



Revista EIA  
ISSN 1794-1237  
e-ISSN 2463-0950  
Año XIX/ Volumen 22/ Edición N.43  
Enero - junio 2025  
Reia4329 pp. 1-17

Publicación científica semestral  
Universidad EIA, Envigado, Colombia

## PARA CITAR ESTE ARTÍCULO / TO REFERENCE THIS ARTICLE /

Parra-Garay, S. A.; Niebles-Gil, G. A.;  
Girales-Puerta, D. I. y Manco-Jaraba,  
D. C.

Análisis de Estabilidad Bajo  
Condiciones Estáticas y  
Pseudoestáticas del Cerro  
Bunkuamake, Corregimiento  
Atánquez (Colombia)

Revista EIA, 22(43), Reia4329 pp. 1-17  
<https://doi.org/10.24050/reia.v22i43.1786>

✉ *Autor de correspondencia:*

Manco-Jaraba, D. C.  
MSc. en Gestión Ambiental y  
Energética en las Organizaciones,  
Correo electrónico:  
[dinomancojaraba@gmail.com](mailto:dinomancojaraba@gmail.com)

**Recibido:** 21-05-2024

**Aceptado:** 10-12-2024

**Disponible online:** 01-01-2025

# Análisis de Estabilidad Bajo Condiciones Estáticas y Pseudoestáticas del Cerro Bunkuamake, Corregimiento Atánquez (Colombia)

SAMUEL ALEJANDRO PARRA-GARAY<sup>1</sup>

GUSTAVO ANDRÉS NIEBLES-GIL<sup>1</sup>

DIANA ISABEL GIRALES-PUERTA<sup>1</sup>

✉ DINO CARMELO MANCO-JARABA<sup>2</sup>

1. Fundación Universitaria del Área Andina, Valledupar, Colombia
2. Universidad de La Guajira, Riohacha, Colombia

## Resumen

Las comunidades indígenas del Sureste de la Sierra Nevada de Santa Marta (SNSM) específicamente la comunidad de Atánquez, se ha visto afectada en los últimos años por inestabilidad y remoción en masa generando hasta pérdidas de vidas, económicas, culturales, sociales, ambientales y áreas ocupadas. El objetivo de esta investigación se basa en analizar la estabilidad bajo condiciones estáticas y pseudoestáticas de las laderas del Cerro Bunkuamake, sector sureste de la Sierra Nevada de Santa Marta comunidad de Atánquez (Colombia). Se procedió inicialmente en una revisión documental en las diferentes bases de datos científicas; posteriormente se realizó una etapa observacional de campo complementada con un levantamientos cartográficos escala 1:25.000 permitiendo conocer e identificar aspectos geológicos, geomorfológicos, características generales propuesta por la metodología del Servicio Geológico Colombiano (SGC), toma de cuatro (4) muestras (M1, M2, M3 y M4) de suelo para análisis fisicomecánicos (granulométrico, humedad, peso específico y límites de Atterberg) y pruebas de consolidación para medir la reducción gradual del volumen de suelo por compresión. El análisis de estabilidad estático en condiciones secas el factor

de seguridad presentó valores de 1.98 a 2.05 y probabilidad de falla de 0.02% a 0.06% para ladera de cultivos y; ladera de carretera factor de seguridad de 4.24 a 4.41 y probabilidad de falla casi nulas de 0%. Para las dos laderas las condiciones de estabilidad en estado seco son buenas presentando factor de seguridad mayor a 1 y probabilidad de falla inferior a 0.06%, indicando que la presencia de factores detonantes como precipitación y sismicidad generaría procesos de inestabilidad que afecten la estabilidad.

Palabras claves: Atanquez; Cerro Bunkuamake; Inestabilidad; Ladera; Remoción en masa; Sierra Nevada de Santa Marta.

---

## Stability Analysis Under Static and Pseudo-static Conditions of Cerro Bunkuamake, Corregimiento Atánquez (Colombia)

### Abstract

The indigenous communities of the southeastern Sierra Nevada de Santa Marta (SNSM), specifically the community of Atánquez, have been affected in recent years by instability and landslides, generating even loss of life, economic, cultural, social, environmental and occupied areas. The objective of this research is based on analyzing the stability under static and pseudo-static conditions of the slopes of Cerro Bunkuamake, southeastern sector of the Sierra Nevada de Santa Marta, community of Atánquez (Colombia). We initially proceeded with a documentary review in the different scientific databases; subsequently, a field observational stage was carried out, complemented with a cartographic survey at a scale of 1:25. The first stage consisted of a mapping at a scale of 1:25:000 allowing to know and identify geological and geomorphological aspects, general characteristics proposed by the methodology of the Colombian Geological Service (SGC), taking four (4) samples (M1, M2, M3 and M4) of soil for physicomechanical analysis (granulometric, moisture, specific weight and Atterberg limits) and consolidation tests to measure the gradual reduction of soil volume by compression. The static stability analysis in dry conditions the safety factor presented values from 1.98 to 2.05 and probability of failure from 0.02% to 0.06% for cultivated slope and; road slope safety factor from 4.24 to 4.41 and probability of failure almost null of 0%. For the two slopes, the stability conditions in the dry state are good, presenting a safety factor greater than 1 and a probability of failure lower than 0.06%, indicating

that the presence of triggering factors such as precipitation and seismicity would generate instability processes that affect stability.

