**XVII CONGRESO COLOMBIANO DE GEOTÉCNIA "EVALUACIÓN Y GESTIÓN DE RIESGOS GEOTÉCNICOS CON ÉNFASIS EN LOS EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO"**

**14 al 18 de Noviembre de 2022**

XVII CCG
I SSAG 2022
Cartagena

# DESARROLLO COMPUTACIONAL PARA LA EVALUACIÓN ESPACIAL DE DESPLAZAMIENTOS PERMANENTES DEBIDOS A EVENTOS SÍSMICOS

***COMPUTATIONAL DEVELOPMENT FOR SPATIAL EVALUATION OF EARTHQUAKE-TRIGGERED PERMANENT DISPLACEMENTS***

**EXNEYDER A. MONTOYA-ARAQUE[(1)]**

**SILVANA MONTOYA-NOGUERA[(1)], FERNANDO LÓPEZ-CABALLERO[(2)]**

(1) Escuela de Ciencias Aplicadas e Ingeniería, Universidad EAFIT, Colombia; (2) Laboratoire de mécanique Paris-Saclay, Université Paris-Saclay, Francia.

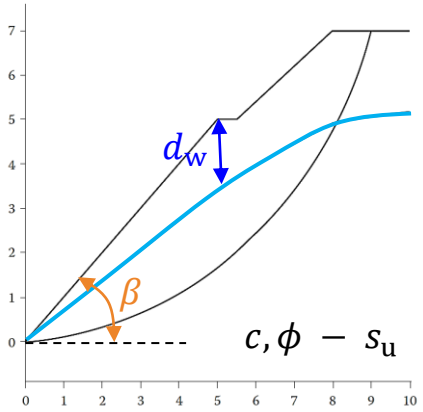
Sociedad Colombiana de Geotecnia

50 años
1971-2021

# Introduction and theoretical background

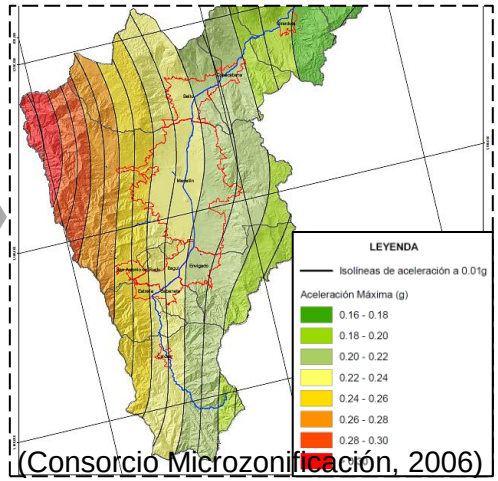
Conditioning factors

- High $\beta$
- Low $c, \phi, s_u$
- Low $d_w$
- …

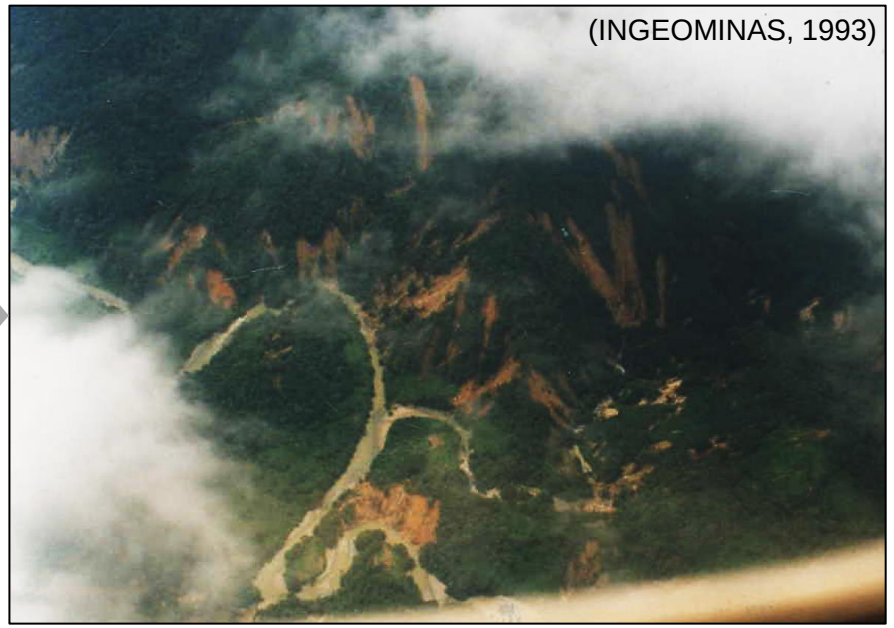



Triggering factors

$a(t)$




(Consorcio Microzonificación, 2006)



(INGEOMINAS, 1993)

Earthquake-induced landslides from $M_w = 7.1$ Murindo's 1992 event

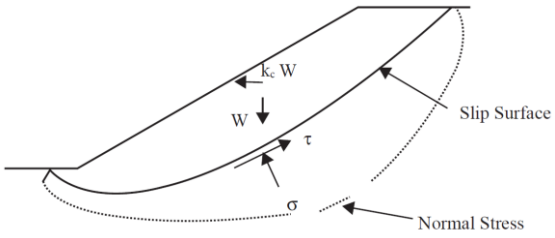
# Introduction and theoretical background

## Seismic slope stability analysis

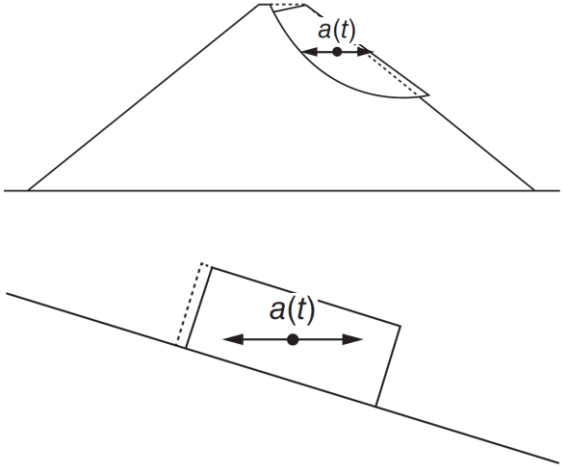
Pseudo-static analysis

Newmark's sliding block method for permanent displacements

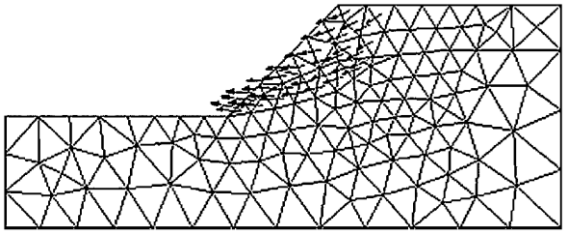
Stress-strain analysis via numerical methods (eg., FEM, FDM, …)




(Duncan et al., 2014)



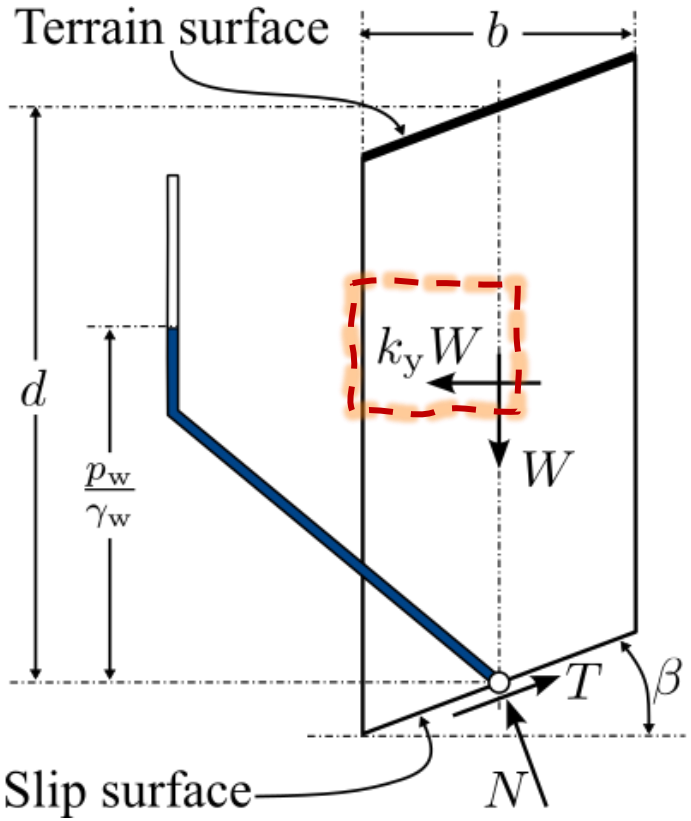

(Chowdhury et al., 2010)



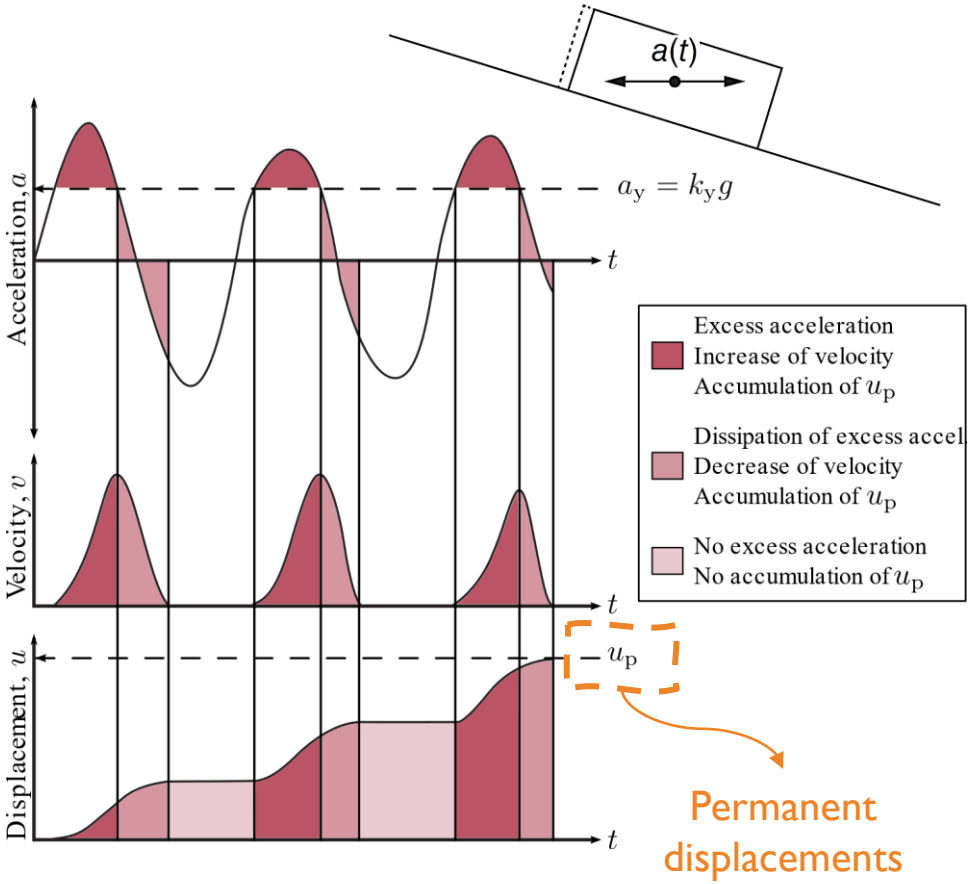
(Cheng & Lau, 2014)

# Introduction and theoretical background

## Pseudo-estatic analysis




## Newmark's sliding block method



# CONTENIDO

1. Application software development
2. Hypothetical study case
3. Conclusions

# Application software development: pyNemarkDisp

**Problem statement:** there are no efficient computational tools to date to carry out the rigorous Newmark's sliding block method spatially

```
/
├── docs
│   (documentation files)
│   ⋮
├── examples
│   ├── example_01.py
│   ├── example_02.py
│   ⋮
├── pynewmarkdisp
│   ├── infslope.py → factor_of_safety(...)
│   │                 min_fs_and_depth(...)
│   │                 get_ky(...)
│   ├── newmark.py → trapz(...)
│   │                classical_newmark(...)
│   │                plot_newmark_str(...)
│   └── spatial.py → map_zones(...)
│                    spatial_newmark(...)
│                    verify_spatial(...)
│                    plot_spatial_field(...)
├── LICENSE
├── README.rst
│   (package files)
│   ⋮
```

Numpy's array operation

Numba-compiled algorithms

**Code optimization**
**(>50% faster for large rasters)**

Static and pseudo−static $f_s$ calcultion

Newmak's sliding block method for $u_p$ calcultion

Spatial processing → graphical outputs, mapping, …

**Modular structure – Functional paradigm**

# pyNemarkDisp: Input data

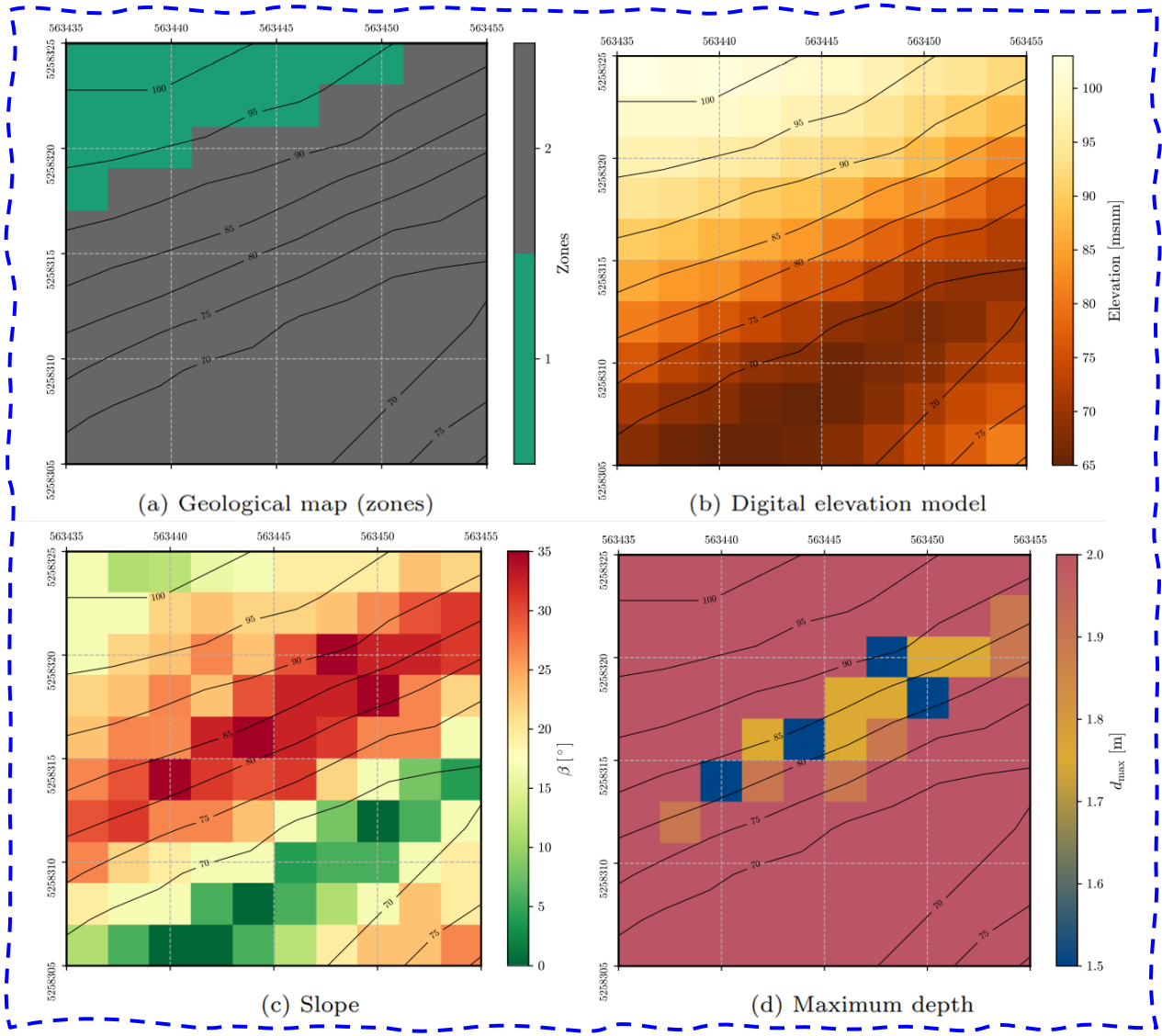
## Spatial inputs

(3 to 4 raster files)

- Geological-Geotechnical zones
- Slope
- Maximum depth
- DEM (optional)

## Non-spatial inputs

- Geotechnical parameters ($\gamma$, $c - \phi$, $S_u$)
- Earthquake record (accel-time history)



# pyNemarkDisp: Output data

## Spatial outputs

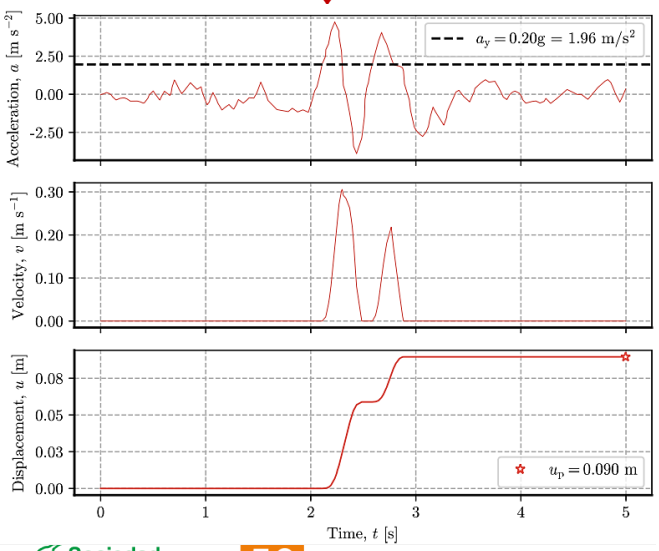
- Static and pseudo-static factor of safety
- Cirical seismic coefficient
- Permanent displacements

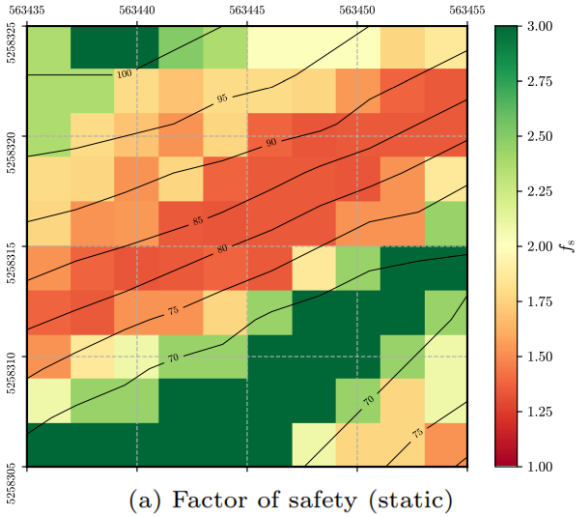
→

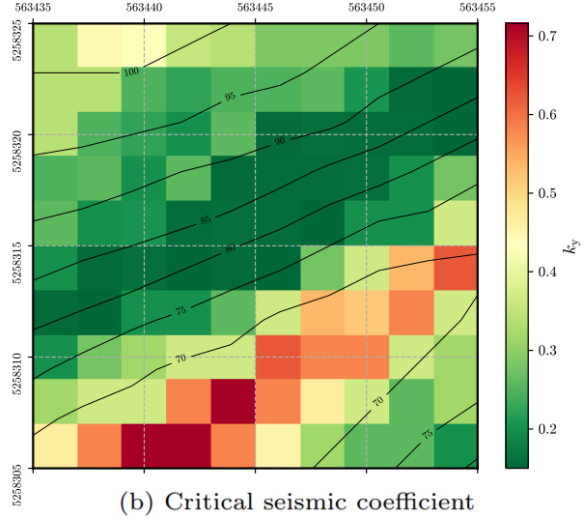
## Non-spatial outputs

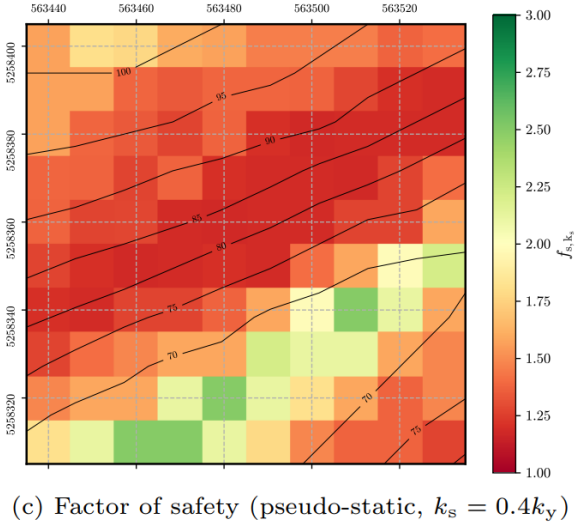
Verification of Newmark's sliding method over a specific cell

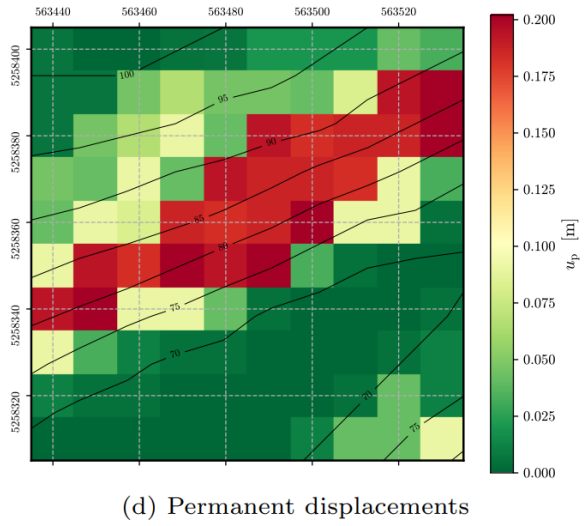
↓



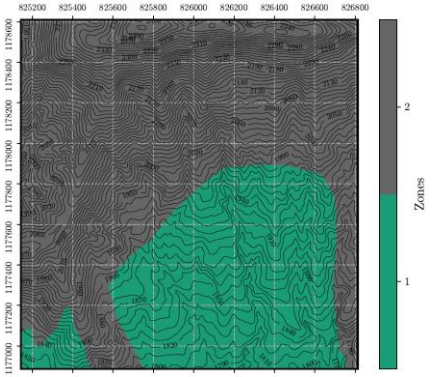



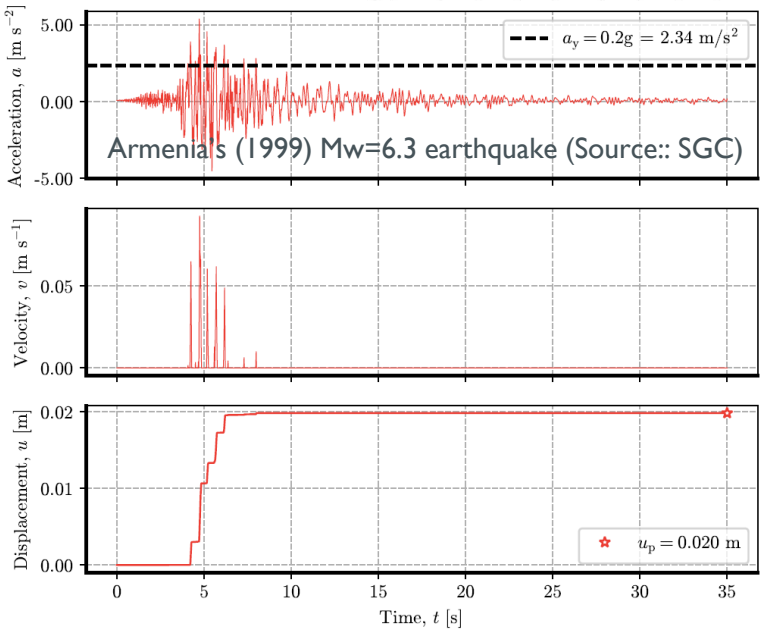



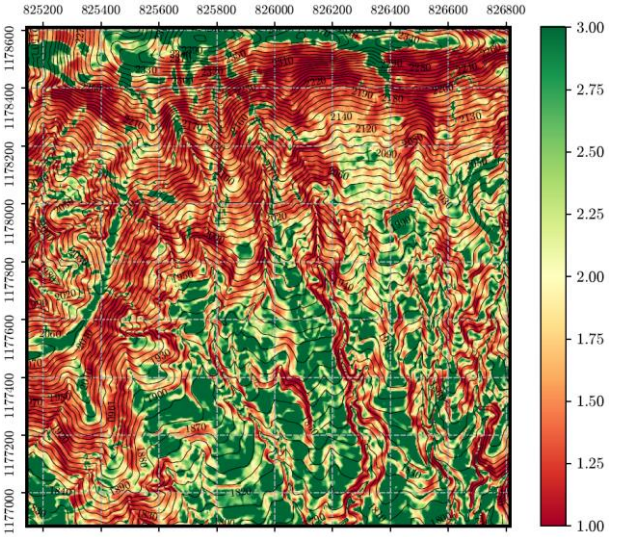



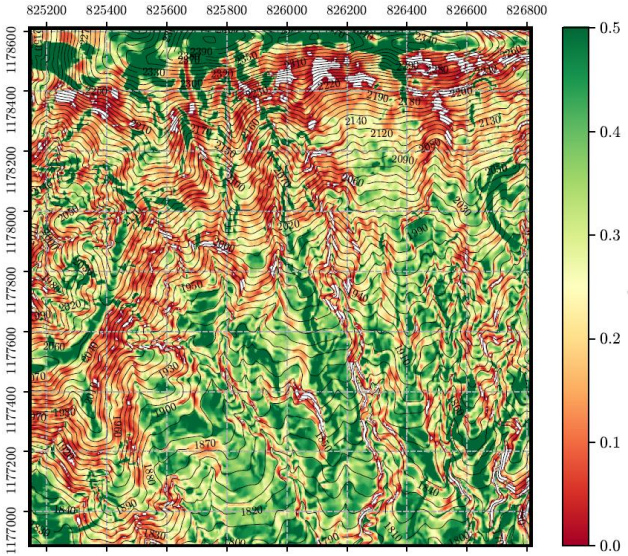
# Hypothetical study case

Location: San Antonio de Prado, Medellín, Colombia



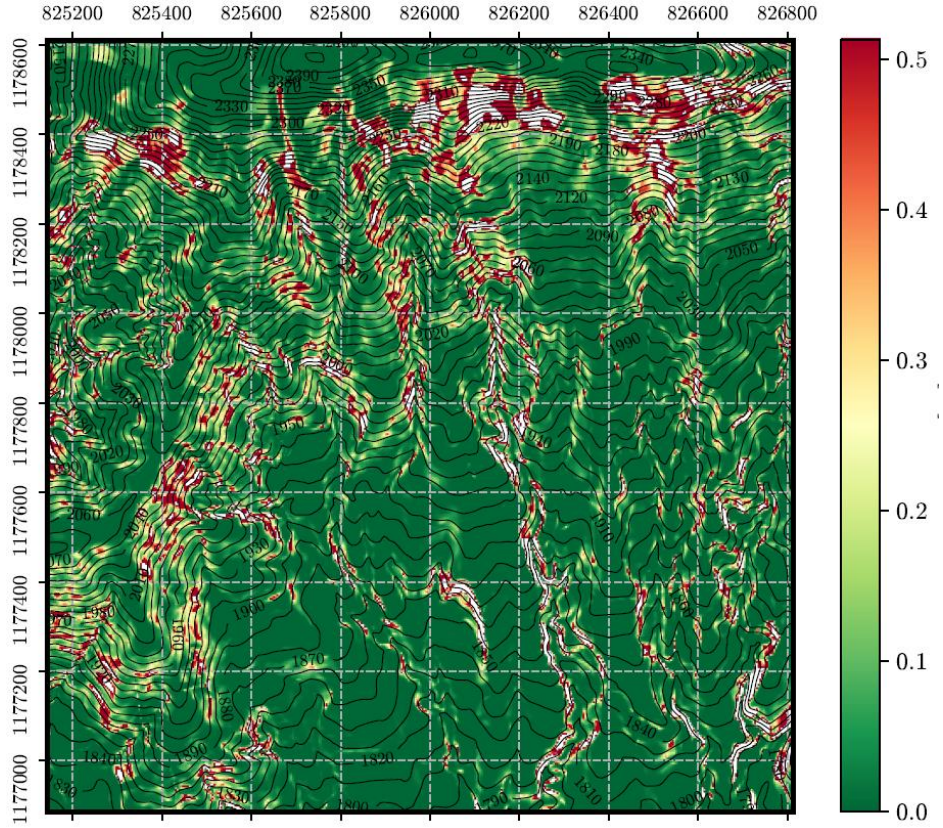



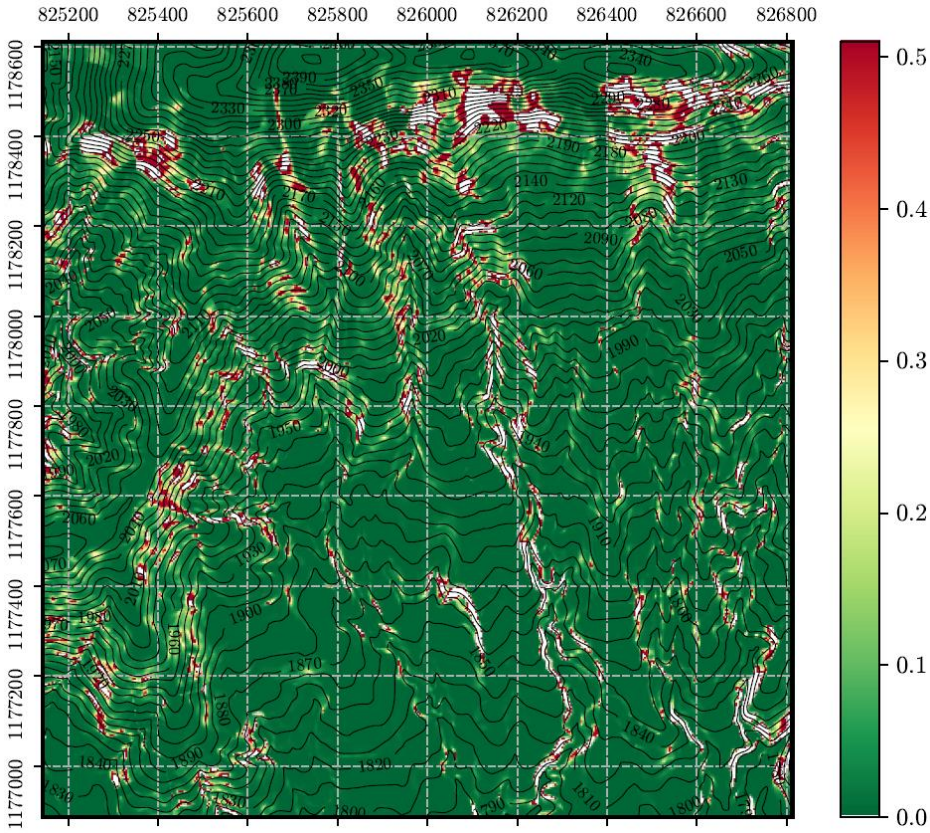

11th Gen i7-11800H @2.3 Ghz – 32 Gb RAM – WSL2(Win11) – SSD
35 s and Δt =0.005 s record – 719 770 cells (2.0 m) – 2.3 km² area → ~ 80 min

# Hypothetical study case

$u_p$ - Rigorous Newmark integration




$u_p$ - Jibson (2007) empirical correlation




Potenciales zonas subestimadas en su zonificación de amenaza sísmica de deslizamiento basada en desplazamientos permanentes

# Conclusions

`pyNewmarkDisp` was developed for spatial prediction of $u_p$ based on the rigorous Newmark's sliding block method.

It is being released and will be available as an open-source program.

The code has been optimized to improve its performance.

The application software has the potential to be used in:

- Seismic landslides hazard zonation based on $u_p$ criteria.
- Studies on the effects of spatial variability and heterogeneity of geological zones on the $u_p$ calculation.
- Particular analysis in seismic microzontation studies.
- Sensitivity analysis in landslide-susceptible zones.
- Pedagogical purposes

What is next? Geometric compatibility among neighbors cells.

XVII CCG
I SSAG 2022
Cartagena

SCG

50 años
1971-2021

# ¡GRACIAS!

**¿Preguntas?**

Exneyder A. Montoya-Araque, Silvana Montoya-Noguera, Fernando López-caballero
eamontoyaa@eafit.edu.co

XVII CONGRESO COLOMBIANO DE GEOTÉCNIA "EVALUACIÓN Y GESTIÓN DE RIESGOS GEOTÉCNICOS CON ÉNFASIS EN LOS EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO"

14 al 18 de Noviembre de 2022

XVII CCG
I SSAG 2022
Cartagena

# EVALUACIÓN DEL RIESGO FÍSICO POR MOVIMIENTOS EN MASA EN EL CASCO URBANO DEL MUNICIPIO DE VILLARRICA – TOLIMA ESCALA 1:2.000

**LEONARDO MÉNDEZ BARÓN**

**Servicio Geológico Colombiano**
**Dirección de Geoamenazas – Grupo de Evaluación de Amenaza por Movimientos en Masa**

Sociedad Colombiana de Geotecnia

50 años
1971-2021

# CONTENIDO

- 1. LOCALIZACIÓN
- 2. METODOLOGÍA DE AMENAZA DETALLADA POR MOVIMIENTOS EN MASA
- 3. FACTORES CONDICIONANTES

  -Geología; Geomorfología; Inventario de procesos morfodinámicos; Cobertura de la tierra y uso del suelo;
- 4. GEOLOGIA PARA INGENIERÍA

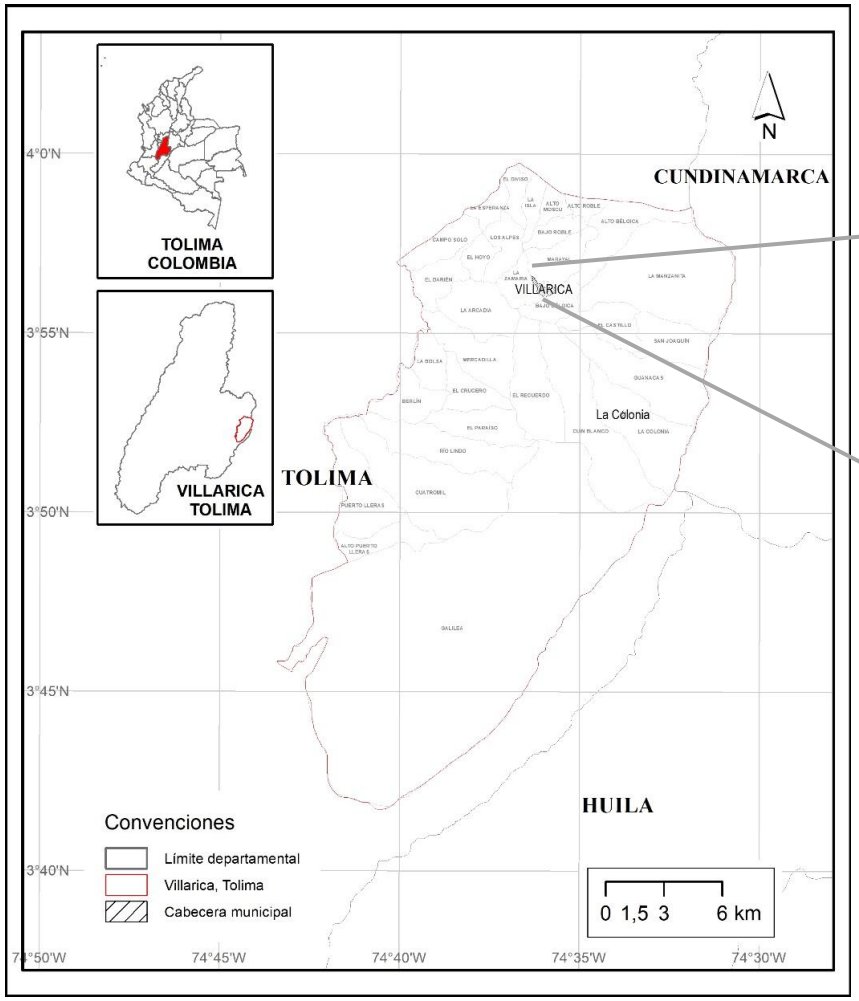
  -Exploración geotécnica; Caracterización geotécnica
- 5. MODELACIÓN

  -Secciones de análisis; Métodos de análisis
- 6. ZONIFICACIÓN DE AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA
- 7. CARACTERIZACIÓN DE LA AMENAZA

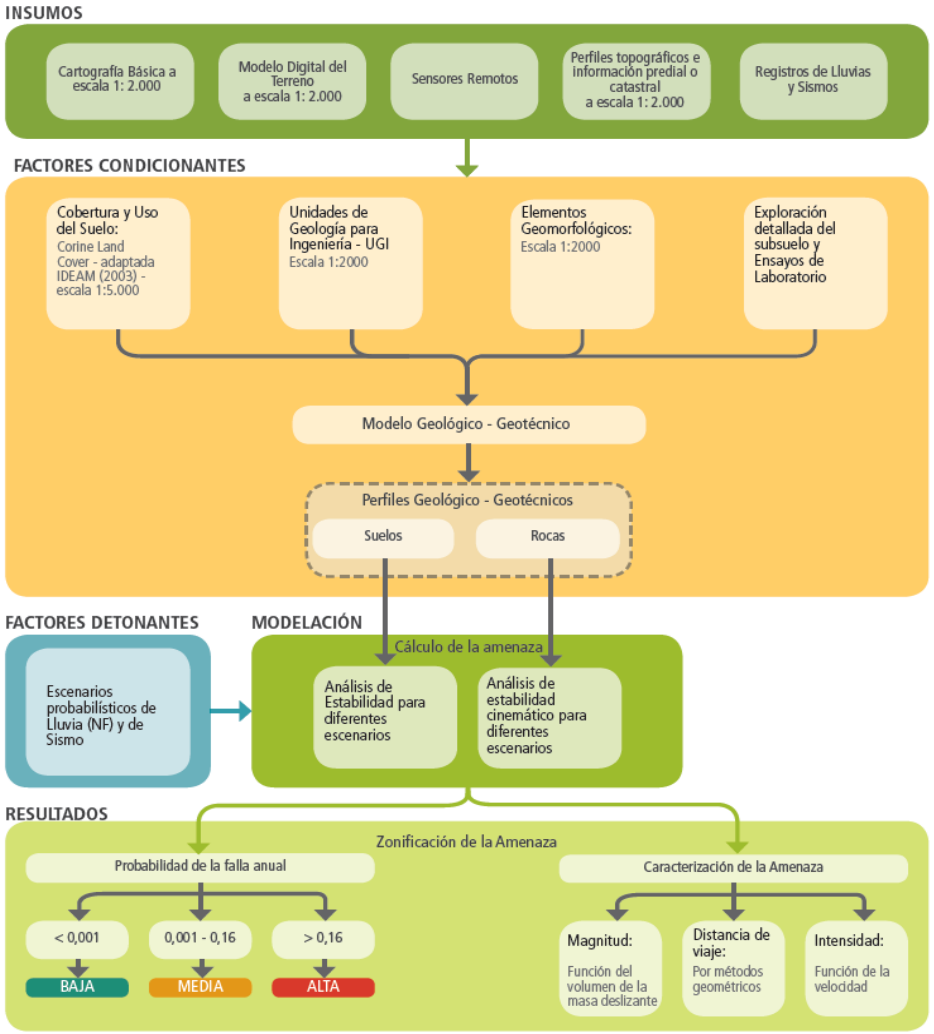
  -Magnitud; Distancia de viaje; Intensidad
- 8. ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD

  - Elementos expuestos; fragilidad; procesamiento
- 9. CÁLCULO Y EVALUACIÓN DEL RIESGO
- 10. ANTES Y DESPUES DE PROPUESTA DE INTERVENCIÓN

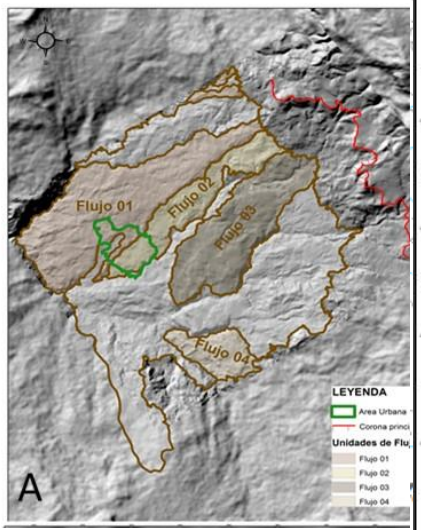
# 1. LOCALIZACIÓN

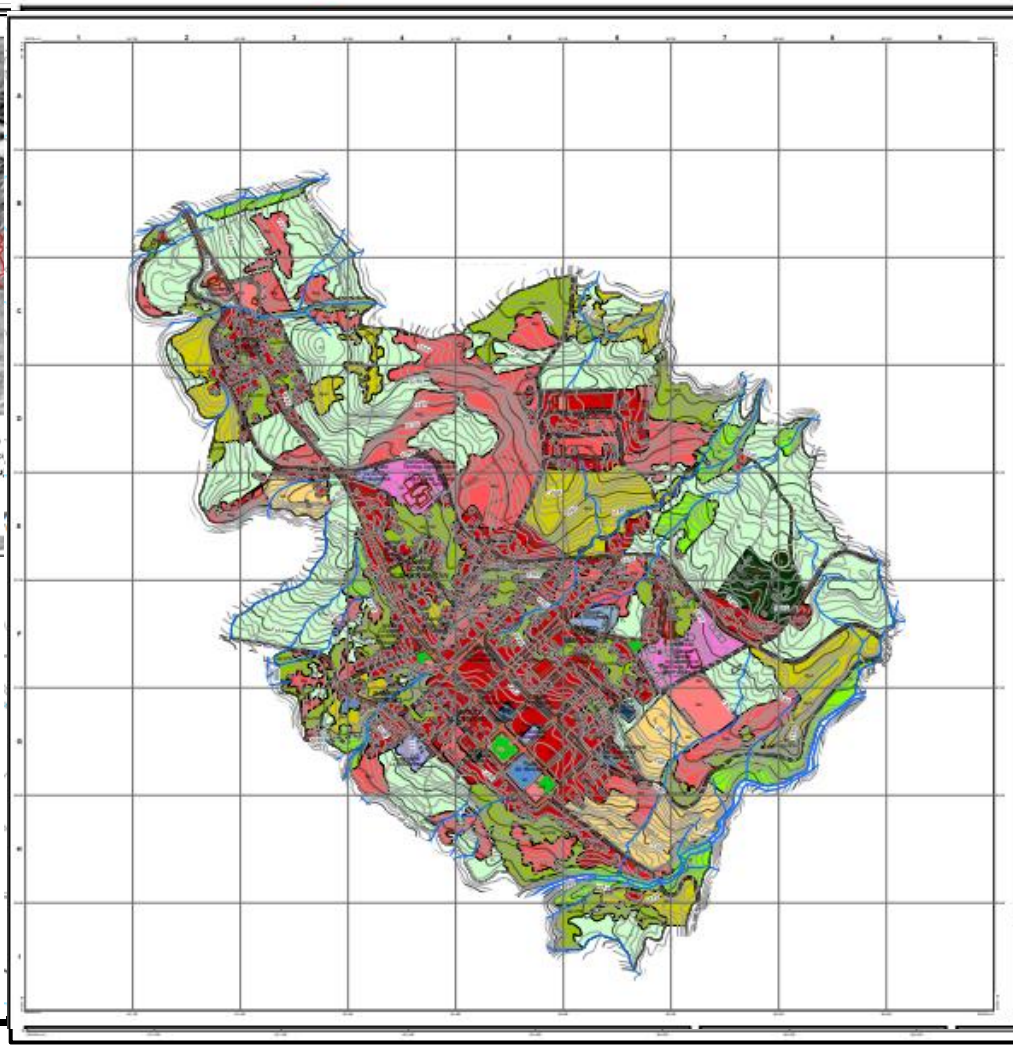


# 2. METODOLOGÍA DE AMENAZA DETALLADA

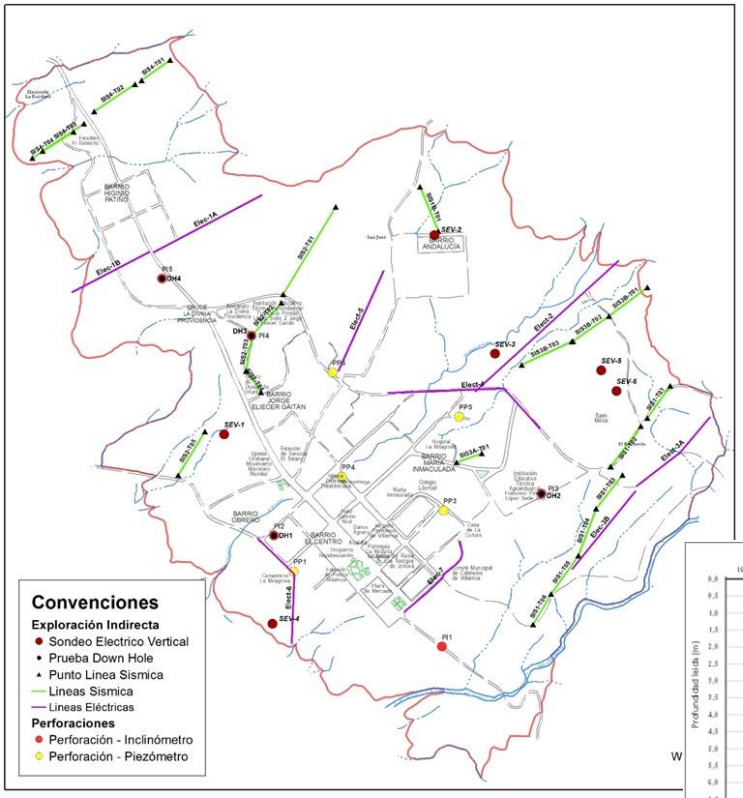


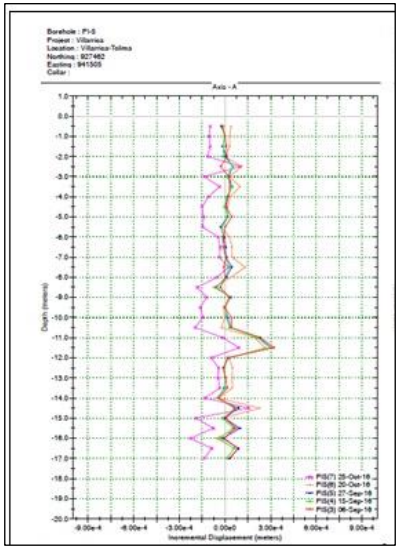
# 3. FACTORES CONDICIONANTES

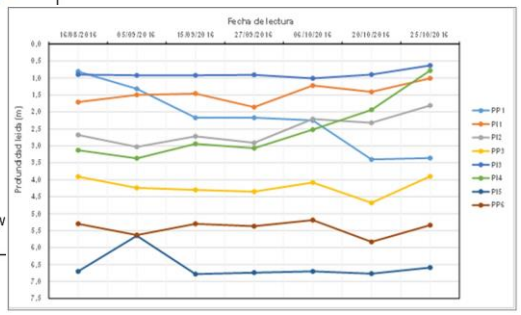


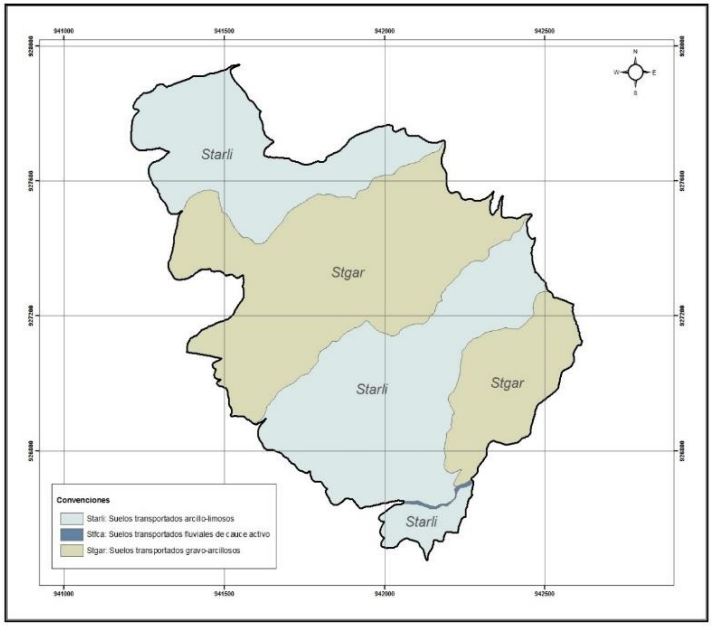


# 4. GEOLIGIA PARA INGENIERÍA

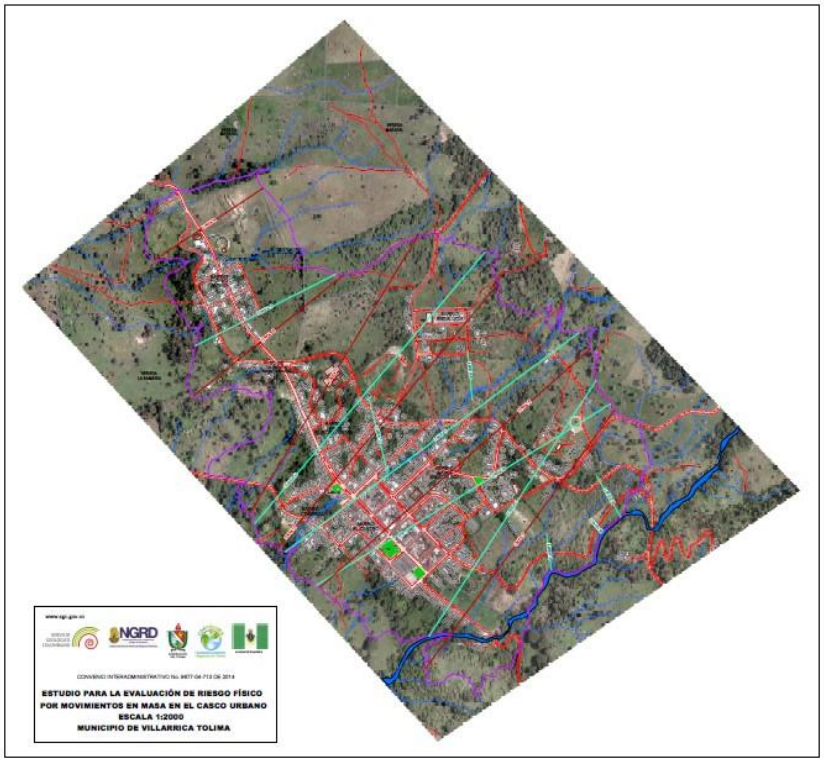


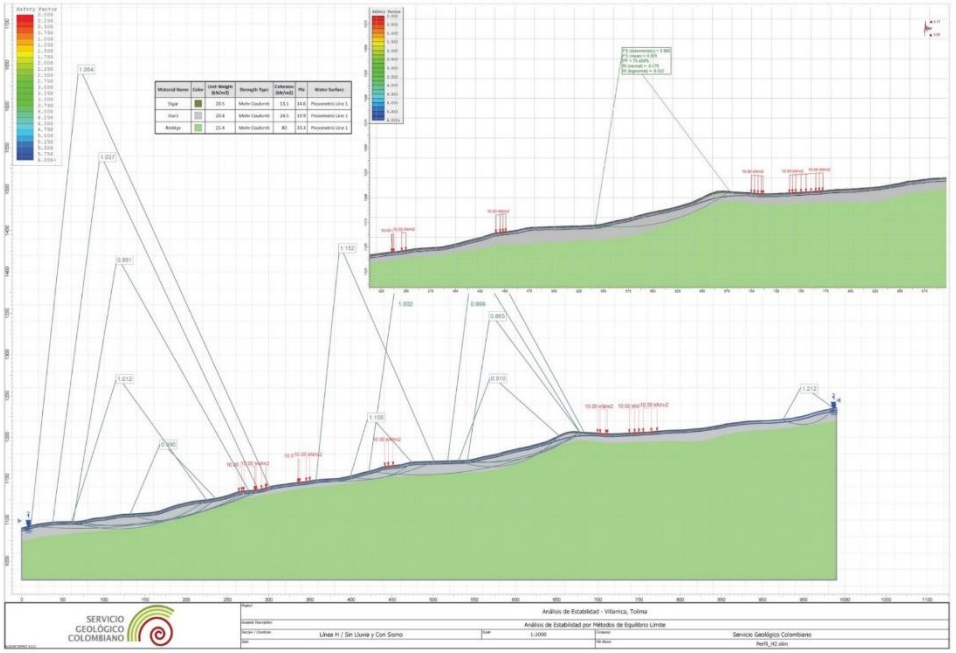





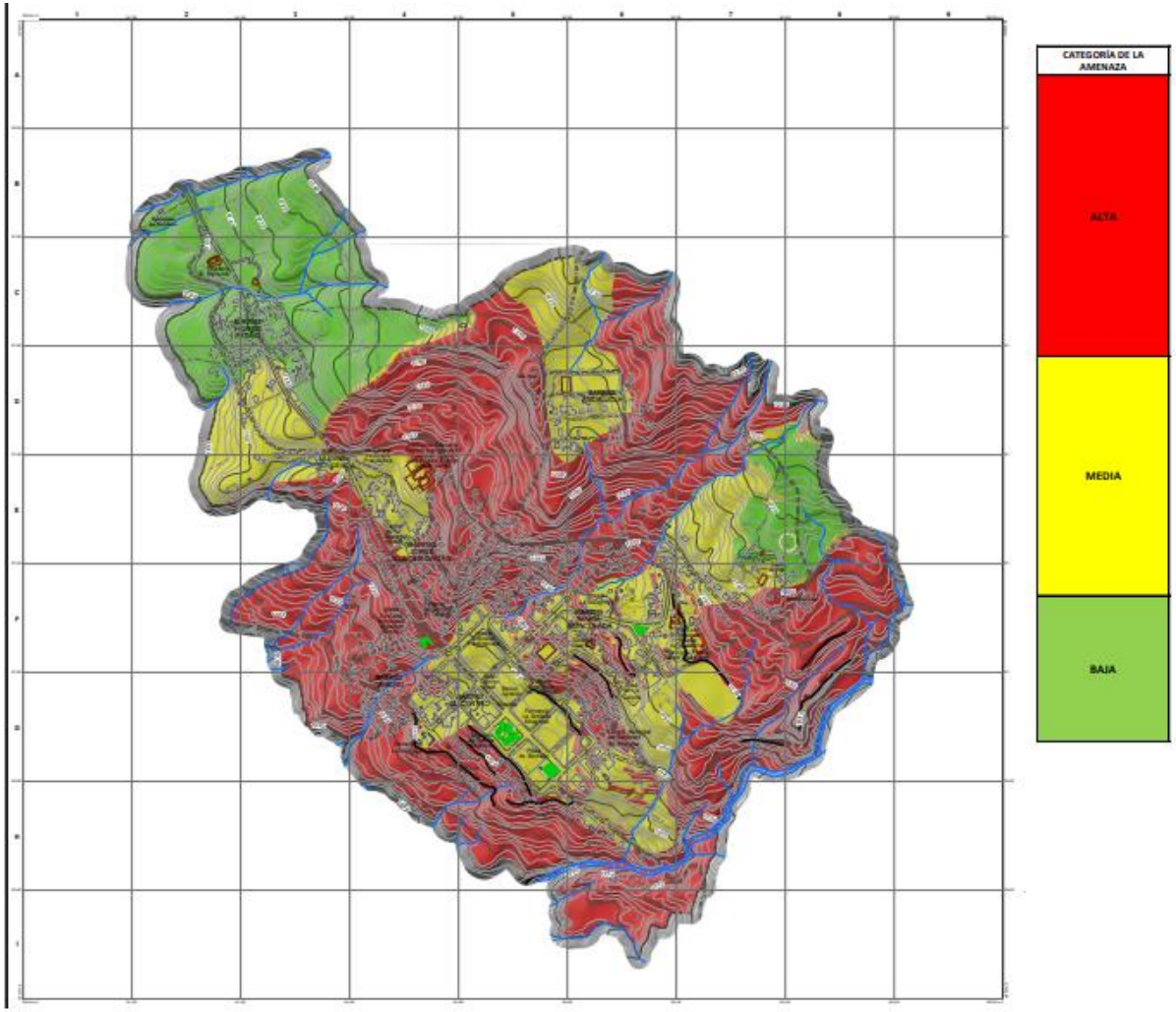



# 5. MODELACIÓN



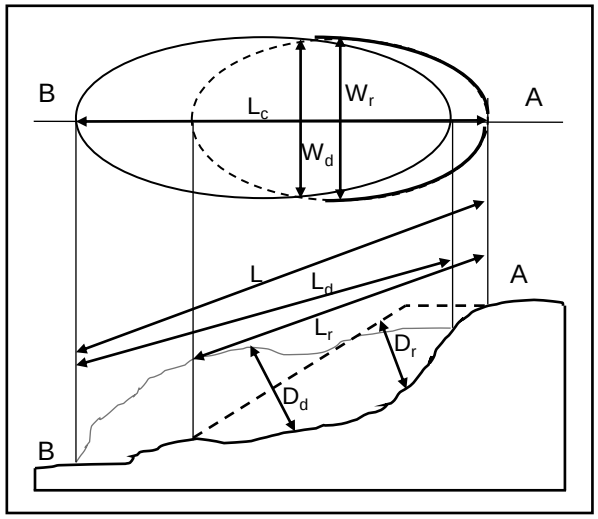



# 6. ZONIFICACIÓN DE AMENAZA POR M.M



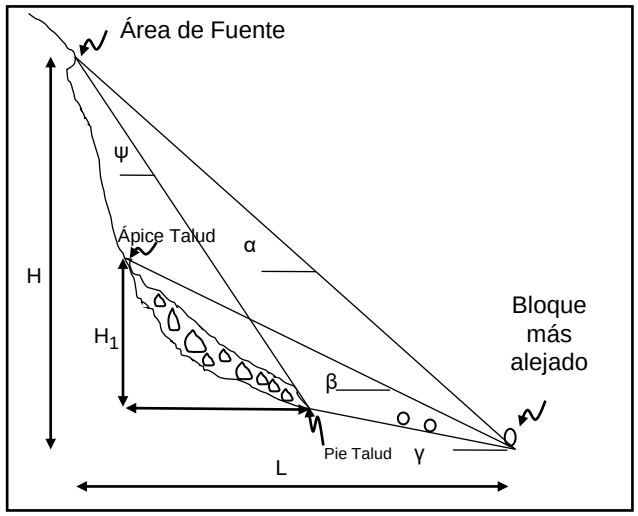
# 7. CARACTERIZACIÓN DE LA AMENAZA

## Magnitud



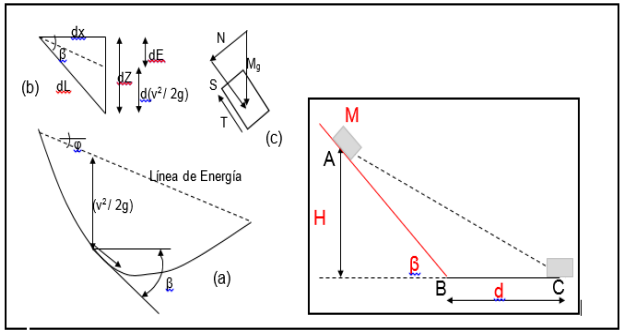

Función del volumen de la masa deslizante.

