



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA



LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

Programa de Ingeniería Geotécnica

Informe: EIC-Lanamme-INF-0388-2021

Informe de evaluación del talud de aproximación al puente sobre el río Taticú en Ruta Nacional N°219



Preparado por:

Ing. Laura P. Solano Matamoros
Ing. Gustavo A. Badilla Vargas, D.Sc.
Programa de Ingeniería Geotécnica

San José, Costa Rica
Diciembre, 2021





1. Informe: EIC-Lanamme-INF-0388-2021		2. Copia No. 1
3. Título y subtítulo: Informe de evaluación del talud de aproximación al puente sobre el río Taticú en Ruta Nacional N°219		4. Fecha del Informe 9/12/2021
5. Organización y dirección Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales Universidad de Costa Rica, Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, San Pedro de Montes de Oca, Costa Rica. Tel: (506) 2511-2500 / Fax: (506) 2511-4440		
6. Notas complementarias Ninguna		
7. Resumen <i>Debido a la solicitud del Programa de Ingeniería Estructural del LanammeUCR y de la Municipalidad de Oreamuno, se presenta a continuación el resultado de los análisis de estabilidad de la superficie del talud lado este, aguas abajo del puente sobre el río Taticú. Con la finalidad de verificar si existe la necesidad de intervención del mismo dada la afectación a dicho puente.</i> <i>A partir de los resultados obtenidos se destaca que los factores de seguridad (FS) no cumplen con los requisitos de estabilidad definidos por el CGTLCR para el talud crítico ubicado en la margen izquierda aguas abajo del puente sobre río Taticú. Los análisis se realizaron con el enfoque del Método de Equilibrio Límite (MEL), se debe tener en consideración que este enfoque ignora el comportamiento de esfuerzo-deformación, el cual se considera importante ejecutar para conocer las deformaciones en el bastión del puente sobre río Taticú al no contar con alguna propuesta de obras de estabilización del talud.</i> <i>Es importante indicar que este análisis no representa los resultados definitivos ya que la información disponible y el estudio completo correspondiente, deben ser asignados a un profesional en geotecnia especializado en el análisis y propuestas de implementación de obras de estabilidad de taludes. Sin embargo, constituye un insumo y una guía que puede ser tomada en consideración para llevar a cabo análisis más exhaustivos para evaluar las afectaciones que puede sufrir la estructura del pavimento y del puente. Finalmente, se resalta que, durante las visitas realizadas, se observaron que otros taludes existentes en las proximidades carecen de sistemas adecuados para el control de la escorrentía superficial, los cuales pueden llegar a ser recomendables para evitar futuras inestabilidades.</i>		
8. Palabras clave Modelo de elevación digital, Método de Equilibrio Límite, Análisis de estabilidad, Factor de Seguridad.	9. Nivel de seguridad: Ninguno	10. Núm. de páginas 15
13. Preparado por:		
Ing. Gustavo A. Badilla Vargas, D. Sc Ingeniero PIG		Ing. Laura P. Solano Matamoros Ingeniero PIG
14. Revisado y aprobado por:		
Ing. Ana Lorena Monge Sandí, M.Sc Coordinadora PIG		



Contenido

- I. Introducción 4
- II. Descripción del sitio..... 4
 - II.1 Aspectos generales 4
 - II.2 Condición actual del sitio..... 5
- III. Levantamiento del talud y ensayos realizados por el LanammeUCR 7
 - III.1 Modelo de elevación digital (MED)..... 7
 - III.2 Ensayos de laboratorio..... 8
- IV. Comprobación de estabilidad del talud 9
 - IV.1 Resultados de estabilidad utilizando el Método de Equilibrio Límite (MEL) 9
- V. Comentarios finales..... 13
- VI. Referencias 15

Informe de evaluación del talud de aproximación al puente sobre el río Taticú en Ruta Nacional N°219

I. Introducción

Debido a la solicitud del Programa de Ingeniería Estructural del LanammeUCR y de la Municipalidad de Oreamuno, el presente informe muestra los resultados de los análisis de estabilidad de la superficie del talud ubicado en el lado este, aguas abajo del puente sobre el río Taticú, con la finalidad de verificar la necesidad de intervención del mismo, dada la posible afectación a dicho puente.

La solicitud inicial fue realizada por la Municipalidad de Oreamuno al Programa de Ingeniería Estructural del LanammeUCR, por consecuencia de las fuertes lluvias del mes de octubre, las cuales afectaron el relleno de aproximación a la estructura del puente, observándose caída de material, agrietamiento del terreno, caída de vegetación y elementos de señalización de la vía e incluso agrietamiento del pavimento.

II. Descripción del sitio

II.1 Aspectos generales

El sitio de análisis se ubica en las faldas del Volcán Irazú en la zona norte de Cartago en el cantón de Oreamuno, a 1 km del Mirador Sanatorio Durán, como se observa en la Figura 1. La topografía característica de la zona es escarpada con laderas con pendientes mayores a 30°. La geología de la zona se compone de rocas de origen volcánico como brechas, lavas, tobas, aglomerados, ignimbritas, ceniza y lahares.

