Ubicación del muestreo: Camino el Pito-Jarís, Mora, Tramo.

Procedimiento de muestreo:

Muestreo de agregado realizado por la Unidad de Gestión Municipal de acuerdo a la norma ASTM D-75. Personal responsable de las muestras: Ing. Alonso Ulate.

Condiciones ambientales: No aplica pues en el laboratorio los especímenes se acondicionan.

5. Resultados:

Tabla 1 . Límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de un suelo.

LÍMITE LÍQUIDO	LÍMITE PLÁSTICO	ÍNDICE PLÁSTICIDAD
42	28	14

Nota:

- Las muestras fueron acondicionadas por el método de preparación seco.
- Procedimiento por el cual fue determinado el límite líquido, es por el método A, método multipunto.

Aclaraciones:

- El presente informe de ensayo sólo ampara las mediciones reportadas en el momento y condiciones ambientales y de uso en que se realizó esta prueba, para las muestras indicadas en este informe.
- Este informe de resultados tiene validez únicamente en su forma íntegra y original.
- No se permite la reproducción parcial de este documento sin la autorización del Director del LanammeUCR.
- El presente informe complementa a los informes: I-0254-17 y I-0266-17.

Preparó:

Oscar Valerio Salas

Ing. Oscar Valerio Salas
Jefe Laboratorio de Geotecnia

Revisó:

Luis Carlos Meseguer Quesada

Ing. Luis Carlos Meseguer Quesada, MBA
Coordinador de Laboratorios
de Infraestructura Civil

Aprobó:

Alejandro Navas Carro

Ing. Alejandro Navas Carro, M.Sc.
Director LanammeUCR





ANEXO 7.5 Ensayos de campo Tramo 1_ IÓNICO I (nombre genérico)

Ejecutado por el LanammeUCR

Resumen de resultados de ensayos de campo					
Ensayo o parámetro de medición	Edad (días)	Punto, estacionamiento y lado de la vía			
		1	2	3	4
		0+025	0+050	0+050	0+050
		LI	LD	C	LI
Densidad seca máxima promedio (kg/m ³)	Construcción	1.504,3	1.504,3	1.504,3	1.504,3
	8	1.550,7	1.550,7	1.550,7	1.550,7
	30	1.635,3	1.635,3	1.635,3	1.635,3
	58	1.903,7	2.027,7	1.831,7	1.812,7
Contenido de humedad (%)	Construcción	17,9	17,9	17,9	17,9
	8	16,7	16,7	16,7	16,4
	30	9,9	9,9	9,9	9,9
	58	12,1	9,8	12,4	16,1
Módulo de Superficie M ₀ promedio-LWD (MPa)	8	68,6	87,6	68,4	49,1
	30	95,3	215,4	68,7	40,6
	58	103,9	163,9	55,3	52,5



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA



LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

Anexo 7.6 Inspección Visual Tramo-1_IÓNICO I
Ejecutado por la Unidad de Gestión Municipal, LanammeUCR
Inspección visual 30-08-2017 (7 meses)





9



13



10



14



11



15



12



16





UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA



LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

Anexo 7.6 Inspección Visual Tramo-1_IÓNICO I
Ejecutado por la Unidad de Gestión Municipal, LanammeUCR

Inspección visual 20-12-2017 (11 meses)



Tel.: +506 2511-2500 | Fax: +506 2511-4440 | direccion.lanamme@ucr.ac.cr | www.lanamme.ucr.ac.cr

Dirección: LanammeUCR, Ciudad de la Investigación, Universidad de Costa Rica.

Código Postal: 11501-2060, San Pedro de Montes de Oca, San José, Costa Rica.



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA



LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES





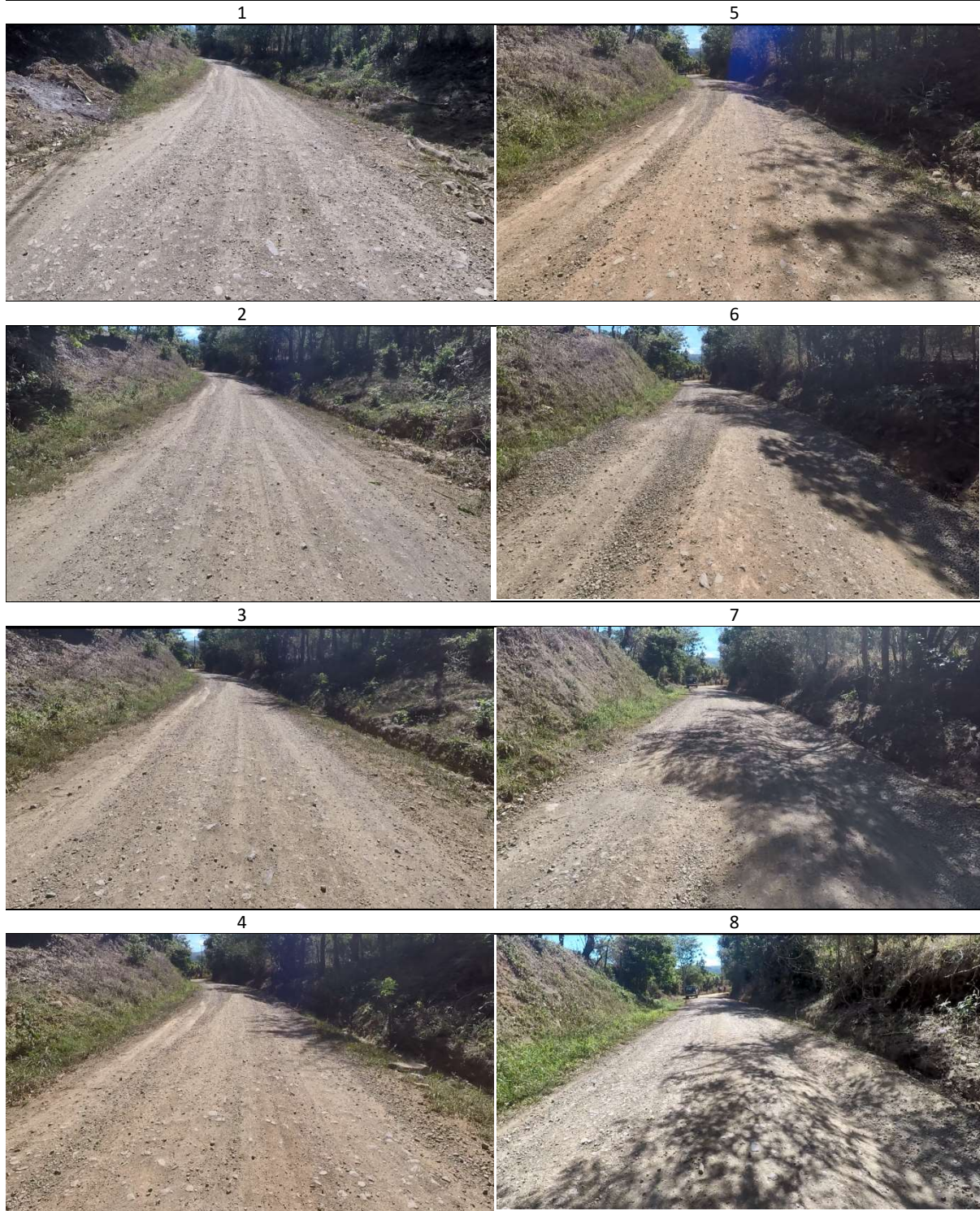
UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA



LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

Anexo 7.6 Inspección Visual Tramo-1_IÓNICO I
Ejecutado por la Unidad de Gestión Municipal, LanammeUCR

Inspección visual 23-03-2018 (14 meses)





9



13



10



14



11



15



12



16





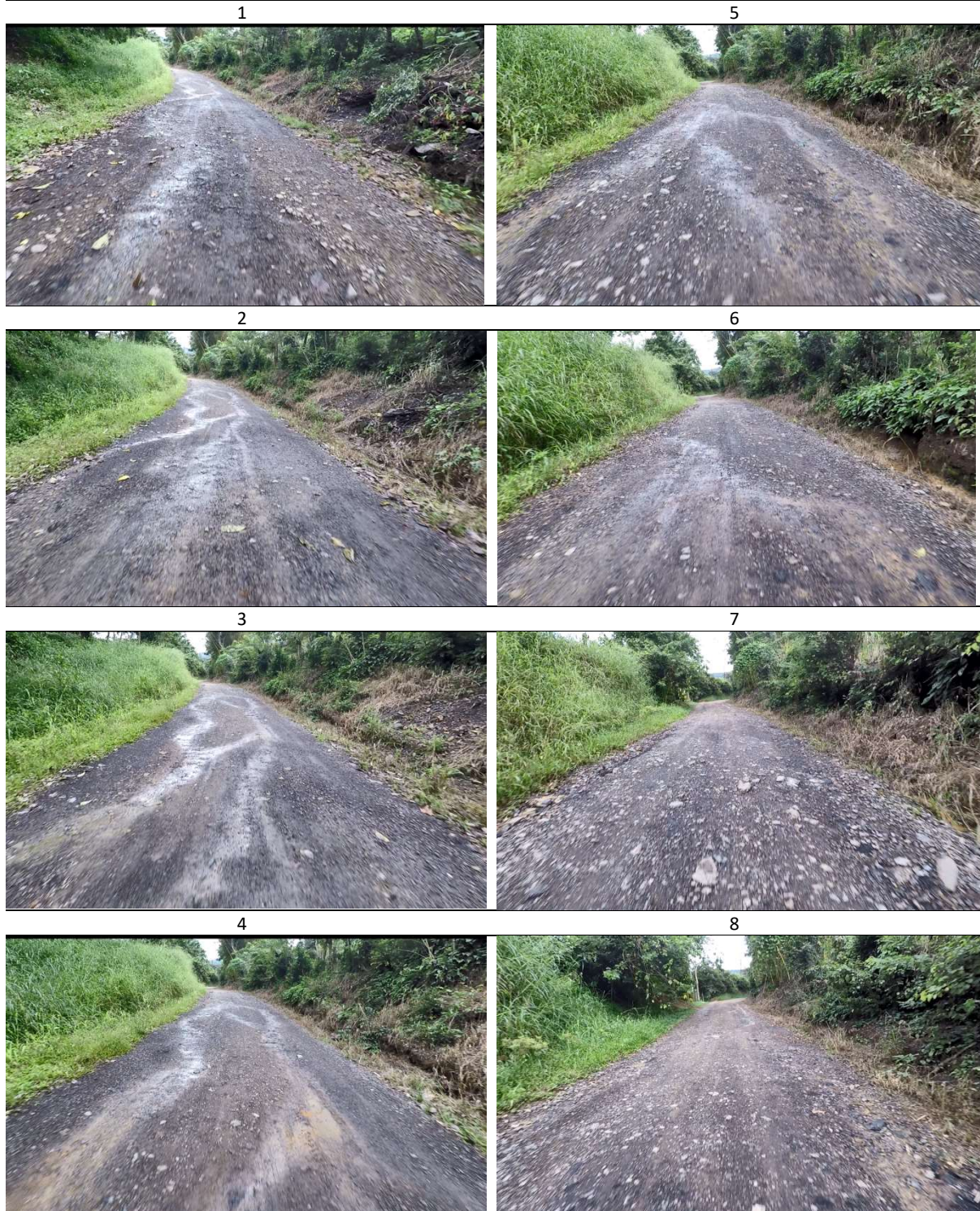
UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA



LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

Anexo 7.6 Inspección Visual Tramo-1_IÓNICO I
Ejecutado por la Unidad de Gestión Municipal, LanammeUCR

Inspección visual 25-10-2019 (33 meses)



Tel.: +506 2511-2500 | Fax: +506 2511-4440 | di_reccion.lanamme@ucr.ac.cr | www.lanamme.ucr.ac.cr

Dirección: LanammeUCR, Ciudad de la Investigación, Universidad de Costa Rica.

Código Postal: 11501-2060, San Pedro de Montes de Oca, San José, Costa Rica.



9



13



10



14



11



15



12



16



ANEXO 8.1 Resumen de información del producto estabilizador CEMENTO.

Nombre	Cemento Multi Base
Distribuidor/Representante	Holcim Costa Rica www.holcim.cr, (506)2205-2900
Tipo de estabilizador	Estabilizador cementicio
Descripción del estabilizador, según el representante	<ul style="list-style-type: none"> • Cemento hidráulico para estabilización de suelos y materiales granulares Cemento Tipo MM/C (C-P)-21 RTCR 479:2015 • Presentación Bolsas de 50 kg o granel • Certificado por INTECO • Producido en Holcim Costa Rica, Aguacaliente de Cartago, Costa Rica
Usos recomendados por el representante	<ul style="list-style-type: none"> • Mejoramiento y estabilización de bases para carreteras • Bases para parqueos. • Pavimentos Unicapa. • Aplicaciones en el sector agroindustrial en la estabilización de suelos para ingresos, parqueos, áreas de empaque, caminos peatonales y vehiculares internos.
Beneficios del producto estabilizador, según el representante	<ul style="list-style-type: none"> • Ahorro de material para mantenimiento de caminos. • Mayor durabilidad de los caminos en comparación con los métodos tradicionales. • Prolonga la vida útil y utilización de la maquinaria, equipo agrícola y transporte. • Eco amigable, ya que reduce el impacto ambiental al reutilizar los suelos existentes. • Mayor productividad porque reduce la pérdida del producto. • Mayor resistencia a los agentes atmosféricos. • Reduce riesgo de bombeo de finos • Reduce el riesgo por agrietamiento por contracción, comparado con cementos convencionales. • Reduce los espesores de las capas de base del pavimento.
Dosificación/Rendimiento	<ul style="list-style-type: none"> • La dosificación se define mediante el correspondiente diseño de la estabilización o mejoramiento en el laboratorio, aplicando las normas vigentes.
Recomendaciones para su uso	<ul style="list-style-type: none"> • Caracterizar y clasificar el suelo o grava para estabilizar o mejorar. • Aplicar el procedimiento constructivo adecuado para las condiciones del sitio y maquinaria disponible. • Realizar control y verificación de calidad durante proceso constructivo. • Almacenar el cemento de acuerdo con las recomendaciones del fabricante.

Fuente: Adaptado de Ficha Técnica Cemento Multibase <https://www.holcim.cr/productos-y-servicios/cemento>



**UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA**



**LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES**

ANEXO 8.2

Diseño de la estabilización Tramo 2_CEMENTO

INFORME DE ENSAYO

INF. 4901-2016
14 de Noviembre del 2016


IDENTIFICACIÓN DEL CLIENTE

Empresa: **HOLCIM DE COSTA RICA S.A** Dirigido a: **Ing. Laura Ramírez**
Dirección: **San José, Costa Rica** Proyecto: **Suelo Mejorado**

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA Y DATOS DE CONTROL

Fecha de Recolección de muestra: **25 de Octubre del 2016**
Contenido: **Diseño de suelo mejorado con cemento**
Método de Muestreo Utilizado: **Material aportado por el cliente**
Descripción de la Muestra: **Material Existente**
Procedencia de la Muestra: **Proyecto**
Lugar de realización de los ensayos: **Laboratorio Central**
Fecha Recepción de la Muestra: **25 de Octubre del 2016**
Fecha de Realización del Ensayo: **Noviembre del 2016**

Aclaración: Los resultados que se presentan a continuación se refieren solo a las muestras ensayadas y/o pruebas de campo realizadas y al momento y condiciones en que se realizaron los ensayos. No se permite la reproducción parcial del Informe de Ensayo sin previa autorización escrita de CACISA. Este Informe de Ensayo no es válido sin la firma de aprobación respectiva.



CACISA cuenta con Ensayos acreditados por el Ente Costarricense de Acreditación (ECA), según los requerimientos de la Norma **INTE-ISO/IEC 17025:2005**. Los ensayos acreditados cuentan con su respectivo cálculo de incertidumbre. En caso de requerirlo, favor solicitarlo. También se tiene Actividades de Inspección acreditadas por el ECA según los requerimientos de la Norma **INTE-ISO/IEC 17020:2012**.

Cualquier comentario acerca de nuestros servicios, favor enviarlo a info@cacisa.cr

RESULTADOS

CARACTERIZACION DEL MATERIAL

Material Existente	
Procedencia de la muestra: Proyecto	
ENSAYOS	Material Existente
IE-012 y 013: LIMITES DE ATTERBERG, AASHTO T 89/90 (ASTM 4318) *	
LIMITE LIQUIDO	61
INDICE PLASTICO	29
IE-009 y 010: ANALISIS GRANULOMETRICO, AASHTO T-27/11 (ASTM 117/136)*	
Tamices	% Pasando
Tamiz 19,0 mm (3/4")	100
Tamiz 9,5 mm (3/8")	100
Tamiz No. 4	100
Tamiz No. 10	99
Tamiz No. 40	97
Tamiz No. 200	93,2
IE-008: DENSIDAD MAXIMA Y HUMEDAD OPTIMA, AASHTO T-99 *	
DENSIDAD PROCTOR kg/m ³	1418
HUMEDAD ÓPTIMA (%)	28,9

*ENSAYO ACREDITADO

**ENSAYO NO ACREDITADO Ver alcance en www.eca.or.cr

1- Suelo mejorado con cemento

Se procedió a realizar especímenes con el material aportado proveniente del Proyecto. Se moldearon 3 especímenes para siete distintos porcentajes de cemento, adicionado en base al peso seco del material (6%, 10%, 14%, 18%, 22%, 26% y 30% de cemento), el cemento utilizado fue Holcim Fuerte.

Para el moldeo de los especímenes se utilizó el mazo de 5 lb (Proctor Estandar). Para el moldeo se utilizó el procedimiento indicado en la norma de ensayo AASHTO T 99.

En la siguiente tabla se muestran la información de los especímenes moldeados para cada porcentaje de cemento adicionado.

Tabla 1: Información de los Especímenes Moldeados

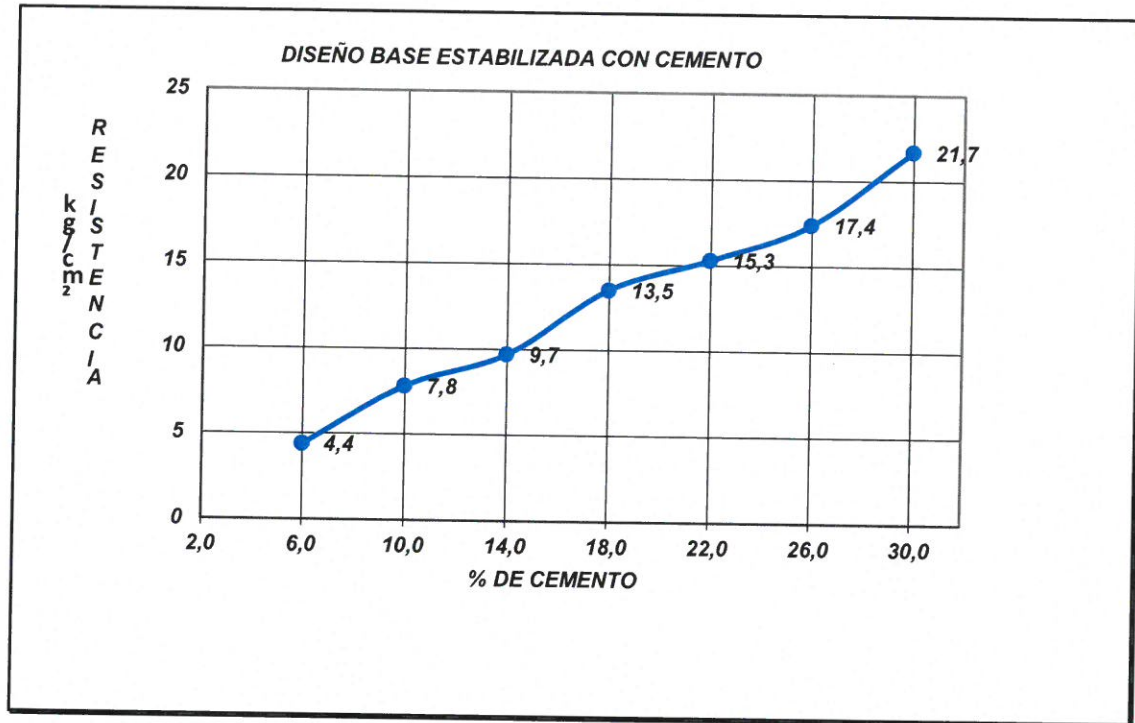
Pastilla	% Cemento	Kg cemento / m3 (en base a la Densidad Máxima Seca del Proctor Modificado)	Densidad Húmeda (Kg/m3)	Densidad Seca (Kg/m3)	% de Humedad	Densidad Seca Promedio (Kg/m3)
1	6%	85 (1,7 sacos de cemento de 50 Kg)	1775	1389	27,8	1393
2			1814	1419		
3			1753	1372		
4	10%	142 (2,8 sacos de cemento de 50 Kg)	1797	1397	28,6	1405
5			1822	1417		
6			1803	1402		
7	14%	199 (4,0 sacos de cemento de 50 Kg)	1809	1408	28,5	1404
8			1798	1399		
9			1807	1406		
10	18%	255 (5,1 sacos de cemento de 50 Kg)	1834	1425	28,7	1413
11			1784	1386		
12			1839	1429		
13	22%	312 (6,2 sacos de cemento de 50 Kg)	1844	1435	28,5	1434
14			1834	1427		
15			1850	1440		
16	26%	369 (7,4 sacos de cemento de 50 Kg)	1866	1453	28,4	1448
17			1850	1441		
18			1860	1449		
19	30%	425 (8,5 sacos de cemento de 50 Kg)	1887	1467	28,6	1459
20			1875	1458		
21			1868	1453		

Se procedió a curar en la cámara húmeda los especímenes moldeados para cada % de cemento. Se realizó la falla a compresión a los 7 días de la confección de los mismos. En la siguiente tabla se pueden observar los resultados obtenidos.

Tabla 2: Resultado de Falla de Especímenes a 7 días

Pastilla	% Cemento	Kg cemento / m3 (en base a la Densidad Máxima Seca del Proctor Estandar)	Área (cm2)	Carga Aplicada (Kg)	Resistencia (kg/cm ²)	Resistencia Promedio (kg/cm ²)
1	6,0	85 (1,7 sacos de cemento de 50 kg)	80,1	377	4,7	4,4
2			82,3	347	4,2	
3			84,6	357	4,2	
4	10,0	142 (2,8 sacos de cemento de 50 kg)	78,8	601	7,6	7,8
5			79,7	663	8,3	
6			81,4	612	7,5	
7	14,0	199 (4,0 sacos de cemento de 50 kg)	80,1	734	9,2	9,7
8			79,7	856	10,7	
9			79,5	734	9,2	
10	18,0	255 (5,1 sacos de cemento de 50 kg)	78,6	989	12,6	12,6
11			78,8	968	12,3	
12			78,8	1030	13,1	
13	22,0	312 (6,2 sacos de cemento de 50 kg)	81,4	1244	15,3	15,3
14			81,6	1233	15,1	
15			81,4	1254	15,4	
16	26,0	369 (7,4 sacos de cemento de 50 kg)	81,5	1437	17,6	17,4
17			81,5	1417	17,4	
18			82,1	1407	17,1	
19	30,0	425 (8,5 sacos de cemento de 50 kg)	81,2	1672	20,6	21,0
20			81,4	1702	20,9	
21			81,6	1743	21,4	

Grafico No.1: Resistencia a la Compresión a los 7 días



OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES

- Debido a las condiciones propias del proceso constructivo y de campo, **se recomienda utilizar un factor de seguridad del 10% sobre la resistencia mínima requerida, por lo tanto, para mejorar con cemento el material aportado y obtener una resistencia mínima seca de 15 kg/cm², se recomienda utilizar 7,4 sacos de cemento de 50 kg, por metro cúbico de material compactado.**
- Se recomienda la construcción de un tramo de prueba con el fin de realizar los ajustes que sean requeridos a la dosificación propuesta.

APROBACIÓN DE INFORME DE ENSAYO



Ing. Jorge Camacho Bermúdez
Jefe de Laboratorios

cc: Archivo, JICB

INFORME DE ENSAYO

INF. 4947-2016
14 de Noviembre del 2016

IDENTIFICACIÓN DEL CLIENTE

Empresa:	HOLCIM DE COSTA RICA S.A	Dirigido a:	Ing. Laura Ramírez
Dirección:	San José, Costa Rica	Proyecto:	Plantel Guacalillo

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA Y DATOS DE CONTROL

Fecha de Recolección de muestra:	26 de Octubre del 2016
Contenido:	Diseño de base estabilizada con cemento (BE-25)
Método de Muestreo Utilizado:	Material aportado por el cliente
Descripción de la Muestra:	Base 38 mm, Tajo Guacalillo
Procedencia de la Muestra:	Proyecto
Lugar de realización de los ensayos:	Laboratorio Central
Fecha Recepción de la Muestra:	26 de Octubre del 2016
Fecha de Realización del Ensayo:	Noviembre del 2016

Aclaración: Los resultados que se presentan a continuación se refieren solo a las muestras ensayadas y/o pruebas de campo realizadas y al momento y condiciones en que se realizaron los ensayos. No se permite la reproducción parcial del Informe de Ensayo sin previa autorización escrita de CACISA. Este Informe de Ensayo no es válido sin la firma de aprobación respectiva.



CACISA cuenta con Ensayos acreditados por el Ente Costarricense de Acreditación (ECA), según los requerimientos de la Norma **INTE-ISO/IEC 17025:2005**. Los ensayos acreditados cuentan con su respectivo cálculo de incertidumbre. En caso de requerirlo, favor solicitarlo. También se tiene Actividades de Inspección acreditadas por el ECA según los requerimientos de la Norma **INTE-ISO/IEC 17020:2012**.

Cualquier comentario acerca de nuestros servicios, favor enviarlo a info@cacisa.cr

RESULTADOS

CARACTERIZACION DEL MATERIAL

Base 38 mm				
Procedencia de la muestra: Proyecto				
ENSAYOS	BASE	ESPECIFICACIONES CR-2010		
IE-012 y 013: LIMITES DE ATTERBERG, AASHTO T 89/90 (ASTM 4318) *				
LIMITE LIQUIDO	NP	NO MAYOR DE 25		
INDICE PLASTICO	NP	NO MAYOR DE 4		
IE-009 y 010: ANALISIS GRANULOMETRICO, AASHTO T-27/11 (ASTM 117/136)*				
Tamices	% Pasando	GRADUACIÓN "C"	GRADUACIÓN "D"	GRADUACIÓN "E"
Tamiz 50,0 mm (2")	100	100	----	----
Tamiz 38,1 mm (1 1/2")	100	----	----	----
Tamiz 25,4 mm (1")	92	80 - 100	100	----
Tamiz 19,0 mm (3/4")	84	64 - 94	86 - 100	100
Tamiz 9,5 mm (3/8")	64	40 - 69	51 - 82	62 - 90
Tamiz No. 4	42	31 - 54	36 - 64	46 - 74
Tamiz No. 10	28	----	----	----
Tamiz No. 40	13	10 - 25	12 - 26	12 - 26
Tamiz No. 200	8,0	4 - 7	4 - 7	4 - 7
IE-008: DENSIDAD MAXIMA Y HUMEDAD OPTIMA, AASHTO T-180 *				
DENSIDAD PROCTOR kg/m ³	1838	----		
HUMEDAD ÓPTIMA (%)	12,5	----		
IE-017: INDICE DE SOPORTE DE CALIFORNIA, AASHTO T-193 (ASTM D 1883) *				
CBR AL 95% DE COMPACTACION	52	MINIMO 80		

DETERMINACION % DE CARAS FRACTURADAS, (ASTM D 5821)*		
1 CARA FRACTURA (%)	100	Mínimo 50 %
2 Ó MÁS CARAS FRACTURADAS (%)	99	----
CARAS REDONDEADAS (%)	0	----
INDICE DE DURABILIDAD DE FINOS (AASHTO T-210)**		
DURABILIDAD	70	35 mínimo
INDICE DE DURABILIDAD DE GRUESOS (AASHTO T-210)**		
DURABILIDAD	74	35 mínimo
PERDIDA POR ABRASION (AASHTO T 96)**		
% PERDIDA	31	50 % MAXIMO
PÉRDIDA POR SANIDAD CON SULFATO DE SODIO (AASHTO T 104)*		
% PERDIDA GRUESOS	6	----
% PERDIDA FINOS	9	----

IE-008: DENSIDAD MAXIMA Y HUMEDAD OPTIMA CON 5% CEMENTO, AASHTO T-180*	
DENSIDAD PROCTOR kg/m ³	1857
HUMEDAD ÓPTIMA (%)	12,5

DENSIDAD APARENTE DEL AGREGADO (ASSHTO T-19 / ASTM C-29)*	
PESO UNITARIO SUELTO kg/m ³	1230
PESO UNITARIO ENVARILLADO kg/m ³	1400

*ENSAYO ACREDITADO

**ENSAYO NO ACREDITADO Ver alcance en www.eca.or.cr

1- DISEÑO DE BASE ESTABILIZADA

Se procedió a realizar especímenes con el material aportado proveniente del Proyecto. Se moldearon 3 especímenes para cuatro distintos porcentajes de cemento, adicionado en base al peso seco del material (1%, 3%, 5% y 7% de cemento), el cemento utilizado fue Holcim Fuerte.

Para el moldeo de los especímenes se utilizó el mazo de 10 lb (Proctor Modificado). Para el moldeo se utilizó el procedimiento indicado en la norma de ensayo AASHTO T 180.

En la siguiente tabla se muestran la información de los especímenes moldeados para cada porcentaje de cemento adicionado.