## Distancia de viaje



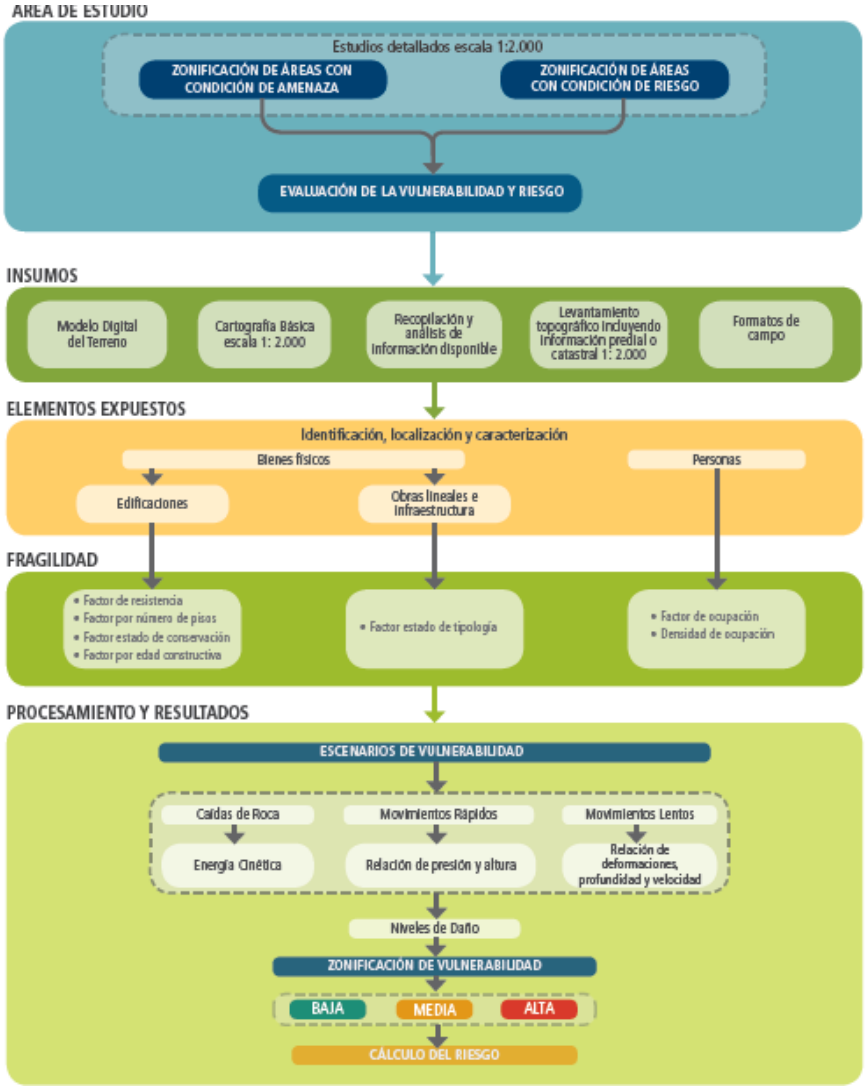

Por métodos Geométricos

## Intensidad



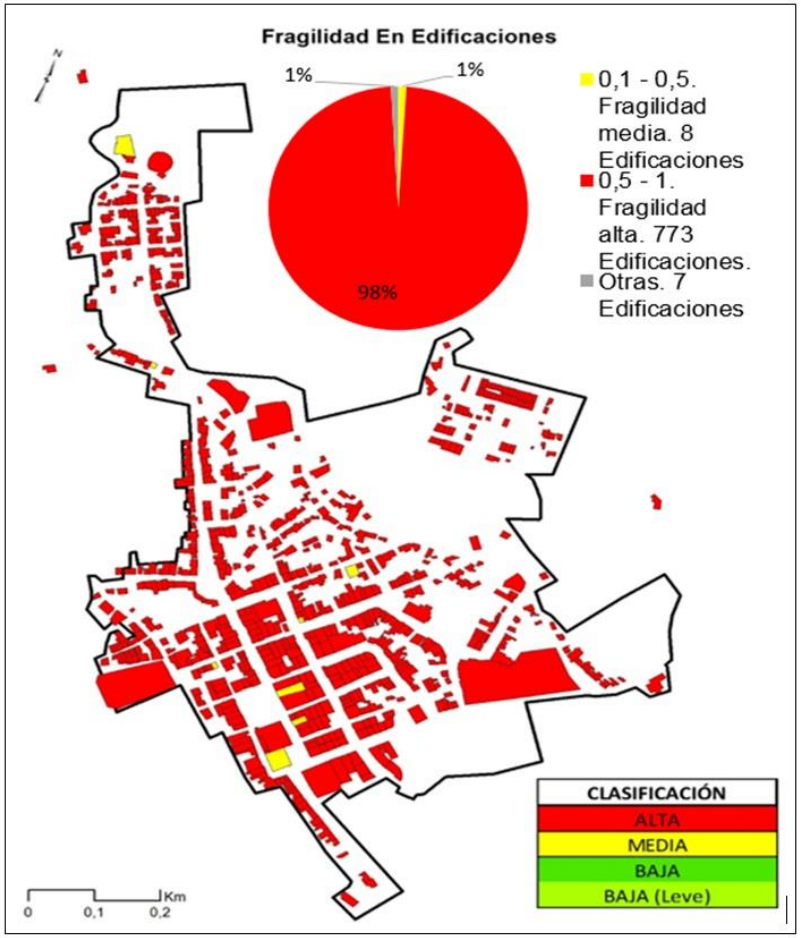

Función de la Amenaza

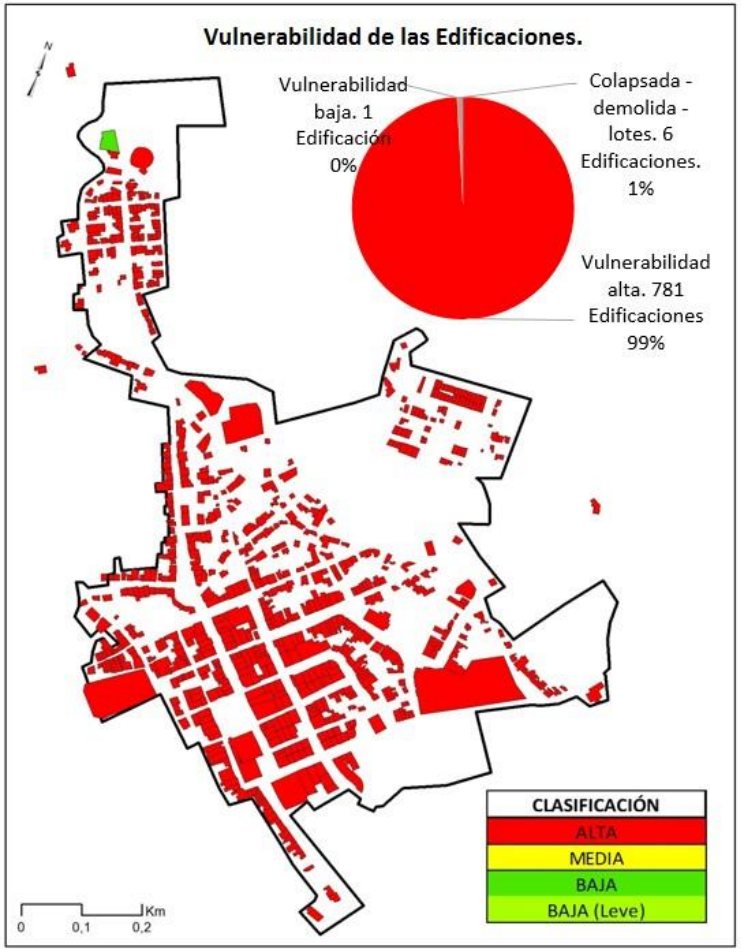
# 8. METODOLOGÍA ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD



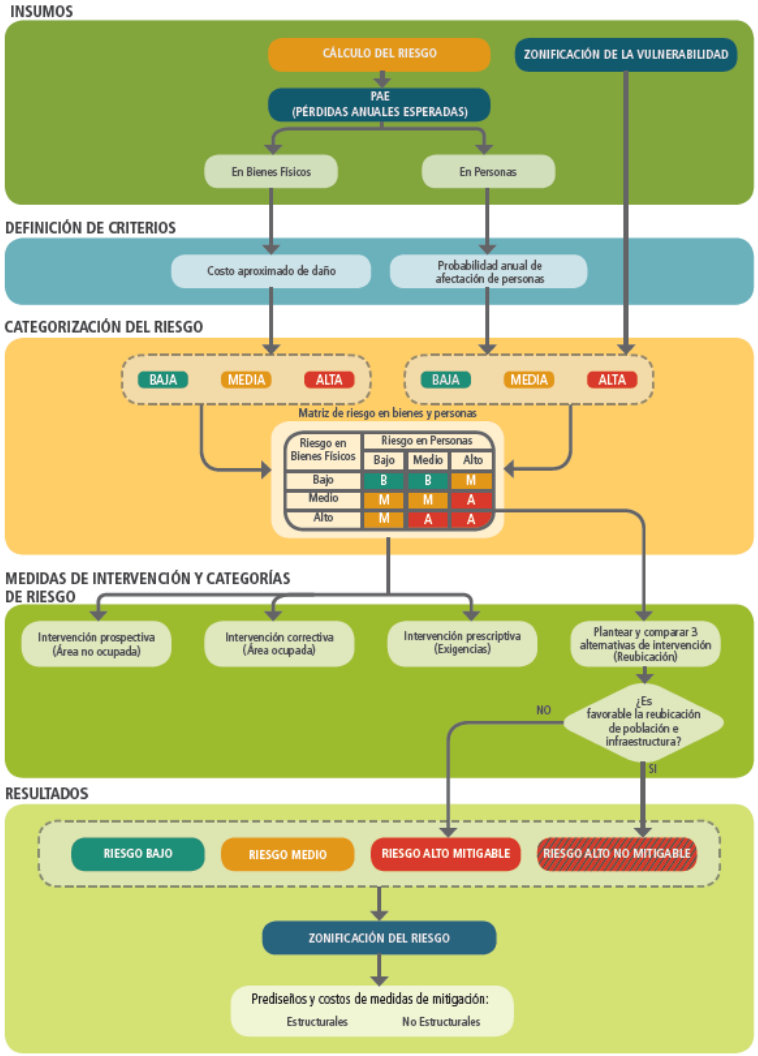
# 9. FRAGILIDAD DE ELEMENTOS EXPUESTOS

# 10. VULNERABILIDAD POR MOVIMIENTOS EN MASA

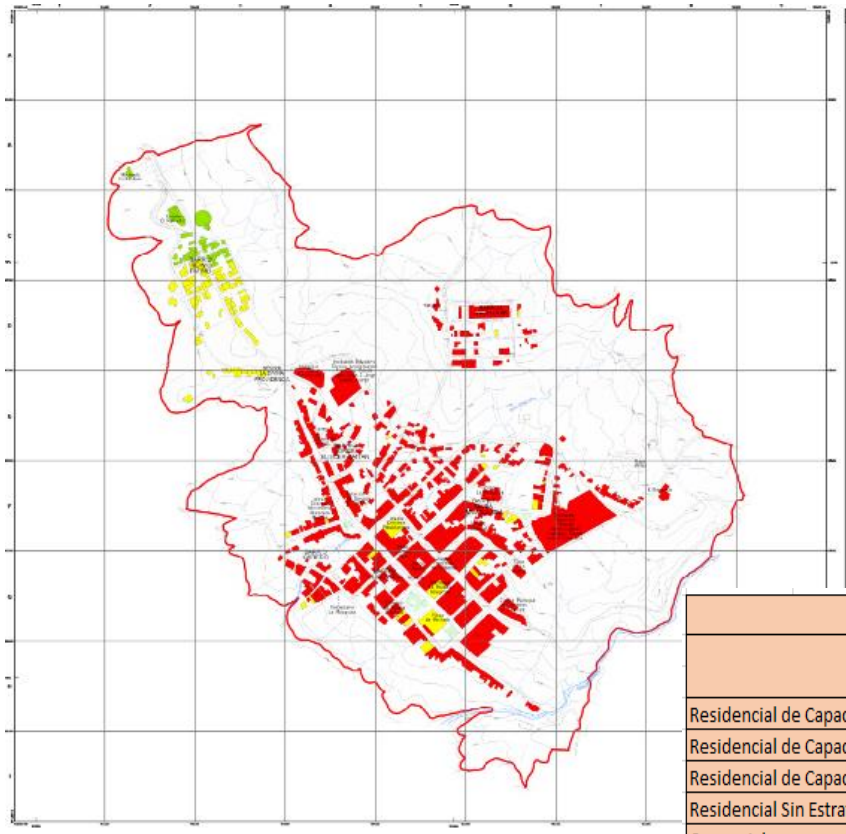


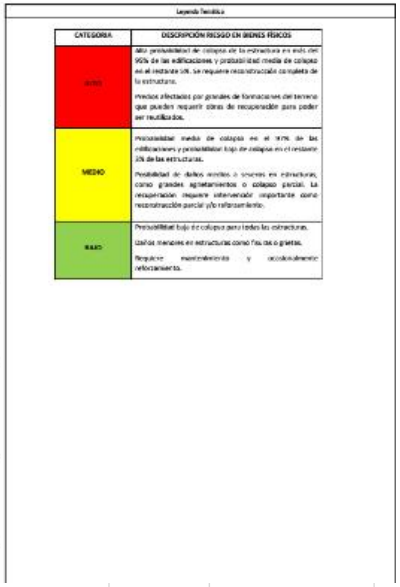



# 11. METODOLOGÍA EVALUACIÓN DEL RIESGO



# 12. CÁLCULO DEL RIESGO POR M.M



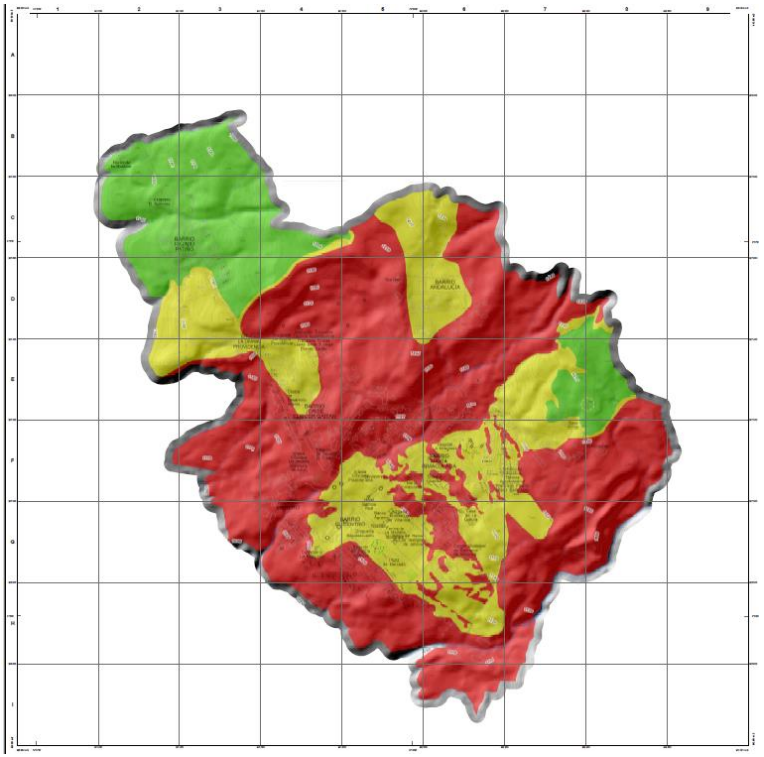


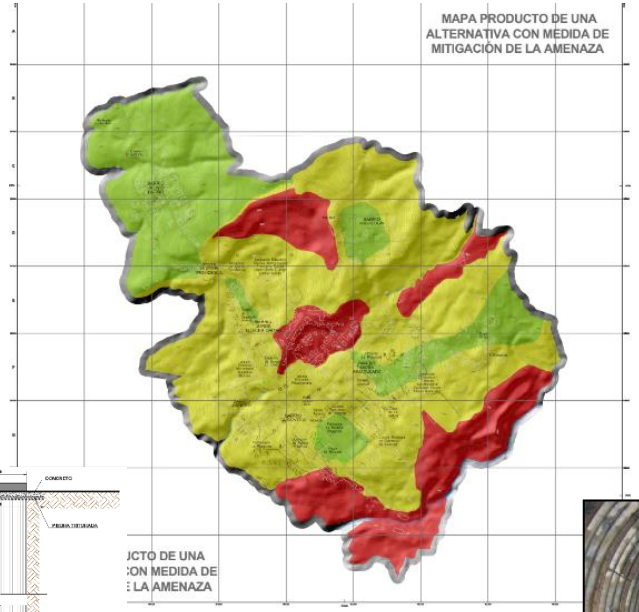

| VALORACION DE ELEMENTOS PARA EVALUACION DEL RIESGO | | | |
|---|---|---|---|
| USO | N° EDIFICACIONES | AREA CONSTRUIDA | VALOR CATASTRAL ACTUALIZADO |
| Residencial de Capacidad Economica Baja | 300 | 32.972,46 | $ 2.123.317.840,48 |
| Residencial de Capacidad Economica Media | 319 | 55.297,30 | $ 4.727.992.884,11 |
| Residencial de Capacidad Economica Alta | 2 | 291,29 | $ 43.821.615,28 |
| Residencial Sin Estrato | 82 | 8.602,47 | $ 776.867.817,23 |
| Comercial | 42 | 8.653,66 | $ 860.469.920,76 |
| Institucional | 13 | 4.622,23 | $ 335.019.207,40 |
| Salud ( Publica o Privada) | 2 | 1.588,80 | $ 807.409,00 |
| Educación ( Publica o Privada) | 3 | 6.891,50 | $ 8.456.576,09 |
| Gubernamentales | 7 | 2.226,00 | $ 12.888.523,31 |
| Otros | 18 | 6.324,56 | $ 129.085.400,31 |
| **TOTALES** | **788** | **127.470,27** | **$ 9.018.727.193,97** |

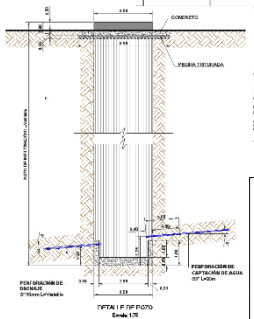


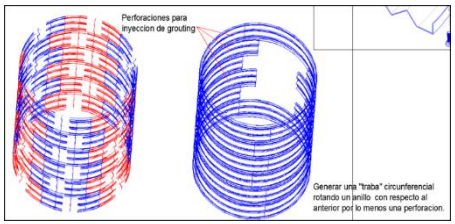
ZONIFICACIÓN DE AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA DEL ÁREA URBANA Y CENTROS POBLADOS DEL MUNICIPIO DE MARMATO (CALDAS) A ESCALA 1:5.000.

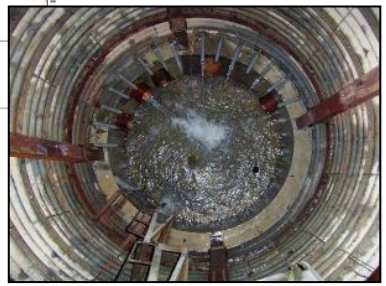
# 13. AMENAZA ANTES Y DESPUES DE INTERVENCIÓN







XVII CCG
I SSAG 2022
Cartagena

SCG

50 años
1971-2021

# ¡GRACIAS!

**¿Preguntas?**

lmendez@sgc.gov.co

**XVII CONGRESO COLOMBIANO DE GEOTÉCNIA "EVALUACIÓN Y GESTIÓN DE RIESGOS GEOTÉCNICOS CON ÉNFASIS EN LOS EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO"**

**14 al 18 de Noviembre de 2022**

XVII CCG
I SSAG 2022
Cartagena

# EVALUACIÓN DE UMBRALES CRÍTICOS DE PRECIPITACIÓN COMO PRINCIPAL DETONANTE DE LA AMENAZA POR PROCESOS DE REMOCIÓN EN MASA, EN EL VALLE DE ABURRÁ

**MARIA ALEJANDRA VALENCIA DIAZ**
**Gerente de Suelos y Suelos YM S.AS.**

**CARLOS ANDRÉS ORDOÑEZ ANTE**
**Docente asociado PCJIC**

**Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid**

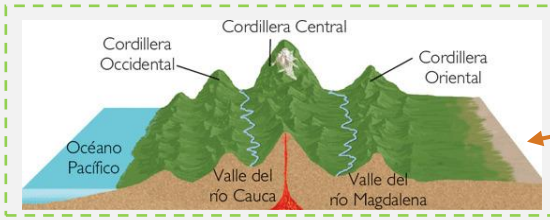
Sociedad Colombiana de Geotecnia

50 años
1971-2021

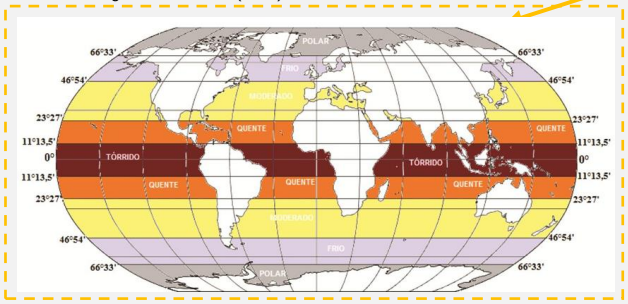
# CONTENIDO

1. Introducción
2. Generalidades
3. Metodología
4. Resultados
5. Conclusiones
6. Referencias

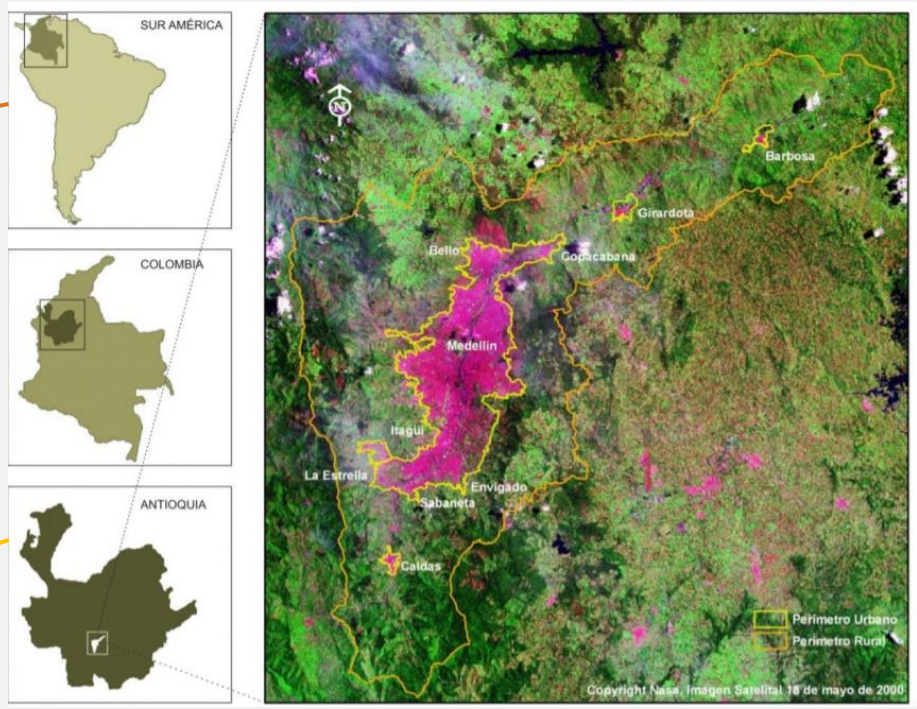
# INTRODUCCIÓN



Samudio, Dustin, Weigandt, Pablo, Toral B, Jaime, & Sotolongo-Costa, Oscar. (2015).



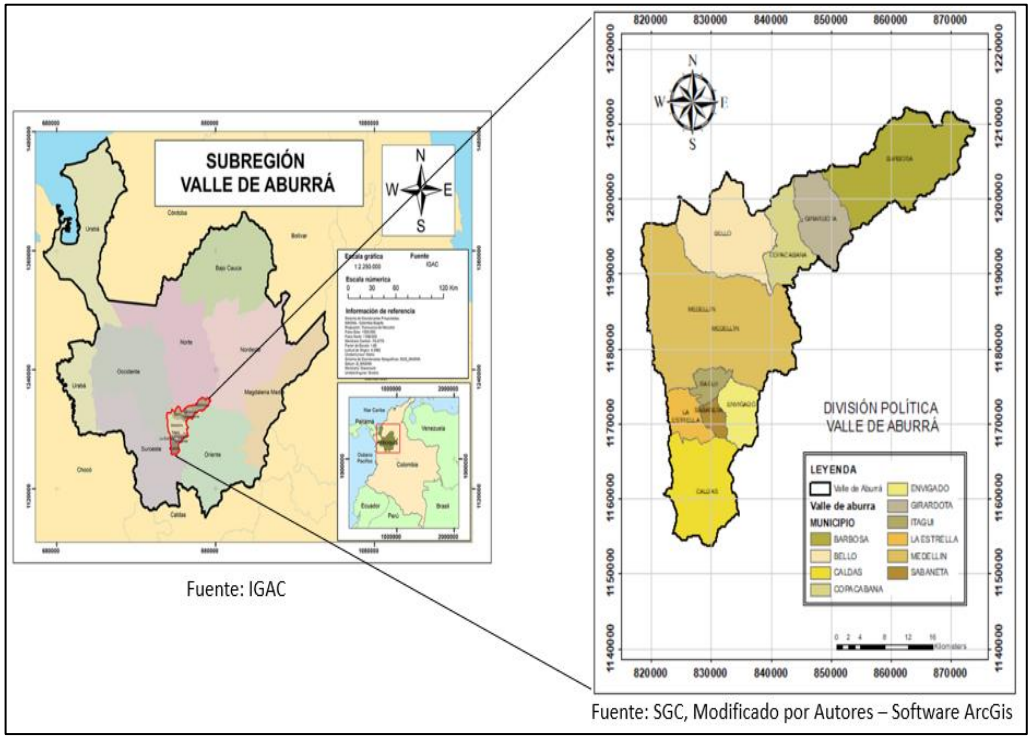

Tostes, G. (2017)




Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres – UNGRD y el sistema de inventarios de desastres - DESINVENTAR → 14.150 Movimientos en masa

# ÁREA DE ESTUDIO

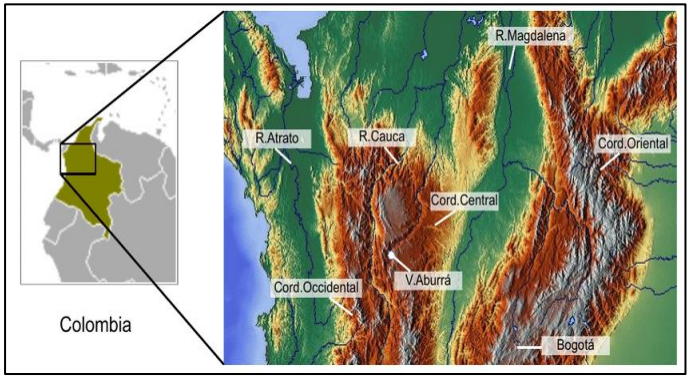
## Características Geográficas




Fuente: IGAC

Fuente: SGC, Modificado por Autores – Software ArcGis

## Topografía




Fuente: Jiménez

Fuente: Google Earth fecha: 2021

# ÁREA DE ESTUDIO

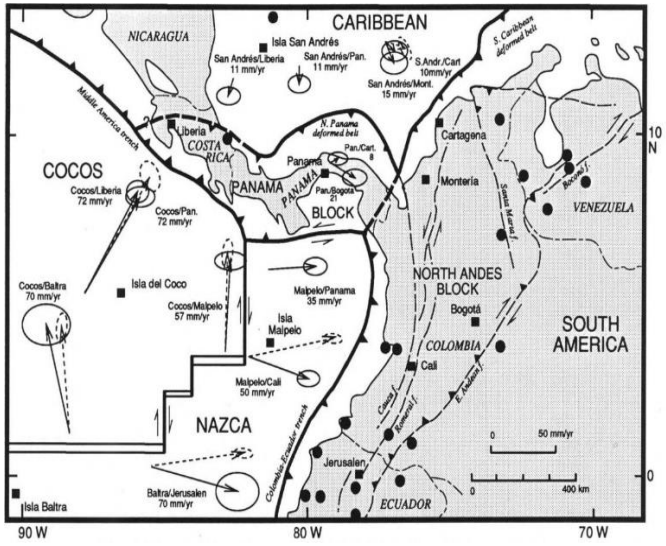
## Clima Valle de Aburrá

| | Copacabana | Barbosa | Girardota | Medellín | Bello |
|---|---|---|---|---|---|
| Precipitación (mm) Máxima | 347 | 212.8 | 417 | 268 | 347 |
| Precipitación (mm) Mínima | 147 | 43.3 | 120 | 112 | 147 |
| Mes más lluvioso | Abril | Octubre | Abril | Mayo | Abril |
| Mes menos lluvioso | Enero | Enero | Julio | Enero | Enero |

| | Sabaneta | Itagüí | La Estrella | Envigado | Caldas |
|---|---|---|---|---|---|
| Precipitación (mm) Máxima | 347 | 269 | 272 | 268 | 355 |
| Precipitación (mm) Mínima | 147 | 118 | 124 | 117 | 126 |
| Mes más lluvioso | Abril | Mayo | Mayo | Mayo | Mayo |
| Mes menos lluvioso | Enero | Enero | Enero | Enero | Enero |

Fuente: Cedar Lake Ventures, Inc. (25 de mayo de 2018)

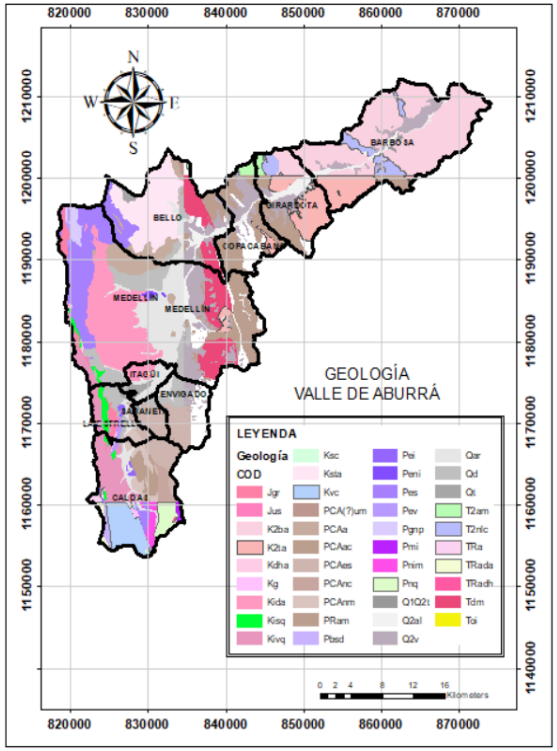
## Tectónica




Fuente: Kellogg, J. N., & Vega, V. (1995)

# ÁREA DE ESTUDIO

## Geología

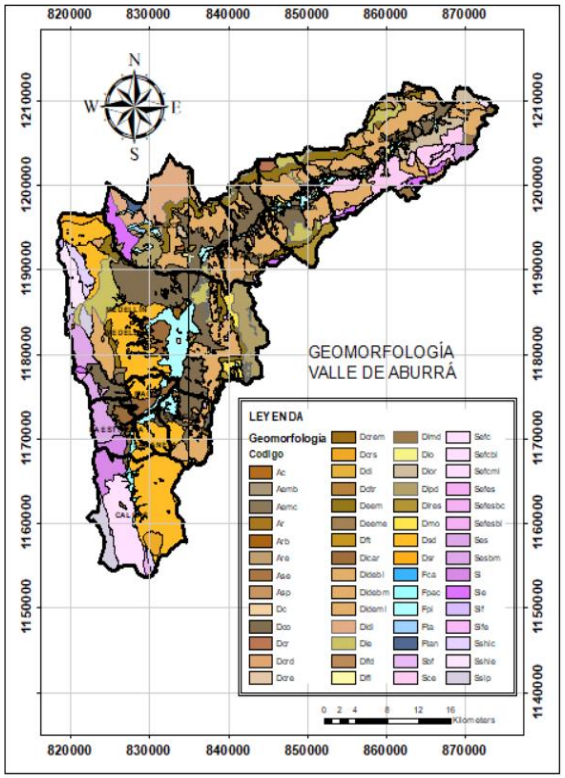



El valle de Aburrá está compuesto por tres tipos de afloramientos:

- Metamórficos del Paleozoico y del cretáceo: conformado por secuencias intercaladas de gneis y anfibolitas fuertemente meteorizados.
- Ígneos del cretáceo: conformado por dunitas de Medellín, stock de Altavista, stock San Diego, stock de las Estancias.
- Depósitos no consolidados: estos de depósitos son de origen aluvial, aluviotorrencial y flujo de escombros y lodos compuestos por arcillas, arenas, limos y gravas.

Fuente: Plancha 166-131-130-146-147 Servicio Geológico Colombiano, modificado por autores – Software ArcGIS.

## Geomorfología



# METODOLOGÍA

**Etapa I: construcción de un registro histórico de las precipitaciones máximas a través de las bases de datos en los últimos 50 años de las estaciones pluviométricas existentes tanto activas como inactivas instaladas por el IDEAM y EPM en el Valle de Aburrá, con el fin de conocer el ciclo hidroclimatológico de la zona de estudio.**

ACTIVIDADES

- Recolección de datos históricos de las precipitaciones máximas.
- Depuración de los datos.
- Organización de los datos recolectados.

***Base de datos condensada***

**Etapa II: Elaboración de la base de datos de los movimientos en masa en el Valle de Aburrá, mediante fuentes como SIMMA del servicio geológico colombiano para compararlos temporalmente y localmente con los eventos máximos de precipitación.**

ACTIVIDADES

- Recolección de datos históricos de los movimientos en masa ocurridos en el Valle de Aburrá.
- Organización de los datos recolectados.
- Depuración de los datos.

***Base de datos condensada***

# METODOLOGÍA

**Etapa III: Definición de los umbrales críticos de precipitación mediante el análisis de los registros históricos recopilados, encontrando así el nivel máximo de precipitación como factor detonante de los movimientos en masa.**

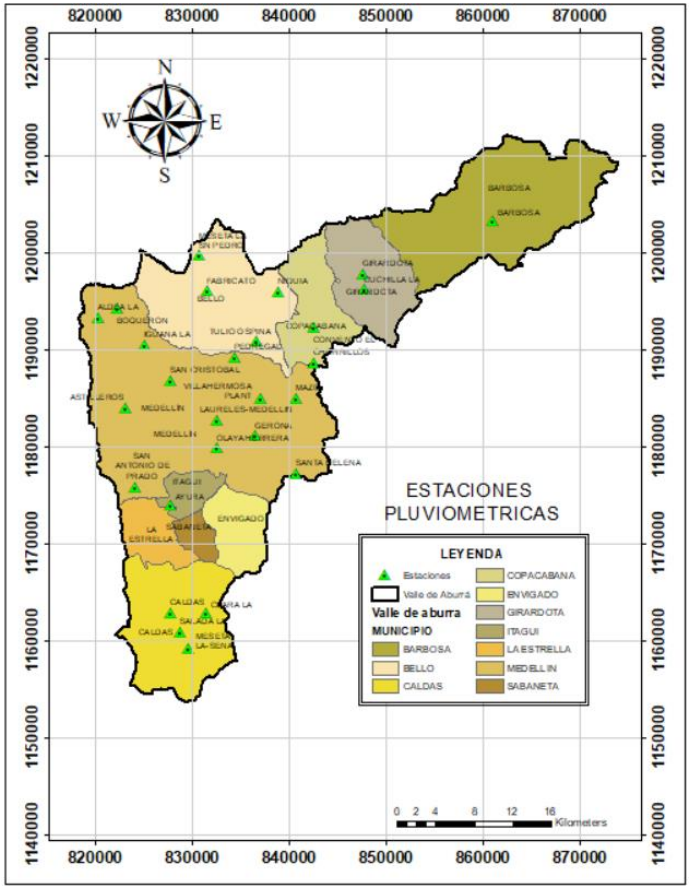
ACTIVIDADES

- Georreferenciación los datos recopilados de movimientos en masa y precipitaciones.
- Zonificación de la amenaza por movimientos en masa asociando las precipitaciones máximas históricas.
- Definición de los umbrales críticos de precipitación.

***Umbrales críticos de precipitación***

# ANÁLISIS Y RESULTADOS

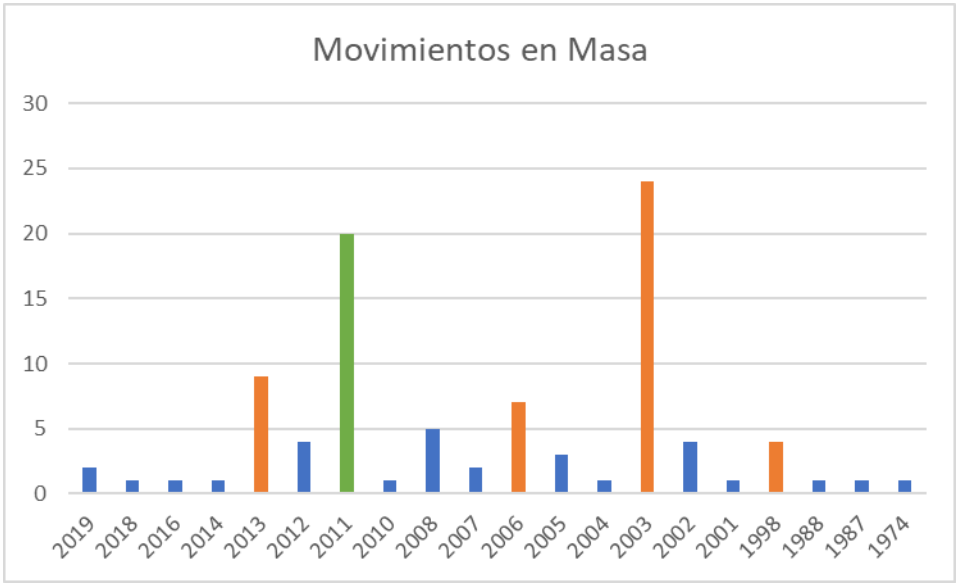
## Registro histórico de precipitaciones



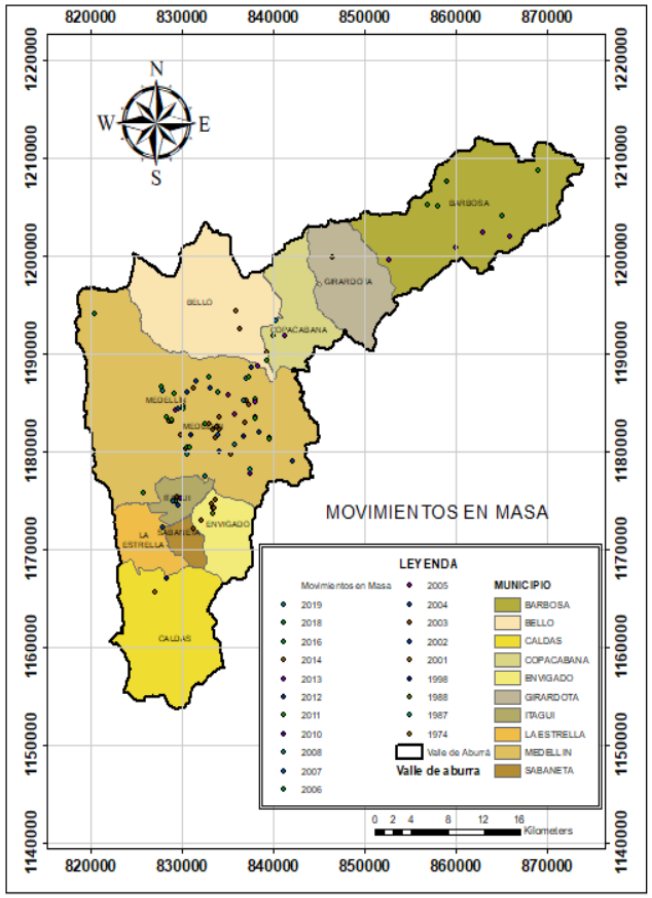

| CÓDIGO | NOMBRE | LATITUD | LONGITUD | PERIODO DE DATOS | DATOS FALTANTES (%) |
|---|---|---|---|---|---|
| 27015170 | MEDELLÍN | 6.68333 | -75.58333 | 2001 – 2021 | 0% |
| 27010930 | AYURÁ | 6.16667 | -75.63333 | 2001 – 2021 | 0% |
| 27010380 | SAN ANTONIO DE PRADO | 6.18333 | -75.66667 | 2001 – 2021 | 0% |
| 27010340 | MAZO | 6.26667 | -75.51667 | 2001 – 2021 | 0% |
| 27010450 | VILLAHERMOSA | 6.26667 | -75.55000 | 2001 – 2021 | 0% |
| 27010460 | SAN CRISTÓBAL | 6.28333 | -75.63333 | 2001 – 2021 | 0% |
| 27010350 | CHORRILLOS | 6.30000 | -75.50000 | 2001 – 2021 | 0% |
| 27010360 | CALDAS | 6.06667 | -75.63333 | 2001 – 2021 | 0% |
| 27011220 | CONVENTO EL | 6.33333 | -75.50000 | 2001 – 2021 | 0% |
| 27010370 | FABRICATO | 6.36667 | -75.60000 | 2001 – 2021 | 0% |
| 27010760 | NIQUIA | 6.36667 | -75.53333 | 2001 – 2021 | 0% |
| 27010570 | BARBOSA | 6.43333 | -75.33333 | 2001 – 2021 | 0% |
| 27015290 | PAJARITO | 6.28633 | -75.61279 | 2016 – 2020 | 33.4% |
| 27015310 | METRO MEDELLÍN | 6.32975 | -75.55211 | 2017 – 2021 | 59.8% |
| 27015260 | SALADA LA | 6.04836 | -75.62467 | 1984 – 2021 | 3.8% |
| 27015160 | CLARA LA | 6.06667 | -75.60000 | 1975 – 1977 | 13.79% |
| 27010810 | SANTA HELENA | 6.19689 | -75.51675 | 1970 – 2021 | 5.29% |
| 27011110 | ASTILLEROS | 6.25731 | -75.67586 | 1991 – 2021 | 1.10% |
| 27015270 | JARDÍN BOTÁNICO | 6.26692 | -75.56317 | 2006 - 2007 | 56.7% |
| 27011120 | IGUANA LA | 6.31628 | -75.65753 | 1990 – 2021 | 2.85% |
| 27015090 | TULIO OSPINA | 6.31969 | -75.55325 | 1972 – 2021 | 2.6% |
| 26205080 | ALDEA LA | 6.34106 | -75.70094 | 1990 – 2021 | 14.2% |
| 27010820 | CUCHILLA LA | 6.36833 | -75.45361 | 1970 – 2021 | 1.65% |
| 27010780 | BOQUERÓN | 6.35000 | -75.68333 | 1970 – 1990 | 10.77% |
| 27010800 | MESETA LA SN PEDRO | 6.39972 | -75.60722 | 1970 – 2021 | 4.84% |
| 27010790 | MESETA LA-SENA | 6.03333 | -75.61667 | 1970 – 1984 | 11.98% |
| 27015120 | PIEDRAS BLANCAS | 6.30000 | -75.50000 | 1970 – 1981 | 30.0% |
| 27011270 | LAURELES-MEDELLÍN | 6.24642 | -75.59106 | 2011 – 2021 | 4.43% |
| 27015330 | OLAYA HERRERA | 6.22000 | -75.59000 | 1971 – 2021 | 1.44% |
| 2701056 | GIRARDOTA | 6.38268 | -75.45414 | 2001 – 2021 | 0% |
| 2701481 | PEDREGAL | 6.30492 | -75.57449 | 2001 - 2021 | 0% |
| 2701485 | GERONA | 6.23161 | -75.55532 | 2001 - 2021 | 0% |

Fuente: IDEAM - EPM, Modificado por Autores.

# ANÁLISIS Y RESULTADOS

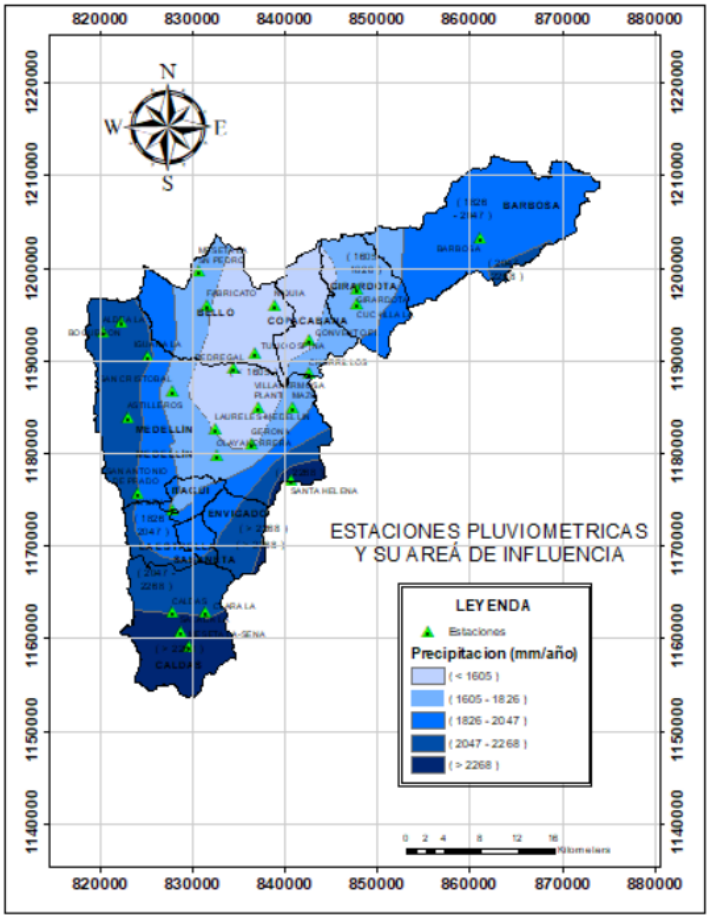



De acuerdo con los datos recopilados en el año 2003 se presenta la mayor cantidad de registros seguido de los años 2013, 2006, 1998 correspondiente con los periodos en los cuales se presentó el fenómeno del niño en Colombia y el año 2010 - 2011 con el fenómeno de la niña (UNGRD, 2016).

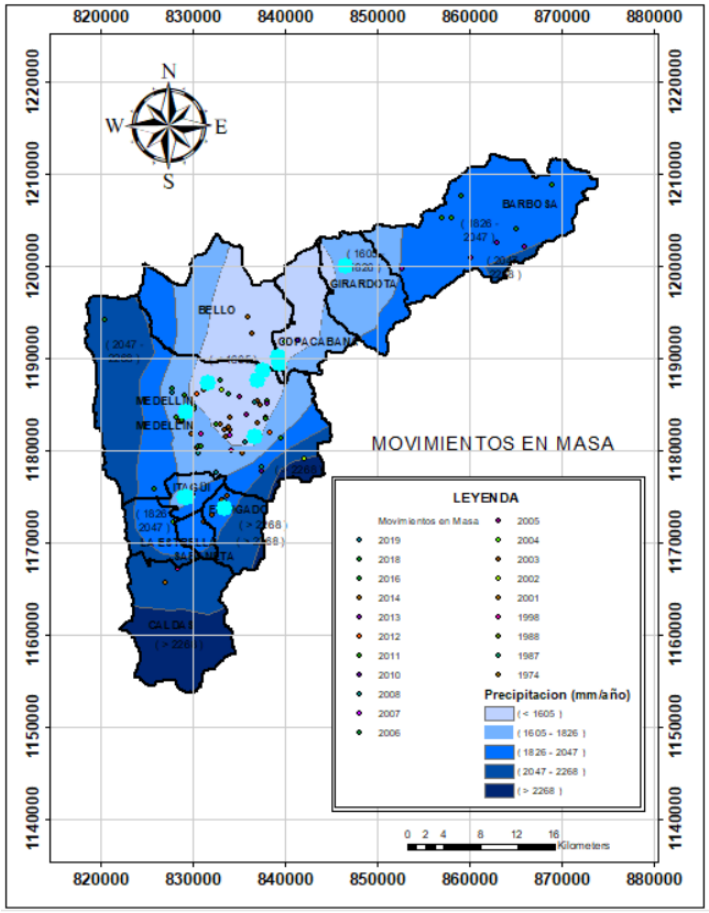


# ANÁLISIS Y RESULTADOS

**Área de influencia de las estaciones pluviométricas**



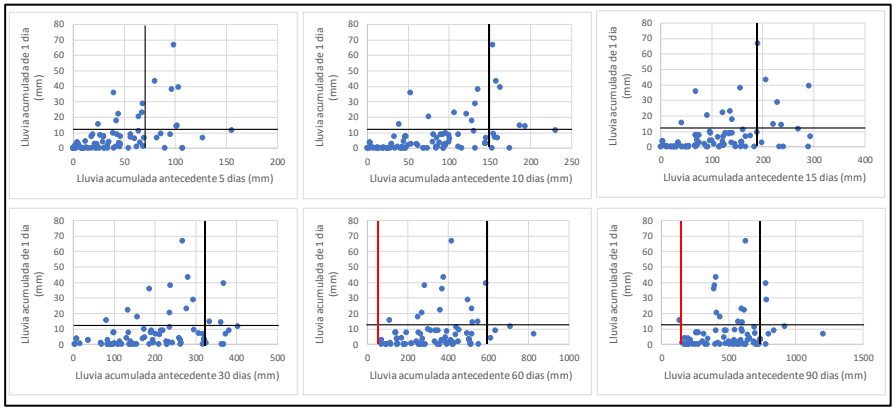

**Concentración de los movimientos en masa asociados al área de influencia de las estaciones pluviométricas**




Fuente: Autores – Software ArcGIS

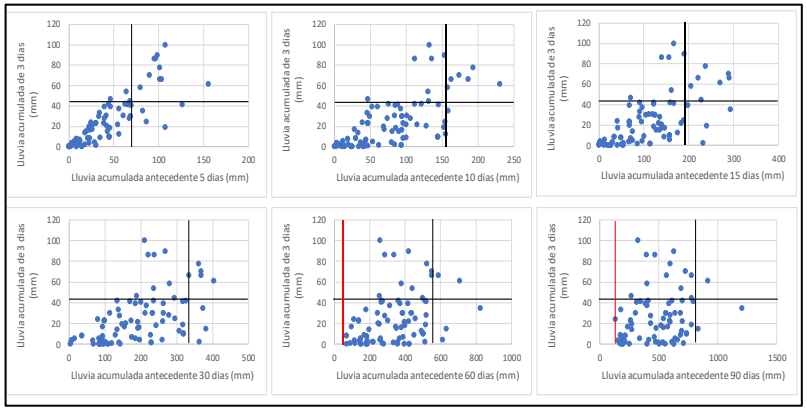
# ANÁLISIS Y RESULTADOS

**Luvia acumulada de 1 día combinada con la lluvia acumulada antecedente de 5, 10, 15, 30, 60 y 90 días**




| Cantidad de datos | % | UMBRALES CRÍTICOS | | |
|---|---|---|---|---|
| | | lluvia acumulada (mm) | lluvia acumulada antecedente (mm) mínimo | lluvia acumulada antecedente (mm) máximo |
| 71 | 77.17% | 12 | 0 | 70 |
| 73 | 79.35% | 12 | 0 | 150 |
| 73 | 79.35% | 12 | 0 | 190 |
| 73 | 79.35% | 12 | 0 | 350 |
| 75 | 81.52% | 12 | 50 | 600 |
| 74 | 80.43% | 12 | 150 | 750 |

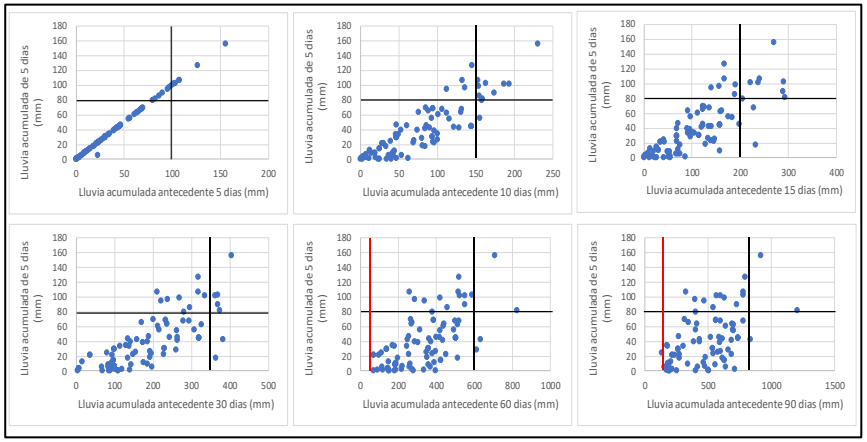
**Luvia acumulada de 3 días combinada con la lluvia acumulada antecedente de 5, 10, 15, 30, 60 y 90 días**



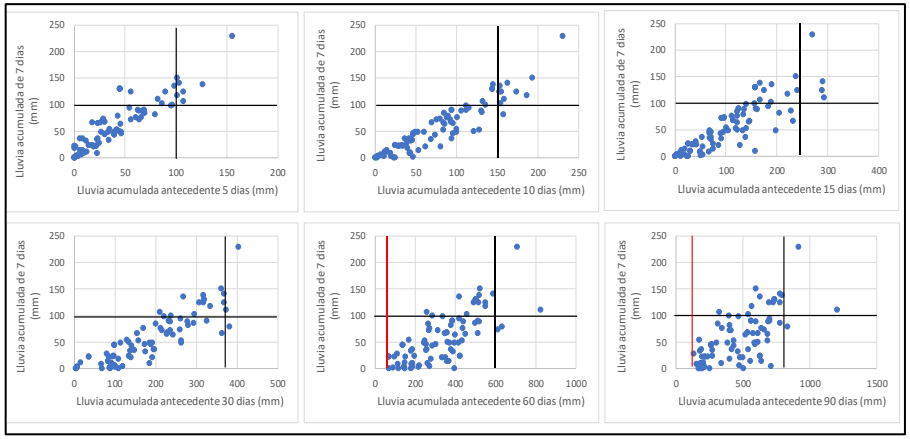

| Cantidad de datos | % | UMBRALES CRÍTICOS | | |
|---|---|---|---|---|
| | | lluvia acumulada (mm) | lluvia acumulada antecedente (mm) mínimo | lluvia acumulada antecedente (mm) máximo |
| 76 | 82.61% | 45 | 0 | 70 |
| 80 | 86.96% | 45 | 0 | 160 |
| 75 | 81.52% | 45 | 0 | 190 |
| 77 | 83.70% | 45 | 0 | 340 |
| 77 | 83.70% | 45 | 50 | 550 |
| 77 | 83.70% | 45 | 150 | 800 |

# ANÁLISIS Y RESULTADOS

## Luvia acumulada de 5 días combinada con la lluvia acumulada antecedente de 5, 10, 15, 30, 60 y 90 días




## Luvia acumulada de 7 días combinada con la lluvia acumulada antecedente de 5, 10, 15, 30, 60 y 90 días




| Cantidad de datos | % | UMBRALES CRÍTICOS | | |
|---|---|---|---|---|
| | | lluvia acumulada (mm) | lluvia acumulada antecedente (mm) mínimo | lluvia acumulada antecedente (mm) máximo |
| 79 | 85.87% | 80 | 0 | 100 |
| 77 | 83.70% | 80 | 0 | 150 |
| 76 | 82.61% | 80 | 0 | 200 |
| 77 | 83.70% | 80 | 0 | 350 |
| 77 | 83.70% | 80 | 60 | 600 |
| 78 | 84.78% | 80 | 150 | 850 |

| Cantidad de datos | % | UMBRALES CRÍTICOS | | |
|---|---|---|---|---|
| | | lluvia acumulada (mm) | lluvia acumulada antecedente (mm) mínimo | lluvia acumulada antecedente (mm) máximo |
| 76 | 82.61% | 100 | 0 | 100 |
| 75 | 81.52% | 100 | 0 | 150 |
| 76 | 82.61% | 100 | 0 | 250 |
| 75 | 81.52% | 100 | 0 | 380 |
| 74 | 80.43% | 100 | 60 | 600 |
| 75 | 81.52% | 100 | 150 | 850 |

# CONCLUSIONES

Los resultados presentados en esta investigación corresponden a los umbrales críticos de precipitación, los cuales, en todas las combinaciones de lluvia mencionadas en la etapa 3, la dispersión tiende a incrementarse en el largo plazo, moviéndose la concentración de puntos en sentido positivo del eje de las abscisas esto se debe a que, al aumentar los días de lluvia acumulada antecedente, aumenta también la cantidad de lluvia que cae en el talud.

Los datos calculados pueden proponerse como nuevos umbrales críticos de precipitación que detonan movimientos en masa en el Valle de Aburrá, continuando el trabajo realizado por Aristizábal y otros en el año 2011 [29].

Un refinamiento de esta metodología y una proyección futura de las precipitaciones podrían conducir a la construcción de un sistema de alerta temprana en las zonas más críticas del Valle de Aburrá, mediante la zonificación con sistemas de información geográfica con el fin de tomar decisiones y evitar pérdidas humanas y materiales.

Este proyecto de investigación es una base para un trabajo posterior el cual consiste en la zonificación de la amenaza por procesos de remoción en masa detonados por lluvias, mediante uso de redes neuronales para predecir precipitaciones máximas asociadas a la variabilidad climática en los próximos 20 años, como instrumento base para la evaluación del riesgo de este fenómeno en el Valle de Aburrá.

# REFERENCIAS

[1] Ramos C., A. M., Trujillo Vela, M. G., & Prada S., L. F. (2015). Análisis descriptivos de procesos de remoción en masa en Bogotá. *Obras y Proyectos*, 63-75.

[2] Acosta Sabogal, I. D. (2014). Impacto del cambio climático en la remoción en masa del municipio de Villavicencio. *Cap&Cua Ciencia, Tecnología y Cultura*.

[3] Servicio Geológico Colombiano. (2016). *Guía Metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa.* Bogotá: Imprenta Nacional de Colombia.

[4] Suarez Diaz, J. (2009). *Deslizamientos: Análisis Geotécnico Tomo 1.* Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander UIS.

[5] Vargas Cuervo, G. (2000). Criterios para la clasificación y descripción de movimientos en masa. *Revista UIS, Boletin de Geologia* , 22(37), 39-67.

[6] Varnes, D. J. (1978). *Landslides, analysis and control.* Washington: National Academy of Sciences.

[7] Alcantara Ayala, I. (2000). Landslides: ¿deslizamientos o movimientos del terreno? definición, clasificaciones y terminología. *Investigaciones geograficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM*, 77 - 95.

[8] Copons Llorens, R., & Tallada Masquef, A. (2009). Movimientos de Ladera. *Enseñanzas de las Ciencias de la Tierra*, 284-294.

[9] Highland, L. M., & Bobrowsky, P. (2008). Manual de derrumbes: Una guia para entender todo sobre derrumbes. *Circular 1325*, 4 - 39. Reston, Viginia: Servicio Geologico de los Estados Unidos (USGS).

[10] Arévalo , D. A., & Parias, J. P. (2013). Análisis de la amenaza por fenómenos de remoción en masa en la región del Boquerón ubicada entre los departamentos de Cundinamarca y Tolima mediante el uso de un sistema de información geográfica de libre distribución. *Tesis de Grado*. Bogotá.

# REFERENCIAS

[11] UNGRD. (2015). *Guía de Integración de la Gestión del Riesgo y el Ordenamiento Territorial Municipal.* Bogotá, D.C.

[12] IDEAM - UNAL. (2018). *Variabilidad Climática y Cambio Climático en Colombia.* Bogotá, D.C.

[13] Nuñez, S. (26 de 10 de 2020). *Ecología Verde.* Obtenido de https://www.ecologiaverde.com/tipos-de-precipitaciones-3086.html

[14] Universidad de Antioquia. (2021). *Perfil de Desarrollo Subregional - Subregión Valle de Aburrá de Antioquia.* Medellín.

[15] DANE. (2020). *Proyecciones de población con base en el Censo Nacional de Población y Vivienda 2018.*

[16] Jimenez, J. F. (Octubre de 2016). *Altura de la Capa de Mezcla en un área urbana, montañosa y tropical. Caso de estudio: Valle de Aburrá (Colombia)*. Obtenido de https://www.researchgate.net/figure/Figura-2-4-Mapa-topografico-de-Colombia-y-Antioquia_fig1_322551761

[17] Guerrero Hoyos, L. A., & Aristizabal Giraldo, E. (2019). Estimación y análisis de umbrales críticos de lluvia para la ocurrencia de avenidas torrenciales en el Valle de Aburrá. *Revista EIA*, 97-111.

[18] Cedar Lake Ventures, Inc. (25 de mayo de 2018). *weatherspark.com* . Obtenido de https://es.weatherspark.com/

[19] Taboada, A., Rivera, L. A., Fuenzalida, A., Cisternas, A., Philip, H., Bijwaard, H., . . . Rivera, C. (2000). Geodinamics in northern Andes: Subductions and intracontinental deformations (Colombia). *Tectonics V19*, 787-813.

[20] INGEOMINAS. (2001). *Base de datos de fallas activas de Colombia.* Bogotá: Recopilación Bibliográfica.

# REFERENCIAS

[21] Asociacion Colombiana de Ingenieria Sísmica. (2010). *Reglamento de Construccion Sismoresistente - NSR 10.* Bogota.

[22] Consorcio Microzonificacion. (2006). *Microzonificacion sismica detallada de los municipios de Barbosa, Girardota, Copacabana, Sabaneta, La Estrella, Caldas y Envigado.* Medellín: Area Metropolitana del Valle de Aburrá.

[23] Kellogg, J. N., & Vega, V. (1995). Tectonic development of Panama, Costa Rica and the Colombian Andes: constraints from global positioning system geodeticstudies and gravity. *Geological Society of America Spercial Paper 295*, 75-91.

[24] Aristizabal, E., Vásquez, M., & Ruiz, D. (2019). Métodos estadísticos para la evaluación de la susceptibilidad por movimientos en masa. *TecnoLógicas, 22* (46 ), 39-60.

[25] Arias, L. A., & Gonzalez, L. H. (2003). *La diversidad del relieve y los suelos en el altiplano de Santa Rosa de Osos (Antioquia): sus significados ambientales.* Medellin: Boletin de ciencias de la tierra.

[26] Aristizabal, E., & Yokota, S. (2008). Evolución geomorfológica del Valle de Aburrá y sus implicaciones en la ocurrencia de movimientos en masa. *Boletin ciencias de la tierra*, 5-18.

[27] Servicio Geologico Colombiano. (4 de 7 de 2022). *SIMMA*. Obtenido de https://simma.sgc.gov.co/#/public/results/

[28] UNGRD. (2016). *Fenómeno El Niño.* Bogotá: Oficina asesora de comunicaciones, UNGRD.

[29] Aristizábal, E., González, T., Montoya, J. D., Vélez, J. I., Martínez, H., & Guerra, A. (2011). Análisis de umbrales empíricos de lluvia para el pronóstico de movimientos en masa en el Valle de Aburrá, Colombia. *Escuela de Ingeniería de Antioquia*, 95 - 111.

XVII CCG
I SSAG 2022
Cartagena

SCG

50 años
1971-2021

# ¡GRACIAS!

**¿Preguntas?**

Maria_valencia54212@elpoli.edu.co
caordonez@elpoli.edu.co

**XVII CONGRESO COLOMBIANO DE GEOTÉCNIA "EVALUACIÓN Y GESTIÓN DE RIESGOS GEOTÉCNICOS CON ÉNFASIS EN LOS EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO"**

**14 al 18 de Noviembre de 2022**

XVII CCG
I SSAG 2022
Cartagena

# ANÁLISIS CINEMÁTICO COMO HERRAMIENTA DE PREVENCIÓN DE DESASTRES

Análisis Cinemático como Herramienta de Clasificación de Riesgos para Taludes en Corredores Viales

**MICHEL MOREIRA MORANDINI FONTES**
**Inginiero civil - CEO**
**Fonntes Geotécnica (Brasil)**

Sociedad Colombiana de Geotecnia

50 años
1971-2021

# CONTENIDO

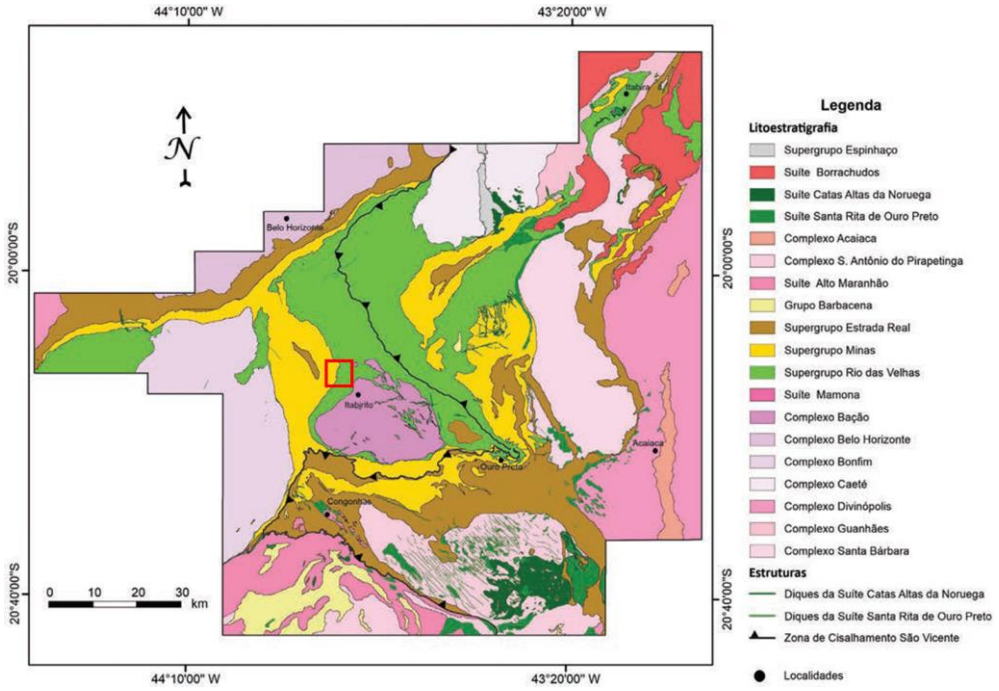
1. Introducción
2. Contexto geológico
3. Metodología
4. Resultados

# 1. INTRODUCCIÓN

- El presente estudio presenta la aplicación del análisis cinemático en taludes de una vía importante ubicada en zona minera.
- Objetivos:
  - Realizar una sectorización de los taludes conforme su morfología;
  - Establecer los niveles de riesgo de ruptura que pueden acontecer a lo largo del corredor vial;
  - Proponer medidas preventivas ante posibles rupturas que puedan ocurrir en periodos de lluvia.
- Pero, ¿qué es el análisis cinemático?
  - Consiste en evaluar el potencial de ruptura a partir de proyecciones de discontinuidad en estereogramas;
  - Proyección esterográfica (estereograma) básicamente consiste en una representación gráfica de datos tridimensionales en una superficie bidimensional;
  - Así, es posible llevar la representación de pendientes y discontinuidades a una hoja de papel.