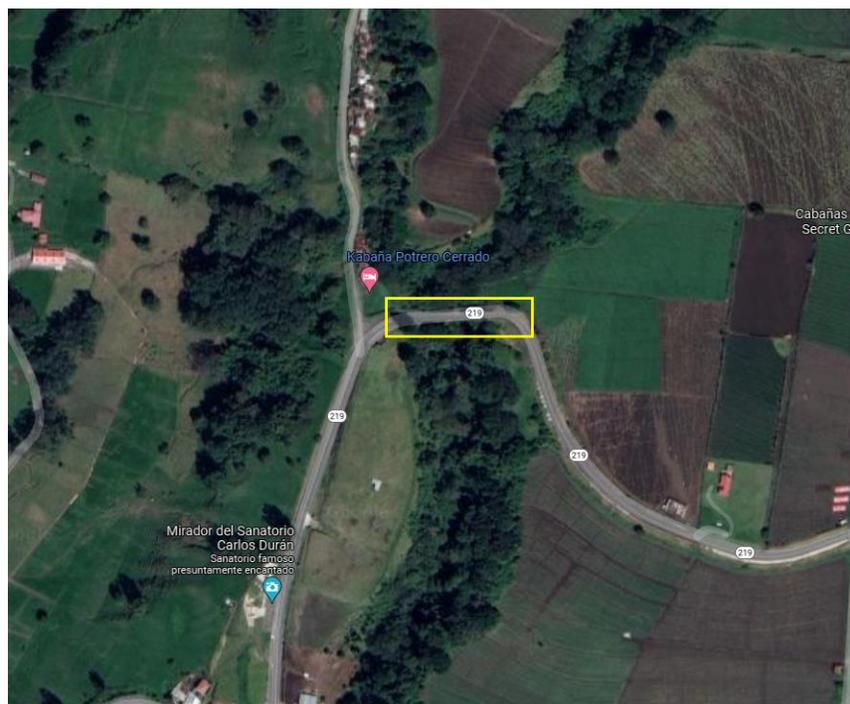


Figura 1. Ubicación espacial del sitio de estudio
Fuente: google maps

De acuerdo con datos del Instituto Meteorológico Nacional, la zona se caracteriza por una precipitación promedio anual de 1773 mm, en general, es una zona de temperaturas promedio alrededor de los 14 °C

Informe EIC-Lanamme-INF-0388-2021	diciembre , 2021	Página 4 de 15
-----------------------------------	------------------	----------------

a 16 °C. Los registros indican humedades relativas promedio de 81%, además se registran vientos predominantes del este con velocidades entre 11,5 y 22,5 km/h.

II.2 Condición actual del sitio

Actualmente el sitio se encuentra con vegetación autóctona densa tal y como se observa en la Figura 2. Cabe resaltar que la vegetación es una limitante para obtener con precisión la topografía y composición geotécnica del talud en cuestión. Sin embargo, se realizó el levantamiento mediante inspección y criterios geotécnicos en campo y con ayuda de equipos tecnológicos para el levantamiento y generación del modelo de elevación digital.



Figura 2. Situación actual del sitio de análisis

Es importante mencionar que, durante las visitas realizadas, se observó que el talud en la margen izquierda aguas abajo del puente sobre la río Tatiscú carece de sistemas para el control de escorrentía superficial, únicamente se observó un canal no revestido formado de material de sitio para encausar el agua de escorrentía hacia el río, tal y como se logra observar en la Figura 3. Sin embargo, esta obra no es suficiente para evitar la afectación de la corona del talud. La margen izquierda aguas arriba del río, si se cuenta con un canal revestido para manejo de agua escorrentía; sin embargo, en el momento de la visita se observó que éste estaba obstruido por recortes de vegetación, lo cual no permitiría la adecuada evacuación de las aguas provenientes de la lluvia, pudiendo eventualmente desencadenar problemas de erosión en ese talud y agravar la situación de estabilidad de la margen izquierda del puente.

De esta manera, y cómo una primera medida de mitigación, se sugiere que la municipalidad de Oreamuno verifique los sistemas de manejo de aguas de escorrentía superficial de la zona. Se considera recomendable, que la verificación, limpieza y mejoras de estas medidas sean complementarias a las medidas de estabilización que se realicen para el control de la erosión superficial que se presentan actualmente en el talud ubicado en la margen izquierda aguas abajo del puente sobre río Tatiscú, con la finalidad de mantener el estado de los taludes con una pendiente estable.



Figura 3. Formación de cárcava para manejo de agua de escorrentía

Se observó que el talud tiene una pendiente promedio de 45° en adelante, lo que se califica como un talud escarpado. El talud en su totalidad hasta el cauce del río tiene una altura de 39 m aproximadamente, sin embargo, se geometría es compuesta, en la cual se identifican dos taludes principales, el primero va de la corona del talud hasta una profundidad de 12,5 m, el segundo se ubica desde el cauce del río y se eleva hasta 20 m, ambos con pendiente escarpada.