**Keywords:** Atánquez; Hill Bunkuamake; Instability; Slope; Massive landslide; Sierra Nevada de Santa Marta.

## 1. Introducción

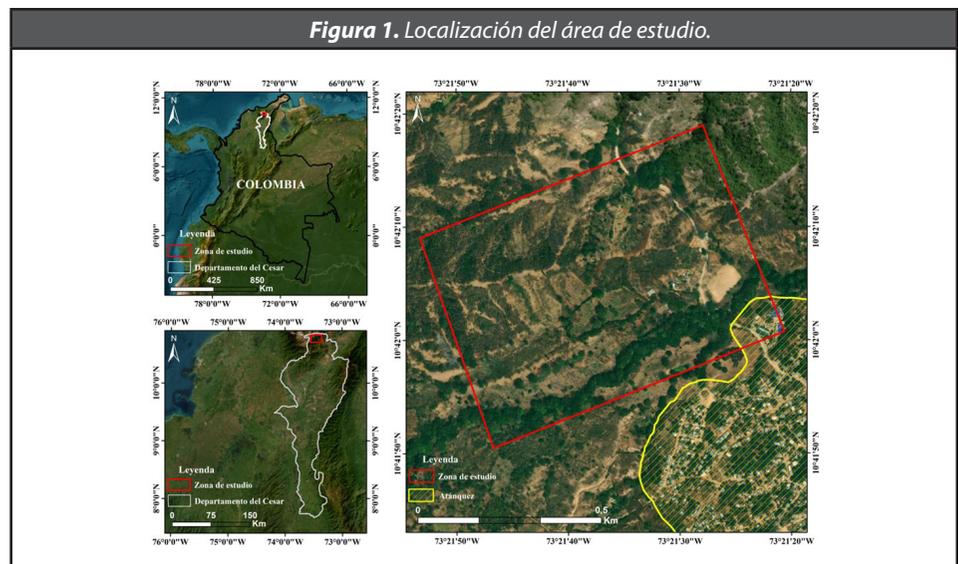
La Sierra Nevada de Santa Marta (SNSM) es la masa montañosa más alta a la orilla del mar, debido a su elevación de superficie, procesos y factores geomorfológicos, geo-climáticos, geo-estructurales, hidrológicos, antrópicos, ausencia de vegetación, ubicación, meteóricos, precipitación y sismicidad se encuentra expuesta a procesos erosivos muy marcados, inestabilidades de taludes y fenómenos de remoción en masa (FRM) en laderas.

La estabilidad de una ladera o talud está regida por 6 factores como lo son: geométricos, geológicos, ambientales, hidrogeológicos, antrópico y geotécnicos. Estos 6 factores condicionan zonas de esfuerzo generando rotura en el terreno, desencadenando desprendimientos de materiales que están por encima de la zona de esfuerzo; además, diferentes estudios (Mateus-Córdoba, 2011; Mora-Chinchilla, 2011) han demostrado que el análisis determinístico de estabilidad no es suficiente, por consiguiente, es importante y necesario combinar el análisis probabilístico con el análisis determinístico, los cuales permiten conocer con mayor precisión el estado geomecánico. Alcántara Ayala, (2000) indicó que un deslizamiento es un movimiento evidente de una masa relativamente seca de suelo, roca o ambas (Alcántara Ayala, 2000).

Las comunidades indígenas del Sureste de la Sierra Nevada de Santa Marta (SNSM) específicamente la comunidad de Atánquez, se ha visto afectada en los últimos años por inestabilidad y remoción en masa generando hasta pérdidas de vidas, económicas, culturales, sociales, ambientales y áreas ocupadas. El objetivo de esta investigación es analizar la estabilidad bajo condiciones estáticas y pseudoestáticas de las laderas del Cerro Bunkuamake, sector sureste de la Sierra Nevada de Santa Marta comunidad de Atánquez, Colombia.

## 2. Localización

El corregimiento de Atánquez se localiza al noroccidente del municipio de Valledupar, costa norte colombiana, departamento del Cesar. Actualmente, es uno de los resguardos indígenas Kankuamo más importante en el departamento, con altitud promedio de 1.170 m.s.n.m.



## 3. Materiales y Métodos

Inicialmente se realizó revisión del estado del arte en bases de datos académicas y científicas, así como la consulta de antecedentes relacionadas con eventos de susceptibilidad ocurridos en el área de estudio. Posteriormente, fases de campo para toma de muestra y levantamientos cartográficos escala 1:25.000 permitiendo conocer e identificar aspectos geológicos, geomorfológicos y características generales propuesta por la metodología del Servicio Geológico Colombiano (SGC) (Carvajal-Perico, 2012) y Carvajal (Carvajal, 2012). Se tomaron cuatro (4) muestras (M1, M2, M3 y M4) de suelo con un peso promedio de 3 kilogramo cada una para análisis fisicomecánicos (granulométrico, humedad, peso específico y límites de Atterberg) (INVIAS, 2012b, 2012a, 2012d, 2012h, 2012f, 2012i, 2012c, 2012e,

2012g; Franco-Torres *et al.*, 2015), además, se realizaron pruebas de consolidación para medir la reducción gradual del volumen de suelo por compresión debido a carga estática (Instituto Nacional de Vías (INVIAS), no date a) y ensayos de corte directo para determinar las propiedades de resistencia del material (Instituto Nacional de Vías (INVIAS), no date b).

Para la elaboración, evaluación y análisis probabilístico de los modelos estáticos y pseudoestáticos se utilizó el software Slide 2; cabe resaltar que los métodos de equilibrio límite que se seleccionaron para combinar el análisis determinístico con el análisis probabilístico corresponden al método Monte Carlo fueron Fellenius, Bishop, Janbu y Morgenstern & Price (Sanhueza-Plaza and Rodríguez-Cifuentes, 2013); además, se elaboró el ensayo de corte directo para determinar la resistencia al corte que presentaba la muestra recuperada en campo; es adecuado para la determinación relativamente rápida de las propiedades de resistencia de los materiales drenados y consolidados, dado que las trayectorias de salida de la muestra son constantes y la sobrepresión en los orificios de salida es más rápida que en otras pruebas de drenaje.