# 2. CONTEXTO GEOLÓGICO

- El área analizada se encuentra en el contexto de la Provínicio Polimetálica del *Quadrilátero Ferrifero,* en Minas Gerais – Brasil.
  - Las rocas que afloran en los taludes y taludes del camino están representadas por *xistos* y *quartzitos,* moderadamente alterados – *Greenstonebelt Rio das Velhas (Archean do Paleproterozoic age)*

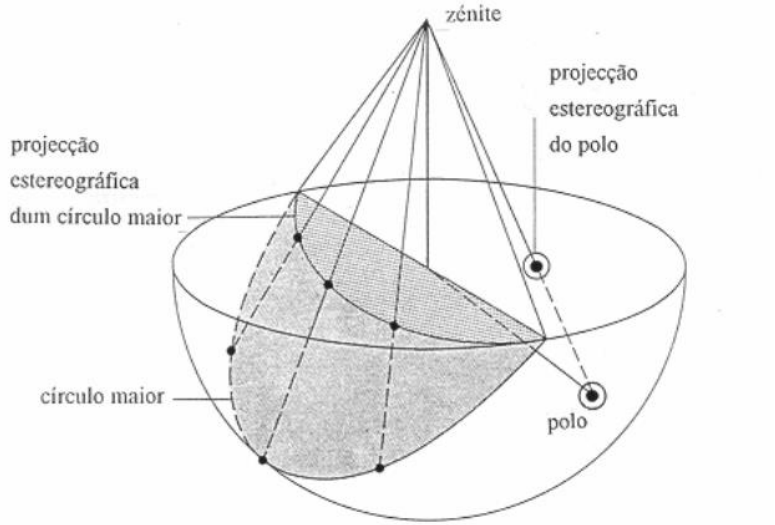


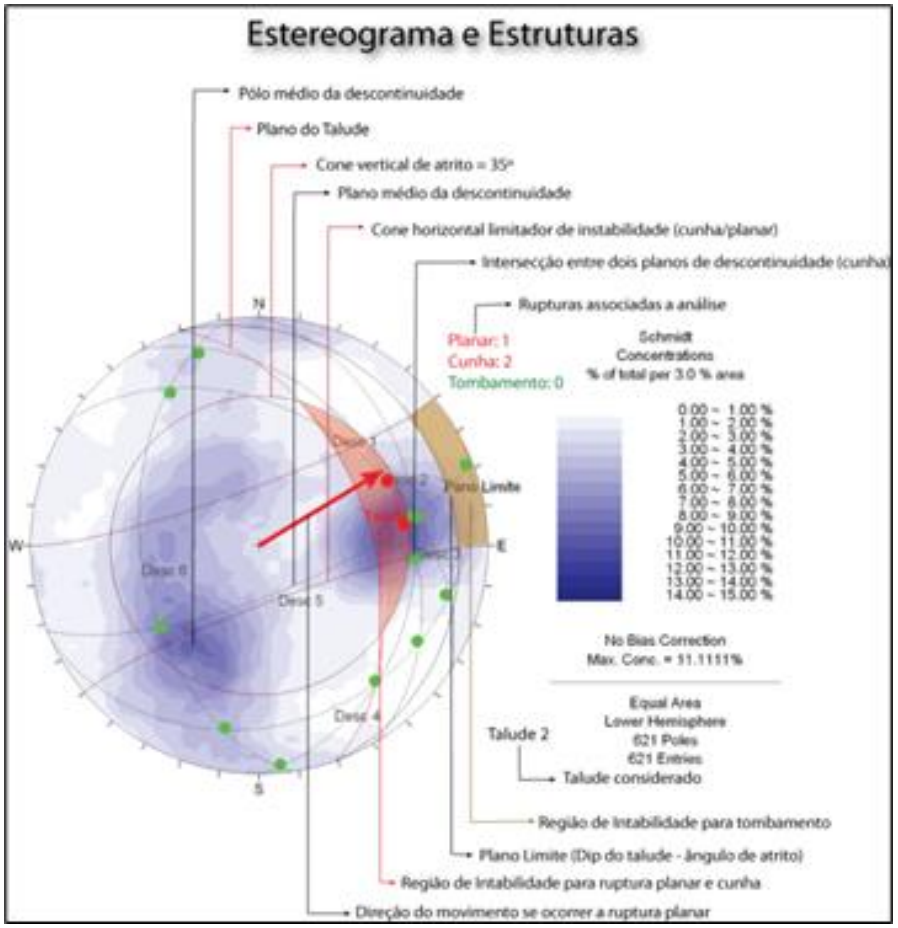
# 3. METODOLOGÍA

- 1) Para determinar los potenciales geométricos de ruptura, fueron realizados los siguientes estudios:
  - Estudio de la topografía local;
  - Cartografía geológica y determinación de familias de discontinuidades;
  - Sectorización de taludes basada en la geometría de taludes y el aspecto estructural de las discontinuidades de afloramiento;
  - Representación de discontinuidades y inclinaciones del macizo atraés de esteregramas desarrollados en el software *Rocsience Dips 5.0;*
  - Aplicación de análisis cinemático utilizando la metodología de Markland, 1972.
- 2) La estimación de riesgo tuvo en cuenta dos criterios de clasificación: tipología y grado de riesgo
  - Tipología: falla plans, en cuña, deslizamiento, rodadura;
  - Grado: bajo,  medio y alto;
  - Adicionalmente, se estimó el número de factores relacionados con la susceptibilidad a las rupturas y se ponderó empíricamente según dimensiones, persistencia, tipo de material y discontinuidades.

# 3. METODOLOGÍA

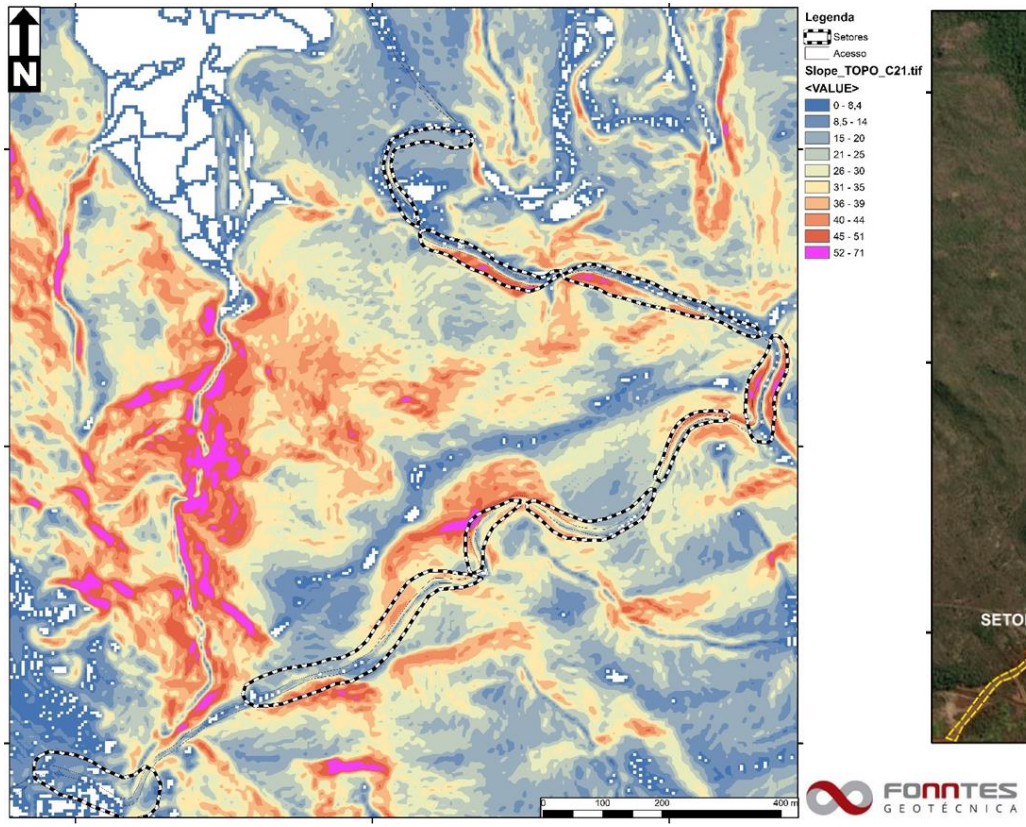
- Proyección esterográfica y metodología de Markland, 1972

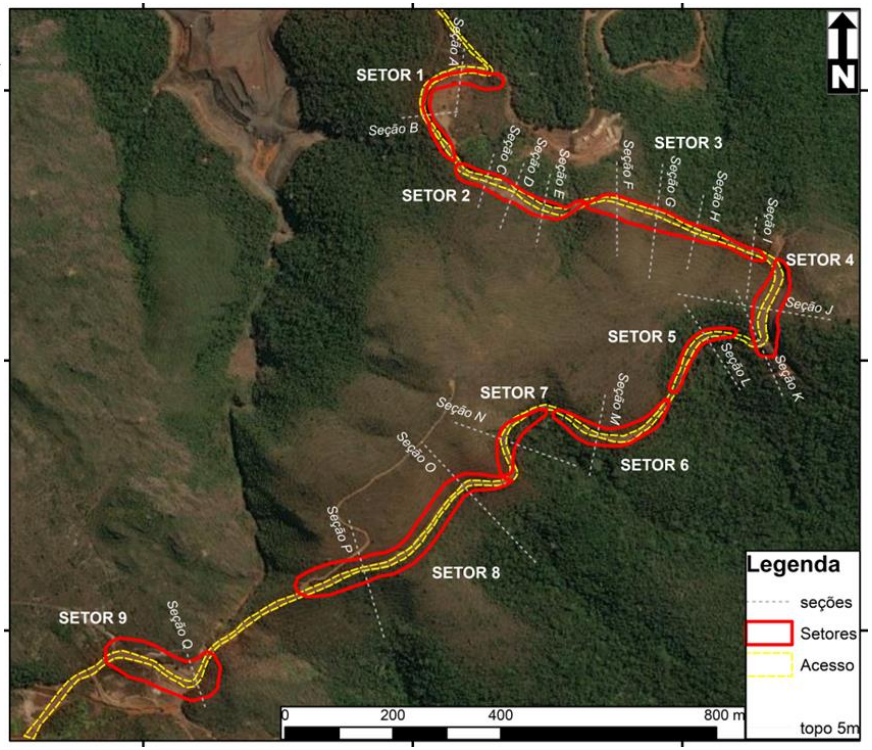


# 3. METODOLOGÍA

- Estudio de la topografía local y sectorizacíon
  - Mapa de pedientes, sectores e seccíons

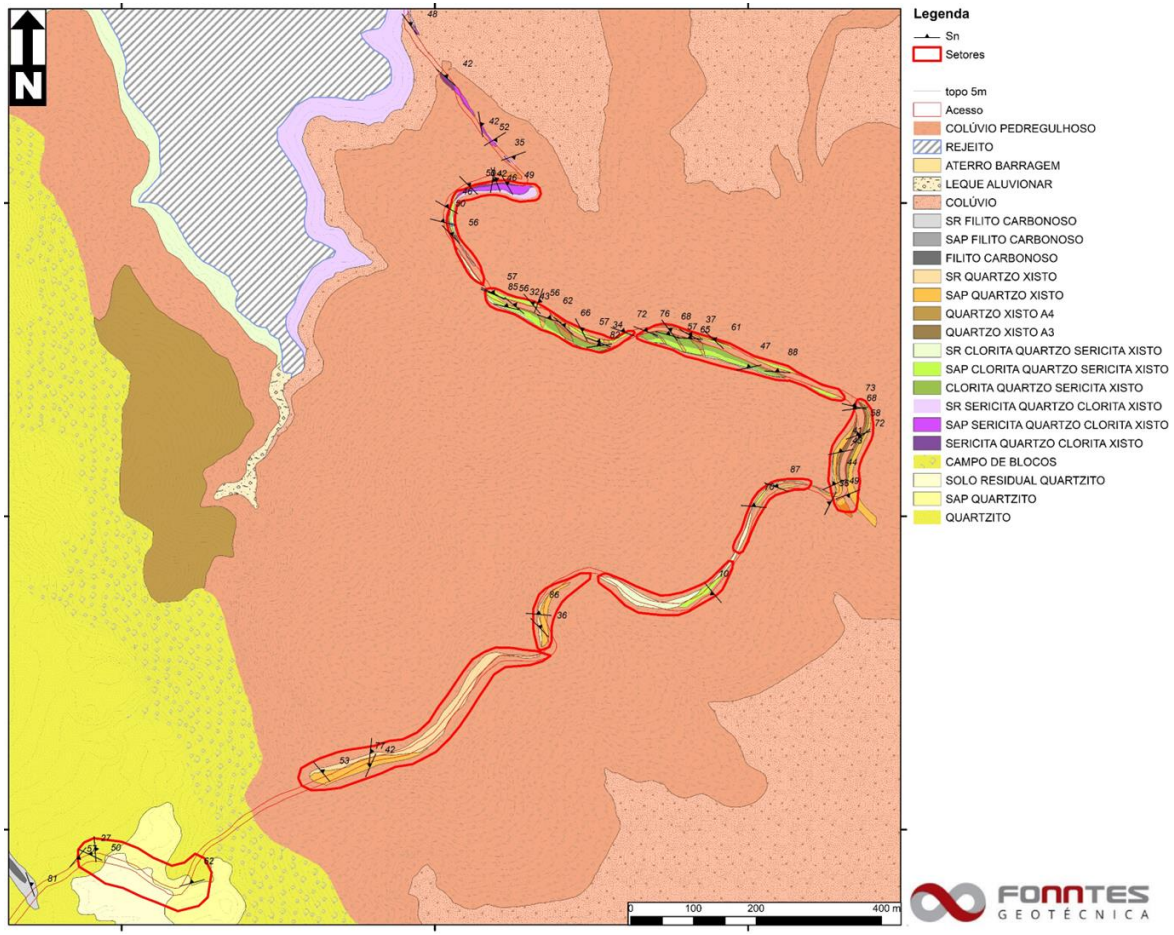


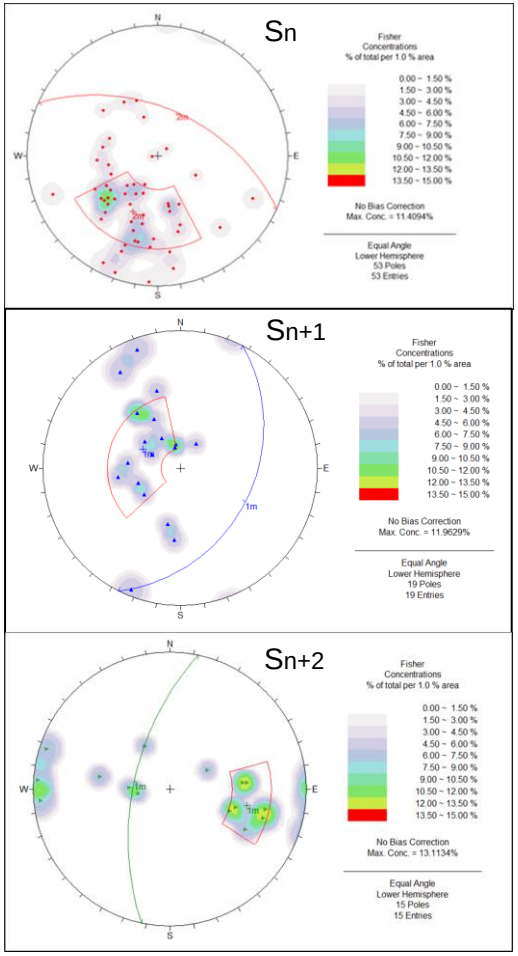




FONNTES GEOTÉCNICA

# 3. METODOLOGÍA

- Mapa geológico y estereogramas de discontinuidades



# 3. METODOLOGÍA

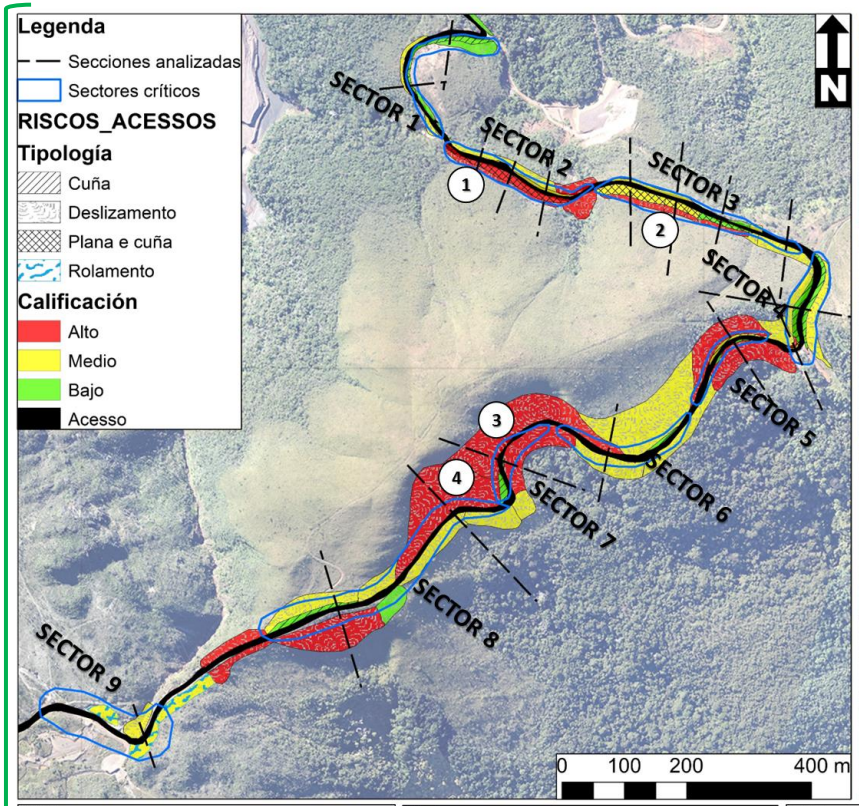
- Tablas resumen de pendientes y potencial de falla

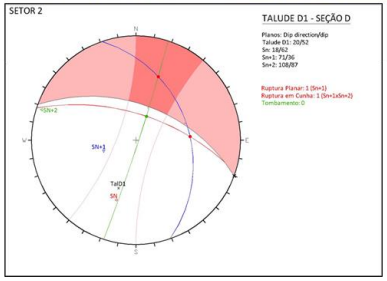
| Setorização dos taludes | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Setor | Seção | Talude | D.D.*_talude | Dip_talude |
| 1 | A | A1 | 7 | 34 |
| 1 | B | B1 | 263 | 46 |
| 2 | C | C1 | 16 | 50 |
| 2 | D | D1 | 20 | 52 |
| 2 | E | E1 | 11 | 50 |
| 3 | F | F1 | 0 | 50 |
| 3 | G | G1 | 7 | 32 |
| 3 | H | H1 | 12 | 46 |
| 3 | I | I1 | 7 | 40 |
| 4 | J | J1 | 273 | 50 |
| 4 | J | J2 | 99 | 50 |
| 4 | K | K1 | 157 | 49 |
| 5 | L | L1 | 147 | 59 |
| 6 | M | M1 | - | - |
| 7 | N | N1 | 110 | 52 |
| 8 | O | O1 | - | - |
| 8 | P | P1 | 163 | 34 |
| 9 | Q | Q1 | 341 | 34 |

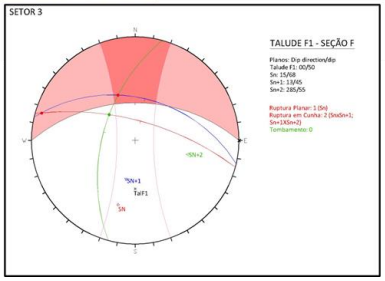
| Resultado das análises dos potenciais geométricos de ruptura - taludes do acesso | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Setor | Talude | Planar | Estrutura | Cunha | Estruturas | Tombamento | Estrutura |
| 1 | A1 | 0 | - | 0 | - | 1 | Sn+1 |
| 1 | B1 | 0 | - | 0 | - | 0 | - |
| 2 | C1 | 1 | Sn | 1 | Sn X Sn+2 | 0 | - |
| 2 | D1 | 1 | Sn+1 | 1 | Sn+1 X Sn+2 | 0 | - |
| 2 | E1 | 1 | Sn | 1 | Sn X Sn+2 | 0 | - |
| 3 | F1 | 1 | Sn+1 | 2 | Sn X Sn+2; Sn+1 X Sn+2 | 0 | - |
| 3 | G1 | 0 | - | 1 | Sn X Sn+2 | 0 | - |
| 3 | H1 | 0 | - | 1 | Sn X Sn+1 | 0 | - |
| 3 | I1 | 0 | - | 0 | - | 0 | - |
| 4 | J1 | 0 | - | 1 | Sn X Sn+1 | 0 | - |
| 4 | J2 | 1 | Sn+2 | 2 | Sn X Sn+1; Sn+1 X Sn+2 | 0 | - |
| 4 | K1 | 1 | Sn+1 | 1 | Sn X Sn+1 | 0 | - |
| 5 | L1 | 0 | - | 1 | Sn X Sn+1 | 0 | - |
| 7 | N1 | 1 | Sn+1 | 1 | Sn X Sn+1 | 1 | Sn+2 |
| 8 | P1 | 0 | - | 1 | Sn X Sn+1; Sn+1 X Sn+2 | 0 | - |
| 9 | Q1 | 0 | - | 0 | - | 1 | Sn+1 |

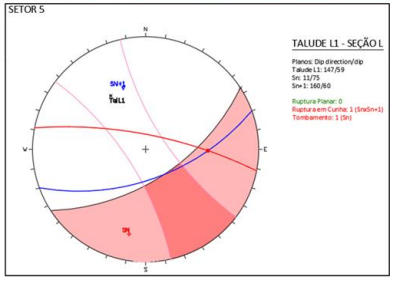
# 4. RESULTADOS

- El mapa de riesgos servirá como instrumiento estratéfico para garantizar la seguridad vial.
- Se recomendó la aplicación de obras de reasfaltado en las zonas más críticas o lá prohibición del tráfico en la región durante los períodos de fuertes lluvias.






- *Mapa de riesgos resaltado en rojo para los sectores más críticos.*
- *Fotos representativas de las pistas.*
- *Ejemplo de 3 de los 16 análisis cinemáticos realizados para el estudio.*

XVII CCG
I SSAG 2022
Cartagena

SCG

50 años
1971-2021

# ¡GRACIAS!

**¿Preguntas?**

michel@fonntesgeotecnica.com
**https://fonntesgeotecnica.com/**

XVII CONGRESO COLOMBIANO DE GEOTÉCNIA "EVALUACIÓN Y GESTIÓN DE RIESGOS GEOTÉCNICOS CON ÉNFASIS EN LOS EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO"

14 al 18 de Noviembre de 2022

XVII CCG
ISSAG 2022
Cartagena

# ESTIMACIÓN DE LA AMENAZA POR DESLIZAMIENTOS DETONADOS POR PRECIPITACIONES Y ACTIVIDAD SÍSMICA CASO DE ESTUDIO TUNJA-GUATEQUE

**MARIA FERNANDA PEÑALOZA RUEDA**
**Postulada a Magister en Geotecnia**
**Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia**

Sociedad Colombiana de Geotecnia

50 años
1971-2021

# Estimación de la amenaza por deslizamientos detonados por precipitaciones y actividad sísmica caso de estudio Tunja-Guateque

Debido a los problemas de inestabilidad de las laderas presentadas en la vía que comunica la ciudad de Tunja con los municipios de Jenesano, Tibaná, Chinavita, Garagoa y Guateque, este trabajo se centró en la estimación de la amenaza por deslizamientos detonados por la precipitación y actividad sísmica en el corredor vial mencionado.

Para este propósito se empleó un modelo que consideró la topografía, geología, parámetros geotécnicos y variables en términos de precipitaciones antecedentes, las cuales en ocasiones superaron los umbrales de falla definidos para la zona. De la misma manera, se aplicó técnicas de confiabilidad y el método probabilístico de primer orden segundo momento (FOSM), los cuales permitieron determinar las probabilidades de falla por actividad sísmica en condición saturada y no saturada para el cálculo de la probabilidad de falla total anual, a partir de la cual se categorizó la amenaza y se representó en Quantum GIS.

# Objetivos

**Objetivo General:**

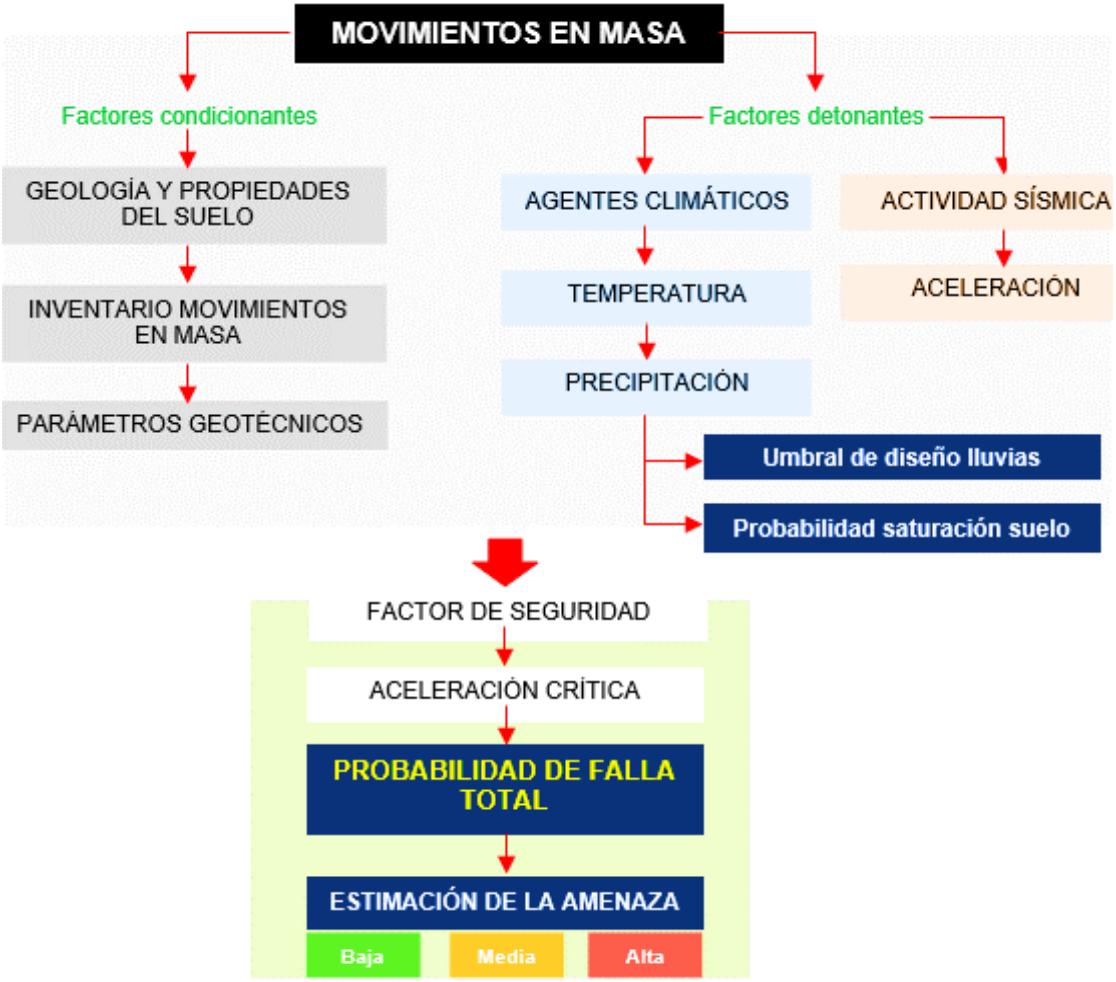
- Estimar la amenaza por deslizamientos debido a los taludes que presenten inestabilidad en la vía Tunja-Guateque.

**Objetivos Específicos:**

- Definir y establecer un diagnóstico del estado actual de los puntos críticos que presentan inestabilidad en los taludes de la vía Tunja-Guateque.
- Determinar los umbrales de lluvia que generan deslizamientos en la zona de estudio.
- Determinar la probabilidad de falla de los taludes en las zonas críticas de la vía de estudio.

# Problema de Investigación

**¿Cuál es la amenaza que representan los deslizamientos en sitios de inestabilidad de la vía Tunja-Guateque y cómo se asocia con las precipitaciones y la actividad sísmica de la zona?**



# Metodología

## ENTRADAS

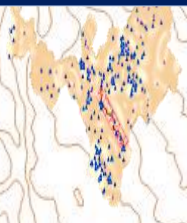
## SALIDAS

**Mapa Geológico**

**Propiedades de los suelos**

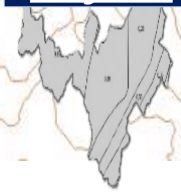
+

**Estaciones pluviométricas**



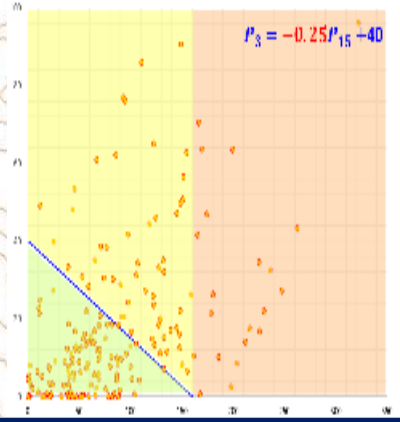
**DEM Boyacá**

**PGA Boyacá**



=

**Umbrales de lluvia de la zona**



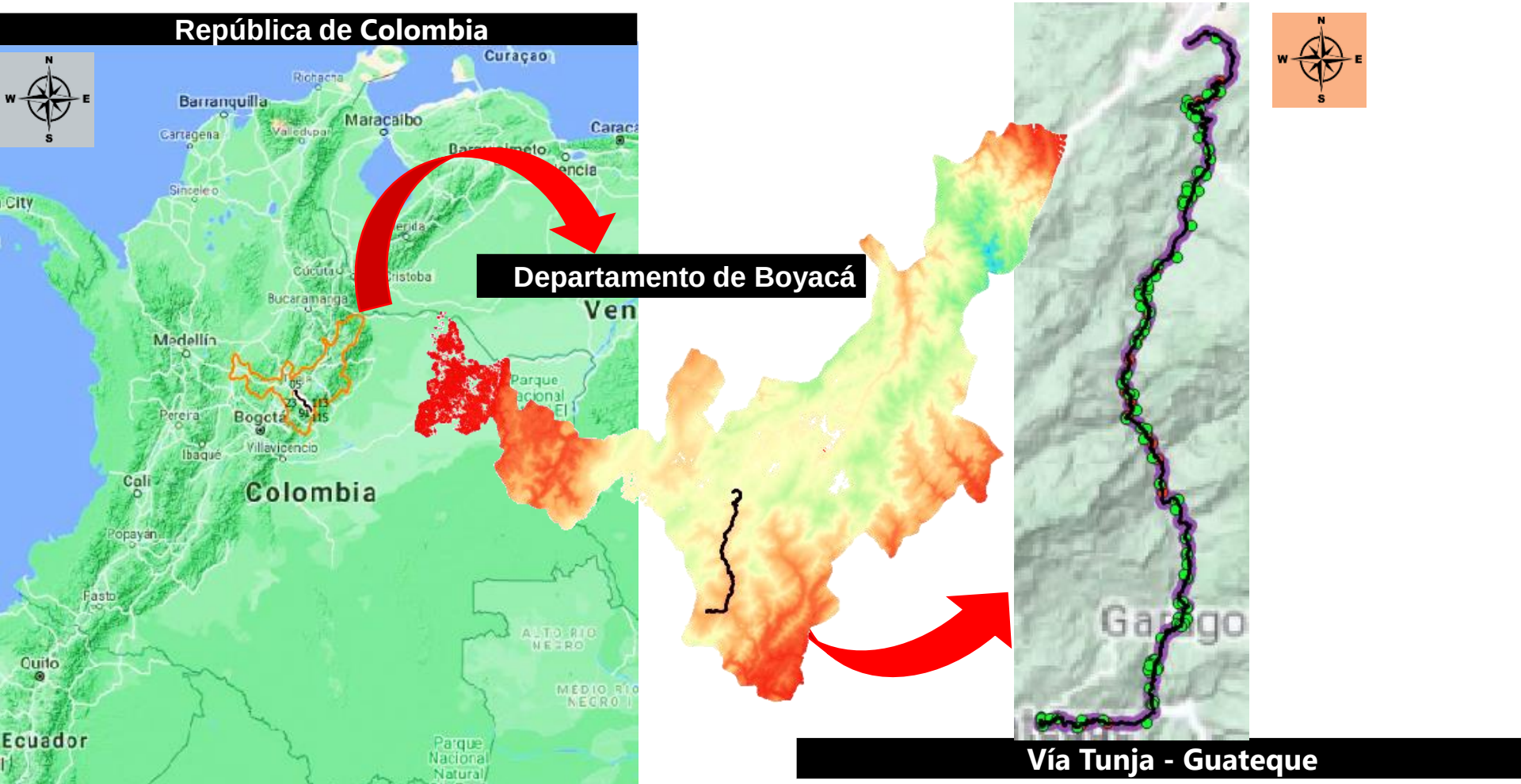

**Probabilidad de falla total de un talud PFT**

$$P_{ft} = P_{fs} * P_s + P_{ns} * (1 - P_s)$$

**Probabilidad de falla total anual de un talud PFA**

$$P_{FA} = P_{ft} * P_{AS}$$

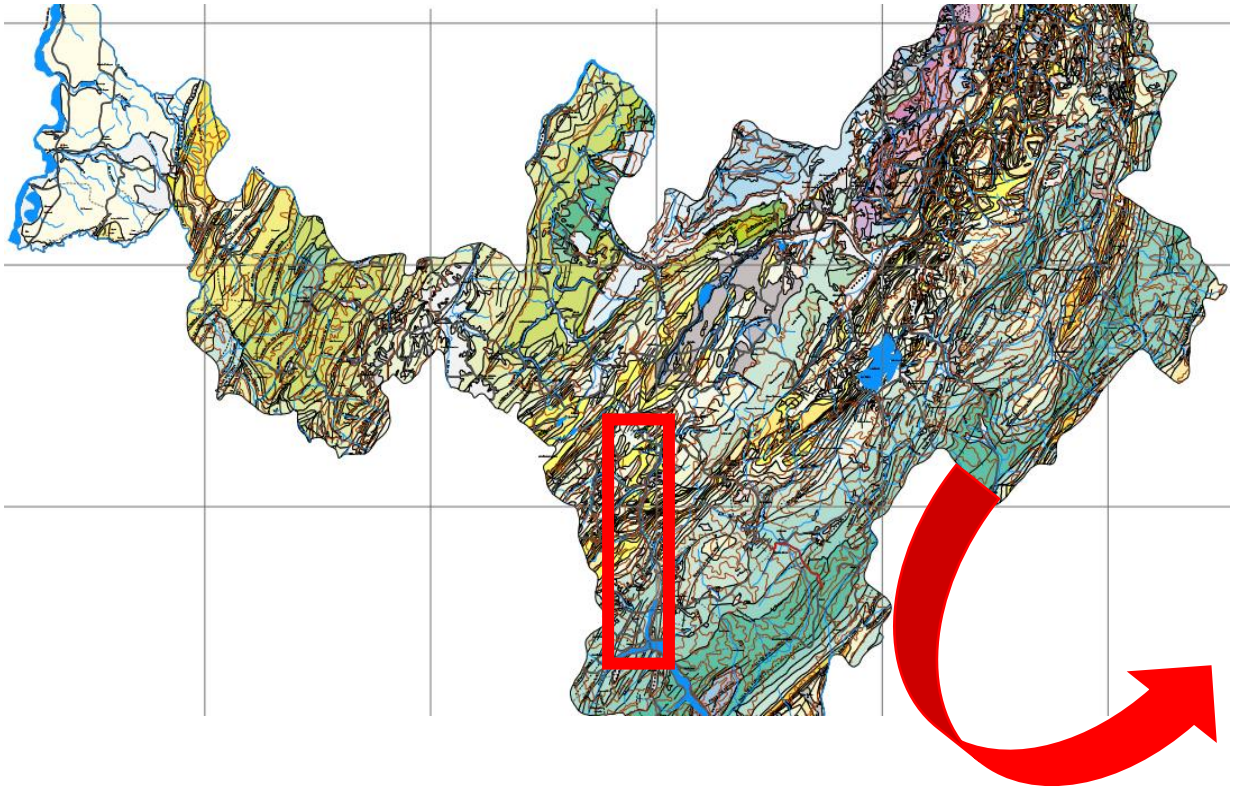
# Descripción de la zona de estudio

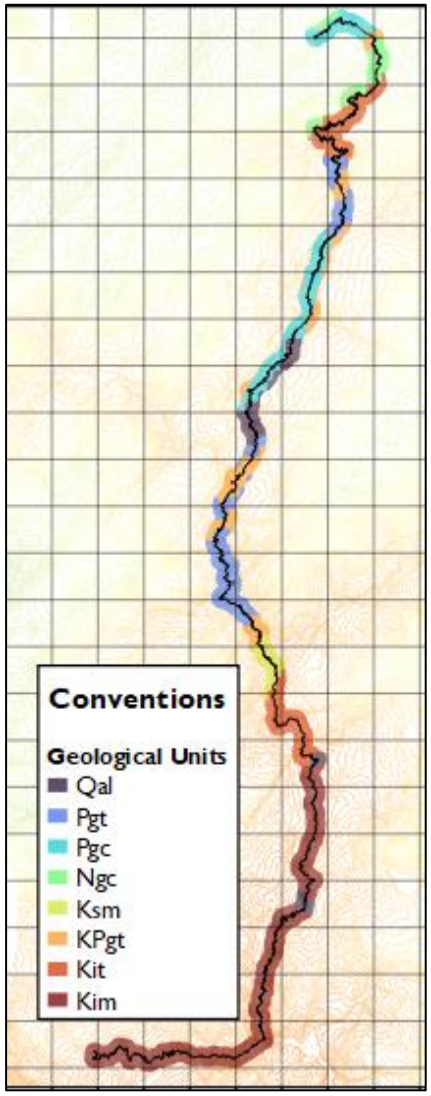


# Características vía Tunja-Guateque Departamento de Boyacá

| Parámetro | Característica |
|---|---|
| Longitud Tunja-Garagoa (secundaria) | 76 Km |
| Longitud Garagoa-Guateque (primaria) | 21 Km |
| Longitud total | 97 Km |
| Territorial | Boyacá |
| Sector | Tunja – Guateque |
| Ruta | Tunja-Soracá-Jenesano-Tibaná-Chinavita-Garagoa-Guateque |

# Mapa Geológico y Unidades Geológicas





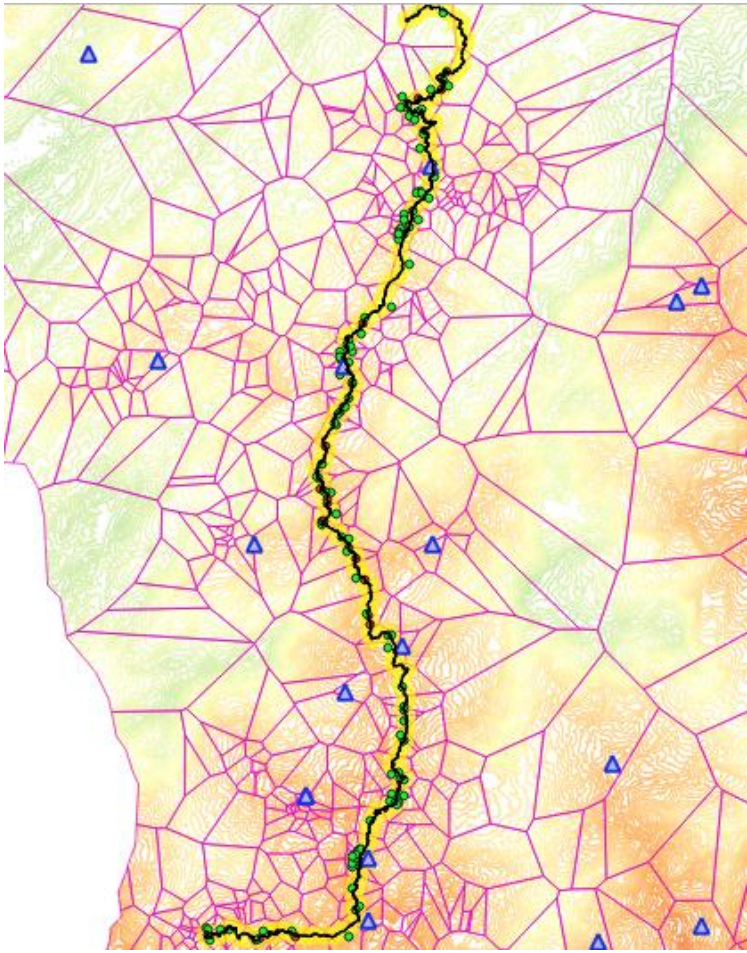
# Propiedades de los suelos

| Unidad geológica | Descripción | Peso unitario [kN/m3] | | Ang. De fricción [o] | | Cohesión [kN/m2] | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | μ | σ | μ | σ | μ | σ |
| Ksm | Arcillolitas y limolitas negras con intercalaciones menores de arenitas y calizas. | 18 | 0.9 | 31 | 3.1 | 133.37 | 66.68 |
| Kit | Shales, calizas, fosforitas, cherts y cuarzoarenitas. | 19.17 | 1.52 | 24.48 | 3.326 | 3.25 | 4.5 |
| KPgt | Arcillolitas rojizas con intercalaciones de cuarzoarenitas de grano fino. | 19.85 | 1.62 | 28.15 | 9.687 | 44 | 8.48 |
| Pgc | Arcillolitas rojizas con intercalaciones de cuarzoarenitas de grano fino. | 18.75 | 0.374 | 27.75 | 2.05 | 17.75 | 10.96 |
| Pgt | Arenitas de grano fino a conglomeráticas interestratificadas con arcillolitas y limolitas. | 17.95 | 0.07 | 33 | 4.242 | 142.19 | 31.89 |
| Qal | Abanicos aluviales y depósitos coluviales | 18.3 | 0.915 | 35 | 3.5 | 127 | 63.5 |
| Ngc | Conglomerados intercalados con arenitas de grano medio a grueso y lodolitas carbonosas | 19.02 | 0.951 | 29.2 | 2.92 | 10 | 5 |
| Kim | Arcillolitas y limolitas negras con intercalaciones menores de arenitas y calizas. | 20.22 | 1.692 | 25.55 | 4.383 | 24.88 | 5.91 |

# Estaciones Pluviométricas

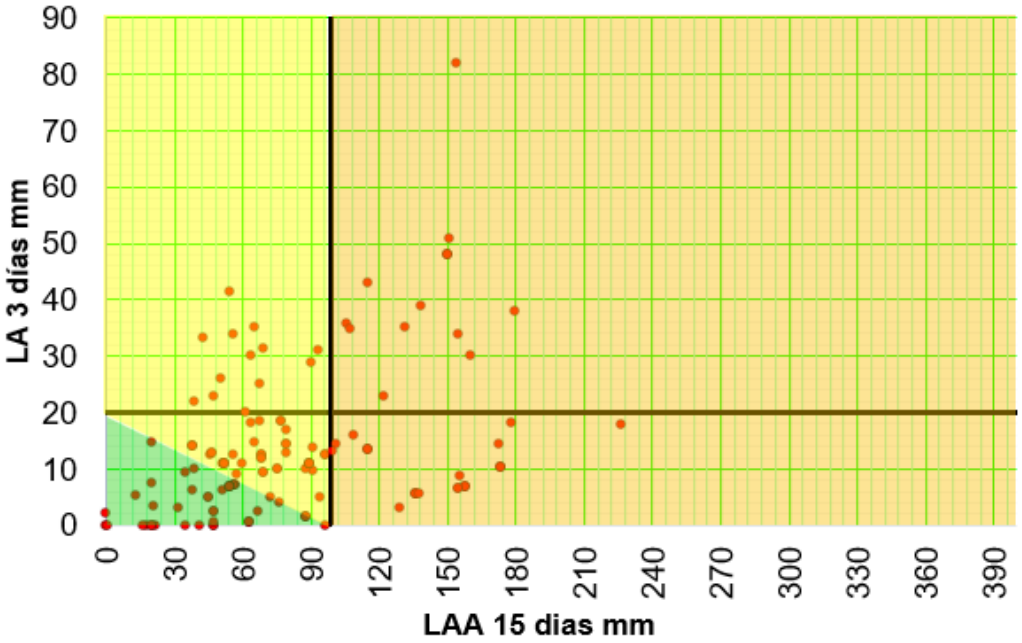
**Estaciones utilizadas para el análisis de precipitación**

| Estación | Código | Categoría | Latitud (N) | Longitud (O) | Periodo |
|---|---|---|---|---|---|
| TIBANA | 35070040 | P | 5.31528 | -73.39594 | 1958-2021 |
| VILLA LUISA | 35075030 | CO | 5.42222 | -73.34941 | 1981-2021 |
| SOMONDOCO | 35070100 | P | 4.98347 | -73.43305 | 1962-2021 |
| CARACOL | 35070200 | P | 5.05000 | -73.38333 | 1979-2021 |
| PACHAVITA | 35070210 | P | 5.13925 | -73.39563 | 1976-2021 |
| CHINAVITA | 35070070 | P | 5.16486 | -73.36425 | 1955-2021 |
| PILA LA FINCA | 24030420 | P | 5.51892 | -73.31072 | 1992-2021 |
| TURMEQUE | 35070030 | P | 5.31775 | -73.49636 | 1957-2021 |
| QUINCHOS LOS | 35070060 | P | 5.21956 | -73.34791 | 1971-2021 |
| UMBITA | 35070050 | P | 5.21911 | -73.44455 | 1956-2021 |



# Umbral de precipitaciones

**Umbral de falla propuesto para el corredor vial Tunja-Guateque.**




**Distribución de deslizamientos que superan el umbral de saturación en el corredor vial Tunja-Guateque.**

| ZONA | CONJUNTO | UMBRAL | CONTEO |
|---|---|---|---|
| A | P15<99 | NO SUPERAN UMBRAL | 32 |
| B | P15<33 | SUPERAN UMBRAL | 0 |
| C | 33<P15<99 | SUPERAN UMBRAL | 65 |
| D | P15>99 | SUPERAN UMBRAL | 37 |

$$R_3 = 20 - 0.202R_{15}$$

# Modelos, formulaciones y técnicas

Para la estimación de PFT (probabilidad de falla total) se determina:

$$P_{ft} = P_{fs} * P_s + P_{ns} * (1 - P_s)$$

## 1. Ps (probabilidad de saturación del suelo)

- Base de datos de precipitación diaria acumulada de cada evento
- Umbrales de lluvia
- Técnica de ventanas móviles
- Modelo de Poisson

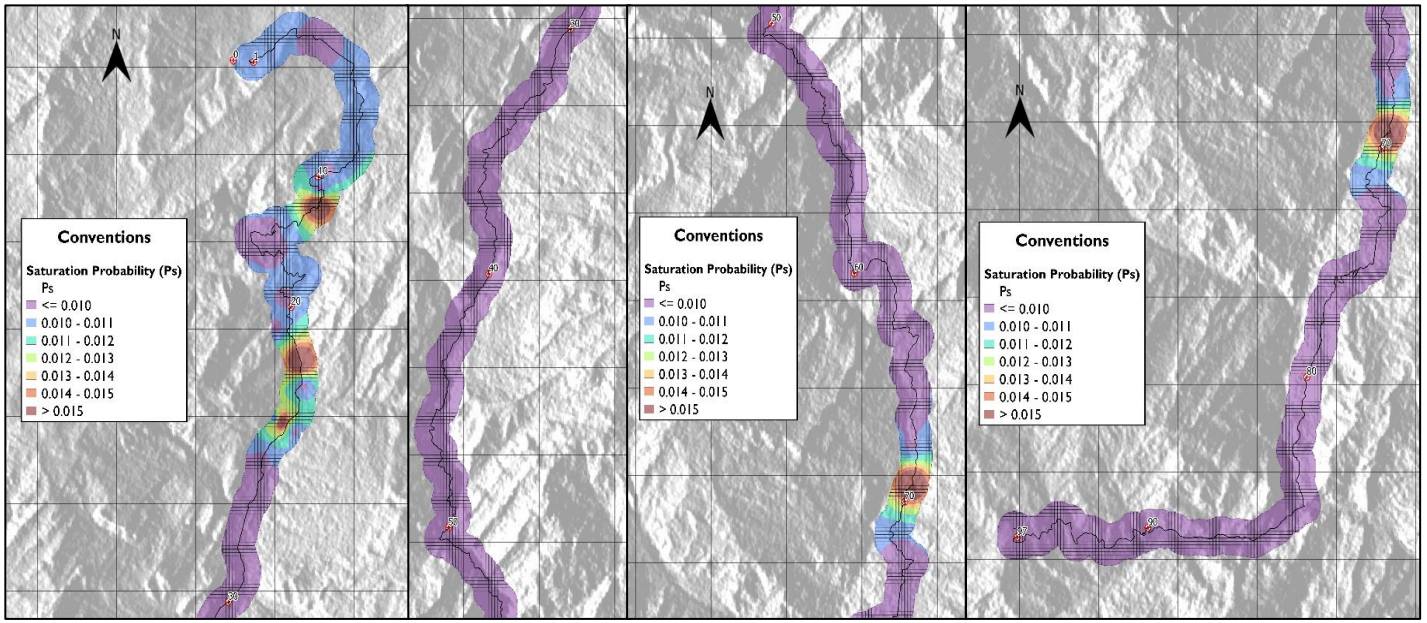
## 2. Pfs y Pns (probabilidad de falla por sismo condición saturada y no saturada)

- Parámetros de resistencia del suelo (cohesión, peso unitario y ángulo de fricción interna), coeficiente de variación (%CV)
- PGA de la zona (NSR 10, AIS 2009)
- Estimación del Factor de Seguridad
- Método FOSM (Distribución normal)

# Resultados y discusión

**Ps: Distribución de la probabilidad de saturación del suelo en el corredor vial Tunja-Guateque.**

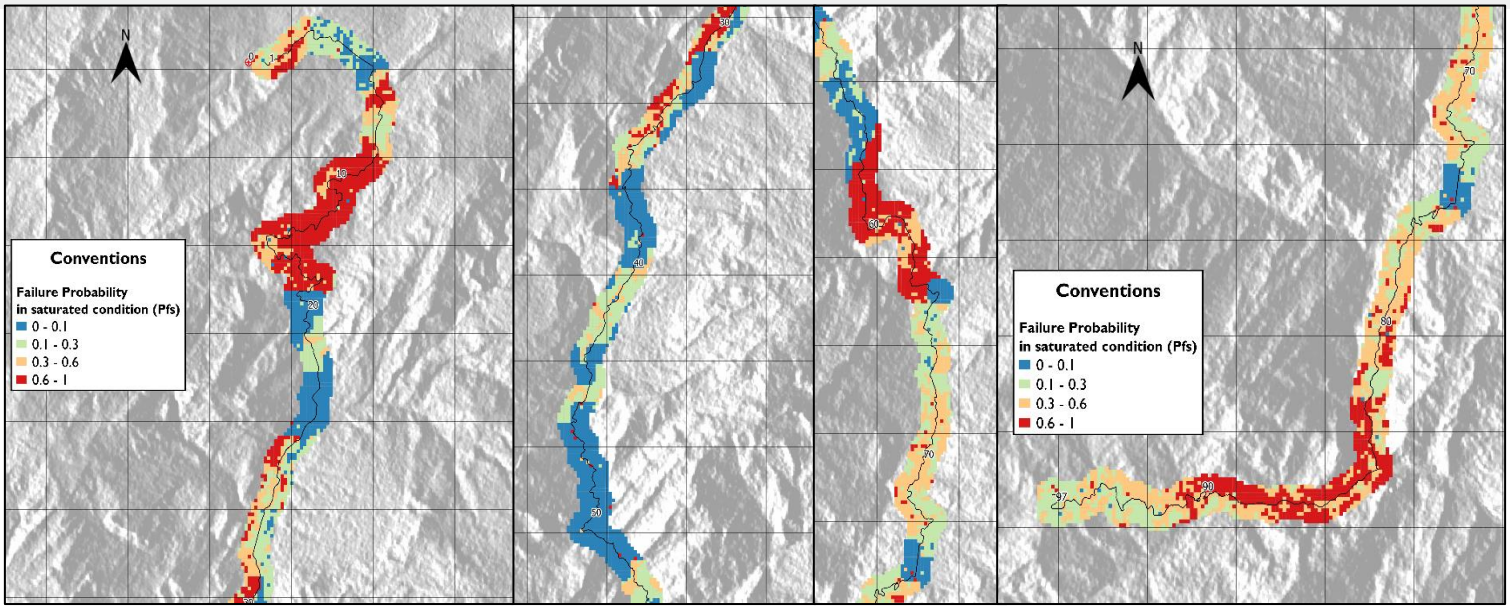
se observa una probabilidad mínima de 0.9 % y una máxima de 1.8 %, y la suma de las probabilidades parciales da como resultado la probabilidad temporal de falla del talud detonado por lluvias en toda la vía Tunja – Guateque con un valor del 95.43 %.



# Resultados y discusión

## Probabilidad de Falla por sismo condición saturada (Pfs)

La probabilidad de falla en condición saturada $P_{fs}$, presenta valores superiores al 60% e inferiores al 99% en las áreas resaltadas en rojo, esto se traduce a zonas propensas a deslizamientos por acción sísmica y coincide con el relieve cuyas pendientes se encuentran entre los 20° y 40°.

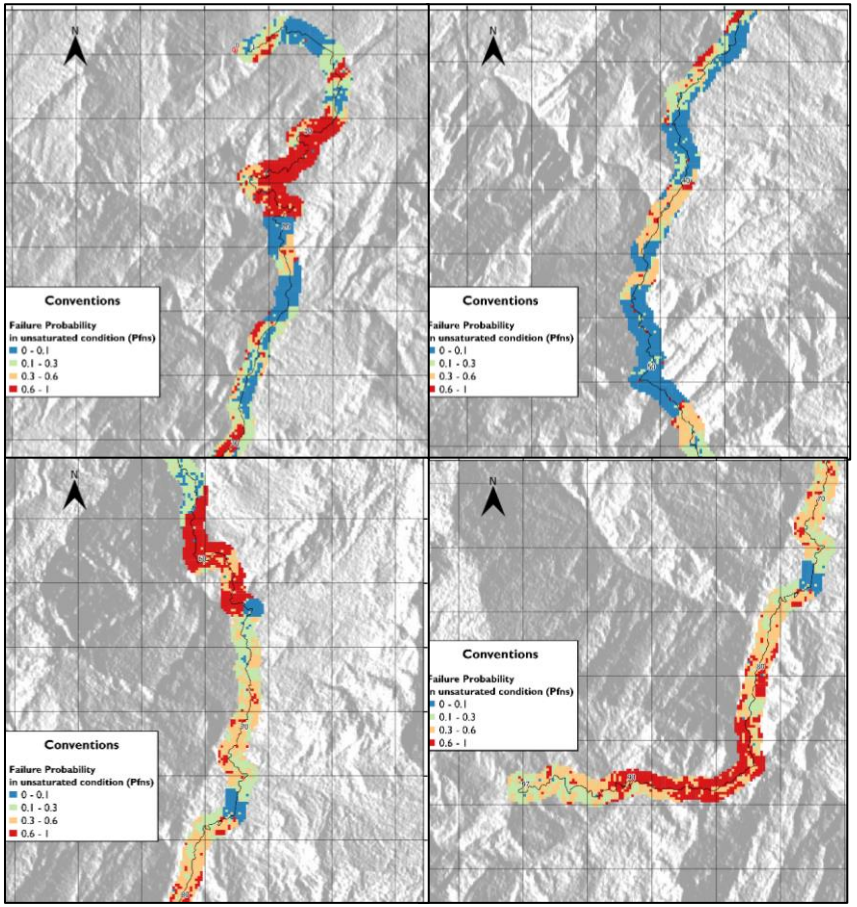


# Resultados y discusión

## Probabilidad de Falla por sismo condición no saturada (Pfns)

La probabilidad de falla en condición no saturada Pfns presenta los mayores valores en aquellas zonas que coinciden con las unidades geológicas tipo “Kit” (Shales, calizas, fosforitas, cherts y cuarzoarenitas).

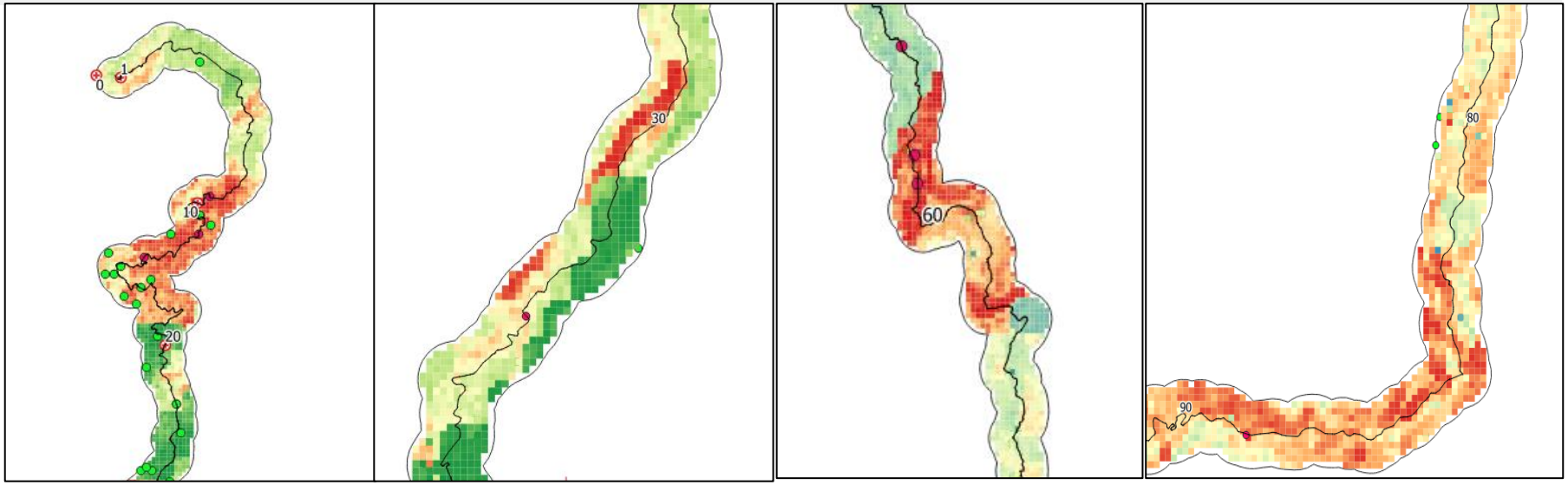
Esto representa que entre los kilómetros K10+000 a K20+000 y K55+000 a K65+000, son zonas producto de la meteorización de las rocas debido a la formación arenitas de las Juntas, cuyas propiedades geomecánicas del suelo presentan una cohesión baja, la cual genera que la probabilidad de falla en condición no saturada Hw=0 m sea mayor en esas áreas.



# Resultados y discusión

## Probabilidad de Falla total (Pft)

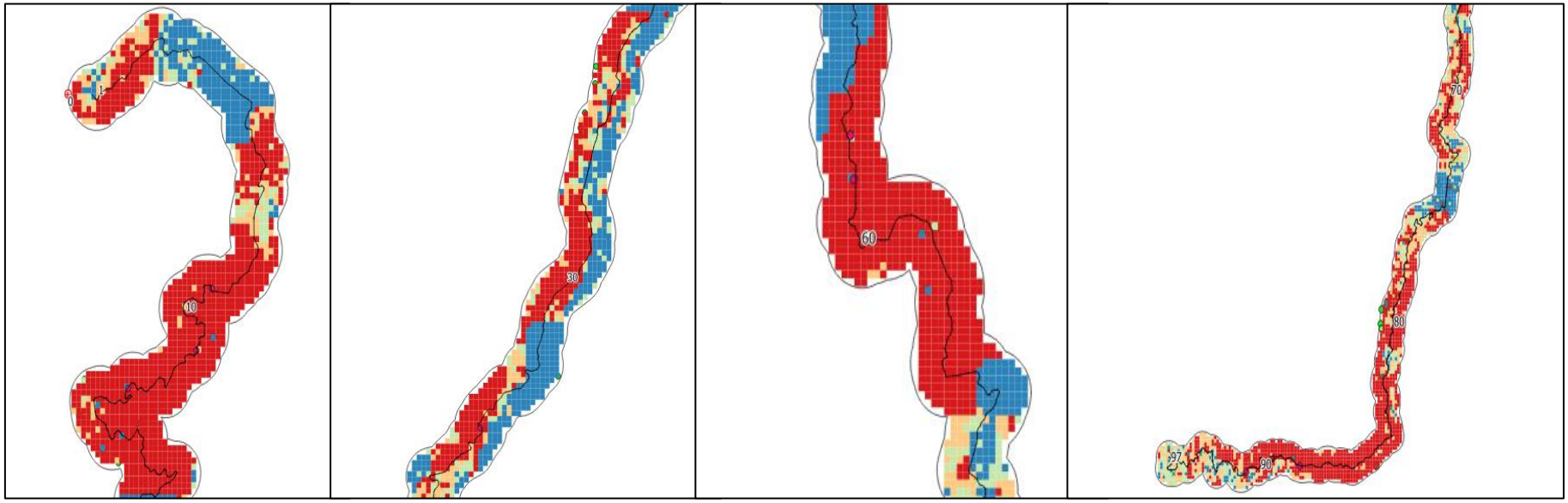
Se realizó el calculó de la probabilidad de falla total $P_{ft}$ suponiendo una distribución normal, debido al comportamiento de las variables independientes, hallando valores entre 9.52% y 94.97%.



# Resultados y discusión

## Probabilidad de falla  total anual

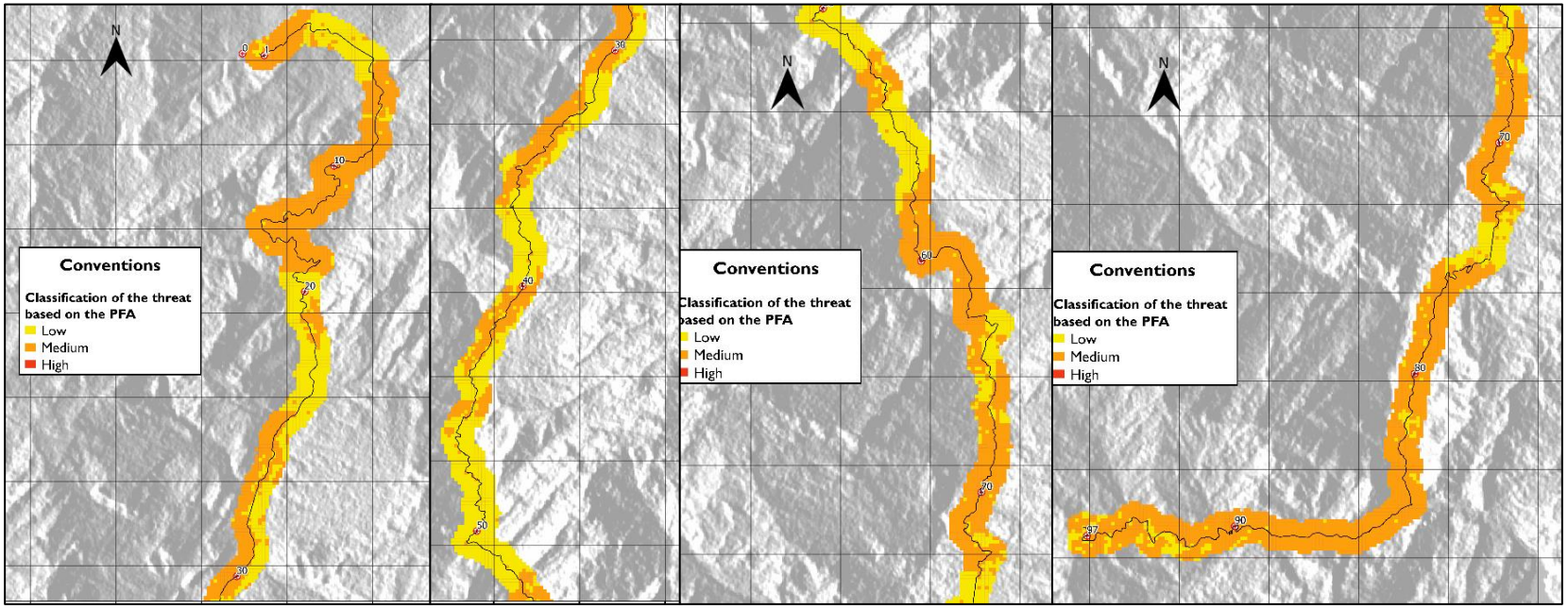
Obteniendo la probabilidad de falla total $P_{ft}$ se calcula la probabilidad de falla total anual correspondiente a un tiempo de retorno de 475 años, esta probabilidad de falla total anual varía entre $0.000002\%$ $y$ $0.21\%$.