El material predominante corresponde a suelo de origen volcánico, el cual presenta una condición húmeda sin flujo aflorando en la cara del talud. El uso de suelo es para camino/carretera y agrícola. La condición de drenaje es inexistente, la cara del talud se observa altamente agrietada (ver Figura 4). Además, durante la visita se identificaron evidencias de movimiento de la masa de suelo tales como árboles inclinados, formación de coronas, grietas en el terreno, material caído. Este posible deslizamiento representa una amenaza para las estructuras vulnerables que se encuentran dentro del área de influencia del movimiento. Entre las estructuras vulnerables identificadas durante la visita se encuentran comercios a 50 m aproximadamente, vías vehiculares y redes eléctricas entre 0 y 3 m, y, especialmente, la estructura del puente que se vería directamente afectada por un posible movimiento de la masa de suelo sobre la que se ubica el bastión del puente.



Figura 4. Grado de agrietamiento en la cara del talud

III. Levantamiento del talud y ensayos realizados por el LanammeUCR

Teniendo en consideración solicitud realizada por Programa de Ingeniería Estructural del LanammeUCR y de la Municipalidad de Oreamuno, así como la situación actual observada en el sitio, donde se destaca la evidencia de inestabilidad del talud y la posible condición de vulnerabilidad en la que se encuentra la subestructura del puente sobre río Taticú, se procedió por parte del LanammeUCR a realizar algunos ensayos que se presentan a continuación:

III.1 Modelo de elevación digital (MED)

Inicialmente, con la colaboración de la oficina de geomática del LanammeUCR, se realizó un levantamiento con un Vehículo Aéreo No Tripulado (VANT) de la zona de estudio el día 17 de noviembre de 2021.

Este levantamiento, permitió la generación de un Modelo de Elevación Digital (MED) por medio de técnicas fotogramétricas. Mediante esta técnica es posible realizar la reconstrucción geométrica de un objeto por medio de fotografías aéreas captadas desde dos puntos de vista diferentes. Lo anterior permite recrear modelos tridimensionales que permiten analizar la forma y características de una superficie del terreno e identificar posibles zonas inestables que serían posibles apreciarlas desde el terreno.

Es importante mencionar que la precisión de los modelos obtenidos depende de una selección adecuada de la altura y el área del vuelo. De tal forma que, a mayor altura, menor resolución y, por ende, menor precisión del modelo. Así, por ejemplo, modelos obtenidos a partir de una altura de vuelo de 30 metros presenta una resolución de pocos centímetros.

Teniendo esto en consideración, con base en el levantamiento realizado por el VANT de la OGEO fue posible obtener el modelo de elevación que se muestra en la Figura 5 a. Como se observa en ambas figuras. El levantamiento realizado permitió recrear el terreno para su posterior análisis.

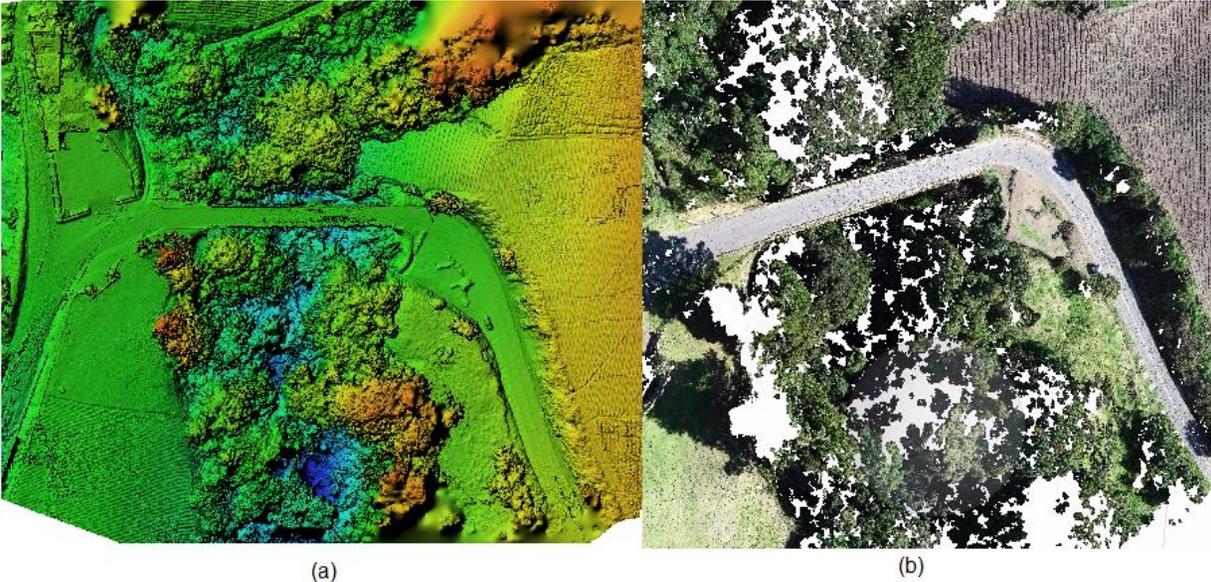


Figura 5. Resultados obtenidos del levantamiento realizado con un Vehículo Aéreo No Tripulado (VANT) de la zona de estudio

