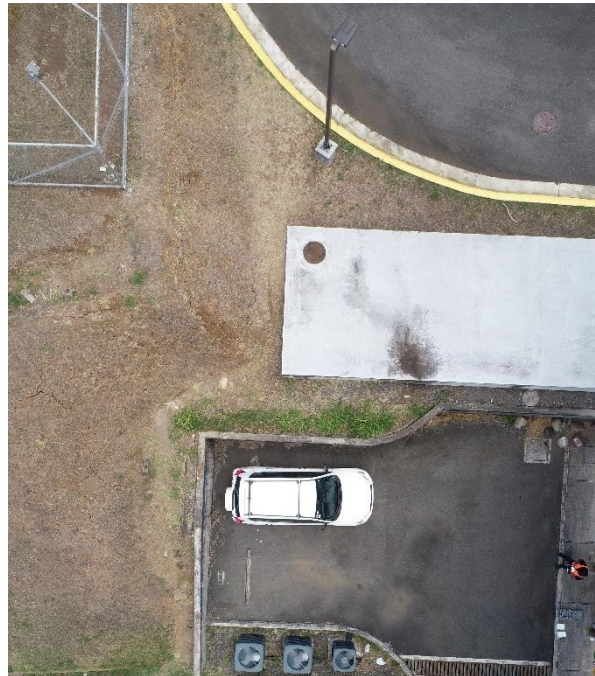




## Programa de Ingeniería Geotécnica

Informe: EIC-Lanamme-INF-0697-2022  
**Análisis de estabilidad del talud en el corredor  
LanammeUCR – EIC UCR**



Preparado por:

Ing. Laura Solano Matamoros  
Programa de Ingeniería Geotécnica

San José, Costa Rica  
Junio, 2022





<b>1. Informe</b> EIC-Lanamme-INF-0697-2022		<b>2. Copia No.</b> 1
<b>3. Título y subtítulo:</b> Análisis de estabilidad del talud en el corredor LanammeUCR – EIC UCR		<b>4. Fecha del Informe</b> 02/06/2022
<b>5. Organización y dirección</b> 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		
<b>6. Notas complementarias</b> Ninguna		
<b>7. Resumen</b> <i>Por solicitud de la Unidad de Laboratorios del LanammeUCR, el presente informe muestra los resultados de los análisis de estabilidad del talud modificado en la propuesta para la futura construcción del corredor entre el edificio C del LanammeUCR y la Escuela de ingeniería Civil de la UCR. A partir de los resultados obtenidos se destaca que los factores de seguridad (FS) cumplen con los requisitos de estabilidad definidos por el CGTLCR. Adicionalmente, se resalta que, en la revisión de los planos preliminares, no se observaron que se contemplaran sistemas para el control de la escorrentía superficial, por lo que se recomienda implementar medidas integrales de mitigación para el control de la escorrentía y evitar problemas de estabilidad.</i>		
<b>8. Palabras clave</b> Taludes de corte, obras de drenaje.	<b>9. Nivel de seguridad:</b> -	<b>10. Núm. de páginas</b> 16
<b>11. Preparado por:</b>   <b>Fecha:</b> 02 / 06 / 2022		
<b>12. Revisado y aprobado por:</b>   <b>Fecha:</b> 02 / 06 / 2022		



## Contenido

I.	Introducción .....	4
II.	Determinación de los parámetros para el modelo geotécnico del sitio en estudio .....	4
I.1	Investigación de campo y laboratorio realizada .....	5
III.	Levantamientos realizados por el LanammeUCR .....	6
IV.	Comprobación de estabilidad del talud .....	7
IV.1	Resultados de análisis de estabilidad utilizando el método de Equilibrio Límite (MEL) .....	7
V.	Comentarios Finales .....	15
VI.	Referencias .....	16



## Análisis de estabilidad del talud en el corredor LanammeUCR – EIC UCR

### I. Introducción

Por solicitud de la Unidad de Laboratorios del LanammeUCR, el presente informe los resultados de los análisis de estabilidad de los taludes y estimaciones de las deformaciones que podrían presentarse en el talud que será modificado para la construcción de las gradas que conformarán el corredor que comunica el edificio C del LanammeUCR con la Escuela de Ingeniería Civil de la UCR. La ubicación geográfica del sitio de estudio se muestra en la Figura 1.



Figura 1. Ubicación geográfica del talud en el corredor edificio A LanammeUCR – EIC

### II. Determinación de los parámetros para el modelo geotécnico del sitio en estudio

Se toma como base para establecer los parámetros del sitio el estudio de suelos realizado por la empresa INGEOTEC, el cual se realizó como propuesta de estabilidad del talud ubicado en el costado norte del edificio A del LanammeUCR. El estudio incluye el perfil estratigráfico típico de los suelos en el talud. En la Figura 2 se muestra la ubicación geográfica del sitio del cual se presenta el perfil estratigráfico.



Figura 2. Ubicación geográfica del talud asociado al perfil estratigráfico  
Modificado de: (Salas, 2019)

### I.1 Investigación de campo y laboratorio realizada

La campaña de investigación de campo y laboratorio consistió en la obtención de muestras de suelo mediante la ejecución del ensayo de penetración estándar según lo establecido en la norma ASTM D1586. Se realizaron siete sondeos exploratorios que alcanzaron profundidades entre 5,40 m y 10,35 m.

Con base en la información recopilada se define la estratigrafía típica del sitio y las características de los materiales que la componen. De acuerdo con lo indicado por Salas (2019) se describe la presencia de las siguientes capas:

- **Capa 1:** Limos arcilloso color café oscuro. Plasticidad media a baja. De acuerdo con el Sistema Unificado de Suelos (SUCS), clasifican como limos de baja y alta compresibilidad (ML y MH) con Límite Líquido (LL) entre 47 y 64 e Índice Plástico (IP) entre 16 y 25. Consistencia variable entre muy blanda y compacta. Espesor variable entre 1,35 m y 2,70 m.
- **Capa 2:** Limos arcillosos color café claro. Plasticidad media a baja. Según el SUCS, clasifican como limos de baja y alta compresibilidad (ML y MH) con Límite Líquido (LL) entre 43 y 68 e Índice Plástico (IP) entre 15 y 22. Consistencia variable entre muy blanda y compacta. Aparece bajo la capa 1, presentando un espesor variable entre 1,35 m y 4,50 m.
- **Capa 3:** Limos arcillosos color entre café amarillento y café grisáceo, con vetas grises y fragmentos de roca alterada de hasta 2,5 cm de diámetro. Plasticidad media. Clasificación SUCS=MH, con LL entre 61 y 94 e IP entre 16 y 20. Se presentan bajo la capa 3 y se extienden hasta la máxima profundidad explorada por los sondeos (10,35 m en la parte alta del talud y 6,30 m al pie del talud).