# Resultados y discusión

## Probabilidad de falla anual y representación de la Amenaza

De acuerdo a las probabilidades obtenidas y considerando que la amenaza por deslizamiento puede ser clasificada con base en la probabilidad anual de falla en alto (PF anual>16%) medio (1%-16%) y bajo (<1%). (SGC,2016). El corredor vial Tunja- Guateque tiene un 38.78% en condiciones de amenaza por deslizamientos originados por precipitación y sismos en condición baja y un 61.22% en condiciones medias de amenaza.



# Conclusiones y Recomendaciones

- El umbral de falla debido a lluvias es de LA de 3 días con LAA de 15 días, donde se encuentran el 54% de los deslizamientos. Y está dado por la ecuación $R_3 = 20 - 0.20R_{15}$
- Los factores de seguridad calculados se ven afectados directamente por la profundidad de la superficie de falla y la condición saturada de los suelos debidas a las lluvias.
- Se observó que las zonas del corredor vial donde presenta mayor probabilidad de falla total se relacionan directamente con pendientes pronunciadas, mayores a 21°.
- Los deslizamientos presentados en el corredor vial Tunja- Guateque no son desencadenados solo por un agente detonante ya sea precipitación o actividad sísmica, sino la mezcla de ellos agudizado por la topografía presente en la zona.

# Conclusiones y Recomendaciones

- El modelo permitió la estimación de la amenaza en términos de probabilidades, lo cual permite alcanzar su apropiada categorización.
- El corredor vial Tunja- Guateque tiene un 38.78% de su longitud en condiciones de amenaza por deslizamientos originados por precipitación y sismos en condición baja y un 61.22% en condiciones medias de amenaza.
- Es recomendable continuar con el estudio del corredor vial de tal manera que se alcancen el análisis y la evaluación del riesgo adecuados con el propósito de proponer e implementar un Sistema de Alerta Temprana acorde.
- Se sugiere que esta metodología que pretende alcanzar la estimación y análisis de amenaza, vulnerabilidad, susceptibilidad y riesgo, pueda ser considerada como criterio de selección de ruta para la definición del trazado de proyectos de infraestructura vial en las condiciones prevalecientes de variabilidad climática, de tal manera que se busque disminuir los daños y pérdidas que se puedan presentar en este tipo de obras.

# Referencias bibliográficas


- Departamento Nacional de Planeación DNP, Índice Municipal de Riesgos de Desastres Ajustado por Capacidades, Reporte de julio, 2019. https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Prensa/IndicemunicipalRiesgos.pdf
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible y Corporación Autónoma Regional, CORPOCHIVOR. Formulación del plan general de ordenación forestal. Contrato interadministrativo de Cooperación n° 003-10, 2015. https://www.corpochivor.gov.co/wp-content/uploads/2015/11/Libro-Resumen.pdf
- Aristizábal Giraldo, E. V., Gómez Cardona, F. J., García Aristizábal, E. F., & Guzmán Martínez, J. C. (2020). Análisis de la amenaza por movimientos en masa detonados por sismo en los Andes colombianos, caso de estudio: Barbosa (Antioquia). Ciencia e Ingeniería Neogranadina, 30(2), 31-47. https://revistas.unimilitar.edu.co/index.php/rcin/article/view/4304
- Hidalgo Montoya, C. A., & Vega Gutiérrez, J. A. (2014). ESTIMACIÓN DE LA AMENAZA POR DESLIZAMIENTOS DETONADOS POR SISMOS Y LLUVIA (VALLE DE ABURRÁ-COLOMBIA). Revista EIA, 11(22). https://www.redalyc.org/pdf/1492/149237906009.pdf
- Aristizábal, E., González, T., Montoya, J. D., Vélez, J. I., Martínez, H., & Guerra, A. (2011). Análisis de umbrales empíricos de lluvia para el pronóstico de movimientos en masa en el Valle de Aburrá, Colombia. Revista EIA, (15), 95-111. http://www.scielo.org.co/pdf/eia/n15/n15a09.pdf

# Referencias bibliográficas


- SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO SGC (2016). Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa. ISBN: 978-958-99528-5-6, junio 2016, pp 33-47.
- Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS) (2009) Estudio general de amenaza sísmica de Colombia. Report, Comité AIS-300, Bogotá, DC. http://www.r-crisis.com/Content/files/EstudioGeneraldeAmenazaSismicadeColombia2009_AIS_lowres.pdf
- Ko Ko, C., Flentje, P., & Chowdhury, R. (2004). Landslides qualitative hazard and risk assessment method and its reliability. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 63(2), 149-165. https://www.scirp.org/(S(351jmbntvnsjt1aadkozje))/reference/referencespapers.aspx?referenceid=1358542
- Gómez, J. & Montes, N.E., compiladores. 2020. Mapa Geológico de Colombia en Relieve 2020. Escala 1:1 000 000. Servicio Geológico Colombiano, 2 hojas. Bogotá
- Hidalgo Montoya, C. A. (2013). Incertezas, vulnerabilidade e avaliação de risco devido a deslizamento em estradas. https://repositorio.unb.br/handle/10482/13906
- Hidalgo Montoya, C. A., & Pacheco de Assis, A. (2011). Herramientas para análisis por confiabilidad en geotecnia: La teoría. Revista Ingenierías Universidad de Medellín, 10(18), 69-78. https://revistas.udem.edu.co/index.php/ingenierias/article/view/338

# Referencias bibliográficas


- Hidalgo Montoya, C. A., & Pacheco de Assis, A. (2011). Herramientas para análisis por confiabilidad en geotecnia: Aplicación. Revista Ingenierías Universidad de Medellín, 10(18), 79-86. https://revistas.udem.edu.co/index.php/ingenierias/article/view/339
- BAECHER, C. & CHRISTIAN, J. T. (2003), Reliability and Statistics in Geotechnical Engineering. John Wiley & Sons, England. pp 17-376.
- Fenton, G. A., & Griffiths, D. V. (2007). Review of probability theory, random variables, and random fields. In Probabilistic methods in geotechnical engineering (pp. 1-69). Springer, Vienna: p 1-69. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-211-73366-0_1
- Vega Gutierrez, J. A. (2013). Estimación del riesgo por deslizamientos de laderas generados por eventos sismicos en la ciudad de Medellín usando herramientas de la geomática (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de La Plata). http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/29001
- Servicio Geológico Colombiano SGC. Guía metodológica para la zonificación de amenaza por movimientos en masa escala 1:25.000, Dirección de Geoamenazas Grupo de Evaluación de amenaza por movimientos en masa, Bogotá, Colombia, diciembre 2017. https://www2.sgc.gov.co/Archivos/GM(2017).pdf

XVII CCG
ISSAG 2022
Cartagena

SCG

50 años
1971-2021

# ¡GRACIAS!

**¿Preguntas?**

Maria.penaloza@uptc.edu.co

XVII CONGRESO COLOMBIANO DE GEOTÉCNIA "EVALUACIÓN Y GESTIÓN DE RIESGOS GEOTÉCNICOS CON ÉNFASIS EN LOS EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO"

14 al 18 de Noviembre de 2022

# RECOMENDACIONES DE CÓMO CONSIDERAR LA AMENAZA SÍSMICA EN LAS EVALUACIONES DE AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA

**Nelson Perico, Fernando Díaz-Parra, Leonardo Mateus**

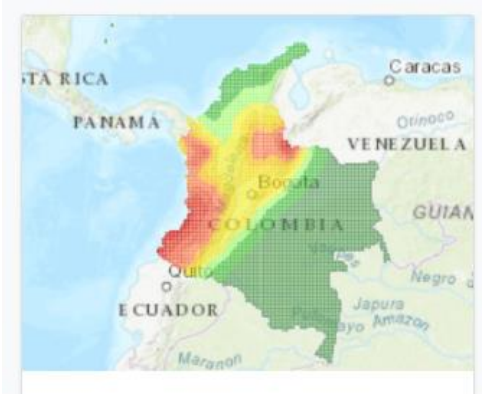
**NELSON PERICO GARCIA**
**IC, contratista**
**Servicio Geológico Colombiano**

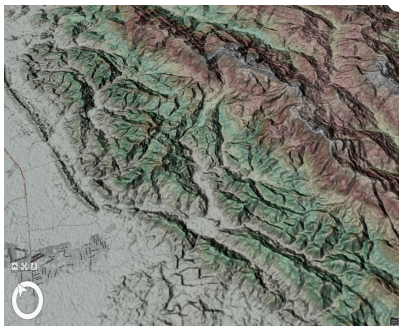
Sociedad Colombiana de Geotecnia

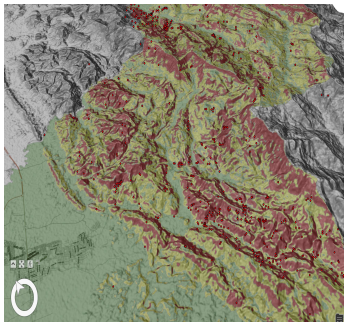
50 años
1971-2021

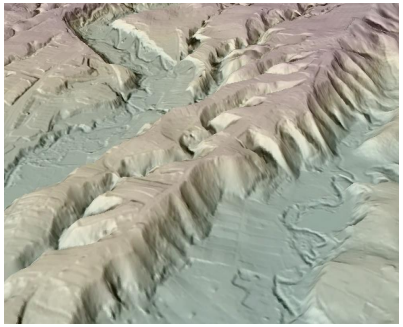
# CONTENIDO

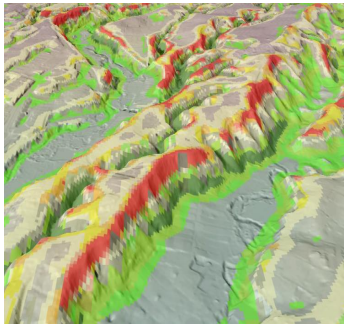
1. Introducción
2. **Escala nacional**
3. **Escala regional**
4. **Escalas locales**
5. Resumen



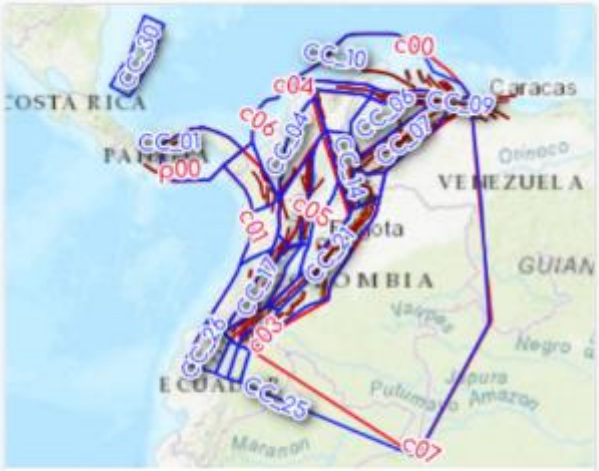






# Introducción

## amenazasismica.sgc.gov.co



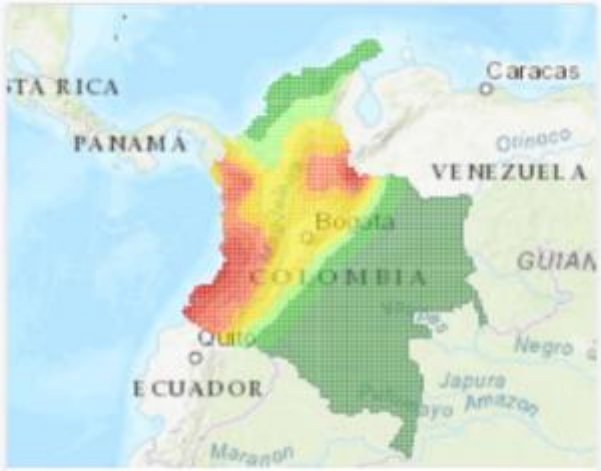

**Modelo de fuentes sismogénicas**

La definición de fuentes sismogénicas corresponde a una caracterización del territorio según el tamaño y frecuencia de los sismos que pueden generarse. Aquí se describe las geometrías de los ambientes tec...

amenaza

View

Updated by **mmorac**
on *Feb 11, 2019*




**Resultados de amenaza en roca**

Resultados del modelo probabilista de amenaza sísmica nacional en roca, sobre una grilla con un espaciamiento de 0.1 grados (aprox. 10 km).

Localice punto más cercano digitando la longitud y latitud [#.## #.##] en la casilla de busqueda.

amenaza

View

Updated by **mmorac**
on *Jul 18, 2019*

**Resultados de amenaza en roca para centros poblados**

Resultados del modelo probabilista de amenaza sísmica nacional en roca, para cada uno de los centros poblados definidos en el Marco Geoestadístico Nacional (DANE).

Click aquí para la búsqueda de resultados por centro pobaldo.

amenaza

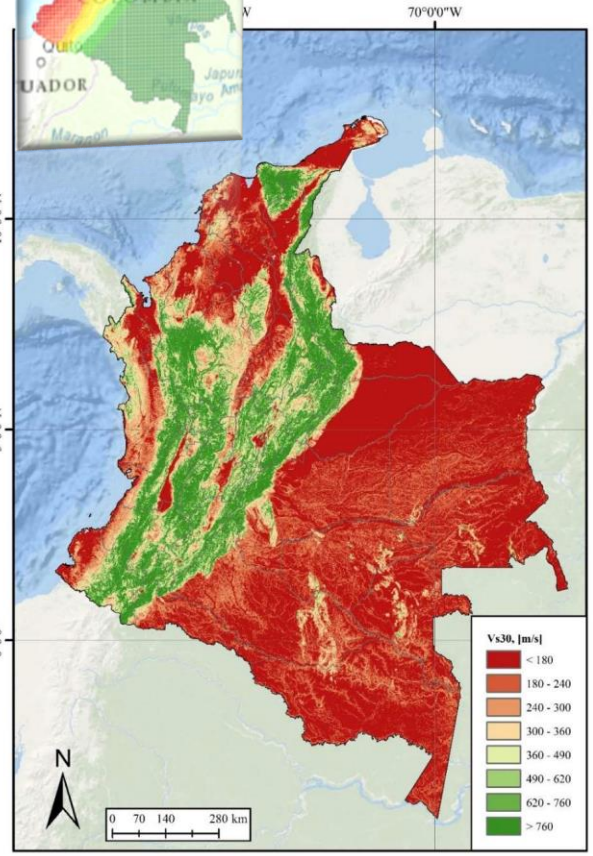
View

Updated by **dvigano**
on *Feb 22, 2019*

# Escala nacional

Mapa de Vs30 integrado para Colombia (Erazo & Montejo, 2020)

- Mapa nacional de PGA en superficie (SGC, 2019 – mapa de intensidad esperada)
- Factores de amplificación desde roca de Vs30=760 m/s (Seyhan & Stewart, 2014)



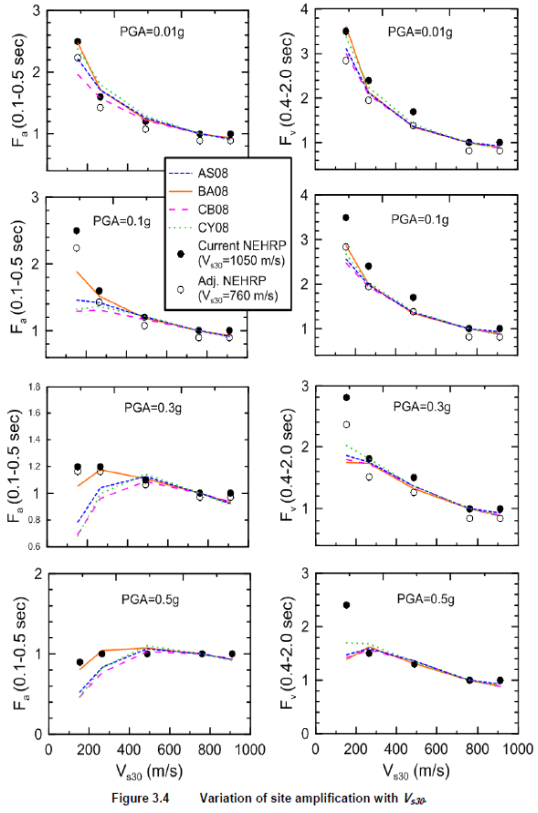
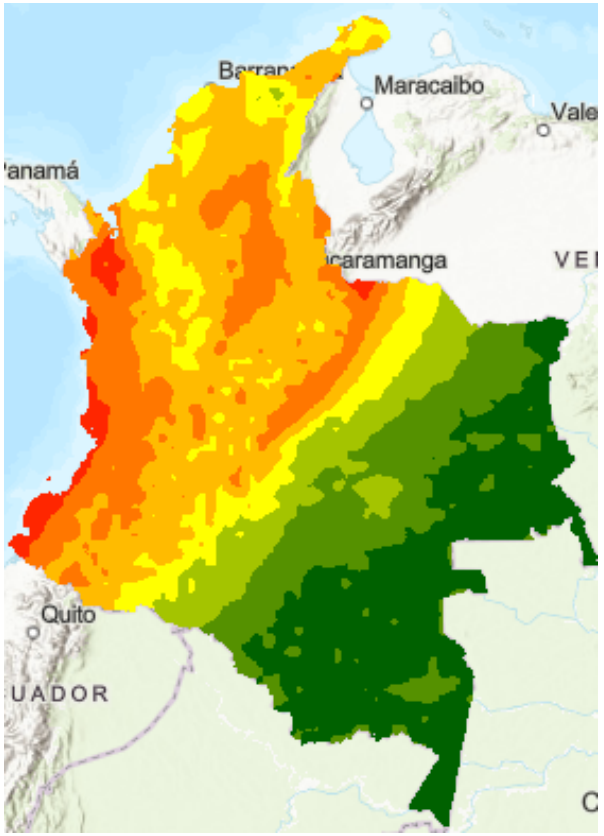




Figure 3.4 Variation of site amplification with $V_{s30}$

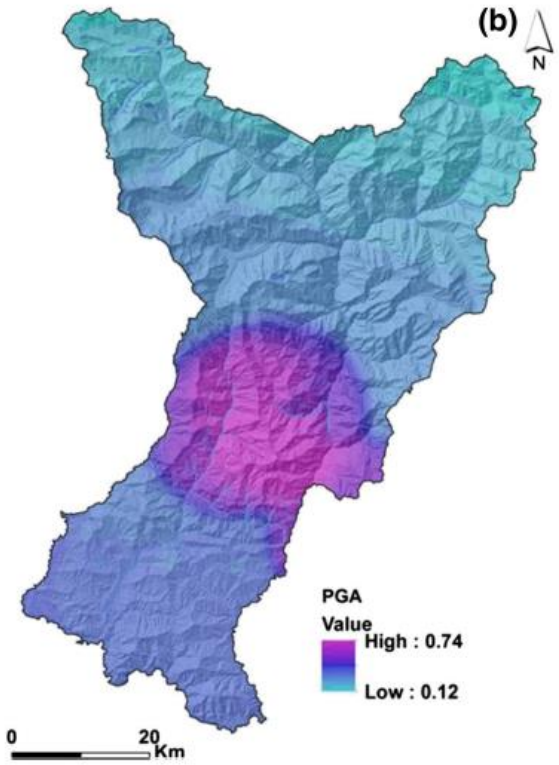


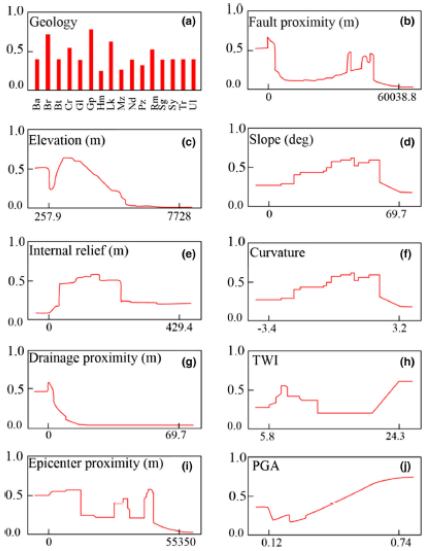
## A Global Empirical Model for Near-Real-Time Assessment of Seismically Induced Landslides

M. A. Nowicki Jessee[1], M. W. Hamburger[1], K. Allstadt[2], D. J. Wald[2], S. M. Robeson[1], H. Tanyas[3], M. Hearne[2], and E. M. Thompson[2]

## Assessment of seismically-induced landslide susceptibility after the 2015 Gorkha earthquake, Nepal

Suchita Shrestha[1] · Tae-Seob Kang[1]




$$Z = -22.742 + (0.113\ \text{curvature}) - (0.005\ \text{aspect}) + (0.011\ \text{distance from lineament}) - (0.035\ \text{distance from river}) + (0.037\ \text{altitude}) + (0.001\ \text{geology}) - (0.016\ \text{LULC}) + (0.018\ \text{PGA8}) + (0.013\ \text{rainfall}) + (0.022\ \text{slope}) + (0.031\ \text{soil texture}) + (0.001\ \text{soil type}) - (0.07\ \text{SPI}) + (0.024\ \text{TWI}). \quad (7)$$

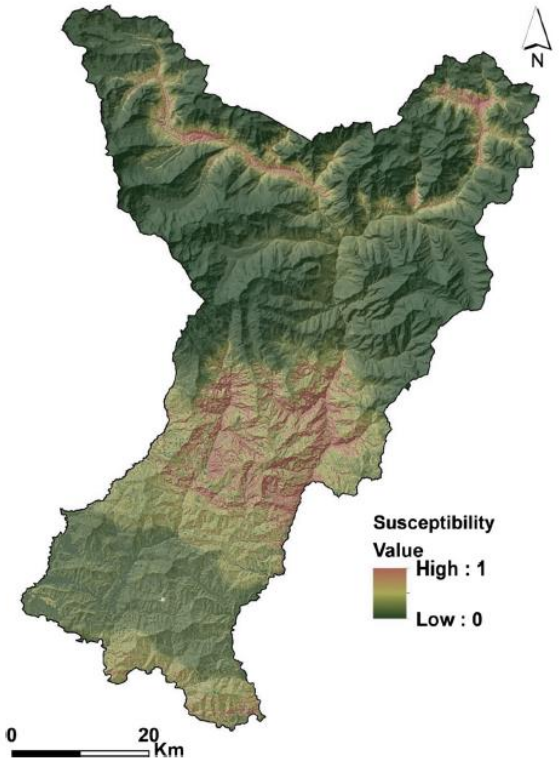
$$t = \text{Logit}(P) = a + b \times \ln(\text{PGV}) + c \times \textit{Slope} + d \times \textit{Lithology} + e \times \textit{Land Cover} + f \times \textit{CTI} + g \times \ln(\textit{PGV}) \times \textit{Slope},$$

$$P(t) = \frac{1}{1 + e^{-t}}$$

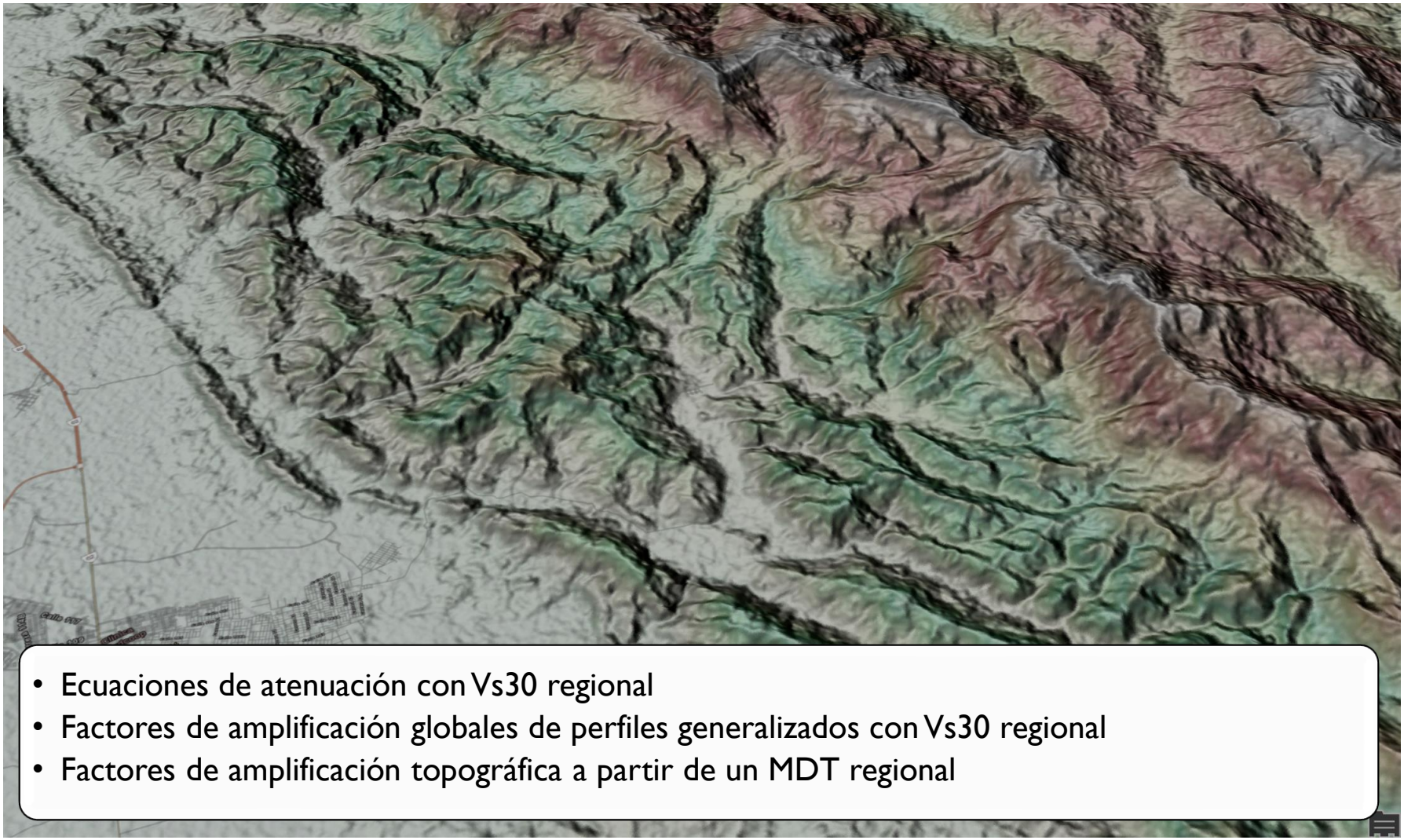
## Earthquake induced landslide susceptibility mapping using an integrated ensemble frequency ratio and logistic regression models in West Sumatera Province, Indonesia

Zahrul Umar [a], Biswajeet Pradhan [b,*], Anuar Ahmad [a], Mustafa Neamah Jebur [b], Mahyat Shafapo

[a] Department of Geomatic Engineering, Faculty of Geoinformation and Real Estate, Universiti Teknologi Malaysia, Skudai, Johor, Malaysia
[b] Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Universiti Putra Malaysia (UPM), 43400 Serdang, Selangor, Malaysia



# Escala regional



- Ecuaciones de atenuación con Vs30 regional
- Factores de amplificación globales de perfiles generalizados con Vs30 regional
- Factores de amplificación topográfica a partir de un MDT regional

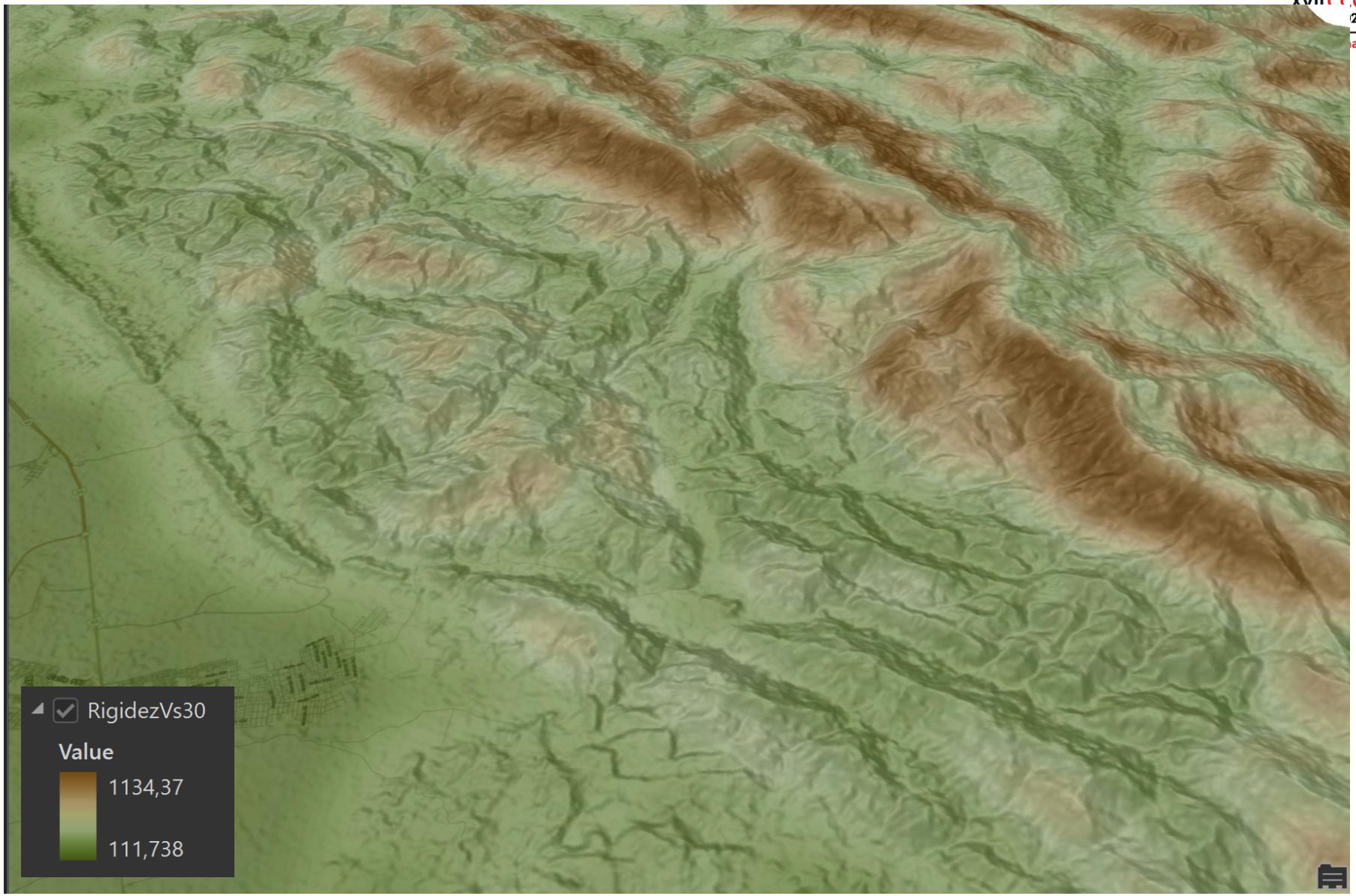
PGAroca475

Value

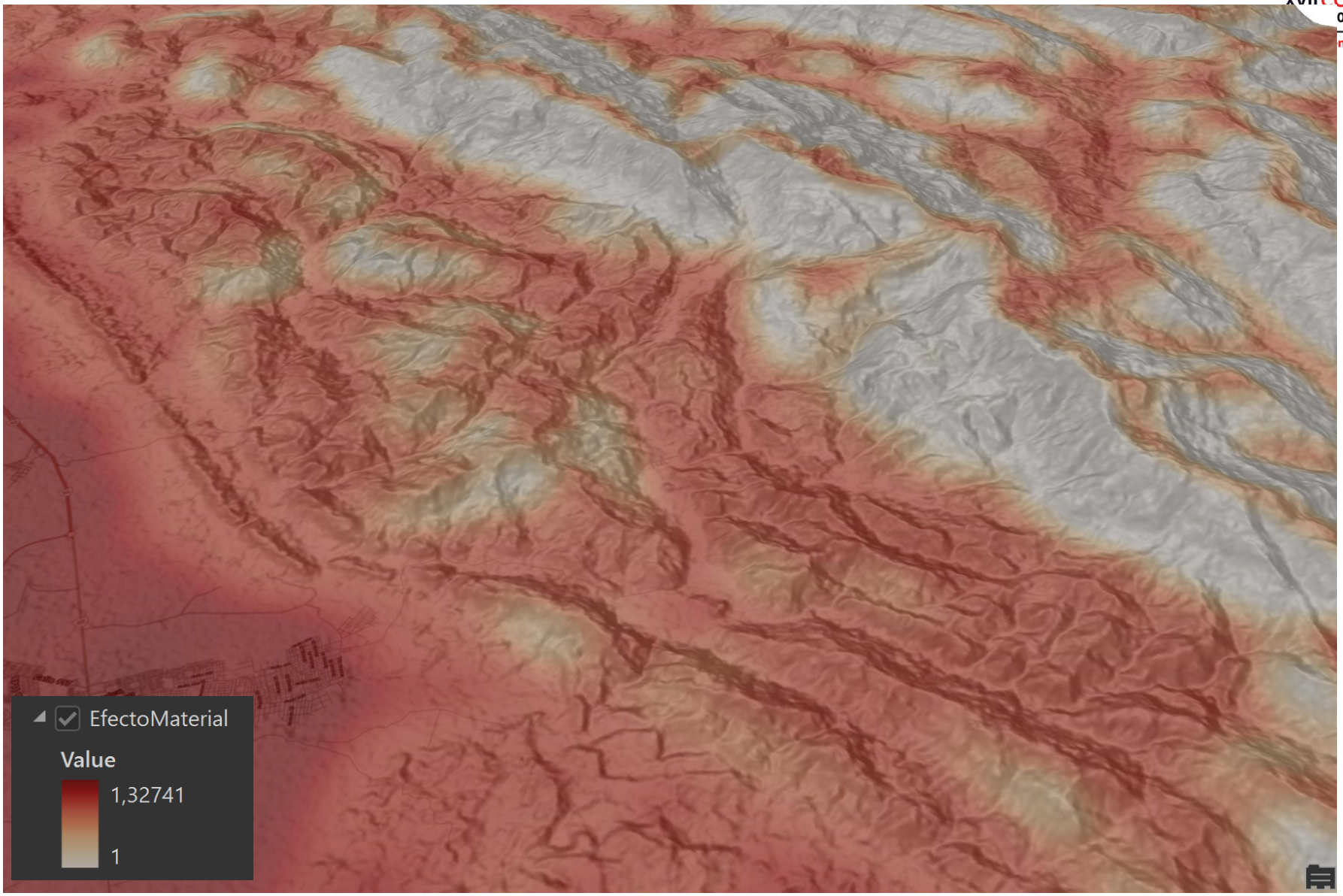
0,255663

0,123088

## Aceleración en roca

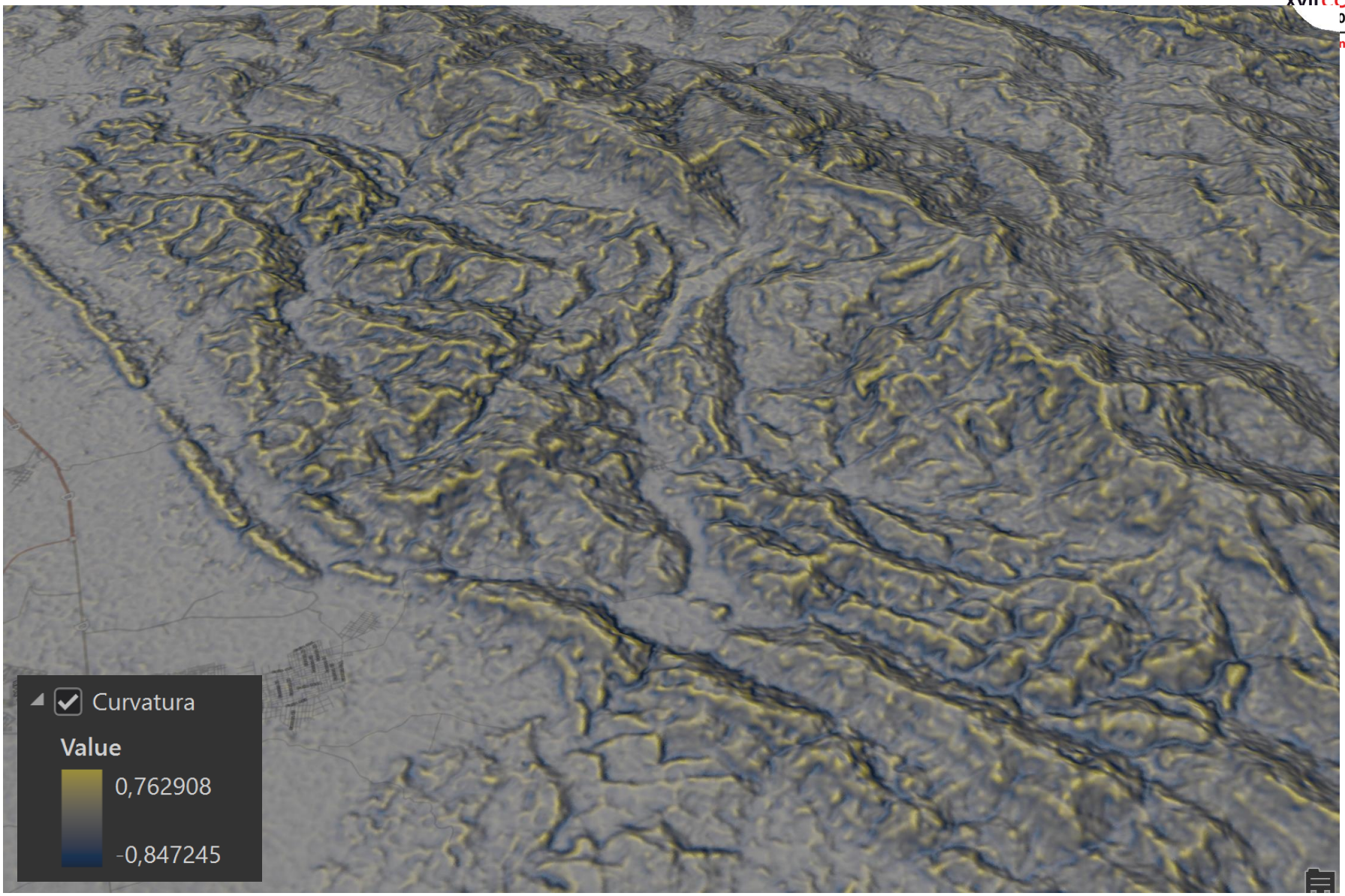



Vs30 regional



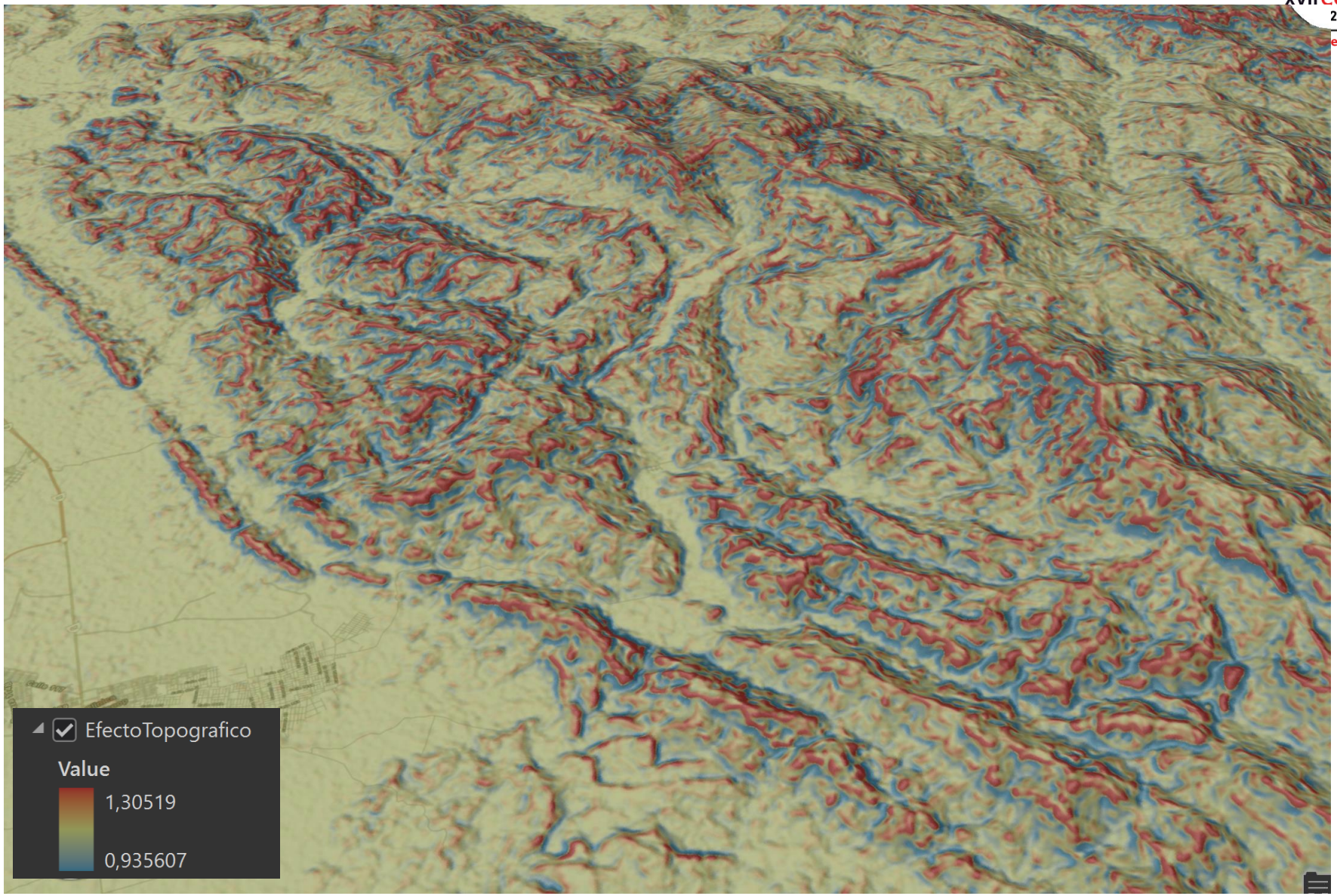

Sociedad Colombiana de Geotecnia
50 años
1971-2021

**Factor de amplificación por efecto de los materiales**



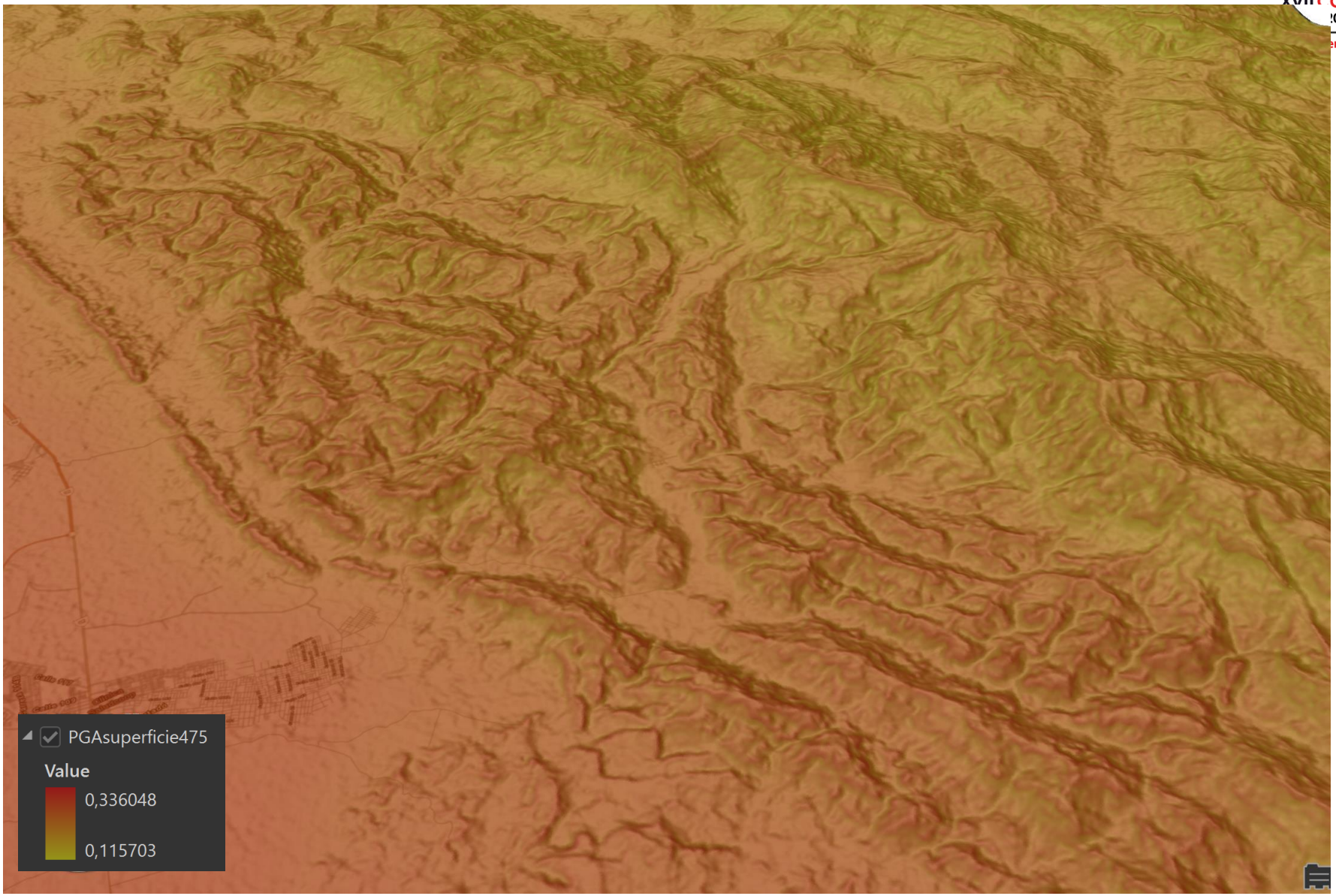

Curvatura del terreno

Pendiente del terreno

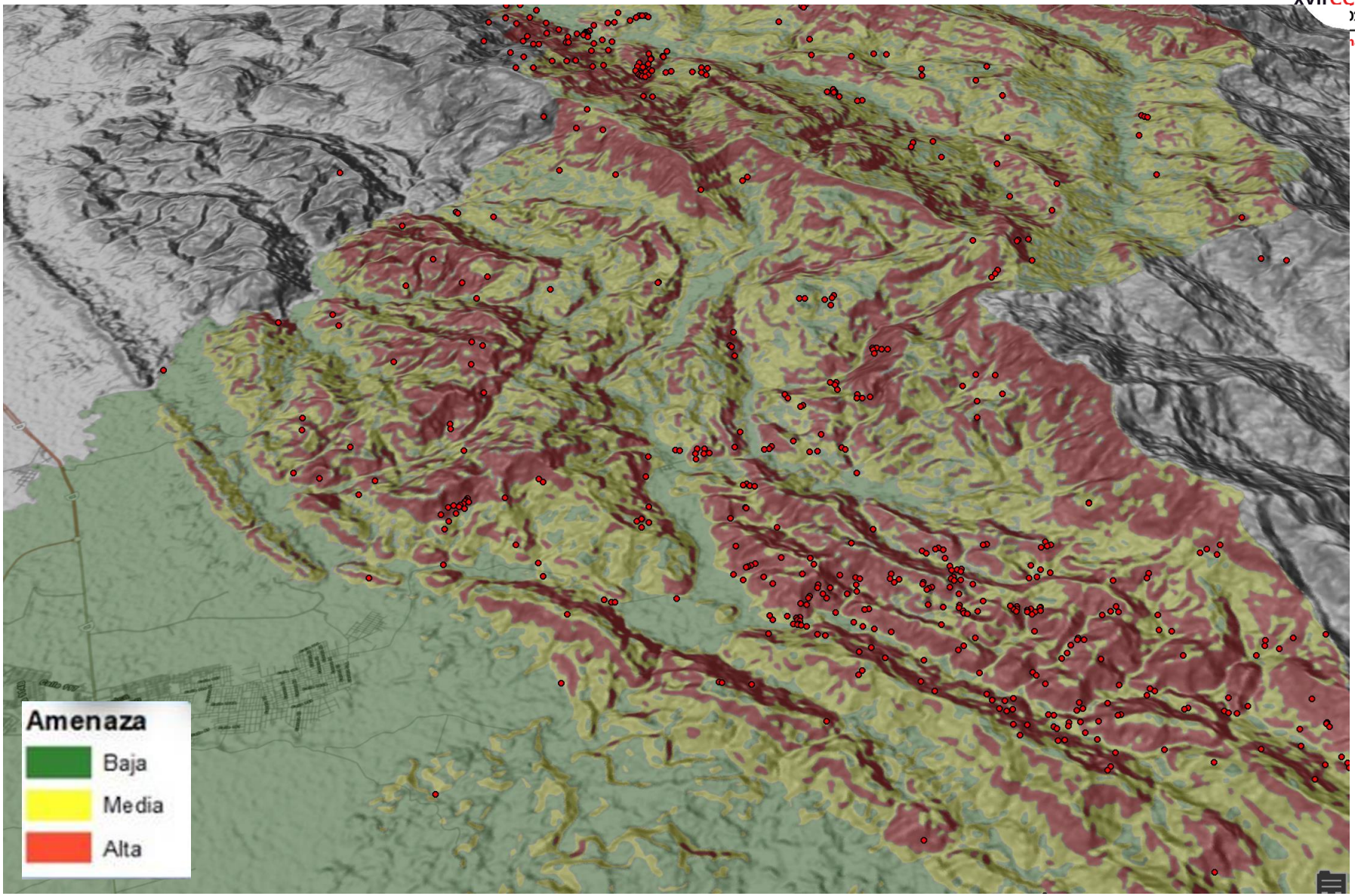



## Factor de amplificación por efecto topográfico

SGC (2022), Molina (2019), Paolucci (2002), Jibson (1987), Faccioli (1991), AFPS (1995) …




Aceleración en superficie



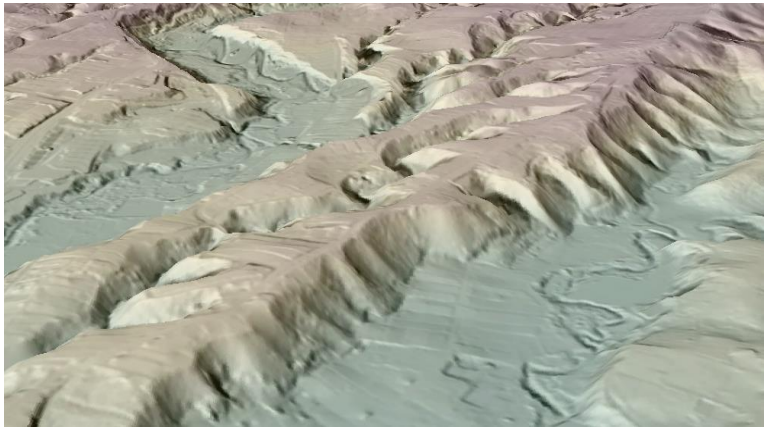


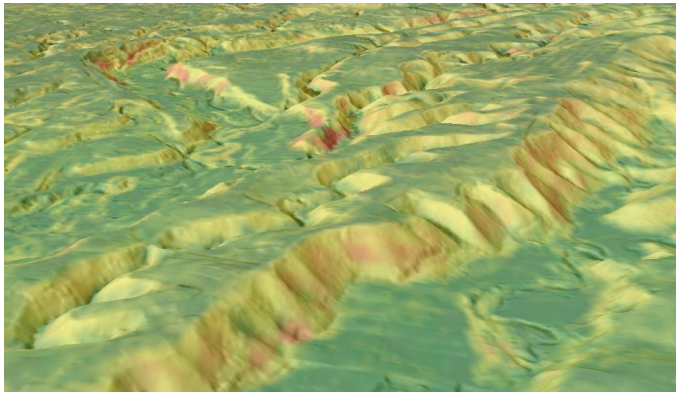

Amenaza por movimientos en masa

# Escalas locales

- Funciones y factores de amplificación de perfiles típicos de una zonificación de respuesta sísmica o estudios de efectos locales.
- Factores de amplificación topografía a partir de un MDT local o modelación 2D.

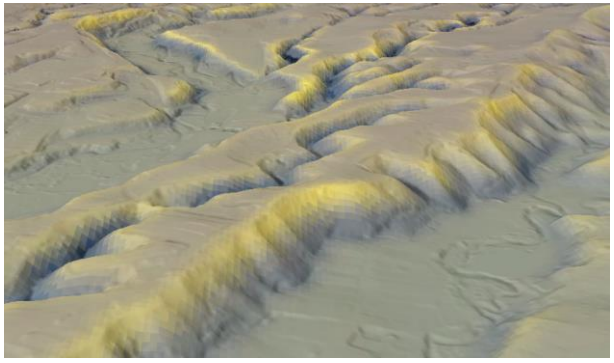
Modelo de elevaciones HDTM



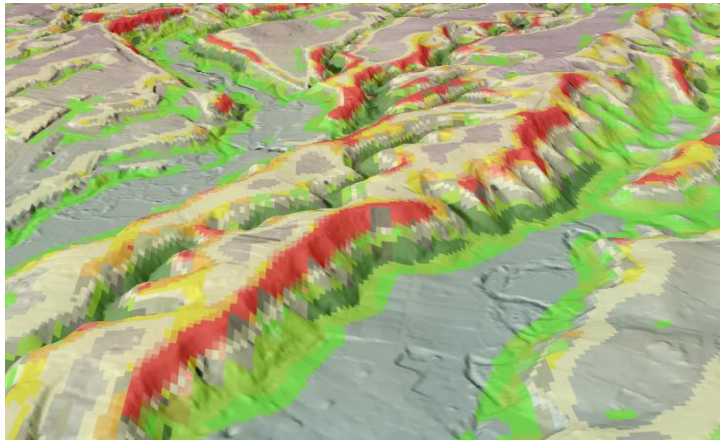


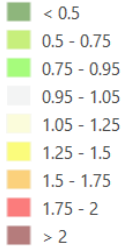
Pendiente del terreno

Correlaciones previamente estimadas en análisis 2D
Amplificación f ( pendiente, curvatura, ordenada espectral)



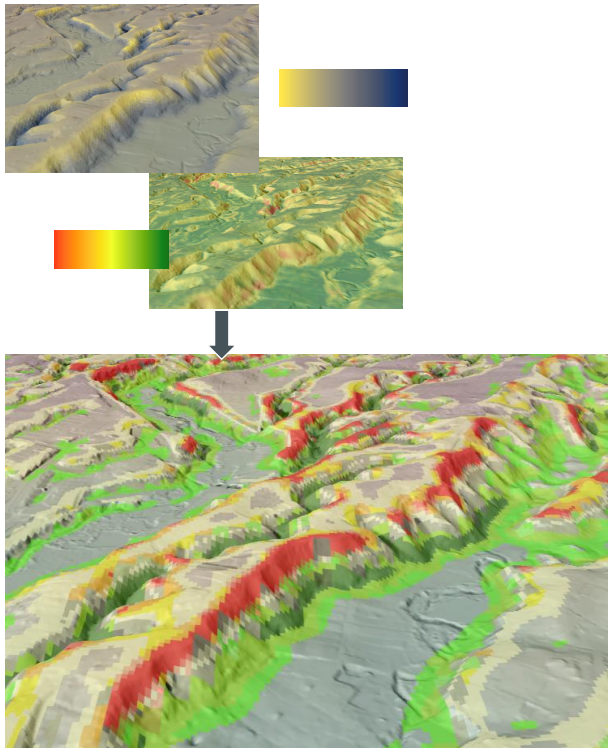
Curvatura del terreno

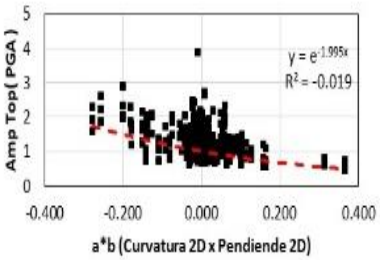


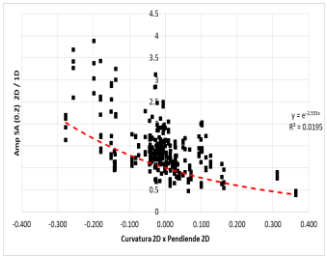


# Escalas locales

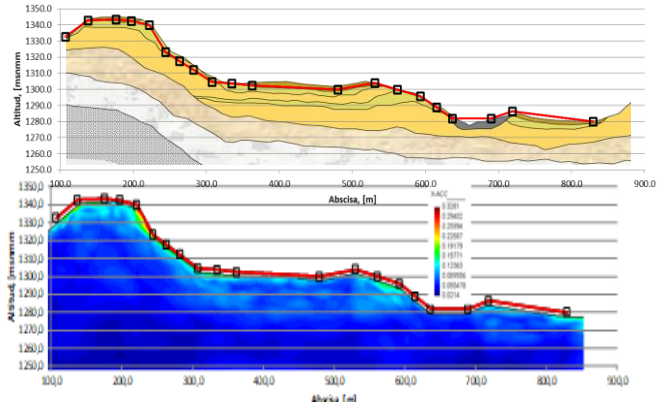
Correlaciones previamente estimadas en análisis 2D
Amplificación f ( pendiente, curvatura, ordenada espectral)





Amplificación por efecto topográfico particular para
PGA, Sa 0.2s y Sa 1s




- ✓ El periodo de retorno del detonante sísmico cobra relevancia según el método de análisis y se selecciona en función del objetivo de evaluación de amenaza y riesgo por MM.
- ✓ Separarse del uso de los coeficientes sísmicos dados en los reglamentos de edificaciones y de puentes, toda vez que estos consideran aspectos propios para ser aplicados a las estructuras.
- ✓ El MNAS ofrece información completa y pública para los distintos análisis de amenaza y riesgo por MM.