Tabla 1: Información de los Especímenes Moldeados

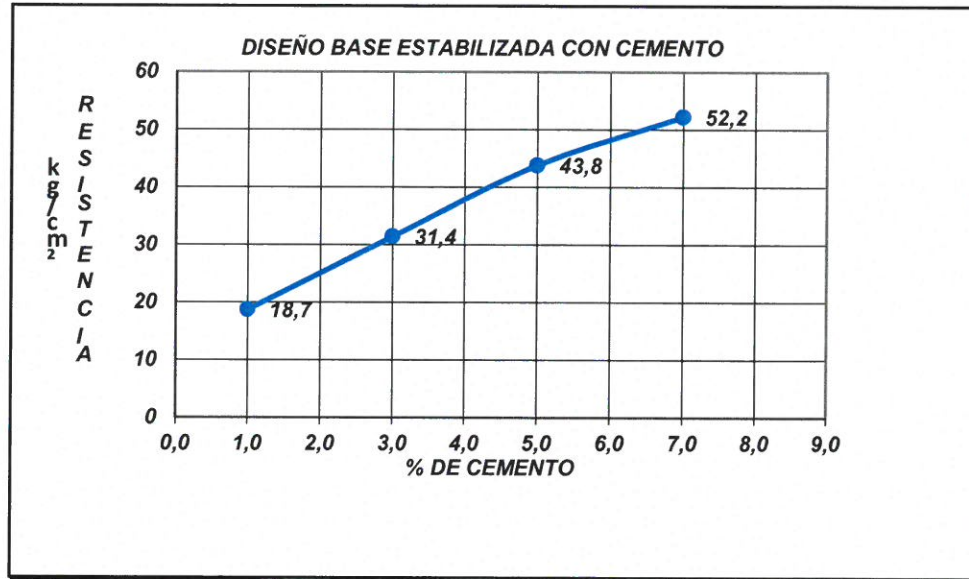
Pastilla	% Cemento	Kg cemento / m ³ (en base a la Densidad Máxima Seca del Proctor Modificado)	Densidad Húmeda (Kg/m ³)	Densidad Seca (Kg/m ³)	% de Humedad	Densidad Seca Promedio (Kg/m ³)
1	1%	18	2051	1828	12,2	1832
2		(0,4 sacos de cemento de 50 Kg)	2056	1832		
3			2059	1835		
4	3%	55	2055	1830	12,3	1833
5		(1,1 sacos de cemento de 50 Kg)	2060	1834		
6			2062	1836		
7	5%	92	2052	1831	12,1	1836
8		(1,8 sacos de cemento de 50 Kg)	2065	1842		
9			2057	1835		
10	7%	129	2054	1829	12,3	1831
11		(2,6 sacos de cemento de 50 Kg)	2055	1830		
12			2061	1835		

Se procedió a curar en la cámara húmeda los especímenes moldeados para cada % de cemento. Se realizó la falla a compresión a los 7 días de la confección de los mismos. En la siguiente tabla se pueden observar los resultados obtenidos.

Tabla 2: Resultado de Falla de Especímenes a 7 días

Pastilla	% Cemento	Kg cemento / m3 (en base a la Densidad Máxima Seca del Proctor Modificado)	Área (cm ²)	Carga Aplicada (Kg)	Resistencia (kg/cm ²)	Resistencia Promedio (kg/cm ²)
1	1,0	18 (0,4 sacos de cemento de 50 kg)	83,9	1570	18,7	18,7
2			88,8	1580	17,8	
3			80,7	1580	19,6	
4	3,0	55 (1,1 sacos de cemento de 50 kg)	83,9	2599	31,0	31,4
5			84,4	2559	30,3	
6			83,4	2742	32,9	
7	5,0	92 (1,8 sacos de cemento de 50 kg)	87,0	3639	41,8	43,8
8			81,1	3731	46,0	
9			83,9	3649	43,5	
10	7,0	129 (2,6 sacos de cemento de 50 kg)	82,6	4281	51,8	52,2
11			83,9	4465	53,2	
12			82,3	4251	51,6	


Grafico No.1: Resistencia a la Compresión a los 7 días



OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES

- Debido a las condiciones propias del proceso constructivo y de campo, **se recomienda utilizar un factor de seguridad del 10% sobre la resistencia mínima requerida, por lo tanto, para obtener una base granular estabilizada con cemento cuya resistencia mínima seca de 30 kg/cm², se recomienda utilizar 1,5 saco de cemento de 50 kg, por metro cúbico de material compactado.**
- Se recomienda la construcción de un tramo de prueba con el fin de realizar los ajustes que sean requeridos a la dosificación propuesta.

APROBACIÓN DE INFORME DE ENSAYO



Ing. Jorge Camacho Bermúdez
Jefe de Laboratorios

cc: Archivo, JICB



ANEXO 8.3 Proceso constructivo Tramo 2_CEMENTO

Procedimiento constructivo

Transporte y acarreo (16 y 17-01-2017):

- Acarreo de material granular tipo Base Graduación C, proveniente del Tajo Guacalillo.
- Transporte el sitio del Cemento Hidráulico especial para estabilización de base y subbase granular, en sacos de 50 kg, el mismo día del proceso constructivo para evitar que queden expuestos al ambiente.

Preparación(17-01-2017):

- Se conforma la capa de material existente en la calzada del camino.
- Se evita escarificar, para no alterar la consolidación de la capa de grava existente, por la presencia de con partículas de sobretamaño. Esta capa constituye una buena fundación para la capa de base estabilizada.
- Se limpian y conforman las cunetas no revestidas del camino a ambos lados.
- Se procura obtener la sección transversal especificada en el Anexo 3.
- Se distribuye y homogeniza el material de base granular a lo largo de la calzada con un espesor de 0,15 m y ancho de 5,5 m.

Estabilización (18-01-2017):

- Se aplica riego de agua para humedecimiento del agregado de base con una dosificación aproximada de 4 L/m² y se homogeniza.
- Se verifica el contenido de humedad con el densímetro nuclear para alcanzar $\pm 2\%$ de la humedad óptima de compactación.
- Se distribuye el cemento de forma manual, al colocar los sacos sobre la superficie del material de base granular, de acuerdo con la plantilla que permite obtener la dosificación de diseño.
- Se distribuye el cemento con la cuchilla de la motoniveladora sobre la superficie de la capa de base granular.
- Se mezcla del cemento con el material de base granular, al realizar cuatro movimientos de mezcla por medio de la formación de "camellones", que la motoniveladora forma en el centro y lados del camino para luego distribuirlos sobre la superficie del camino.
- Luego de observar una masa uniforme de material granular y cemento, se procede a realizar la distribución del material estabilizado en la calzada.
- Se conforma la calzada procurando cumplir con la sección transversa indicada en el Anexo 3.
- Se vuelve a verificar contenido de humedad y si es necesario se aplica riego adicional.
- Se realiza compactación con dos pasadas iniciales, sin vibración para amasado, dos pasadas con vibración y una pasada final para acabado.
- Se realiza verificación de compactación con del densímetro nuclear para cumplir con al menos 95% de la densidad máxima seca de Próctor Modificado.
- Se finaliza con un riego leve de agua para hidratación de la capa estabilizada.
- Se realiza curado con al menos dos riegos de agua diarios por siete días luego de la construcción.
- Se aplica sello de imprimación con emulsión asfáltica (1 L/m²) y material de secado (1 kg/m²).

Notas y observaciones

- El procedimiento constructivo se realizó con la presencia de personal del proveedor del producto estabilizador y empresa constructora que aportó de construcción.
- Durante el proceso constructivo se perforó la tubería de agua potable que pasa por el camino en dos sitios diferentes. Se procedió a solicitar la reparación correspondiente por parte del personal de la ASADA local.
- El sello de imprimación de aplicó una semana posterior a la finalización del tramo de prueba, período durante el cual se dio curado por medio de riego de agua.



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA



LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

Conformación de calzada y cunetas (17-01-2017)	
1  <p>17-01-2017 13-26</p>	5  <p>17-01-2017 13-26</p>
2  <p>17-01-2017 13-27</p>	6  <p>17-01-2017 13-29</p>
3  <p>17-01-2017 13-28</p>	7  <p>17-01-2017 13-28</p>

Distribución de base granular (17-01-2017)	
1	5
	
2	6
	
3	7
	
4	8
	

Riego de material de base granular (18-01-2017)



Homogenización del material de base granular



Distribución de sacos de 50 kg de Cemento Multibase-Holcim





UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA



LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

Mezclado de cemento con base granular (18-01-2017)



Homogenización de capa de base estabilizada



Muestreo de material base estabilizada con cemento y moldeo de pastillas para falla



Tel.: +506 2511-2500 | Fax: +506 2511-4440 | direccion.lanamme@ucr.ac.cr | www.lanamme.ucr.ac.cr

Dirección: LanammeUCR, Ciudad de la Investigación, Universidad de Costa Rica.

Código Postal: 11501-2060, San Pedro de Montes de Oca, San José, Costa Rica.

Compactación de la base estabilizada y riego adicional de agua (18-01-2017)



Verificación de densidad y contenido de humedad



Acabado final





ANEXO 8.4 Estimación de costos Tramo 2_ CEMENTO

TABLA DE ESTIMACIÓN DE COSTOS					
		Cantidad	Costo (₡)	Horas	Costo total (₡)
Mano de Obra	Peon	5	2 500,00	8	100 000,00
	Encargado de obra	1	5 000,00	8	40 000,00
	Operador Niveladora	1	4 687,50	8	37 500,00
	Operador Backhoe	1	4 062,50	8	32 500,00
	Operador Compactadora	1	3 750,00	2	7 500,00
	Chofer Vagoneta	1	2 500,00	4	10 000,00
	Chofer Tanque de Agua	1	3 125,00	4	12 500,00
	Chofer Camión	1	3 750,00	2	7 500,00
	Viaticos	1	400,00	76	30 400,00
Equipo		Cantidad	Costo (₡)	Horas	Costo total (₡)
	Niveladora 140H	1	50 000,00	8	400 000,00
	BackHoe	1	17 500,00	8	140 000,00
	Tanque de Agua (10 000 L)	1	7 800,00	4	31 200,00
	Vagoneta (9-11 m3)	8	17 800,00	4	569 600,00
	Compactador Vibratorio (3 ton)	1	30 000,00	2	60 000,00
	Camión (5 ton)	1	12 000,00	2	24 000,00
					1 224 800,00
Materiales		Cantidad	Costo (₡)	Horas	Costo total (₡)
	CEMENTO (saco 50 kg)	248,0	6 000,00	1	1 488 000,00
	Base granular grad. C	165,0	20 000,00	1	3 300 000,00
	Emulsión asfáltica CRS-1	1 100	350,00	1	385 000,00
	Material de secado	2,0	20 000,00	1	40 000,00
		0		0	0,00
		0		0	0,00
					5 213 000,00
Rubro	Costo (₡)				
Subtotal	6 715 700,00				
Produccion (m3)	165,00				
Costo	40 701,21				
Rubro	Porcentaje	Costo (₡)			
Verificación laboratorio	1%	407,01			
Imprevisto	3%	1 221,04			
Administracion oficina central	1%	407,01			
Utilidad	0,0%	0,00			
	c/m3	42 736,27			



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA



LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

ANEXO 8.5

Ensayos de laboratorio Tramo 2_CEMENTO

ANEXO 8.5

Resultados ensayos de compresión inconfiada Tramo 2_CEMENTO

No. Espécimen	Fecha Moldeo	Fecha Ensayo	Edad (días)	Diámetros D (mm)				Altura D (mm)				Relación L/D	Carga máxima (KN)	Carga máxima (Kgf)	Área (cm ²)	Presión máxima (Kg/cm ²)	Presión máxima Prom (Kg/cm ²)	Presión máxima Prom (MPa)
				1	2	3	Prom	1	2	3	Prom							
95-17	18/1/2017	25/1/2017	7	101,56	101,53	101,48	101,52	117,04	117,02	116,52	116,86	1,15	48,2	4915,0	80,95	60,72	61,78	6,1
95-17	18/1/2017	25/1/2017		101,46	101,53	101,59	101,53	116,5	116,61	117,15	116,75	1,15	49,9	5088,3	80,96	62,85		
95-17	18/1/2017	1/2/2017	14	101,26	101,35	101,5	101,37	116,89	116,95	116,79	116,88	1,15	69,8	7117,5	80,71	88,19	88,36	8,7
95-17	18/1/2017	1/2/2017		101,43	101,41	101,54	101,46	116,54	116,45	116,65	116,55	1,15	70,2	7158,3	80,85	88,54		
95-17	18/1/2017	15/2/2017	28	101,65	101,46	101,45	101,52	116,69	116,95	116,43	116,69	1,15	80,2	8178,0	80,95	101,03	114,20	11,2
95-17	18/1/2017	15/2/2017		101,44	101,45	101,45	101,52	116,51	116,62	116,72	116,69	1,15	101,1	10309,2	80,95	127,36		
95-17	18/1/2017	7/4/2017	79	101,4	101,51	101,36	101,52	116,97	116,41	116,41	116,69	1,15	70,9	7229,7	80,95	89,32	89,32	8,8
95-17	18/1/2017	7/4/2017		101,46	101,41	101,32	101,52	116,5	116,48	116,34	116,69	1,15	65,9	6719,823	80,95	83,02	83,02	8,1

Resumen de resultados

Edad (días)	No condicionado		Condicionado	
	kg/cm ²	MPa	kg/cm ²	MPa
7	61,8	6,1	-	-
14	88,4	8,7	-	-
28	114,2	11,2	-	-
79	89,3	8,8	83,0	8,1



ANEXO 8.6 Ensayos de campo Tramo 2_CEMENTO

Resumen de resultados de ensayos de campo					
Ensayo o parámetro de medición	Edad (días)	Punto, estacionamiento y lado de la vía			
		1	2	3	4
		0+025	0+050	0+075	0+097
		C	LD	LI	C
Densidad seca máxima promedio (kg/m ³)	Construcción	1783,3	1783,3	1778,0	1775,7
	9	1721,0	1763,7	1796,0	1806,7
	16	1752,0	1723,3	1704,3	1626,7
	33	1738,3	1763,3	1823,3	1706,3
	78	1754,0	1774,0	1752,0	1679,3
Contenido de humedad (%)	Construcción	12,4	10,6	10,6	13,1
	9	12,3	10,0	7,8	10,8
	16	8,4	7,0	6,1	10,4
	33	8,4	6,6	4,9	9,1
	78	9,7	7,9	9,0	11,6
Módulo de Superficie M ₀ promedio-LWD (MPa)	9	126,3	241,4	93,6	87,6
	16	240,4	283,3	206,8	165,9
	33	317,8	309,2	157,9	181,5
	62	217,4	359,0	190,7	136,6
	78	214,3	370,9	238,5	172,5



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA



LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

Anexo 8.7 Inspección Visual Tramo-2_CEMENTO
Ejecutado por la Unidad de Gestión Municipal, LanammeUCR

Inspección visual 28/06/2017 (05 meses)



Tel.: +506 2511-2500 | Fax: +506 2511-4440 | di_reccion.lanamme@ucr.ac.cr | www.lanamme.ucr.ac.cr

Dirección: LanammeUCR, Ciudad de la Investigación, Universidad de Costa Rica.

Código Postal: 11501-2060, San Pedro de Montes de Oca, San José, Costa Rica.



9



13



10



14



11



15



12



16





UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA



LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

Anexo 8.7 Inspección Visual Tramo-2_CEMENTO
Ejecutado por la Unidad de Gestión Municipal, LanammeUCR
Inspección visual 20/12/2017 (11 meses)





9



13



10



14



11



15



12



16





UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA



LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

Anexo 8.7 Inspección Visual Tramo-2_CEMENTO
Ejecutado por la Unidad de Gestión Municipal, LanammeUCR
Inspección visual 23/03/2018 (14 meses)





9



13



10



14



11



15



12



16





UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA



LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

Anexo 8.7 Inspección Visual Tramo-2_CEMENTO
Ejecutado por la Unidad de Gestión Municipal, LanammeUCR
Inspección visual 04/04/2019 (27 meses)





9



13



10



14



11



15



12



16





UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA



LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

Anexo 8.7 Inspección Visual Tramo-2_CEMENTO
Ejecutado por la Unidad de Gestión Municipal, LanammeUCR
Inspección visual 24/10/2019 (33 meses)





9



13



10



14



11



15



12



16





ANEXO 9.1. Resumen de información del producto estabilizador IÓNICO II.

Nombre	BioCEC
Distribuidor/Representante	Plexus Medellín, Colombia www.plexus.com.com, plexus@plexus.com.co Contacto en Costa Rica JGE Electric S.A./Rymel jge@jge.co.cr
Tipo de estabilizador	Estabilizador químico de suelos de acción iónica
Descripción del estabilizador, según el representante	<ul style="list-style-type: none"> • Estabilizador químico (iónico) de suelos, formulado con complejos ionizantes asociados a elementos intercambiadores, en un medio oleoso miscibles en agua, cuya función es sellar las partículas del suelo estabilizado. • Libera el agua retenida por adsorción química en las partículas de suelo, lo que permite el reemplazo por iones más fuertes y estables generados por el estabilizador. Anula la bipolaridad de las partículas, lo que permite estrecho contacto y reducir los espacios ocupados por el agua, que una vez libre puede ser evaporada y percolada. • Funciona mejor en suelos arcillosos y limosos con capacidad de intercambio iónico con al menos 5% de contenido arcilloso.
Usos recomendados por el representante	<ul style="list-style-type: none"> • Consolidación de caminos de suelo natural (nuevos o existentes). • Estabilización y mejoramiento de subrasantes, subbases y bases de suelo seleccionado para pavimentos. • Mejoramiento de terraplenes y tratamiento de suelos de préstamo que no cumplen especificaciones de proyecto. • Tratamiento de caminos rurales, vecinales, caminos de explotaciones mineras, petroleras, forestales, pistas de aeródromos, planteles de estacionamiento y rellenos.
Beneficios técnicos del producto estabilizador, según el representante	<ul style="list-style-type: none"> • Aumenta la densidad. • Aumenta el valor de CBR. • Aumenta la resistencia a la compresión. • Disminuye la expansión de los materiales. • Disminuye la plasticidad. • Aumenta la resistencia al agua. • Se puede combinar con otros estabilizadores como cemento o cal.
Beneficios económicos y funcionales del producto estabilizador, según el representante.	<ul style="list-style-type: none"> • Disminución en costos de ejecución de obra. • Disminución en costos de mantenimiento de los caminos. • Mejora la transitabilidad en época lluviosa o seca. • El suelo tratado puede ser escarificado para dar mantenimiento a la vía.
Dosificación/Rendimiento	<ul style="list-style-type: none"> • Rango general de 0,005 a 0,01 l/m² en capa de 15 cm de espesor • Se evalúa la reactividad para definir la dosificación específica.
Consideraciones constructivas especiales	<ul style="list-style-type: none"> • Retirar rocas de sobretamaño (mayores a 7,5 cm). • Se agrega el producto estabilizador en el agua de compactación. • Realizar curado con riegos de agua durante los 8 a 10 días posteriores a la estabilización.
Consideraciones ambientales	<ul style="list-style-type: none"> • Biodegradable • Totalmente dispersable en agua • No inflamable • No corrosivo • No produce vapores dañinos

Fuente: Adaptado de <https://www.plexus.com.co/> y documentación digital facilitada por el representante.

Tel.: +506 2511-2500 | Fax: +506 2511-4440 | di_reccion.lanamme@ucr.ac.cr | www.lanamme.ucr.ac.cr

Dirección: LanammeUCR, Ciudad de la Investigación, Universidad de Costa Rica.

Código Postal: 11501-2060, San Pedro de Montes de Oca, San José, Costa Rica.

ANEXO 9.2 Proceso constructivo Tramo 3_IÓNICO II (06-12-2016)

Procedimiento constructivo

Preparación (05-12-2016)

- Se realiza limpieza y conformación de cunetas no revestidas a ambos lados de la vía.
- Se escarifica, se homogeniza el material existente, se eliminan las partículas de sobretamaño y se conforma la calzada.
- Se procura conformar la calzada de acuerdo con la sección transversal especificada en el Anexo 3.

Estabilización (06-12-2016):

- Se disuelve el producto estabilizador en el tanque de agua a utilizar para el riego, de acuerdo con la dosificación de diseño establecida por el fabricante y/o distribuidor del producto. En este caso se utilizó un tanque de agua de 1 m³, entonces se puede disolver el producto en dos tanques de agua para lograr una mejor distribución cuando se aplica el riego. Lo anterior dependiendo del contenido de humedad natural del suelo, que debe verificarse antes de iniciar.
- Se escarifica la calzada con la motoniveladora en un espesor de capa de 0,15 m de material o suelo existente y un ancho promedio de 4,5 m.
- Se eliminan de forma manual las partículas de sobretamaño que se observan en la capa preparada para la estabilización.
- Se realiza el riego con el producto estabilizador disuelto en el tanque de agua.
- Se homogeniza con la motoniveladora la capa suelta de suelo con producto estabilizador.
- Se aplica un segundo riego para propiciar mejor distribución del producto y se vuelve a homogenizar con la motoniveladora.
- Se mezcla el suelo con el producto estabilizador por medio de la motoniveladora.
- Se verifica el contenido de humedad de la capa estabilizada previo a la compactación.
- Si es necesario se puede realizar riego adicional de agua sin producto estabilizador para alcanzar $\pm 2\%$ de la humedad óptima de Próctor.
- Se compacta la capa estabilizada, primero en modo de amasado sin vibración y luego al menos dos pasadas con vibración.
- Se distribuye piedra “cuarta” (TM = 25 mm) con una tasa de aplicación de entre 1 y 2 kg/m², para obtener textura superficial y evitar que la superficie quede muy lisa y resbalosa.
- Se realiza una pasada adicional de compactación para incrustar la piedra en la superficie de la capa estabilizada y dar acabado.
- Se realiza curado con riego de agua dos veces al día por siete días.

Notas y observaciones

- El procedimiento constructivo se realizó con la presencia de un representante de la empresa proveedora.
 - Durante el proceso constructivo del Tramo 3 se perforó la tubería de agua potable que pasa por el camino. Se procedió a solicitar la reparación correspondiente por parte del personal de la ASADA local.
-



Conformación de calzada y limpieza de cunetas



Escarificación de la calzada previamente conformada



Retiro de partículas de sobretamaño





UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA



LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

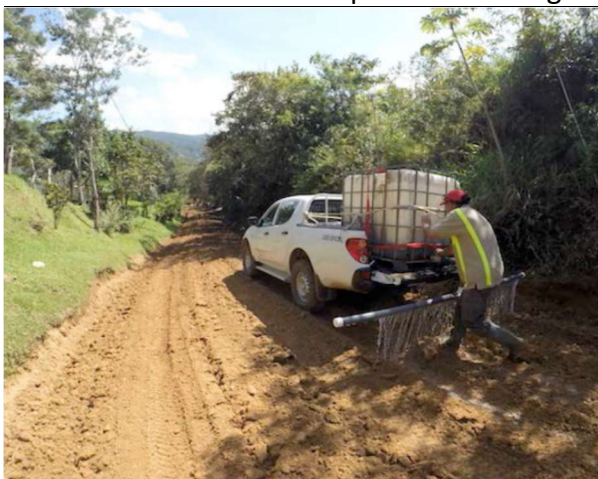
Disolución del producto IÓNICO II en el tanque de agua



Escarificación de la calzada previamente conformada



Aplicación de riego de agua con IÓNICO II





Mezclado y distribución del suelo



Muestreo de suelo y verificación de densidad



Proceso de compactación





UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA



LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

Verificación de densidad con el método nuclear



Distribución de piedra para textura superficial y compactación final



Acabado final



ANEXO 9.2 Proceso constructivo Tramo 4_IÓNICO II (07-12-2016)

Procedimiento constructivo

Preparación (06-12-2016):

- Se realiza limpieza y conformación de cunetas no revestidas a ambos lados de la vía.
- Se escarifica, se homogeniza el material existente, se eliminan las partículas de sobretamaño y se conforma la calzada.
- Se procura conformar la calzada de acuerdo con la sección transversal especificada en el Anexo 3.

Estabilización (07-12-2016):

- Se disuelve el producto estabilizador en el tanque de agua a utilizar para el riego, de acuerdo con la dosificación de diseño establecida por el fabricante y/o distribuidor del producto. En este caso se utilizó un tanque de agua de 1 m³, entonces se puede disolver el producto en dos tanques de agua para lograr una mejor distribución cuando se aplica el riego. Lo anterior dependiendo del contenido de humedad natural del suelo, que debe verificarse antes de iniciar.
- Se escarifica la calzada con la motoniveladora en un espesor de capa de 0,15 m de material o suelo existente y un ancho promedio de 4,5 m.
- Se eliminan de forma manual las partículas de sobretamaño que se observan en la capa preparada para la estabilización.
- Se realiza el riego con el producto estabilizador disuelto en el tanque de agua.
- Se homogeniza con la motoniveladora la capa suelta de suelo con producto estabilizador.
- Se aplica un segundo riego para propiciar mejor distribución del producto y se vuelve a homogenizar con la motoniveladora.
- Se mezcla el suelo con el producto estabilizador por medio de la motoniveladora.
- Se verifica el contenido de humedad de la capa estabilizada previo a la compactación.
- Si es necesario se puede realizar riego adicional de agua sin producto estabilizador para alcanzar $\pm 2\%$ de la humedad óptima de Próctor.
- Se compacta la capa estabilizada, primero en modo de amasado sin vibración y luego al menos dos pasadas con vibración.
- Se distribuye piedra "cuarta" (TM = 25 mm) con una tasa de aplicación de entre 1 y 2 kg/m², para obtener textura superficial y evitar que la superficie quede muy lisa y resbalosa.
- Se realiza una pasada adicional de compactación para incrustar la piedra en la superficie de la capa estabilizada y dar acabado.
- Se realiza curado con riego de agua dos veces al día por siete días.

Notas y observaciones

- El procedimiento constructivo se realizó con la presencia de un representante de la empresa proveedora.
-



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA



LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

Conformación de calzada y limpieza de cunetas



Escarificación de la calzada previamente conformada



Retiro de partículas de sobretamaño



Aplicación de riego de agua con IÓNICO II



Mezclado homogenización y distribución del suelo



Muestreo de suelo y verificación de densidad



Proceso de compactación



Distribución de piedra para textura superficial y compactación final



Acabado final





ANEXO 9.3 Estimación de costos Tramo 3 y 4_ IÓNICO II

TABLA DE ESTIMACIÓN DE COSTOS					
Mano de Obra	Peon	Cantidad	Costo (₡)	Horas	Costo total (₡)
		5	2 500,00	8	100 000,00
	Encargado de obra	1	5 000,00	8	40 000,00
	Operador Niveladora	1	4 687,50	8	37 500,00
	Operador Backhoe	1	4 062,50	8	32 500,00
	Operador Compactadora	1	3 750,00	2	7 500,00
	Chofer Vagoneta	1	2 500,00	4	10 000,00
	Chofer Tanque de Agua	1	3 125,00	4	12 500,00
	Chofer Camión	1	3 750,00	2	7 500,00
	Viaticos	1	400,00	76	30 400,00
					277 900,00
Equipo	Niveladora 140H	Cantidad	Costo (₡)	Horas	Costo total (₡)
		1	50 000,00	8	400 000,00
	BackHoe	1	17 500,00	8	140 000,00
	Tanque de Agua (10 000 L)	1	7 800,00	4	31 200,00
	Vagoneta (9-11 m3)	8	17 800,00	4	569 600,00
	Compactador Vibratorio (10 ton)	1	40 000,00	2	80 000,00
	Camión (5 ton)	1	12 000,00	2	24 000,00
					1 244 800,00
Materiales	PRODUCTO IÓNICO II (L)	Cantidad	Costo (₡)	Horas	Costo total (₡)
		12,0	70 800,00	1	849 600,00
	Piedra Cuarta (TM=25mm)	2,5	17 000,00	1	42 500,00
		0		0	0,00
		0		0	0,00
		0		0	0,00
					892 100,00
Rubro	Costo (₡)				
Subtotal	2 414 800,00				
Produccion (m3)	168,75				
Costo	14 309,93				
Rubro	Porcentaje	Costo (₡)			
Verificación laboratorio	1%	143,10			
Imprevisto	3%	429,30			
Administracion oficina central	1%	143,10			
Utilidad	0,0%	0,00			
	c/m3	15 025,42			



LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

ANEXO 9.4

Ensayos de laboratorio Tramo 3 y 4_ IÓNICO II



Resultados ensayos de compresión inconfiada Tramo 3 y 4_IÓNICO II

Ejecutados por el LanammeUCR

Tramo	No. Especimen	Fecha Moldeo	Fecha Ensayo	Edad (días)	Diámetros D (mm)				Diámetros D (mm)				Relación L/D	Area (cm ²)	Carga máxima (KN)	Presión máxima (MPa)	Presión máxima Prom (Mpa)	Carga máxima (Kgf)	Presión máxima (Kg/cm ²)	Presión máxima Prom (Kg/cm ²)
					1	2	3	Prom	1	2	3	Prom								
Tramo 3	2837-16	6/12/2016	13/12/2016	7	100,71	100,8	100,92	100,81	116,31	116,35	116,11	116,26	1,15	79,82	6,2	0,8	0,75	632,21	7,92	7,60
Tramo 3	2837-16	6/12/2016	13/12/2016	7	100,81	100,65	100,92	100,79	116,14	116,51	116,27	116,31	1,15	79,79	5,7	0,7		581,23	7,28	
Tramo 4	2856-16	7/12/2016	14/12/2016	7	100,56	99,76	100,08	100,13	116,1	115,19	114,83	115,37	1,15	78,75	4,3	0,5	0,58	438,47	5,57	5,90
Tramo 4	2857-16	7/12/2016	14/12/2016	7	100,04	99,99	99,97	100,00	113,87	113,61	113,61	113,70	1,14	78,54	4,8	0,6		489,46	6,23	
Tramo 3	2837-16	6/12/2016	9/1/2017	34	99,91	99,8	99,78	99,83	115,56	115,78	115,42	115,59	1,16	78,27	11,4	1,5	1,48	1162,46	14,85	15,14
Tramo 3	2837-16	6/12/2016	9/1/2017	34	99,54	99,61	99,86	99,67	115,11	115,4	115,42	115,31	1,16	78,02	11,8	1,5		1203,25	15,42	
Tramo 4	2856-16	7/12/2016	10/1/2017	34	98,56	98,99	98,86	98,80	113,29	113,38	113,31	113,33	1,15	76,67	8,1	1,1	1,25	825,957	10,77	12,77
Tramo 4	2858-16	7/12/2016	10/1/2017	34	98,34	98,29	98,44	98,36	112,67	112,71	112,11	112,50	1,14	75,98	11	1,4		1121,67	14,76	
Tramo 3	2837-16	6/12/2016	6/2/2017	62	99,98	99,74	99,52	99,75	115,44	115,71	115,92	115,69	1,16	78,14	11,5	1,5	1,62	1172,66	15,01	16,53
Tramo 3	2837-16	6/12/2016	6/2/2017	62	99,79	99,58	99,45	99,61	114,9	114,82	114,72	114,81	1,15	77,92	13,8	1,8		1407,19	18,06	
Tramo 4	2856-16	8/12/2016	8/2/2017	62	98,94	98,47	98,64	98,68	114,05	114,74	113,97	114,25	1,16	76,49	0,2	0,0	0,06	20,394	0,27	0,60
Tramo 4	2857-16	8/12/2016	8/2/2017	62	98,55	98,3	98,32	98,39	113,37	113,89	113,17	113,48	1,15	76,03	0,7	0,1		71,379	0,94	