### ***Geología Local***

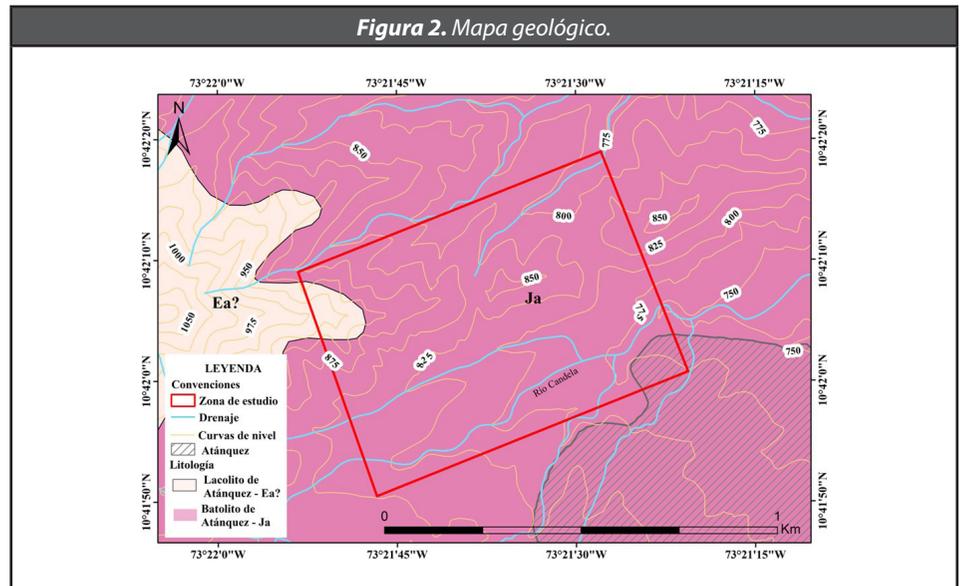
#### **Lacolito de Atánquez (Ea)**

Aflora a lo largo de la marguen sureste del Batolito de Atánquez con un área aproximada de 16 km<sup>2</sup>, formada por rocas porfiríticas de grano muy grueso que contiene fenocristales de plagioclasa mayores a 4 cm, matriz grano fino a medio con tonalidades grisáceas y tonalidades oscuras, grano más fino y no es porfirítica (INGEOMINAS, 1994) (Figura 2).

#### **Batolito de Atánquez (Ja)**

Presenta un área aproximada de 230 km<sup>2</sup> y se ubica al noreste de Valledupar disectado por los Ríos Candela y el Potrero, conformado principalmente por cuarzdiorita con tonalidades de color gris que cambia gradualmente a rosado por el aumento de feldespato potásico (INGEOMINAS, 1994) (Figura 2). Además, contiene monzogranitos,

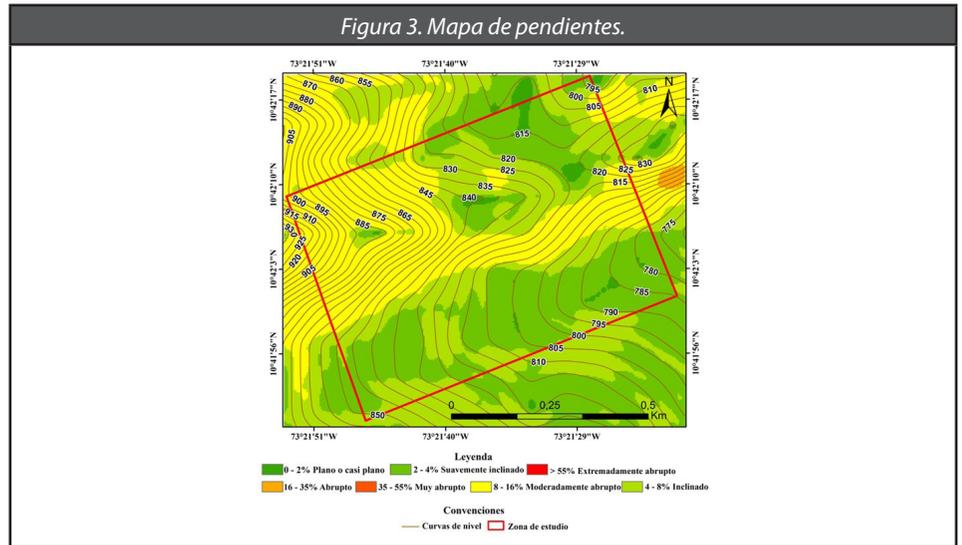
granitos biotíticos – horbléndicos, granodioritas, leucosienogranitos y localmente tonalitas con textura holocristalina y hipidiomórfica, grano medio a grueso, tonalidades blanquesinas (Servicio Geológico Colombiano, Universidad EAFIT and Minminas, 2015).



#### 4. Resultados y Discusión

##### *Pendientes*

La zona de estudio está caracterizada por presentar pendientes que van desde los 8° a 16° y 16° a 35° que representan procesos modernamente abruptos a abruptos generando movimientos en masa de todos los tipos, procesos erosivos, denudaciones intensas de diferentes tipos generando así alta propensión al desarrollo de procesos erosivos (Figura 3).



### **Geomorfología**

Se identificaron tres unidades geomorfológicas que corresponden a ambientes de origen estructural (Cerro Estructural (Sife)), denudacional (Ondulaciones Denudadas (Dmo)) y fluvial (Piedemonte (Fp)).

### **Cerro estructural (Sce)**

La zona de estudio es conocida como región “la trabajosa” con elevaciones de relieve alomado, configuración estrecha, alargada, laderas de longitudes cortas a moderadas y pendientes fuertemente inclinadas a moderadamente escarpado.