# Resumen

| Escala | Aplicación | Método de análisis de la amenaza por movimientos en masa | Método de análisis del detonante sismo incluyendo efectos de sitio |
|---|---|---|---|
| **Nacional**<br>100k o menor | Planeación nacional<br>PNGRD | **Heurístico, estadístico**<br>Ponderación del detonante con pesos. | PGA en superficie usando el $Vs_{30}$ Nacional y ecuaciones de atenuación con $Vs_{30}$. |
| **Regional**<br>25k | Macrocuencas<br>POMCA<br>EIA, OT<br>PDGRD, PMGRD<br>Infraestructura Fase I | **Heurístico, estadístico**<br>Ponderación del detonante con pesos.<br>**Determinístico**<br>Modelo de estabilidad seudoestático y calcula factor de seguridad. | PGA en superficie con efecto topográfico.<br>• Opción 1. Ecuaciones de atenuación con $Vs_{30}$.<br>• Opción 2. Factor de amplificación con $Vs_{30}$.<br>Amplificación topográfica con curvatura y pendiente. |
| **Semidetallada**<br>5k, 10k | PMAM<br>EIA<br>OT<br>PMGRD<br>Infraestructura Fase II | **Determinístico**<br>Modelo de estabilidad seudoestático y calcula factor de seguridad. | PGA en superficie con efecto topográfico.<br>• Opción 1. Zonificación de respuesta sísmica.<br>• Opción 2. Factor de amplificación con $Vs_{30}$.<br>Amplificación topográfica con curvatura y pendiente. |
| **Detallada**<br>mayor a 5k | EIA<br>POT<br>GRD local<br>Infraestructura Fase III | **Determinístico**<br>Modelo de estabilidad pseudoestático y calcula factor de seguridad.<br>**Probabilístico**<br>Modelo de estabilidad seudoestático y calcula probabilidad de falla. | PGA en superficie con efecto topográfico.<br>• Opción 1. Estudio particular de respuesta local.<br>• Opción 2. Zonificación de respuesta sísmica.<br>• Opción 3. Factor de amplificación con Vs30.<br>Amplificación topográfica con curvatura y pendiente o de la modelación 2D del perfil del sitio. |

XVII CCG
I SSAG 2022
Cartagena

SCG

50 años
1971-2021

# ¡GRACIAS!

**¿Preguntas?**

ndperico@sgc.gov.co

**XVII CONGRESO COLOMBIANO DE GEOTÉCNIA "EVALUACIÓN Y GESTIÓN DE RIESGOS GEOTÉCNICOS CON ÉNFASIS EN LOS EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO"**

**14 al 18 de Noviembre de 2022**

XVII CCG
ISSAG 2022
Cartagena

# SISTEMA DE CONTROL DE EROSIÓN Y ESTABILIZACIÓN DE TALUDES PARA BAJOS ESPESORES G-GREEN

**DIEGO FERNANDO OTERO**
**Coordinador técnico Centro América**
**Pavco Wavin**

Sociedad Colombiana de Geotecnia

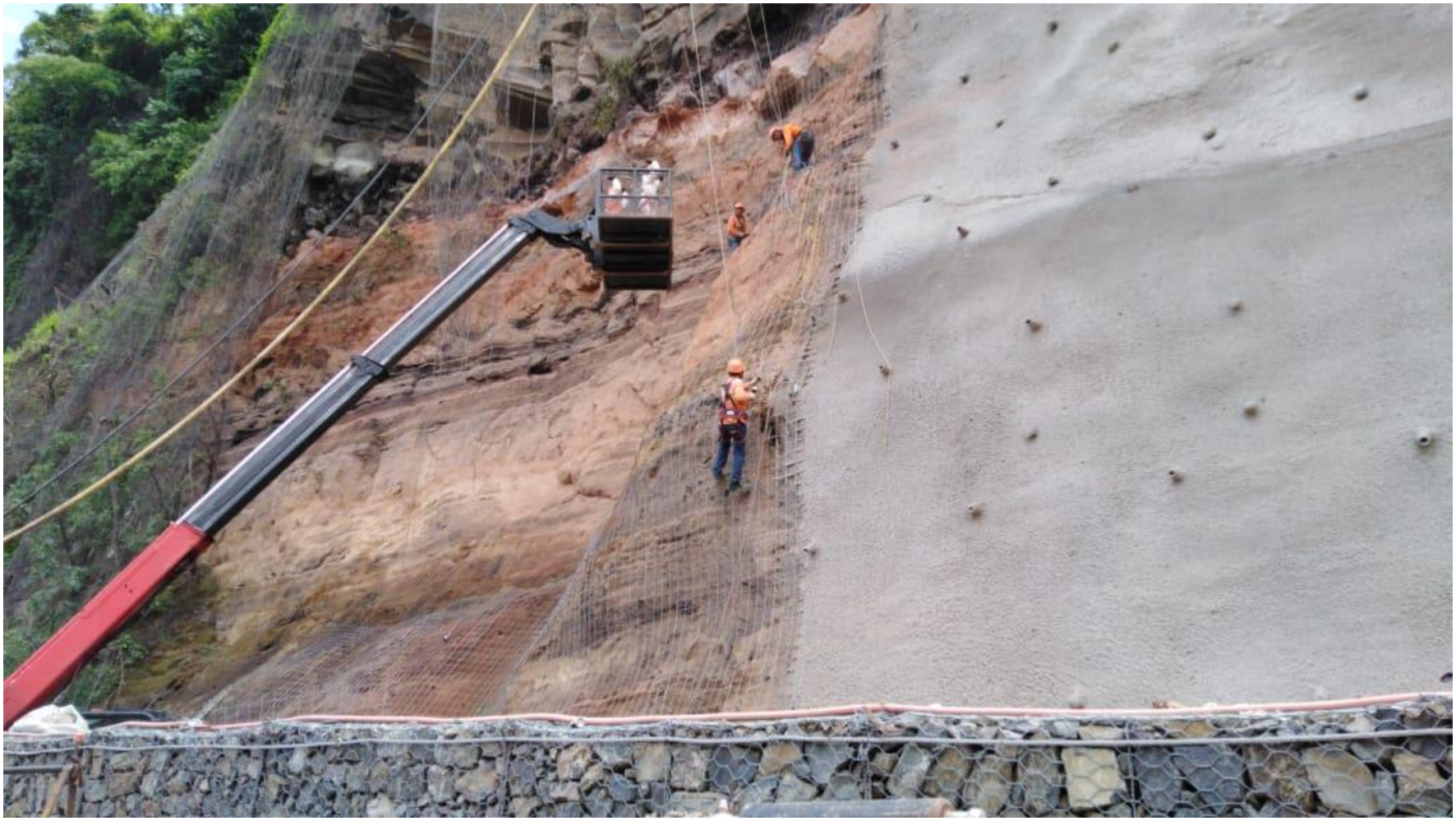
50 años
1971-2021

# CONTENIDO

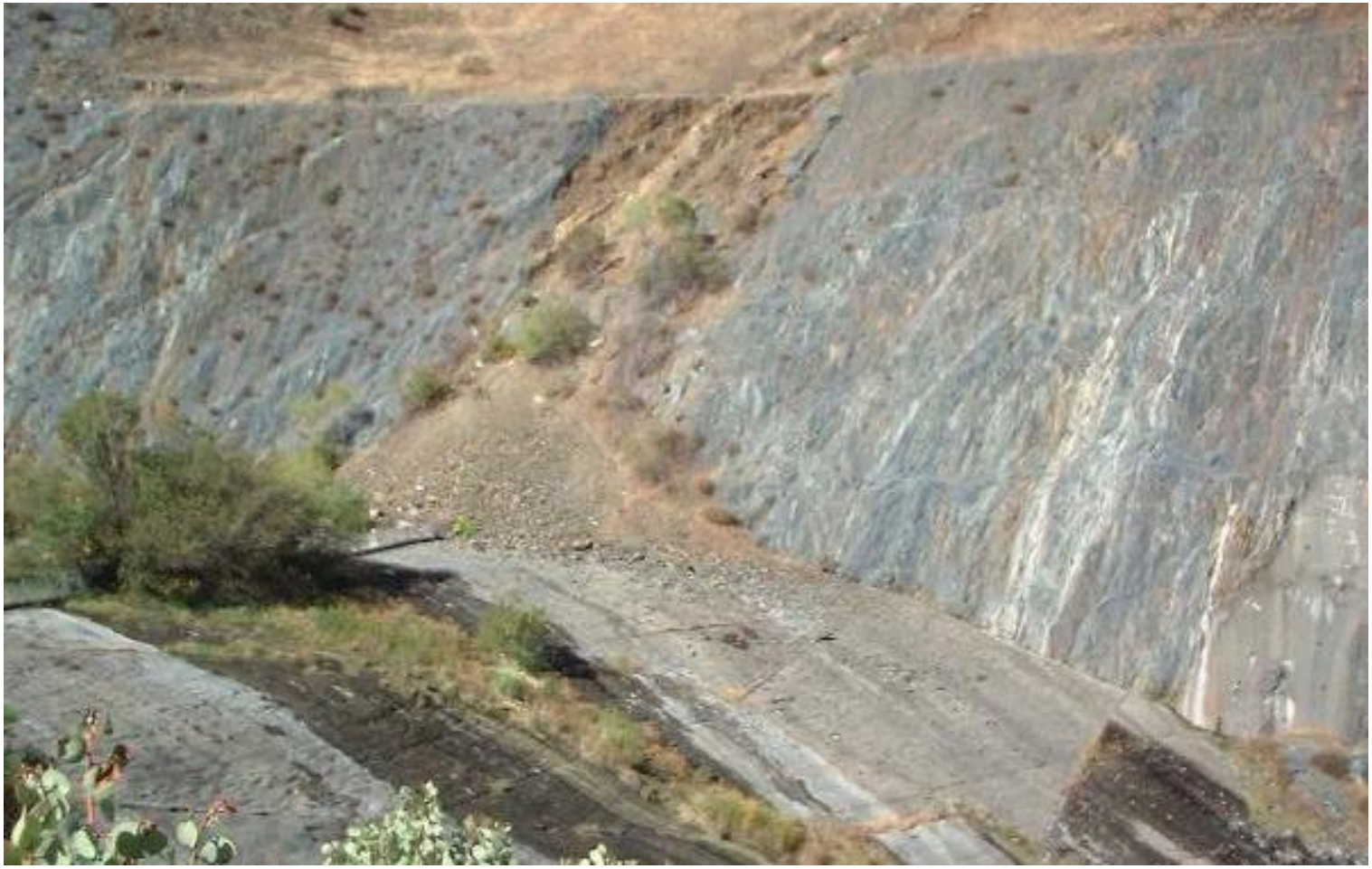
1. Problemática (Solución tradicional)
2. Nueva Ingenieria
3. Componentes
4. Cuando aplicarla
5. Precauciones

# 1. Problemática (Solución Tradicional)

# 1. Problemática (Solución Tradicional)



# 1. Problemática (Solución Tradicional)



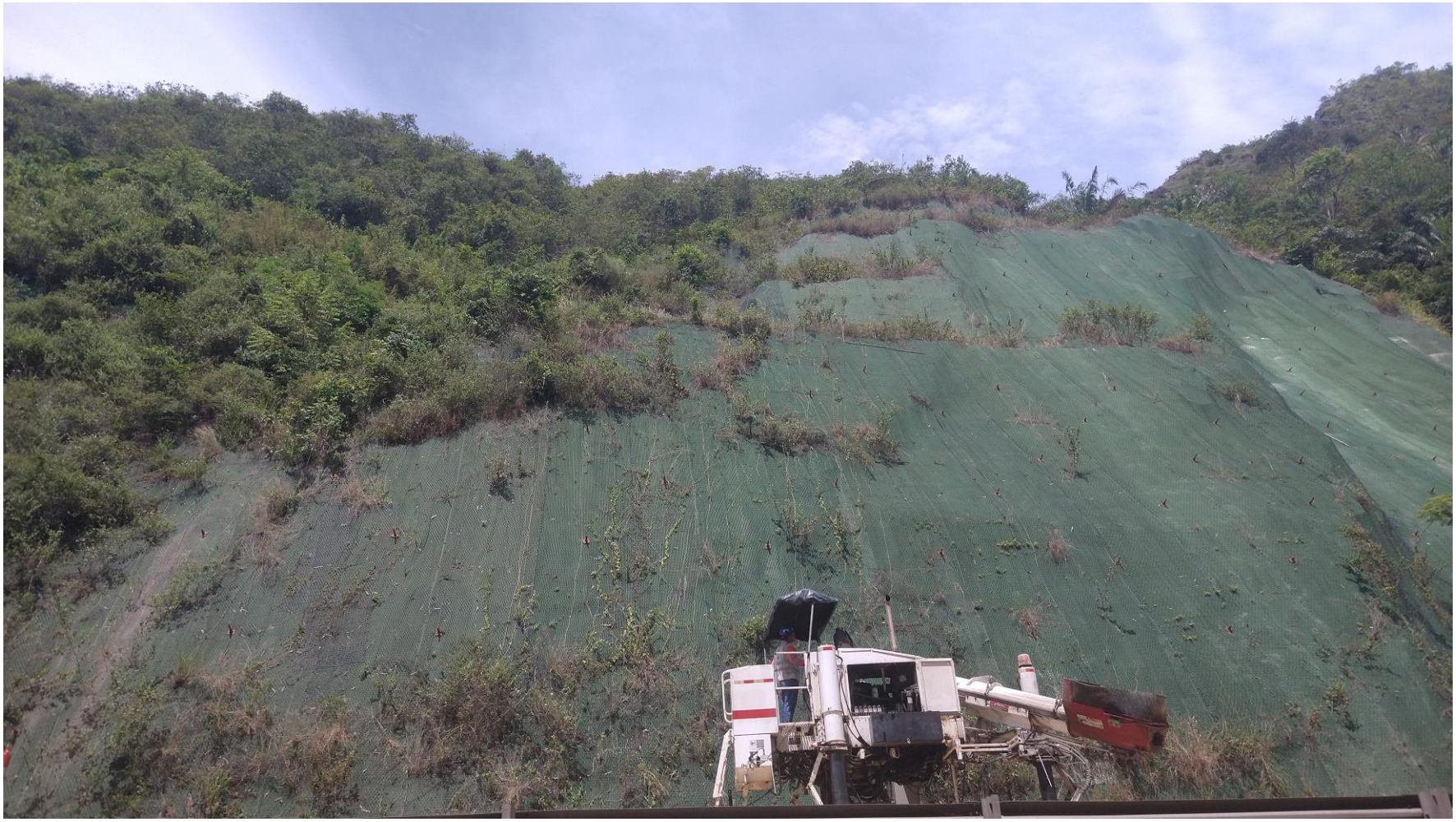
# 1. Problemática (Solución Tradicional)

# 1. Problemática (Solución Tradicional)

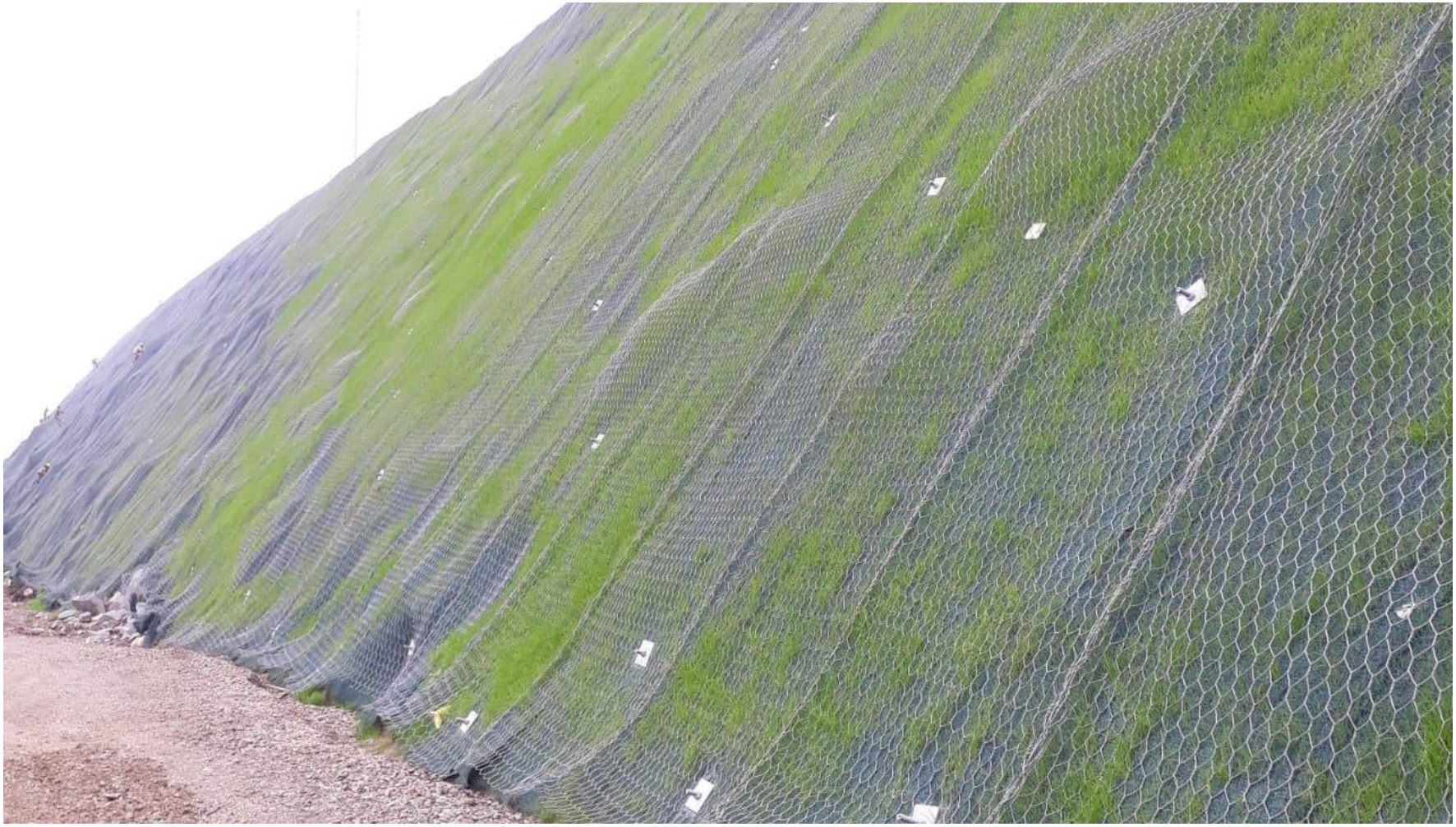
# 2. Nueva Ingenieria

# 2. Nueva Ingenieria

# 2. Nueva Ingenieria



# 2. Nueva Ingenieria



# 2. Nueva Ingenieria

Capítulo 8 - OBRAS VARIAS **Art. 850**

## Geobioingeniería

**Artículo 850 - 22**

# 2. Nueva Ingenieria

### 850.2.7 Sistema compuesto para control de erosión

El conjunto de materiales que conforman un sistema compuesto para control de erosión son:

#### 850.2.7.1 Geotextil

Se pueden utilizar geotextiles tejidos o no tejidos elaborados a partir de polímeros sintéticos de cadena larga, compuestos por con un porcentaje mínimo del noventa y cinco por ciento (95%) en masa de poliolefinas o poliéster y debe cumplir con los requisitos establecidos en el artículo 231, Separación de suelos de subrasante y capas granulares con geotextil, de las presentes especificaciones de construcción.

#### 850.2.7.2 Manto

Se pueden utilizar mantos permanentes para control de erosión de acuerdo con los requisitos establecidos en el artículo 811, Protección de taludes con productos enrollados para control de erosión, numeral 811.2.2 Productos enrollados permanentes para control de erosión, de acuerdo con los diseños de ingeniería del proyecto.

#### 850.2.7.3 Malla metálica

Las mallas metálicas son elementos bidimensionales, compuestos por alambres de alta resistencia, dispuestos en configuración hexagonal y/o romboidal, cuya flexibilidad y resistencia permiten su fácil adaptación al terreno natural en conjunto con pernos, para controlar la caída de detritos y bloques en taludes de corte.

Se recomienda que la malla metálica tenga un recubrimiento en PVC, para evitar que antexposición solar fuerte el material de la malla aumente su temperatura, causando daños en el manto por quemaduras.

Dependiendo de las condiciones del talud a proteger, se puede necesitar el uso de cables entre los pernos de anclaje, con el fin de crear un sistema más resistente ante el desprendimiento de bloques de gran tamaño.

Si el desprendimiento es considerable, se recomienda el uso de mallas eslabonadas de acero de alta resistencia. El uso de malla y cables de refuerzo debe ser restringido a actividades de mitigación y control de erosión.

En la Tabla 850-8 se presentan las propiedades mecánicas de las mallas metálicas.

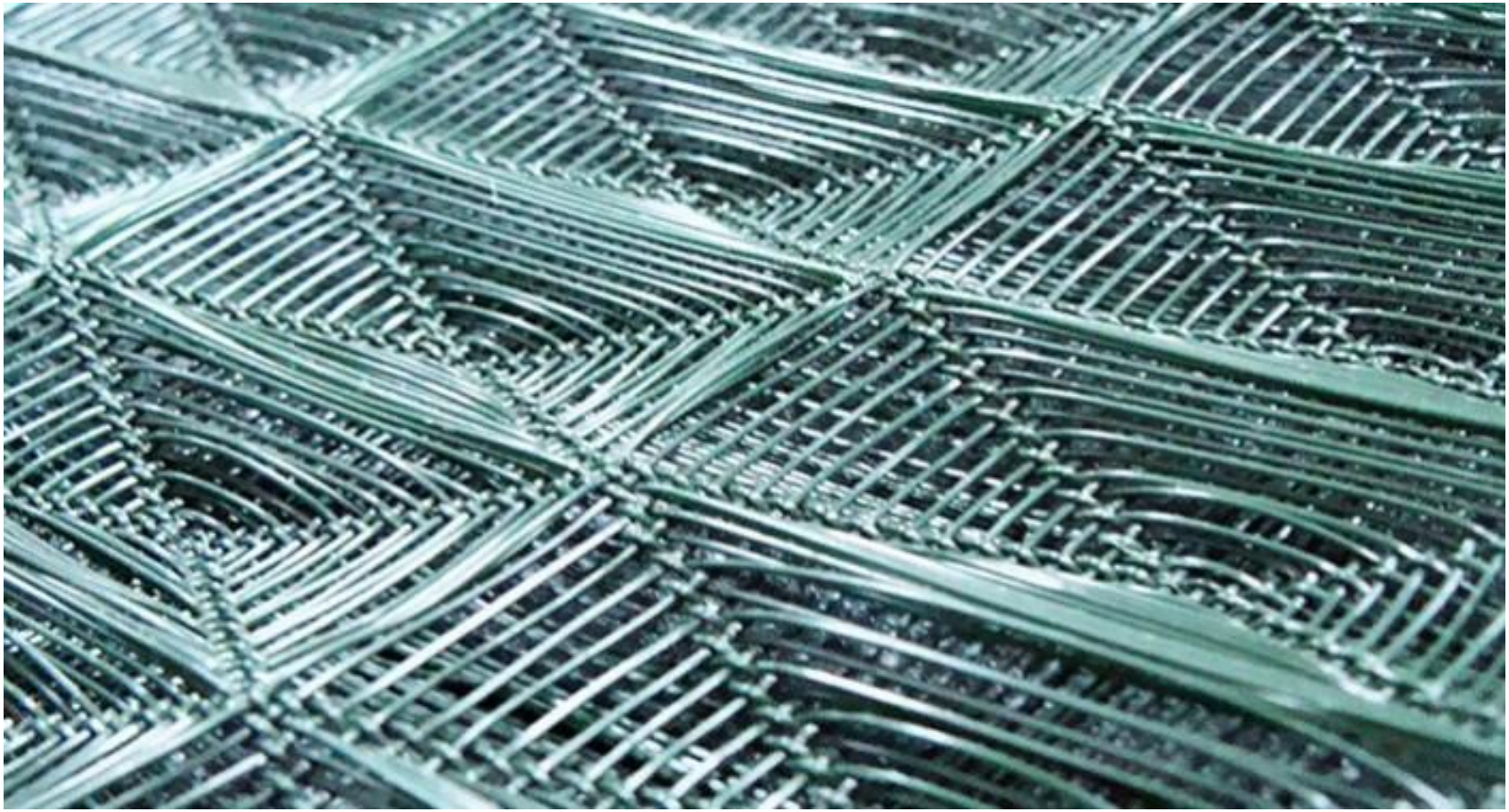
# 3. Componentes

# 3. Componentes

# 3. Componentes

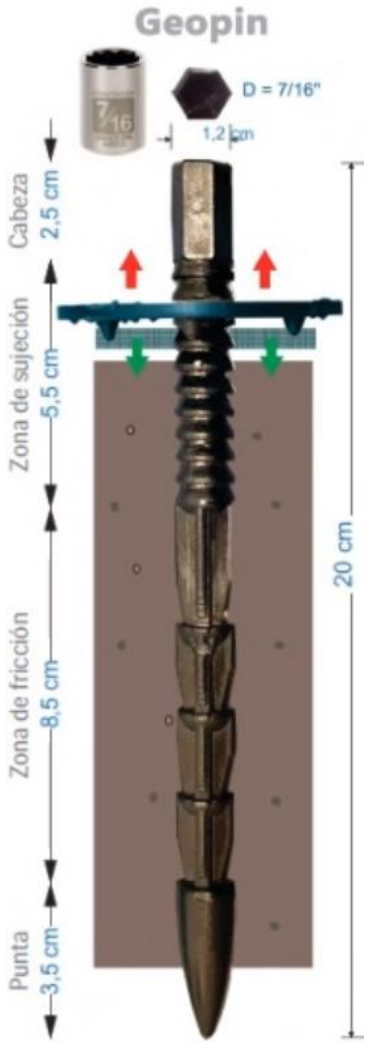
# 3. Componentes

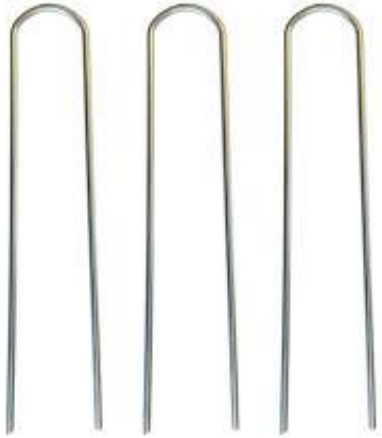
# 3. Componentes

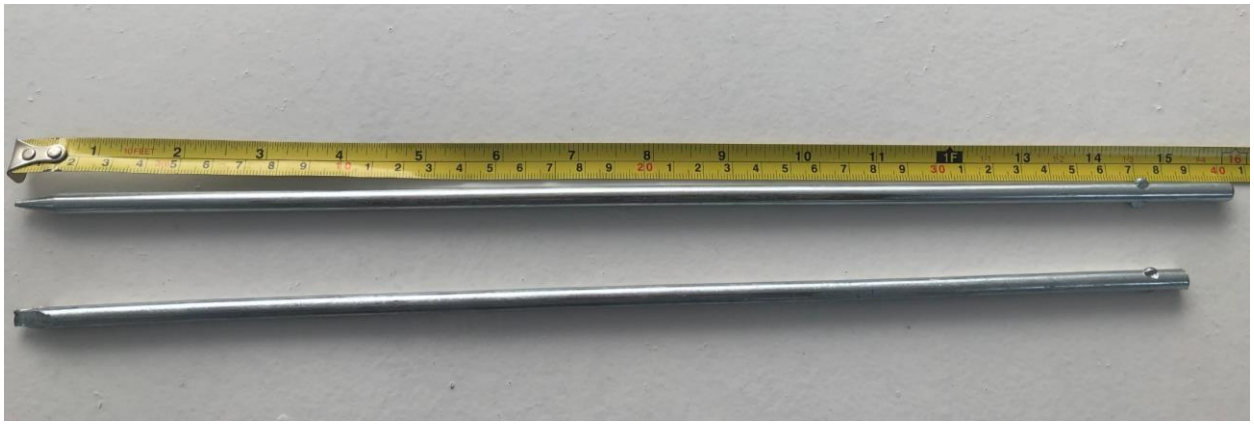


# 3. Componentes

# 3. Componentes





# 4. Cuando Aplicarla

# 4. Cuando Aplicarla

# 4. Cuando Aplicarla

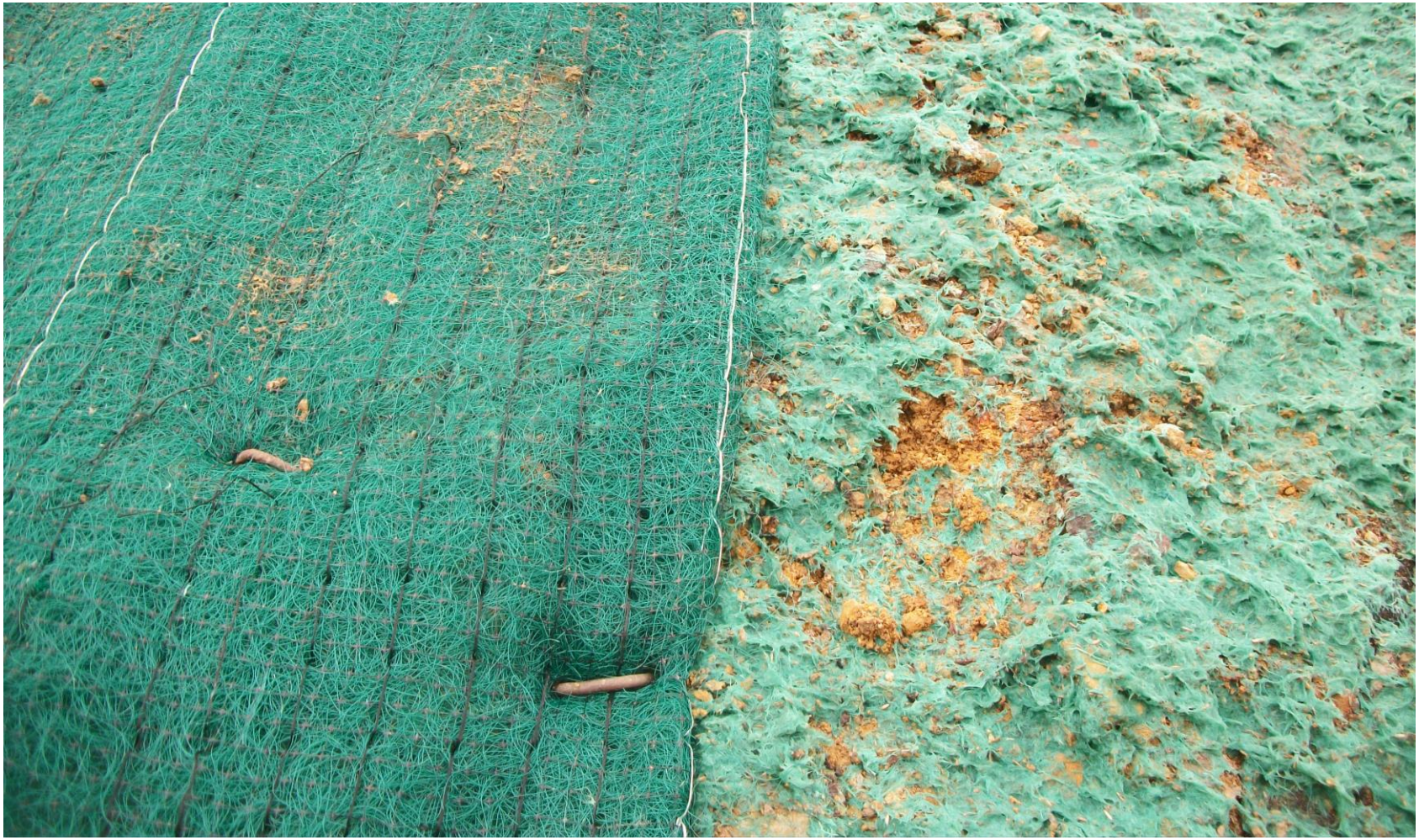
# 4. Cuando Aplicarla

# 5. Precauciones

# 5. Precauciones

# 5. Precauciones

# 5. Precauciones



# 5. Precauciones

XVII CCG
I SSAG 2022
Cartagena

SCG

50 años
1971-2021

# ¡GRACIAS!

**¿Preguntas?**

Diego.otero@wavin.com

**320 4582569**

XVII CONGRESO COLOMBIANO DE GEOTÉCNIA "EVALUACIÓN Y GESTIÓN DE RIESGOS GEOTÉCNICOS CON ÉNFASIS EN LOS EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO"

14 al 18 de Noviembre de 2022

XVII CCG
ISSAG 2022
Cartagena

# RAINFALL THRESHOLDS FOR SHALLOW LANDSLIDES USING DISTRIBUTE PHYSICALLY-BASED MODEL: TRIGRS IN SOME COLOMBIAN ANDES CATCHMENTS

**Ricardo Jaramillo González, Edier Aristizábal, Edwin García, Roberto J. Marín**

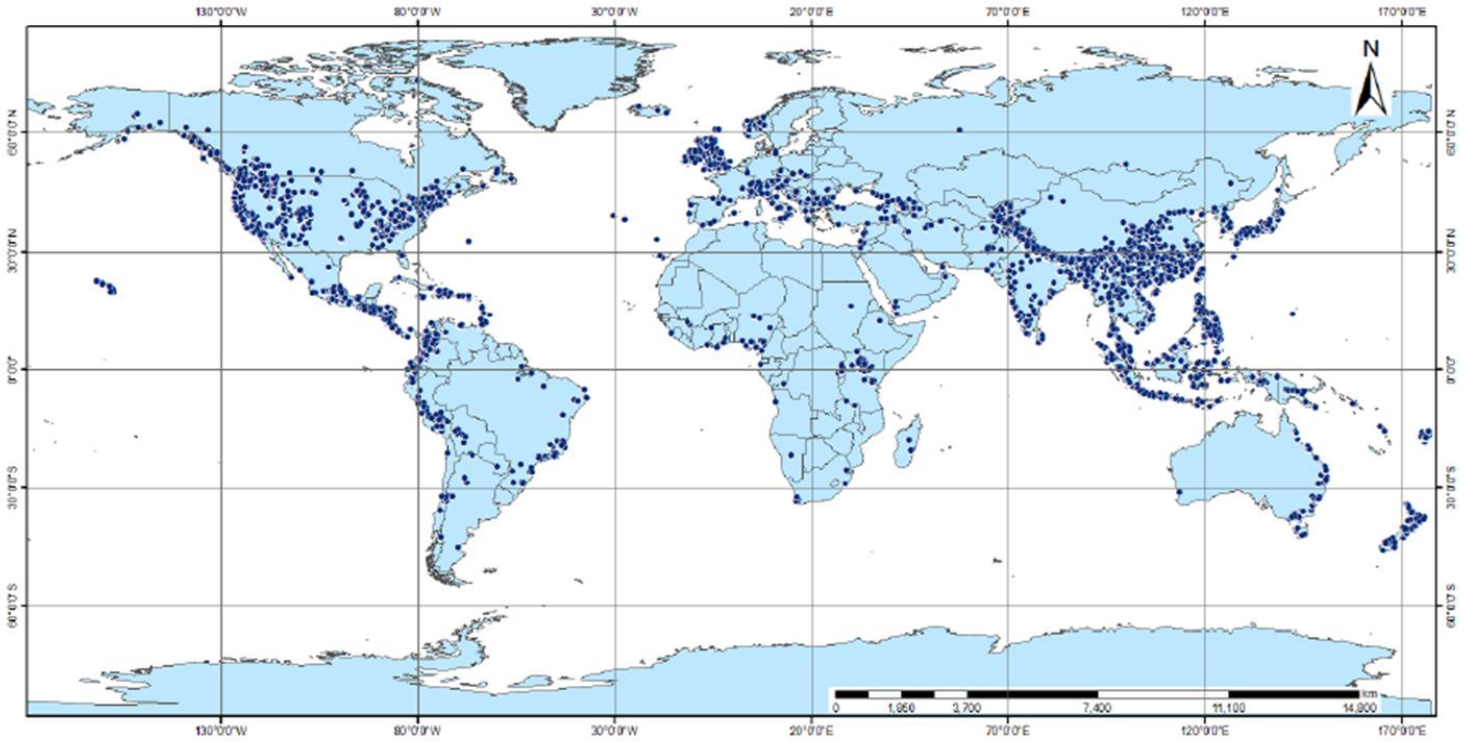
**Universidad Nacional de Colombia – sede Medellín**
**Universidad de Antioquia**

Sociedad Colombiana de Geotecnia

50 años
1971-2021

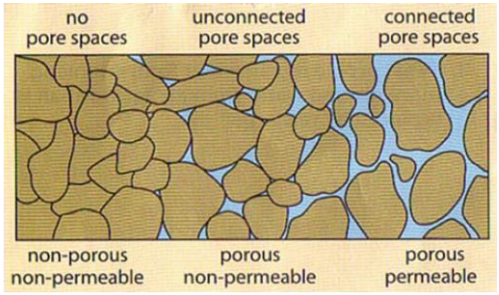
# Global Context Of Landslides

1998-2017 Affected 4.8 million
18.000 fatalities
(UNISDR, 2017)

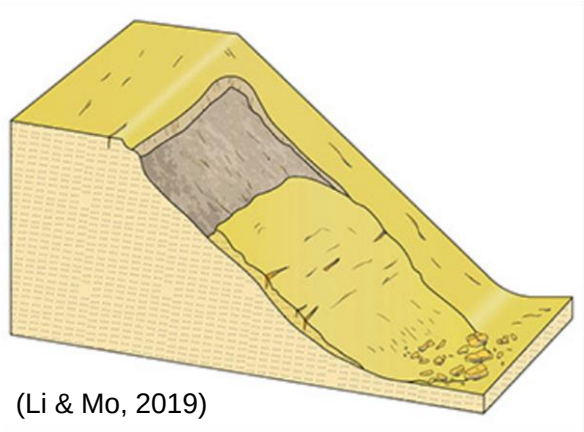



NASA Global Landslide Catalog, 2017

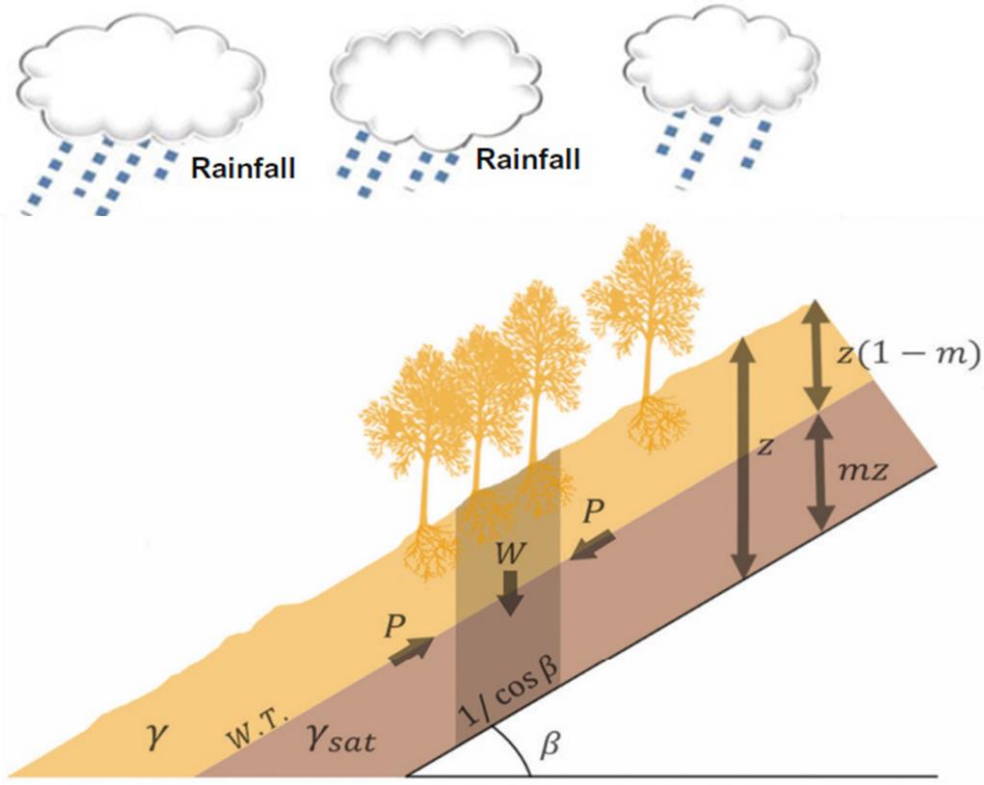
# Shallow Rainfall-Induced Landslides




(Pradhan et al., 2019)

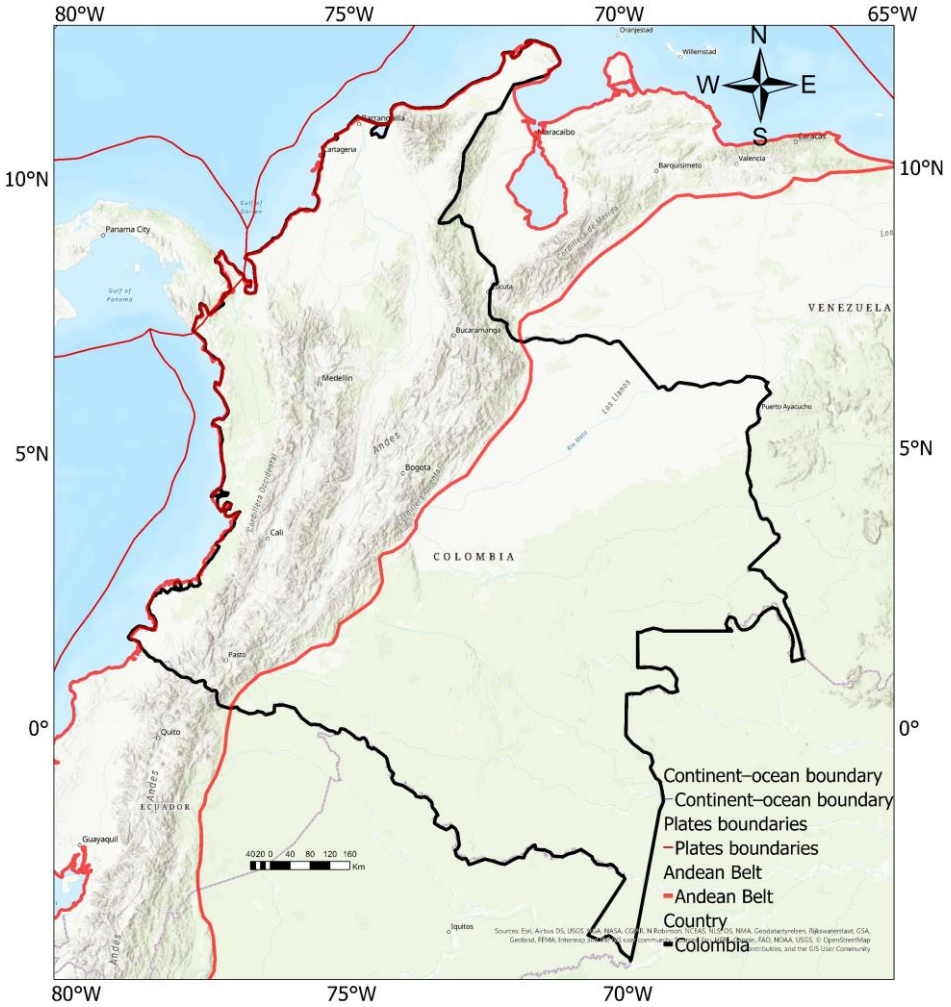


(Li & Mo, 2019)

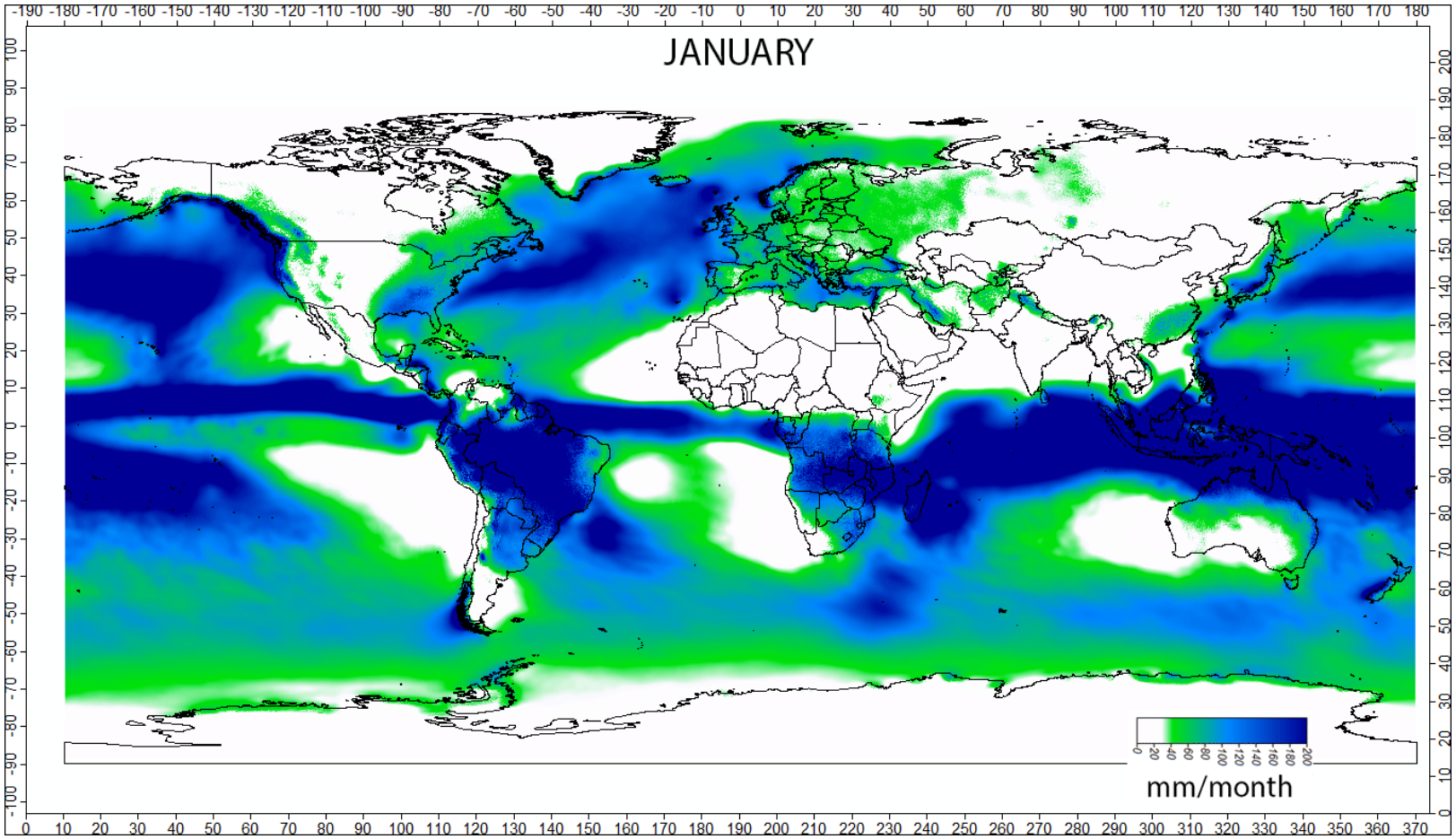



(Gutierrez-Martín, 2020)

# Colombian Tectonic Framework



# Precipitation Context in Colombia




(Karger et al., 2016)

# Historical Events in Colombia

1924-2016 32.022 landslide events → 7.313 Fatalities (Sanchez and Aristizábal, 2018)

**1987**

(http://www.elmundo.com/noticia)

**Villatina (Medellín)**
500 fatalities

**1990**

(Mejía & Velásquez, 1991)

**La Arenosa (San Carlos)**
838 Landslides

**2010**

(http://rainfallandslidescolombia.blogspot.com/2011/01/la-gabriela-)

**La Gabriela (Bello)**
42 fatalities

# Rainfall Thresholds

## Empirical Thresholds

Geomorphologic

I-D Thresholds

- Landslide Inventory–Remote Sensing-GIS
- Historical Rainfall Data

Antecedent Rainfall-Days Thresholds

Antecedent and Cumulative Rainfall Data

(e.g. Guzzetti et al., 2007,2008; Bogaard & Greco, 2018)

## Physically-Based Rainfall Thresholds

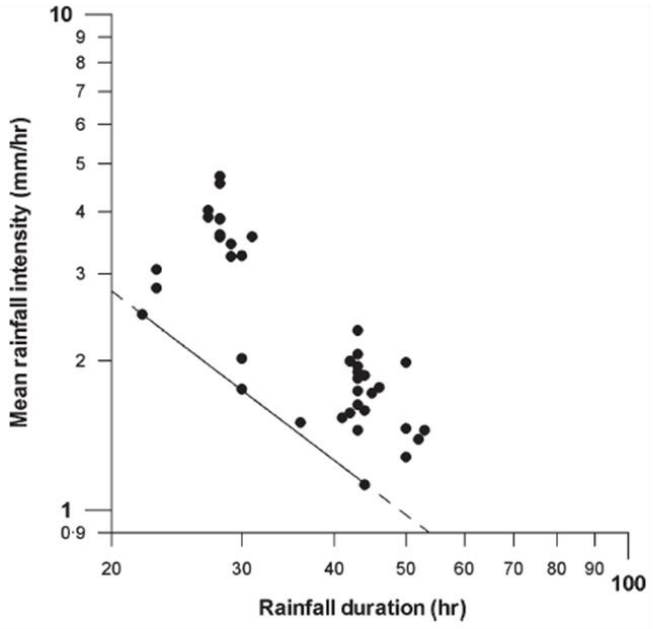
Deterministic Methods

Physically-Based Models → Spatial-Temporally Landslide Occurrence

(e.g. Baum & Godt, 2010; Segoni et al., 2014; Segoni et al., 2018)

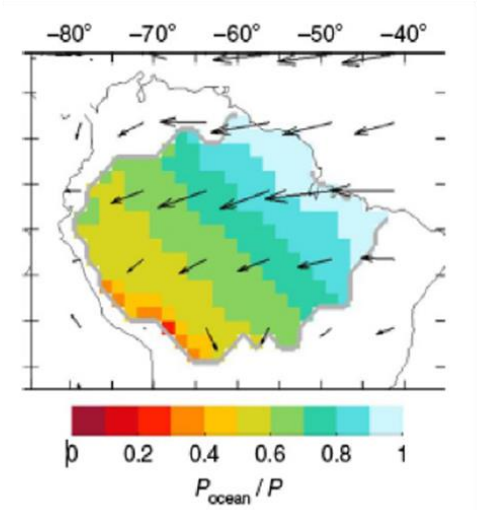
# Intensity-Duration Rainfall Thresholds

**Spatial Distribution Rainfall Data**



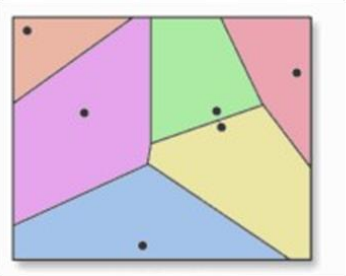

( e.g. Godt et al. 2006; Segoni et al. 2014)

**Satellite-based data**




e.g. (Espinoza et al. 2020)

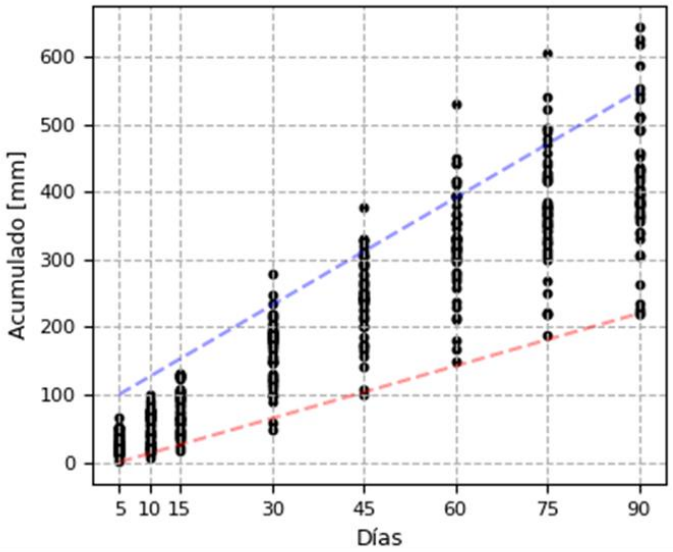
**Gauge-based data**



(Thiessen, 1911)

# Antecedent Rainfall-Days Thresholds

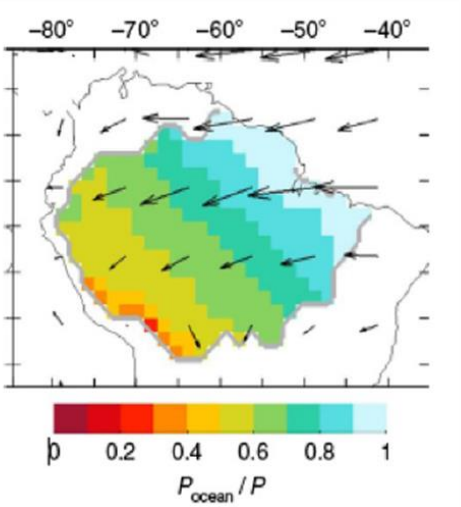
**Cumulative-Day Thresholds**




Adapted from Robbins, 2018

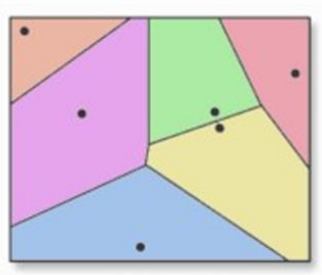
**Spatial Distribution Rainfall Data**

**Satellite-based data**




e.g. (Espinoza et al. 2020)

**Gauge-based data**



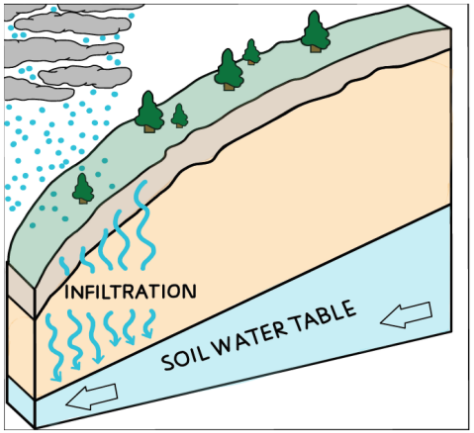
(Thiessen, 1911)

# Physically-Based Rainfall Thresholds

**Coupled Model: TRIGRS**
(Baum et al., 2002; Baum et al. 2010)

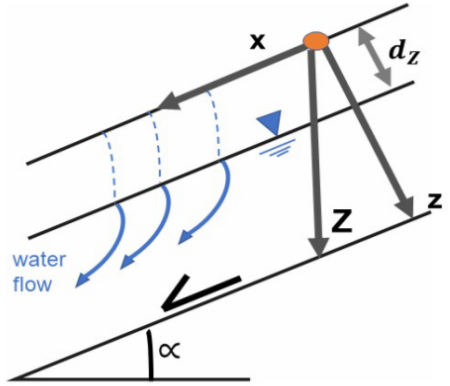
**Darcian Vertical Infiltration Model**

**Hydrological Model**




Adapted from Passalacqua et al., 2020

**1D Slope Stability Model**




Adapted from Iverson, 2000

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial Z}\left[K(\psi)\left(\frac{1}{cos^2 \propto}\frac{\partial \psi}{\partial Z}\right)\right] \quad (1)$$

(Richards, 1931, e.g. Iverson, 2000; Lu & Godt, 2013)

$$FS(Z,t) = \frac{tan\phi\prime}{tan\propto} + \frac{c' - \psi(Z,t)\gamma_w tan\phi\prime}{\gamma_s Z sin\propto cos\propto} \quad (2)$$

(Taylor, 1948, e.g. Alvioli & Baum, 2016)

# Input Data

FONDO MULTIDONANTE
DE LAS NACIONES UNIDAS PARA
EL SOSTENIMIENTO DE LA PAZ

## Spatial Data

**Digital Landscape (DEM)**

| Intermediate 1:25.000 | Detail Scale 1:2.000 |
|---|---|
| ALOS PALSAR (12,5mx12,5m) JAXA/METI (2022) | LIDAR (2,5mx2,5m) PNUD-UNAL (2020, 2021) |

## Geotechnical and Hydraulic Parameters

**Table 1. Geotechnical Parameters**

| Geotechnical Parameters | Symbol-Units |
|---|---|
| Cohesion | $c'\ (Pa)$ |
| Friction angle | $\phi\ (°)$ |
| Unit Weight of Soil | $\gamma_s\ (N/m^3)$ |
| Unit Weight of Water | $\gamma_w\ (N/m^3)$ |

**Table 2. Hydraulic Parameters**

| Hydraulic Parameters | Symbol |
|---|---|
| Hydraulic Diffusivity | $D_0(m/s)$ |
| Hydraulic Conductivity | $k_s(m/s)$ |
| Saturated Water Content | $\theta_{sat}$ |
| Residual Water Content | $\theta_{res}$ |
| Parameter Associated to Pore Size Distribution | $(\alpha_G)$ |

PNUD-UNAL (2020, 2021)

# Input Data

## Catchments Data: Morphometric Parameters

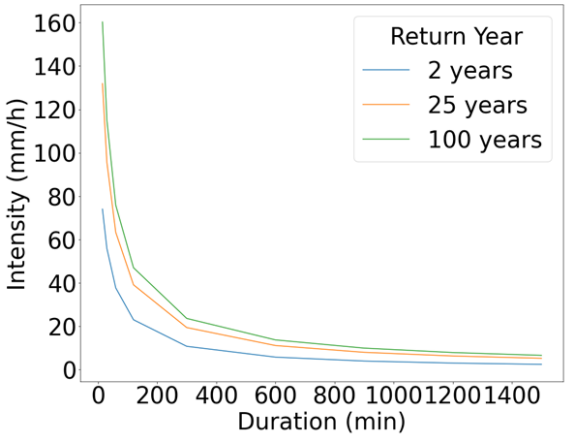
| Parameter | Symbol-Unit |
|---|---|
| Area | $A\ (m^2)$ |
| Perimeter | $P\ (m)$ |
| Relief | $H\ (m)$ |
| Melton Index (Melton, 1957) | $M = \frac{H}{\sqrt{A}}$ |
| Mean Slope | ° |

PNUD-UNAL (2020, 2021)

## Gauge-Based Rainfall Data

IDEAM

**IDF Curves**

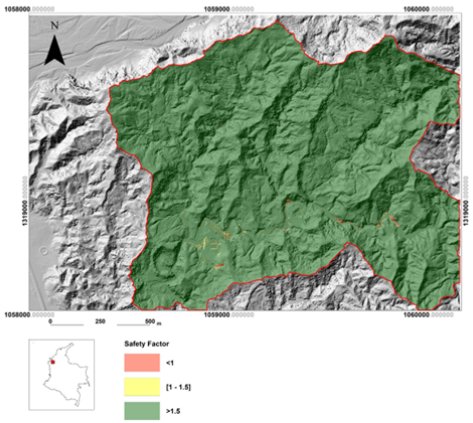



IDEAM (2022)

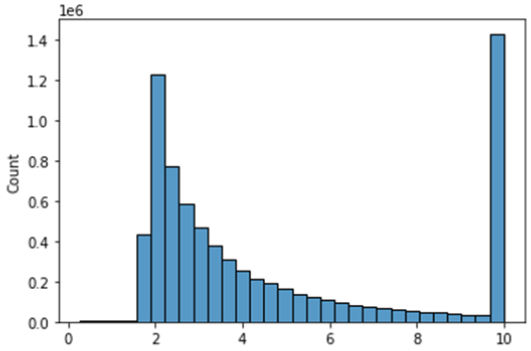
# Methodology

TRIGRS Modeling: Distributed Safety Factor Map

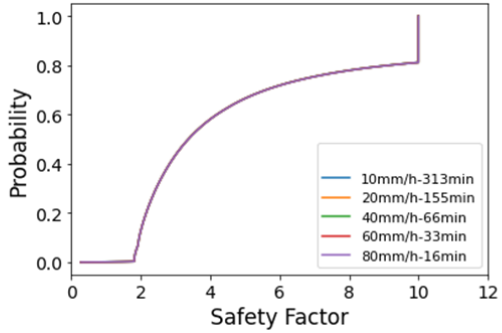
Safety Factor Raster Map




Histogram of Safety Factor Map




Probability Density Function (PDF)




Area Under Probability Density Function (PDF)

$$A_{CDF(FS)} = P(a < FS < b)$$

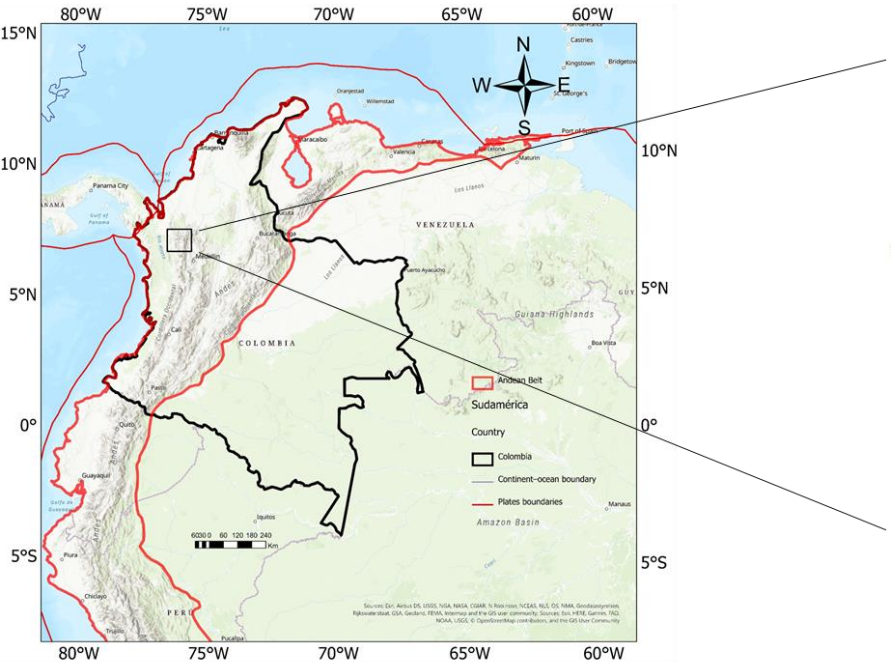
$$F_{FS}(b) - F_{FS}(a)$$

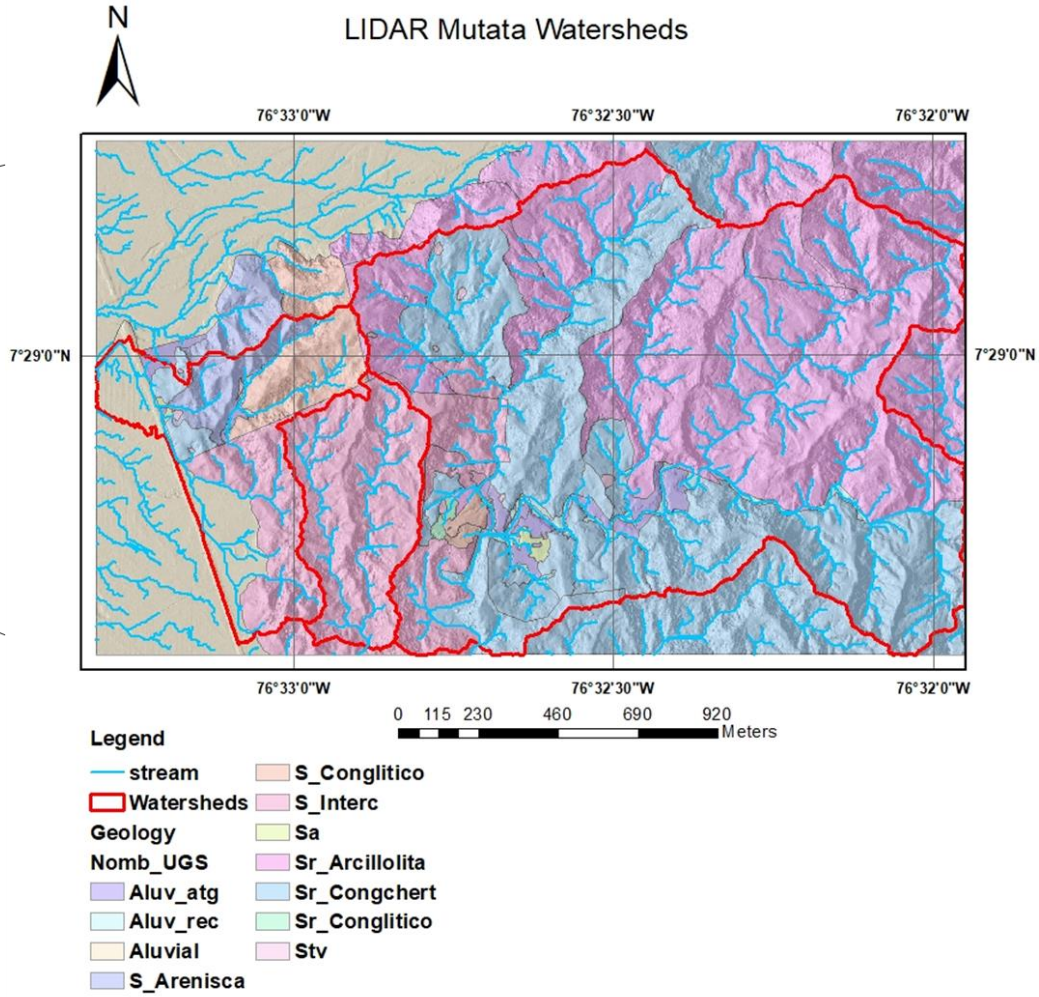
$$\int_a^b f_{FS}(x)dx \ (3)$$

Area Under CDF Curve Equation (3) (Weiderman, 2002)

| I (mm/h) | D (min) | Area (PDF) |
|---|---|---|
| 10 | 313 | 3.6491 |
| 20 | 155 | 3.6469 |
| 40 | 66 | 3.6464 |
| 60 | 33 | 3.6452 |
| 80 | 16 | 3.6417 |

# Study Zone

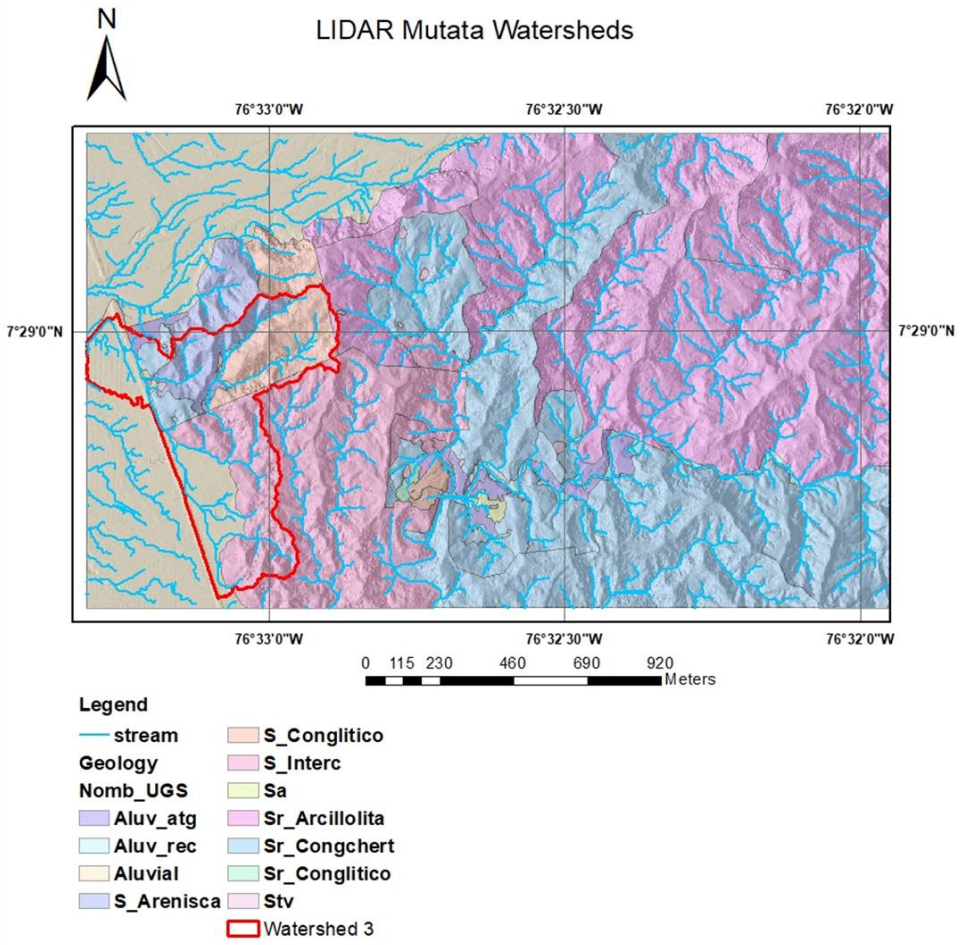

80°W
75°W
70°W
65°W
60°W
15°N
10°N
5°N
0°
5°S
N
W
E
S
VENEZUELA
COLOMBIA
Andean Belt
Sudamérica
Country
Colombia
Continent–ocean boundary
Plates boundaries
Amazon Basin
Guiana Highlands
Andes
Km