Resumen de resultados

Edad (días)	kg/cm ²			MPa		
	Tramo 3	Tramo 4		Tramo 3	Tramo 4	
	No condicionado	No condicionado	Condicionado	No condicionado	No condicionado	Condicionado
7	7,60	5,90	-	0,75	0,58	-
34	15,14	12,77	-	1,48	1,25	-
62	16,53	-	0,60	1,62	-	0,06



ANEXO 9.5 Ensayos de campo Tramo 3 y 4_IÓNICO II

Ejecutados por el LanammeUCR

Resumen de resultados de ensayos de campo en Tramo 3_IÓNICO II							
Ensayo o parámetro de medición	Edad (días)	Punto, estacionamiento y lado de la vía					
		1	2	3	4	5	6
		0+025	0+055	0+065	0+082	0+085	0+100
		LI	LD	LD	LI	C	C
Densidad seca máxima promedio (kg/m ³)	Construcción			1677,0	1764,7		1505,7
	7	1652,0	1791,0			1811,0	
	36	1613,0	1954,0			1860,7	
	63	1609,7	1918,0			1868,3	
	93	1456,7	1820,0			1825,0	
Contenido de humedad (%)	Construcción			30,3	22,0		30,3
	7	21,3	19,0			16,6	
	36	17,7	10,6			11,9	
	63	15,5	11,4			11,5	
	93	25,9	15,6			13,6	
Módulo de Superficie M ₀ promedio-LWD (MPa)	7	131,2	20,8			33,8	
	36	132,0	230,0			245,0	
	63	108,5	142,0			227,5	
	93	100,2	171,7			320,3	

Resumen de resultados de ensayos de campo en Tramo 4_IÓNICO II												
Ensayo o parámetro de medición	Edad (días)	Punto, estacionamiento y lado de la vía										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
		0+020	0+025	0+050	0+070	0+075	0+100	0+125	0+142	0+160	0+177	0+185
		C	LD	LI	LD	LD	LC	LD	LI	LC	C	LD
Densidad seca promedio (kg/m ³)	Construcción	1593,0			1605,0				1336,3		1269,3	
	7		1573,3	1670,0		1687,7	1777,3	1635,0				
	36		1704,3	1650,7		-	1820,0	1696,5		1667,0		1455,0
	63		1562,3	1637,3		1676,7	1912,3	1768,0		1638,3		1462,7
	93		1561,3	1672,3		1760,3	1906,3	1771,0		1621,0		1503,7
Contenido de humedad promedio (%)	Construcción	25,9			27,6				34,1		38,3	
	7		21,4	19,1		19,4	18,6	22,8				
	36		18,1	20,3		-	15,7	21,4		19,8		24,1
	63		21,3	17,5		14,2	9,6	14,4		18,0		20,0
	93		19,8	15,2		14,6	8,6	11,9		17,7		18,7
Módulo de Superficie M ₀ promedio-LWD (MPa)	7		55,6	58,3		51,2	17,3	18,8		21,5		38,4
	36		90,0	60,8		65,8	382,0	371,3		154,0		92,2
	63		95,2	60,3		66,5	74,6	172,5		138,8		73,9



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA



LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

Anexo 9.6.1 Inspección Visual Tramo-3_IÓNICO II
Ejecutados por La Unidad de Gestión Municipal, LanammeUCR
Inspección visual 28/06/2017 (6 meses)





9



13



10



14



11



15



12



16





UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA



LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

Anexo 9.6.1 Inspección Visual Tramo-3_IÓNICO II
Ejecutados por La Unidad de Gestión Municipal, LanammeUCR
Inspección visual 20/12/2017 (12 meses)





9



13



10



14



11



15



12



16





UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA



LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

Anexo 9.6.1 Inspección Visual Tramo-3_IÓNICO II
Ejecutados por La Unidad de Gestión Municipal, LanammeUCR
Inspección visual 23/03/2018 (15 meses)





9



13



10



14



11



15



12



16





UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA



LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

Anexo 9.6.1 Inspección Visual Tramo-3_IÓNICO II
Ejecutados por La Unidad de Gestión Municipal, LanammeUCR
Inspección visual 04/04/2019 (28 meses)





9



13



10



14



11



15



12



16





UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA



LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

Anexo 9.6.1 Inspección Visual Tramo-3_IÓNICO II
Ejecutados por La Unidad de Gestión Municipal, LanammeUCR
Inspección visual 25/10/2019 (34 meses)





9



13



10



14



11



15



12



16





UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA



LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

Anexo 9.6.2 Inspección Visual Tramo-4_ IÓNICO II
Ejecutados por La Unidad de Gestión Municipal, LanammeUCR
Inspección visual 28-06-2017 (6 meses)





9



13



10



14



11



15



12



16





UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA



LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

Anexo 9.6.2 Inspección Visual Tramo-4_ IÓNICO II
Ejecutados por La Unidad de Gestión Municipal, LanammeUCR
Inspección visual 20-12-2017 (12 meses)





9



13



10



14



11



15



12



16





UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA



LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

Anexo 9.6.2 Inspección Visual Tramo-4_ IÓNICO II
Ejecutados por La Unidad de Gestión Municipal, LanammeUCR
Inspección visual 23-03-2018 (15 meses)





9



13



10



14



11



15



12



16



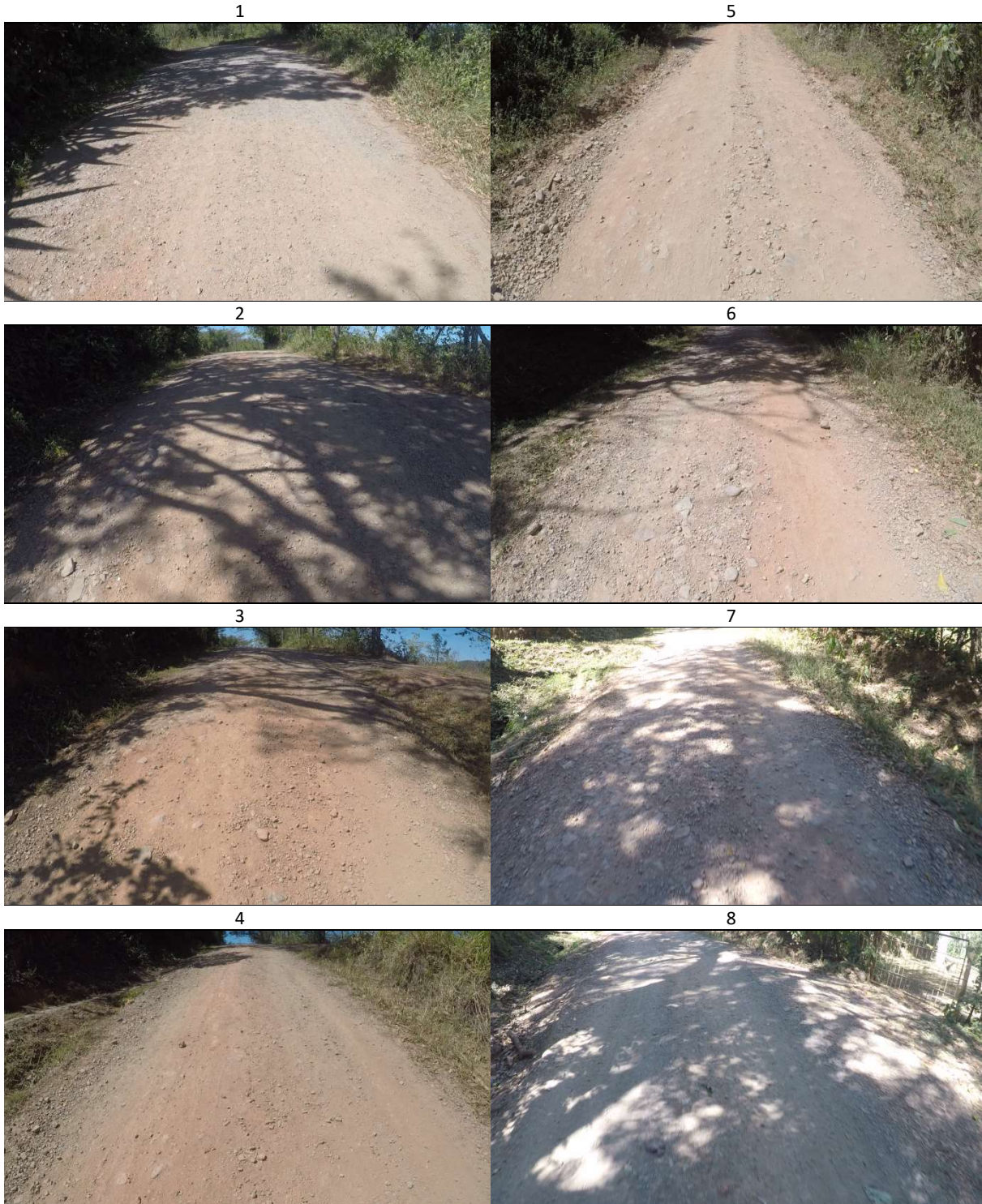


UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA



LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

Anexo 9.6.2 Inspección Visual Tramo-4_ IÓNICO II
Ejecutados por La Unidad de Gestión Municipal, LanammeUCR
Inspección visual 04-04-2019 (28meses)





9



13



10



14



11



15



12



16





UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA



LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

Anexo 9.6.2 Inspección Visual Tramo-4_ IÓNICO II
Ejecutados por La Unidad de Gestión Municipal, LanammeUCR
Inspección visual 25-10-2019 (34meses)





9



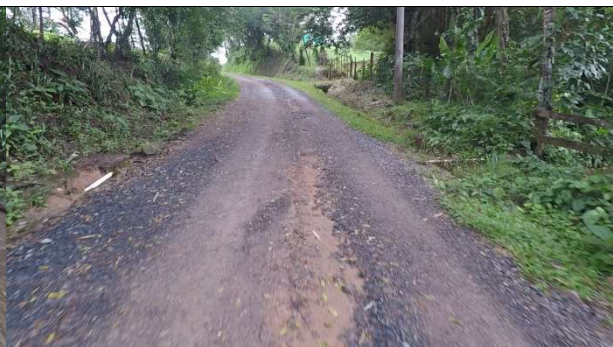
13



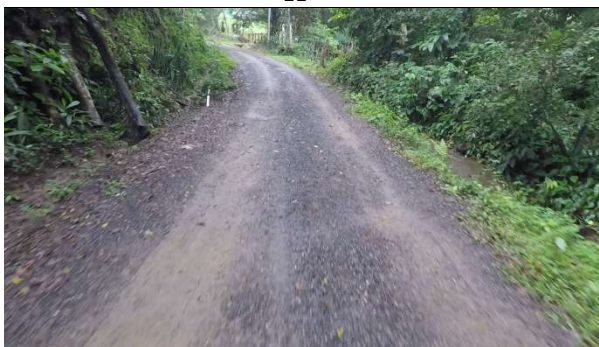
10



14



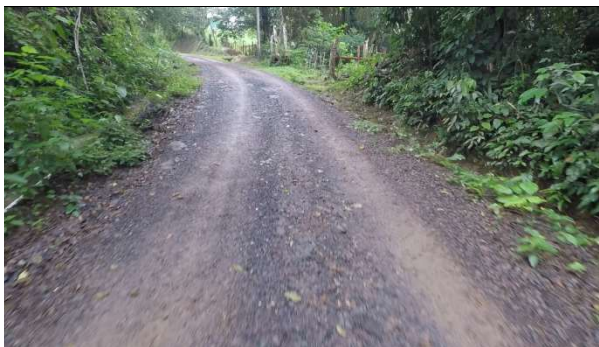
11



15



12



16





ANEXO 10.1 Resumen de información del producto estabilizador POLÍMERO-IO

Nombre	Compact-XT Dry & Compact-XT Liquid
Distribuidor/Representante	ESCESA Estabilizadora Centroamericana S.A. www.escesa.com
Tipo de estabilizador	Estabilizador polimérico de dos componentes
Descripción del estabilizador, según el representante	<ul style="list-style-type: none"> • Compact-XT es un sistema de estabilización e impermeabilización de suelos de alta tecnología, de larga duración y de fácil aplicación que permite importantes ahorros, porque lleva la capacidad de compactación del suelo a un estado totalmente irreversible. • Compact-XT es una solución integrada que incluye análisis de laboratorio, asesoramiento profesional y supervisión durante la aplicación del producto.
Usos recomendados por el representante	<ul style="list-style-type: none"> • Cualquier tipo de suelo cohesivo o semi cohesivo. • Cualquier tipo de camino, carretera, parqueo, relleno.
Beneficios técnicos del producto estabilizador, según el representante	<ul style="list-style-type: none"> • Activa fuerzas cohesivas del suelo y reduce la influencia del agua. • Uso del 75% al 100% del suelo disponible en el sitio, lo que genera ahorro en extracción y retirada de material y aportación. • La mejora de las propiedades y sustentación del suelo es permanente. • Impermeabilización por hidrofugación y muy baja capilaridad. • Firmeza y estabilidad creciente del suelo tratado (mayor durabilidad). • Mejora de la capacidad de carga de hasta 3 a 5 veces. • Flexibilidad estructural y capacidad de absorber la vibración del tráfico. • Permite reducir espesor de capas del pavimento. • Fácil aplicación con equipos y maquinaria existente. • Acceso al tráfico en pocos minutos después de finalizar la estabilización, sin fragua ni secado.
Beneficios económicos y funcionales del producto estabilizador, según el representante.	<ul style="list-style-type: none"> • Ahorro de entre 40% a 60% desde la preparación, construcción y mantenimiento de los caminos. • Eliminación del 100% del costo de extracción y retirada de material. • Eliminación de 100% del costo de aportación de materiales de subbase. • Reducción del 50% al 100% del costo de aportación de materiales de base. • Reducción entre 50% y 80% del costo de construcción de materiales de base y subbase. • Reducción en el espesor de capa asfáltica de ruedo de hasta 50%. • Reducción del costo de mantenimiento de 80% a 90%.
Dosificación/Rendimiento	<ul style="list-style-type: none"> • Se define a partir del análisis del suelo a estabilizar para cada uno de los componentes del sistema estabilizador y agregados de aporte si es necesario (piedra y/o arena), para capas de 20 a 30 cm de espesor. • De manera general: Compact-XT Liquid de 0,2 a 0,5 L/m² y Compact-XT Dry 4 a 5 kg/m² en una capa de suelo de 25 cm de espesor.
Consideraciones constructivas especiales	<ul style="list-style-type: none"> • Debido a las bajas dosificaciones de los componentes del producto se debe contar con maquinaria adecuada como dosificadores de agua, dosificadores de sólidos, mezcladores o estabilizadores de suelos.
Consideraciones ambientales	<ul style="list-style-type: none"> • Completamente miscible en agua y no inflamable en condiciones normales. • Evitar el contacto con los ojos, la piel o la ropa y no ingerir. • No es un producto peligroso, pero mejor evitar escurrir en cunetas, aguas superficiales o subterráneas, porque puede ser tóxico para organismos acuáticos.

Fuente: Adaptado de <https://www.escesa.com/> y documentos físicos y digitales facilitada por el representante.



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA



LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

ANEXO 10.2

Diseño de la estabilización Tramo 5_POLÍMERO-IO

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE LABORATORIO PARA LA APLICACIÓN DEL SISTEMA COMPACT-XT DE ESTABILIZACIÓN E IMPERMEABILIZACIÓN DE SUELOS

MUESTRA 599-17 22/03/2017

Corresponde a la muestra de material recibido procedente de la Municipalidad de **Mora, Costa Rica**, para estabilizar un **Camino**

Peso en húmedo (gr)	535
Peso en seco (gr)	493
Diferencia en gr.	42
Reducción en %	7,85%
Altura (mm) en húmedo	99,83
Volumen (cm3) en húmedo	237,20
Densidad (kg/m3) húmedo	2256
Altura (mm) en seco	98,72
Diámetro (mm) en seco	55,14
Volumen (cm3) en seco	235,74
Densidad (kg/m3) en seco	2091
Reducción superficie en %	0,61%

1.- DOSIFICACIÓN RECOMENDADA

El sistema de elaboración de las pruebas de laboratorio para la determinación del resultado óptimo de aplicación del Sistema COMPACT-XT, se realiza mediante variaciones en la proporción de los componentes del propio terreno. Los porcentajes estudiados nos determinarán las adiciones en materiales que nos ofrecerán los mejores resultados finales en la estabilización del terreno.

De las dosificaciones estudiadas en este caso, la que muestra mejores resultados es la siguiente:

Prueba Muestra	40% tierra muestra + 15% grava + 45% arena
-----------------------	--

2.- VALORES DE REFERENCIA

La aplicación de los aditivos del Sistema COMPACT-XT al terreno nos aporta los siguientes datos de interés.

- **Humedad óptima para la compactación:**

Muestra	7,85%
----------------	-------

Este es el nivel de humedad que debería tener dicho terreno en el momento de realizar la compactación. De esta forma, obtendríamos el máximo nivel de compactación.

- **Densidad de compactación:**

Muestra	2091 kg/m ³
----------------	------------------------

Esta sería la máxima densidad de compactación que obtendríamos de este terreno tras realizar la compactación in situ del mismo. La máxima densidad de compactación se obtendría mediante la fórmula de trabajo correspondiente a la Muestra, siempre que la compactadora alcance una presión entre 45/50 kgs/cm².

- **Reducción de superficie:**

Muestra	0,61 %
----------------	--------

Este valor nos indica la existencia de un cierto nivel de contracción del terreno una vez compactado y tras el secado natural del terreno tratado. El valor viene determinado por la diferencia entre las medidas tomadas de la muestra en húmedo frente a las medidas obtenidas tras el secado natural.

Prueba	Volumen en húmedo	Volumen en seco	Reducción de
Muestra	237,20 cm ³	235,74 cm ³	0,61 %

Estos valores denotan unos resultados óptimos ya que el test no ha pasado del 3% que es el máximo aceptable.

3.- VALORES DE IMPERMEABILIDAD

Las medidas tomadas mediante los ensayos, nos indican los valores de absorción de agua del terreno tratado una vez secado. Nuestros valores de referencia se encuentran en el límite del máximo 6% de absorción de agua. Las absorciones iniciales de agua superiores a dicho porcentaje nos obligarán a modificar las fórmulas de trabajo para que aumente el resultado de impermeabilidad. Por debajo del 6% podemos dar la consideración al terreno tratado como altamente impermeable y resistente a posteriores factores climatológicos.

Las pruebas de impermeabilidad se realizan mediante la inmersión de la muestra en agua sin que exista confinamiento. De esta forma realizamos un verdadero ensayo sobre las capacidades de mantenimiento de las condiciones de estabilidad del terreno ante condiciones extremas. La muestra se mantiene sumergida en agua durante un periodo de 4 días. Periodo en el que se muestra suficientemente que no existen aumentos en la saturación.

Peso inicial en seco (gr)	493
Peso 1er día (gr)	511
Peso 2° día (gr)	513
Peso 3er día (gr)	514
Peso 4° día (gr)	514
Incremento en gr.	21
Incremento en %	4,26%
Ascenso capilar en mm	8

- **Porcentaje de incremento en peso:**

Muestra	4,26 %
----------------	--------

Este porcentaje implica que el nivel de absorción de agua del terreno asciende un 4,26% de su peso inicial seco. Esto explica el nivel de impermeabilidad inicial de la muestra. Los niveles iniciales de permeabilidad irán siendo modificados paulatinamente con el paso del tiempo y las cargas soportadas, de forma que las reacciones internas del propio sistema con el terreno irán conduciendo hacia un mayor nivel paulatino de impermeabilidad.

El valor de impermeabilidad es considerado CORRECTO.

- **Ascenso capilar:**

Muestra	8 mm
----------------	------

Este dato nos indica la ascensión capilar que tendrá el terreno tratado en condiciones de saturación no confinada. Esta prueba realizada con la inmersión de la muestra en agua, refiere valores que nos indicarán que en capas superiores a esa medida, no se producirán ascensos capilares que puedan llevar a la saturación de todo el terreno.

El nivel de impermeabilidad es considerado CORRECTO.

4.- ANÁLISIS VISUAL DE LA MUESTRA

El análisis visual de la muestra resulta indicativo de los resultados visuales y estéticos del terreno tratado. Asimismo, nos indica si existe pérdida de material inicial al mantener el terreno estabilizado sumergido en agua sin confinamiento. El análisis visual se realiza en el momento de extracción del agua de la muestra, tras 4 días de inmersión.

FOTOGRAFÍA TOMADA DE LA MUESTRA



- **Ascensos capilares:** En la muestra se observan los niveles de ascenso capilar. La medida de dichos ascensos se realiza desde la línea de inmersión hasta el nivel más alto observado.
- **Estado físico:** Se observa la existencia o no de pérdidas de material en la zona inferior de las muestras, lo cual denota el nivel de cohesión del material en condiciones de inmersión.

Muestra	No hay pérdidas significativas de material
---------	--

5.- OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES DEL TRATAMIENTO

Los diferentes test han sido efectuados con las siguientes proporciones de nuestro Sistema Compact-XT:

Sistema Compact-XT	1,2% COMPACT-XT sólido 1.0 + 0,15% COMPACT-XT 2.0 liq
--------------------	---

La comparación de los distintos valores obtenidos en todo el análisis nos llevaría a recomendar la fórmula de trabajo correspondiente a la prueba.

Los resultados obtenidos tras la estabilización del terreno mediante el Sistema COMPACT-XT pueden considerarse muy adecuados, dada la densidad de compactación obtenida y el buen nivel de impermeabilidad.

ESCESA SIEMPRE RECOMIENDA proteger la inversión de este trabajo de compactación con un ligero recubrimiento asfáltico.



ANEXO 10.3 Proceso constructivo Tramo 5_POLÍMERO-IO

Procedimiento constructivo

Transporte (18-06-2017):

- Se transporta al camino la cantidad de material granular (arena y piedra) indicado en el diseño. Se transportaron al sitio 30 m³ de arena y 20 m³ de grava.
- Se transporta al sitio el producto estabilizador que se compone de dos partes: *Estabilizador Líquido* (es estañones plásticos de 120 L) y *Estabilizador Sólido* (en sacos tipo BigBag de 1 m x 1 m x 0.90 m).

Preparación y estabilización (19-06-2017):

- Se realiza limpieza y conformación de las cunetas no revestidas a ambos lados de la vía.
- Se escarifica con la motoniveladora un espesor de 8 a 10 cm de la capa de suelo existente en el camino.
- Se homogeniza el suelo con el rotomezclador para deshacer grumos y soltar las partículas de suelo.
- Se retiran las partículas de sobretamaño que se observen sueltas en la capa de suelo homogenizada.
- Se disuelve el producto *Estabilizador Líquido* en el agua de riego y se aplica con el tanque de agua sobre la capa de suelo homogenizada.
- Se realizan cuatro pasadas del rotomezclador para homogenizar el suelo con el producto mezclador *Estabilizador Líquido*.
- Se distribuye el producto mezclador *Estabilizador Sólido* sobre la capa de suelo, para esto se utiliza el backhoe para sostener el saco en altura y se va balanceando conforme avanza, para hacer salir el polvo estabilizador por una abertura hecha al saco en la parte inferior. Se procura una distribución homogénea lo más cerca del suelo posible.
- Se homogeniza el suelo con el producto *Estabilizador Sólido* por medio del rotomezclador al realizar cuatro pasadas.
- Se distribuye la arena y piedra sobre la capa de suelo estabilizada por medio del backhoe.
- Se vuelve a homogenizar el suelo estabilizado y el material granular, primero realizando una pasada de escarificación con la motoniveladora y luego cuatro pasadas del rotomezclador.
- Se realizan ajustes de conformación con la motoniveladora para obtener la sección transversal especificada en el Anexo 3, con pendiente transversal de 4% a 6%.
- Se verifica el contenido de humedad de la capa estabilizada respecto a un $\pm 2\%$ de la humedad óptima de Próctor.
- Se realiza riego adicional de agua si es necesario.
- Se compacta la capa estabilizada, primero con una pasada sin vibración para amasado y luego al menos tres pasadas de compactación vibratoria.
- Se realiza curado con riego de agua dos veces al día por siete días.

Notas y observaciones

- El procedimiento constructivo se realizó con la presencia del personal de la empresa proveedora del producto estabilizador.
- Se presentaron lluvias leves hacia el final del proceso constructivo, durante el proceso de compactación final.

Conformación de calzada y limpieza de cuentas



Escarificación de la calzada



Homogenización del suelo existente (tractor rotomezclador)





UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA



LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

Disolución del producto *Estabilizador Líquido* en Tanque de Agua



Riego del agua con producto *Estabilizador Líquido*



Homogenización del suelo y producto *Estabilizador Líquido* (rotomezclador)



Tel.: +506 2511-2500 | Fax: +506 2511-4440 | direccion.lanamme@ucr.ac.cr | www.lanamme.ucr.ac.cr

Dirección: LanammeUCR, Ciudad de la Investigación, Universidad de Costa Rica.

Código Postal: 11501-2060, San Pedro de Montes de Oca, San José, Costa Rica.



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA

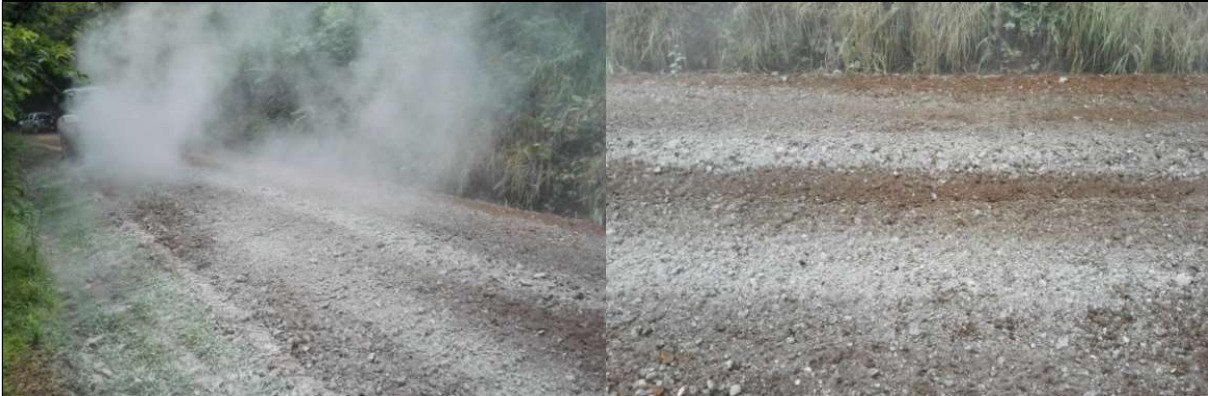


LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

Aplicación de producto *Estabilizador Sólido*



Homogenización de suelo con *Estabilizador Sólido* (rotomezclador)



Distribución de arena y piedra



Tel.: +506 2511-2500 | Fax: +506 2511-4440 | direccion.lanamme@ucr.ac.cr | www.lanamme.ucr.ac.cr

Dirección: LanammeUCR, Ciudad de la Investigación, Universidad de Costa Rica.

Código Postal: 11501-2060, San Pedro de Montes de Oca, San José, Costa Rica.