### **Ondulaciones denudadas (Dmo)**

Elevaciones bajo relieve con alturas promedios de 50 m sobre el nivel del suelo local; morfología colinada o alomada con pendientes moderadas a suaves y longitudes promedias de laderas inferiores a 100 metros. No se identificaron movimientos en masa activos o recientes en esta unidad.

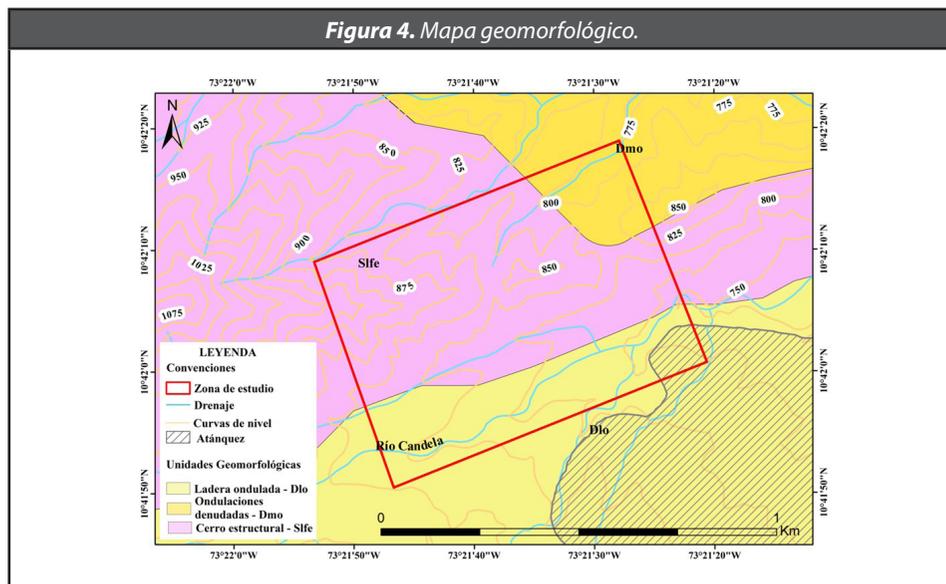
### *Piedemonte (fp)*

Superficie inclinada de gran extensión con topografía plana a ondulada, composición generalmente heterogénea, ubicada al borde del Cerro Estructural (Sce) con asentamiento de habitantes del corregimiento. Está modelada por sedimentos provenientes de la SNSM, más específicamente de la meteorización y erosión del Batolito y Lacolito de Atánquez.

### *Variable morfodinámica*

La parte alta de las laderas presentan pendientes moderadas, alto contenido de vegetación baja (césped), deslizamiento tipo reptación y pequeños escalones; constituida de material residual de rocas ígneas intrusivas de edad Jurásica, pertenecientes al Batolito de Atánquez, conformada por suelos limo-arcilloso con bajo contenido de arenas con tonalidades oscuras (humus) en la parte superior.

La vía que comunica Atánquez con Chemesquemena y Guatapurí se evidencia desprendimiento de material que se ha ido acumulando en la base del talud, constituido principalmente por arenas y material fino, con presencia de gravas. En la parte media altas pendientes y vegetación moderada, constituida principalmente por el Lacolito de Atánquez, constituido por arenas finas con limos, poco material grueso y contenido de materia orgánica con tonalidades oscuras (humus).



### Aspectos geotécnicos

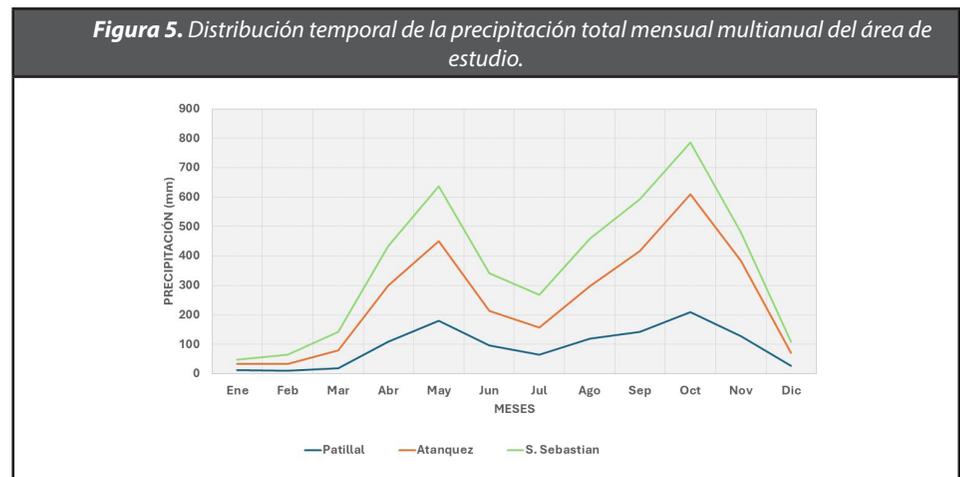
#### Suelo

De acuerdo al sistema de clasificación unificada (U.C.S.U) corresponden a suelos arenosos, donde más del 50% de la porción gruesa pasa el tamiz No. 4 y se retiene en la malla No. 200. De acuerdo con la valoración de suelos de U.C.S.U, presentan capacidad de carga media a muy alta, riesgos de asentamientos bajo a muy bajos, modificación de la resistencia por cambios de humedad medio a bajo, compactibilidad muy buena a media y riesgo por deslizamiento bajo a muy bajo. Por consiguiente, los movimientos presentados en las laderas son de tipo reptación con movimientos muy lentos provocados principalmente por la cantidad de sedimentos finos (limos) y variación de humedad en ciertos periodos que favorecen la ocurrencia de este fenómeno.