Además, se indica que no se detectó la presencia de niveles freáticos dentro del área y profundidades abarcadas por los sondeos. En la Tabla 1 se muestra las profundidades a las que se detectó cada material encontrado en el respectivo sondeo.



Tabla 1. Perfil estratigráfico y valores N<sub>spt</sub>

Profundidad (m)	Estratigrafía y valor N <sub>SPT</sub>						
	Parte alta de talud				Pie de talud		
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
0,00 - 0,45	8	6	6	7	7	2	2
0,45 - 0,90	7	4	6	11	8	4	4
0,90 - 1,35	2	6	3	6	14	7	4
1,35 - 1,80	3	4	3	4	14	9	7
1,80 - 2,25	2	7	2	2	11	4	6
2,25 - 2,70	4	2	4	3	8	7	5
2,70 - 3,15	2	2	4	11	6	16	9
3,15 - 3,60	2	4	7	18	5	14	15
3,60 - 4,05	2	7	13	12	9	6	10
4,05 - 4,50	5	9	13	13	10	6	4
4,50 - 4,95	4	7	10	9	6	4	6
4,95 - 5,40	6	6	10	4	7	6	7
5,40 - 5,85	4	9	14	6		2	
5,85 - 6,30	7	10	10	11		5	
6,30 - 6,75	10	9	8	16			
6,75 - 7,20	9	10	15	20			
7,20 - 7,65	18	4	17	25			
7,65 - 8,10	19	2	15	27			
8,10 - 8,55	13	3	9	RM			
8,55 - 9,00	14	11	10				
9,00 - 9,45	17	RM	9				
9,45 - 9,90	24		13				
9,90 - 10,35	RM		RM				

(Salas, 2019)

Finalmente se muestran los parámetros de los materiales que conforman el terreno, los cuales se definieron con base en la información obtenida de las perforaciones, ensayos de laboratorio y un retroanálisis elaborado por los ingenieros encargados. Los valores se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2. Parámetros del suelo

Estratos	Peso volumétrico(kN/m <sup>3</sup> )		Cohesión, C (kPa)	Angulo de fricción, Ø (°)
	In situ	Saturado		
Capa 1	17,5	18,0	7 <sup>(1)</sup>	0
Capa 2	17,5	18,0	35	0
Capa 3	18,0	18,5	100	0

(Salas, 2019)

(1): Valor obtenido de retroanálisis

### III. Levantamientos realizados por el LanammeUCR

Inicialmente, con la colaboración de la oficina de geomática (OGEO) del LanammeUCR, se realizó un levantamiento con un Vehículo Aéreo No Tripulado (VANT) de la zona de estudio el día 26 de abril del 2022.

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. 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.

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 3; y a partir de este modelo de elevación fue posible generar las curvas de nivel topográficas a cada 10 cm que se muestran en la Figura 4. Como se observa en ambas figuras, el levantamiento realizado permitió recrear el terreno de forma rápida y precisa.

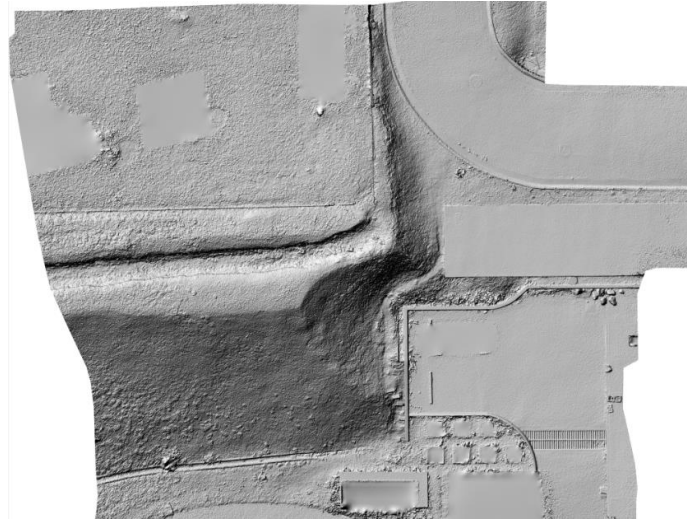


Figura 3. Modelo de elevación digital (MED)

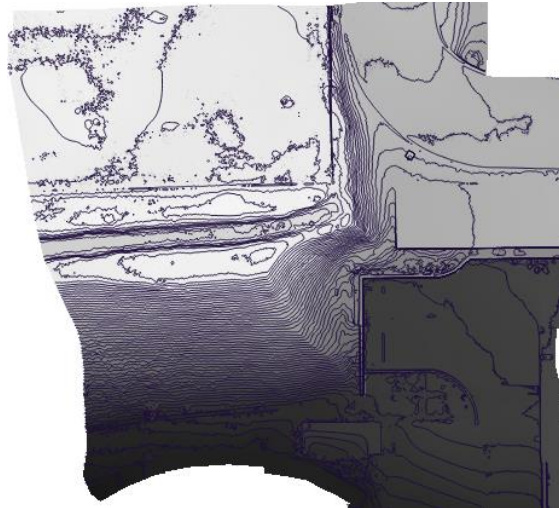


Figura 4. Curvas de nivel obtenidas del MED

#### IV. Comprobación de estabilidad del talud

##### IV.1 Resultados de análisis 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.

Teniendo en consideración las limitaciones que poseen los MEL, se define como sección crítica del talud aquella en la que será modificada la geometría actual del talud por corte al pie del talud, para la construcción de los escalones 20 y 21, tal y como se muestra en los planos del proyecto en la Figura 5.