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA



LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

Mezclado inicial de suelo, arena, piedra (niveladora)



Homogenización de la capa a estabilizar (tractor rotomezclador)



Proceso de compactación





UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA



LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

Verificación de densidad de compactación



Acabado final





ANEXO 10.4 Estimación de costos Tramo 5_ POLÍMERO-IO

TABLA DE ESTIMACIÓN DE COSTOS					
		Cantidad	Costo (¢)	Horas	Costo total (¢)
Mano de Obra	Peon	5	2 500,00	8	100 000,00
	Encargado de obra	1	5 000,00	8	40 000,00
	Operador Niveladora	1	4 687,50	8	37 500,00
	Operador Backhoe	1	4 062,50	8	32 500,00
	Operador Compactadora	1	3 750,00	2	7 500,00
	Chofer Vagoneta	1	2 500,00	4	10 000,00
	Chofer Tanque de Agua	1	3 125,00	4	12 500,00
	Chofer Camión	1	3 750,00	2	7 500,00
	Viaticos	1	400,00	76	30 400,00
Equipo		Cantidad	Costo (¢)	Horas	Costo total (¢)
	Niveladora 140H	1	50 000,00	8	400 000,00
	BackHoe	1	17 500,00	8	140 000,00
	Rotomezclador (con operador)	1	125 000,00	8	1 000 000,00
	Tanque de Agua (10 000 L)	1	7 800,00	4	31 200,00
	Vagoneta (9-11 m3)	8	17 800,00	4	569 600,00
	Compactador Vibratorio (10 ton)	1	40 000,00	2	80 000,00
	Camión (5 ton)	1	12 000,00	2	24 000,00
					2 244 800,00
Materiales		Cantidad	Costo (¢)	Horas	Costo total (¢)
	POLÍMERO-IO (m2)	880	5 605,00	1	4 932 400,00
	Piedra Cuarta (TM=25mm)	40	17 000,00	1	680 000,00
	Arena fina	60	15 000,00	1	900 000,00
		0		0	0,00
		0		0	0,00
					6 512 400,00

Rubro	Costo (¢)
Subtotal	9 035 100,00
Produccion (m3)	176,00
Costo	51 335,80

Rubro	Porcentaje	Costo (¢)
Verificación laboratorio	1%	513,36
Imprevisto	3%	1 540,07
Administracion oficina central	1%	513,36
Utilidad	0,0%	0,00
	¢/m3	53 902,59



ANEXO 10.5

Ensayos de laboratorio Tramo 5_POLÍMERO-IO

Resultados de ensayos de compresión inconfina Tramo 5_POLÍMERO-IO

Tramo	No. Especimen	Fecha Moldeo	Fecha Ensayo	Edad (días)	Diámetro D (mm)				Altura L (mm)				Relación L/D	Area (cm ²)	Carga máxima (KN)	Presión máxima (MPa)	Presión máxima Prom (Mpa)	Carga máxima (Kgf)	Presión máxima (Kg/cm ²)	Presión máxima Prom (Kg/cm ²)	Condicionado
					1	2	3	Prom	1	2	3	Prom									
Tramo 5	1035-17	19/6/2017	27/6/2017	8	101,52	101,13	101,33	101,33	115	116,23	116,22	115,82	1,14	80,64	7,3	0,9	0,99	744,38	9,23	10,12	NO
Tramo 5	1035-17	19/6/2017	27/6/2017	8	101	101,22	101,55	101,26	116,34	116,23	116,68	116,42	1,15	80,53	8,7	1,1		887,14	11,02		NO
Tramo 5	1035-17	19/6/2017	19/7/2017	30	100,8	100,66	100,9	100,79	116,01	116,14	116,2	116,12	1,15	79,78	5,2	0,7	0,74	530,24	6,65	7,53	NO
Tramo 5	1035-17	19/6/2017	19/7/2017	30	100,83	100,96	100,8	100,86	116,43	116,55	116,4	116,46	1,15	79,90	6,6	0,8		673,00	8,42		NO
Tramo 5	1035-17	19/6/2017	23/8/2017	65	100,91	100,98	101,09	100,99	116,1	116,32	116,41	116,28	1,15	80,11	7,1	0,9	0,73	723,987	9,04	9,04	NO
Tramo 5	1035-17	19/6/2017	24/8/2017	66	100,7	100,24	100,85	100,60	116,22	116,62	116,61	116,48	1,16	79,48	4,5	0,6		458,865	5,77	5,77	SI
Tramo 5	1035-17	19/6/2017	19/9/2017	92	101,02	100,98	101,16	101,05	116,25	116,05	116,39	116,23	1,15	80,20	9,1	1,1	0,84	927,927	11,57	11,57	NO
Tramo 5	1035-17	19/6/2017	19/9/2017	92	101,14	101,22	100,46	100,94	116,19	115,92	116,1	116,07	1,15	80,02	4,3	0,5		438,471	5,48	5,48	SI

Resumen de resultados

Edad (días)	No condicionado		Condicionado	
	kg/cm ²	MPa	kg/cm ²	MPa
8	10,12	1,0		
30	7,53	0,7		
65	9,04	0,9	5,77	0,57
92	11,57	1,13	5,48	0,54



No. de informe: I-0836-17

Informe de Ensayo

RC-80 v.08 (Sistema de Gestión de Calidad, LanammeUCR. Norma INTE ISO/IEC 17025:2005)

ST-0829-17

1. Información del cliente:

Nombre: Unidad de Gestión Municipal.

Proyecto: Municipalidad de Piedras Negras de Mora.

Domicilio: 400 metros norte de Muñoz y Nanne, San Pedro, Montes de Oca, San José.

2. Método de ensayo:

IT-GC-01 (ASTM D 422) (**)
Método de ensayo para el análisis de tamaño de partículas de suelo (vía seca y húmeda).

IT-GC-04 (ASTM D 854) (*)
Procedimiento para determinar la gravedad específica del suelo mediante un picnómetro con agua.

IT-GC-05 (ASTM D 4318) (*)
Procedimiento para determinar el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de un suelo.

IT-GC-06 (AASHTO T 99) (*)
Procedimiento estandar de ensayo para la relación densidad-humedad de suelos usando un mazo de 2,5 kg y una caída de 305 mm

IT-GC-08 (AASHTO T 193) (*)
Método estándar de ensayo para determinar el índice de soporte de California (CBR).



(*) Ensayo acreditado. Ver alcance en www.eca.or.cr.
(**) Ensayo no acreditado.

3. Información de las muestras o especímenes de ensayo:

No. de identificación:	Descripción:
1084-17	2 Sacos con material rasante de aproximadamente 100 kg, suelo rasante existente sin producto estabilizador. Identificados por el cliente como: Mora sin aditivo est.#1 y sin aditivo est. #2.





No. de informe: I-0836-17

1085-17

3 Sacos con material rasante de aproximadamente 150 kg, suelo rasante existente mezclado con estabilizador, arena y piedra cuarta. Identificados por el cliente como: Mora con aditivo arena y piedra #1, con aditivo arena y piedra #2, con aditivo y piedra #3.

Aportadas por:

Ing. Alonso Ulate.

Fecha de recepción:

2017/06/26

Fecha de realización del ensayo:

2017/08/11-2017/08/28

4. Información del muestreo:

Fecha de muestreo:

2017/06/20

Ubicación del muestreo:

Camino Piedras Negras-El Pito Jaris, Cantón de Mora.

Procedimiento de muestreo:

Muestreo de agregado realizado por la Unidad de Gestión Municipal de acuerdo a la norma ASTM D-75. Personal responsable de las muestras: Ing. Alonso Ulate.

Condiciones ambientales:

No aplica pues en el laboratorio los especímenes se acondicionan.

5. Resultados:

Tabla 1 . Límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de un suelo, muestras indicadas.

MUESTRA	LÍMITE LÍQUIDO	LÍMITE PLÁSTICO	ÍNDICE PLÁSTICIDAD
1084-17	47	29	18
1085-17	35	25	10

Nota:

- Las muestras fueron acondicionadas por el método de preparación seco.
- Procedimiento por el cual fue determinado el límite líquido, es por el método A, método multipunto.

Tabla 2. Gravedad específica del suelo, muestras indicadas.

MUESTRA	MÉTODO	G _T	G _S
1084-17	B	2,692	2,691
1085-17	B	2,622	2,620





No. de informe: I-0836-17

Tabla 3. Análisis granulométrico de suelos vía seca, muestra: 1084-17.

MASA INICIAL: 4927 g MASA FINAL: 2234 g

MALLA No.	ABERTURA (mm)	MASA RET.	% RET.	% RET AC.	% PAS.
2"	50,0	0,00	0,00	0,00	100
1 1/2"	37,5	181	3,67	3,67	96,3
1"	25,0	156	3,17	6,84	93,2
3/4"	19,0	116	2,36	9,20	90,8
1/2"	12,5	212	4,31	13,5	86,5
3/8"	9,50	124	2,53	16,0	84,0
Nº 4	4,75	382	7,75	23,8	76,2
Nº 10	2,00	340	6,90	30,7	69,3
Nº 20	0,85	231	4,69	35,4	64,6
Nº 40	0,43	148	3,01	38,4	61,6
Nº60	0,25	107	2,17	40,5	59,5
Nº100	0,15	109	2,22	42,8	57,2
Nº140	0,11	69,8	1,42	44,2	55,8
Nº200	0,08	56,8	1,15	45,3	54,7

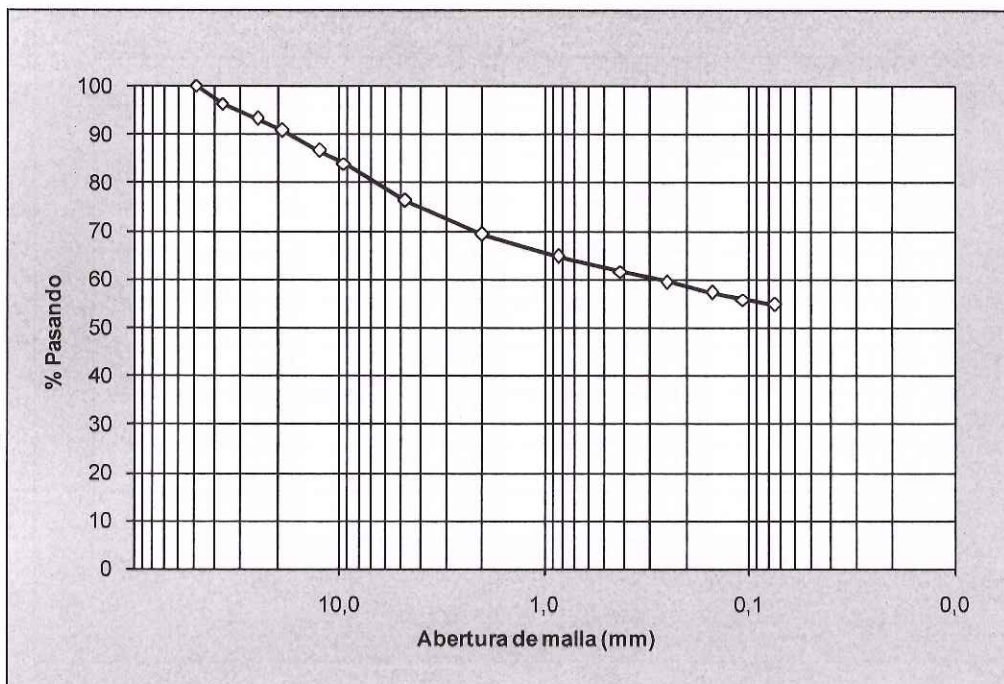


Gráfico 1. Curva granulométrica, muestra: 1084-17.



No. de informe: I-0836-17

Tabla 4. Análisis granulométrico de suelos vía seca, muestra: 1085-17.

MASA INICIAL: 6350 g MASA FINAL: 4649 g

MALLA No.	ABERTURA (mm)	MASA RET.	% RET.	% RET AC.	% PAS.
2"	50,0	0,00	0,00	0,00	100
1 1/2"	37,5	227	3,57	3,57	96,4
3/4"	19,0	275	4,32	7,89	92,1
1/2"	12,5	694	10,9	18,8	81,2
3/8"	9,50	311	4,89	23,7	76,3
Nº 4	4,75	324	5,10	28,8	71,2
Nº 10	2,00	1000	15,7	44,6	55,4
Nº 20	0,85	748	11,8	56,3	43,7
Nº 40	0,43	417	6,57	62,9	37,1
Nº60	0,25	249	3,93	66,8	33,2
Nº100	0,15	205	3,23	70,1	29,9
Nº140	0,11	107	1,69	71,8	28,2
Nº200	0,08	92,9	1,46	73,2	26,8

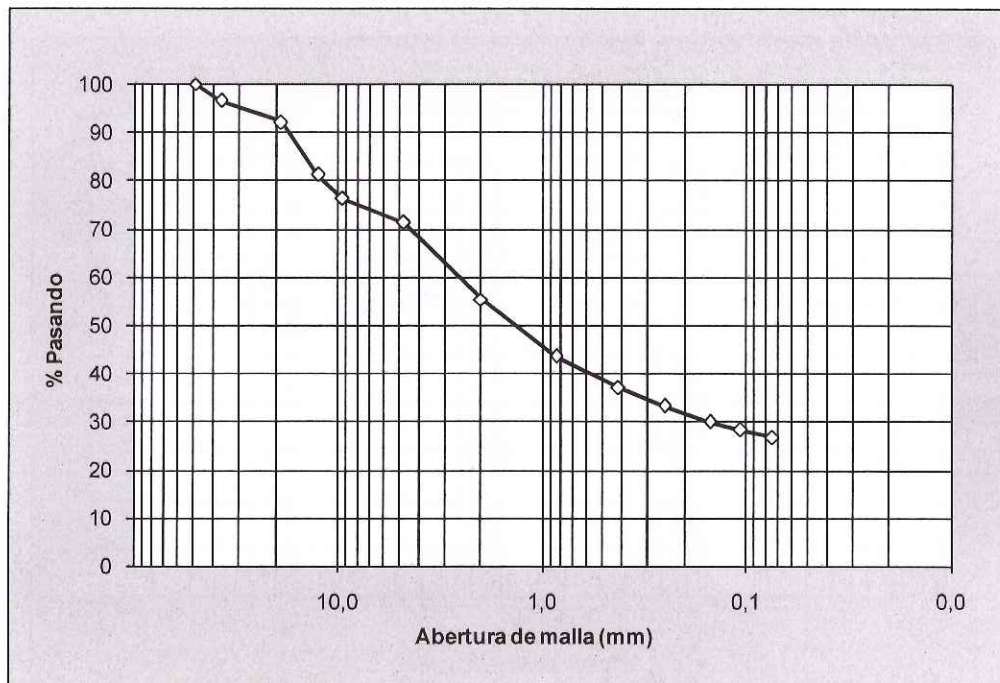


Gráfico 2. Curva granulométrica, muestra: 1085-17.



No. de informe: I-0836-17

Tabla 5. Resultados próctor estándar, muestra: 1084-17.

RESULTADOS	
Ensayo	Próctor Estándar
Método	C
Contenido de agua óptimo	23,0%
Densidad seca máxima estándar	1530 kg/m ³
Forma de la superficie	Circular
Densidad máxima ajustada	1648 kg/m ³
Humedad óptima corregida	19,31%
Corrección sobretamaño	17,4%
Gravedad específica bruta (Gbs)	2,600

Nota:

-Se utiliza el valor de gravedad específica bruta establecido por la norma AASHTO T-99-15.

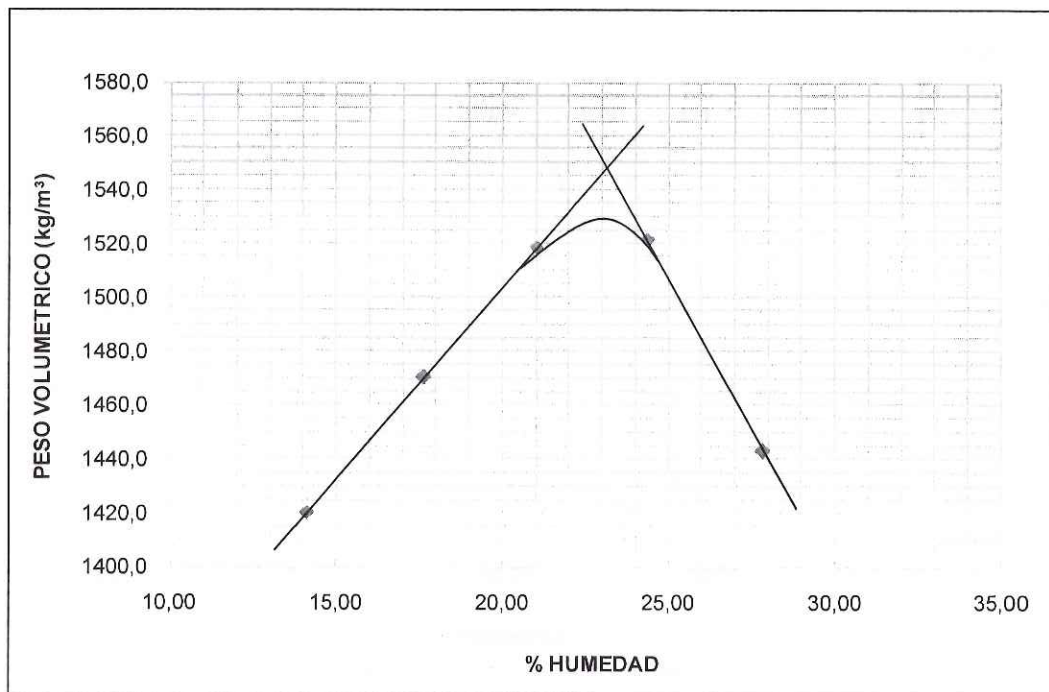


Gráfico 3. Peso volumétrico contra humedad, muestra: 1084-17.



No. de informe: I-0836-17

Tabla 6. Resultados próctor estándar, muestra: 1085-17.

RESULTADOS	
Ensayo	Próctor Estándar
Método	C
Contenido de agua óptimo	14,6%
Densidad seca máxima estándar	1786 kg/m ³
Forma de la superficie	Circular
Densidad máxima ajustada	1863 kg/m ³
Humedad óptima corregida	12,97%
Corrección sobretamaño	13,1%
Gravedad específica bruta (Gbs)	2,600

Nota:

-Se utiliza el valor de gravedad específica bruta establecido por la norma AASHTO T-99-15.

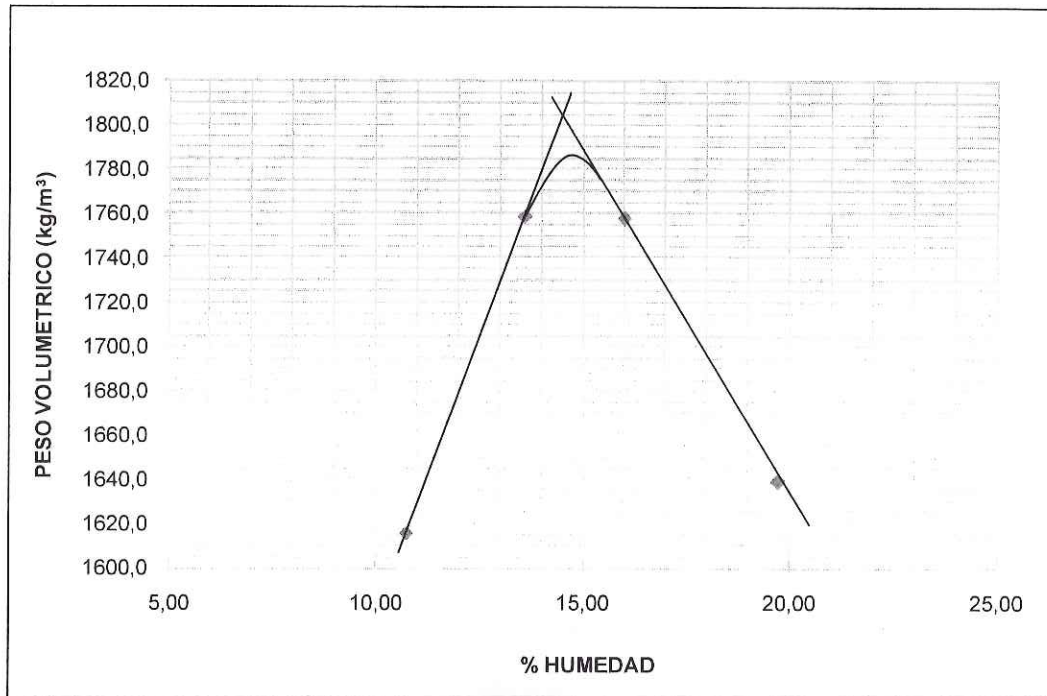


Gráfico 4. Peso volumétrico contra humedad, muestra: 1085-17.



No. de informe: I-0836-17

Tabla 7. Resultados de CBR, muestra: 1084-17.

SIMBOLOGÍA				
δs	Densidad seca			
C	Porcentaje de compactación			
W	Porcentaje de humedad en cada espécimen			
*	No se tomaron lecturas de deformación			
GOLPES	MOLDE	δs (kg/m ³)	C (%)	W (%)
56	53	1535	100,3	23,0
25	58	1452	94,9	22,7
10	59	1331	87,0	22,8
MOLDE	% EXPANSIÓN			
	24 horas	48 horas	72 horas	96 horas
53	0,66	0,87	0,90	0,90
58	0,85	0,94	0,98	0,95
59	0,90	0,99	0,98	0,96
PENETRACIÓN (mm)	ESFUERZO UNITARIO DE COMPACTACIÓN MOLDES			
	53 (kPa)	58 (kPa)	59 (kPa)	
0,00	0,00	0,00	0,00	
0,64	190	46,0	53,7	
1,27	350	73,4	69,8	
1,91	487	187	90,4	
2,54	585	275	122	
3,18	651	341	147	
3,81	705	388	171	
5,08	812	435	200	
7,62	964	484	227	
10,2	1089	536	234	
12,7	1205	593	249	
No. GOLPES	C (%)	% CBR CALCULADO		
		0,1 pulg 2,54 mm	0,2 pulg 5,08 mm	
56	100,3	8,48	7,88	
25	94,9	3,99	4,23	
10	87,0	1,77	1,94	

No. de informe: I-0836-17

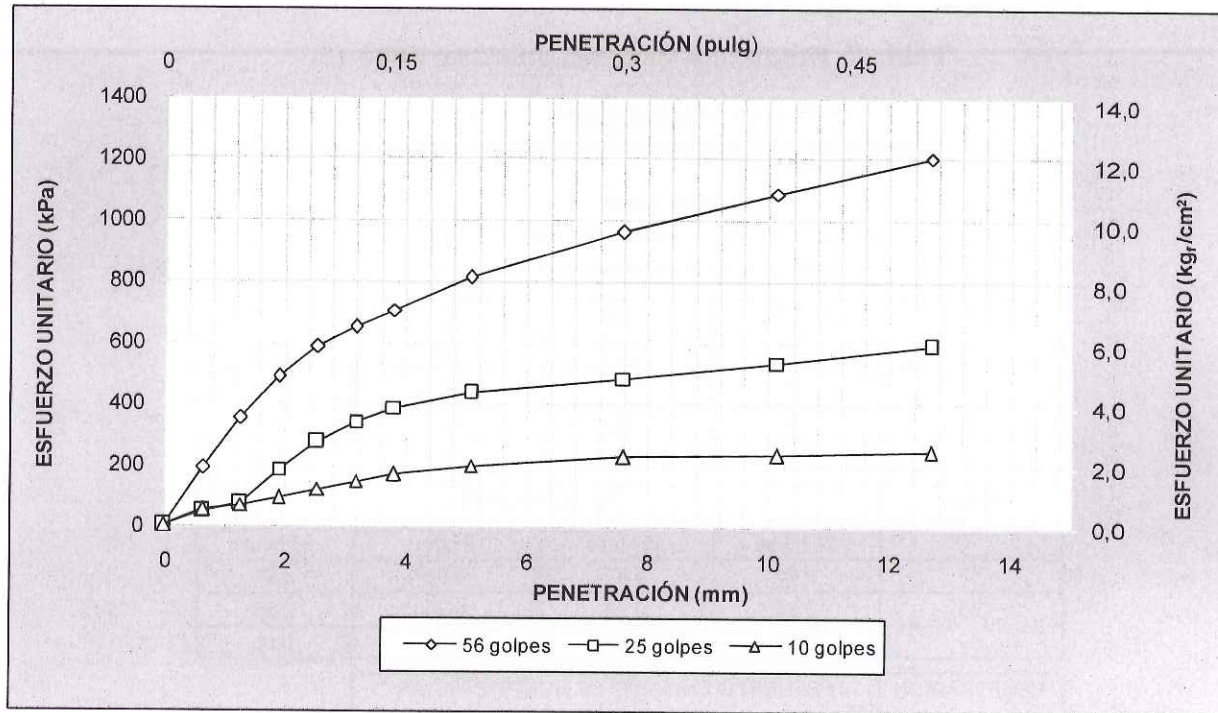


Gráfico 5. Esfuerzo unitario contra penetración, muestra: 1084-17.

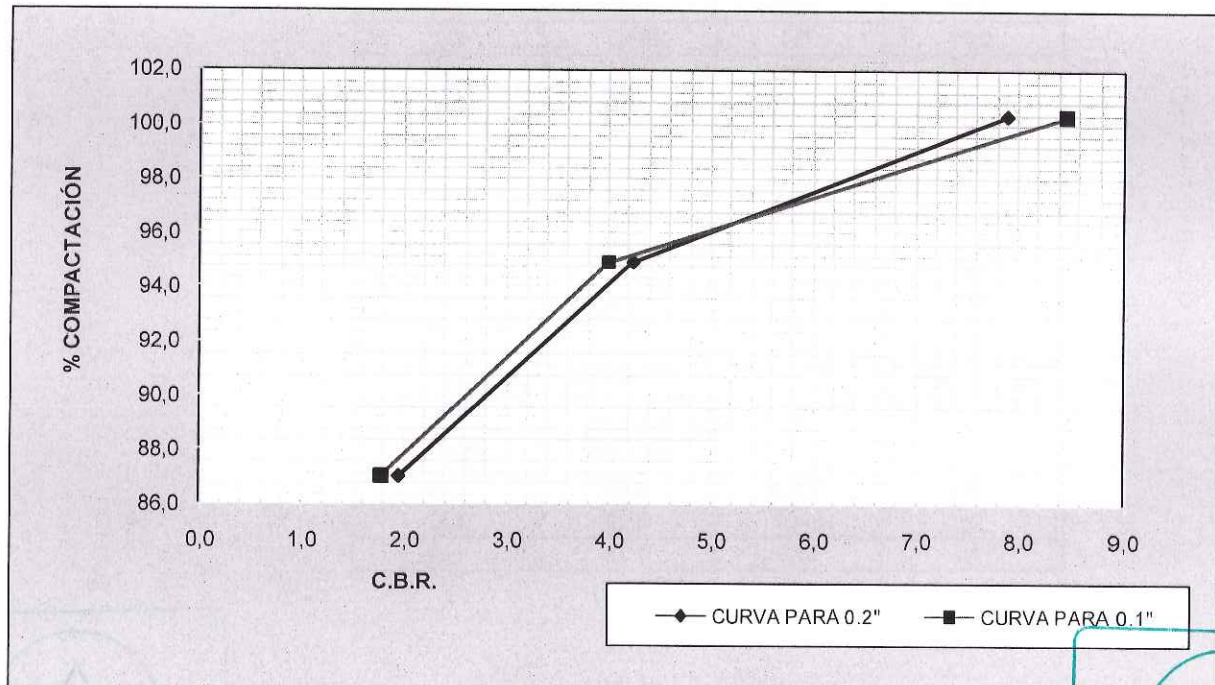


Gráfico 6. Porcentaje de compactación contra CBR, muestra: 1084-17.



No. de informe: I-0836-17

Tabla 8. Resultados de CBR, muestra: 1084-17 (repetición).

SIMBOLOGÍA				
δs	Densidad seca			
C	Porcentaje de compactación			
W	Porcentaje de humedad en cada espécimen			
*	No se tomaron lecturas de deformación			
GOLPES	MOLDE	δs (kg/m ³)	C (%)	W (%)
56	50	1522	99,5	23,6
25	54	1484	97,0	23,4
10	56	1347	88,0	23,1
MOLDE	% EXPANSIÓN			
	24 horas	48 horas	72 horas	96 horas
50	0,70	0,85	0,91	0,87
54	0,84	0,97	0,98	0,93
56	0,90	1,00	1,01	1,00
PENETRACIÓN (mm)	ESFUERZO UNITARIO DE COMPACTACIÓN MOLDES			
	50 (kPa)	54 (kPa)	56 (kPa)	
0,00	0,00	0,00	0,00	
0,64	214	28,4	27,9	
1,27	394	121	50,1	
1,91	526	250	86,3	
2,54	620	337	117	
3,18	697	406	139	
3,81	753	461	159	
5,08	851	542	191	
7,62	1006	647	228	
10,2	1128	735	250	
12,7	1245	814	270	
No. GOLPES	C (%)	% CBR CALCULADO		
		0,1 pulg 2,54 mm	0,2 pulg 5,08 mm	
56	99,5	8,98	8,27	
25	97,0	4,87	5,26	
10	88,0	1,69	1,85	

No. de informe: I-0836-17

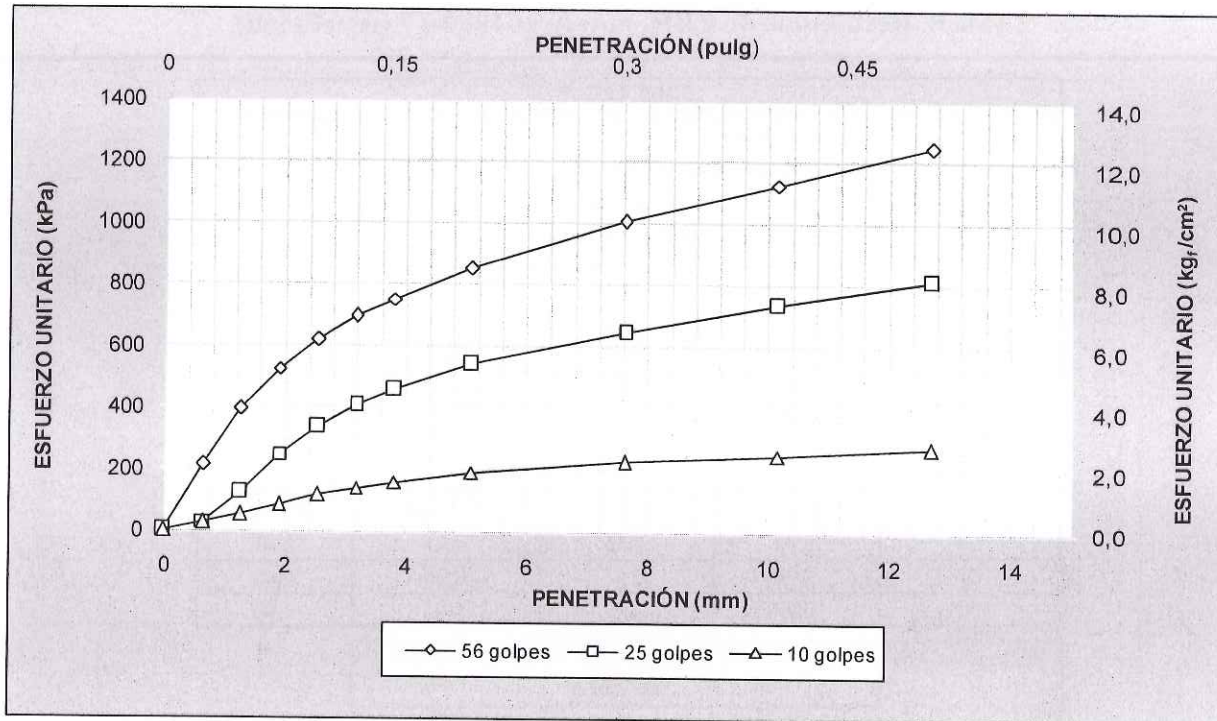


Gráfico 7. Esfuerzo unitario contra penetración, muestra: 1084-17 (repetición).