### 5. Climatología

Los valores de precipitación más altos se presentaron en el corregimiento de Atanquez para el mes de octubre con 400 mm y precipitación total mensual promedio anual de 1928 mm. Los

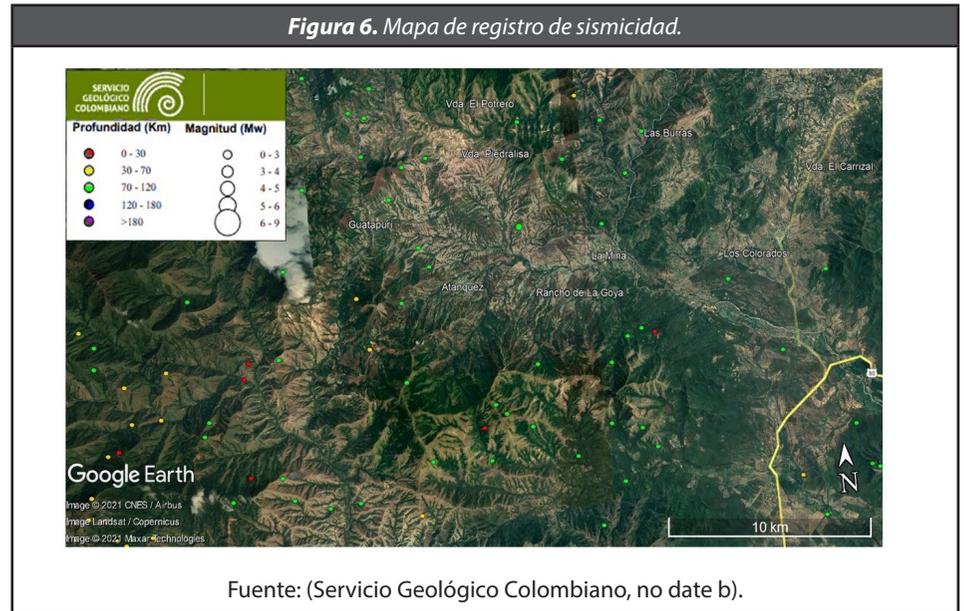
menores valores se ubican en la estación del corregimiento de Patillal con valores de precipitación mensual total promedio de 1120 mm (Figura 5). Los eventos multianuales de precipitación máxima tienen ocurrencia en las estaciones en los meses de abril, mayo, agosto, septiembre y octubre.



Los valores de mayor precipitación (160 mm) se presentan en la zona centro del corregimiento de Atanquez y menores hacia la parte noreste alcanzando valores de 128 mm.

### Sismicidad

La zona de estudio enmarca un sector importante de la Sierra Nevada de Santa Marta, la cual está limitada al este por la Falla Cerrejón, oeste lineamiento del Cesar, norte Falla de Oca, sur Falla de Arena Blanca y sur-oeste Falla Santa Marta-Bucaramanga. En torno a la zona se han presentado diferentes focos sísmicos con magnitudes que varían entre 1.3 y 3 en la escala de Richter (Servicio Geológico Colombiano, no date a) y profundidades que van desde 0 Km hasta 100 km, tratándose así de sismos de naturaleza intraplaca, generando posiblemente inestabilidad en las laderas (Figura 6).



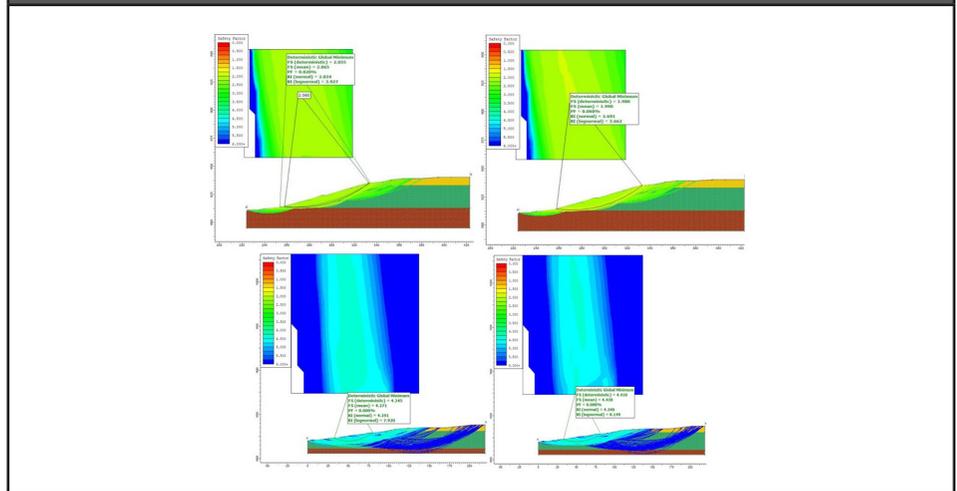
## 6. Modelamiento y Análisis Geotécnico

### *Análisis de estabilidad estático*

#### Condiciones secas

El factor de seguridad presentó valores de 1.98 a 2.05 y probabilidad de falla de 0.02% a 0.06% para ladera de cultivos y; ladera de carretera factor de seguridad de 4.24 a 4.41 y probabilidad de falla casi nulas de 0%. Para las dos laderas las condiciones de estabilidad en estado seco son buenas presentando factor de seguridad mayor a 1 y probabilidad de falla inferior a 0.06%, indicando que la presencia de factores detonantes como precipitación y sismicidad generaría procesos de inestabilidad que afecten la estabilidad (Figura 6).