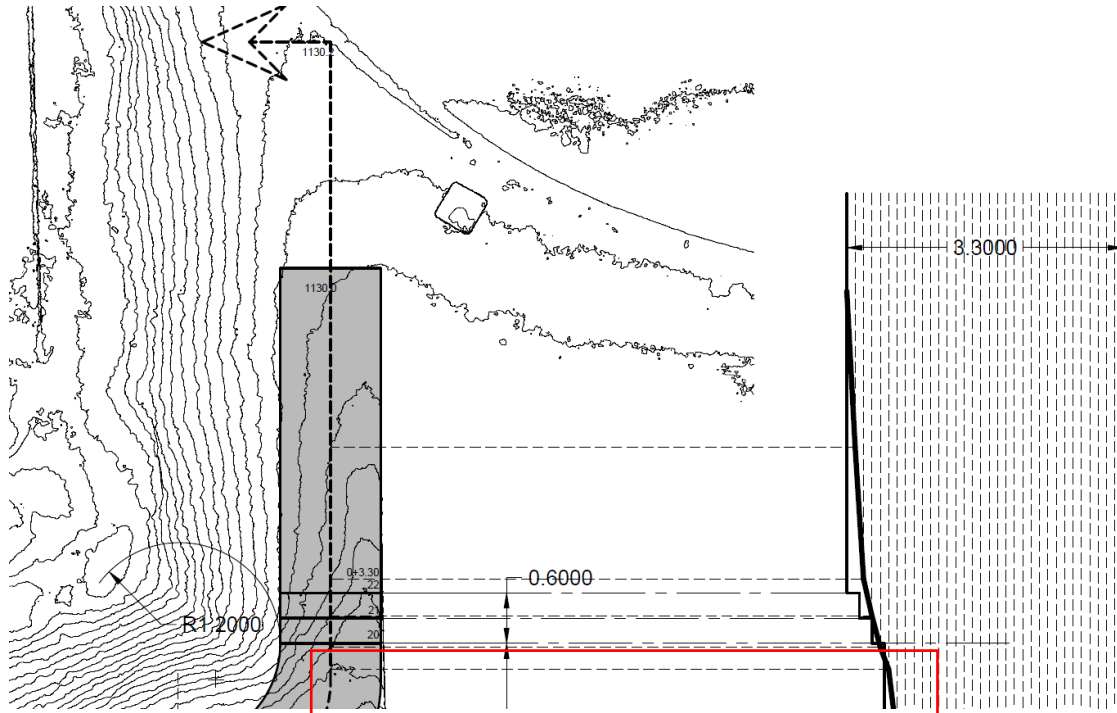


Figura 5. Identificación de sección crítica del talud

Fue analizada la sección transversal de la sección crítica del talud, para la cual se obtuvo el perfil actual, el cual se muestra en la Figura 6. Se realizó la simulación del corte correspondiente a la geometría de la grada, la cual según el diseño preliminar tendrá 1,2 m de ancho fijo, 15 cm de contrahuella y 30 cm nominales de huella.



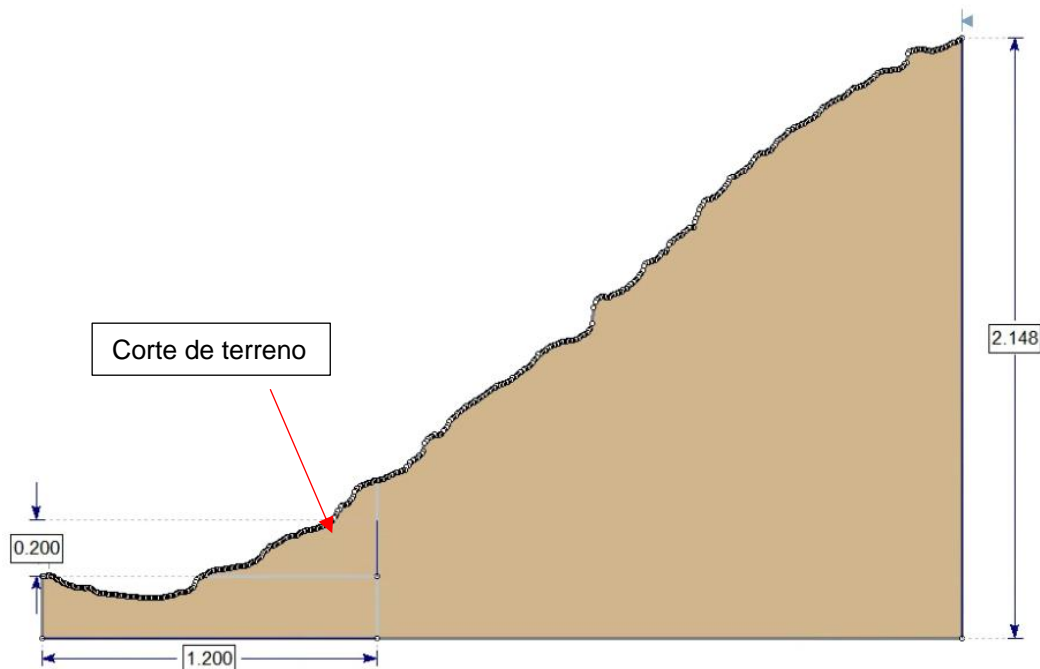


Figura 6. Geometría actual del talud en sección definida como crítica

De acuerdo con el perfil estratigráfico de la Tabla 1, el cual corresponde al talud ubicado en el costado norte del edificio A del LanammeUCR, se extrapolaron los resultados al talud ubicado en el costado noroeste del edificio C del LanammeUCR, el cual será intervenido en la construcción del corredor en cuestión. Debido a que se desconoce la estratigrafía propia de este talud, se realizó el análisis de estabilidad bajo tres posibles conformaciones de la estratigrafía basándose en los sondeos del informe de referencia según Salas (2019).

En un primer escenario se supuso que la capa 1 se encuentra desde el nivel de terreno y hasta una profundidad de 1,3 m, la capa 2 se encuentra entre 1,35 m y 1,80 m, finalmente la capa 3 se encuentra a partir de los 1,80 m.

En un segundo escenario se supone la presencia únicamente de las capas 1 y 2, las cuales se distribuyen desde el nivel del terreno y hasta una profundidad de 1,80 m el material de la capa 1 y de 1,80 m en adelante el material de la capa 2.

En un tercer escenario se supone que todo el talud esta conformado únicamente por el material de la capa 1.

De acuerdo con el Código geotécnico de taludes y laderas de Costa Rica (CGTLCR) las recomendaciones de seguridad se resumen en la Tabla 3.

Tabla 3. Especificaciones del Código Geotécnico de Taludes y Laderas

FS (estático)	FS (pseudostático)	Zona Sísmica	Sitio tipo	Riesgo de pérdidas humanas/ Daños económicos y ambientales	Coficiente pseudostático horizontal con un período de retorno de 150 años	Coficiente pseudostático horizontal con un período de retorno de 475 años
1,20	>1,00	III	S <sub>3</sub>	Bajo/Bajo	0,15	0,20

De esta manera, teniendo en consideración las recomendaciones del CGTLCR, se utilizó el Modelo de Elevación Digital (MED) obtenido con la ayuda del VANT, y el uso del software SLIDE2 del paquete de programas de RocScience, para llevar a cabo un análisis de estabilidad del talud en cuestión. La muestra un resumen de los factores de seguridad obtenidos para las diferentes condiciones analizadas.