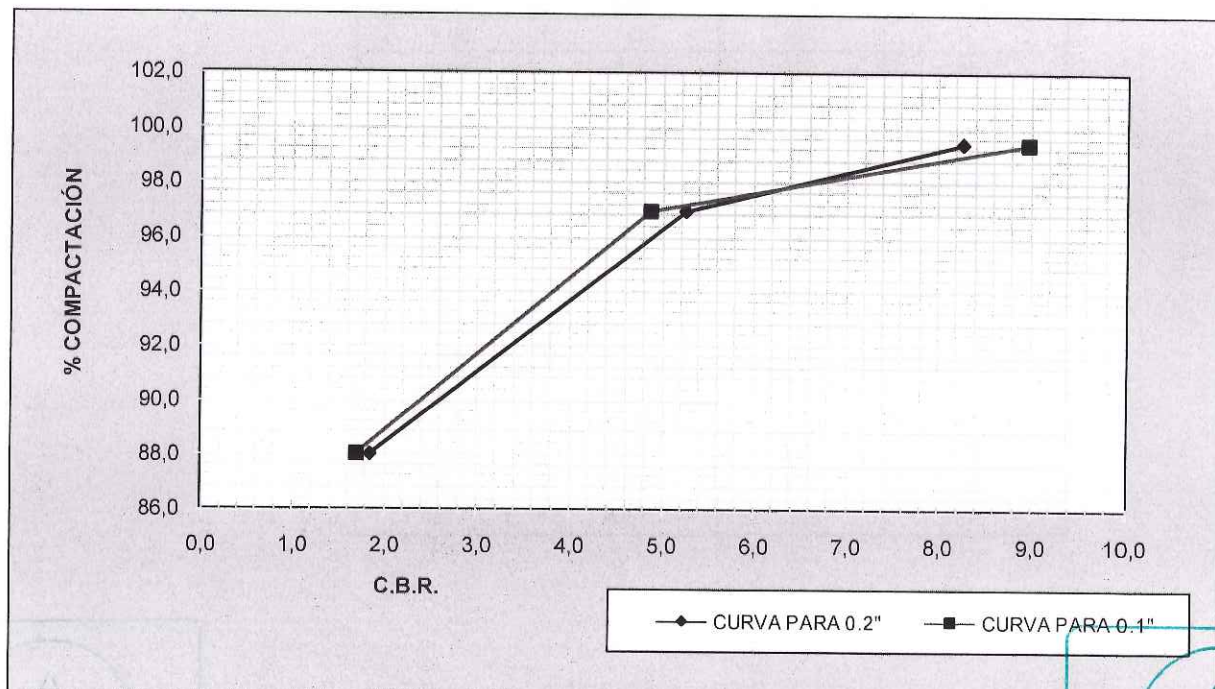


Gráfico 8. Porcentaje de compactación contra CBR, muestra: 1084-17 (repetición).



No. de informe: I-0836-17

Tabla 9. Resultados de CBR, muestra: 1085-17.

SIMBOLOGÍA				
δs	Densidad seca			
C	Porcentaje de compactación			
W	Porcentaje de humedad en cada espécimen			
*	No se tomaron lecturas de deformación			
GOLPES	MOLDE	δs (kg/m ³)	C (%)	W (%)
56	34	1746	97,8	14,4
25	36	1660	92,9	14,9
10	65	1567	87,7	14,6
MOLDE	% EXPANSIÓN			
	24 horas	48 horas	72 horas	96 horas
34	0,13	*	*	0,14
36	0,10	*	*	0,19
65	0,10	*	*	0,18
PENETRACIÓN (mm)	ESFUERZO UNITARIO DE COMPACTACIÓN MOLDES			
	34 (kPa)	36 (kPa)	65 (kPa)	
0,00	0,00	0,00	0,00	
0,64	771	31,0	41,9	
1,27	1590	244	67,2	
1,91	2422	814	309	
2,54	3196	1166	512	
3,18	3805	1488	626	
3,81	4325	1746	716	
5,08	5308	2203	851	
7,62	6755	2862	1037	
10,2	7956	3421	1204	
12,7	9040	3961	1365	
No. GOLPES	C (%)	% CBR CALCULADO		
		0,1 pulg 2,54 mm	0,2 pulg 5,08 mm	
56	97,8	46,3	51,5	
25	92,9	16,9	21,4	
10	87,7	7,42	8,26	

Nota:

- (*) No se registran valores pues son lecturas de fin de semana.



No. de informe: I-0836-17

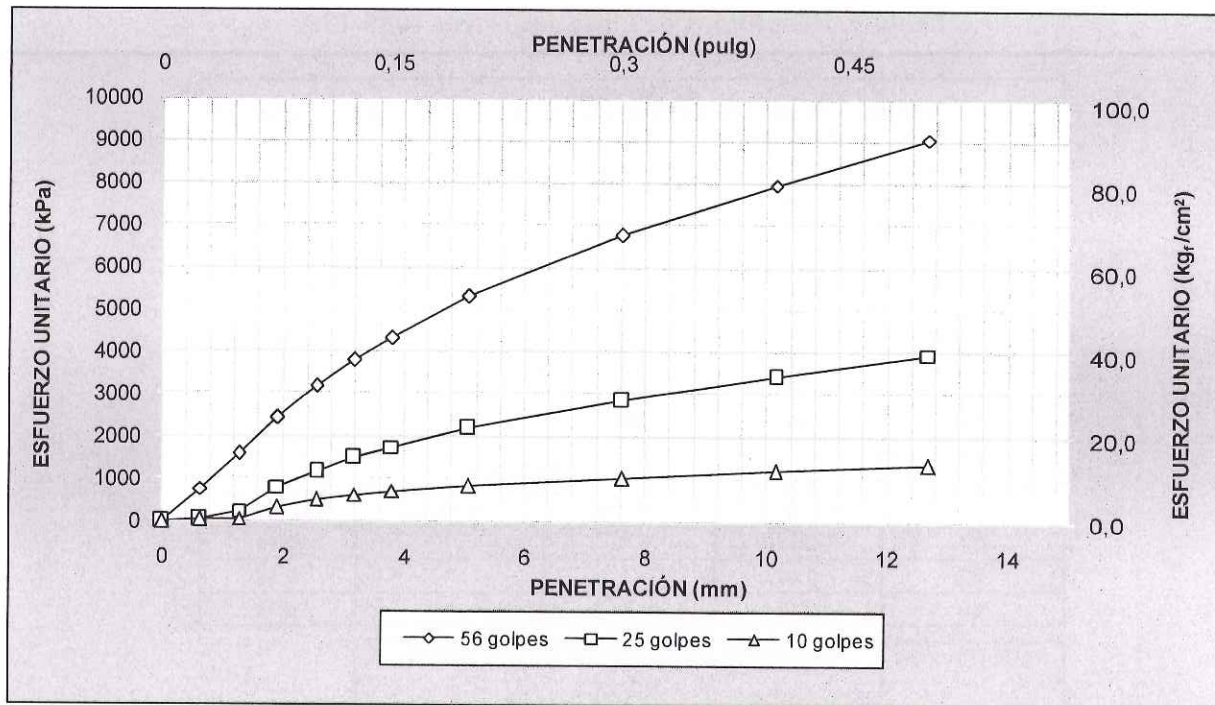


Gráfico 9. Esfuerzo unitario contra penetración, muestra: 1085-17.

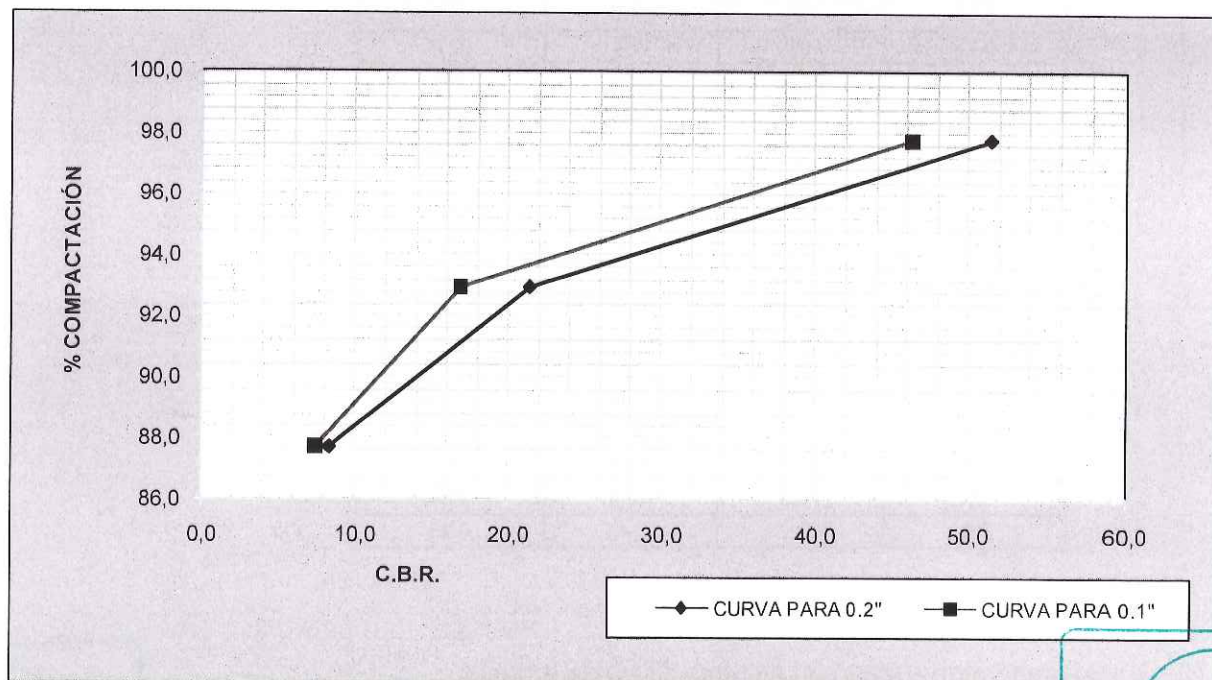


Gráfico 10. Porcentaje de compactación contra CBR, muestra: 1085-17.



No. de informe: I-0836-17

Tabla 10. Resultados de CBR, muestra: 1085-17 (repetición).

SIMBOLOGÍA				
δs	Densidad seca			
C	Porcentaje de compactación			
W	Porcentaje de humedad en cada espécimen			
*	No se tomaron lecturas de deformación			
GOLPES	MOLDE	δs (kg/m ³)	C (%)	W (%)
56	42	1737	97,3	14,6
25	44	1658	92,8	14,8
10	47	1589	89,0	14,4
MOLDE	% EXPANSIÓN			
	24 horas	48 horas	72 horas	96 horas
42	0,02	*	*	0,08
44	0,08	*	*	0,14
47	0,14	*	*	0,22
PENETRACIÓN (mm)	ESFUERZO UNITARIO DE COMPACTACIÓN MOLDES			
	42 (kPa)	44 (kPa)	47 (kPa)	
0,00	0,00	0,00	0,00	
0,64	751	188	170	
1,27	1680	512	364	
1,91	2587	763	509	
2,54	3327	1001	622	
3,18	4023	1224	715	
3,81	4664	1404	797	
5,08	5615	1693	916	
7,62	7028	2159	1128	
10,2	8232	2568	1324	
12,7	9335	2950	1514	
No. GOLPES	C (%)	% CBR CALCULADO		
		0,1 pulg 2,54 mm	0,2 pulg 5,08 mm	
56	97,3	48,2	54,5	
25	92,8	14,5	16,4	
10	89,0	9,01	8,89	

Nota:

- (*) No se registran valores pues son lecturas de fin de semana.



No. de informe: I-0836-17

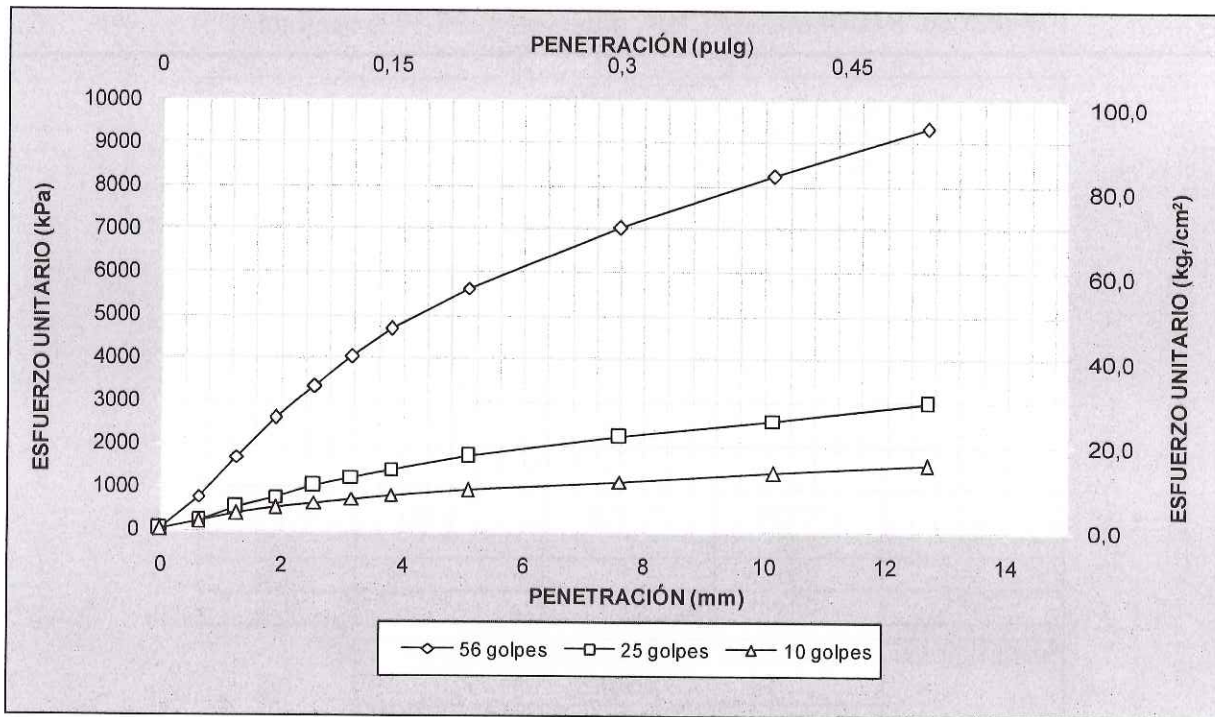


Gráfico 11. Esfuerzo unitario contra penetración, muestra: 1085-17 (repetición).

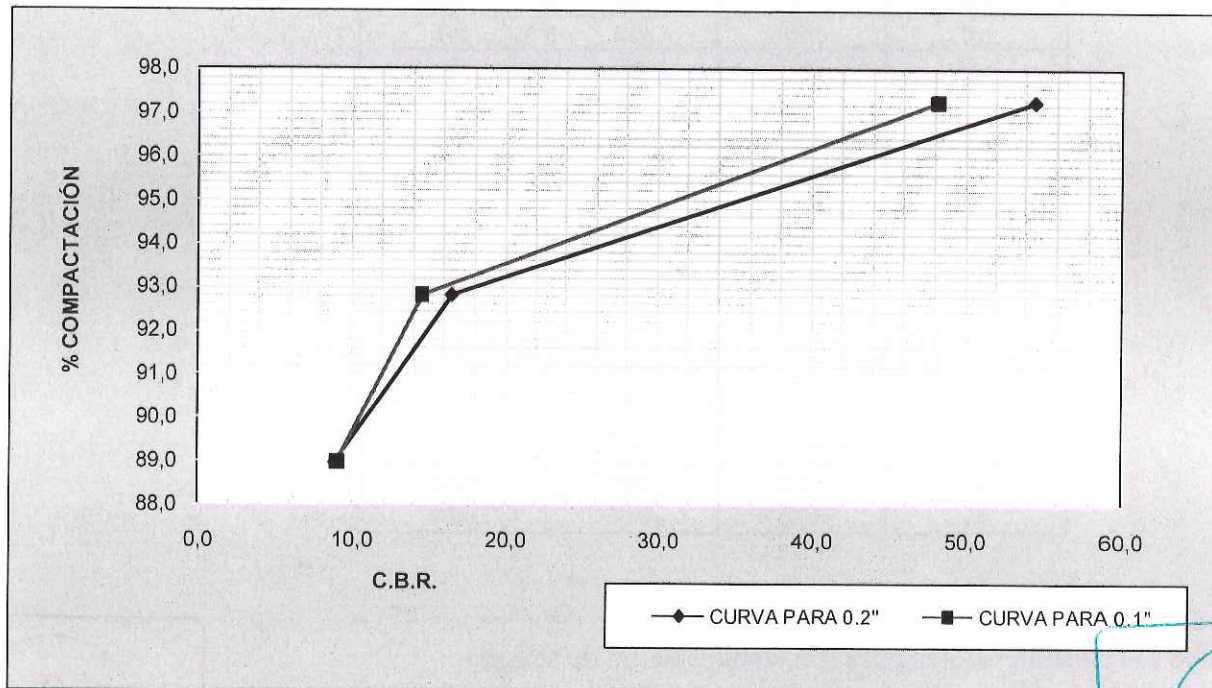


Gráfico 12. Porcentaje de compactación contra CBR, muestra: 1085-17 (repetición).



No. de informe: I-0836-17

Nota:

- Se presenta la repetición del ensayo de CBR para las muestras M-1084-17 y M-1085-17, según lo establece la norma debido a que los valores de CBR para la curvada 0,2" (5,08 mm) son mayores que los valores para la curva de de 0,1" (2,54 mm) de penetración.

Aclaraciones:

- El presente informe de ensayo sólo ampara las mediciones reportadas en el momento y condiciones ambientales y de uso en que se realizó esta prueba, para las muestras indicadas en este informe.
- Este informe de resultados tiene validez únicamente en su forma íntegra y original.
- No se permite la reproducción parcial de este documento sin la autorización del Director del LanammeUCR.

Preparó:

Ing. Oscar Valerio Salas
Jefe Laboratorio de Geotecnia

Revisó:

Ing. Luis Carlos Meseguer Quesada, MBA
Coordinador de Laboratorios
de Infraestructura Civil

Aprobó:

Ing. Alejandro Navas Carro, M.Sc.
Director LanammeUCR





ANEXO 10.6 Ensayos de campo Tramo 5_POLÍMERO-IO

Resumen de resultados de ensayos de campo					
Ensayo o parámetro de medición	Edad (días)	Punto, estacionamiento y lado de la vía			
		1	2	3	4
		0+020	0+040	0+060	0+080
		LI	LD	LI	LD
Densidad seca máxima promedio (kg/m ³)	Construcción	1576,0	1603,0	1603,0	1509,0
	9	1613,3	1647,3	1705,0	1538,0
	32	1550,0	1492,0	1567,0	1473,0
	60	1489,0	1454,0	1583,0	1470,0
	91	1534,0	1473,0	1515,0	1598,0
Contenido de humedad (%)	Construcción	21,3	23,1	18,0	17,8
	9	19,9	23,2	15,4	16,6
	32	19,4	27,0	14,6	17,4
	60	19,4	20,9	13,2	15,8
	91	19,5	22,2	18,6	18,1
Módulo de Superficie M ₀ promedio-LWD (MPa)	9	272,3	49,8	120,4	151,0
	32	406,2	202,4	474,0	159,3
	60	252,2	151,5	264,1	182,7
	91	173,3	133,4	155,4	180,6



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA



LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

Anexo 10.7 Inspección Visual Tramo-5_POLÍMERO-IO
Ejecutados por La Unidad de Gestión Municipal, LanammeUCR
Inspección visual 17-10-2017 (4meses)





9



13



10



14



11



15



12



16





UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA



LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

Anexo 10.7 Inspección Visual Tramo-5_POLÍMERO-IO
Ejecutados por La Unidad de Gestión Municipal, LanammeUCR
Inspección visual 20-12-2017 (6meses)





9



13



10



14



11



15



12



16





UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA



LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

Anexo 10.7 Inspección Visual Tramo-5_POLÍMERO-IO
Ejecutados por La Unidad de Gestión Municipal, LanammeUCR
Inspección visual 23-03-2018 (9meses)





9

13



10

14



11

15



12

16





UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA



LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

Anexo 10.7 Inspección Visual Tramo-5_POLÍMERO-IO
Ejecutados por La Unidad de Gestión Municipal, LanammeUCR
Inspección visual 04-04-2019 (22meses)





9



13



10



14



11



15



12



16





UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA



LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

Anexo 10.7 Inspección Visual Tramo-5_POLÍMERO-IO
Ejecutados por La Unidad de Gestión Municipal, LanammeUCR
Inspección visual 24-10-2018 (28meses)





9



13



10



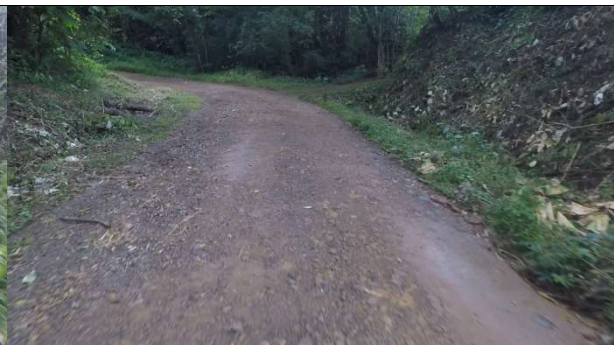
14



11



15



12



16



ANEXO 11.1 Resumen de información del producto estabilizador CAL HIDRATADA

Nombre	Cal Hidratada HORCALSA para Estabilización de Suelos.
Distribuidor/Representante	HORCALSA, Cementos Progreso S.A., Guatemala sac@cempro.com
Tipo de estabilizador	Estabilizador cementicio, Cal Hidratada
Descripción del estabilizador, según el representante	<ul style="list-style-type: none"> • La cal hidratada se obtiene a partir de dos procesos: <ol style="list-style-type: none"> 1. Calcinación del Carbonato de Calcio (CaCO_3) para obtener cal viva. 2. La cal viva se hace reaccionar con el agua, la cual produce una reacción exotérmica y estequiométrica que genera el hidróxido de calcio (CaOH_2), utilizado en la estabilización de suelos. • La cal hidratada modifica las características de los suelos arcillosos y disminuye su plasticidad, convirtiéndolos en suelos óptimos para su trayecto y construcción.
Usos recomendados por el representante	<ul style="list-style-type: none"> • Modifica las características de los suelos arcillosos y disminuye su plasticidad, convirtiéndolos en suelos óptimos para su trayecto y construcción • Estabilización de subrasantes para caminos y aeródromos. • Estabilización de rellenos y terraplenes. • Mejoramiento de suelos para cimentación.
Beneficios técnicos del producto estabilizador, según el representante	<ul style="list-style-type: none"> • Secado del suelo: Se puede utilizar cal hidratada o cal viva y su aplicación es muy efectiva para el secado de cualquier suelo con humedad, ya que reduce el porcentaje de agua. • Modificación del suelo: reparto de cargas en la superficie de las partículas del suelo arcilloso se modifica, dándose un intercambio iónico entre el sodio del suelo y el calcio de la cal. • Estabilización del suelo: La arcilla del suelo que contiene sílice y alúmina en contacto con la cal, forma silicatos y aluminatos cálcicos hidratados, cambiando las propiedades mecánicas del suelo con un aumento de la compresión simple del suelo y estabilidad mecánica. • Disminución de la plasticidad y cambios volumétricos de los suelos.
Beneficios económicos y funcionales del producto estabilizador, según el representante.	<ul style="list-style-type: none"> • Evita la compra y transporte de material de préstamo o relleno para la obra. • Mejora la productividad. • Aumenta la vida útil de las obras realizadas. • Reduce costos de mantenimiento.
Dosificación/Rendimiento	<ul style="list-style-type: none"> • Dosificación de 1% a 6% respecto del peso seco del material por estabilizar, pero se define por medio de diseño de laboratorio para el suelo específico a estabilizar y su contenido de arcillas.
Consideraciones constructivas especiales	<ul style="list-style-type: none"> • En el proceso constructivo se debe prestar especial atención a la pulverización, mezcla y curado del suelo estabilizado, para asegurar el íntimo contacto entre la arcilla y la cal en el medio acuoso requerido. • Dejar el tiempo de marinado requerido para que la reacción del suelo con la cal hidratada se produzca.
Consideraciones ambientales o de seguridad	<ul style="list-style-type: none"> • Puede ser irritante y corrosiva a las mucosas, ojos, piel, tracto respiratorio y para la ingestión. • No inflamable, no combustible • No verter en drenajes pluviales o cuerpos de agua.

Fuente: Adaptado de Ficha técnica Cal Hidratada Horcalisa Tipo Especial y
<https://www.horcalsa.com/blog/estabilizacion-de-suelos-arcillosos-con-cal-horcalsa/>.



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA



LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

ANEXO 11.2

Diseño de la estabilización Tramo 6_CAL HIDRATADA

20 de noviembre del 2017

Informe de Análisis N° 230-17

INFORMACIÓN DEL CLIENTE

Nombre del solicitante: Unidad de Gestión Municipal, LANAMME UCR

Atención: Jorge Salazar

Correo electrónico: jorge.salazardelgado@ucr.ac.cr

Teléfono: 2511-2539

INFORMACIÓN DE LA (S) MUESTRA (S)

Muestreo realizado por: El cliente

Fecha de recepción: 07/11/17

Entregada por: Jorge Salazar

Cantidad de muestras: 1

Descripción de las muestras:

Bolsa con polvo blanco, sellada, indica Cal Hidratada 1933-17

RESULTADOS OBTENIDOS CON EL (LOS) ENSAYO (S) SOLICITADO (S)

Fecha de análisis: Del 10 al 14 de noviembre del 2017

Análisis	Método de análisis	Resultado
Determinación de Ca	ASTM C25 Métodos de prueba estándar para el análisis de piedra caliza, cal viva y cal hidratada	Reportado como CaO
		(69 ± 5) % masa
Determinación de Humedad	Balanza de humedad	(1,5 ± 0,1) % masa
Carbonato de calcio equivalente	ASTM C25 Métodos de prueba estándar para el análisis de piedra caliza, cal viva y cal hidratada	(126 ± 7)

Se prohíbe la reproducción parcial o total sin autorización escrita del laboratorio.

Nulo sin sello en blanco.

Sede Rodrigo Facio, San Pedro, Montes de Oca. ☎: 2511-4471. ✉

lasaadm.eq@ucr.ac.cr

Fecha de emisión:

2015-10-14

Versión N°4

Página 1 de 2

LASA: F106

Informe de Análisis N° 230-17

Análisis	Método de análisis	Resultados	
		Número de Tamiz	% de muestra que atraviesa el tamiz
Granulometría	Decreto N° 30047-S Reglamento técnico de la cal para tratamiento de agua	14	99,978 ± 0,003
		16	99,95 ± 0,01
		20	99,91 ± 0,02
		40	99,7 ± 0,1
		60	98,8 ± 0,2
		80	35 ± 2
		100	32 ± 2
		200	17 ± 1

Los resultados de este análisis se refieren solamente al material presentado como muestra.


MGP Adrián Cordero Calderón
Químico N.I. 2471
Coordinador





No. de informe: I-1239-17

Informe de Ensayo

RC-80 v.08 (Sistema de Gestión de Calidad, LanammeUCR. Norma INTE ISO/IEC 17025:2005)

ST- 1256 -17

1. Información del cliente:

Nombre: Unidad de Gestión Municipal, PITRA
Ing. Alonso Ulate Castillo

Proyecto: Evaluación de estabilización de material granular con cal en Mora

Domicilio: Lanamme. Universidad de Costa Rica, San Pedro, Montes de Oca, San José.

2. Método de ensayo:

ASTM D 6276 (**). Método para estimar el porcentaje de cal para estabilización de suelos.

ASTM D 1633 (**). Preparación y determinación de la compresión inconfínada de bases estabilizadas.

ASTM D 5102 (**). Metodo para la compactación para copresión inconfínada en suelos estabilizados con cal.

(*) Ensayo acreditado. Ver alcance en www.eca.or.cr

(**) Ensayo no acreditado.





No. de informe: I-1239-17

3. Información de la(s) muestra(s) o espécimen(es) de ensayo:

<u>No. de identificación:</u>	<u>Descripción:</u>
1757 -17	4 bolsas(100 kg). Sondeo 1 (Tramo 8-Cal). Material de rasante existente (combinación de suelo y grava). Proyecto: Estabilización Mora, camino Piedras Negras, El Pito Jaris (Tramo 8-Cal)
1758 -17	4 bolsas(100 kg). Sondeo 2 (Tramo 8- Cal). Material de rasante existente (combinación de suelo y grava). Proyecto: Estabilización Mora, camino Piedras Negras, El Pito Jaris (Tramo 8-Cal)
1933 -17	4 sacos (25 kg c/u) con Cal Hidratada para uso agrícola. Fuente: HORCALSA, Guatemala

Aportadas por: Ing. Alonso Ulate

Fecha de recepción: 2017/09/08

Fecha de realización del ensayo: 2017/11/01 al 2017/11/28

4. Información del muestreo :

La muestra fue suministrada por el cliente en nuestras instalaciones.

5. Resultados :

Inicialmente el material suministrado se homogenizó y se cuarteó para llevar a cabo los ensayos de análisis granulométrico, límites de Atterberg (todas las muestras) y Próctor estándar (1757-17 y 1758-17), por parte del Laboratorio de Geotecnia. Para las muestras 1757-17 y 1758-17 el cliente solicitó el diseño de base estabilizada con cal para cada una, por lo que se anañizó preliminarmente la dosificación de cal requerida para un pH de 12,4, resultando xx de cal para ambas muestras. A partir de esto se compactaron 6 especímenes por punto de dosificación con cal (1%, 2% y 3%), y con ello determinar si era factible la estabilización. El ensayo se realizó en condición de humedad óptima, de acuerdo a los resultados del ensayo de densidad máxiam seca y humedad óptima para cada muestra. Los especímenes fueron curados durante 7 días envueltos en plástico y luego 24 horas sobre oasis saturados de agua.