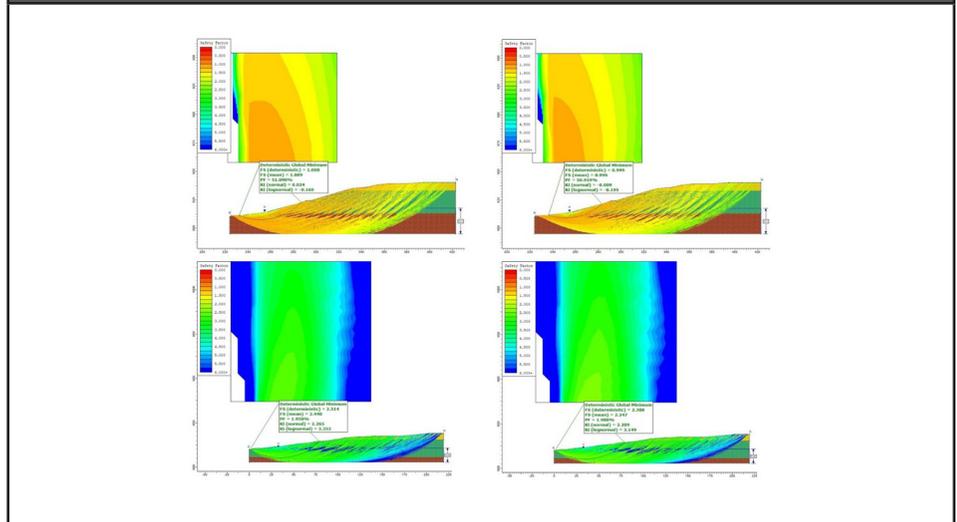
Figura 6. Análisis de estabilidad estático bajo condiciones secas.



### Condiciones saturadas

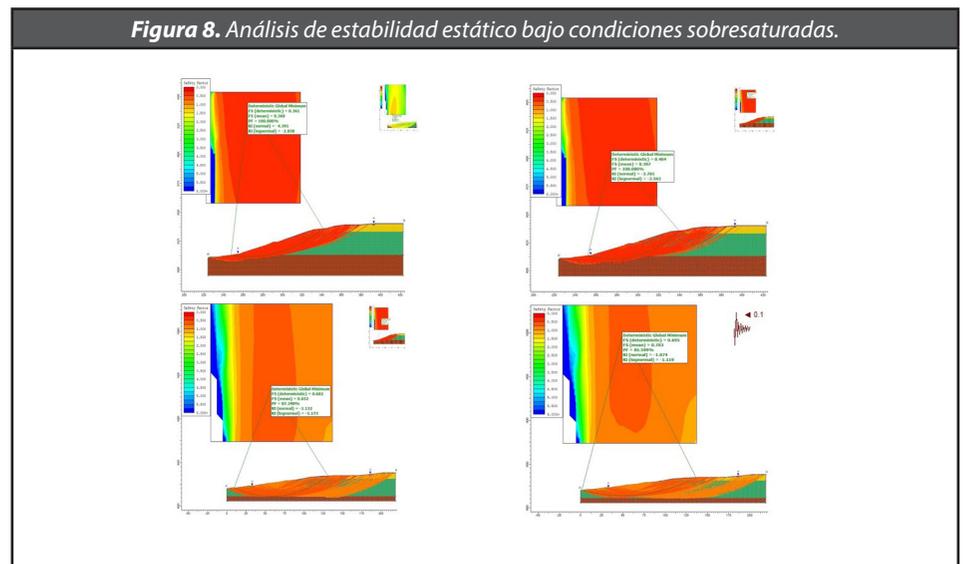
El factor de seguridad presentó valores de 1.00 a 1.02 y probabilidad de falla de 49.19% a 51.09% para ladera de cultivos presentando condiciones de inestabilidad debido a la distribución de materiales y propiedades y; ladera de carretera factor de seguridad de 2.31 a 2.52 y probabilidad de falla de 1.73% a 1.98% (Figura 7).

Figura 7. Análisis de estabilidad estático bajo condiciones saturadas.



### *Condiciones sobresaturadas*

Los meses del año con mayor precipitación fueron mayo y octubre con promedios de 271.3 mm y 399.7 mm. Los resultados para los dos modelos fueron desfavorables, para el caso de la ladera de cultivos presentó mayor impacto en el factor de seguridad de 0.53 a 0.60 y probabilidades de falla de 97.93% a 98.72%, indicando que la ladera de los cultivos podría presentar fenómenos de remoción en masa desencadenando afecciones a la comunidad. El factor de seguridad de la ladera ubicada sobre la carretera disminuyó presentando valores de 1.30 a 1.321 y probabilidad de falla de 28.86% a 33.39% (Figura 8).