Tabla 4: Resultados de FS obtenidos para diferentes condiciones

	FS Escenario 1	FS Escenario 2	FS Escenario 3
<b>Estática</b>	2,357	1,584	1,584
<b>Pseudoestática a=0,15</b>	1,989	1,352	1,352
<b>Pseudoestática a=0,20</b>	1,891	1,290	1,289
<b>Figuras</b>	Figura 7 Figura 10 Figura 13	Figura 8 Figura 11 Figura 14	Figura 9 Figura 12 Figura 15
<b>Cumplimiento</b>	Cumple	Cumple	Cumple

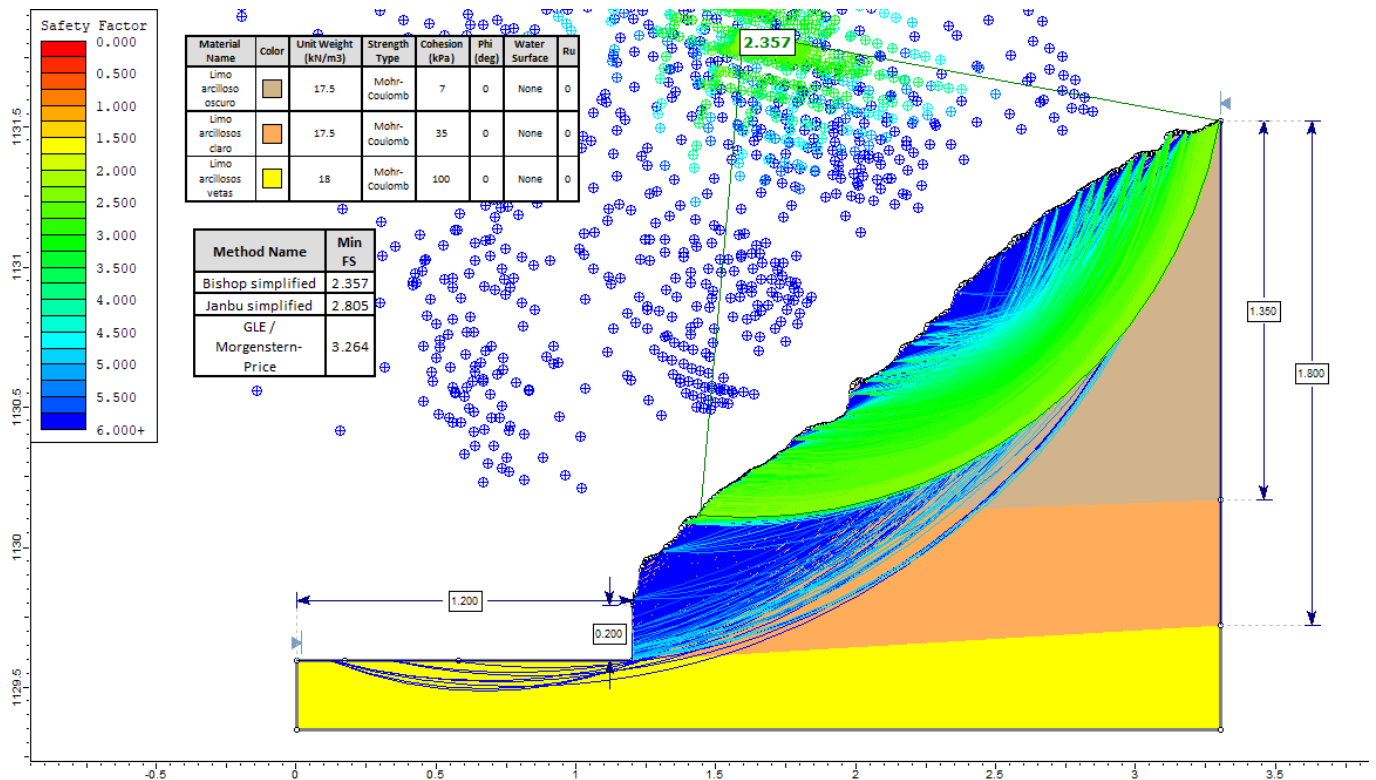