No. de informe: I-1239-17

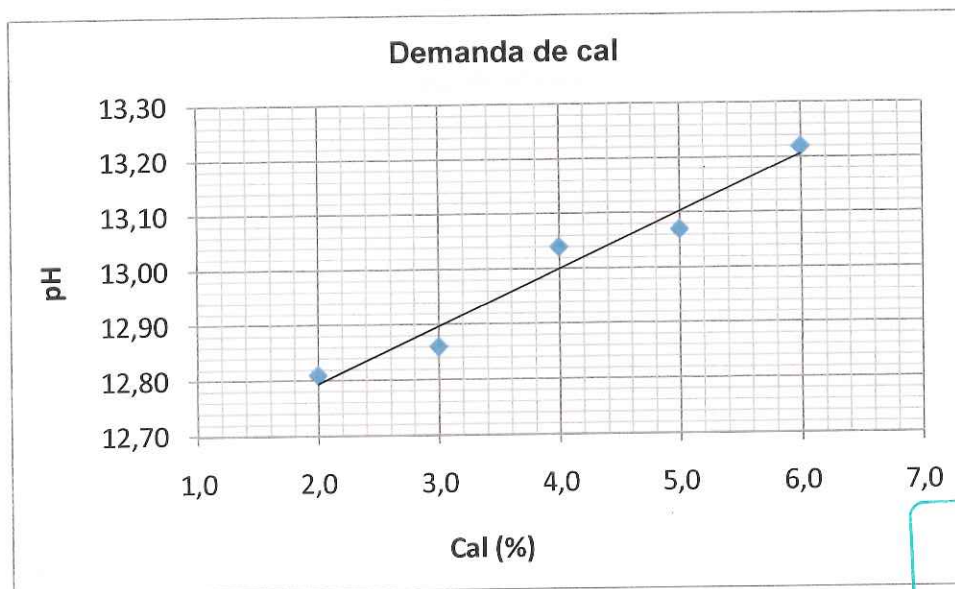
Tabla N° 1: Resultados del contenido de la humedad higroscópica
Muestra: 1757-17

% Humedad			
Material	Material + agua	Material seco	Humedad
g	g	g	%
43,53	99,58	86,56	30,26

Tabla N° 2: Resultados de la demanada de cal
Muestra: 1757-17

Cal	Masa seca	Masa húmeda	Masa cal calc	pH
%	g	g	g	
2	25	32,56	0,50	12,81
3	25	32,56	0,75	12,86
4	25	32,56	1,00	13,04
5	25	32,56	1,25	13,07
6	25	32,56	1,50	13,22
Solucion saturada				13,22

Gráfica N° 1: Relación pH- contenido de cal
Muestra: 1757-17





No. de informe: I-1239-17

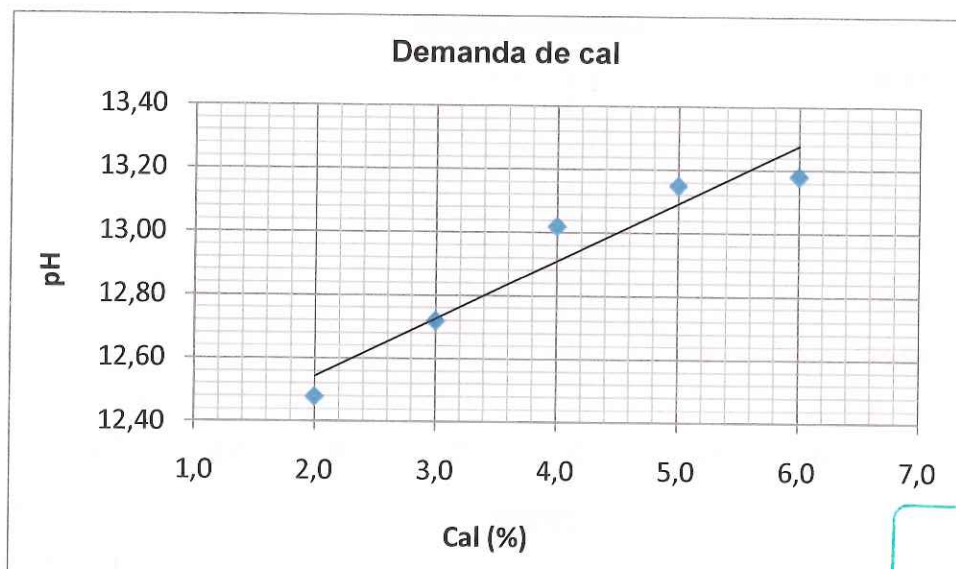
Tabla N° 3: Resultados del contenido de la humedad higroscópica
Muestra: 1758-17

% Humedad			
Material	Material + agua	Material seco	Humedad
g	g	g	%
43,79	94,13	85,12	21,80

Tabla N° 4: Resultados de la demanada de cal
Muestra: 1758-17

Cal	Masa seca	Masa húmeda	Masa cal calc	pH
%	g	g	g	
2	25	30,45	0,50	12,48
3	25	30,45	0,75	12,72
4	25	30,45	1,00	13,02
5	25	30,45	1,25	13,15
6	25	30,45	1,50	13,18
Solucion saturada				13,25

Gráfica N° 2: Relación pH- contenido de cal
Muestra: 1758-17





No. de informe: I-1239-17

Tabla N° 5: Resultados de densidad y compactación
Muestra: 1757-17 Diseño de estabilización con cal

% Cal	Masa de molde (g)	Masa molde más muestra (g)	Volumen molde (m ³)	Densidad húmeda (kg/m ³)	Densidad seca (kg/m ³)	Compactación (%)
1,0	4152,5	5712,0	0,000942	1656,0	1194,1	100,3
1,0	4152,5	5723,0	0,000942	1667,7	1202,6	101,0
1,0	4152,5	5734,4	0,000942	1679,8	1211,3	101,7
2,0	4152,5	5729,1	0,000942	1674,2	1207,2	101,4
2,0	4152,5	5678,6	0,000942	1620,5	1168,6	98,1
2,0	4152,5	5711,5	0,000942	1655,5	1193,8	100,3
3,0	4152,5	5674,3	0,000942	1616,0	1165,3	97,9
3,0	4152,5	5676,8	0,000942	1618,6	1167,2	98,0
3,0	4152,5	5678,6	0,000942	1620,5	1168,6	98,1

Tabla N° 6: Resultados de humedad óptima en el material analizado
Muestra: 1757-17 Diseño de estabilización con cal

% Cal	w _b (g)	w _{b+w} (g)	w _{b+d} (g)	Humedad (%)
1,0	66,81	563,97	425,31	38,7
1,0	67,13	545,62	412,31	38,6
1,0	66,73	547,70	411,75	39,4
2,0	66,82	593,36	442,58	40,1
2,0	67,07	570,38	429,85	38,7
2,0	67,33	554,05	418,63	38,5
3,0	67,26	554,86	419,83	38,3
3,0	67,18	539,79	409,97	37,9
3,0	67,61	560,74	424,18	38,3

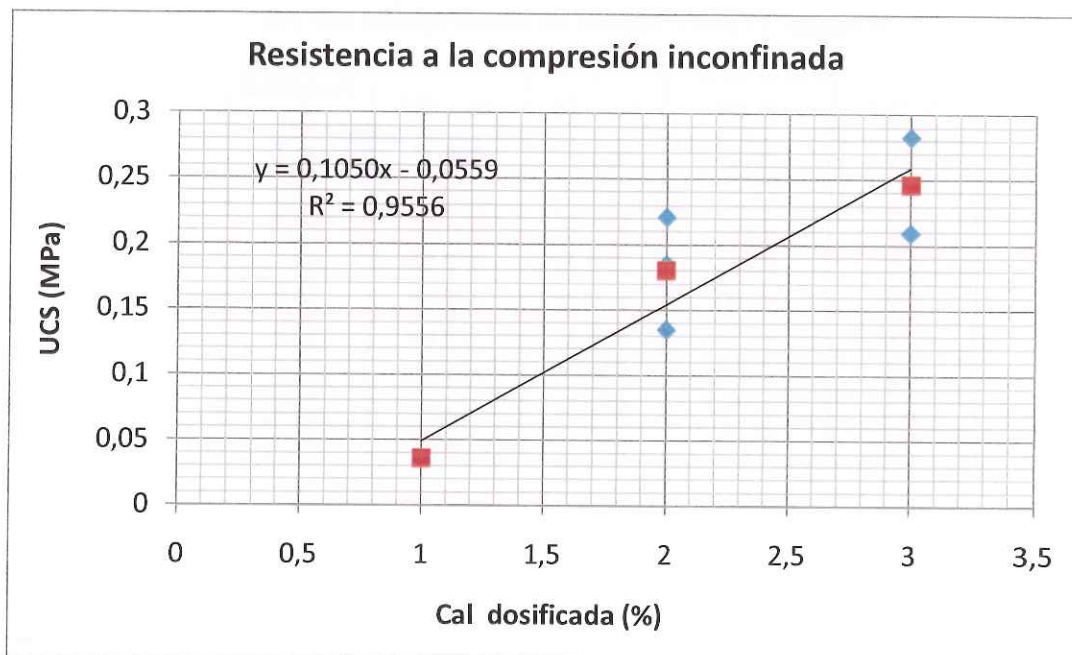


No. de informe: I-1239-17

Tabla N° 7: Resultados de la falla de especímenes
Muestra: 1757-17 Diseño de estabilización con cal

% Cal	Carga máxima (N)	Diámetro d (mm)	Altura h (mm)	Relación h/d	Área (mm ²)	Resistencia máxima (MPa)
1,0	300,00	103,13	118,70	1,15	8352,80	0,04
1,0	300,00	102,87	119,52	1,16	8311,81	0,04
1,0	300,00	102,96	119,51	1,16	8325,28	0,04
2,0	1800,00	101,86	117,24	1,15	8148,87	0,22
2,0	1500,00	101,70	117,56	1,16	8123,29	0,18
2,0	1100,00	101,82	117,06	1,15	8141,93	0,14
3,0	2300,00	101,77	116,63	1,15	8134,47	0,28
3,0	2000,00	101,75	116,70	1,15	8131,81	0,25
3,0	1700,00	101,69	116,74	1,15	8121,16	0,21

Gráfica N° 3: Resistencia a la compresión incofinada
Muestra: 1757-17 Diseño de estabilización con cal



UCS = 0,3 MPa
Cal = 3,4 % sobre peso seco



No. de informe: I-1239-17

Tabla N° 8: Resultados de densidad y compactación
Muestra: 1758-17 Diseño de estabilización con cal

% Cal	Masa de molde (g)	Masa molde más muestra (g)	Volumen molde (m ³)	Densidad húmeda (kg/m ³)	Densidad seca (kg/m ³)	Compactación (%)
1,0	4152,5	5834,6	0,000942	1786,2	1288,0	108,2
1,0	4152,5	5828,2	0,000942	1779,4	1283,1	107,8
1,0	4152,5	5837,9	0,000942	1789,7	1290,5	108,4
2,0	4152,5	5789,6	0,000942	1738,4	1253,6	105,3
2,0	4152,5	5787,0	0,000942	1735,7	1251,6	105,1
2,0	4152,5	5797,3	0,000942	1746,6	1259,5	105,8
3,0	4152,5	5773,6	0,000942	1721,4	1241,3	104,3
3,0	4152,5	5732,6	0,000942	1677,9	1209,9	101,6
3,0	4152,5	5729,9	0,000942	1675,0	1207,9	101,4

Tabla N° 9: Resultados de humedad óptima en el material analizado
Muestra: 1758-17 Diseño de estabilización con cal

% Cal	w _b (g)	w _{b+w} (g)	w _{b+d} (g)	Humedad (%)
1,0	66,81	578,11	440,77	36,7
1,0	67,13	579,50	441,81	36,7
1,0	66,73	569,55	434,04	36,9
2,0	66,82	534,83	409,66	36,5
2,0	67,07	506,13	388,81	36,5
2,0	67,33	501,22	385,02	36,6
3,0	67,26	569,11	435,52	36,3
3,0	67,18	560,73	429,24	36,3
3,0	67,61	564,29	431,87	36,4

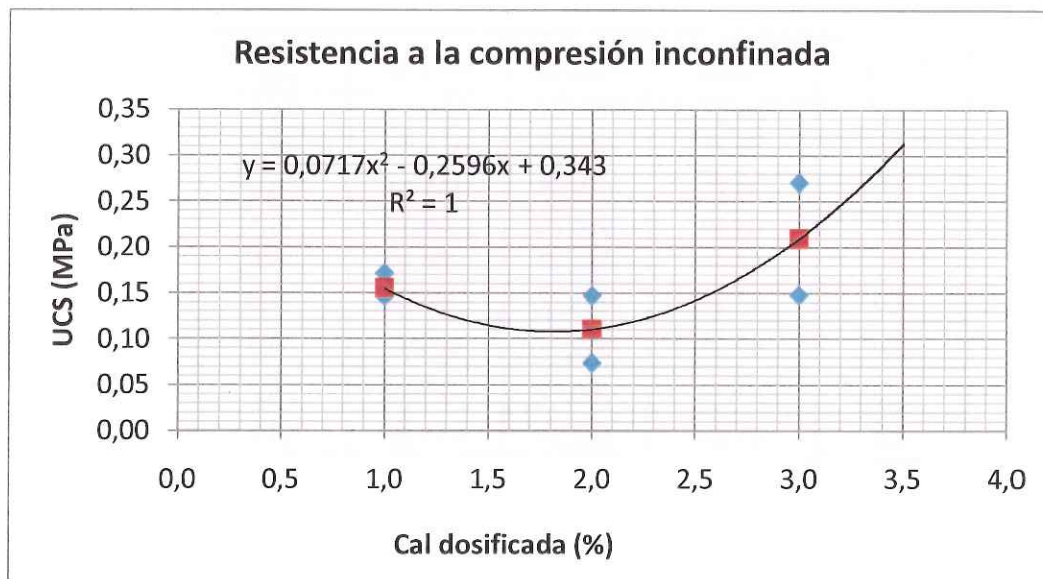


No. de informe: I-1239-17

Tabla N° 10: Resultados de la falla de especímenes
Muestra: 1758-17 Diseño de estabilización con cal

% Cal	Carga máxima (N)	Diámetro d (mm)	Altura h (mm)	Relación h/d	Área (mm ²)	Resistencia máxima (MPa)
1,0	1400,00	101,94	116,70	1,14	8161,67	0,17
1,0	1200,00	101,96	116,88	1,15	8165,41	0,15
1,0	1200,00	102,03	116,94	1,15	8175,56	0,15
2,0	900,00	101,76	116,68	1,15	8133,41	0,11
2,0	600,00	101,82	116,63	1,15	8141,93	0,07
2,0	1200,00	101,83	116,68	1,15	8144,07	0,15
3,0	2200,00	101,69	116,59	1,15	8122,22	0,27
3,0	1200,00	101,64	116,61	1,15	8113,17	0,15
3,0	1700,00	101,65	116,42	1,15	8115,83	0,21

Gráfica N° 4: Resistencia a la compresión incofinada
Muestra: 1758-17 Diseño de estabilización con cal



UCS = 0,3 MPa
Cal = 3,5 % sobre peso seco





No. de informe: I-1239-17

Aclaraciones:

- El presente informe de ensayo sólo ampara las mediciones reportadas en el momento y condiciones ambientales y de uso en que se realizó esta prueba, para las muestras indicadas en este informe.
- Este informe de resultados tiene validez únicamente en su forma íntegra y original.
- No se permite la reproducción parcial de este documento sin la autorización del Director del LanammeUCR.

Preparó:

Ing. Andrea Ulloa Calderón
Jefe Laboratorio de Mezclas
Bituminosas

Revisó:

Ing. Fabián Elizondo Arrieta, MBA
Coordinador Laboratorios de
Infraestructura Vial

Aprobó:

Ing. Alejandro Navas Carro, M.Sc.
Director LanammeUCR

-----ÚLTIMA LÍNEA-----





Informe de Ensayo

RC-80 v.09 (Sistema de Gestión de Calidad, LanammeUCR. Norma INTE ISO/IEC 17025:2005)

ST-1253-17

1. Información del cliente:

Nombre: Unidad de Gestión Municipal

Proyecto: Cal-UGM

Domicilio: LanammeUCR, San Pedro de Montes de Oca, San José.

2. Método de ensayo:

(ASTM D 6913) (**)
Método de ensayo para el análisis de tamaño de partículas de suelo (utilizando tamices).
IT-GC-01 (ASTM D 422) (**)
Método de ensayo para el análisis de tamaño de partículas de suelo (vía húmeda).
IT-GC-04 (ASTM D 854) (*)
Procedimiento para determinar la gravedad específica del suelo mediante un picnómetro con agua.
IT-GC-05 (ASTM D 4318) (*)
Procedimiento para determinar el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de un suelo.
IT-GC-06 (AASHTO T 99) (*)
Método estándar de ensayo para la relación densidad-humedad de suelos usando un mazo de 2,5 kg y una caída de 305 mm.



(*) Ensayo acreditado. Ver alcance en www.eca.or.cr.
(**) Ensayo no acreditado.

3. Información de las muestras o especímenes de ensayo:

<u>No. de identificación:</u>	<u>Descripción:</u>
M-1757-17	4 Bolsas (100 kg) de material de rasante (combinación suelo y grava). Sondeo 1 (Tramo 8-Cal). Proyecto: Estabilización Mora, camino Piedra Negras, El Pito Jaris (Tramo 8-Cal).





No. de informe: I-1240-17

M-1758-17

4 Bolsas (100 kg) de material de rasante (combinación suelo y grava). Sondeo 2 (Tramo 8-Cal). Proyecto: Estabilización Mora, camino Piedra Negras, El Pito Jaris (Tramo 8-Cal).

Aportadas por:

Ing. Alonso Ulate

Fecha de recepción:

2017/09/08

Fecha de realización del ensayo:

2017/10/27-2017/11/08

4. Información del muestreo:

Fecha de muestreo:

2017/08/30

Ubicación:

Mora, camino Piedra Negras, El Pito Jaris (Tramo 8-Cal).

Procedimiento de muestreo:

Muestreo realizado por el personal la Unidad de Gestión Municipal. Muestreo realizado según lo establece la norma ASTM D 75. Personal responsable de las muestras: Ing. Alonso Ulate.

Condiciones ambientales:

No aplica pues en el laboratorio los especímenes se acondicionan.

5. Resultados:

Tabla 1. Límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad del suelo.

MUESTRA	LÍMITE LÍQUIDO	LÍMITE PLÁSTICO	ÍNDICE PLÁSTICIDAD
1757-17	72	51	21
1758-17	70	45	25

Nota:

- Las muestras fueron acondicionadas por el método de preparación en seco.
- El límite líquido se determina según el método A (método multipunto) de la norma ASTM D-4318.

Tabla 2. Gravedad específica del suelo.

MUESTRA	MÉTODO	G_T	G_s
1757-17	B	2,202	2,201
1758-17	B	2,666	2,664



No. de informe: I-1240-17

Tabla 3. Resultados de Próctor Estándar, muestra 1757-17.

RESULTADOS	
Ensayo	Próctor Estándar
Método	C
Contenido de agua óptimo	39,5%
Densidad seca máxima estándar	1206 kg/m ³
Forma de la superficie	Circular
Densidad máxima ajustada	1206 kg/m ³
Humedad óptima corregida	39,5%
Corrección sobretamaño	0,0%
Gravedad Específica Bruta (Gbs)	2,60

Nota:

- Se utiliza el valor de gravedad específica bruta establecido por la norma AASHTO T-99-15.
- Se utiliza material pasando el tamiz No. 3/4".

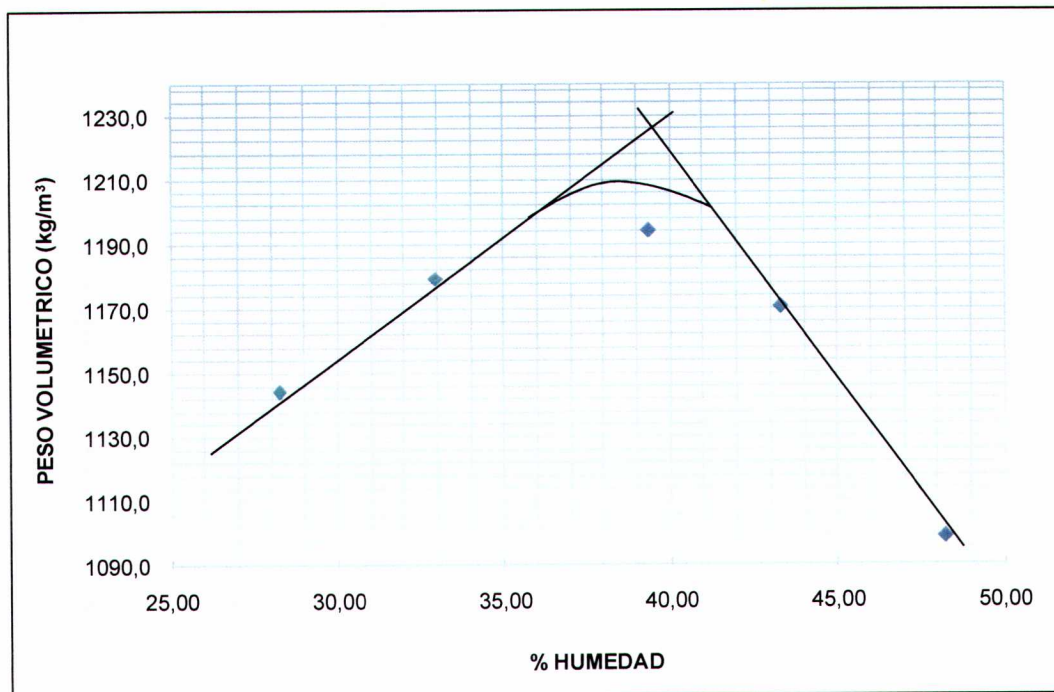


Gráfico 1. Peso volumétrico contra humedad, muestra 1757-17.



No. de informe: I-1240-17

Tabla 4. Resultados de Próctor Estándar, muestra 1758-17.

RESULTADOS	
Ensayo	Próctor Estándar
Método	C
Contenido de agua óptimo	37,5%
Densidad seca máxima estándar	1276 kg/m ³
Forma de la superficie	Circular
Densidad máxima ajustada	1276 kg/m ³
Humedad óptima corregida	37,5%
Corrección sobretamaño	0,0%
Gravedad Específica Bruta (Gbs)	2,60

Nota:

- Se utiliza el valor de gravedad específica bruta establecido por la norma AASHTO T-99-15.
- Se utiliza material pasando el tamiz No. 3/4".

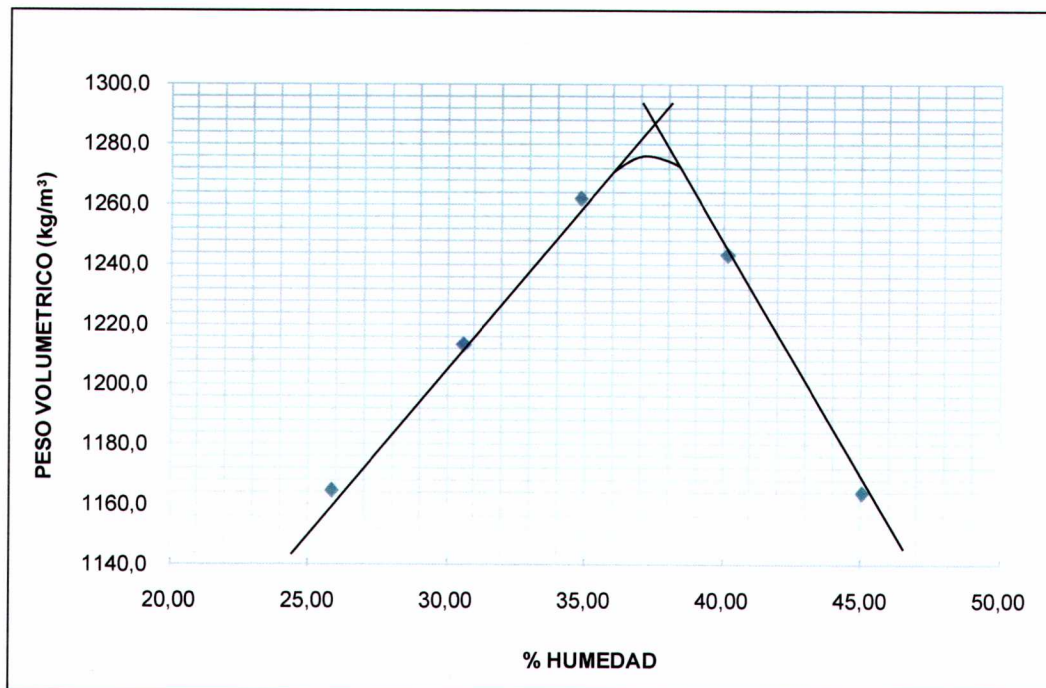


Gráfico 2. Peso volumétrico contra humedad, muestra 1758-17.





No. de informe: I-1240-17

Tabla 5. Análisis granulométrico de suelos vía seca, muestra: 1757-17.

MASA INICIAL: 1046 g MASA FINAL: 233 g

MALLA No.	ABERTURA (mm)	MASA RET.	% RET.	% RET AC.	% PAS.
2"	50,0	0,00	0,00	0,00	100
1 1/2"	37,5	0,0	0,00	0,00	100,0
1"	25,0	25	2,41	2,4	97,6
3/4"	19,0	26	2,49	4,9	95,1
1/2"	12,5	0	0,00	4,9	95,1
3/8"	9,50	4	0,38	5,3	94,7
Nº 4	4,75	11	1,1	6,4	93,6
Nº 10	2,00	28	2,7	9,0	91,0
Nº 20	0,85	33	3,1	12,2	87,8
Nº 40	0,43	27	2,60	14,8	85,2
Nº60	0,25	22	2,07	16,9	83,1
Nº100	0,15	25	2,43	19,3	80,7
Nº140	0,11	16	1,57	20,9	79,1
Nº200	0,08	15	1,39	22,2	77,8

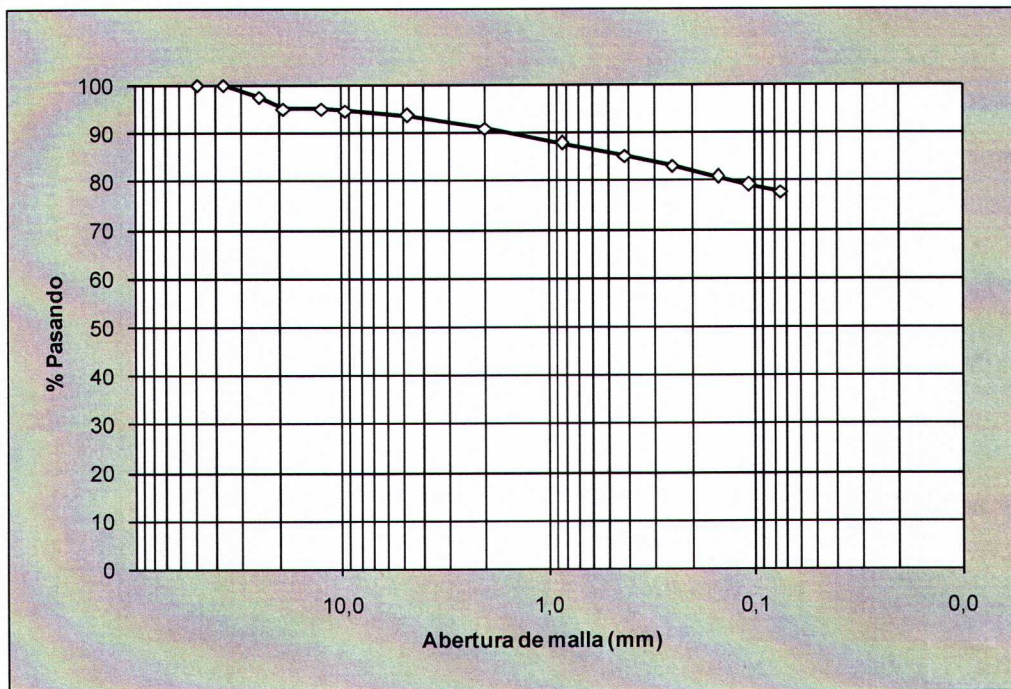


Gráfico 3. Curva granulométrica, muestra: 1757-17.



No. de informe: I-1240-17

Tabla 6. Análisis granulométrico de suelos vía seca, muestra: 1758-17.

MASA INICIAL: 739 g MASA FINAL: 66 g

MALLA No.	ABERTURA (mm)	MASA RET.	% RET.	% RET AC.	% PAS.
2"	50,0	0,00	0,00	0,00	100
1 1/2"	37,5	0,0	0,00	0,00	100,0
1"	25,0	0	0,00	0,0	100,0
3/4"	19,0	0	0,00	0,0	100,0
1/2"	12,5	0	0,00	0,0	100,0
3/8"	9,50	3	0,41	0,4	99,6
Nº 4	4,75	1	0,2	0,6	99,4
Nº 10	2,00	4	0,5	1,1	98,9
Nº 20	0,85	7	1,0	2,0	98,0
Nº 40	0,43	10	1,37	3,4	96,6
Nº60	0,25	11	1,44	4,8	95,2
Nº100	0,15	14	1,85	6,7	93,3
Nº140	0,11	9	1,20	7,9	92,1
Nº200	0,08	8	1,09	9,0	91,0

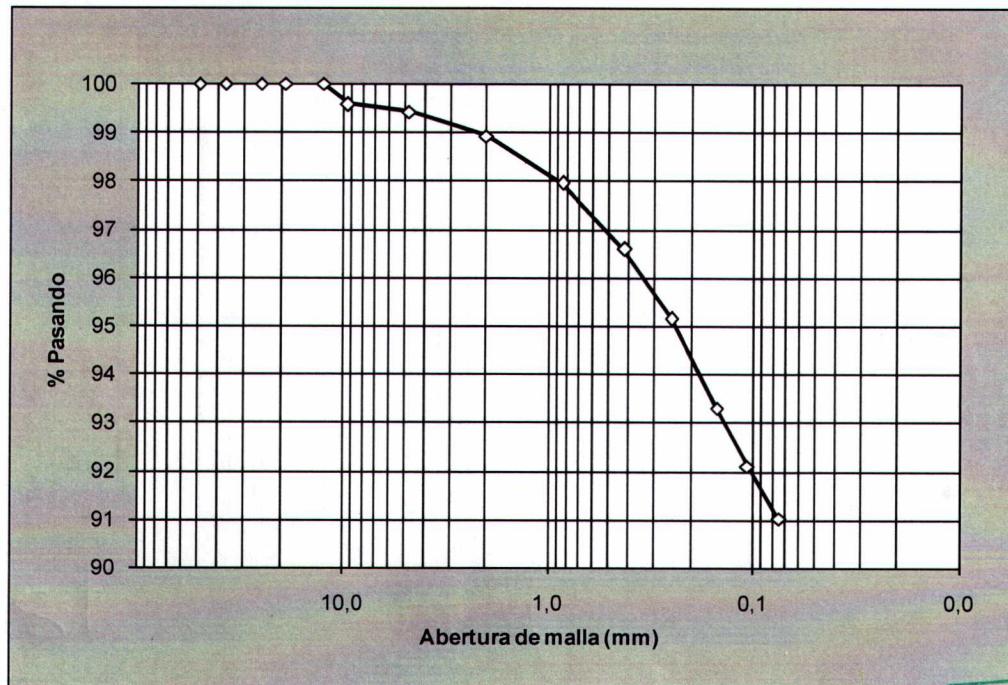


Gráfico 4. Curva granulométrica, muestra: 1758-17.