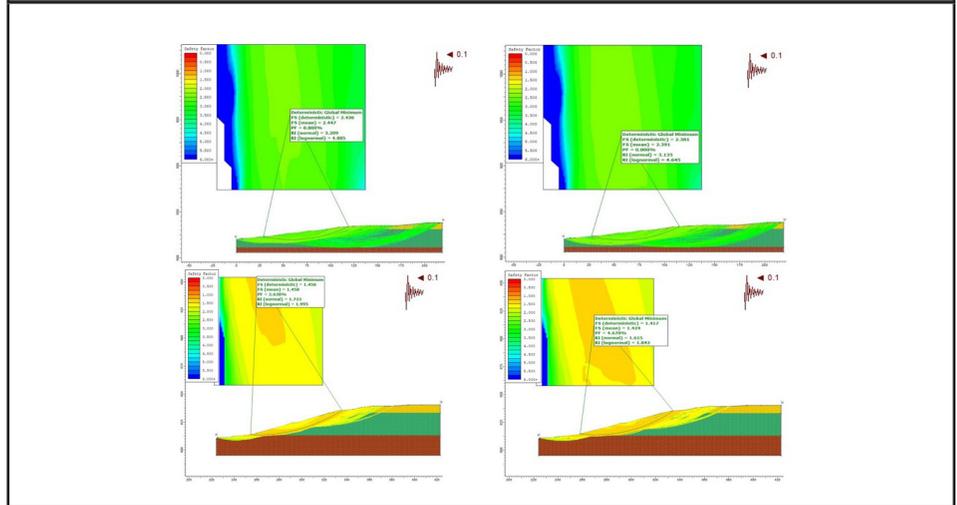


### *Análisis de estabilidad pseudoestático*

#### *Condiciones secas*

La sismicidad presentó un rol relevante en el comportamiento de estabilidad de las laderas, evidenciando disminución en los factores de seguridad, destacando que solo se tuvieron en cuenta los valores de la sismicidad y ausencia de agua; para probabilidad de falla en la ladera de cultivos se identificó un aumento en los datos arrojados, sin embargo, para el caso de la ladera de la carretera no se observaron cambios manteniendo una probabilidad de 0% representando laderas bajo condiciones estables (Figura 9).

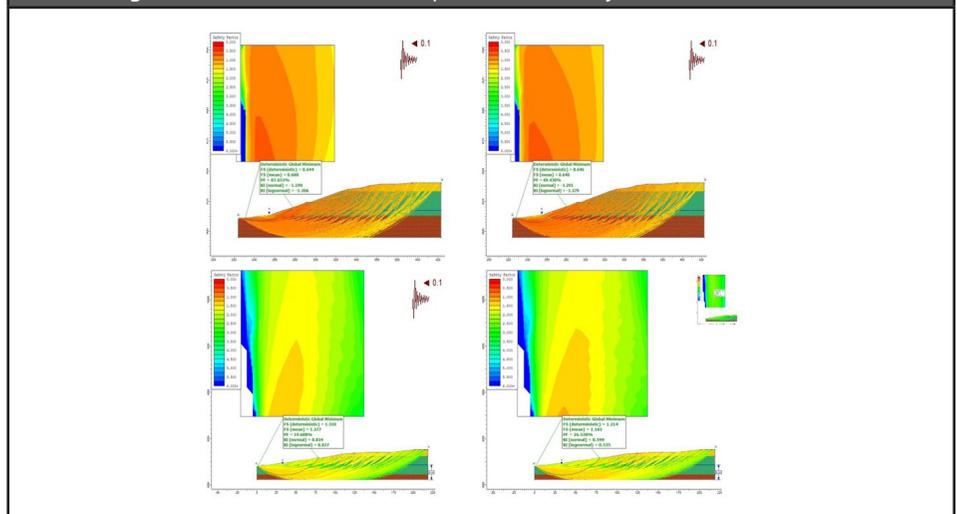
Figura 9. Análisis de estabilidad pseudoestático bajo condiciones secas.



### Condiciones saturadas

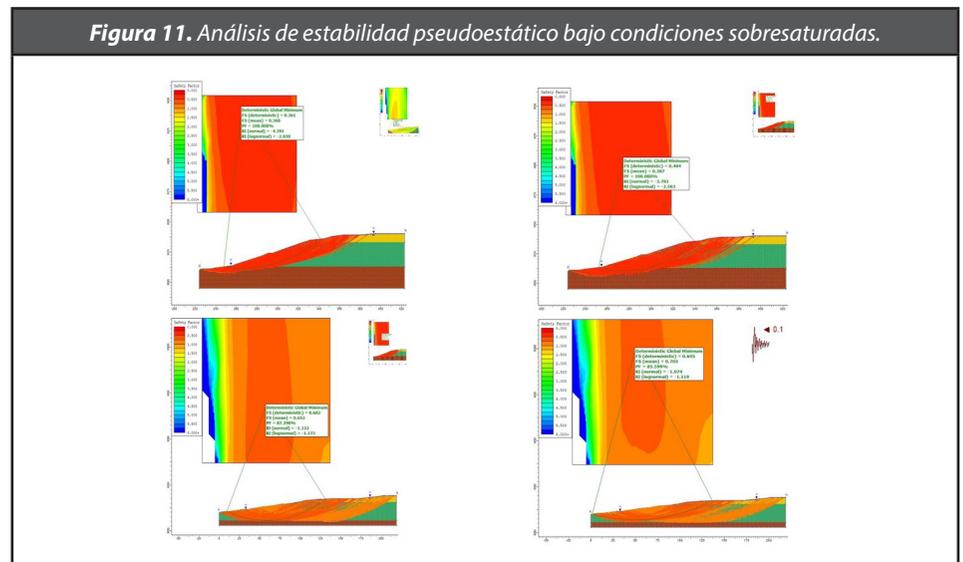
Para este análisis se tuvieron en cuenta la aceleración horizontal y precipitación. Los parámetros de ladera de cultivos presentaron factor de seguridad de 0.65 y probabilidad de falla de 87.67% a 89.43%, evidenciando posibles inestabilidades; y ladera de carretera presentó disminución de los factores de seguridad, manteniendo los estándares de estabilidad y probabilidades de falla inferior a 26.53% evidenciando bajo riesgo para la comunidad.

Figura 10. Análisis de estabilidad pseudoestático bajo condiciones saturadas.



### Condiciones sobresaturadas

Los meses del año con mayor precipitación fueron mayo y octubre generando sobre saturación en las laderas; la ladera de los cultivos arrojó valores de seguridad de 0.37 a 0.4 y probabilidad de falla de 100%, representando inestabilidad y alto riesgo por remoción en masa; la ladera de la carretera presentó factores de seguridad de 0.68 a 0.70 y probabilidades de falla de 84.46% a 89.29% (Figura 11).