Figura 7. Análisis de estabilidad escenario 1 condición estática

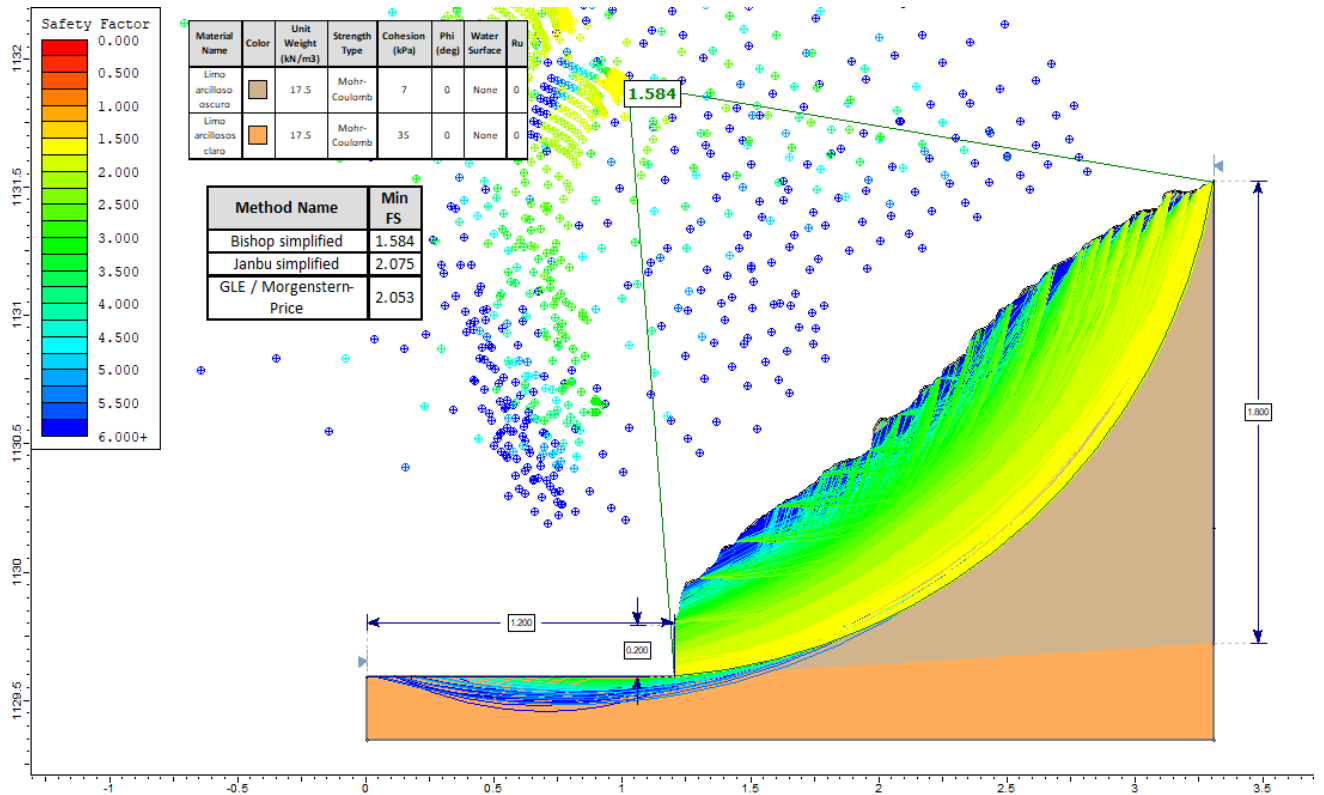


Figura 8. Análisis de estabilidad escenario 2 condición estática

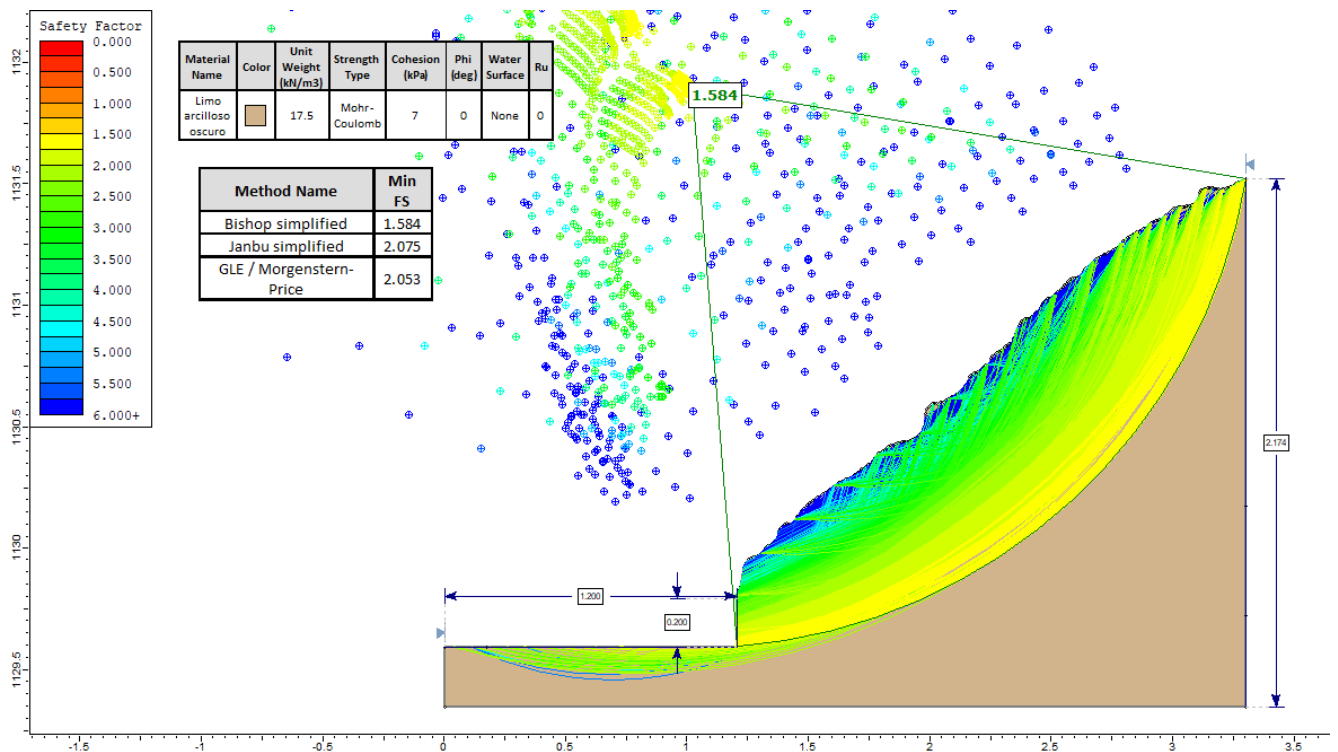


Figura 9. Análisis de estabilidad escenario 3 condición estática

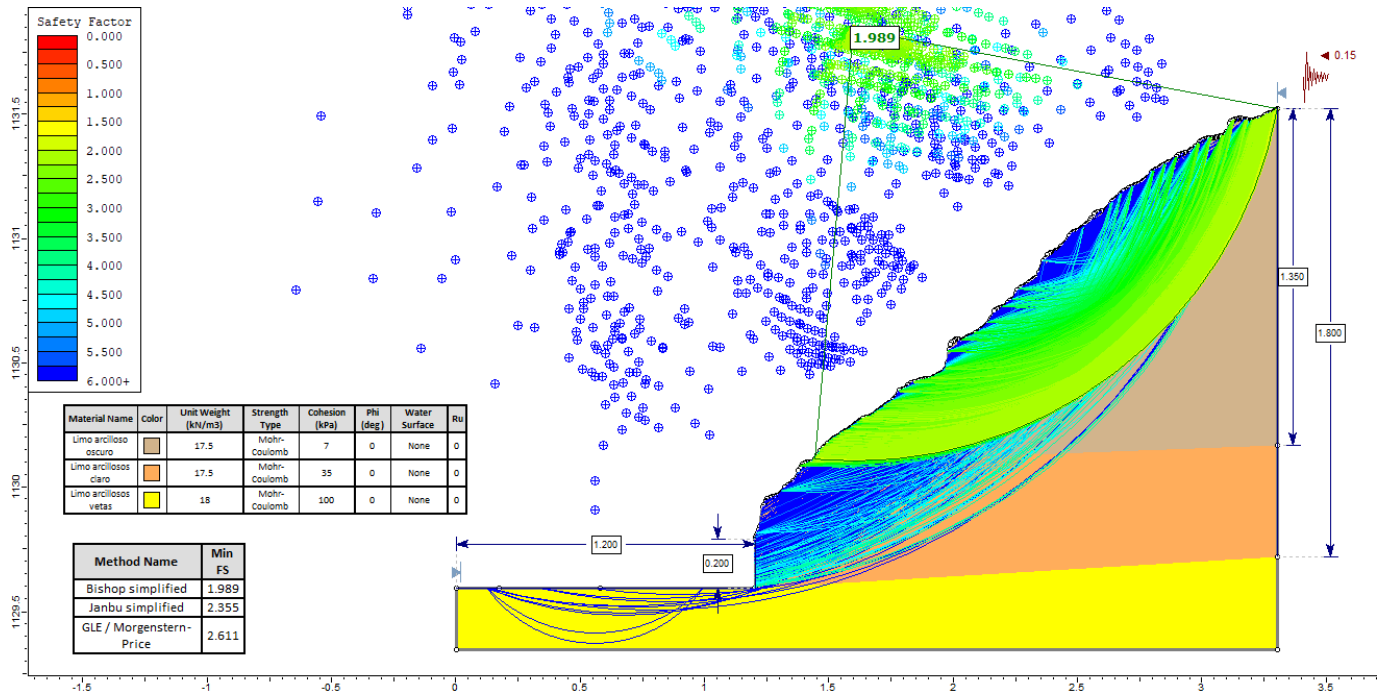


Figura 10. Análisis de estabilidad escenario 1 condición pseudoestática  $a=0,15g$