LIDAR Mutata Watersheds
N
76°33'0"W
76°32'30"W
76°32'0"W
7°29'0"N
0 115 230 460 690 920
Meters
Legend
stream
Watersheds
Geology
Nomb_UGS
Aluv_atg
Aluv_rec
Aluvial
S_Arenisca
S_Conglitico
S_Interc
Sa
Sr_Arcillolita
Sr_Congchert
Sr_Conglitico
Stv

# Parameters

## Morphometric Parameters

| ID | WS3- Mutatá |
|---|---|
| Area(m2) | 350422.37 |
| Perimetro (m) | 3871.71 |
| H (m) | 103 |
| Melton Index | 0.17 |
| Mean Slope (°) | 9.32 |
| Extent of terrain greater than 30 degrees | 0.27 |
| Extent of terrain greater than 35 degrees | 0.17 |
| Extent of terrain greater than 40 degrees | 0.09 |

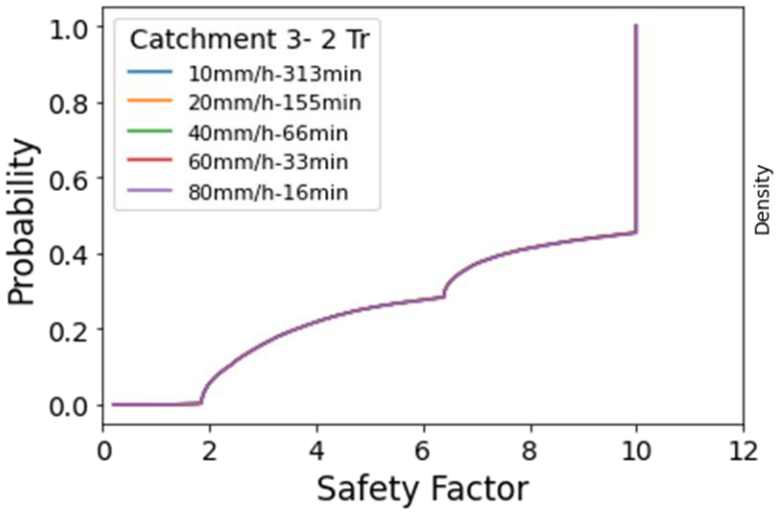


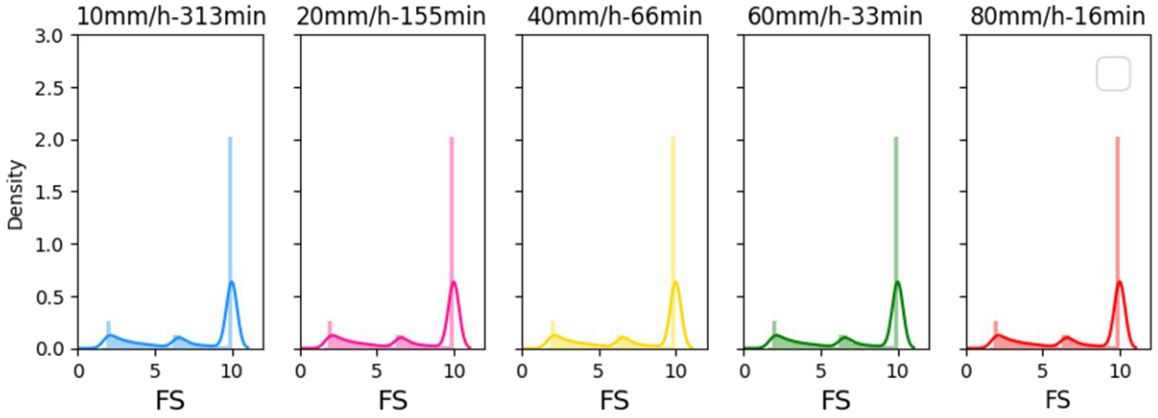
# Parameters

| Zone | Cohesión (Pa) | Phi (Degrees) | Gamma( N/m3) | D0 (m2/s) | Ks (m/s) | Ks (mm/h) | Theta -sat | Theta-res | Alpha |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Chert-VI** | 31000 | 32 | 16700 | 3.10E-07 | 3.10E-09 | 0.01 | 0.53 | 0.27 | 0.26 |
| **Al-ant** | 61000 | 34 | 17250 | 5.47E-05 | 5.47E-07 | 2.00 | 0.47 | 0.22 | 0.39 |
| **Al-recent** | 0 | 34 | 17350 | 8.47E-07 | 8.47E-07 | 3.00 | 0.48 | 0.23 | 0.39 |
| **Sr-Arcill** | 16000 | 27 | 17500 | 5.00E-06 | 5.00E-08 | 0.18 | 0.54 | 0.29 | 0.26 |
| **Sr-Cong-lit** | 16000 | 27 | 17200 | 2.93E-06 | 2.93E-08 | 0.11 | 0.54 | 0.29 | 0.26 |
| **Sr-Arenisc** | 71300 | 34 | 17500 | 2.82E-05 | 2.82E-07 | 1.00 | 0.44 | 0.21 | 0.51 |
| **Vert** | 61000 | 32 | 17500 | 9.88E-04 | 9.88E-06 | 36.00 | 0.53 | 0.27 | 0.26 |
| **Sr- Int-Cong-Chert** | 31000 | 32 | 16700 | 3.10E-07 | 3.10E-09 | 0.01 | 0.53 | 0.27 | 0.26 |
| **Antropic** | 0 | 34 | 17250 | 5.47E-05 | 5.47E-07 | 2.00 | 0.47 | 0.22 | 0.39 |

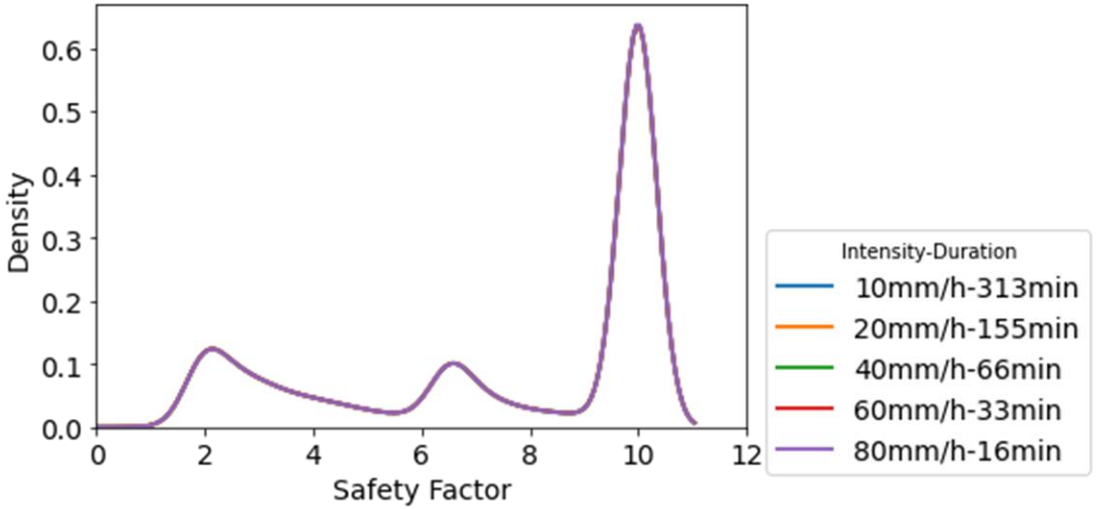
# Results

## 2 Tr
## (LIDAR) 2.5x2.5m



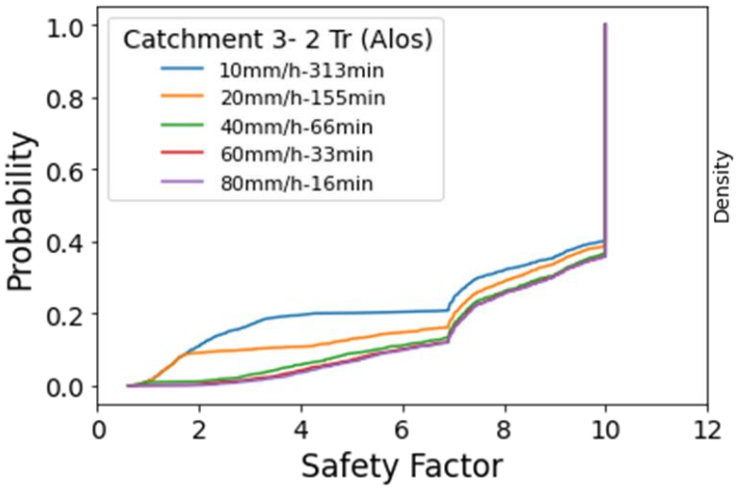



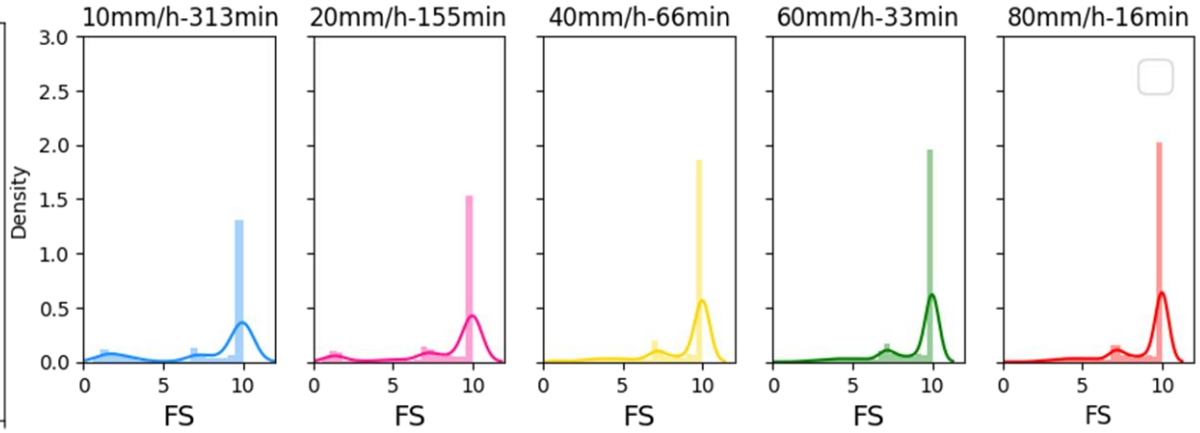

| I-D (Tr2) | Area Under PDF |
|---|---|
| 10mm/h-313min | 0.8167 |
| 20mm/h-155min | 0.8172 |
| 40mm/h-66min | 0.8177 |
| 60mm/h-33min | 0.8177 |
| 80mm/h-16min | 0.8132 |



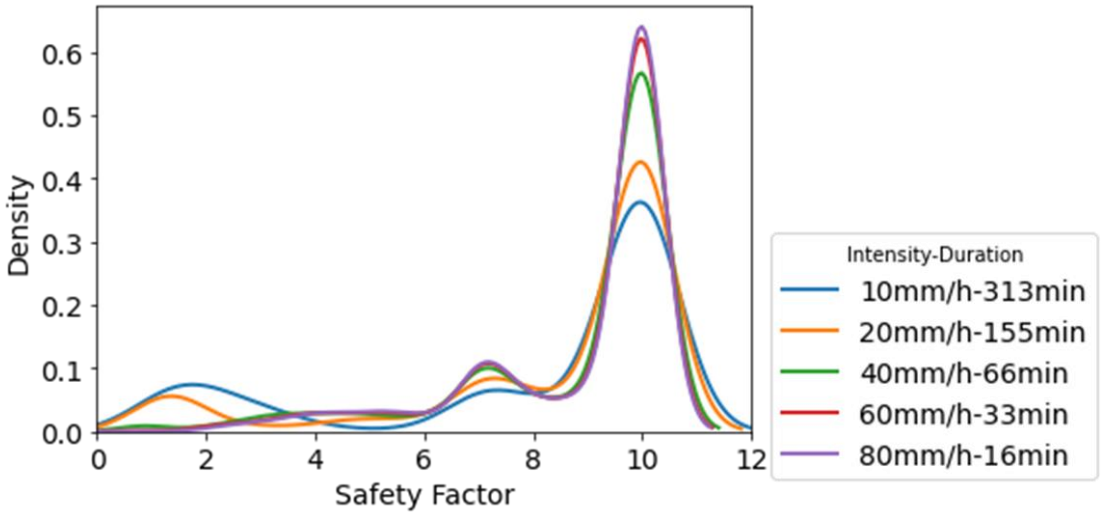
# Results

## 2 Tr
## (AlosPalsar) 12.5x12.5m



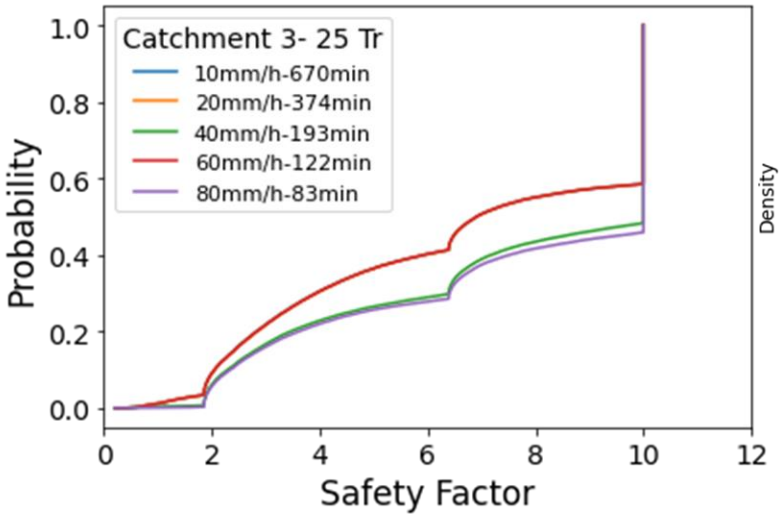



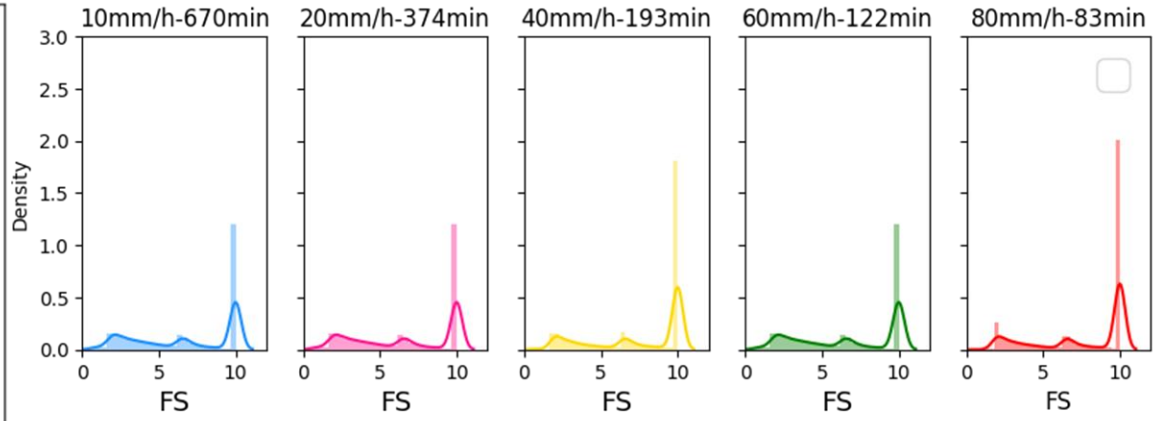

| I-D (Tr2) | Area Under PDF |
|---|---|
| 10mm/h-313min | 0.53 |
| 20mm/h-155min | 0.38 |
| 40mm/h-66min | 0.28 |
| 60mm/h-33min | 0.26 |
| 80mm/h-16min | 0.26 |



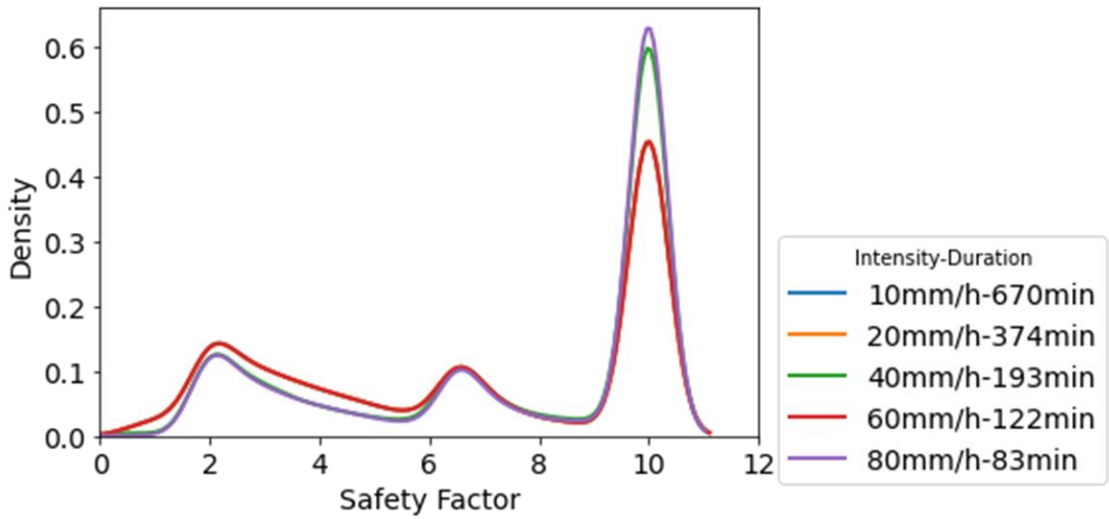
# Results

## 25 Tr
## (LIDAR) 2.5x2.5m



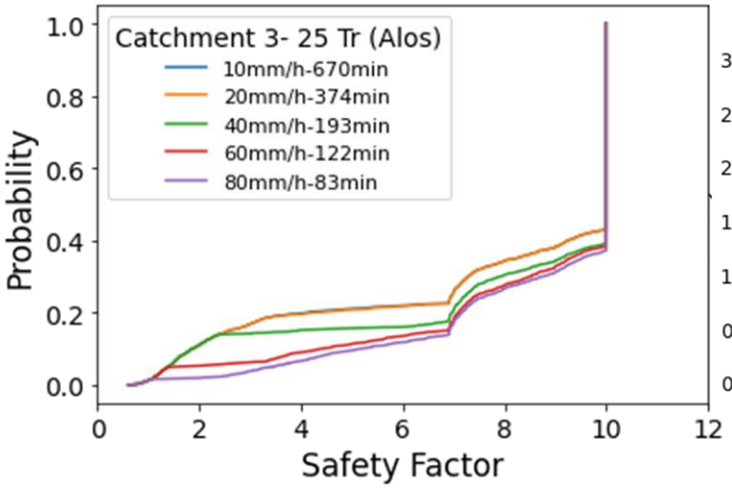



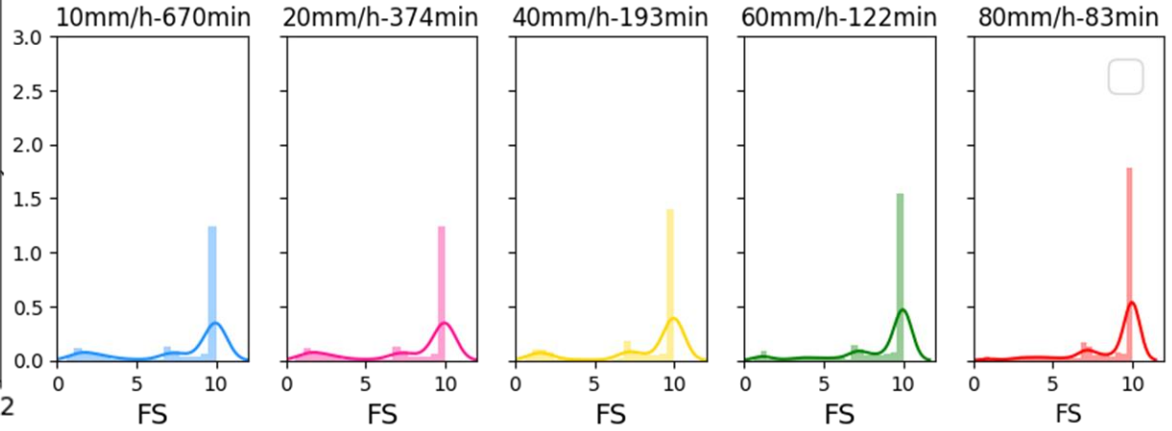

| I-D (Tr25) | Area Under PDF |
|---|---|
| 10mm/h-670min | 1.50 |
| 20mm/h-374min | 1.49 |
| 40mm/h-193min | 0.90 |
| 60mm/h-122min | 1.49 |
| 80mm/h-83min | 0.83 |



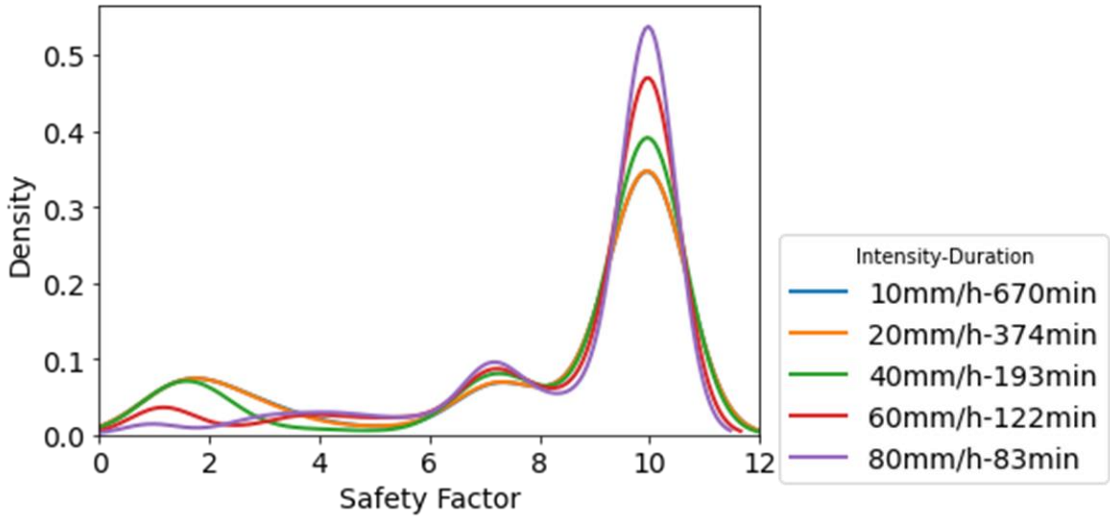
# Results

## 25 Tr
## (Alospalsar) 12.5x12.5m



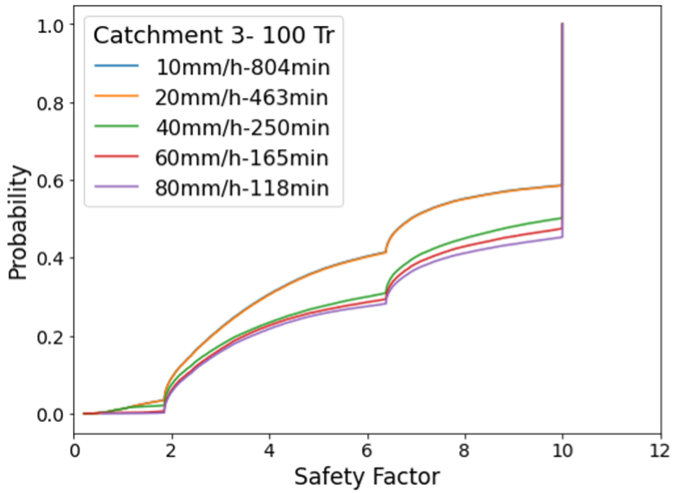



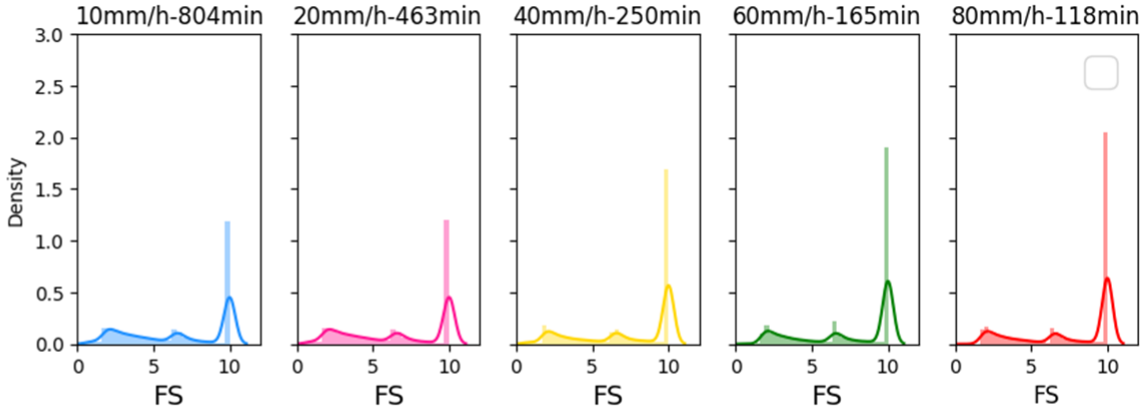

| I-D (Tr25) | Area Under PDF |
|---|---|
| 10mm/h-670min | 0.59 |
| 20mm/h-374min | 0.59 |
| 40mm/h-193min | 0.43 |
| 60mm/h-122min | 0.33 |
| 80mm/h-83min | 0.29 |



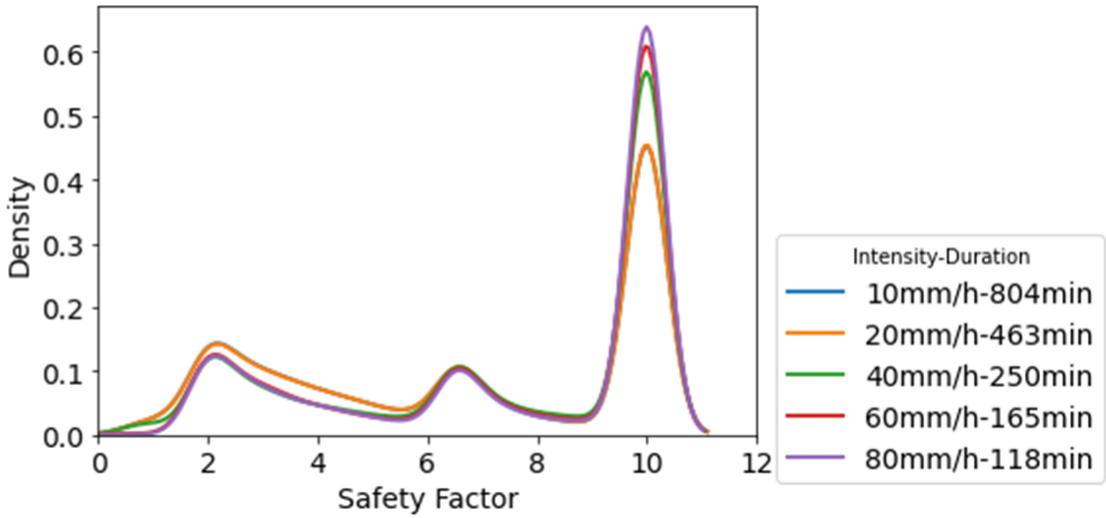
# Results

## 100 Tr (LIDAR) 2.5x2.5m



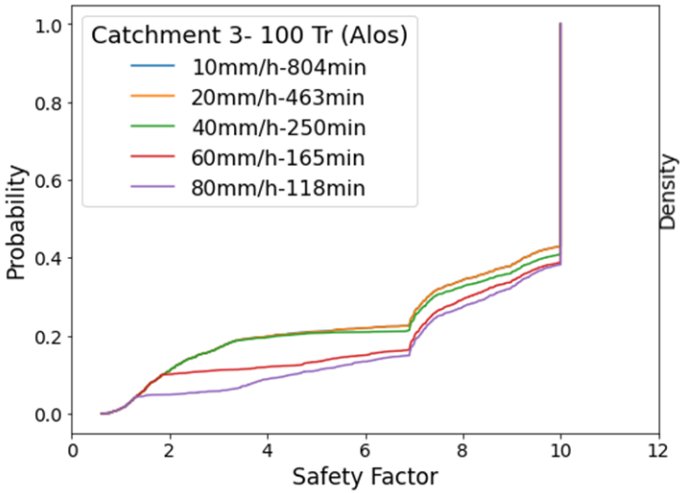



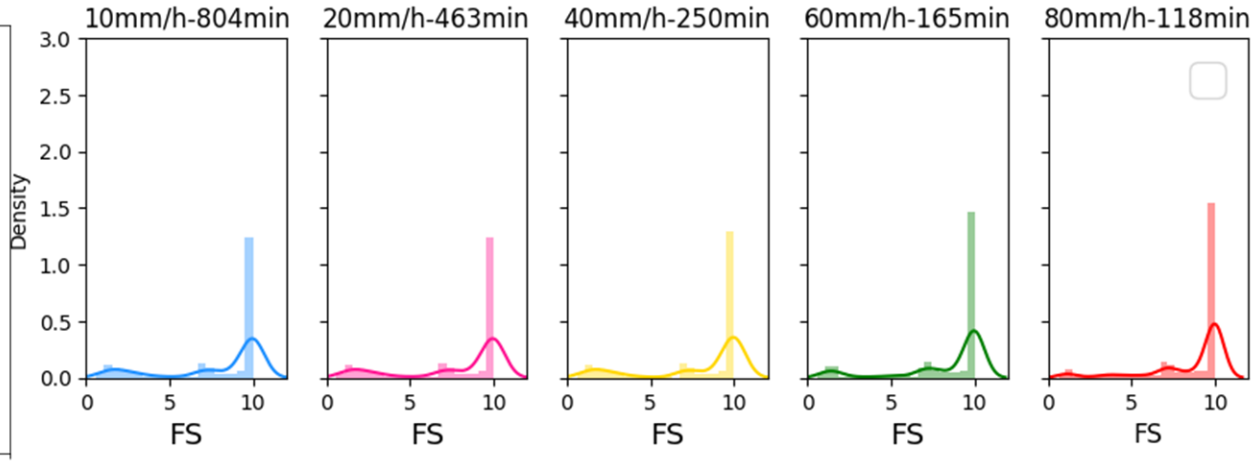

| I-D (Tr100) | Area Under PDF |
|---|---|
| 10mm/h-804min | 1.50 |
| 20mm/h-463min | 1.49 |
| 40mm/h-250min | 0.97 |
| 60mm/h-165min | 0.88 |
| 80mm/h-118min | 0.81 |



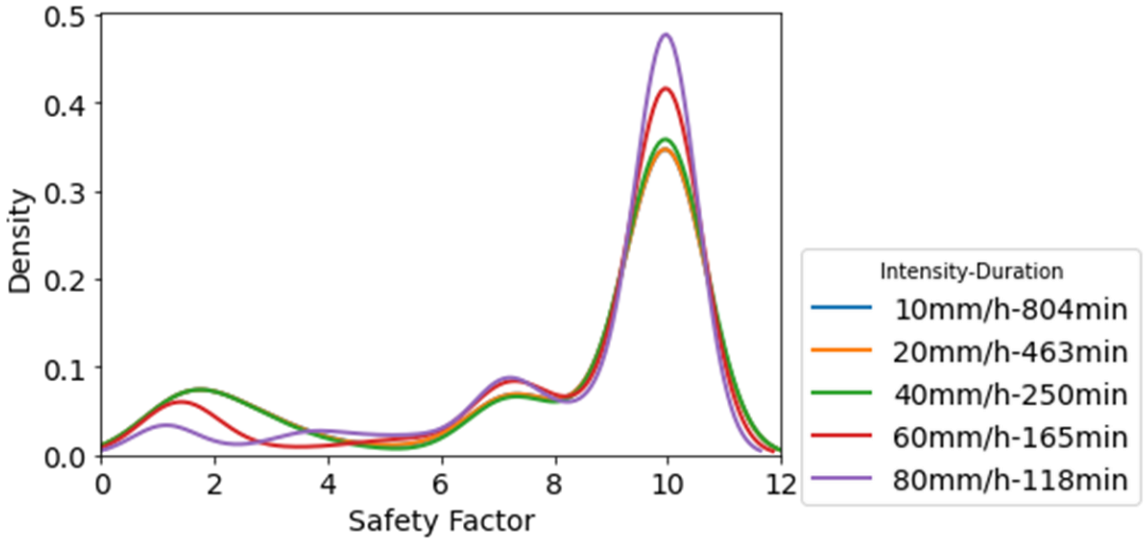
# Results

## 100 Tr (Alospalsar) 12.5x12.5m




| I-D (Tr100) | Area Under PDF |
|---|---|
| 10mm/h-804min | 1.50 |
| 20mm/h-463min | 1.49 |
| 40mm/h-250min | 0.97 |
| 60mm/h-165min | 0.88 |
| 80mm/h-118min | 0.81 |

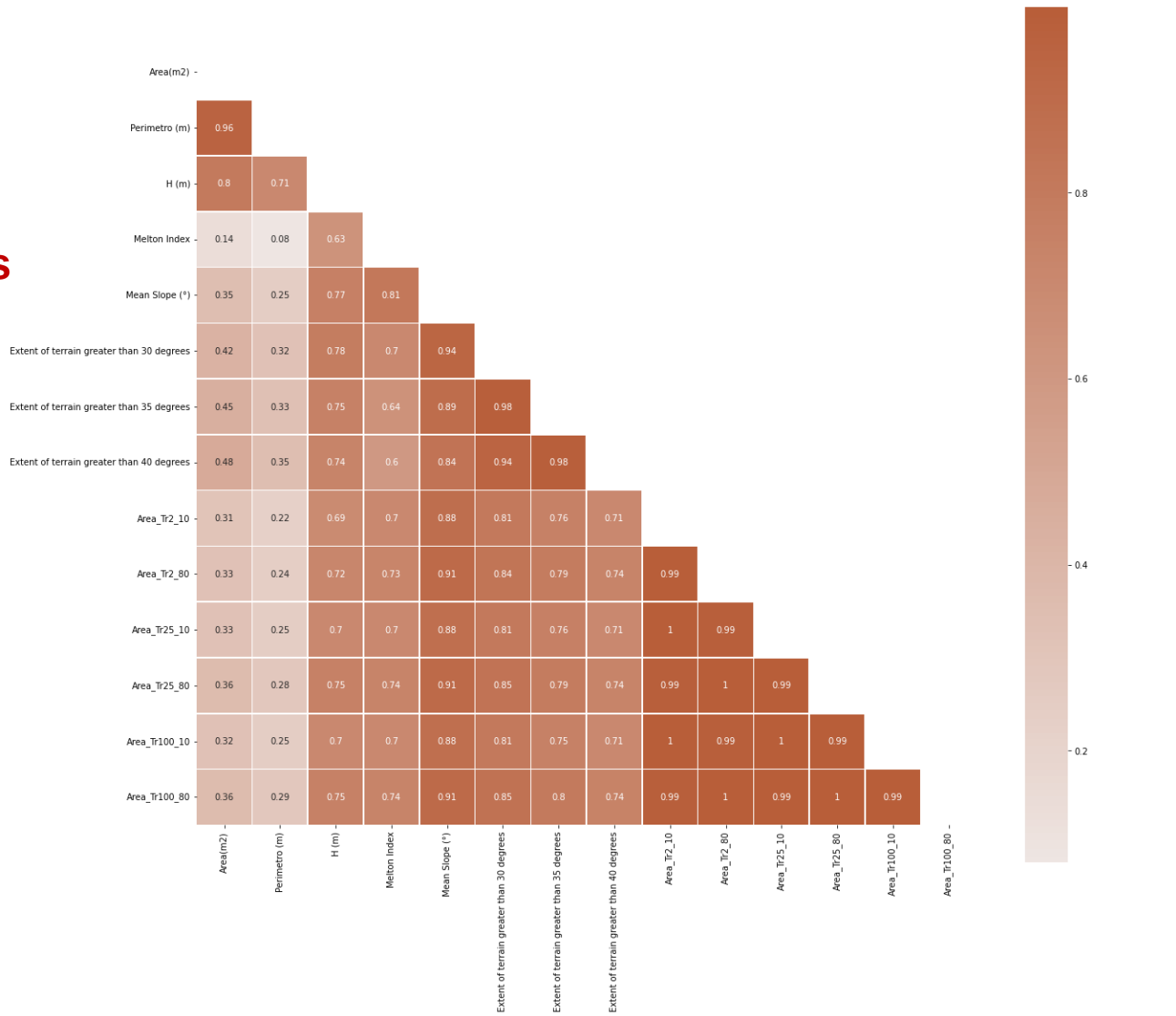


# Results

## Correlation between Area Under the Probability Density Function and Morphometric Parameters

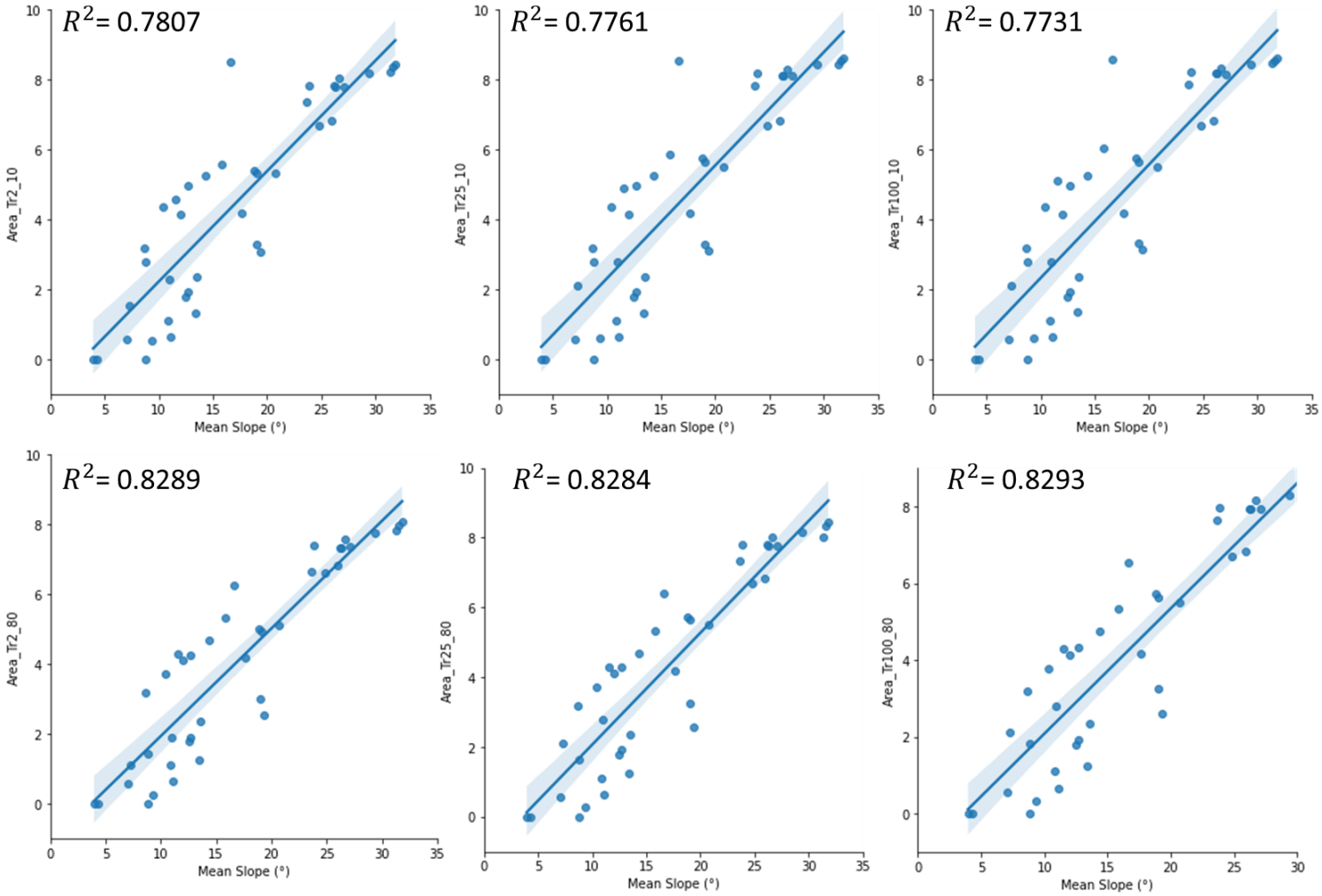
$$A_{CDF(FS)} = P(a < FS < b)$$
$$F_{FS}(b) - F_{FS}(a)$$
$$\int_a^b f_{FS}(x)dx \ (3)$$

Area Under CDF Curve Equation (3) (Weideman, 2002)



# Results

## Correlation Index



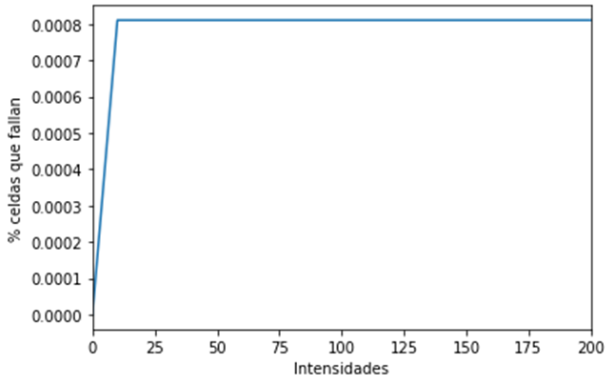
# Permeability and Rainfall Intensity Increment

| Zone | K mm/h | Kx10 mm/h | Kx20 mm/h | Kx30 mm/h | Kx40 mm/h | Kx50 mm/h | Kx60 mm/h |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Chert-VI | 0.01 | 0.11 | 0.22 | 0.33 | 0.45 | 0.56 | 0.67 |
| Al-ant | 1.97 | 19.69 | 39.38 | 59.08 | 78.77 | 98.46 | 118.15 |
| Al-recent | 3.05 | 30.49 | 60.98 | 91.48 | 121.97 | 15.46 | 182.95 |
| Sr-Arcill | 0.18 | 1.80 | 3.60 | 5.40 | 7.20 | 9.00 | 10.80 |
| Sr-Cong-lit | 0.11 | 1.05 | 2.11 | 3.16 | 4.22 | 5.27 | 6.33 |
| Sr-Arenisc | 1.02 | 10.15 | 20.30 | 30.46 | 40.61 | 50.76 | 60.91 |
| Vert | 35.57 | 355.68 | 711.36 | 1067.04 | 1422.72 | 1778.40 | 2134.08 |
| Sr- Int-Cong-Chert | 0.01 | 0.11 | 0.22 | 0.33 | 0.45 | 0.56 | 0.67 |
| Antropic | 1.97 | 19.69 | 39.38 | 59.08 | 78.77 | 98.46 | 118.15 |

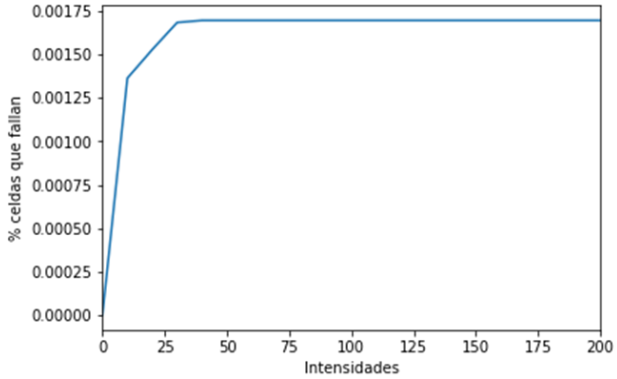
| Intensity (mm/h) | Intensity (mm/h) | Intensity (mm/h) | Intensity (mm/h) |
|---|---|---|---|
| 10 | 60 | 110 | 160 |
| 20 | 70 | 120 | 170 |
| 30 | 80 | 130 | 180 |
| 40 | 90 | 140 | 190 |
| 50 | 100 | 150 | 200 |

# Permeability and Rainfall Intensity Increment

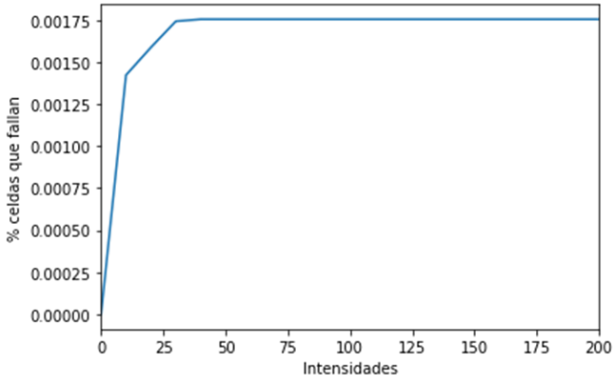
## Lab Permeability



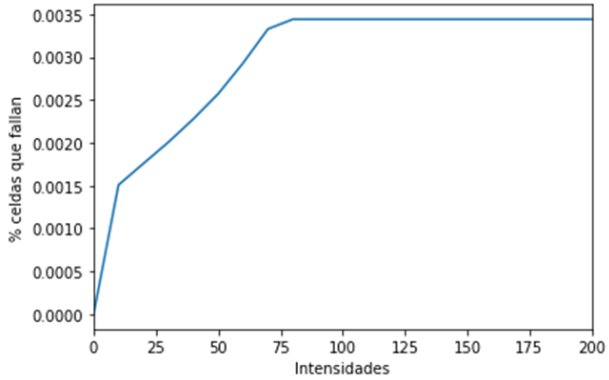

## Permeability x10




## Permeability x100



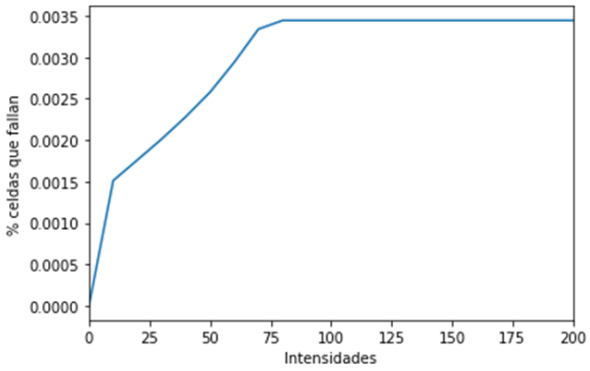

## Permeability x1000



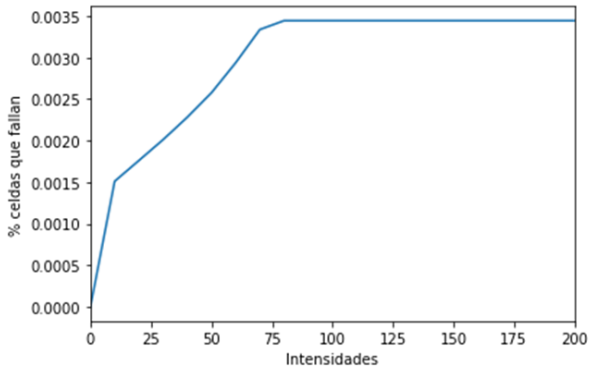

| Magnitude K - Intensity | % Failure Pixels |
|---|---|
| K Lab- 10 mm/h | 0.0810 |
| Kx1- 30mm/h | 0.1696 |
| Kx2- 30mm/h | 0.1744 |
| Kx3- 80mm/h | 0.3442 |
| Kx4- 80mm/h | 0.3444 |
| Kx5- 80mm/h | 0.3444 |
| Kx6 80mm/h | 0.3444 |

# Permeability and Rainfall Intensity Increment

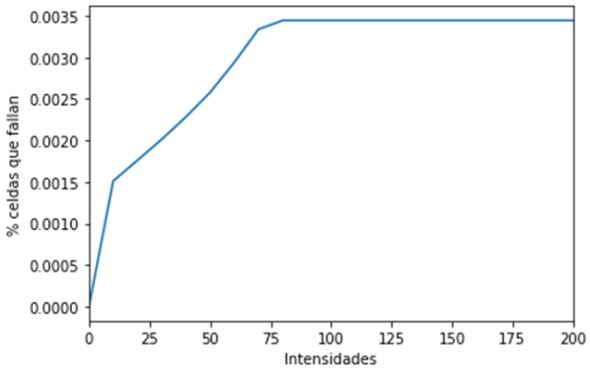
## Permeability x4




## Permeability x5



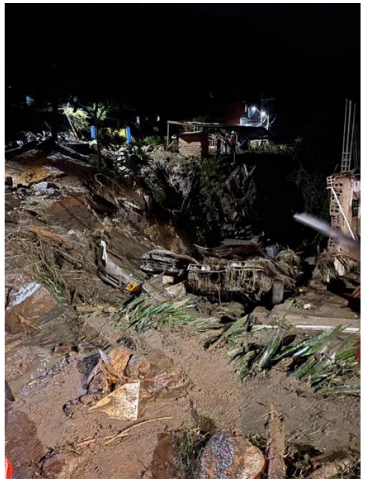

## Permeability x6




| Magnitude K - Intensity | % Failure Pixels |
|---|---|
| K Lab- 10 mm/h | 0.0810 |
| Kx1- 30mm/h | 0.1696 |
| Kx2- 30mm/h | 0.1744 |
| Kx3- 80mm/h | 0.3442 |
| Kx4- 80mm/h | 0.3444 |
| Kx5- 80mm/h | 0.3444 |
| Kx6 80mm/h | 0.3444 |

# Conclusions And Applicability

## Forecast Models, Early Warning Systems and Methodologies for Territory Planning



UNGRD Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres
Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres
SIATA
SAMA Sistema de Alerta y Monitoreo de Antioquia
IDEAM

(Cepeda and Murcia, 1988; Godoy et al., 1997; Echeverry and Valencia, 2004; SIATA, 2007; Huggel et al., 2007; IDEAM, 2008; Dominguez et al., 2010; Corpoguajira, 2011; Acosta, 2013; Vejarano, 2013; Calle and Lozano, 2014; SIRE, 2014; Jerez, 2014, SAMA, 2021).

XVII CCG
I SSAG 2022
Cartagena

SCG

50 años
1971-2021

# ¡GRACIAS!

**¿Preguntas?**

evaristizabalg@unal.edu.co

XVII CONGRESO COLOMBIANO DE GEOTÉCNIA "EVALUACIÓN Y GESTIÓN DE RIESGOS GEOTÉCNICOS CON ÉNFASIS EN LOS EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO"

14 al 18 de Noviembre de 2022

XVII CCG
I SSAG 2022
Cartagena

# ESTUDIOS PARA LA INCORPORACIÓN DE LA GESTIÓN DEL RIESGO EN LOS PLANES DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL

**GLORIA LUCÍA RUIZ PEÑA, SOFÍA NAVARRO, LEONARDO MÉNDEZ**
**Grupo Investigación, monitoreo y evaluación de amenaza y riesgo por movimientos en masa**
**Servicio Geológico Colombiano**

Sociedad Colombiana de Geotecnia

50 años
1971-2021

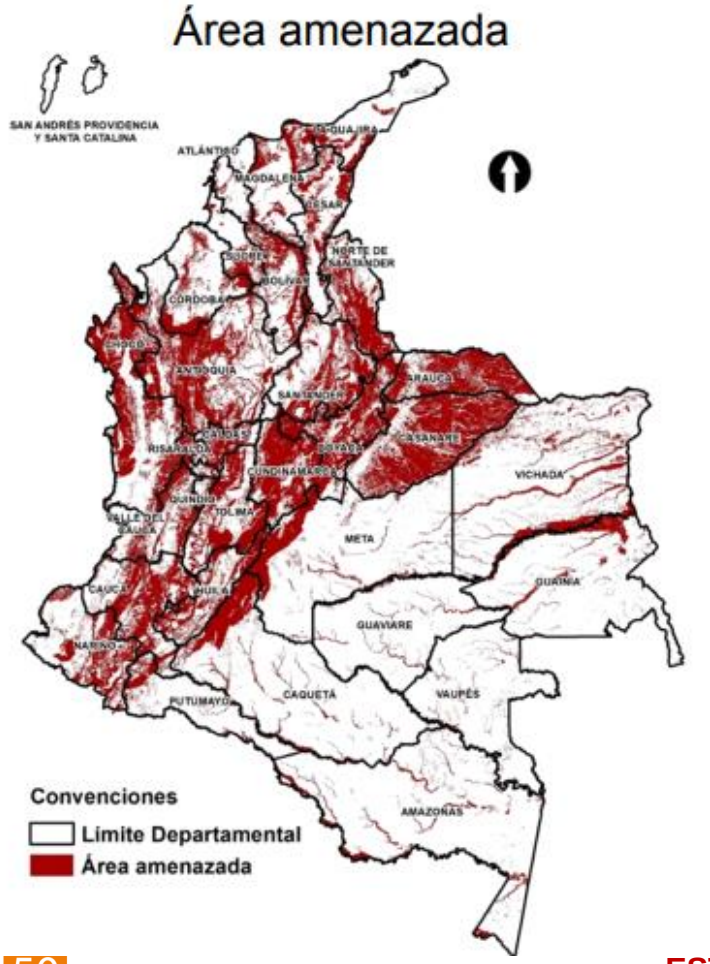
# CONTENIDO

1. ANTECEDENTES
2. DATOS DEL CONVENIO
3. ALCANCE
4. PRODUCTOS
5. LECCIONES APRENDIDAS

# 1. ANTECEDENTES

MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO

SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO




**US $ 5.000 MILLONES**

**PÉRDIDAS EN VIVIENDA**

en 7.000 desastres intermedios y Pequeños entre 1970-2010*

Movimiento en masa, avenidas torrenciales e inundaciones

Fuente: DNP (2018) Índice de riesgo municipal

MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO

SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO

# Incorporación de la GRD en POT Decreto 1077 de 2015

Etapas del POT

## Diagnóstico

**ESTUDIOS BÁSICOS**

- Zonificación de amenazas
- Áreas con condición de amenaza
  Áreas con condición de riesgo

**Escalas**
SU y SEU: 1:5.000
SR: 1:25.000

## Formulación

Medidas de intervención
**no estructurales**

Medidas de regulación urbanística (ocupación, alturas, densidades) según el tipo de evento.

## Implementación

**ESTUDIOS DETALLADOS**

- Evaluación y zonificación de amenaza
- Evaluación de vulnerabilidad
- Evaluación y zonificación de riesgo
- Medidas de intervención estructurales

**Escalas**
SU y SEU: 1:2.000
SR: 1:5.000

SU: Suelo Urbano
SEU: Suelo de Expansión Urbana
SR : Suelo Rural

# Metas PND 2018 – 2022 (MVCT)

El MVCT propuso dentro de sus metas el acompañamiento técnico y/o financiero a **150 municipios** para la actualización de sus Planes de Ordenamiento Territorial – POT.

- Acompañamiento técnico en el proceso de revisión o implementación del POT.

- Acompañamiento técnico o financiero en la elaboración de estudios técnicos para la incorporación de la GRD en los POT.

MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO

SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO

# Acompañamiento técnico o financiero en la elaboración de estudios técnicos para la incorporación de la GRD en los POT.

## Apoyo en la elaboración de Estudios básicos Decreto 1077 de 2015

**Primera fase:** insumos cartográficos.

Convenio Interadministrativo No. 802 de 2019 entre el SGC, UNAL y MVCT.

**Segunda fase:** zonificación de amenazas, identificación de las áreas con condición de riesgo y/o amenaza.

Convenio Interadministrativo No. 719/2020 entre el SGC y MVCT.

MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO

SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO

# Actividades realizadas Convenio 802/2019

- Recopilación, selección y análisis de información secundaria y reconocimiento en campo.
- Definición de los polígonos de estudio en escala 1:5.000 y 1: 2.000.
- Elaboración de la cartografía básica, ortofotomosaico (15 cm) y MDT (50 cm).
- Compilación de la cartografía digital de las zonas rurales de los municipios priorizados a escala 1.25.000 y generación del DEM.
- Realización de talleres de apropiación social del conocimiento.

Ladera sur de la cabecera municipal de La Sierra (Cauca)
Fuente: autores

| NODO | No. | MUNICIPIO |
|---|---|---|
| Occidental | 1 | Villa Rica |
| | 2 | Candelaria |
| | 3 | Jamundí |
| | 4 | Yumbo |
| Occidental Cauca | 5 | La Sierra |
| | 6 | Rosas |
| | 7 | Sotará |
| Orinoquia | 8 | Puerto Carreño |

# 2. CONVENIO 719-2020 MVCT-SGC

**Objeto**: Aunar esfuerzos técnicos, financieros y administrativos entre el Servicio Geológico Colombiano y el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio con el fin de elaborar estudios técnicos para la incorporación de la gestión del riesgo en el proceso de revisión y/o implementación de los planes de ordenamiento de territorial, así como fortalecer técnicamente a las entidades territoriales priorizadas en dicha materia.