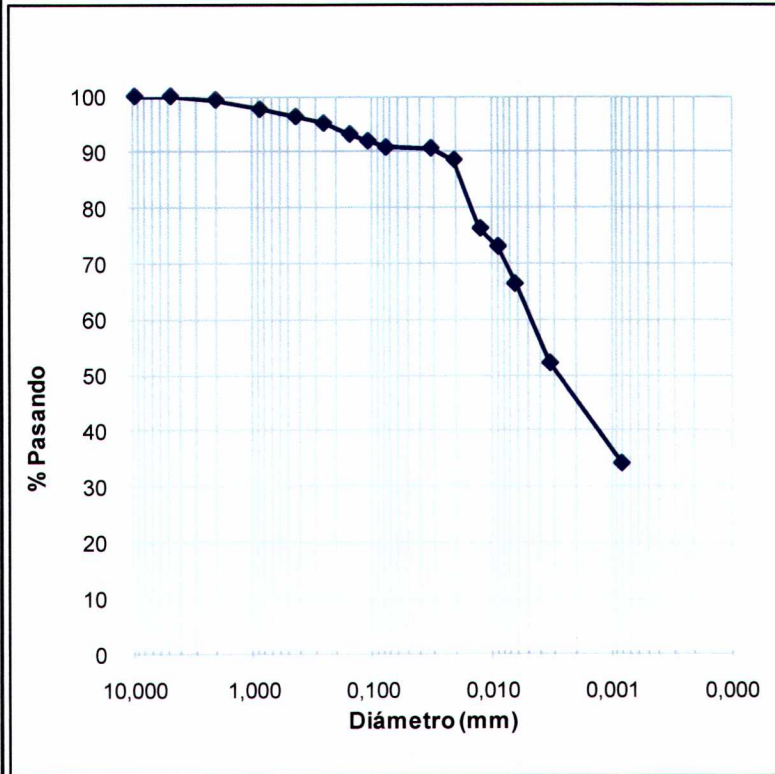


No. de informe: I-1240-17

Tabla 7. Análisis granulométrico de suelos vía húmeda, muestra: 1757-17.

Dispositivo de dispersión: Batidora		
Tamiz No.	% Más Finos	Diámetro (mm)
3/8"	100	9,500
Nº 4	100	4,750
Nº 10	99,3	2,000
Nº 20	97,6	0,850
Nº 40	96,3	0,425
Nº 60	95,1	0,250
Nº 100	93,1	0,150
Nº 140	91,9	0,106
Nº 200	90,7	0,075
	90,6	0,032
	88,5	0,020
	76,2	0,012
	73,0	0,009
	66,3	0,006
	52,1	0,003
	34,0	0,001

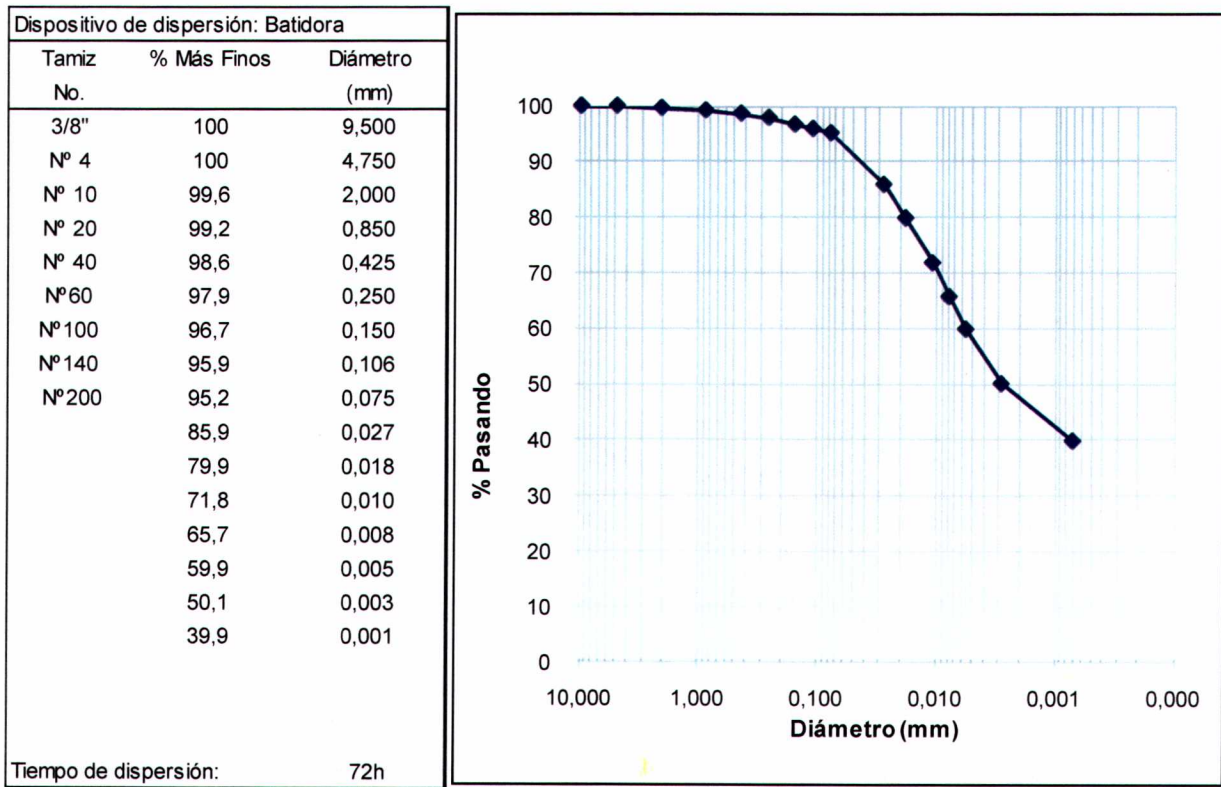
Tempo de dispersión: 72h





No. de informe: I-1240-17

Tabla 8. Análisis granulométrico de suelos vía húmeda, muestra: 1758-17.



Aclaraciones:

- El presente informe de ensayo sólo ampara las mediciones reportadas en el momento y condiciones ambientales y de uso en que se realizó esta prueba, para las muestras indicadas en este informe.
- Este informe de resultados tiene validez únicamente en su forma íntegra y original.
- No se permite la reproducción parcial de este documento sin la autorización del Director del LanammeUCR.

Preparó:

Oscar Valerio Salas

Ing. Oscar Valerio Salas
Jefe Laboratorio de Geotecnia

Revisó:

Luis Carlos Meseguer Quesada

Ing. Luis Carlos Meseguer Quesada, MBA
Coordinador Laboratorios Infraestructura Civil

Aprobó:

Alejandro Navas Carro

Ing. Alejandro Navas Carro, M.Sc.
Director LanammeUCR

-----ÚLTIMA LÍNEA-----





No. de informe: I-0028-18

Informe de Ensayo

RC-80 v.08 (Sistema de Gestión de Calidad, LanammeUCR. Norma INTE ISO/IEC 17025:2005)

ST- 1410 -17

1. Información del cliente:

Nombre: Unidad de Gestión Municipal, PITRA
Ing. Alonso Ulate Castillo

Proyecto: Evaluación de estabilización de material granular con cal en Mora

Domicilio: Lanamme. Universidad de Costa Rica, San Pedro, Montes de Oca, San José.

2. Método de ensayo:

ASTM D 6276 (**). Método para estimar el porcentaje de cal para estabilización de suelos.

ASTM D 1633 (**). Preparación y determinación de la compresión inconfiada de bases estabilizadas.

ASTM D 5102 (**). Metodo para la compactación para compresión inconfiada en suelos estabilizados con cal.

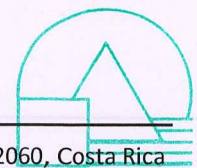
(*) Ensayo acreditado. Ver alcance en www.eca.or.cr

(**) Ensayo no acreditado.

Dirección: 500 metros Norte de Muñoz y Nanne. Finca 2, Universidad de Costa Rica. Apartado 11501-2060, Costa Rica

Teléfono: 2511-2500, Fax: 2511-4440 E-mail: dirección.lanamme@ucr.ac.cr

www.lanamme.ucr.ac.cr



LanammeUCR

Laboratorio Nacional de
Materiales y Modelos Estructurales
U.C.R.

Página 1 de 7



No. de informe: I-0028-18

3. Información de la(s) muestra(s) o espécimen(es) de ensayo:

<u>No. de identificación:</u>	<u>Descripción:</u>
1757 -17	4 bolsas(100 kg). Sondeo 1 (Tramo 8-Cal). Material de rasante existente (combinación de suelo y grava). Proyecto: Estabilización Mora, camino Piedras Negras, El Pito Jaris (Tramo 8-Cal)
1758 -17	4 bolsas(100 kg). Sondeo 2 (Tramo 8- Cal). Material de rasante existente (combinación de suelo y grava). Proyecto: Estabilización Mora, camino Piedras Negras, El Pito Jaris (Tramo 8-Cal)
1933 -17	4 sacos (25 kg c/u) con Cal Hidratada para uso agrícola. Fuente: HORCALSA, Guatemala

Aportadas por: Ing. Alonso Ulate

Fecha de recepción: 2017/09/08

Fecha de realización del ensayo: 2017/12/12 al 2018/01/11

4. Información del muestreo :

La muestra fue suministrada por el cliente en nuestras instalaciones.

5. Resultados :

Previamente se contaba con la información de la granulométrico, límites de Atterberg y Próctor estándar del material suministrado (1757-17 y 1758-17). Para ambas muestras además se tienen los resultados del diseño de base estabilizada con cal para cada una, por lo que se adicionó la dosificación reportada en informes previos de cal. A partir de esto se compactaron 6 especímenes por muestra, se dejaron al a temperatura ambiente por un periodo de 28 días. Luego 3 de cada muestra, posterior ese tiempo, se colocaron sobre un oasis saturados de agua por 24 horas.

Finalmente, todos los especímenes se fallaron para obtener el esfuerzo a compresión confinada.





No. de informe: I-0028-18

Tabla N° 1: Resultados de densidad y compactación después de 28 días al aire
Muestra: 1757-17 Base estabilizada con 3,5% de cal

% 3,5 Cal	Masa de molde (g)	Masa molde más muestra (g)	Volumen molde (m ³)	Densidad húmeda (kg/m ³)	Densidad seca (kg/m ³)	Compactación (%)
24 h en oasis	4152,0	5553,5	0,000942	1488,2	1063,9	89,4
25 h en oasis	4152,0	5569,2	0,000942	1504,9	1075,8	90,4
26 h en oasis	4152,0	5586,1	0,000942	1522,9	1088,7	91,4
Secas	4152,0	5585,8	0,000942	1522,5	1088,4	91,4
Secas	4152,0	5546,2	0,000942	1480,5	1058,4	88,9
Secas	4152,0	5530,5	0,000942	1463,8	1046,4	87,9

Tabla N° 2: Resultados de humedad de compactación en el material estabilizado
Muestra: 1757-17 Base estabilizada con 3,5% de cal

% 3,5 Cal	w _b (g)	w _{b+w} (g)	w _{b+d} (g)	Humedad (%)
24 h en oasis	43,32	265,40	202,08	39,9
25 h en oasis	43,75	292,74	220,44	40,9
26 h en oasis	43,92	258,60	196,55	40,7
Secas	42,07	249,55	189,23	41,0
Secas	43,71	244,64	187,36	39,9
Secas	44,43	252,48	193,46	39,6



No. de informe: I-0028-18

Tabla N° 3: Resultados de la falla de especímenes después de 28 días al aire
Muestra: 1757-17 Base estabilizada con 3,5% de cal

% 3,5 Cal	Carga máxima (N)	Diámetro d (mm)	Altura h (mm)	Relación h/d	Área (mm ²)	Resistencia máxima (MPa)
24 h en oasis	2200,00	101,57	116,85	1,15	8102,93	0,27
25 h en oasis	2600,00	101,68	116,75	1,15	8119,69	0,32
26 h en oasis	3000,00	101,61	116,64	1,15	8108,52	0,37
Secas	11200,00	100,67	115,38	1,15	7959,97	1,41
Secas	11000,00	100,79	115,43	1,15	7978,96	1,38
Secas	9000,00	100,68	115,53	1,15	7961,16	1,13

Tabla N° 4: Resultados de humedad después la falla
Muestra: 1757-17 Base estabilizada con 3,5% de cal

% 3,5 Cal	W _b	W _{b+w}	W _{b+d}	Humedad
	g	g	g	%
24 h en oasis	285,7	1836,3	1290,3	54,3
25 h en oasis	284,0	1831,3	1292,2	53,5
26 h en oasis	226,7	1788,5	1251,7	52,4
Secas	285,1	1410,4	1306,3	10,2
Secas	226,5	1330,8	1227,9	10,3
Secas	284,6	1375,9	1275,0	10,2



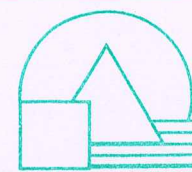
No. de informe: I-0028-18

Tabla N° 5: Resultados de densidad y compactación después de 28 días al aire
Muestra: 1758-17 Base estabilizada con 3,5% de cal

% 3,5 Cal	Masa de molde (g)	Masa molde más muestra (g)	Volumen molde (m ³)	Densidad húmeda (kg/m ³)	Densidad seca (kg/m ³)	Compactación (%)
24 h en oasis	4152,0	5655,7	0,000942	1596,8	1157,0	89,4
25 h en oasis	4152,0	5665,1	0,000942	1606,7	1164,2	89,9
26 h en oasis	4152,0	5661,0	0,000942	1602,4	1161,1	89,7
Secas	4152,0	5641,0	0,000942	1581,1	1145,7	88,5
Secas	4152,0	5643,0	0,000942	1583,3	1147,2	88,6
Secas	4152,0	5655,3	0,000942	1596,3	1156,7	89,4

Tabla N° 6: Resultados de humedad de compactación en el material estabilizado
Muestra: 1758-17 Base estabilizada con 3,5% de cal

% 3,5 Cal	w _b (g)	w _{b+w} (g)	w _{b+d} (g)	Humedad (%)
24 h en oasis	43,32	269,02	206,86	38,0
25 h en oasis	42,71	271,54	209,65	37,1
26 h en oasis	43,69	255,29	196,82	38,2
Secas	43,64	274,73	211,69	37,5
Secas	43,53	253,56	197,11	36,8
Secas	43,98	269,28	208,98	36,5



LanammeUCR

Laboratorio Nacional de
Materiales y Modelos Estructurales
U.C.R.



No. de informe: I-0028-18

Tabla N° 7: Resultados de la falla de especímenes después de 28 días al aire
Muestra: 1758-17 Base estabilizada con 3,5% de cal

% 3,5 Cal	Carga máxima (N)	Diámetro d (mm)	Altura h (mm)	Relación h/d	Área (mm ²)	Resistencia máxima (MPa)
24 h en oasis	1800,00	101,47	116,99	1,15	8086,98	0,22
25 h en oasis	1800,00	101,61	117,44	1,16	8108,12	0,22
26 h en oasis	2000,00	101,50	117,03	1,15	8090,97	0,25
Secas	12300,00	100,18	115,11	1,15	7882,67	1,56
Secas	12200,00	100,25	115,03	1,15	7892,91	1,55
Secas	12400,00	100,21	115,13	1,15	7886,22	1,57

Tabla N° 8: Resultados de humedad después la falla
Muestra: 1758-17 Base estabilizada con 3,5% de cal

% 3,5 Cal	W _b	W _{b+w}	W _{b+d}	Humedad
	g	g	g	%
24 h en oasis	224,2	1822,7	1317,1	46,3
25 h en oasis	284,7	1895,7	1390,2	45,7
26 h en oasis	284,9	1882,1	1385,3	45,1
Secas	284,0	1488,6	1371,7	10,7
Secas	226,6	1439,1	1321,0	10,8
Secas	285,0	1506,2	1391,2	10,4



No. de informe: I-0028-18

Aclaraciones:

- El presente informe de ensayo sólo ampara las mediciones reportadas en el momento y condiciones ambientales y de uso en que se realizó esta prueba, para las muestras indicadas en este informe.
- Este informe de resultados tiene validez únicamente en su forma íntegra y original.
- No se permite la reproducción parcial de este documento sin la autorización del Director del LanammeUCR.

Preparó:

Ing. Andrea Ulloa Calderón
Jefe Laboratorio de Mezclas
Bituminosas

Revisó:

Ing. Fabián Elizondo Arrieta, MBA
Coordinador Laboratorios de
Infraestructura Vial

Aprobó:

Ing. Alejandro Navas Carro, M.Sc.
Director LanammeUCR

-----ÚLTIMA LÍNEA-----



ANEXO 11.3 Proceso constructivo Tramo 6_CAL HIDRATADA (19-06-2017)

Procedimiento constructivo

Transporte (15-03-2018):

- Se transporta la cal hidratada en sacos de 25 kg el mismo día de aplicación para evitar que quede expuesta al ambiente.

Preparación y estabilización (15-03-2018):

- Se escarifica la calzada en un espesor de 15 a 20 cm y se homogeniza el suelo existente.
- Se eliminan las partículas de sobretamaño que se observen en la superficie de forma manual.
- Se realiza limpieza y conformación de las cunetas no revestidas a ambos lados de la vía.
- Se conforma la capa de suelo existente con la motoniveladora procurando obtener la sección transversal especificada en el Anexo 3.
- Se verifica el contenido de humedad natural de la capa de suelo existente homogenizado y se aplica riego de agua.
- Se vuelve a escarificar la capa de suelo a estabilizar.
- Se distribuye la cal hidratada de forma manual, colocando los sacos en la superficie del camino de acuerdo con la plantilla que permite obtener la dosificación de diseño.
- Se distribuye la cal hidratada con la cuchilla de la motoniveladora sobre la superficie del camino previo a realizar la mezcla.
- Se mezcla la cal hidratada con el suelo, al mover el suelo con cal de un lado al otro del camino formando “camellones” en el centro de la calzada y distribuyendo el material de forma homogénea. Esto se repite cuatro veces.
- Cuando se tiene una masa uniforme de cal y suelo, se procede a realizar la conformación final de la calzada con pendiente transversal de 4% a 6% en un ancho de 5,5 m.
- Se vuelve a verificar el contenido de humedad y si es necesario se aplican riegos adicionales de agua para alcanzar la humedad óptima de compactación $\pm 2\%$.
- Se compacta la capa homogénea de suelo y cal, primero sin vibración para realizar amasado, luego se realizan al menos dos pasadas con vibración para finalizar con una pasada adicional sin vibración para acabado.
- Se verifica la humedad de la capa estabilizada con cal y se realiza riego de agua adicional si es necesario para obtener 95% de la densidad máxima de Próctor.
- Se realiza curado con riego de agua dos veces al día por siete días.

Notas y observaciones

- El procedimiento constructivo se realizó con la visita de un representante de la empresa proveedora del producto.
 - Durante el proceso constructivo las temperaturas fueron altas y el suelo se encontraba muy seco, fue necesario agregar mucha humedad por medio de riegos de agua.
 - Debido a que se planeó la construcción en un solo día de labores, no se realizó el proceso de fragua previa por 24 a 48 h. En su lugar se mezcló varias veces la cal hidratada con el suelo por espacio de 2 horas, para luego distribuir y compactar.
-

Verificación de humedad existente en suelo a estabilizar



Conformación de calzada y limpieza de cuentas



Retiro de partículas de sobretamaño y homogenización de suelo existente



Riego de agua para humedecer el suelo y homogenización



Muestreo del suelo sin cal



Distribución de sacos de 25kg de CAL HIDRATADA





UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA



LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

Mezcla y homogenización del suelo con CAL HIDRATADA



Riego de agua para alcanzar humedad óptima de compactación



Escarificación para volver a mezclar y homogenizar



Tel.: +506 2511-2500 | Fax: +506 2511-4440 | direccion.lanamme@ucr.ac.cr | www.lanamme.ucr.ac.cr

Dirección: LanammeUCR, Ciudad de la Investigación, Universidad de Costa Rica.

Código Postal: 11501-2060, San Pedro de Montes de Oca, San José, Costa Rica.

Proceso de compactación



Verificación de contenido de humedad y densidad



Acabado final





ANEXO 11.4 Estimación de costos Tramo 6_CAL HIDRATADA

TABLA DE ESTIMACIÓN DE COSTOS					
		Cantidad	Costo (₡)	Horas	Costo total (₡)
Mano de Obra	Peon	5	2 500,00	8	100 000,00
	Encargado de obra	1	5 000,00	8	40 000,00
	Operador Niveladora	1	4 687,50	8	37 500,00
	Operador Backhoe	1	4 062,50	8	32 500,00
	Operador Compactadora	1	3 750,00	2	7 500,00
	Chofer Vagoneta	1	2 500,00	4	10 000,00
	Chofer Tanque de Agua	1	3 125,00	4	12 500,00
	Chofer Camión	1	3 750,00	2	7 500,00
	Viaticos	1	400,00	76	30 400,00
					277 900,00
Equipo		Cantidad	Costo (₡)	Horas	Costo total (₡)
	Niveladora 140H	1	50 000,00	8	400 000,00
	BackHoe	1	17 500,00	8	140 000,00
	Tanque de Agua (10 000 L)	1	7 800,00	4	31 200,00
	Vagoneta (9-11 m3)	8	17 800,00	4	569 600,00
	Compactador Vibratorio (10 ton)	1	40 000,00	2	80 000,00
	Camión (5 ton)	1	12 000,00	2	24 000,00
					1 244 800,00
Materiales		Cantidad	Costo (₡)	Horas	Costo total (₡)
	CAL HIDRATADA (saco 25 kg)	360,0	5 000,00	1	1 800 000,00
		0		0	0,00
		0		0	0,00
		0		0	0,00
		0		0	0,00
					1 800 000,00
Rubro	Costo (₡)				
Subtotal	3 322 700,00				
Produccion (m3)	220,00				
Costo	15 103,18				
Rubro	Porcentaje	Costo (₡)			
Verificación laboratorio	1%	151,03			
Imprevisto	3%	453,10			
Administracion oficina central	1%	151,03			
Utilidad	0,0%	0,00			
	c/m3	15 858,34			



**UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA**



**LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES**

ANEXO 11.5

Ensayos de laboratorio Tramo 6_ CAL HIDRATADA

Ejecutados por el LanammeUCR

ANEXO 11.5 Resultado de ensayos de compresión inconfiada Tramo 6_CAL HIDRATA

Tramo	No. Especímen	Fecha Moldeo	Fecha Ensayo	Edad (días)	Diámetros D (mm)				Altura D (mm)				Relación L/D	Carga máxima (KN)	Carga máxima (MPa)	Carga máxima (Kgf)	Area (cm2)	Presión máxima (Kg/cm2)	Condicionado
					1	2	3	Prom	1	2	3	Prom							
Tramo 6	556-18	16/3/2018	23/3/2018	7	101,8	101,86	101,59	101,74	116,66	116,4	116,88	116,65	1,15	2,5	0,31	254,93	81,29	3,14	NO
Tramo 6	556-18	16/3/2018	23/3/2018		101,6	101,62	101,7	101,64	116,17	116,2	116,29	116,22	1,14	2,6	0,33	265,12	81,13	3,27	SI
Tramo 6	556-18	16/3/2018	15/4/2018	30	100,9	100,7	100,7	100,75	116,28	116,15	116,45	116,29	1,15	11,9	1,52	1213,44	79,73	15,22	NO
Tramo 6	556-18	16/3/2018	15/4/2018		100,7	100,7	100,79	100,72	116,47	116,45	116,29	116,40	1,16	4,6	0,59	469,06	79,67	5,89	SI
Tramo 6	556-18	16/3/2018	15/5/2018	60	100,8	100,62	100,6	100,67	116,09	115,97	116,24	116,10	1,15	10	1,28	1019,70	79,60	12,81	NO
Tramo 6	556-18	16/3/2018	15/5/2018		101,2	100,98	100,83	101,00	116,79	116,9	116,89	116,86	1,16	3,5	0,45	356,90	80,12	4,45	SI
Tramo 6	556-18	16/3/2018	7/4/2017	90	101,2	101,66	101,56	101,47	116,52	116,48	116,52	116,51	1,15	9,1	1,15	927,93	80,87	11,47	NO
Tramo 6	556-18	16/3/2018	7/4/2017		101,6	101,52	101,49	101,54	116,23	116,32	116,56	116,37	1,15	2,8	0,35	285,52	80,98	3,53	SI

Resumen de resultados

Edad (días)	kg/cm2		MPa	
	No condicionado	Condicionado	No condicionado	Condicionado
7	3,14	3,27	0,31	0,33
30	15,22	5,89	1,52	0,59
60	12,81	4,45	1,28	0,45
90	11,47	3,53	1,15	0,35



No. de informe: I-0804-18

Informe de Ensayo

RC-80 v.09 (Sistema de Gestión de Calidad, LanammeUCR. Norma INTE ISO/IEC 17025:2005)

ST-790-18

1. Información del cliente:

Nombre: Unidad de Gestión Municipal / Ing. Alonso Ulate
Proyecto: Municipalidad de Mora, Tramo 8. Ruta La Fila-Piedras Negras
Domicilio: LanammeUCR, San Pedro de Montes de Oca, San José.

2. Método de ensayo:

IT-GC-05 (ASTM D 4318) (*)
Procedimiento para determinar el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de un suelo.
IT-GC-02 (ASTM D 2216) (*)
Procedimiento para determinar el contenido de humedad de suelos y rocas.
(ASTM D 6913) (**)
Método de ensayo para el análisis de tamaño de partículas de suelo (utilizando tamices).
IT-GC-06 (AASHTO T 99) (*)
Método estándar de ensayo para la relación densidad-humedad de suelos usando un mazo de 2,5 kg y una caída de 305 mm.
IT-GC-08 (AASHTO T 193) (*)
Método estándar de ensayo para determinar el índice de soporte de California (CBR).



(*) Ensayo acreditado. Ver alcance en www.eca.or.cr.

(**) Ensayo no acreditado.

3. Información de las muestras o especímenes de ensayo:

No. de identificación: M-556-18
Descripción: 8 Pastillas de base estabilizada: Municipalidad de Mora, Tramo 8. Ruta La Fila-Piedras Negras.





No. de informe: I-0804-18

M-559-18

2 Sacos con suelo natural. Proyecto: Municipalidad de Mora, Tramo 8. Ruta La Fila-Piedras Negras.

M-560-18

2 Sacos con suelo con cal. Proyecto: Municipalidad de Mora, Tramo 8. Ruta La Fila-Piedras Negras.

Aportada por:

Sr. Steven Carballo

Fecha de recepción:

2018/03/19

Fecha de realización del ensayo:

2018/03/16-2018/06/25

4. Información del muestreo:

Fecha de muestreo:

2018/03/16

Ubicación:

Municipalidad de Mora, Tramo 8

Procedimiento de muestreo:

Muestreo realizado por el personal de la Unidad de Gestión Municipal. Muestreo realizado según lo establece la norma ASTM D 75. Personal responsable de las muestras: Ing. Alonso Ulate.

5. Resultados:

Tabla 1. Límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de las muestras.

MUESTRA	LÍMITE LÍQUIDO	LÍMITE PLÁSTICO	ÍNDICE PLÁSTICIDAD
559-18	64	39	25
560-18	45	39	6

Nota:

-La muestra fue acondicionada por el método de preparación en seco.

-El límite líquido se determina según el método A (método multipunto) de la norma ASTM D 4318.

Tabla 2. Contenido de Humedad de los suelos y rocas de muestra: M-559-18.

Material natural

MUESTRA No.	HUMEDAD NATURAL (%)
559-18	19,8





No. de informe: I-0804-18

**Tabla 3. Contenido de Humedad de los suelos y rocas de muestra: M-560-18.
Material con cal**

MUESTRA No.	HUMEDAD NATURAL (%)
560-18	26,5

Tabla 4. Análisis granulométrico de suelos vía seca. Muestra: M-559-18.