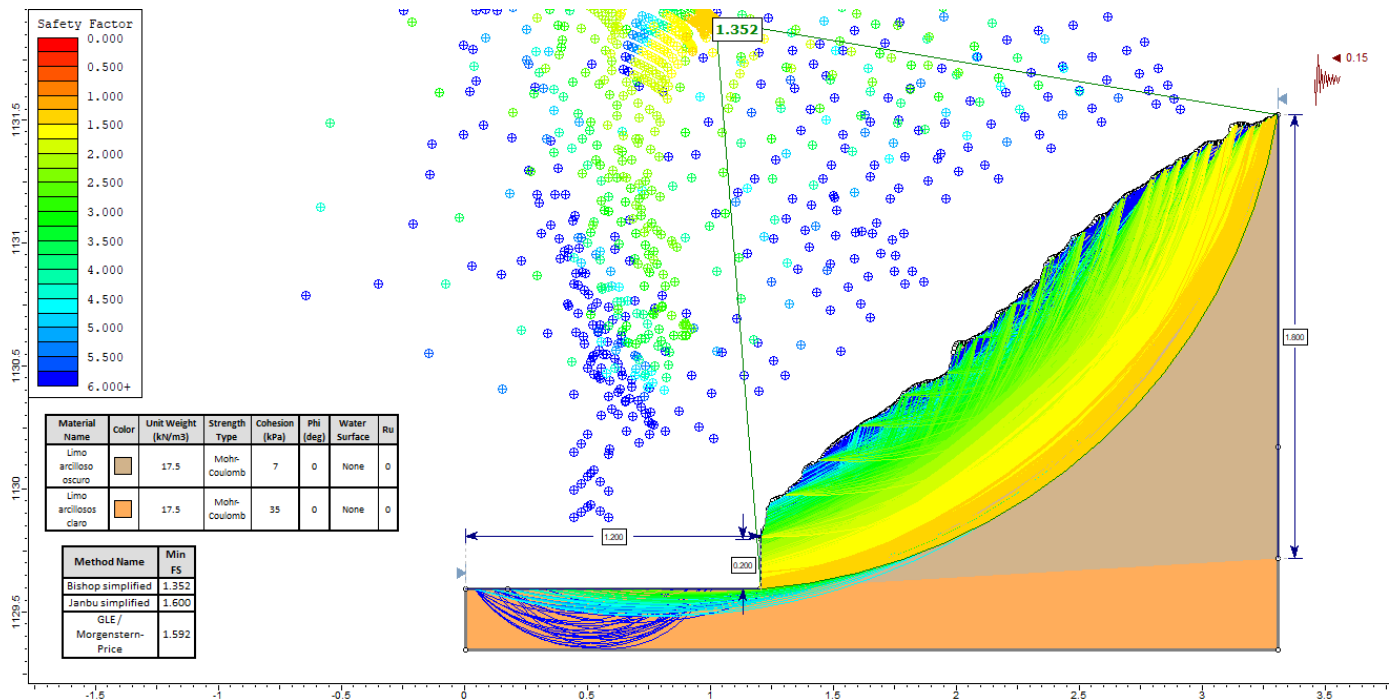


Figura 11. Análisis de estabilidad escenario 2 condición pseudoestática  $a=0,15g$

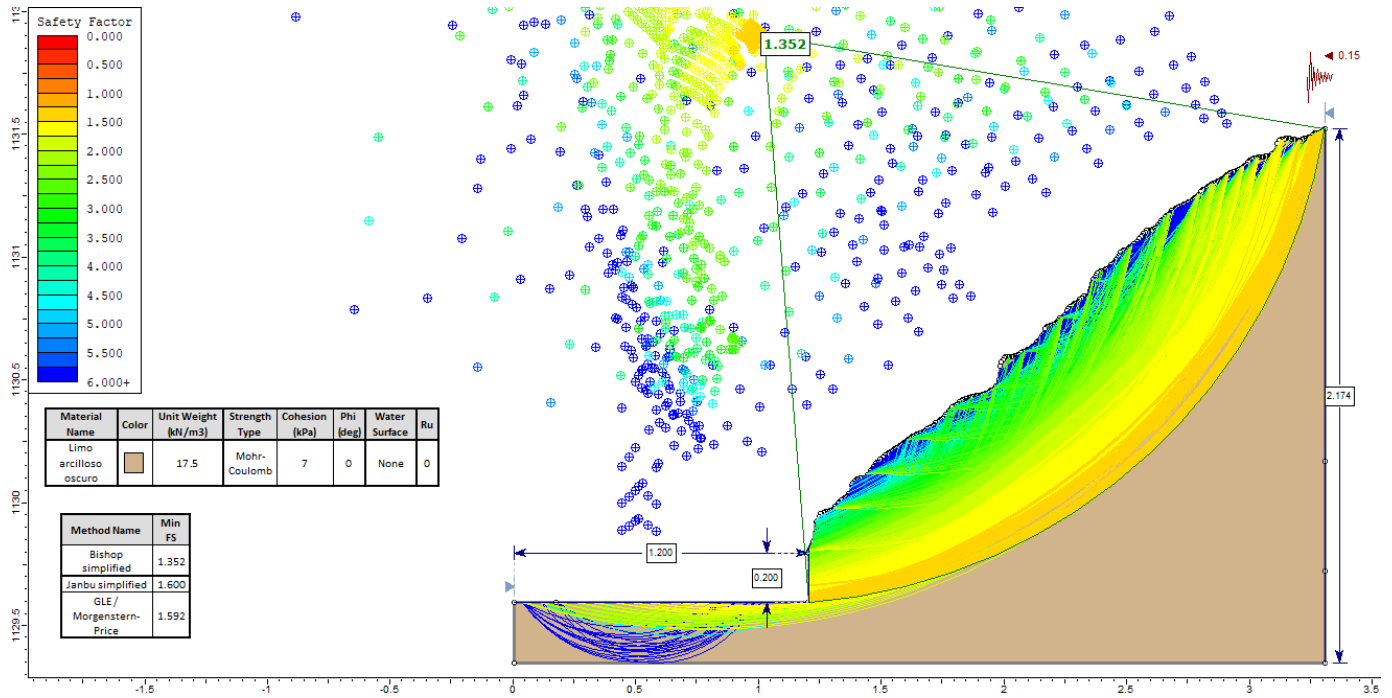


Figura 12. Análisis de estabilidad escenario 3 condición pseudoestática  $a=0,15g$