**Valor:** VEINTE MIL OCHOCIENTOS OCHO MILLONES TRESCIENTOS UN MIL SETECIENTOS OCHENTA Y SEIS PESOS ($20.808.301.786.00)

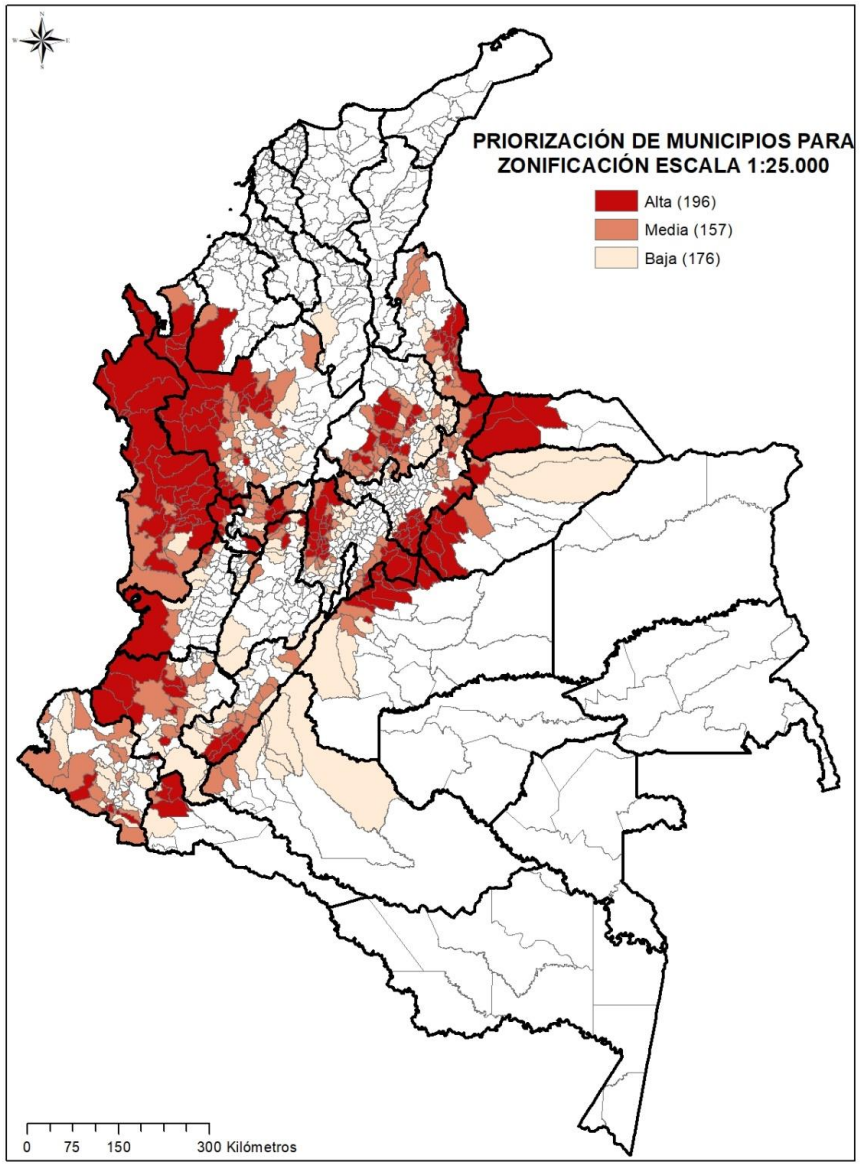
MVCT: $9.500’000.000

SGC: $11.308’301.786

**Duración:** 22 meses

MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO

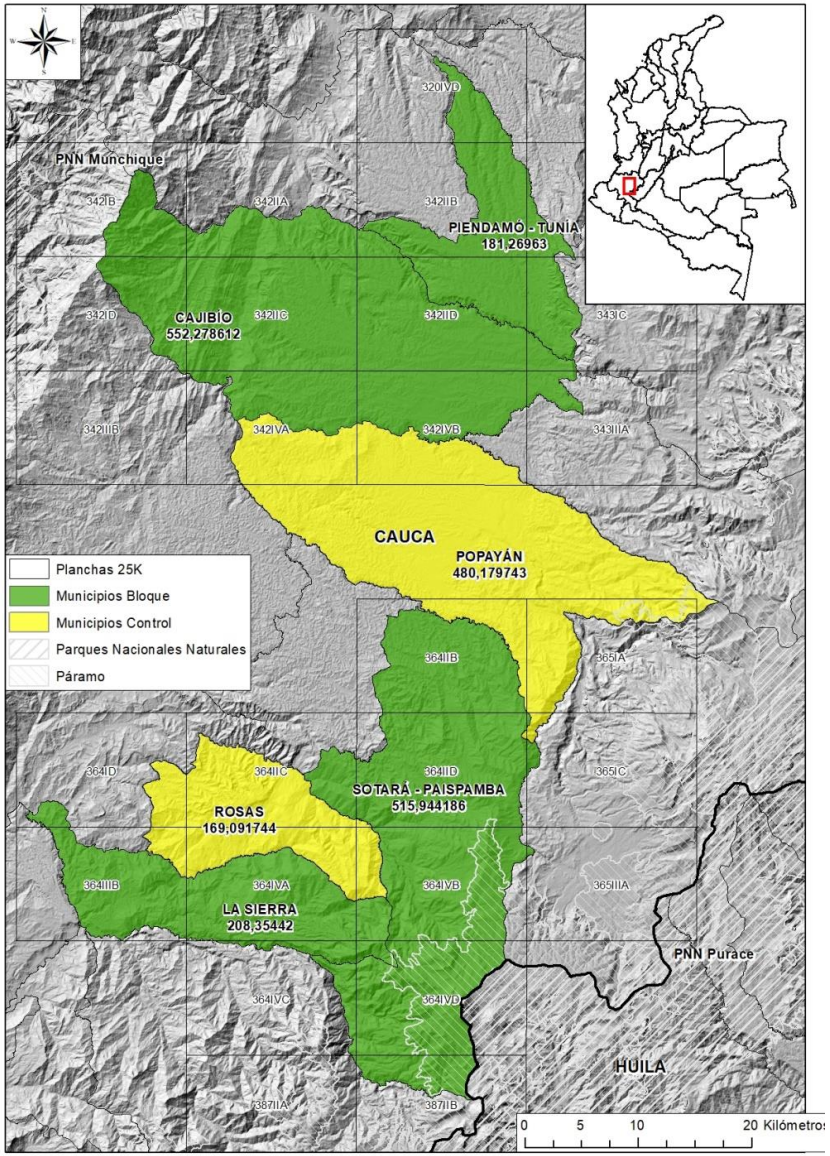
SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO

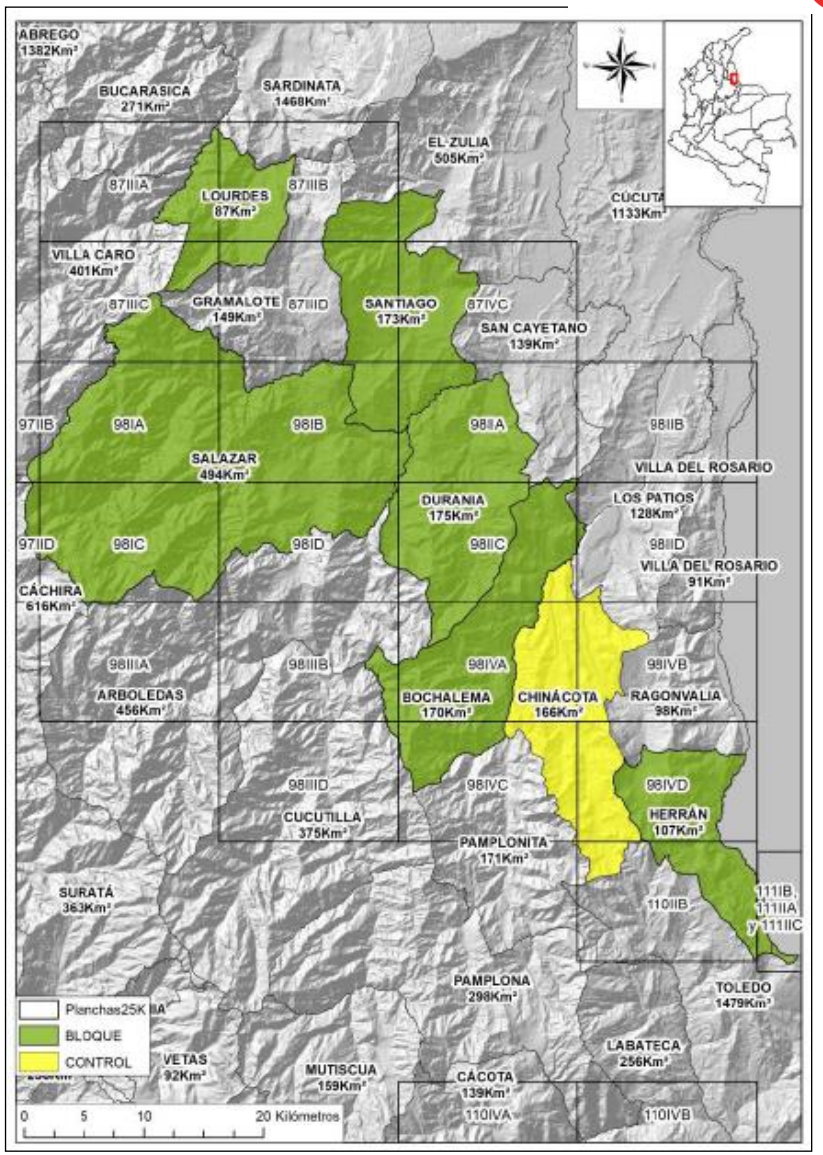



| Categoría de Priorización | Cantidad de Municipios |
|---|---|
| Alta | 196 |
| Media | 157 |
| Baja | 176 |
| Total | 529 |

MINISTERIO DE VIVIENDA,
CIUDAD Y TERRITORIO

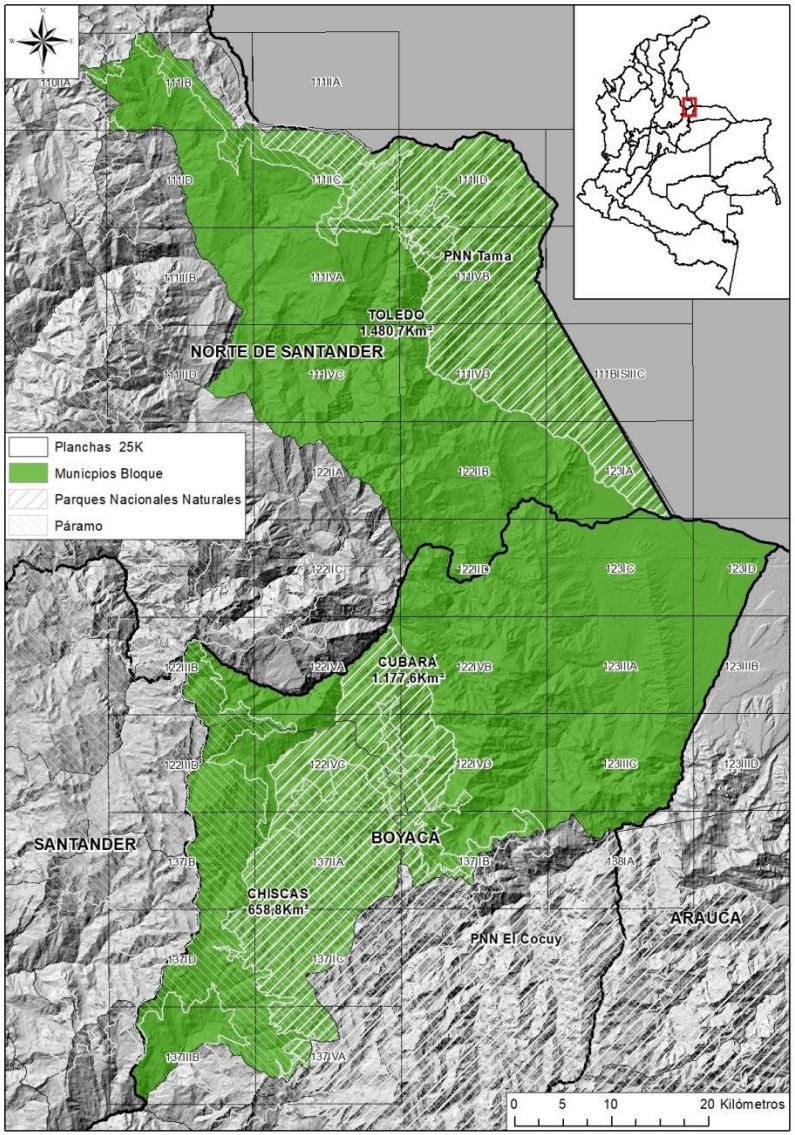
SERVICIO
GEOLÓGICO
COLOMBIANO

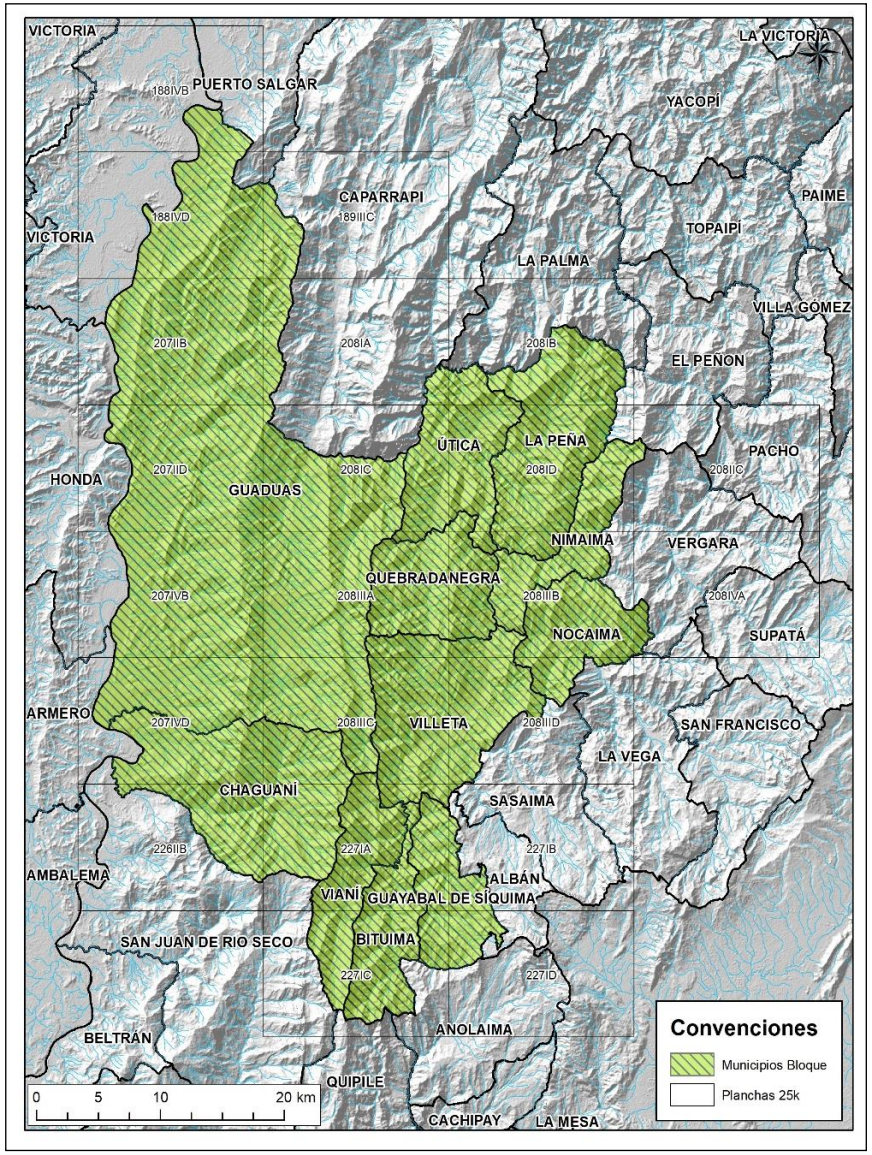


MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO

SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO



MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO

SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO

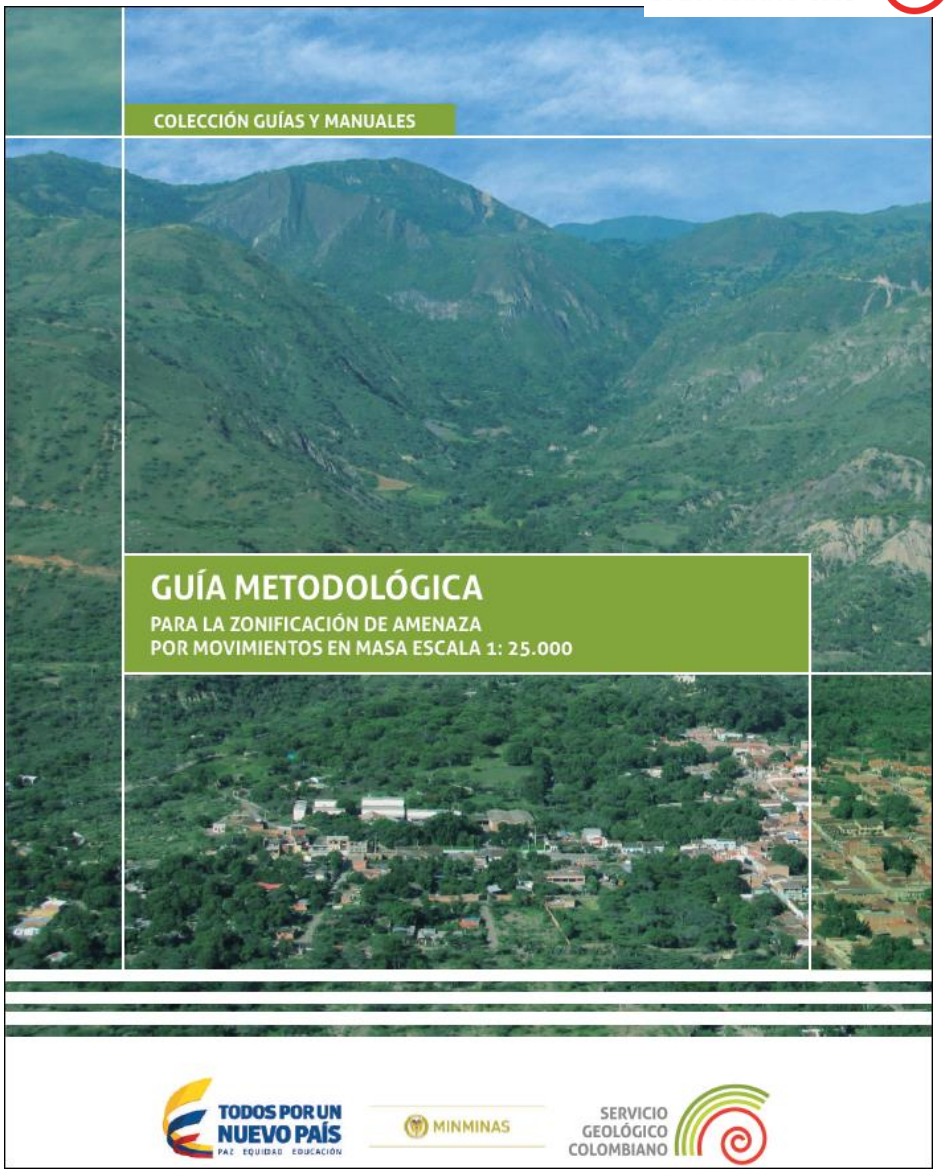
SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO | El futuro es de todos | Minenergía

# TÉRMINOS DE REFERENCIA PARA LA ACTUALIZACIÓN DEL MAPA NACIONAL DE AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA ESCALA 1:25.000

**Bloque 01**

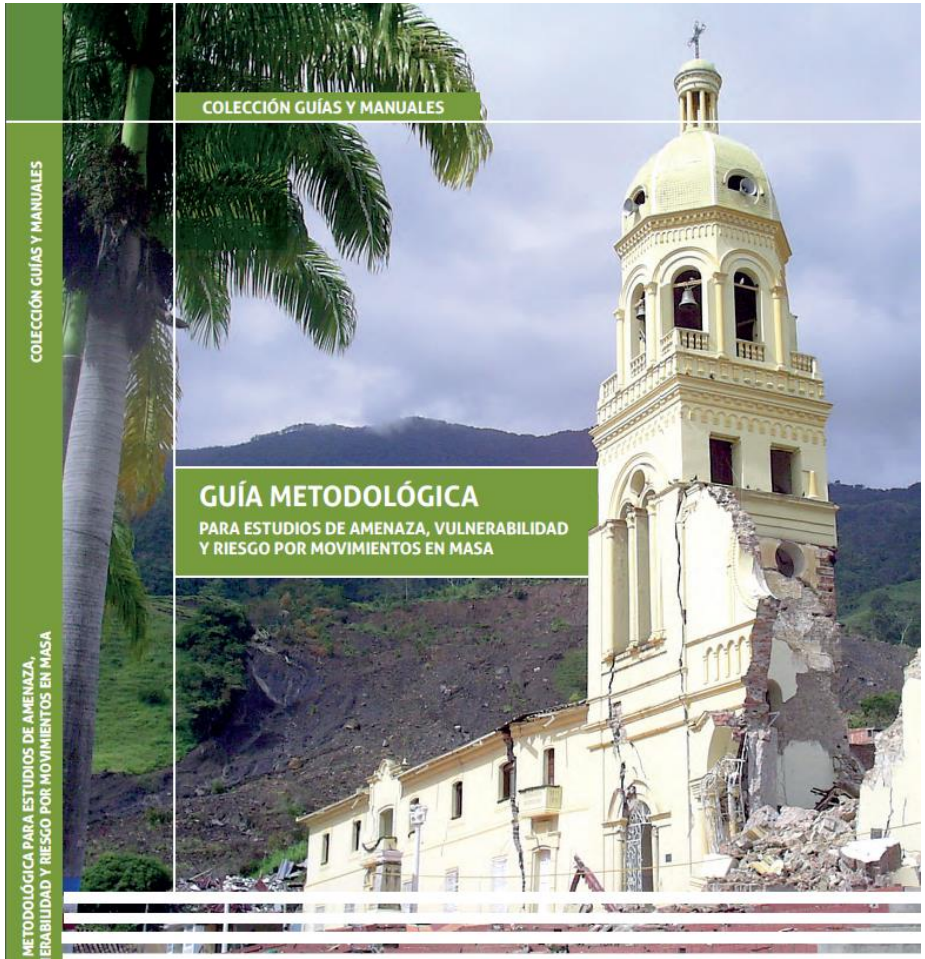
**Bogotá, agosto 2019**

**Servicio Geológico Colombiano**
Diagonal 53 N.º 34-53, Bogotá D.C., **Teléfono:** (57) (1) 2200000, 2200100 y 2200200 **Fax:** 2220797 **Apartado aéreo:** 4865
**Email:** cliente@sgc.gov.co
**www.sgc.gov.co**



MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO

SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO




1. GENERALIDADES.
2. ÁREA DE ESTUDIO E INFORMACIÓN BÁSICA.
3. ANÁLISIS DE AMENAZA .
4. ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD.
5. CÁLCULO DE RIESGO.
6. EVALUACIÓN DEL RIESGO.
7. CONTENIDO DEL INFORME, PRESENTACIÓN Y PERSONAL REQUERIDO.

# 3. ALCANCE CONVENIO 719-2020 MVCT-SGC

ESTUDIOS BÁSICOS

URBANOS

RURALES

ESTUDIOS DETALLADOS EN AL MENOS DOS MUNICIPIOS

ZONAS CON CONDICIÓN DE RIESGO

ZONAS CON CONDICIÓN DE AMENAZA

# Alcance

| DEPARTAMENTO | MUNICIPIO | ZONIFICACIÓN DE AMENAZA POR | ESCALA | SECTOR | ÁREA DE ESTUDIO (ha) |
|---|---|---|---|---|---|
| Cauca | La Sierra | Movimientos en Masa | 1:5.000 | Urbano, periurbano, expansión urbana y parte de la zona rural | 268,25 |
| | Rosas | Movimientos en Masa | 1:5.000 | Urbano, periurbano, expansión urbana y parte de la zona rural | 127,08 |
| | Sotará | Movimientos en Masa | 1:5.000 | Urbano, periurbano y de expansión urbana en Paispamba | 167.69 |
| | | Avenida Torrencial | 1:2.000 | Urbano, periurbano y de expansión urbana en Paispamba y el centro poblado Las Vegas | 471,15 |

MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO

SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO

| DEPARTAMENTO | MUNICIPIO | ZONIFICACIÓN DE AMENAZA POR | ESCALA | SECTOR | ÁREA DE ESTUDIO (ha) |
|---|---|---|---|---|---|
| Valle del Cauca | Yumbo | Avenida Torrencial | 1:2.000 | Urbano, periurbano, expansión urbana | 4.188 |
| | | Inundación | 1:5.000 | Urbano, periurbano y expansión urbana. | 4.188 |
| | | Inundación | 1:25.000 | Rural | 5.202 |
| | | Movimientos en Masa | 1:5.000 | Urbano, periurbano y expansión urbana. | 4.188 |
| | | Movimientos en Masa | 1:25.000 | Rural | 17.817 |
| | Candelaria | Inundación | 1:5.000 | Urbano, periurbano, expansión urbana y los polígonos de los centros poblados Juanchito, Domingo Largo, Poblado Campestre, El Carmelo, Villa Gorgona, Mirador del Fraile | 2.432 |
| | | Inundación | 1:25.000 | Rural | 29.602 |

| DEPARTAMENTO | MUNICIPIO | ZONIFICACIÓN DE AMENAZA POR | ESCALA | SECTOR | ÁREA DE ESTUDIO (ha) |
|---|---|---|---|---|---|
| Vichada | Puerto Carreño | Inundación | 1:5.000 | Urbano, periurbano, expansión urbana y parte de la zona rural de Puerto Carreño y los polígonos de los centros poblados de Aceitico, Casuarito y Garcitas | 4.552 |
| | | inundación | 1:25.000 ó 1:100.000 (según disponibilidad de cartografía) | Rural | 1.237.235 |

En el área urbana se hará la evaluación de los macizos rocosos que puedan afectar elementos expuestos por caída de rocas.

MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO

SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO

| DEPARTAMENTO | MUNICIPIO | ZONIFICACIÓN DE AMENAZA POR | ESCALA | SECTOR | ÁREA DE ESTUDIO (ha) |
|---|---|---|---|---|---|
| Valle del Cauca | Jamundí | Avenida Torrencial | 1:2.000 | Urbano, periurbano y expansión urbana. | 7.923 |
| | | Inundación | 1:5.000 | Urbano, periurbano y expansión urbana. | 7.923 |
| | | Inundación | 1:25.000 | Rural | 18.828 |
| | | Movimientos en Masa | 1:5.000 | Urbano, periurbano y expansión urbana. | 7.923 |
| | | Movimientos en Masa | 1:25.000 | Rural | 43.994 |

MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO

SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO

| DEPARTAMENTO | MUNICIPIO | ZONIFICACIÓN DE AMENAZA POR | ESCALA | SECTOR | ÁREA DE ESTUDIO (ha) |
|---|---|---|---|---|---|
| Cauca | Villa Rica | Inundación | 1:5.000 | Urbano, periurbano y expansión urbana. | 1.633 |
| | | Inundación | 1:25.000 | Rural | 8.153 |

MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO

SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO

## Estudios Detallados

| DEPARTAMENTO | MUNICIPIO | ZONIFICACIÓN DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR | ESCALA | SECTOR | ÁREA DE ESTUDIO (ha) |
|---|---|---|---|---|---|
| Valle del Cauca | Cali | Movimientos en Masa | 1:2.000 | Polígonos seleccionados por el MVCT | 86,14 |
| Risaralda | Pereira | Movimientos en Masa | 1:2.000 | Polígonos seleccionados por el MVCT | 64 |

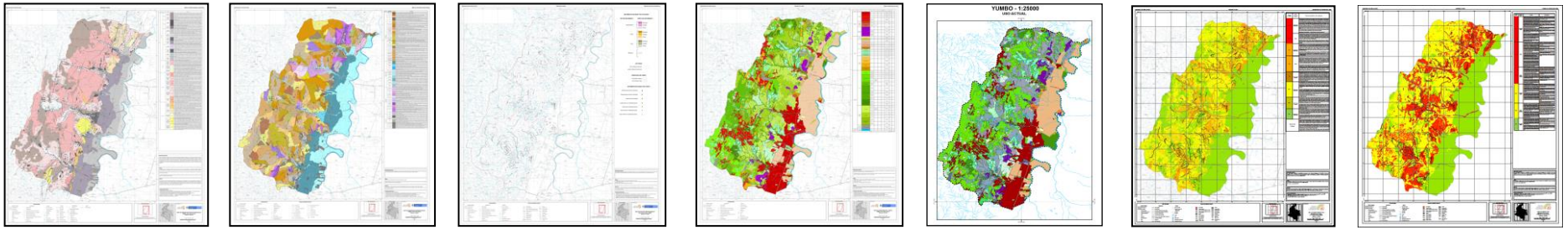
## Productos Entregados

Informes: 30
Mapas: 833

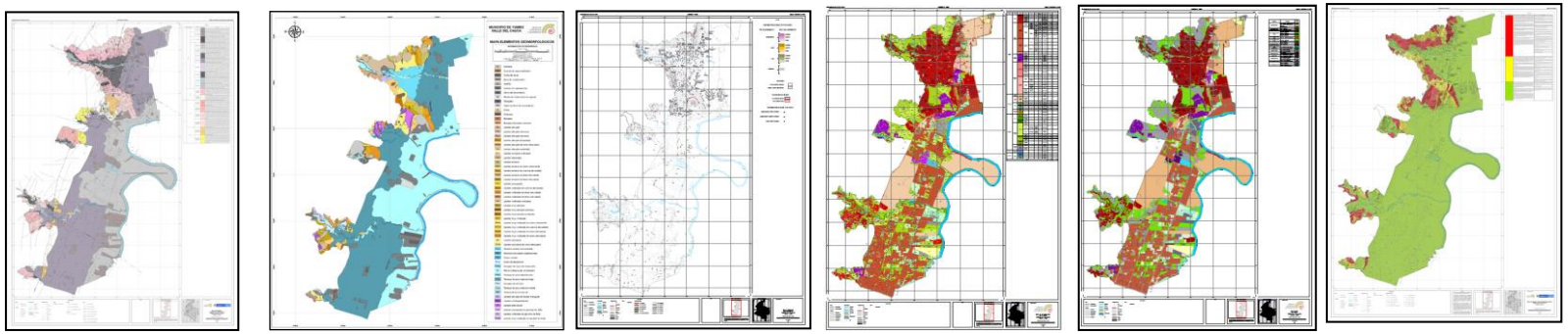
# 4. PRODUCTOS CONVENIO 719-2020 MVCT-SGC

Municipio de Yumbo: Estudios básicos

Zonificación de amenaza por movimientos en masa escala 1:25.000, zona rural



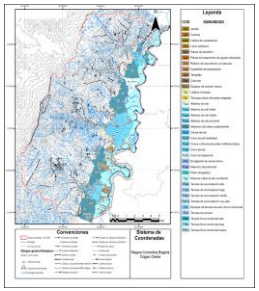
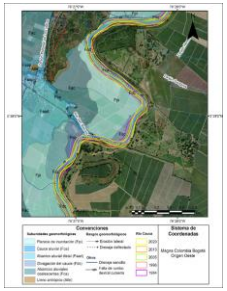
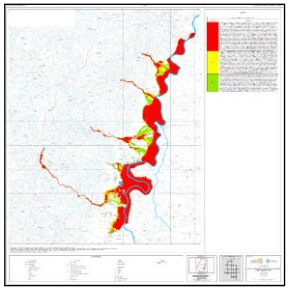
Zonificación de amenaza por movimientos en masa escala 1:5.000, zona urbana



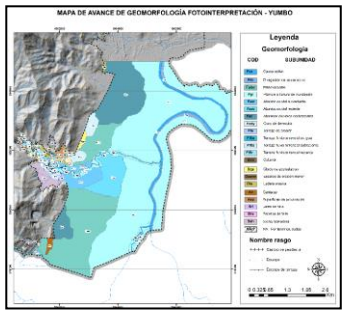
MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO

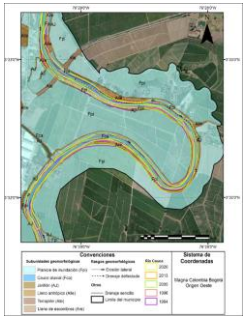
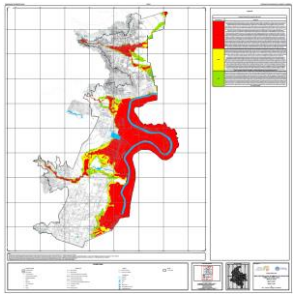
SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO

Zonificación de amenaza por inundación escala 1:25.000, zona rural

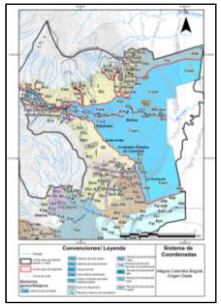
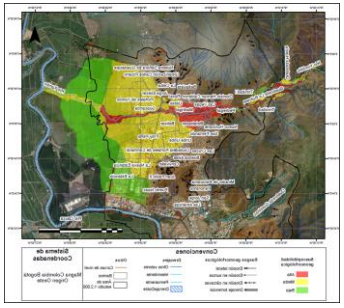
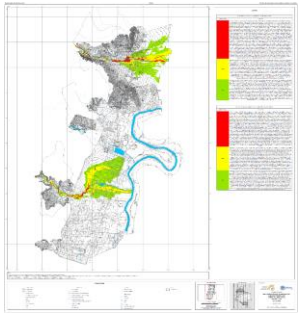




Zonificación de amenaza por inundación escala 1:5.000, zona urbana



Zonificación de amenaza por avenidas torrenciales escala 1:2.000, zona urbana

Total productos

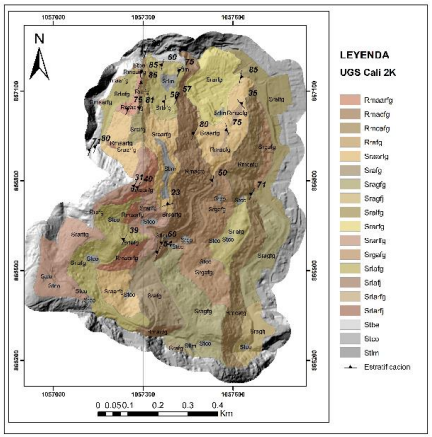
Informes: 6

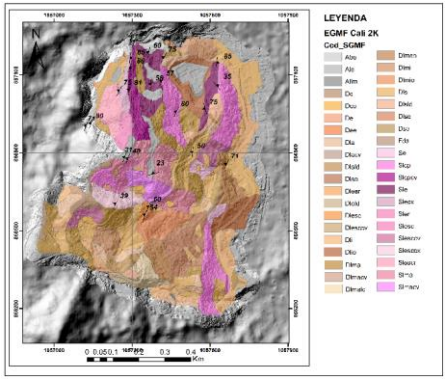
Mapas:

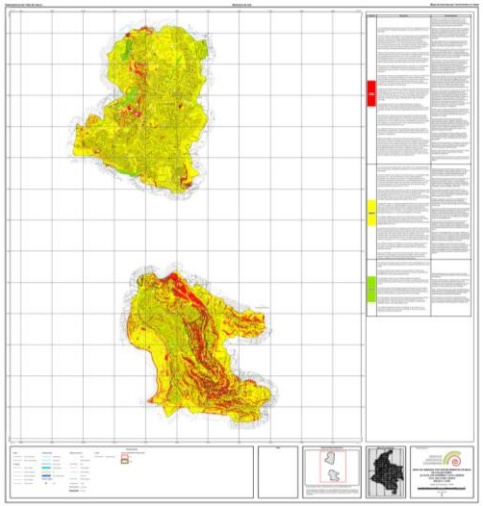
MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO

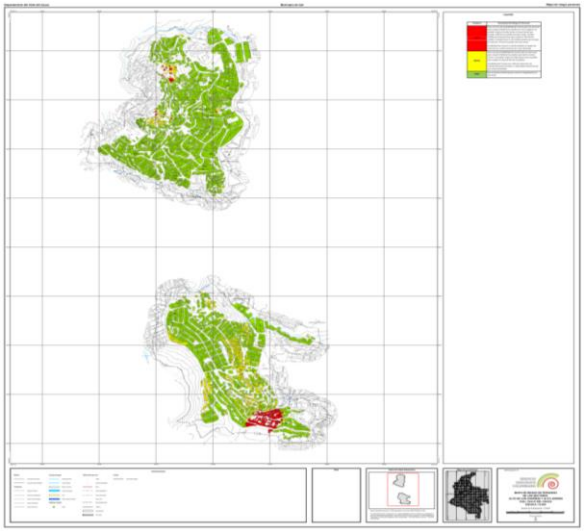
SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO

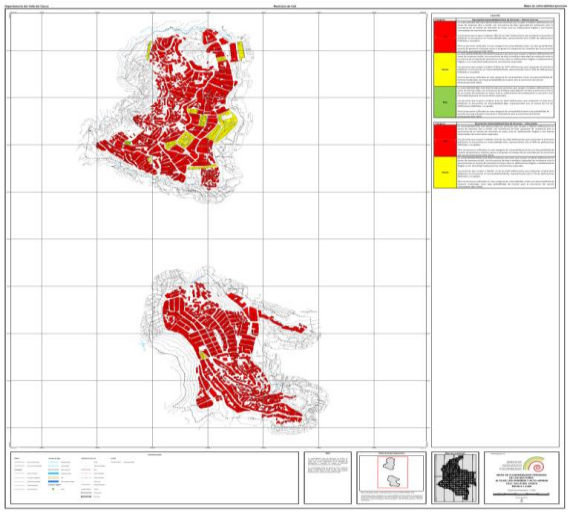
# Municipio de Cali
# Estudios detallados







# Total productos

| Municipio | Mapas | Informes |
|---|---|---|
| Yumbo | 309 | 6 |
| Jamundí | 342 | 6 |
| Villarrica | 32 | 3 |
| Candelaria | 53 | 3 |
| La Sierra | 7 | 2 |
| Rosas | 7 | 2 |
| Sotará | 7 | 2 |
| Puerto Carreño | 82 | 4 |
| Pereira | 29 | 1 |
| Cali | 29 | 1 |
| **Totales** | 897 | 30 |

# 4. LECCIONES APRENDIDAS

Selección de municipios a recibir apoyo del Gobierno Nacional

Definición de estudios a realizar

Definición de áreas de estudio

Movilidad de administraciones municipales

Falta de continuidad

Apoyo de entidades ambientales

Importancia de la participación comunitaria e institucional

XVII CCG
I SSAG 2022
Cartagena

SCG

50 años
1971-2021

# ¡GRACIAS!

## ¿Preguntas?

gruiz@sgc.gov.co
snavarro@sgc.gov.co
lmendez@sgc.gov.co

XVII CONGRESO COLOMBIANO DE GEOTÉCNIA "EVALUACIÓN Y GESTIÓN DE RIESGOS GEOTÉCNICOS CON ÉNFASIS EN LOS EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO"

14 al 18 de Noviembre de 2022

XVII CCG
I SSAG 2022
Cartagena

# IDENTIFICACIÓN DE TRES ZONAS SUSCEPTIBLES A LA OCURRENCIA DE MOVIMIENTOS EN MASA EN EL CERRO DE LA POPA EN CARTAGENA


**Barboza Miranda, Guilliam[1], Méndez Medina, William[2] , Sainea Vargas, Carlos[3]**

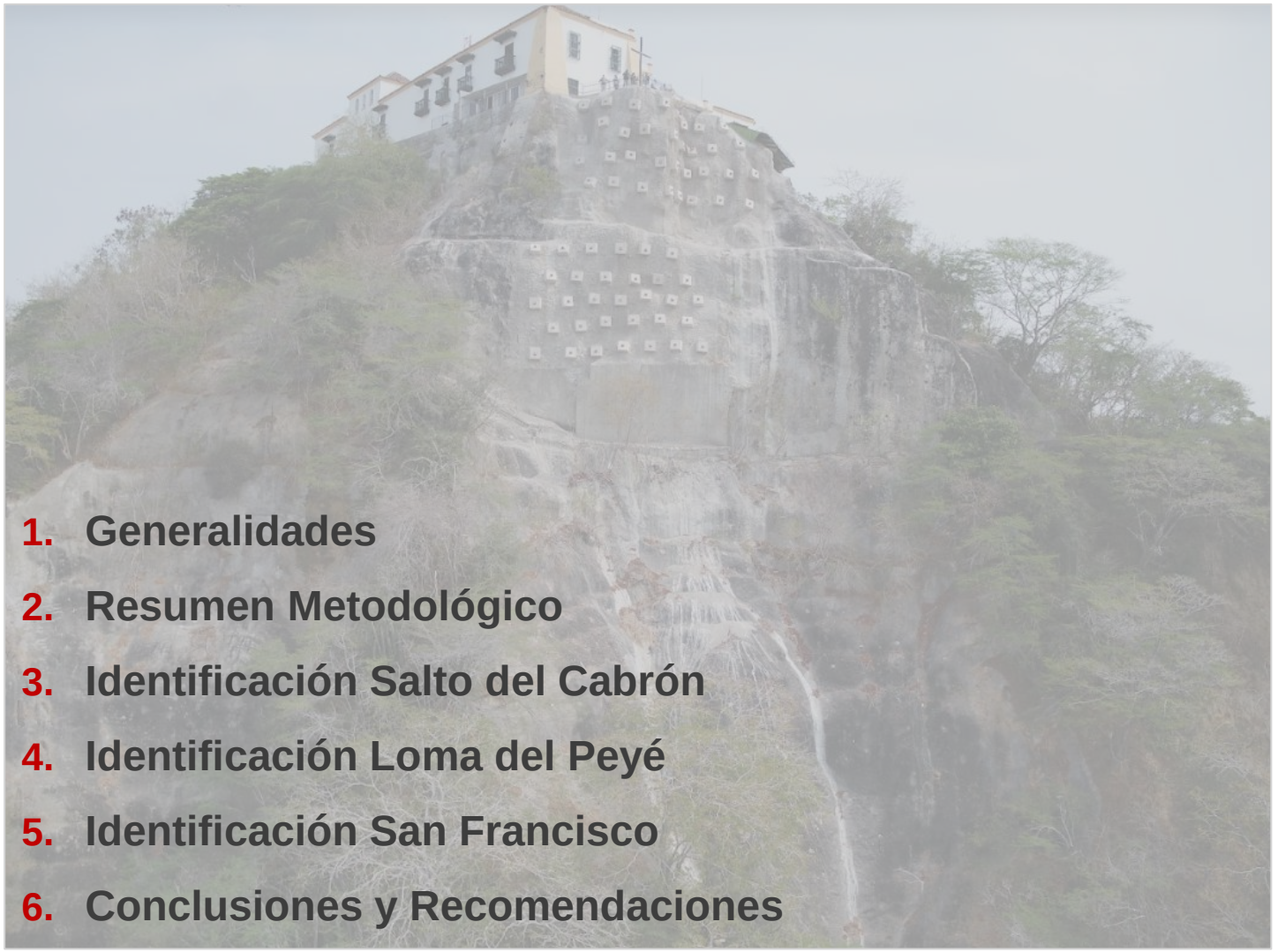
**[1]Facultad de Ingeniería, Programa de Ingeniería Civil, Universidad de Cartagena, Colombia**

**[2y3]Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Civil, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia**


Sociedad Colombiana de Geotecnia

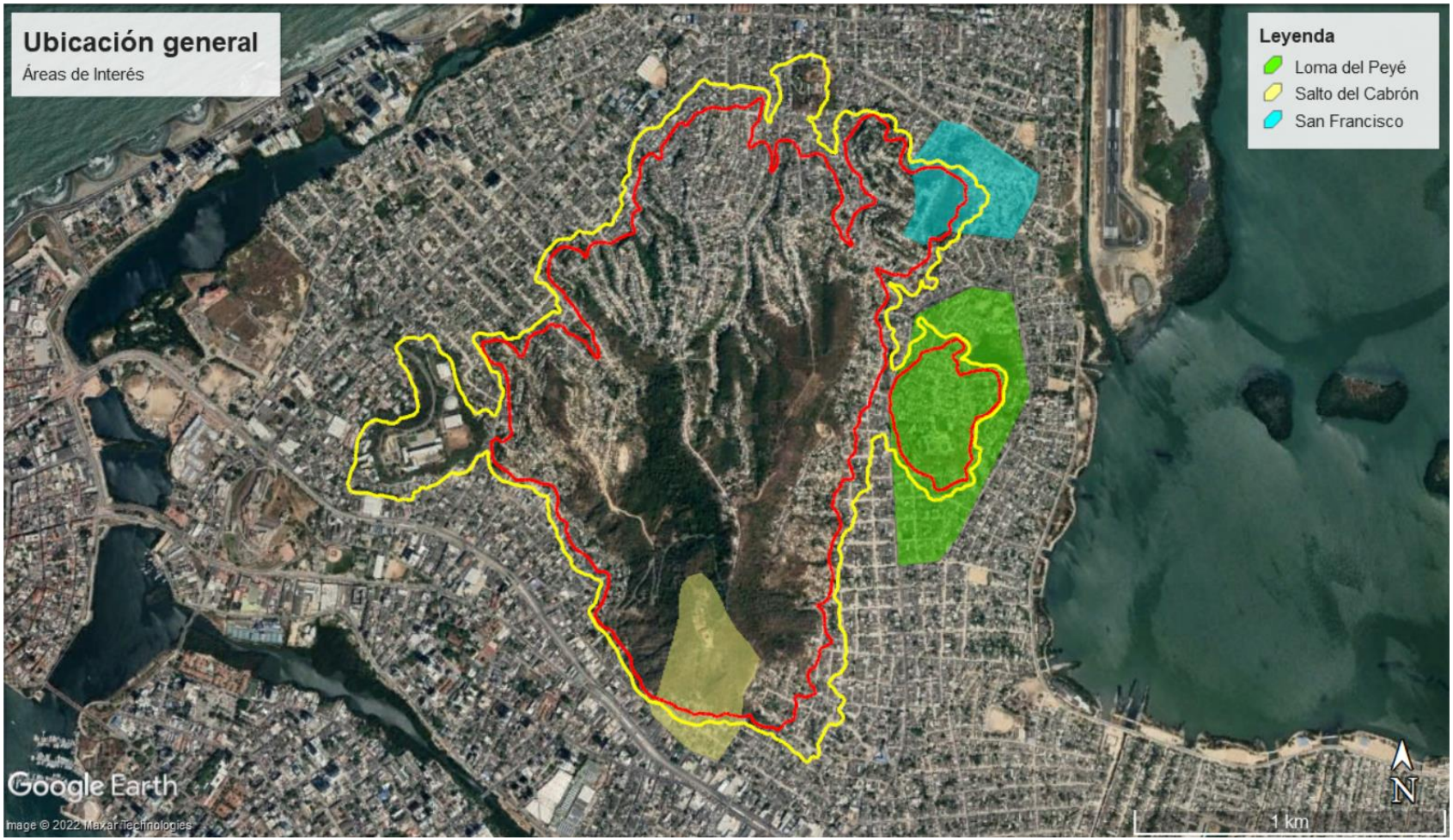
50 años
1971-2021

# CONTENIDO



1. Generalidades
2. Resumen Metodológico
3. Identificación Salto del Cabrón
4. Identificación Loma del Peyé
5. Identificación San Francisco
6. Conclusiones y Recomendaciones

# 1. Generalidades



# 2. Resumen Metodológico

Diagnóstico de las amenazas por movimientos en masa que afectan el Cerro de La Popa

# 3. Identificación Salto del Cabrón

# 3. Identificación Salto del Cabrón

1964

# 3. Identificación Salto del Cabrón

1980

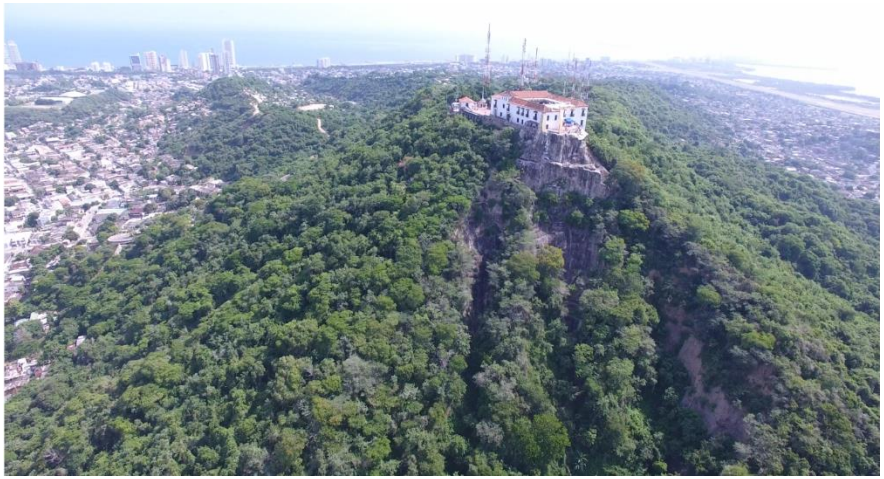
# 3. Identificación Salto del Cabrón

2009

# 3. Identificación Salto del Cabrón

2017

# 3. Identificación Salto del Cabrón



2017

# 3. Identificación Salto del Cabrón

Revestimiento del Salto del Cabrón y construcción de canales transversales

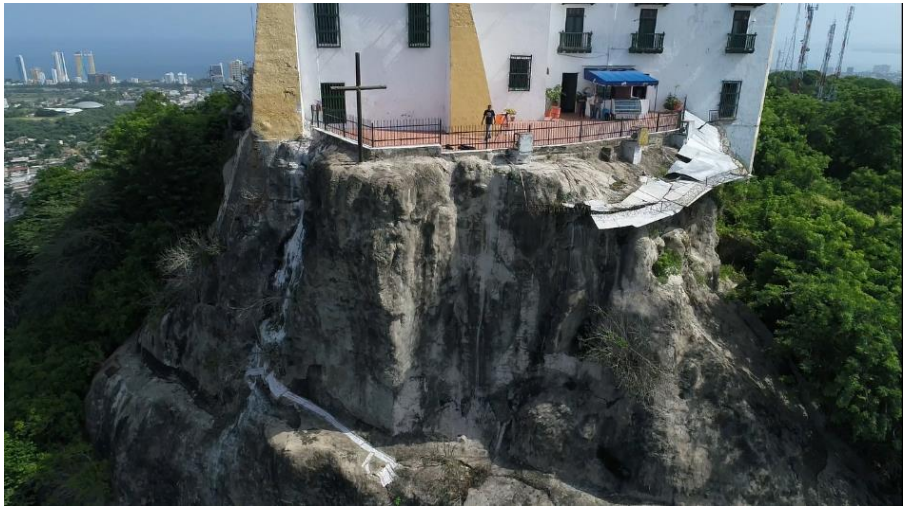
# 3. Identificación Salto del Cabrón

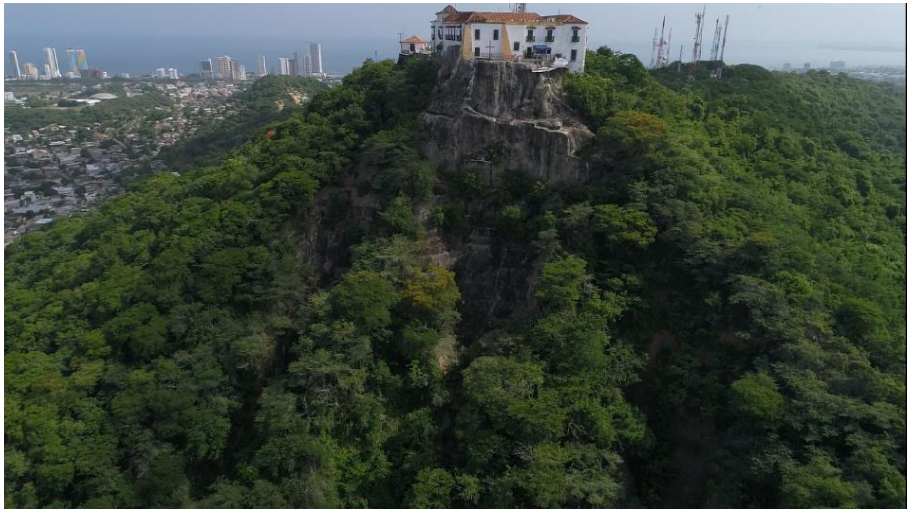
RECORRIDO ESCORRENTIA SUPERFICIAL
**CALLEJON SAL SI PUEDES**

PROCESO DE CARCAVAMIENTO
(BASURERO SATELITE)
**LAS DELICIAS, SECTOR EL CIELO**

2009

# 3. Identificación Salto del Cabrón





# 3. Identificación Salto del Cabrón

# 3. Identificación Salto del Cabrón

# 3. Identificación Salto del Cabrón

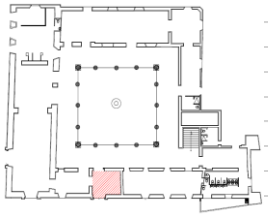
Fachadas del Convento de la Popa. A) Fachada principal, B) Fachada lateral derecha, C) Fachada Posterior y E) Fachada posterior izquierda.

PATOLOGÍAS

En las fachadas y en el interior del convento se identificaron diferentes patologías en los elementos estructurales, tales como grietas, fisuras, caries superficiales, caries profundas, perdida de sillares, deterioro de pañete, porosidad superficial, perdida de juntas o pegas, humedad, eflorescencia, presencia de moho/musgos y desprendimiento de pintura, como se detalla en las fichas patológicas.

# 3. Identificación Salto del Cabrón

| CONVENTO DE LA POPA | | Fecha: | 4/08/2017 |
|---|---|---|---|
| Tipología | Zaguán - Recepción | | |
| Localización: | Código (s): | | Ficha N° |
| | PG1-01 | | 0-1 |



Patologías Encontradas

| | |
|---|---|
| Grietas | |
| Fisuras | ■ |
| Caries Superficiales | |
| Caries Profundas | |
| Pérdida de Sillares | |
| Deterioro del pañete | |
| Porosidad Superficial | |
| Pérdida de Juntas | |
| Humedad | |
| Eflorescencia | ■ |
| Desprendimiento de pintura | |
| Moho/musgo | |

| Tipo de Lesiones | | Riesgo Estimado | |
|---|---|---|---|
| Físicas | ■ | Leve | ■ |
| Mecánica | | Moderad | |
| Químicas | ■ | Grave | |
| Biológica | | Muy Grave | |

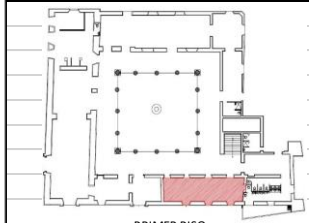
Aspecto Afectado: Seguridad ☐ Estética ■

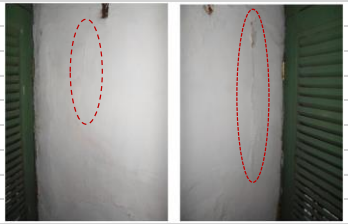
**OBSERVACIONES:**
-Se observa eflorecencias en la superficie del piso del Zaguán (Foto superior).

-Pequeñas fisuras en muro, con longitudes no mayores a 30 cm (Foto inferior).

**POSIBLES CAUSAS:**
-Podría deberse a la disolución de sales por parte del material y a su porosidad.
-Las fisuras pueden haber sido causadas por tensiones o deformaciones de los materiales, sin embargo estas no tienen caracter estructural.

| CONVENTO DE LA POPA | | Fecha: | 4/08/2017 |
|---|---|---|---|
| Tipología | SALÓN AUDITORIO | | |
| Localización: | Código (s): | | Ficha N° |
| | PG1-02 | | 0-2 |





Patologías Encontradas

| | |
|---|---|
| Grietas | |
| Fisuras | ■ |
| Caries Superficiales | ■ |
| Caries Profundas | |
| Pérdida de Sillares | |
| Deterioro del pañete | ■ |
| Porosidad Superficial | ■ |
| Pérdida de Juntas | |
| Humedad | ■ |
| Eflorescencia | ■ |
| Desprendimiento de pintura | ■ |
| Moho/musgo | |

| Tipo de Lesiones | | Riesgo Estimado | |
|---|---|---|---|
| Físicas | ■ | Leve | |
| Mecánica | | Moderad | ■ |
| Químicas | ■ | Grave | |
| Biológica | | Muy Grave | |

Aspecto Afectado: Seguridad ☐ Estética ■

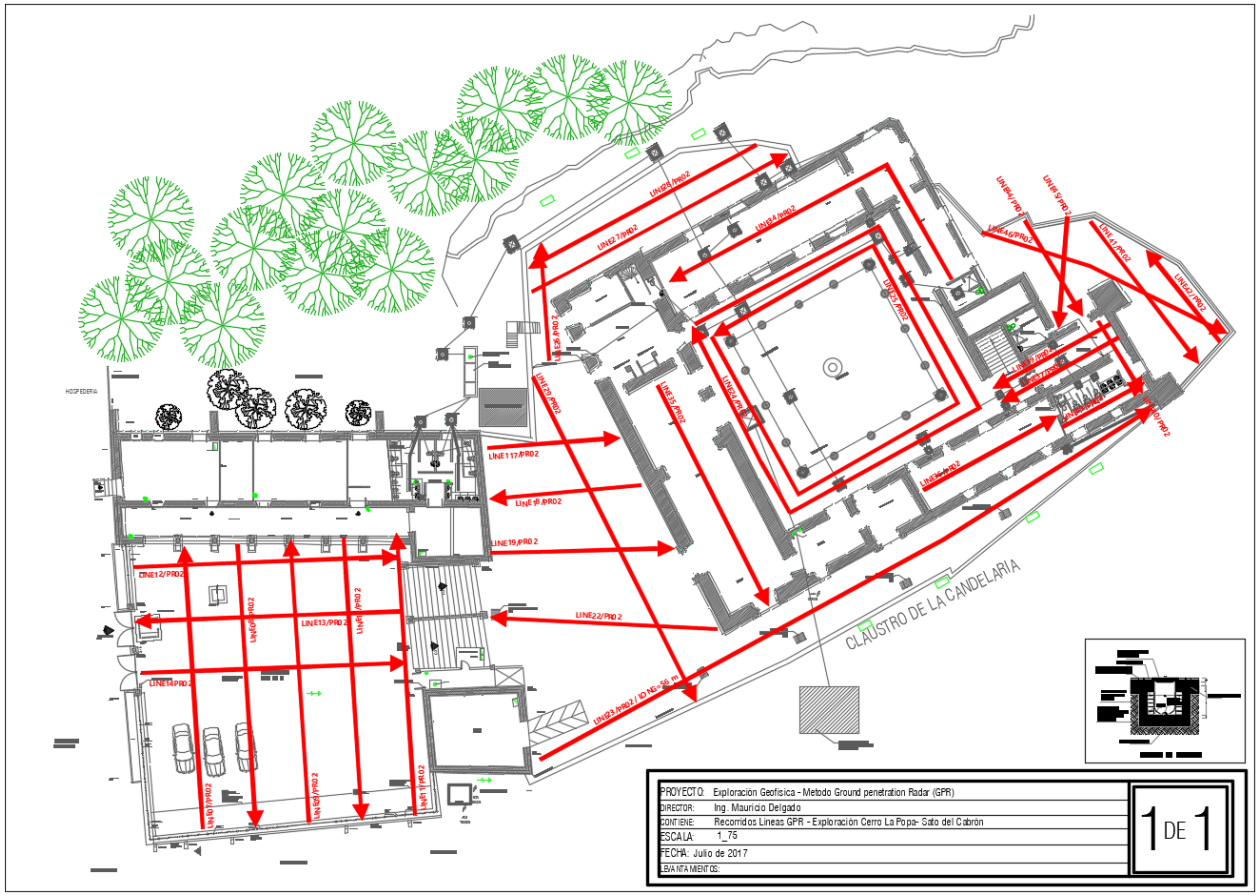
**OBSERVACIONES:**
-Se observa humedad, eflorescencia y con esto desprendimiento de pintura en los muros (fotos superiores)
-Presencia de caries superciales y deterioro de pañete en muros (fotos intermedias)
- Fisuras en muros con longitud no superior a 60 cm (Fotos inferiores)

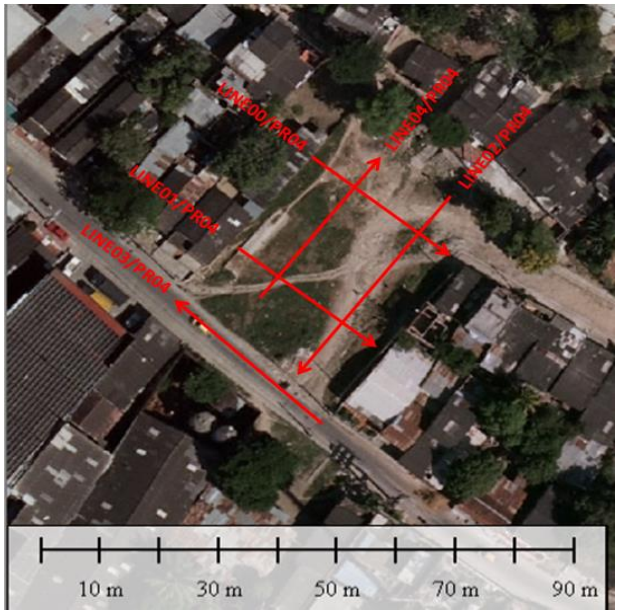
**POSIBLES CAUSAS:**
-Podría deberse a la disolución de sales por parte del material de los muros gracias a la presencia de humedad y a su porosidad.
-La humedad en los muros podría ser la causa de las caries superficiales y el deterioro del pañete.
-Las fisuras pueden haber sido causadas por tensiones o deformaciones de los materiales.

# 3. Identificación Salto del Cabrón

# 4. Identificación Salto del Cabrón

# 3. Identificación Salto del Cabrón



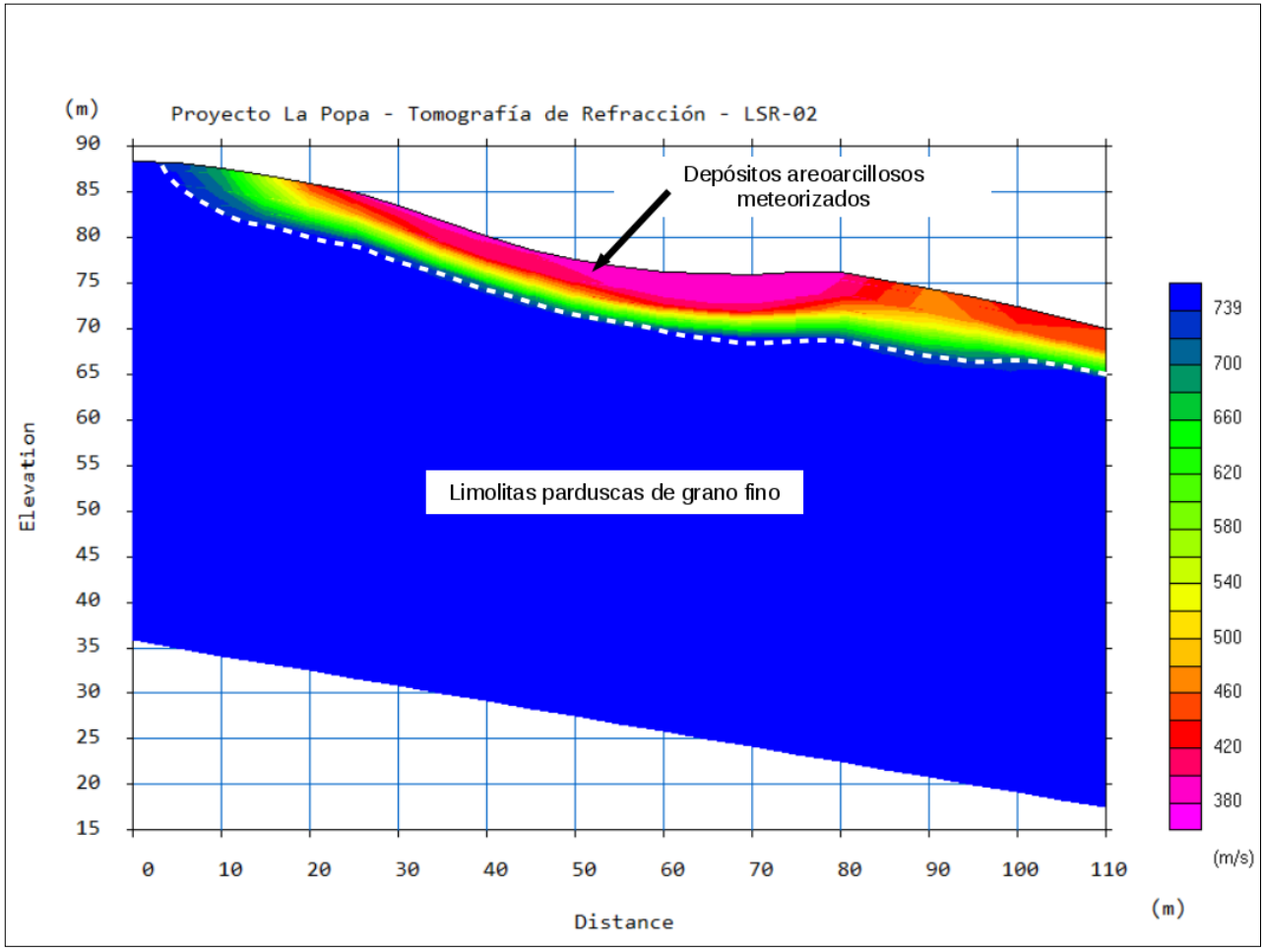
# 3. Identificación Salto del Cabrón

# 3. Identificación Salto del Cabrón

# 3. Identificación Salto del Cabrón

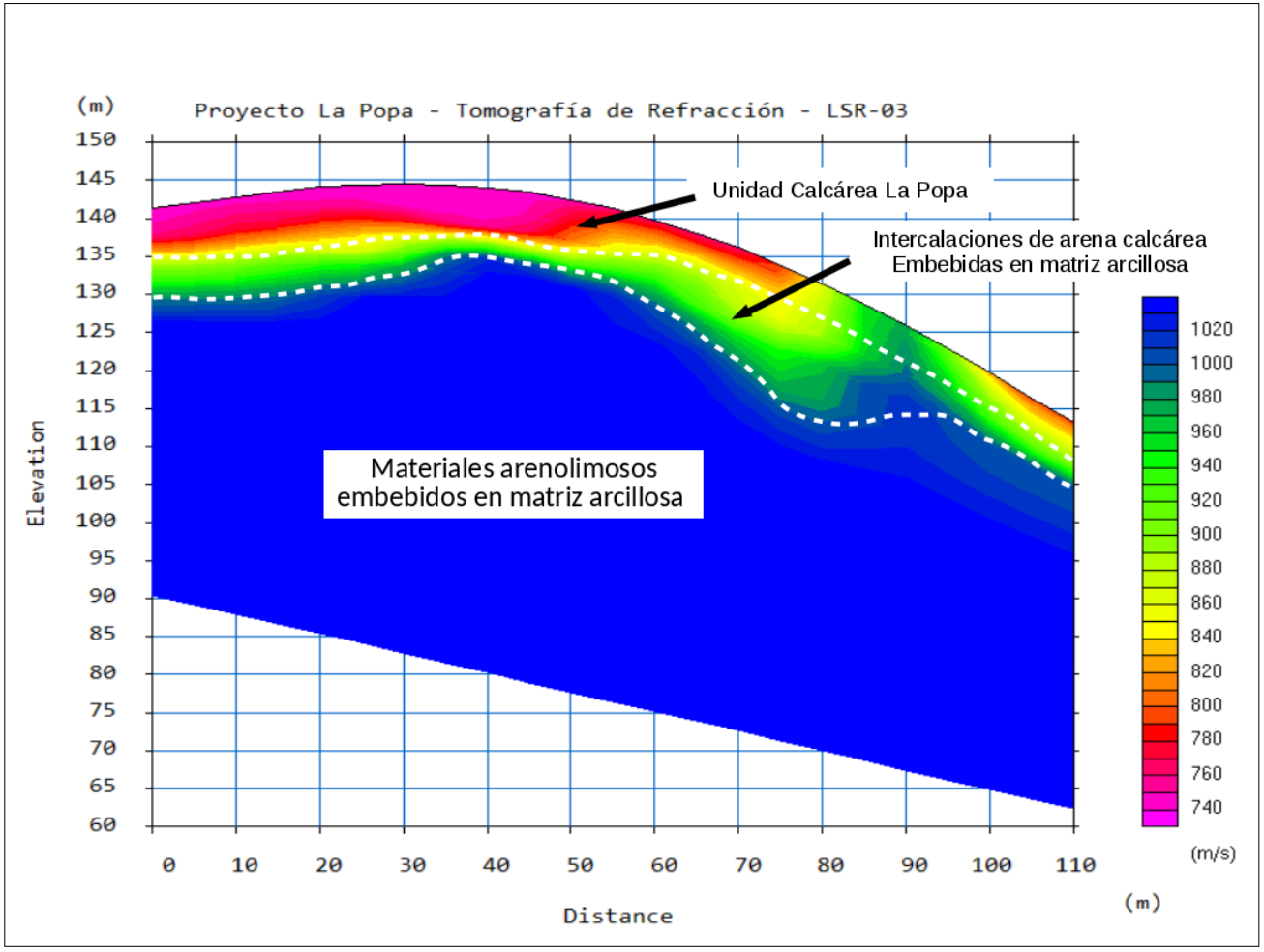
# 3. Identificación Salto del Cabrón

# 3. Identificación Salto del Cabrón



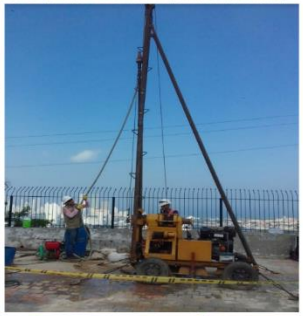

Tomografía de refracción línea
LSR-02 - modelo de velocidad Vp

# 4. Identificación Salto del Cabrón




Tomografía de refracción de la línea LSR-03 - modelo de velocidades Vp

# 3. Identificación Salto del Cabrón



# 3. Identificación Salto del Cabrón

# 3. Identificación Salto del Cabrón

Levantamiento geológico-geomorfológico

# 3. Identificación Salto del Cabrón

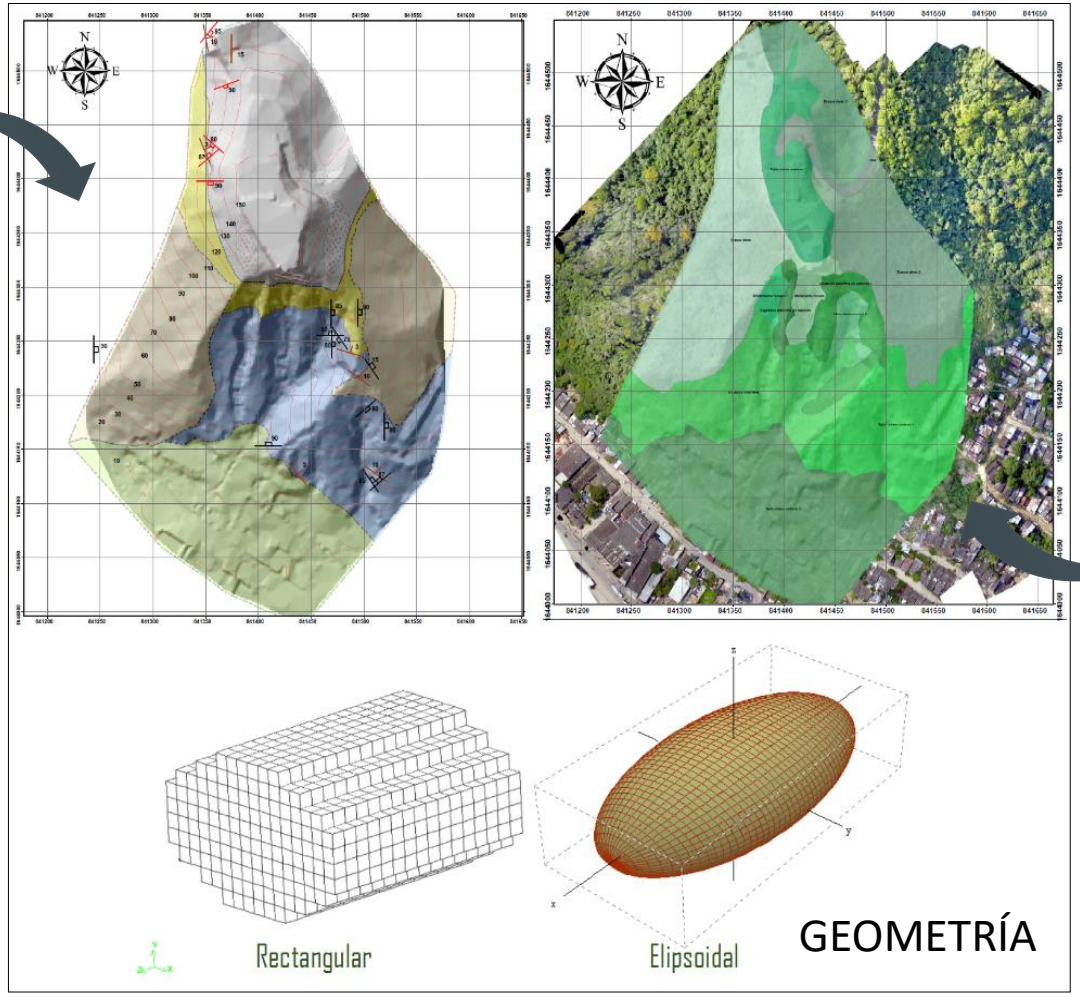
Nivel de Limos calcáreos Intermedios. Detalle del contacto con la caliza suprayacente.