III.2 Ensayos de laboratorio

Por su parte, para verificar las propiedades geomecánicas del material presente en la zona de estudio, se realizaron ensayos para determinar:

- Cantidad de material en suelos más fino $75 \mu\text{m}$ (N° 200) (ASTM D1140)
- Gravedad específica del suelo mediante un picnómetro con agua (ASTM D854)
- Límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de un suelo (ASTM D4318)
- Corte directo simple para suelos finos consolidado no drenado (ASTM D6528)

Las muestras de material fueron tomadas de taludes cercanos, ya que la accesibilidad para toma de muestras al talud crítico es limitada. Las muestras fueron tomadas de los taludes ubicados en el sector sur de la carretera al este del puente (ver Figura 6.a), tal y como se observa en la Figura 6.b, el material tiene un color grisáceo y de apariencia arenosa.



Figura 6. Ubicación del punto de muestreo

La Tabla 1 muestra un resumen de los resultados de los ensayos presentados en el informe EIC-Lanamme-INF-0369-2021, del muestreo de material realizado en la segunda visita al sitio el día 22 de noviembre de 2021. El suelo se clasifica como una arena limosa de baja plasticidad.

Tabla 1. Resumen de resultados de ensayos de laboratorio realizados por el LanammeUCR (Fuente: Informe EIC-Lanamme-INF-0369-2021)

Fecha de muestreo	22/11/2021	
Límite líquido	39	
Límite plástico	31	
Índice de plasticidad	9	
G _r	2,725	
G _s	2,723	
%pas N°200	37,4	
Densidad γ (kN/m ³)	13,14	
Corte directo τ (kPa)	Φ (°)	C (kPa)
	41,4	5,70

IV. Comprobación de estabilidad del talud

IV.1 Resultados de estabilidad utilizando el Método de Equilibrio Límite (MEL)

Actualmente la mayoría de los estudios de estabilidad de taludes se basan en los Métodos de Equilibrio Límite (MEL), donde se considera la relación entre las fuerzas deslizantes y resistivas a lo largo de una superficie de falla dada. Convencionalmente, los análisis de estabilidad se efectúan considerando perfiles bidimensionales, los cuales son una simplificación significativa de la situación real. En estas representaciones bidimensionales, el ingeniero diseñador define con su criterio, las secciones transversales críticas en las cuales se puede presentar una falla o deslizamiento del talud. Sin embargo, debe tenerse en consideración que los MEL poseen limitaciones que deben ser conocidas por el geotecnista con la finalidad de escoger el método que mejor responda a las solicitaciones del problema que se quiere evaluar. Así pues, entre las limitaciones generales que tiene el MEL se pueden mencionar:

- No se incluye un análisis de deformaciones
- La base de cálculo, considera un equilibrio estático de fuerzas estáticas. Sin embargo, una vez que se genera la falla, el modelo deja de ser aplicable, puesto que la geometría de análisis cambia, y comienza a darse un movimiento de la masa de suelo, con el cual se deja de tener un equilibrio estático
- Se supone una distribución uniforme de esfuerzos en la base de los elementos o dovelas

Por su parte, dependiendo de los diferentes MEL que existen, se pueden encontrar otras limitaciones tales como:

- Se asume que el talud tiene un material isotrópico
- Se puede asumir la existencia, o no, de fuerzas cortantes entre las dovelas
- En algunas metodologías se asume un equilibrio de momentos
- Se asume una superficie de falla

Cuando se consideran las limitaciones anteriores, propias de los Métodos de Equilibrio Límite y las simplificaciones de los análisis dimensionales, se logra exitosamente realizar los análisis correspondientes simulando las situaciones reales. Sin embargo, durante las últimas décadas, se han investigado e implementado numerosos métodos tridimensionales para el análisis de taludes. El interés en el análisis tridimensional de estabilidad de taludes parece estar impulsado por el hecho de que la mayoría de las fallas de estabilidad de taludes son de carácter inherentemente tridimensional, es decir,

la superficie de falla con mucha frecuencia presenta variaciones con la superficie del terreno, que difícilmente pueden ser previstas por el ingeniero.

De esta manera, teniendo en consideración la cercanía con la carretera y la subestructura del puente al talud de aguas abajo de la margen izquierda de la río Taticú, se utilizó el Modelo de Elevación Digital (MED) obtenido con la ayuda del VANT, y el uso del software SLIDE3 del paquete de programas de RocScience, para llevar a cabo un análisis tridimensional de estabilidad de los taludes. La Figura 7, muestra el MED levantado por el VANT para el sitio de análisis.