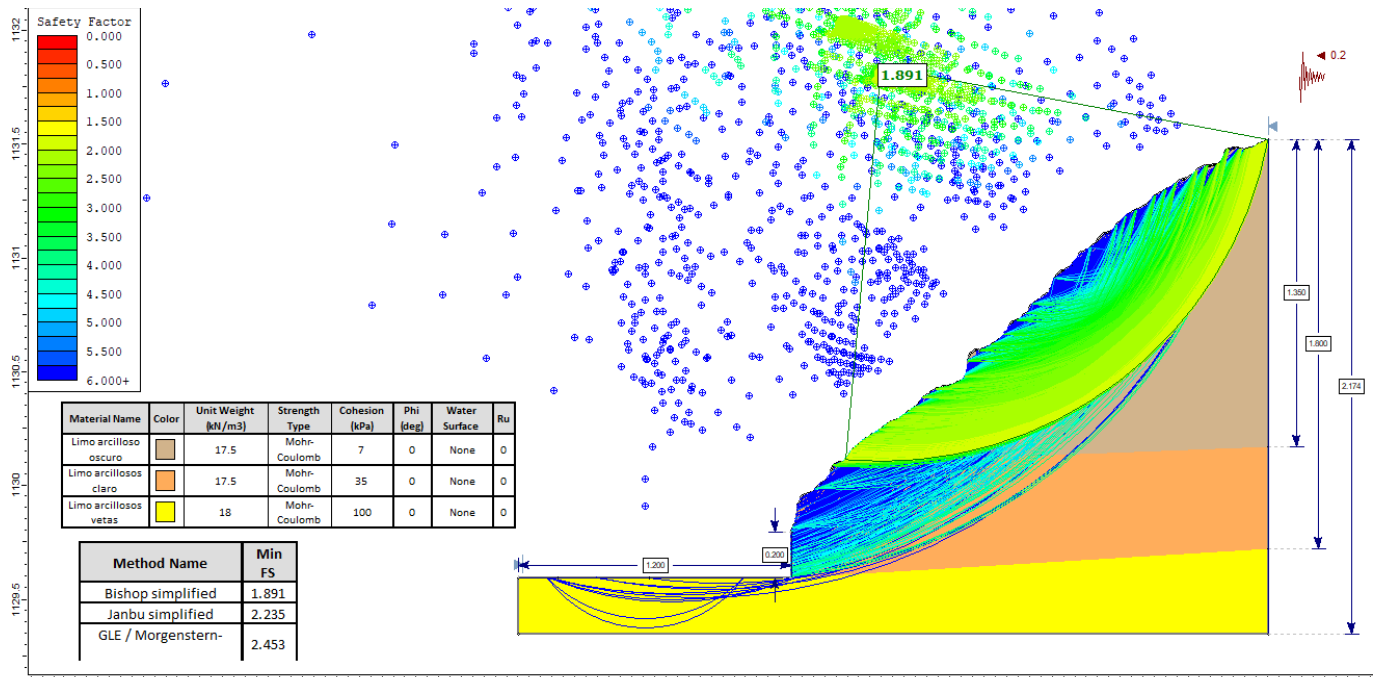


Figura 13. Análisis de estabilidad escenario 1 condición pseudoestática  $a=0,20g$

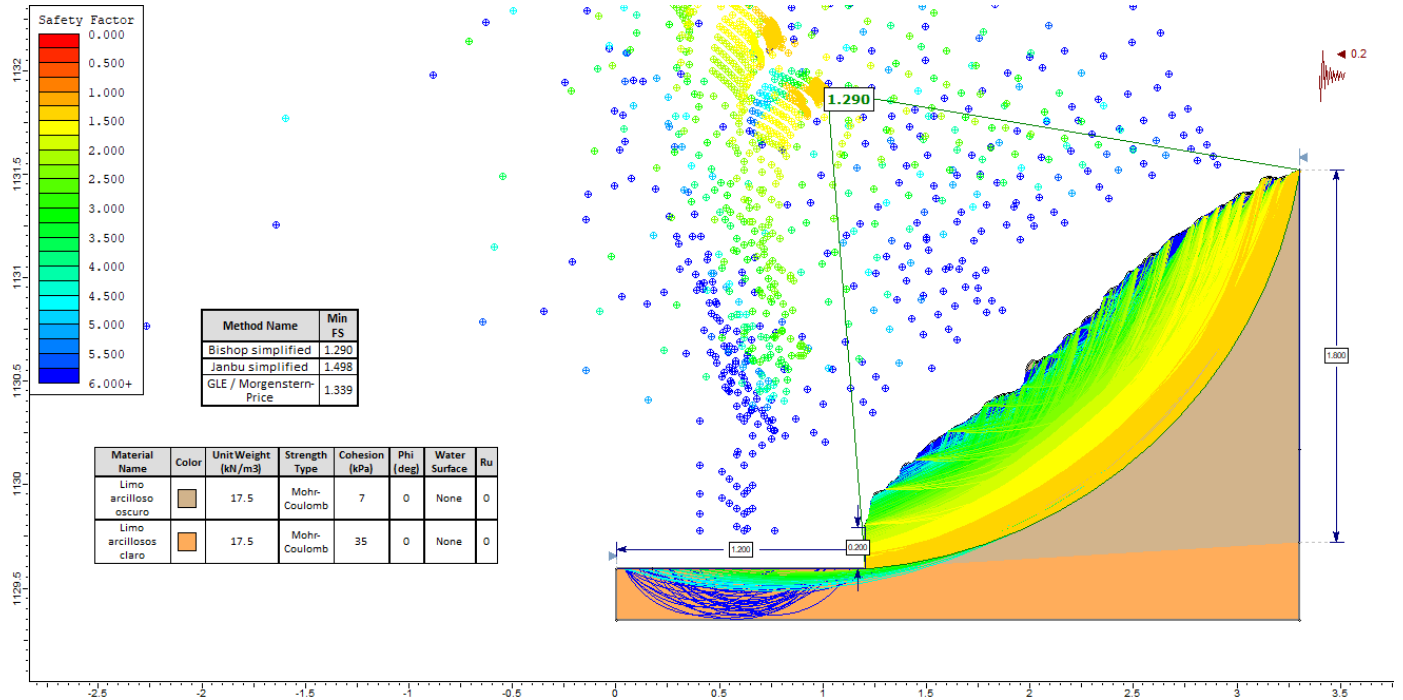


Figura 14. Análisis de estabilidad escenario 2 condición pseudoestática  $a=0,20g$