MASA INICIAL: 3001 g MASA FINAL: 857 g

MALLA No.	ABERTURA (mm)	MASA RET.	% RET.	% RET AC.	% PAS.
2"	50,0	0,00	0,00	0,00	100
1 1/2"	37,5	0,00	0,00	0,00	100,0
1"	25,0	34,21	1,14	1,1	98,9
3/4"	19,0	39,13	1,30	2,4	97,6
1/2"	12,5	69,42	2,31	4,8	95,2
3/8"	9,50	34,90	1,16	5,9	94,1
Nº 4	4,75	86,85	2,9	8,8	91,2
Nº 10	2,00	134,36	4,5	13,3	86,7
Nº 20	0,85	132,89	4,4	17,7	82,3
Nº 40	0,43	87,86	2,93	20,6	79,4
Nº60	0,25	59,44	1,98	22,6	77,4
Nº100	0,15	56,02	1,87	24,5	75,5
Nº140	0,11	51,79	1,73	26,2	73,8
Nº200	0,08	70,40	2,35	28,6	71,4

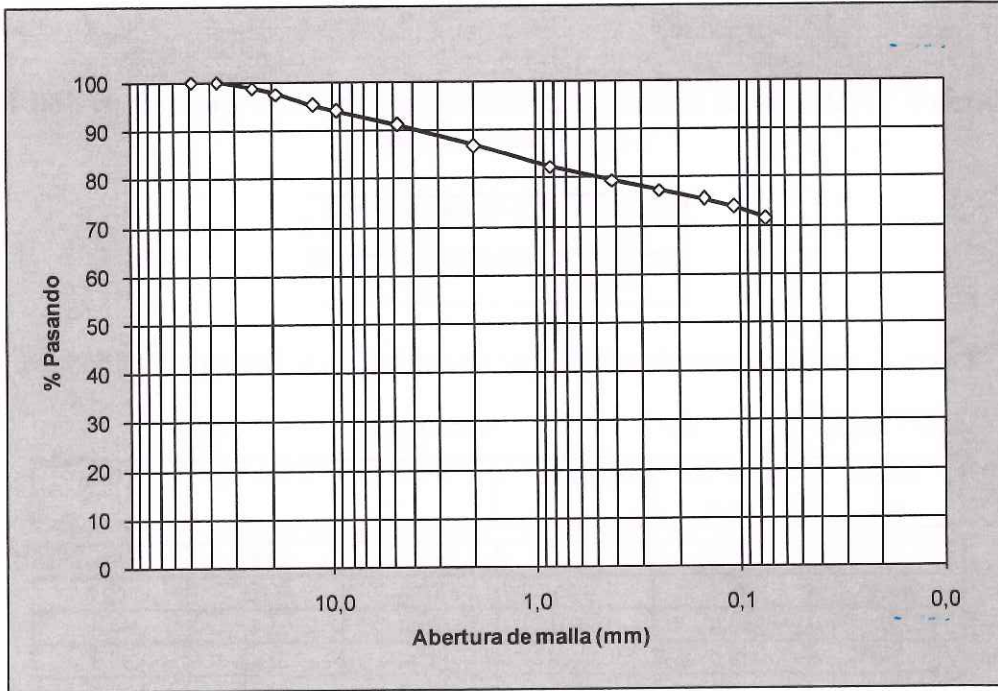


Gráfico 1. Curva granulométrica. Muestra: M-559-18.

Tabla 5. Análisis granulométrico de suelos vía seca. Muestra: M-560-18.

MASA INICIAL: 2542 g MASA FINAL: 1697 g

MALLA No.	ABERTURA (mm)	MASA RET.	% RET.	% RET AC.	% PAS.
2"	50,0	0,00	0,00	0,00	100
1 1/2"	37,5	0,00	0,00	0,00	100,0
1"	25,0	37,75	1,49	1,5	98,5
3/4"	19,0	64,59	2,54	4,0	96,0
1/2"	12,5	35,20	1,39	5,4	94,6
3/8"	9,50	53,17	2,09	7,5	92,5
Nº 4	4,75	196,32	7,7	15,2	84,8
Nº 10	2,00	320,20	12,6	27,8	72,2
Nº 20	0,85	352,54	13,9	41,7	58,3
Nº 40	0,43	228,88	9,01	50,7	49,3
Nº60	0,25	141,03	5,55	56,3	43,7
Nº100	0,15	105,23	4,14	60,4	39,6
Nº140	0,11	78,04	3,07	63,5	36,5
Nº200	0,08	84,37	3,32	66,8	33,2



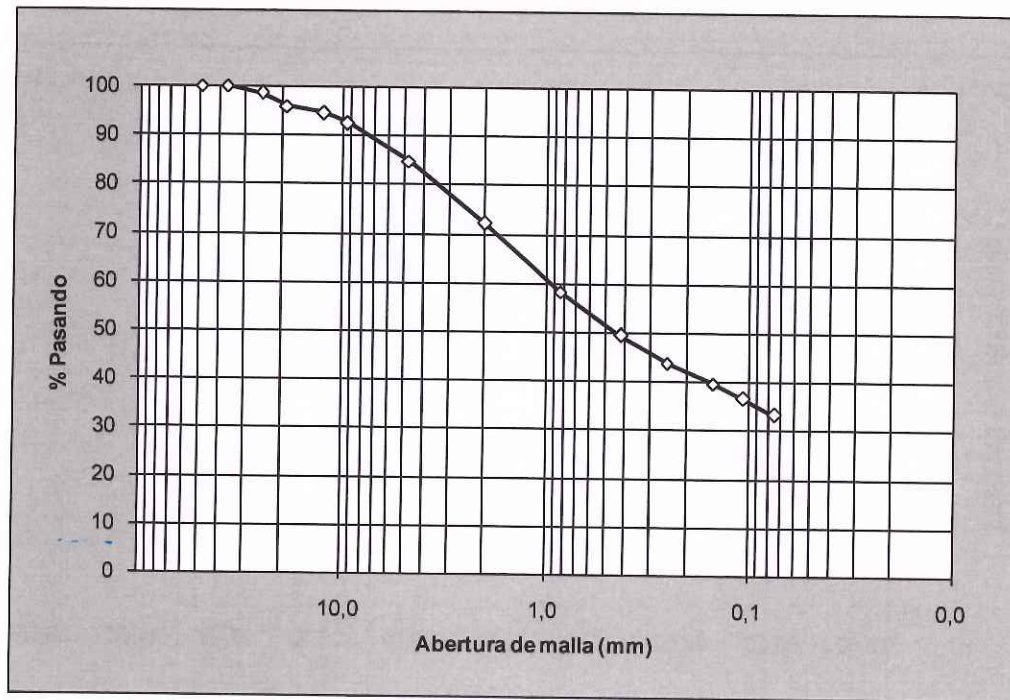


Gráfico 2. Curva granulométrica. Muestra: M-560-18.

Tabla 6. Resultados próctor estándar: Muestra: M-559-18.

RESULTADOS	
Ensayo	Próctor Estándar
Método	C
Contenido de agua óptimo	27,5%
Densidad seca máxima estándar	1448 kg/m ³
Forma de la superficie	Circular
Densidad máxima ajustada	1448 kg/m ³
Humedad óptima corregida	27,5%
Corrección sobretamaño	0,0%
Gravedad Específica	2,60

Nota:

-Se utiliza el valor de gravedad específica bruta establecido por la norma AASHTO T-99-15.

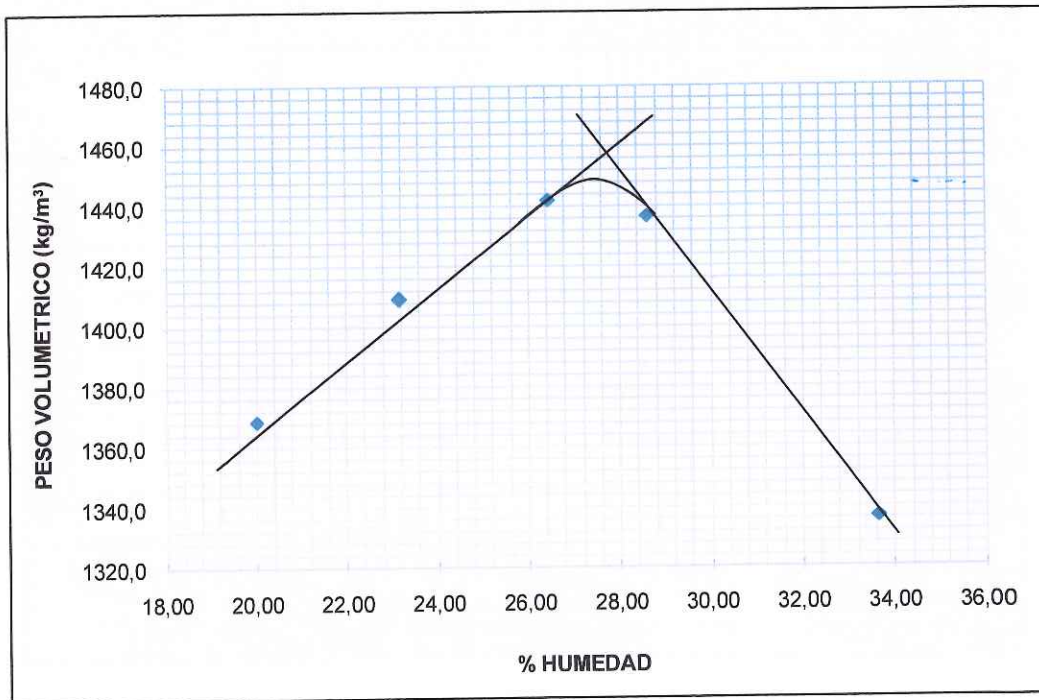


Gráfico 3. Peso volumétrico contra humedad: Muestra: M-559-18.

Tabla 7. Resultados próctor estándar: Muestra: M-560-18.

RESULTADOS	
Ensayo	Próctor Modificado
Método	C
Contenido de agua óptimo	31,2%
Densidad seca máxima estándar	1358 kg/m ³
Forma de la superficie	Circular
Densidad máxima ajustada	1358 kg/m ³
Humedad óptima corregida	31,2%
Corrección sobretamaño	0,0%
Gravedad Específica	2,60

Nota:

-Se utiliza el valor de gravedad específica bruta establecido por la norma AASHTO T-99-15.



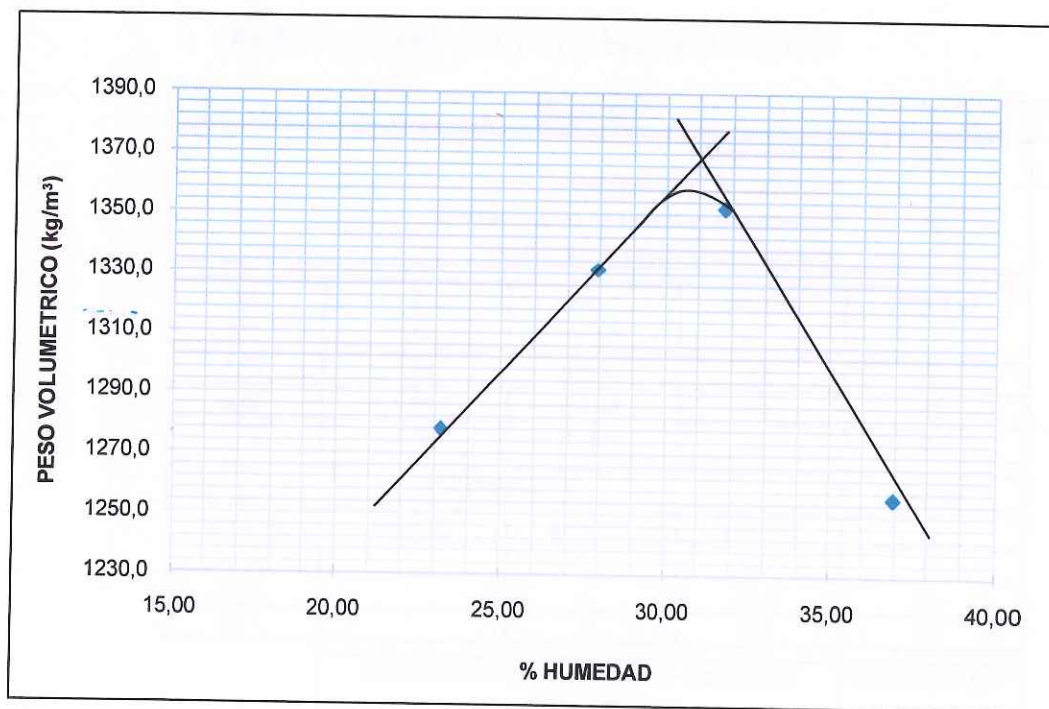


Gráfico 4. Peso volumétrico contra humedad: Muestra: M-560-18.





Tabla 8. Resultados de CBR: Muestra 559-18.

SIMBOLOGÍA					
δs	Densidad seca				
C	Porcentaje de compactación				
W	Porcentaje de humedad en cada espécimen				
*	No se tomaron lecturas de deformación				
GOLPES	MOLDE	δs (kg/m ³)	C (%)	W (%)	
56	31	1420,0	98,1	27,1	
25	48	1310,6	90,5	26,8	
10	62	1181,6	81,6	27,5	
MOLDE	% EXPANSIÓN				
	24 horas	48 horas	72 horas	96 horas	
31	2,03	*	*	2,30	
48	2,04	*	*	2,23	
62	1,79	*	*	1,93	
PENETRACIÓN (mm)	ESFUERZO UNITARIO DE COMPACTACIÓN MOLDES				
	31 (kPa)	48 (kPa)	62 (kPa)		
0,000	0	0	0		
0,64	86,8	135,6	45,0		
1,27	223,0	245	84		
1,91	420	346	116		
2,54	588	438	141		
3,18	727	513	163		
3,81	826	568	181		
5,08	983	618	196		
7,62	1167	704	217		
10,2	1307	780	232		
12,7	1429	853	246		
No. GOLPES	C (%)	% CBR CALCULADO		% CBR CORREGIDO	
		0,1 pulg 2,54 mm	0,2 pulg 5,08 mm	0,1 pulg 2,54 mm	0,2 pulg 5,08 mm
56	98,1	8,5	9,5	10,2	9,9
25	90,5	6,3	6,0	6,3	6,0
10	81,6	2,0	1,9	2,0	1,9

Nota:

-Los valores de CBR para las curvas de 56 golpes fueron corregidos por curvatura según norma.



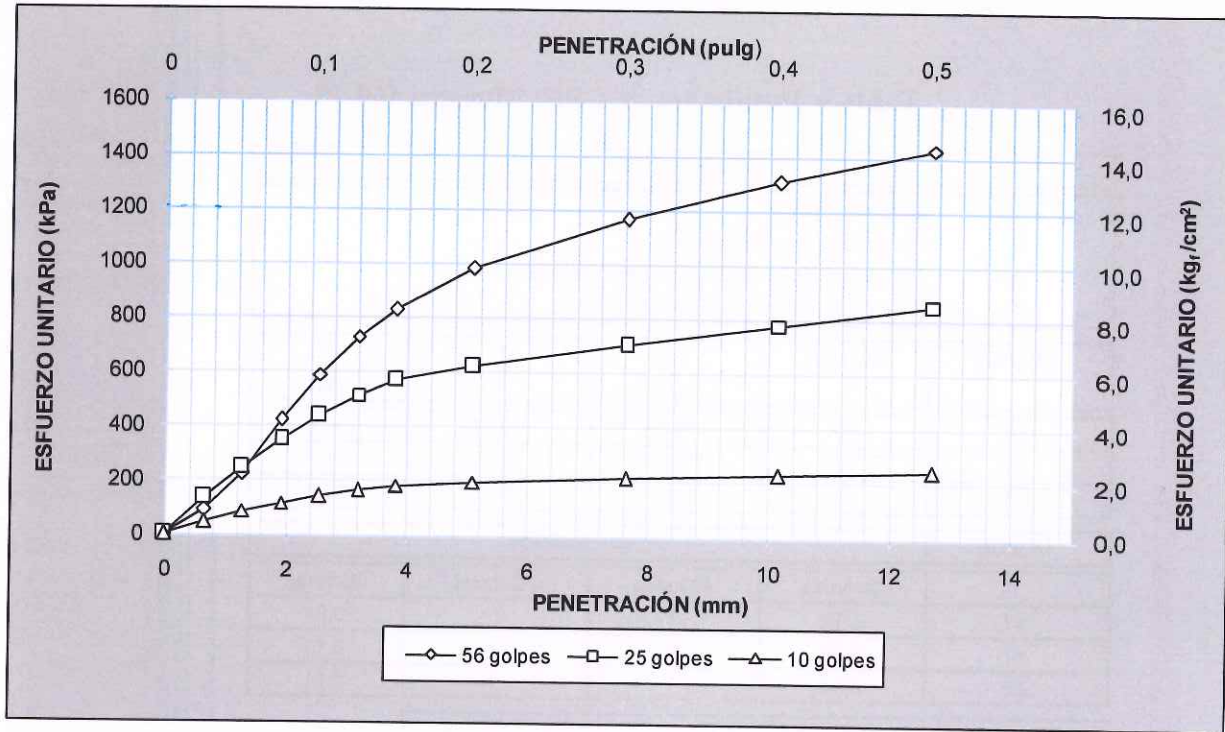


Gráfico 5. Esfuerzo unitario contra penetración: Muestra M-559-18

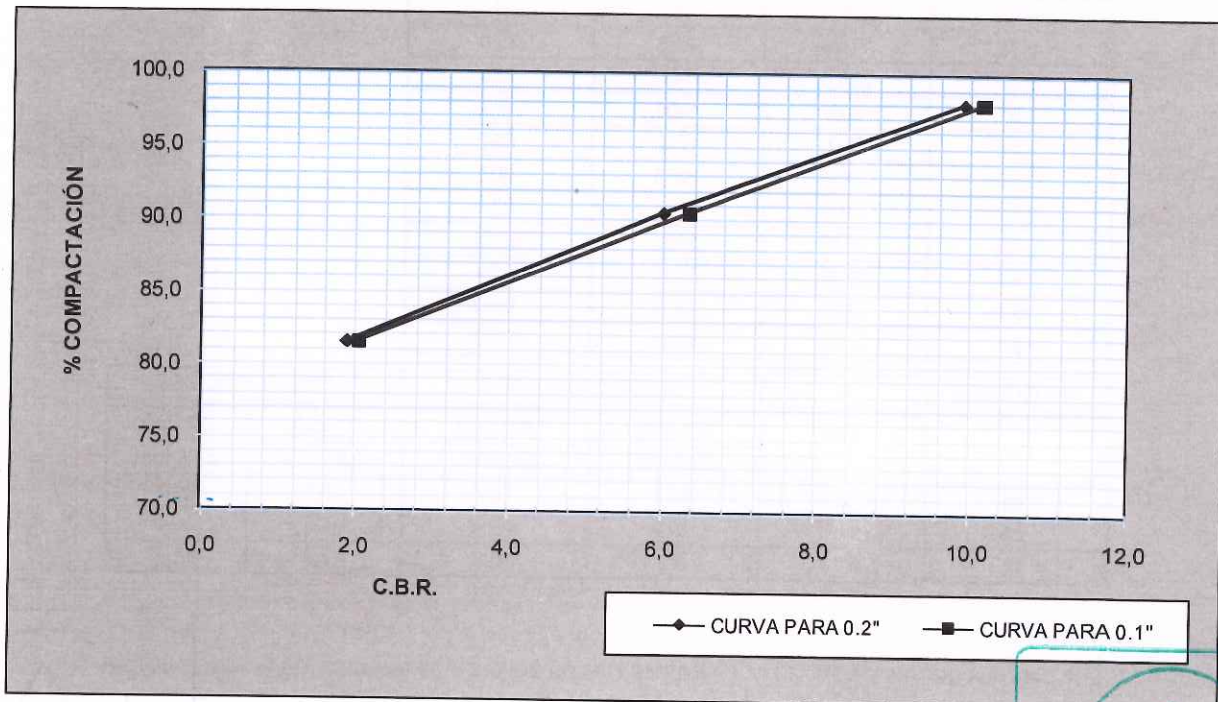


Gráfico 6. Porcentaje de compactación contra CBR: Muestra M-559-18.



Tabla 9. Resultados de CBR: Muestra 560-18.

SIMBOLOGÍA	
δ_s	Densidad seca
C	Porcentaje de compactación
W	Porcentaje de humedad en cada espécimen
*	No se tomaron lecturas de deformación

GOLPES	MOLDE	δ_s (kg/m ³)	C (%)	W (%)
56	47	1385,5	102,0	30,6
25	57	1339,7	98,7	30,8
10	60	1239,7	91,3	30,9

MOLDE	% EXPANSIÓN			
	24 horas	48 horas	72 horas	96 horas
47	-0,02	*	*	0,04
57	0,06	*	*	0,16
60	0,04	*	*	0,11

PENETRACIÓN (mm)	ESFUERZO UNITARIO DE COMPACTACIÓN MOLDES		
	47	57	60
	(kPa)	(kPa)	(kPa)
0,000	0	0	0
0,64	144,4	47,0	33,6
1,27	348,3	682	130
1,91	604	1301	442
2,54	900	1772	634
3,18	1162	2206	802
3,81	1406	2544	924
5,08	1927	3023	1093
7,62	2748	3754	1351
10,2	3491	4330	1563
12,7	4199	4834	1749

No. GOLPES	C (%)	% CBR CALCULADO		% CBR CORREGIDO	
		0,1 pulg	0,2 pulg	0,1 pulg	0,2 pulg
		2,54 mm	5,08 mm	2,54 mm	5,08 mm
56	102,0	13,0	18,7	15,1	20,3
25	98,7	25,7	29,4	31,2	31,0
10	91,3	9,2	10,6	12,8	11,7

Nota:

-Los valores de CBR para las curvas de 56, 25 y 10 golpes fueron corregidos por curvatura según norma.



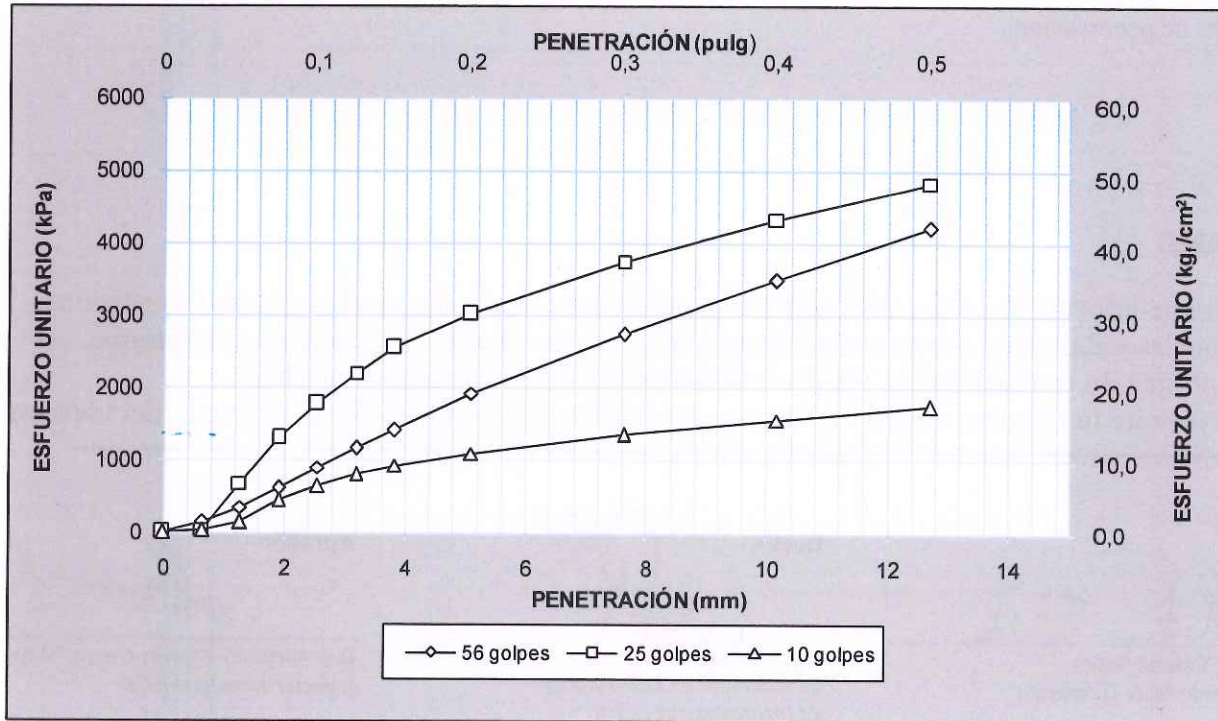


Gráfico 7. Esfuerzo unitario contra penetración: Muestra M-560-18

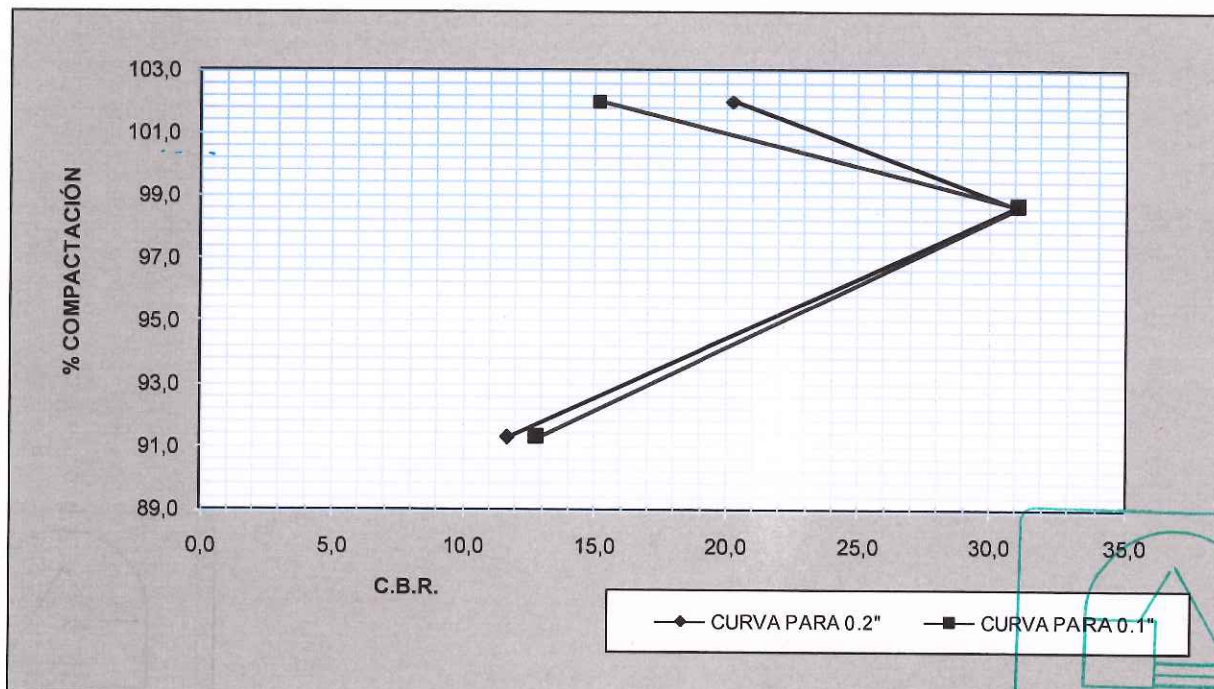


Gráfico 8. Porcentaje de compactación contra CBR: Muestra M-560-18





Nota:

- Para la muestra: M-560-18, según lo establece la norma el ensayo de CBR amerita repetición debido a que los valores de CBR para la curva de 0,2" (5,08 mm) de penetración son mayores que los valores de CBR para la curva de 0,1" (2,54 mm) de penetración.

Aclaraciones:

- El presente informe de ensayo sólo ampara las mediciones reportadas en el momento y condiciones ambientales y de uso en que se realizó esta prueba, para las muestras indicadas en este informe.
- Este informe de resultados tiene validez únicamente en su forma íntegra y original.
- No se permite la reproducción parcial de este documento sin la autorización del Director del LanammeUCR.

Preparó:

Ing. Oscar Valerio Salas
Jefe Laboratorio de Geotecnia

Revisó:

Ing. Luis Carlos Meseguer Quesada, MBA.
Coordinador de Laboratorios
de Infraestructura Civil

Aprobó:

Ing. Alejandro Navas Carro, M.Sc.
Director LanammeUCR





ANEXO 11.6 Ensayos de campo Tramo 6_CAL HIDRATADA

Resumen de resultados de ensayos de campo									
Ensayo o parámetro de medición	Edad (días)	Punto, estacionamiento y lado de la vía							
		1	2	3	4	5	6	7	8
		0+020	0+020	0+040	0+040	0+060	0+060	0+080	0+080
		C	LD	C	LI	C	LI	C	LD
Densidad seca máxima promedio (kg/m ³)	Construcción		1261,0		1336,0		1178,0		1229,0
	7 días	1371,0		1318,0		1294,0		1289,0	
	30 días	1306,3		1241,3		1236,3		1258,0	
	60 días	1281,0		1299,3		1268,3		1304,3	
	90 días	1279,7		1289,7		1261,7		1312,7	
Contenido de humedad (%)	Construcción		36,3		17,0		21,7		21,9
	7 días	20,0		24,1		24,2		26,2	
	30 días	30,6		32,8		31,2		34,3	
	60 días	29,9		30,9		30,6		32,3	
	90 días	32,2		31,9		32,8		34,2	
Módulo de Superficie M ₀ promedio-LWD (MPa)	7 días	80,8		76,1		53,3		-	
	30 días	74,7		81,2		73,0		73,9	
	60 días	107,1		87,6		217,2		70,3	
	90 días	97,2		84,5		62,4		69,2	



Anexo 11.7 Inspección Visual Tramo-6_CAL HIDRATADA
Ejecutado por la Unidad de Gestión Municipal, LanammeUCR
Inspección visual 15-05-2018 (2 meses)





9



13



10



14



11



15



12



16





UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA



LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

Anexo 11.7 Inspección Visual Tramo-6_CAL HIDRATADA
Ejecutado por la Unidad de Gestión Municipal, LanammeUCR
Inspección visual 14-06-2018 (3 meses)





9



13



10



14



11



15



12



16





UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA



LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

Anexo 11.7 Inspección Visual Tramo-6_CAL HIDRATADA
Ejecutado por la Unidad de Gestión Municipal, LanammeUCR
Inspección visual 04-04-2019 (13 meses)





9



13



10



14



11



15



12



16





UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA



LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

Anexo 11.7 Inspección Visual Tramo-6_CAL HIDRATADA
Ejecutado por la Unidad de Gestión Municipal, LanammeUCR
Inspección visual 25-10-2019 (19 meses)





9



13



10



14



11



15



12



16