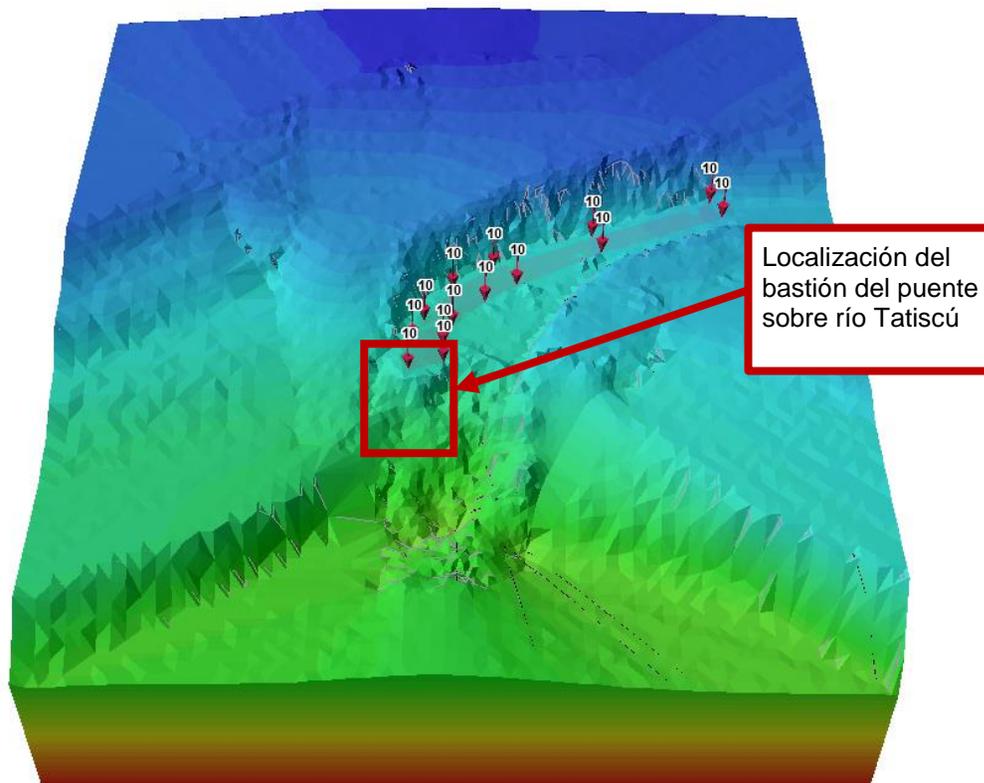


Figura 7. Modelo de elevación del talud aguas debajo de la margen izquierda de río Taticú utilizado en el software SLIDE3 de la zona de estudio

Con la finalidad de evaluar la presencia de la carretera y la sobrecarga que induce el paso del tránsito pesado de función agrícola, principalmente, sobre la parte alta del talud, se considera para el análisis una sobrecarga de 10 kPa aplicadas sobre el trazado de la carretera.

El objetivo del análisis de estabilidad del talud es obtener un factor de seguridad a partir de metodologías de análisis de equilibrio límite. De acuerdo con las recomendaciones establecidas en el Código Geotécnico de Taludes y Laderas de Costa Rica (CGTLCR), se considera que para el sitio de estudio el riesgo de pérdidas humanas se encuentra en un nivel bajo, al ser esta una carretera rural, el tránsito vehicular en su mayoría corresponde a la entrada y salida de vehículos de transporte agrícola. De acuerdo con la Secretaría de Planificación Sectorial en su información de tránsito promedio diario anual (TPDA), la ruta 219 en el tramo Tierra Blanca – La Pastora, el TPDA es de 614 para el año 2015 de conformidad con lo indicado en el CGTLCR una carretera de tránsito bajo induce a un riesgo bajo. El riesgo de daños económicos y ambientales presenta un nivel medio, pues se trata de una vía pública que brinda comunicación entre varias poblaciones. Para estas condiciones es aceptable un valor de factor de seguridad de 1,30 en condición estática. Por su parte, si se considera la condición de sismo

(pseudostática) se utilizó un coeficiente de aceleración horizontal del suelo de 0,15 g definido en el CGTLCR, ya que el sitio se encuentra ubicado en una Zona III con tipo de suelo S3-S4, para lo cual se debe considerar un valor de factor de seguridad $> 1,0$ en condición pseudostática.

Es importante mencionar que para efectos de los resultados del análisis de estabilidad de taludes que se muestra a continuación, al tratarse de un análisis preliminar, se considera un modelo geotécnico que asume la presencia de un único material homogéneo. Por lo que, se sugiere que, para la obtención de los resultados definitivos, ampliar la información disponible y llevar a cabo un estudio de la estratigrafía del suelo, acompañada de una mayor cantidad de ensayos de laboratorio a cargo de profesional en geotecnia especializado. Sin embargo, los resultados obtenidos constituyen un insumo y una guía que puede ser tomada en consideración para llevar a cabo análisis más exhaustivos para evaluar las afectaciones que puede sufrir la estructura del pavimento y el puente, y el establecimiento de posibles soluciones para mejorar la condición del talud.