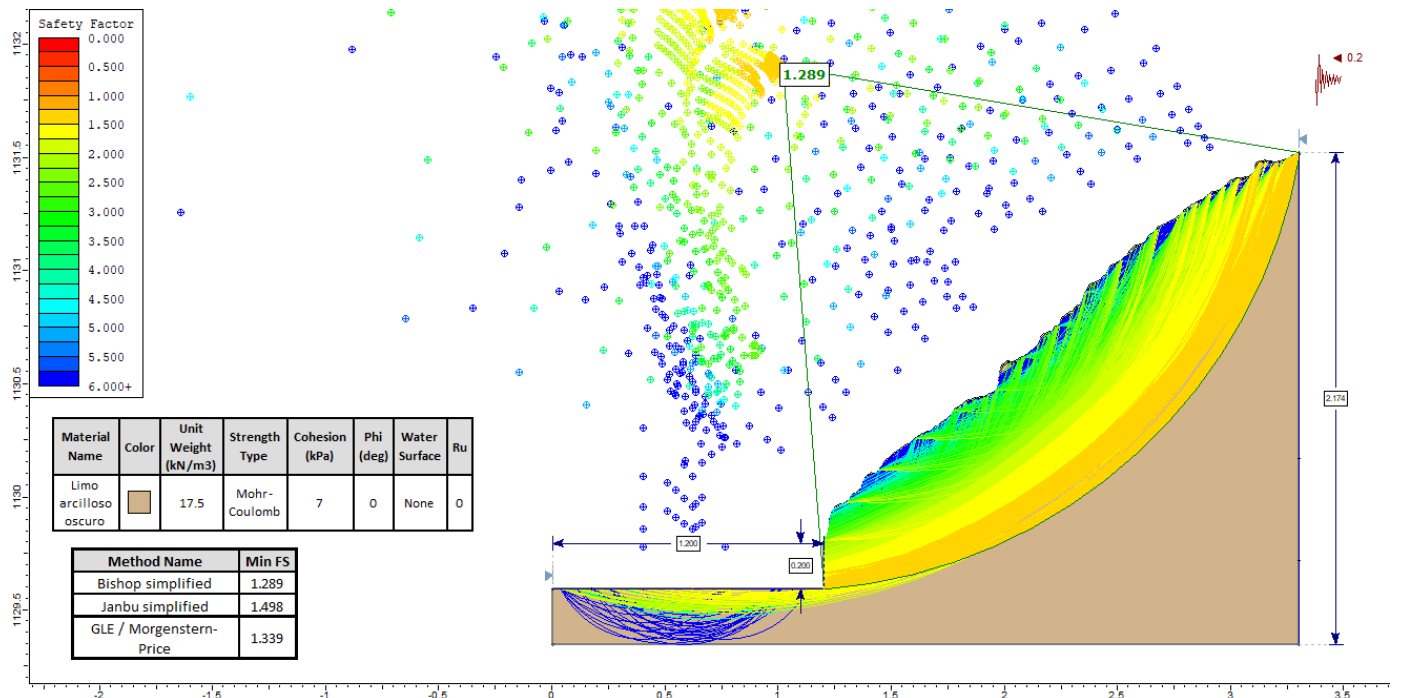


Figura 15. Análisis de estabilidad escenario 3 condición pseudoestática  $a=0,20g$

## V. Comentarios Finales

A partir de los resultados obtenidos en las simulaciones se destaca que, para las propiedades de los materiales utilizados en todos los casos, los resultados de los factores de seguridad son favorables y cumplen con los requisitos de estabilidad definidos por el Código Geotécnico de Taludes y Laderas de Costa Rica teniendo en consideración que estos análisis no están considerando la colocación de ninguna actividad de estabilización ni drenaje de los taludes.

Adicionalmente, se recomienda la implementación de estructuras para el manejo de aguas de escorrentía superficial, ya que en los planos no se observa la presencia de estas estructuras. Se considera apropiado colocar cuneta y contracuneta, con el fin de prevenir problemas de formación de cárcavas y erosión que puedan comprometer la estabilidad del talud.

Dado a que, en la corona del talud existe de una zanja que cumple la función de contracuneta, se considera apropiado dada la intervención prevista colocar un revestimiento a dicha zanja, esto para impermeabilizar el conducto evitando que el agua se filtre en el talud y pueda desencadenar problemas de estabilidad. Se considera apropiado la construcción de una cuneta al pie del talud de manera perimetral a la estructura de las gradas que conforman el corredor entre el edificio C del LanammeUCR y la escuela de Ingeniería Civil UCR, de manera que se conecte con la cuneta existente en la parte trasera del edificio del CTT LanammeUCR. Ambas recomendaciones se muestran en el esquema de la Figura 16.

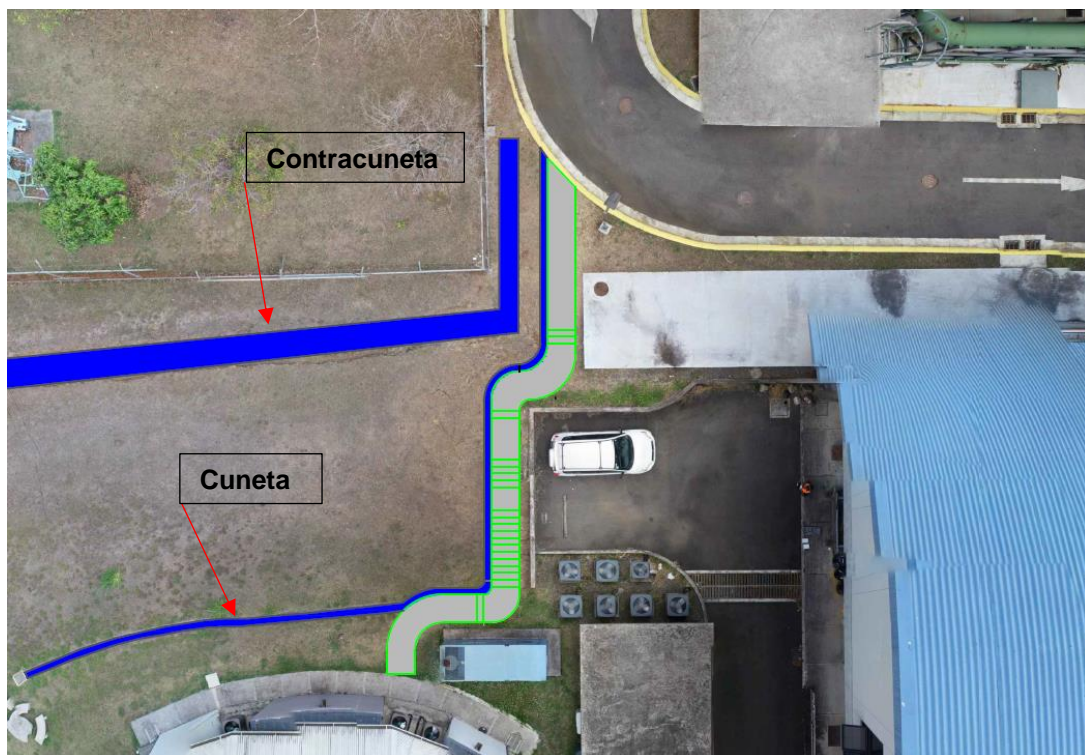


Figura 16. Esquema para estructuras de manejo de agua de escorrentía superficial.



## VI. Referencias

Salas, G. A. (2019). *Propuesta de estabilización talud costado norte Lanamme*. San Pedro, San José: INGEOTEC S.A.