## 7. Conclusiones

El análisis de estabilidad estático en condiciones secas el factor de seguridad presentó valores de 1.98 a 2.05 y probabilidad de falla de 0.02% a 0.06% para ladera de cultivos y; ladera de carretera factor de seguridad de 4.24 a 4.41 y probabilidad de falla casi nulas de 0%. Para las dos laderas las condiciones de estabilidad en estado seco son buenas presentando factor de seguridad mayor a 1 y probabilidad de falla inferior a 0.06%, indicando que la presencia de factores detonantes como precipitación y sismicidad generaría procesos de inestabilidad que afecten la estabilidad.

Las condiciones sobresaturadas de acuerdo al análisis de estabilidad estático son desfavorables, presentando un factor de seguridad de 0.53 a 0.60 y probabilidades de falla de 97.93% a 98.72%, indicando que la ladera de los cultivos podría presentar fenómenos de remoción en masa.

Las laderas presentan diversas probabilidades de remoción de masa debido a su ubicación geográfica, actividad tectónica, sísmica, antrópica y geología, expuesta a frecuentes incidentes de precipitación y diferentes focos sísmicos, relacionados con pendientes moderadas (zona montañosa), vegetación y uso de suelo generando condiciones de ocurrencia de inestabilidad, pérdida humana y material.

## Referencias

- Alcántara Ayala, I. (2000) 'Landslides: ¿deslizamientos o movimientos del terreno? Definición, clasificaciones y terminología', *Investigaciones Geográficas (Mx)*, (41), pp. 7–25. Available at: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=56904102>.
- Carvajal-Perico, J. (2012) *Propuesta de estandarización de la cartografía geomorfológica en Colombia*. Bogotá D.C., Colombia.
- Carvajal, J. (2012) *Caracterización de la metodología geomorfológica adaptada por INGEOMINAS*. Bogotá D.C., Colombia.
- Franco-Torres, O. et al. (2015) *Protocolo para la identificación y evaluación de la degradación de suelos por erosión*. Segunda. Bogotá D.C., Colombia.
- INGEOMINAS (1994) *Evaluación del agua subterránea en el departamento del Cesar*. Bogotá D.C., Colombia.
- Instituto Nacional de Vías (INVIAS) (no date a) 'Consolidación unidimensional de los suelos I.N. E 151 07 1'.
- Instituto Nacional de Vías (INVIAS) (no date b) 'Determinación de la resistencia al corte método de corte directo (CD) (consolidado drenado) I.N.V. E – 154 – 07'.
- INVIAS (2012a) 'Afirmado - Artículo 311 – 13', in *Resistencia a la degradación de los agregados de tamaños menores de 37.5 mm (1½") por medio de la máquina de los ángeles*, pp. 19–149.
- INVIAS (2012b) *Base granular - Artículo 330 – 13*.
- INVIAS (2012c) *CBR de suelos compactados en el laboratorio y sobre muestra inalterada - INV E – 148 – 13*.

- INVIAS (2012d) *Determinación de la gravedad específica de las partículas sólidas de los suelos y del llenante mineral, empleando un picnómetro con agua- INVE – 128 – 13.*
- INVIAS (2012e) *Determinación de la resistencia del agregado grueso a la degradación por abrasión, utilizando el aparato micro-deval - INVE – 238 – 13.*
- INVIAS (2012f) *Determinación de los tamaños de partículas de suelo INVE – 101 – 13.*
- INVIAS (2012g) *Determinación del límite líquido de los suelos-INVE – 125 – 13.*
- INVIAS (2012h) *Límite plástico e índice de plasticidad de los suelos - INVE – 126 – 13.*
- INVIAS (2012i) *Sub-base granular- Artículo 320 – 13.*
- Mateus-Córdoba, J. (2011) 'Estabilidad de taludes y obras de contención mediante evaluación probabilística y clasificación del nivel de amenaza', (July), pp. 1–7.
- Mora-Chinchilla, R. (2011) 'Estabilidad en condiciones estáticas y probabilidad de ocurrencia de deslizamientos en condiciones pseudoestáticas de las laderas del bajo los anonos, San Rafael, Escazú, San José', *Revista Ingeniería*, 20(1–2), pp. 41–49. Available at: <https://doi.org/10.15517/ring.v20i1-2.7264>.
- Sanhueza-Plaza, C. and Rodríguez-Cifuentes, L. (2013) 'Análisis comparativo de métodos de cálculo de estabilidad de taludes finitos aplicados a laderas naturales', *Revista de la Construcción*, 12(1), pp. 17–29.
- Servicio Geológico Colombiano (no date a) *Catálogo de Sismicidad*. Available at: [http://bdrsnc.sgc.gov.co/paginas1/catalogo/Consulta\\_Experta\\_Seiscomp/consulta\\_sismo.php](http://bdrsnc.sgc.gov.co/paginas1/catalogo/Consulta_Experta_Seiscomp/consulta_sismo.php) (Accessed: 6 January 2023).
- Servicio Geológico Colombiano (no date b) *Mapa de sismicidad*. Available at: [http://bdrsnc.sgc.gov.co/paginas1/catalogo/Consulta\\_Experta\\_Seiscomp/mapa\\_sismicidad\\_experta.php?total=&id=613](http://bdrsnc.sgc.gov.co/paginas1/catalogo/Consulta_Experta_Seiscomp/mapa_sismicidad_experta.php?total=&id=613).
- Servicio Geológico Colombiano, Universidad EAFIT and Minminas (2015) *Memoria explicativa mapa geomorfológico aplicado a movimientos en masa ESC 1:100.000. Plancha 27 - Valledupar*. Medellín: Convenio especial de cooperación No. 035 de 2013.