En la Figura 8 se muestra un mapa de factores de seguridad utilizando la metodología de equilibrio límite de Bishop y la escala de factores de seguridad utilizada para la apropiada interpretación de este mapa sobre la superficie analizada. Se puede observar que la escala de valores para el factor de seguridad del sitio va de valores inferiores a 0,9 a valores de factor seguridad mayores a 2,0. Los mapas mostrados consideran tanto la condición de análisis estática como pseudostática. Como se puede observar, los factores de seguridad más bajos se concentran en la zona del talud este, aguas abajo de la margen izquierda del puente sobre río Tatiscú siendo éste el talud crítico y el cual, basado en estos resultados, se considera como un talud inestable. Ya que en el caso del análisis estático se presentan valores de factores de seguridad inferiores 1,0, es importante aclarar que el valor aceptable en esta condición debería ser superior a 1,3. Adicionalmente, en el sitio donde se encuentra localizado el bastión del puente, se observa una región con factores de seguridad con valores entre 1,1-1,2, los cuales también son inferiores a la recomendación del CGTLCR. Por su parte, en el caso del análisis pseudostático, los resultados obtenidos con la metodología de Bishop, muestran un aumento de las regiones con factores de seguridad inferiores a 1,0; destacándose que el sitio donde se encuentra localizado el bastión del puente presenta valores inferiores a 1,0 bajo la condición de sismo.

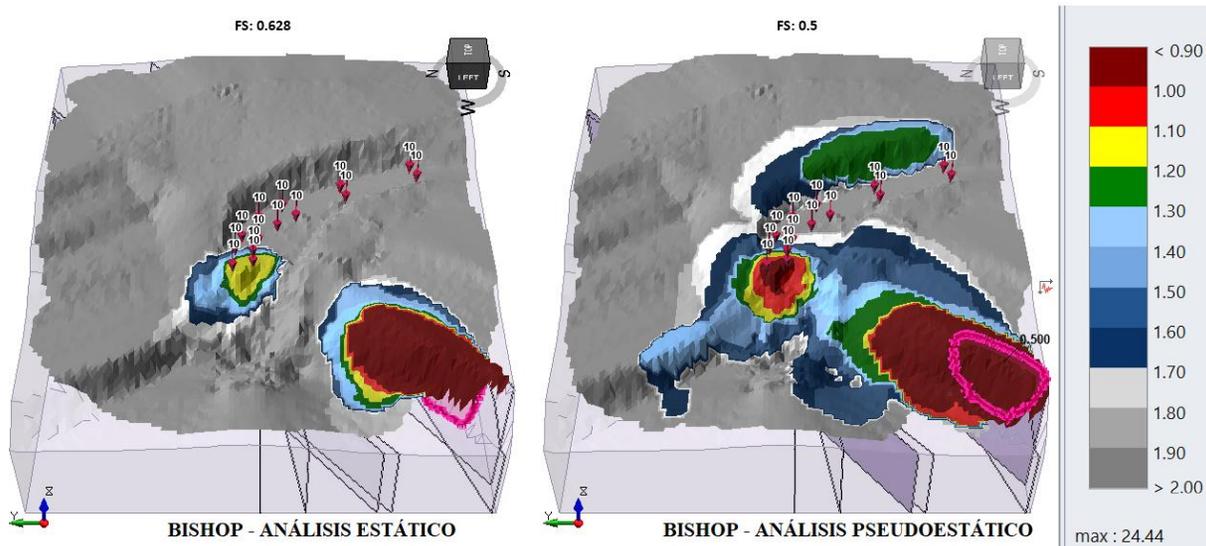


Figura 8. Factores de seguridad obtenidos con Bishop en el software SLIDE3 de la zona de estudio para una condición estática y pseudo-estática.

Por su parte, en la Figura 9, se presentan los resultados cuando se ejecuta el análisis con la metodología de Janbú, el cual es un poco más conservador y despliega una escala de factores de seguridad

ligeramente inferiores a los obtenidos con Bishop. De los resultados mostrados, en el análisis estático, se obtuvieron factores de seguridad menores a 1,20 en la zona del talud crítico, lo cual no cumple con lo especificado por el CGTLCR catalogando nuevamente el talud como inestable. También se observa, otra región del talud izquierdo de la carretera sobre la ruta nacional 219 con valores de factores de seguridad inferiores 1,3. En el caso del sitio donde se encuentra localizado el bastión del puente, en el caso del análisis estático, se observa una región con factores de seguridad con valores entre 1,2-1,3, los cuales son inferiores a la recomendación del CGTLCR que establece un valor mínimo aceptable de 1,3. Por su parte, en el caso del análisis pseudoestático, los resultados obtenidos con la metodología de Janbú, muestran un aumento de la región con factores de seguridad inferiores a 1,0 bajo la condición de sismo.

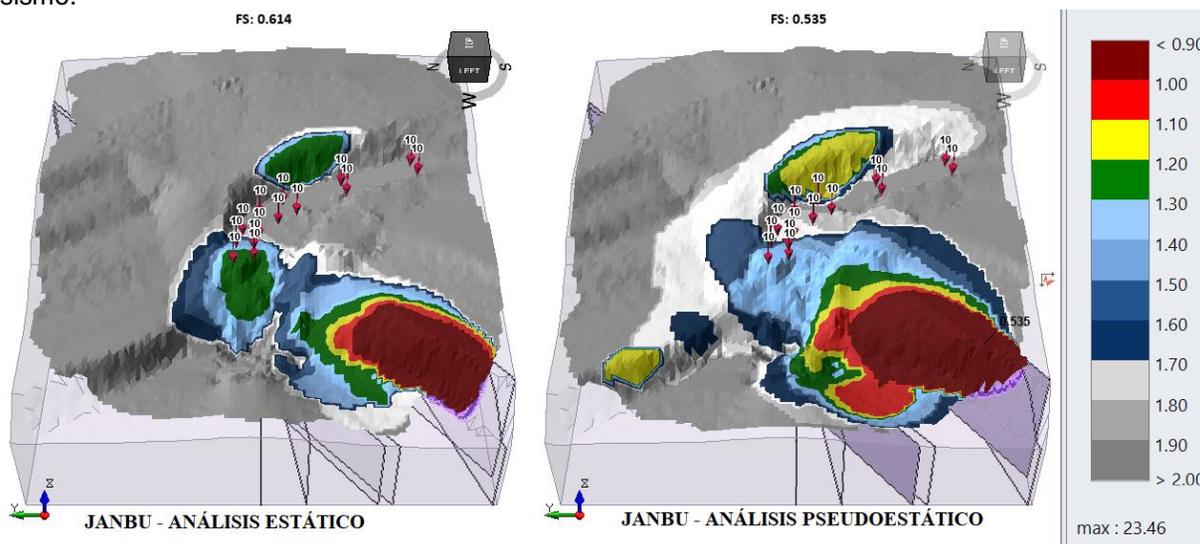


Figura 9. Factores de seguridad obtenidos con Janbu en el software SLIDE3 de la zona de estudio para una condición estática y pseudo-estática.

Finalmente se realiza el análisis de estabilidad utilizando la metodología de Morgenstern-Price, la cual es más rigurosa en sus consideraciones de análisis. Al igual que en los análisis anteriores, el talud aguas abajo de la margen izquierda corresponde a la zona donde se da la mayor concentración de factores de seguridad con valores que no cumplen con lo mínimo establecido por el CGTLCR. Como en los casos anteriores, en los análisis estáticos, el sitio donde se encuentra localizado el bastión del puente, presenta una región con factores de seguridad con valores entre 1,1 a 1,3, los cuales son inferiores a la recomendación del valor mínimo aceptable de 1,3 del CGTLCR. Finalmente, el análisis pseudoestático, nuevamente muestra un aumento significativo de la región con factores de seguridad inferiores a 1,0 bajo la condición de sismo.

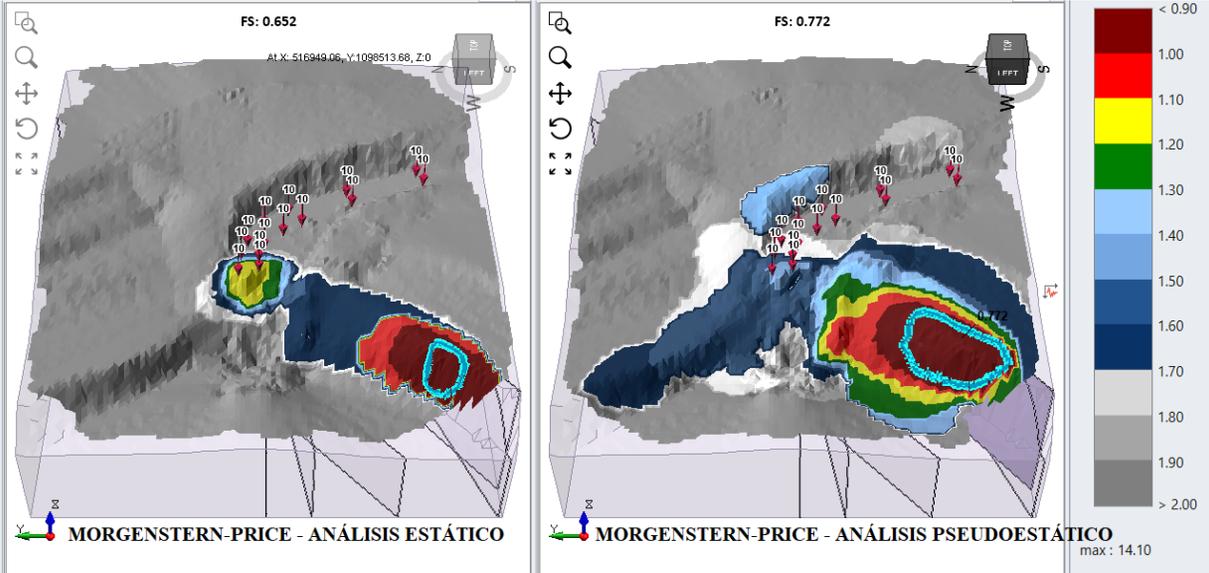


Figura 10. Factores de seguridad obtenidos con Morgenstern-Price en el software SLIDE3 de la zona de estudio para una condición estática y pseudo-estática.

Es importante resaltar que, de acuerdo con los análisis realizados, independientemente de la metodología utilizada para los análisis de estabilidad, en todos los casos los factores de seguridad no cumplen con los requisitos de estabilidad definidos en el CGTLCR, tal y como se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2. Resumen de factores de seguridad mínimos obtenidos bajo las distintas metodologías de análisis en comparación con el CGTLCR

Metodología	FS		CGTLCR	
	Estático	Pseudo-estático	Estático	Pseudo-estático
Bishop	0,628	0,500		
Janbu	0,614	0,535	1,3	>1,0
Morgenstern-Price	0,652	0,772		

Se debe tener en consideración que estos análisis no están contemplando la realización de ninguna actividad de estabilización de los taludes, por lo que se recomienda realizar los análisis de estabilidad del talud específicos considerando alguna actividad de estabilización, con el fin de cumplir con los factores de seguridad definidos en el CGTLCR. Además, se recomienda mejorar las condiciones de drenaje de los taludes en ambas márgenes del puente, ya que el mal manejo de las aguas de escorrentía superficial resulta en detonantes de la erosión e inestabilidad de la masa de suelo. Adicionalmente es importante resaltar que todos los análisis se ejecutaron bajo la suposición de que la conformación del talud es homogénea, es decir corresponde a un único material, por lo que para la ejecución de análisis más rigurosos se considera importante realizar estudios de suelos específicos, para poder establecer un modelo geotécnico más preciso del sitio.

V. Comentarios finales

Teniendo en consideración los resultados mostrados en las secciones anteriores, es importante indicar que este análisis no representa los resultados definitivos ya que la información disponible y el estudio completo correspondiente, deben ser asignados a un profesional en geotecnia especializado que realice los análisis y las propuestas de implementación de actividades de estabilización de taludes. Sin embargo,

constituye un insumo y una guía que puede ser tomada en consideración para llevar a cabo análisis más exhaustivos para evaluar las afectaciones que puede sufrir la estructura de pavimento y el puente.

Se sugiere llevar a cabo estudios adicionales incluyendo más ensayos de laboratorio y en sitio, así como la limpieza de material vegetal en la cara del talud para establecer con mayor certeza la topografía del sitio. La omisión de estos análisis eventualmente podría implicar problemas económicos, accidentes vehiculares y riesgo a vidas humanas. Además, se recomienda realizar un estudio de suelos para establecer un modelo geotécnico detallado del sitio y, posterior a esto, realizar los respectivos análisis de estabilidad en condición tanto estática como pseudo-estática, así como con diferentes propuestas de estabilización del talud para la respectiva optimización de las actividades de estabilización.

A partir de los resultados obtenidos en las simulaciones se destaca que, para las propiedades de los materiales utilizados en todos los casos, obtenidas a partir del muestreo y ensayos de laboratorio realizados por el LanammeUCR, los resultados de los factores de seguridad son desfavorables y no cumplen con los requisitos de estabilidad definidos por el CGTLCR. Por su parte, es necesario destacar nuevamente que el enfoque del Método de Equilibrio Límite (MEL) tiene algunas limitantes importantes, entre las cuales se destaca que esta metodología no contempla el comportamiento de esfuerzo-deformación de suelos y rocas, por lo que, se considera importante, complementar los análisis de estabilidad de taludes con la inclusión de análisis de deformaciones en el bastión del puente sobre río Tatiscú. Estos análisis pueden ser realizados usando el Método de Elementos Finitos (MEF) una vez que se hayan realizado las propuestas de estabilidad, con el fin de verificar el estado límite de servicio de la estructura.

Adicionalmente, se resalta nuevamente que, durante las visitas realizadas, se observaron que los taludes existentes en zonas cercanas, carecen de sistemas adecuados para el control de la escorrentía superficial, por lo que se considera recomendable implementar medidas integrales de mitigación para detener y evitar la posible erosión de la cara de los taludes, así como, colocar sistemas para el control de la escorrentía superficial para evitar que se magnifiquen los problemas de estabilidad existentes o se detonen nuevos.



VI. Referencias

Asociación Costarricense de Geotecnia (2015). **Código geotécnico de taludes y laderas de Costa Rica**. Editorial Tecnológica de Costa Rica. Cartago, Costa Rica.

Asociación Costarricense de Geotecnia (2009). **Código de Cimentaciones de Costa Rica**. Comisión Código de Cimentaciones de Costa Rica. Segunda edición. Editorial Tecnológica de Costa Rica. Cartago, Costa Rica.

LanammeUCR. **EIC-Lanamme-INF-0369-2021 Informe de Ensayo del Talud río Taticú**, Cartago. LanammeUCR. San Pedro de Montes de Oca, San José, Costa Rica.

Ministerio de Obras Públicas y Transportes. **Secretaría de Planificación Sectorial – Información del Tránsito Promedio Diario Anual**, San José, Costa Rica, Recuperado de <https://sig.mopt.go.cr:8084/tránsito/tpd.php>.