# 3. Identificación Salto del Cabrón

# 3. Identificación Salto del Cabrón

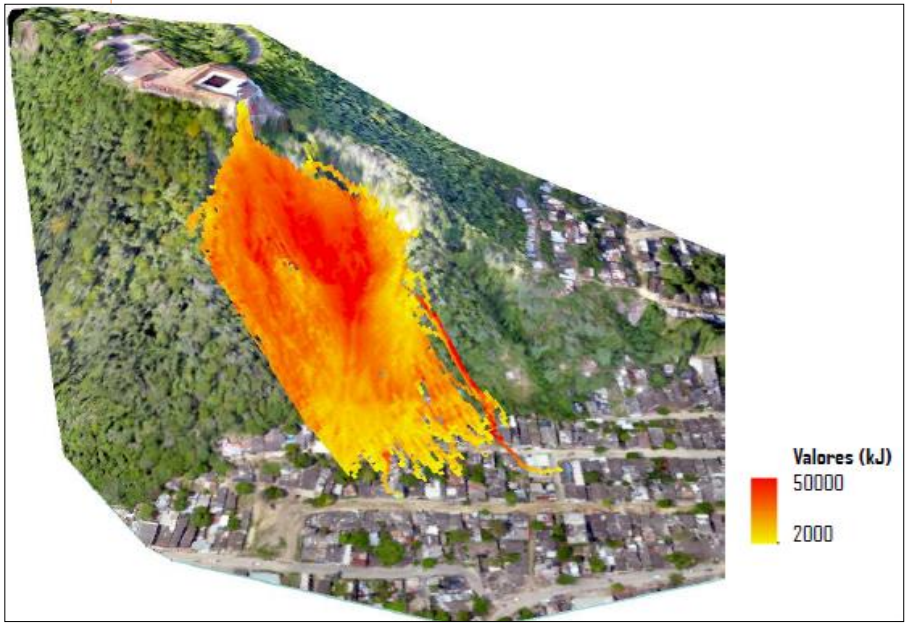
# 3. Identificación Salto del Cabrón

SUELOS

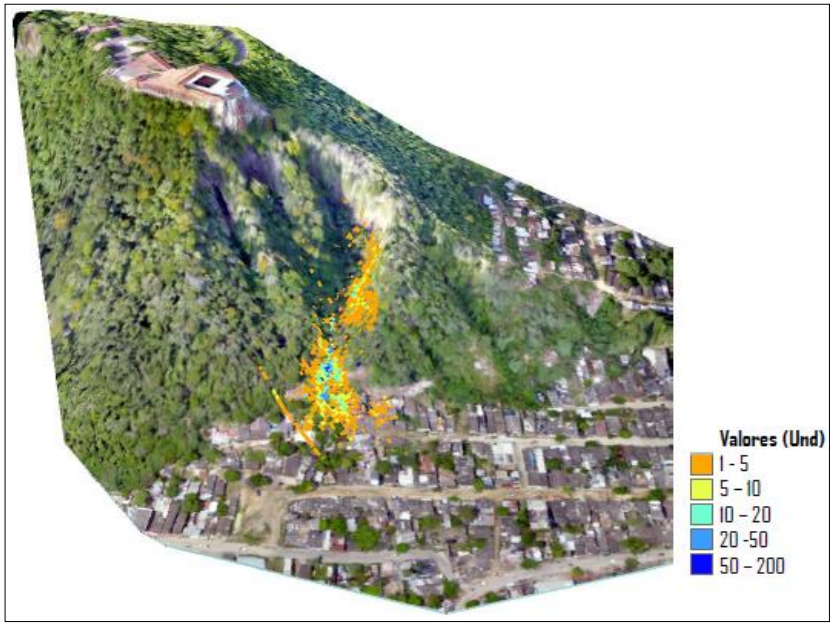



COBERTURA

# 3. Identificación Salto del Cabrón

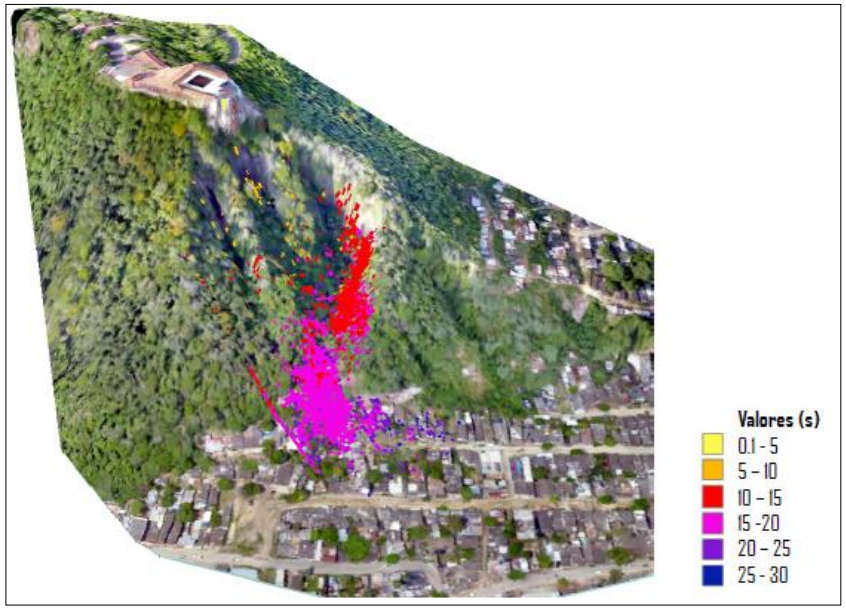



Escala de Energía de impacto

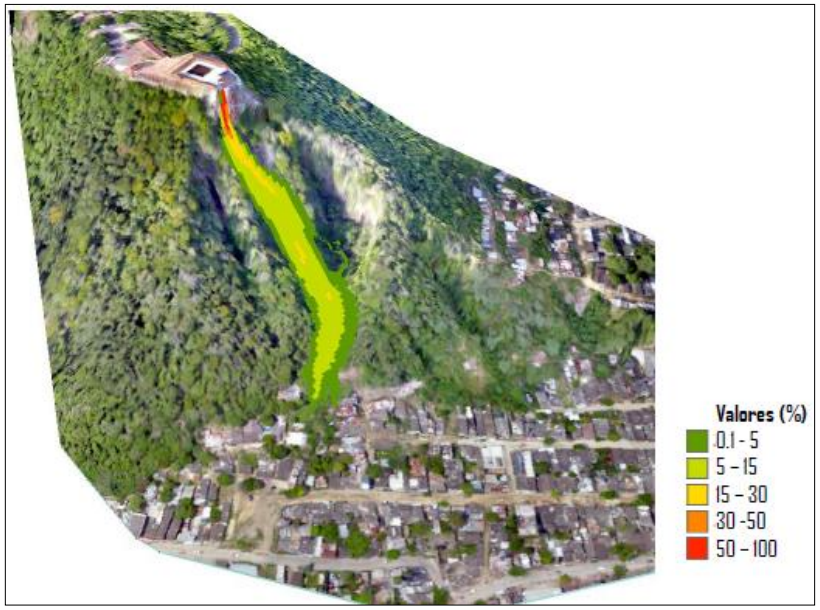



Ubicación final de los bloques

# 3. Identificación Salto del Cabrón




Tiempos de caída

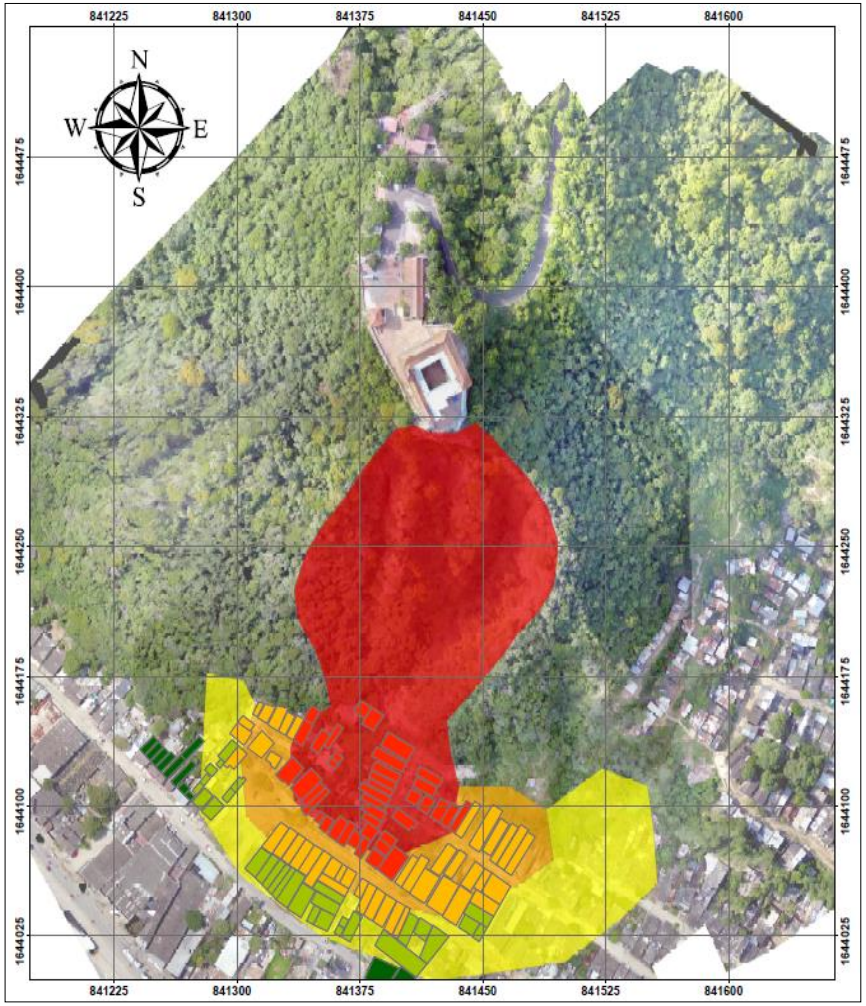



TRAYECTORIA MÁS PROBABLE

# 3. Identificación Salto del Cabrón

Modelación de Caída de Bloques - Resultados

| Indicadores de amenaza | Alta | Media | Baja | TOTALES |
|---|---|---|---|---|
| Total de viviendas | 48 | 29 | 56 | 133 |
| Poblacion menor de 7 años | 19 | 13 | 24 | 56 |
| Población mayor de 70 años | 15 | 8 | 12 | 35 |
| Total personas | 197 | 120 | 259 | 576 |



# 3. Identificación Salto del Cabrón

Caliza(Clza)

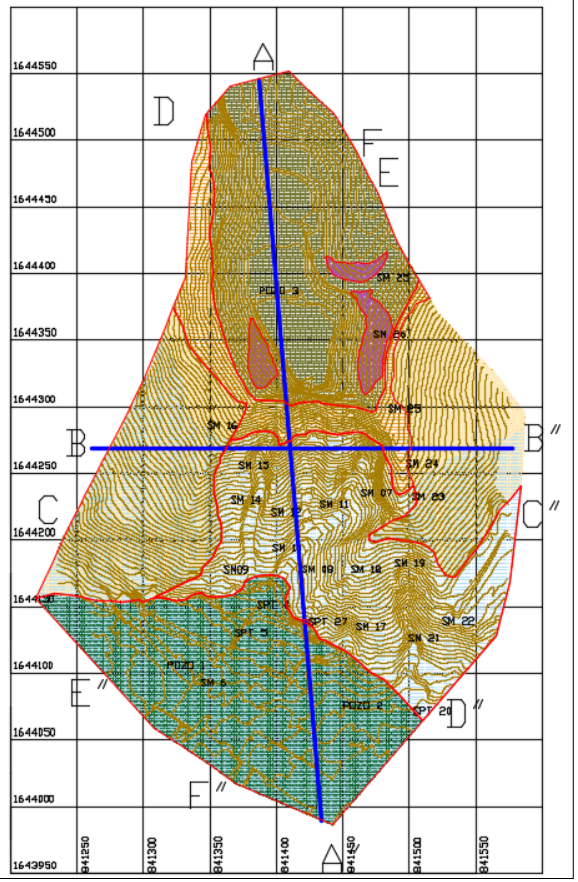
Relleno Antropico (Rell)

Limos arenosos Calcáreos (LimACal)

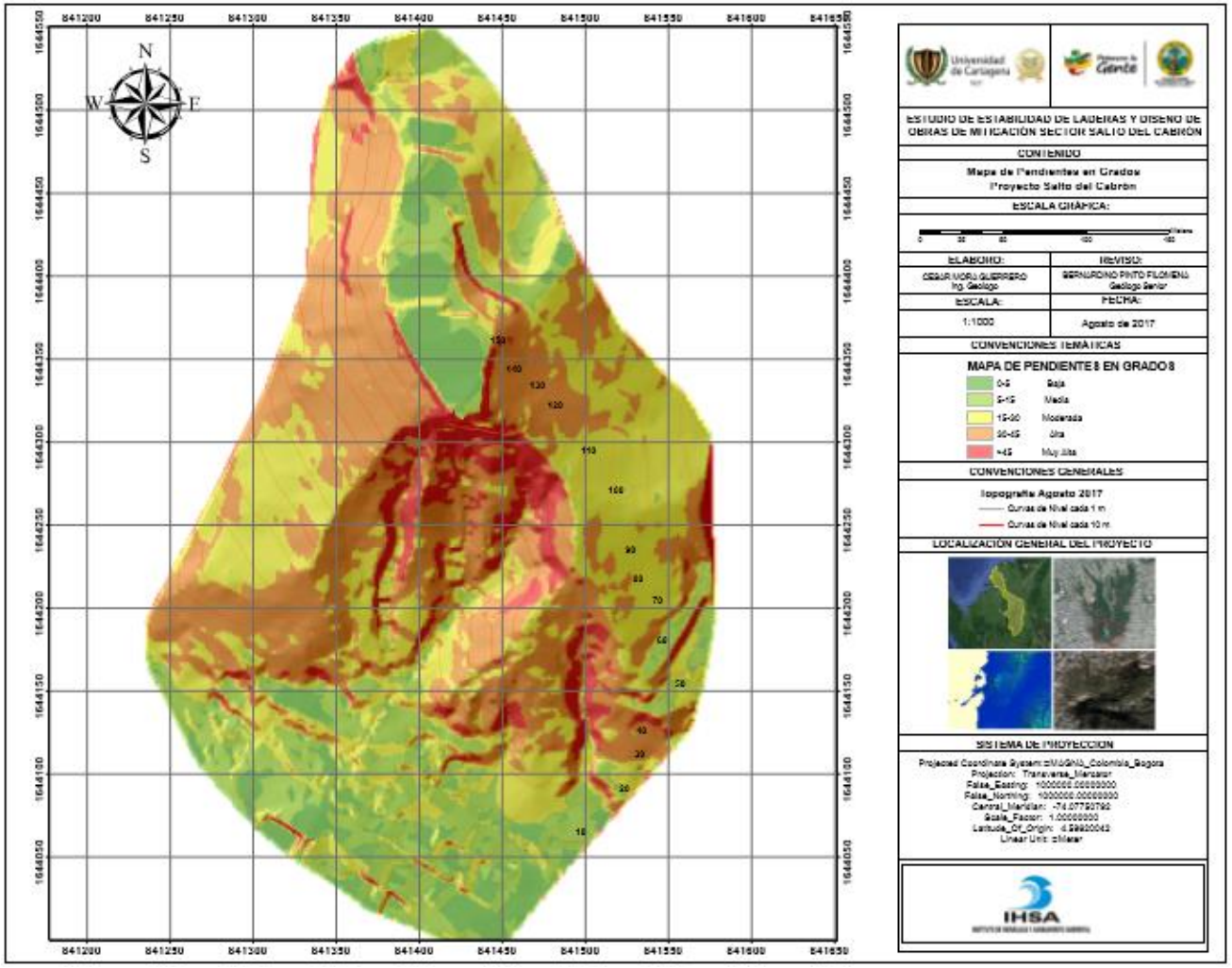
Arcíllolita con niveles limosos (ArcLim)

Coluvion calcáreo (ClvCa)

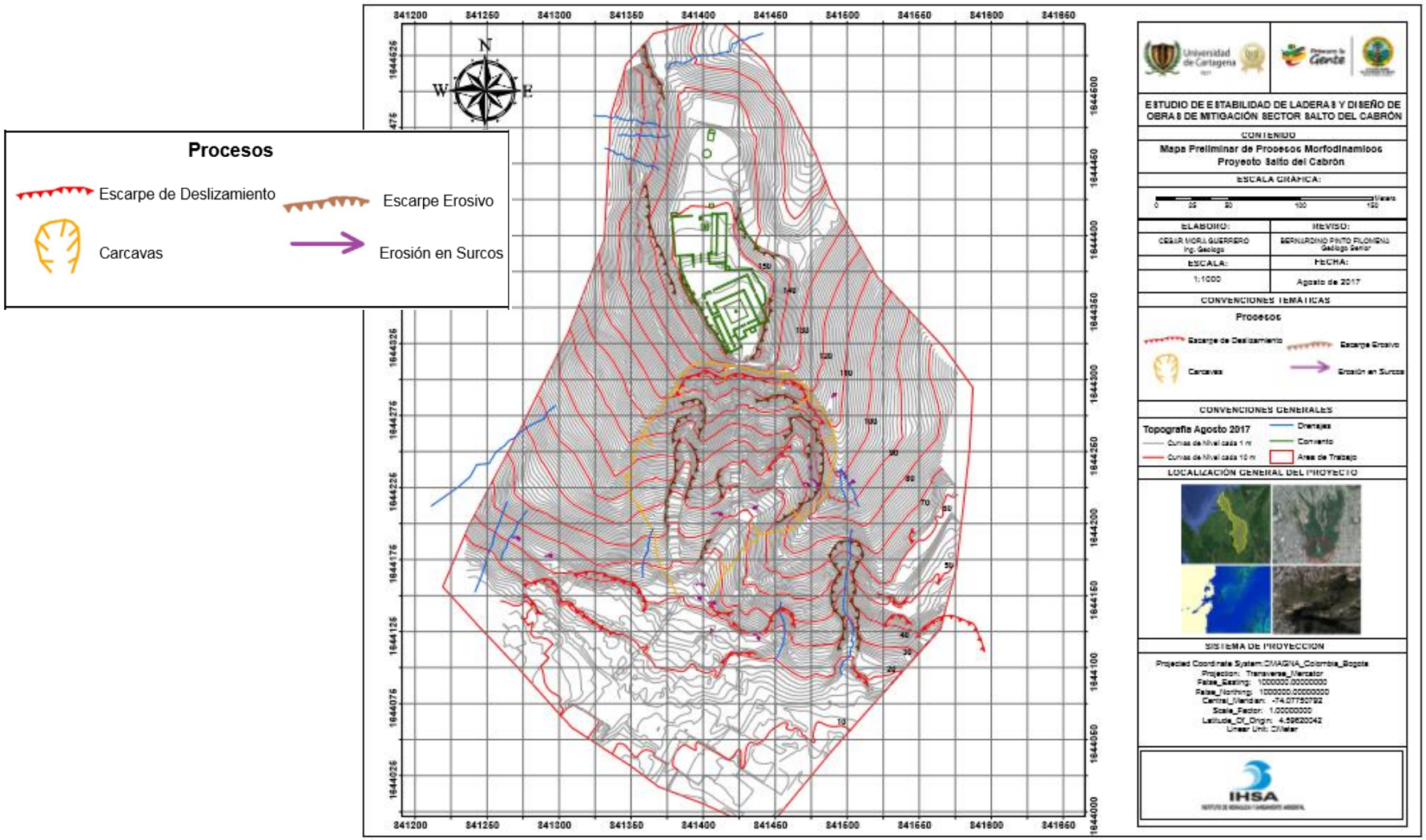
Depositos recientes de deslizamientos (Qfd)



# 3. Identificación Salto del Cabrón



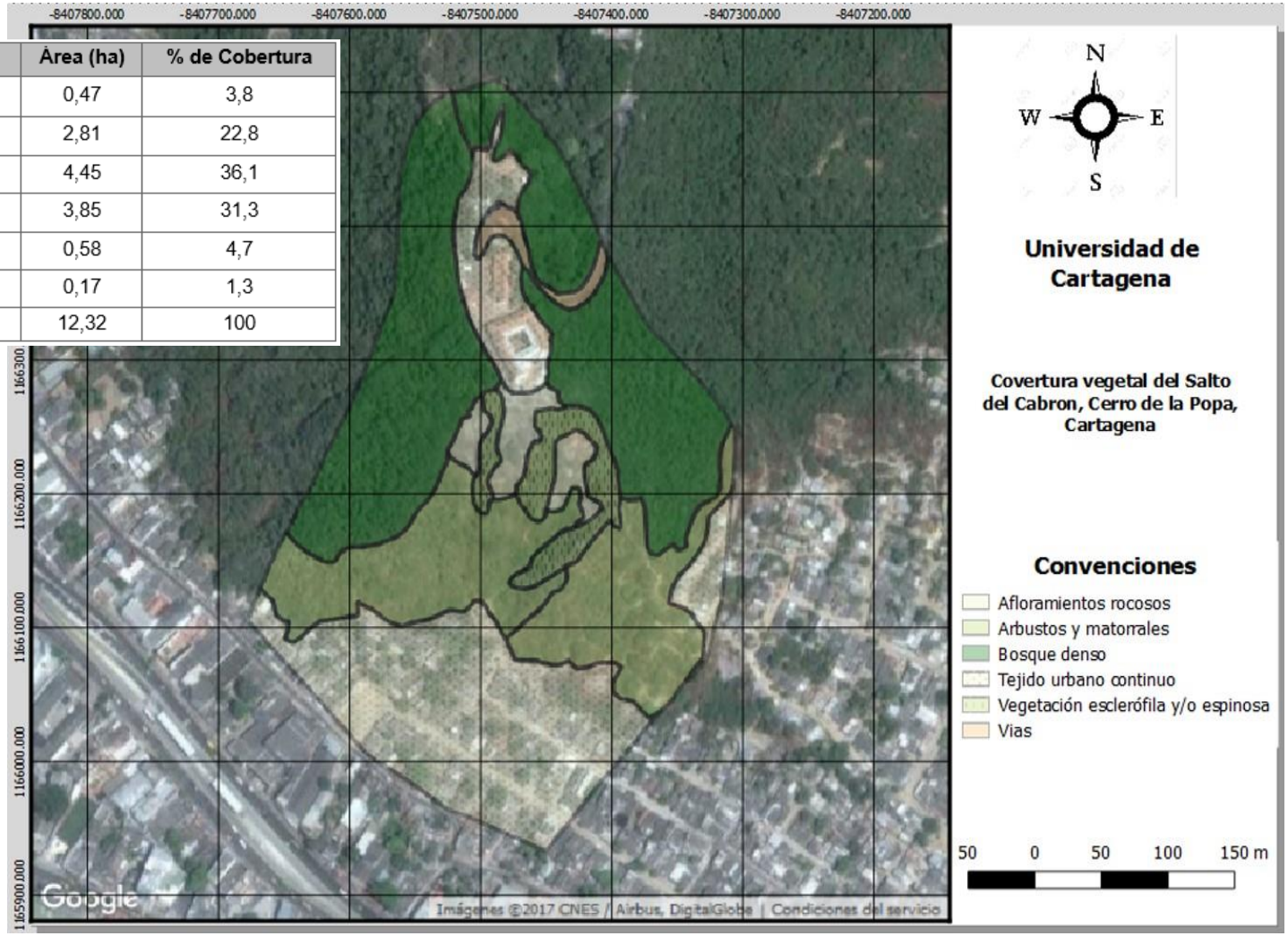
# 3. Identificación Salto del Cabrón




**IDENTIFICACIÓN DE TRES ZONAS SUSCEPTIBLES A LA OCURRENCIA DE MOVIMIENTOS EN MASA EN EL CERRO DE LA POPA EN CARTAGENA**

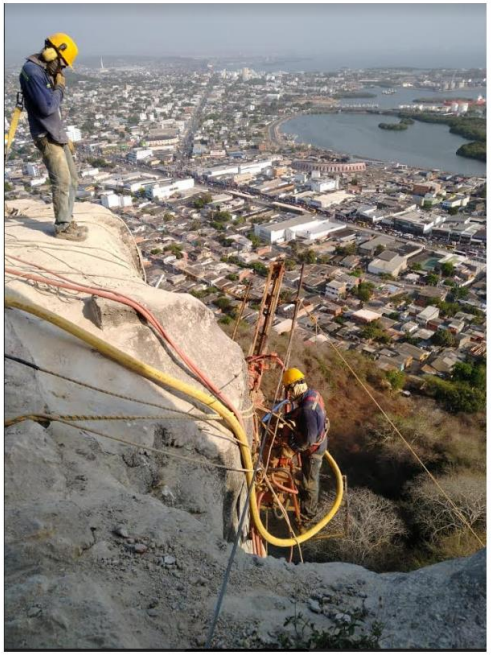
# 3. Identificación Salto del Cabrón

| Cobertura | Área (ha) | % de Cobertura |
|---|---|---|
| Afloramientos rocosos | 0,47 | 3,8 |
| Arbustos y matorrales | 2,81 | 22,8 |
| Bosque denso | 4,45 | 36,1 |
| Tejido urbano continuo | 3,85 | 31,3 |
| Vegetación esclerófila y/o espinosa | 0,58 | 4,7 |
| Vías | 0,17 | 1,3 |
| Total | 12,32 | 100 |

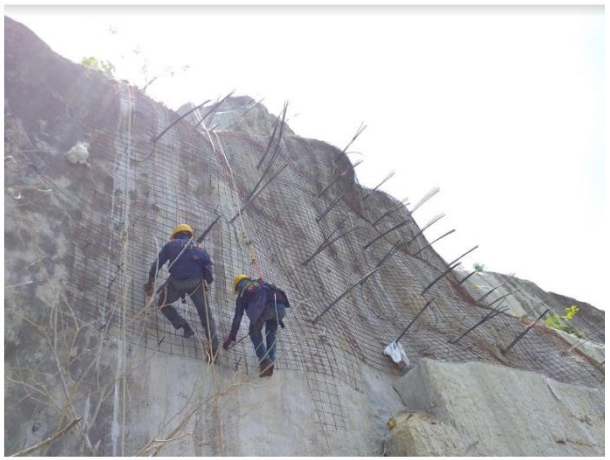


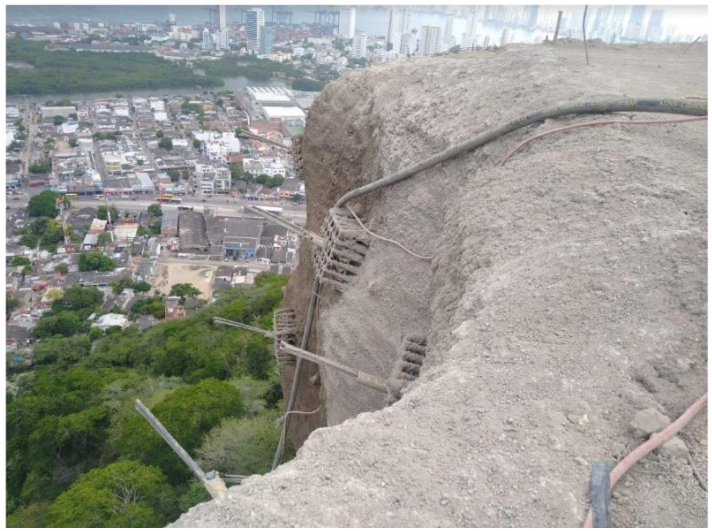
# 3. Identificación Salto del Cabrón

# 3. Identificación Salto del Cabrón



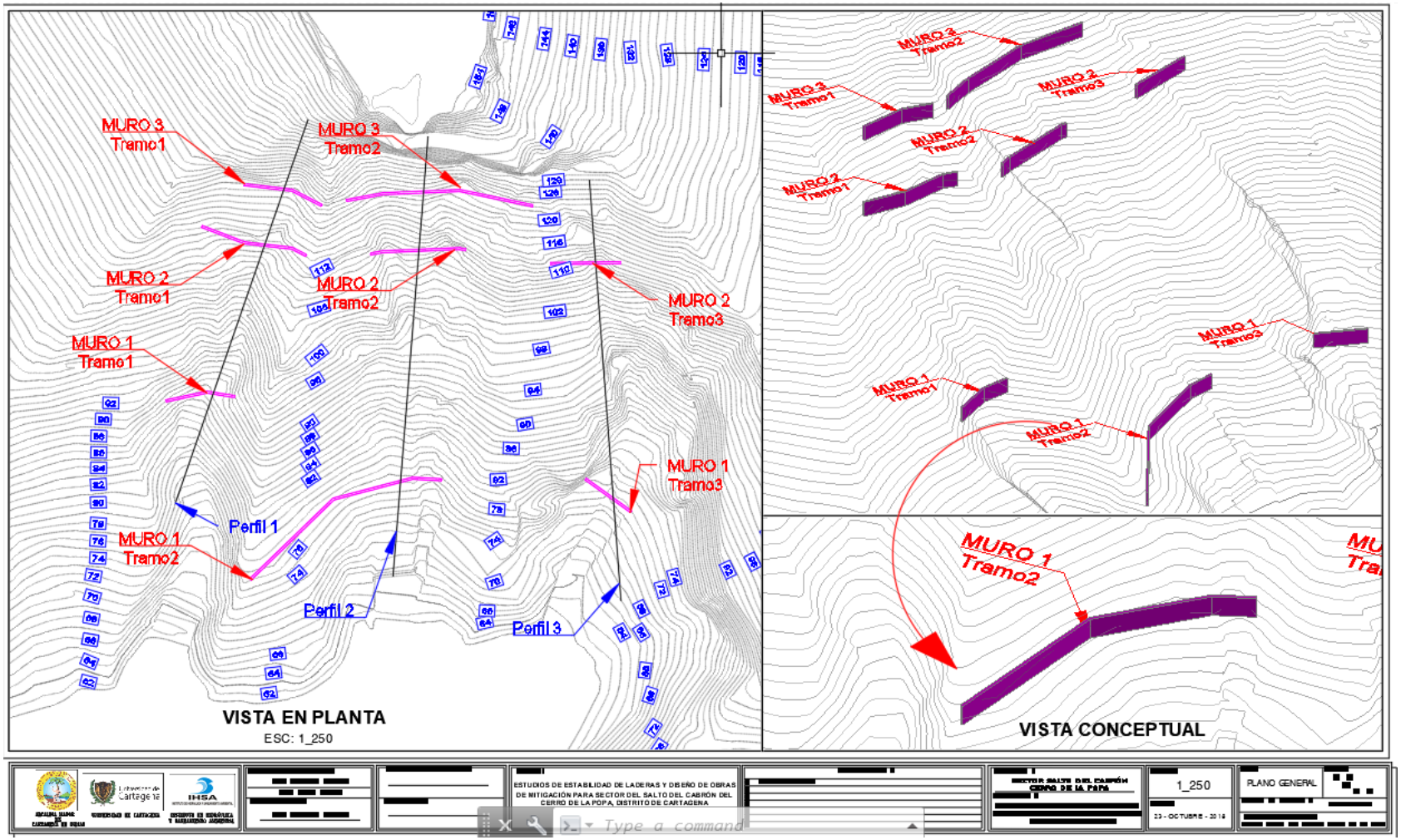
# 3. Identificación Salto del Cabrón





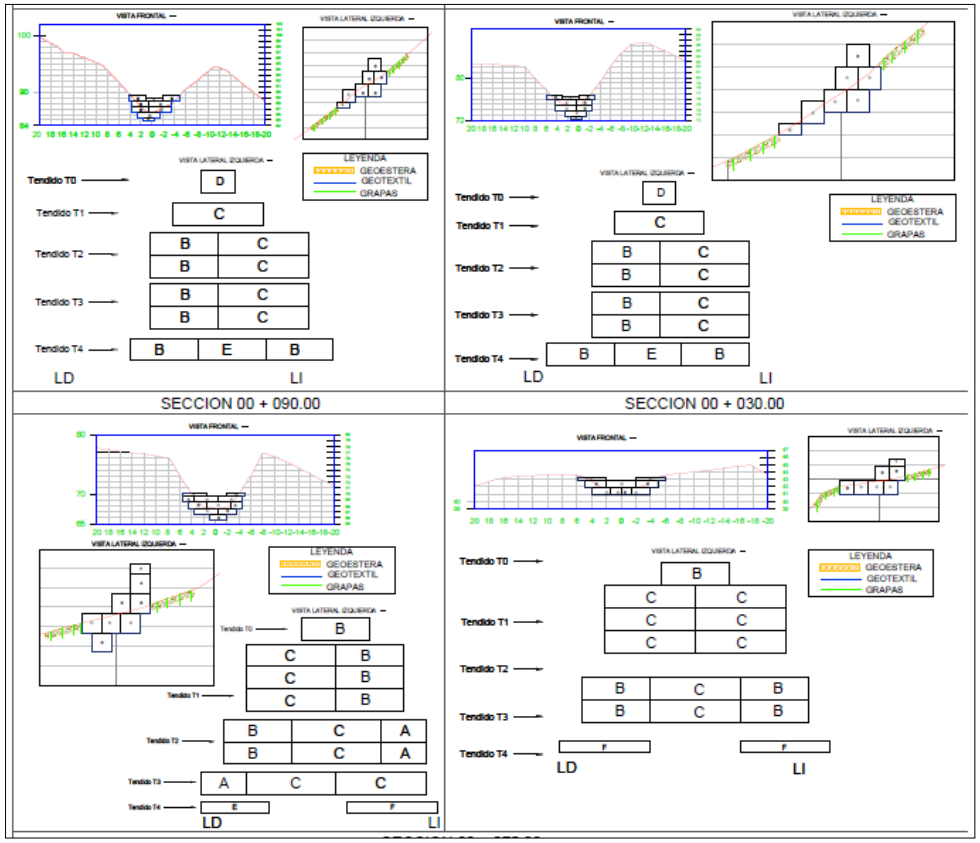
# 3. Identificación Salto del Cabrón

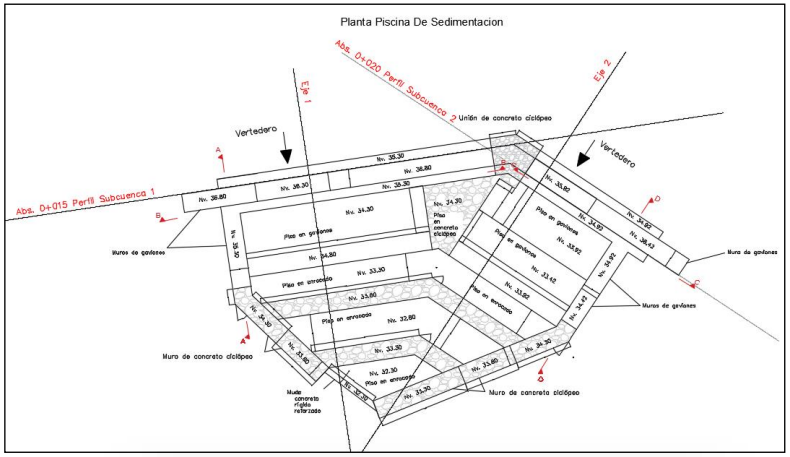
# 3. Identificación Salto del Cabrón

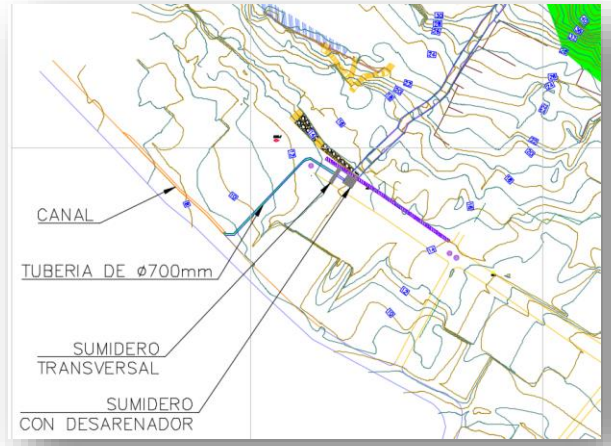



IDENTIFICACIÓN DE TRES ZONAS SUSCEPTIBLES A LA OCURRENCIA DE MOVIMIENTOS EN MASA EN EL CERRO DE LA POPA EN CARTAGENA

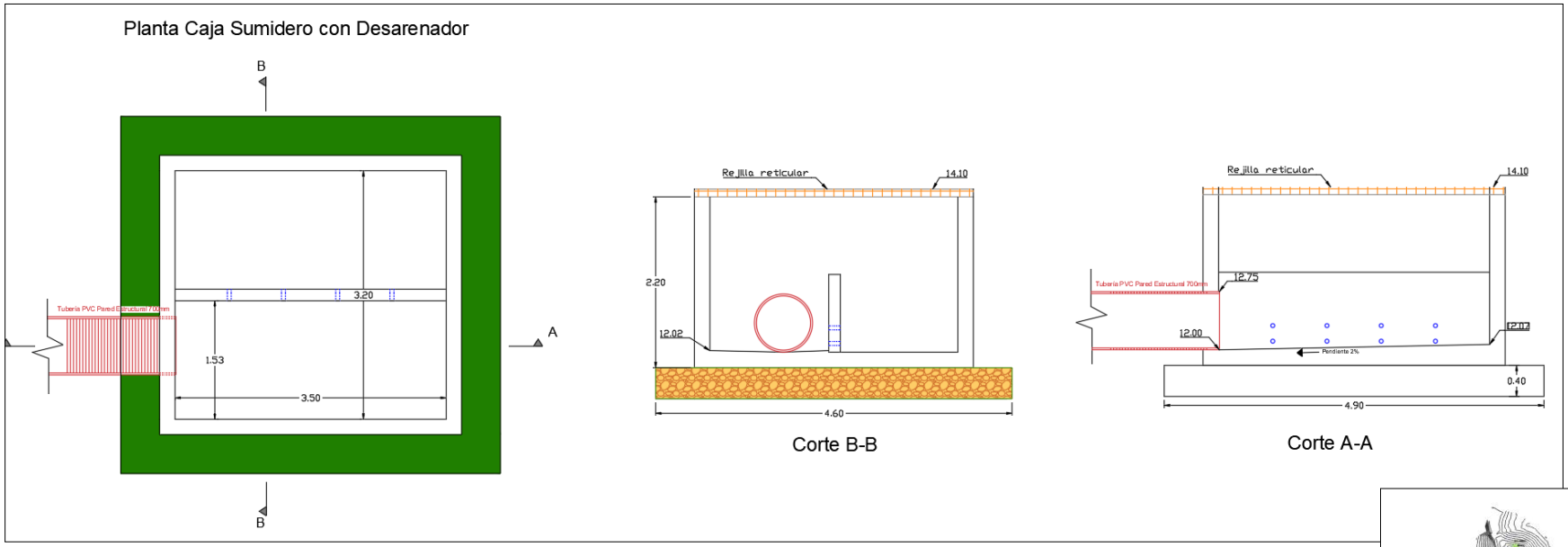
# 3. Identificación Salto del Cabrón

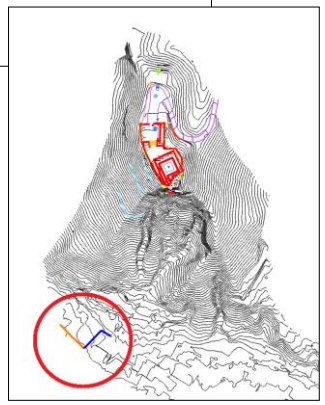


# 3. Identificación Salto del Cabrón



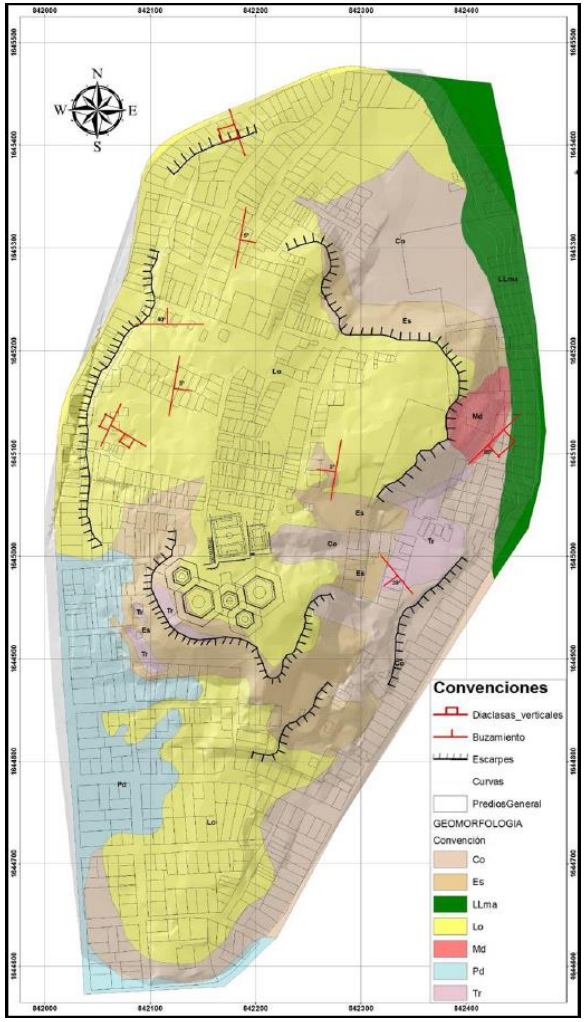



# 4. Identificación Loma del Peyé

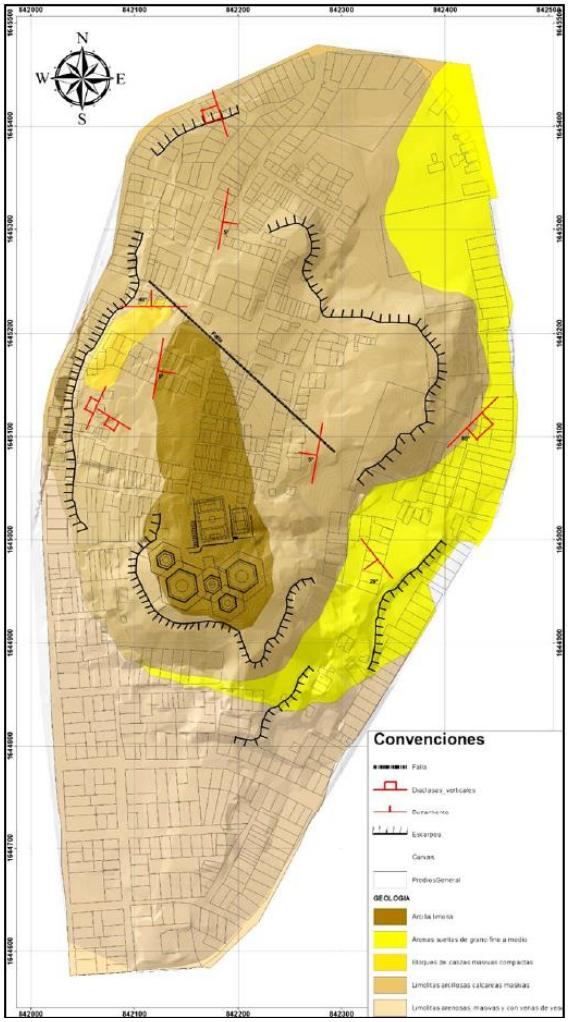
# 4. Identificación Loma del Peyé

# 4. Identificación Loma del Peyé

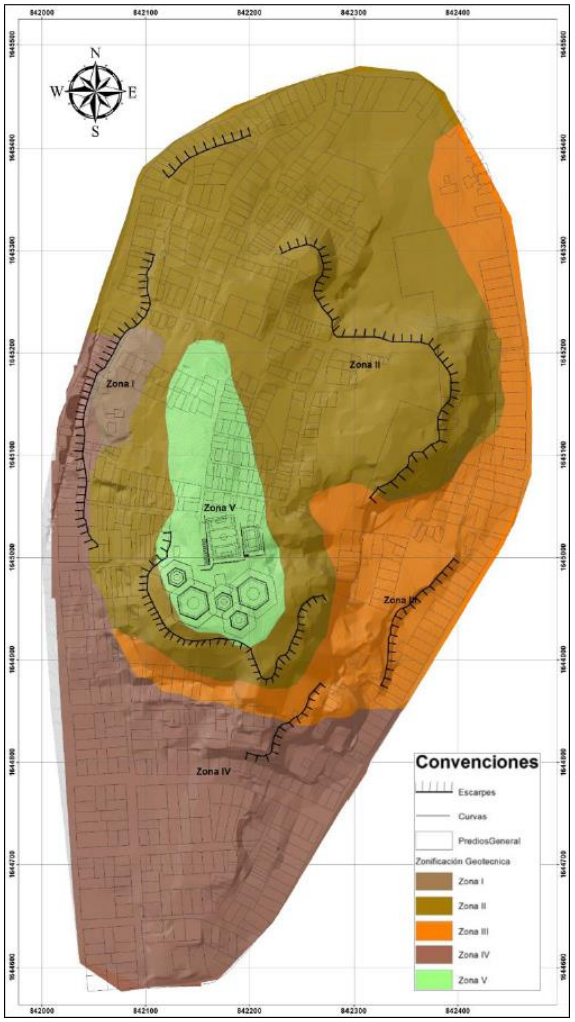
# 4. Identificación Loma del Peyé




Geomorfología

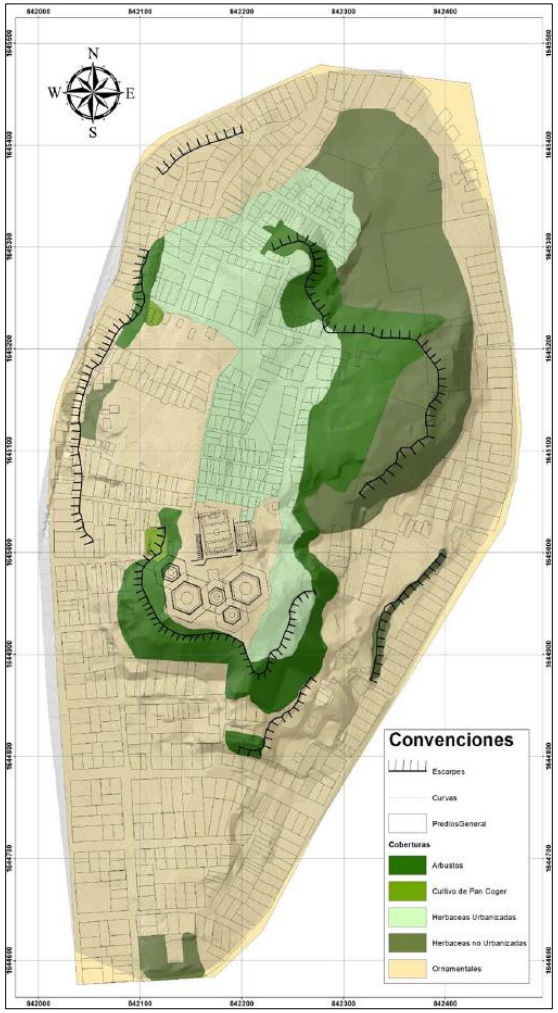



Geología

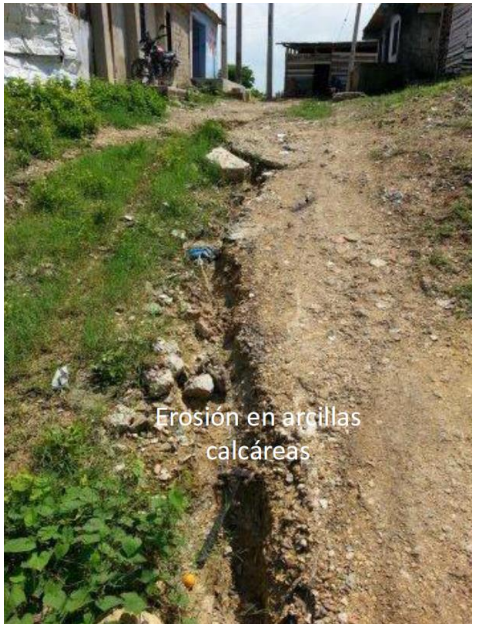



Zonificación Geotécnica

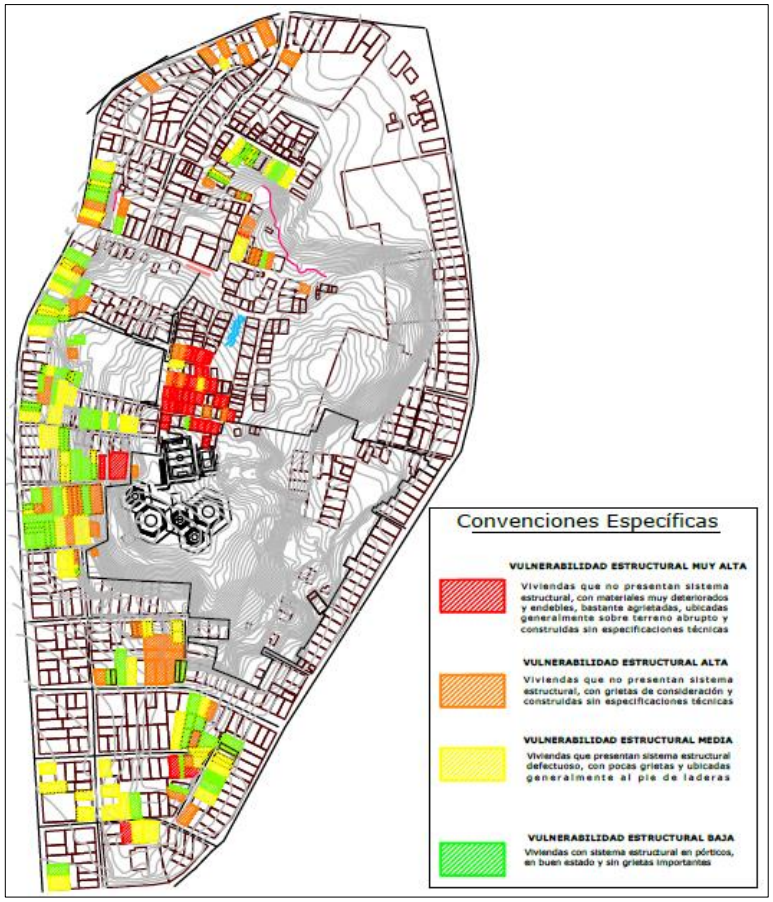
# 4. Identificación Loma del Peyé



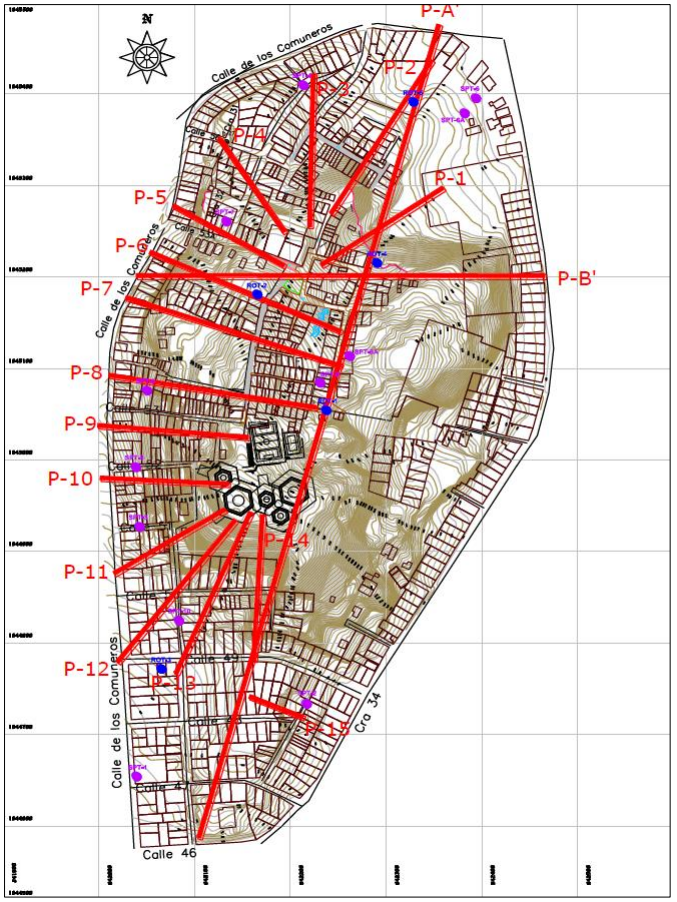

Cobertura vegetal



# 4. Identificación Loma del Peyé

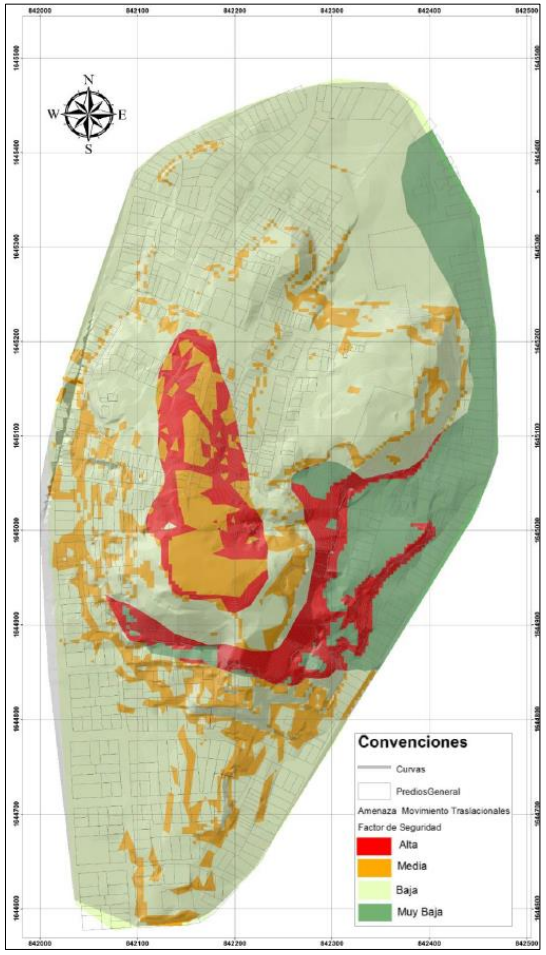



Localización de las viviendas por tipo de vulnerabilidad estructural

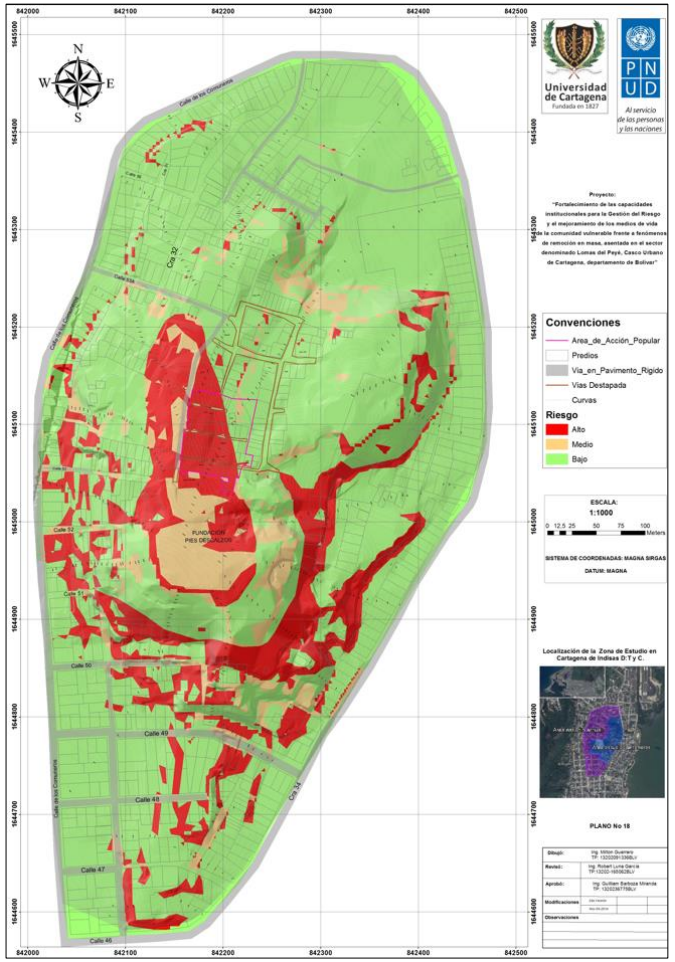



Perfiles evaluados en el Análisis de Estabilidad

# 4. Identificación Loma del Peyé




Plano de Amenaza a Fenómenos de Remoción en Masa




Plano de Zonificación del Riesgo a Fenómenos de Remoción

# 5. Identificación San Francisco

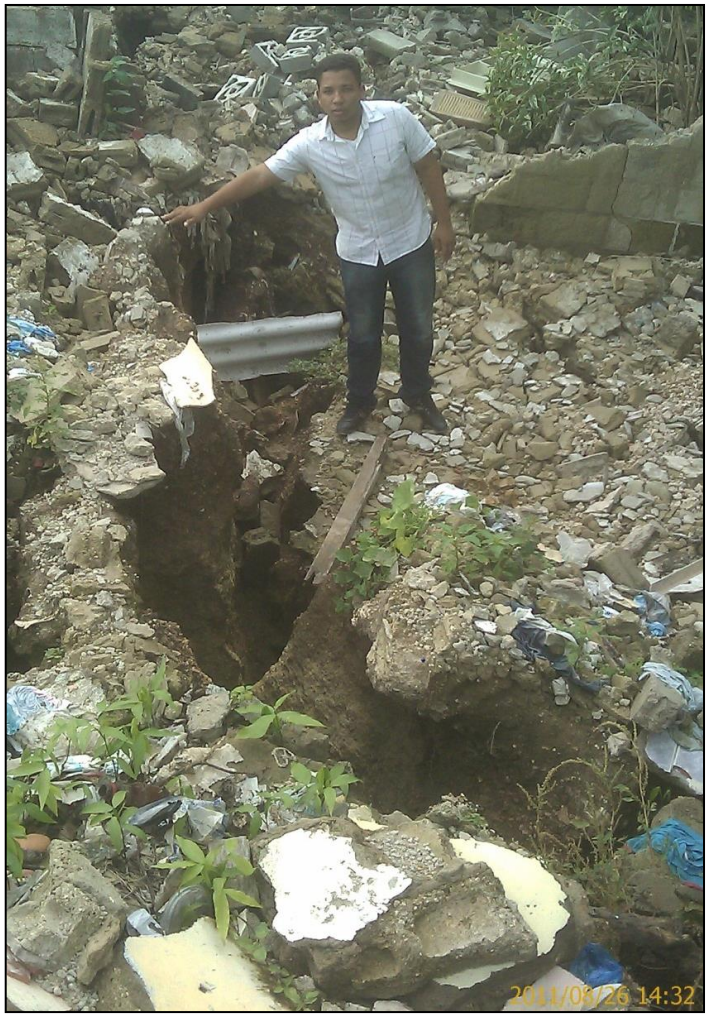
# 5. Identificación San Francisco

EVALUACIÓN GEOTÉCNICA Y DISEÑOS DE OBRAS DE ESTABILIZACIÓN DE LAS LADERAS DEL SECTOR NORORIENTE DEL CERRO LA POPA, EN EL BARRIO SAN FRANCISCO

# 5. Identificación San Francisco

2011

# 5. Identificación San Francisco




2011

# 5. Identificación San Francisco

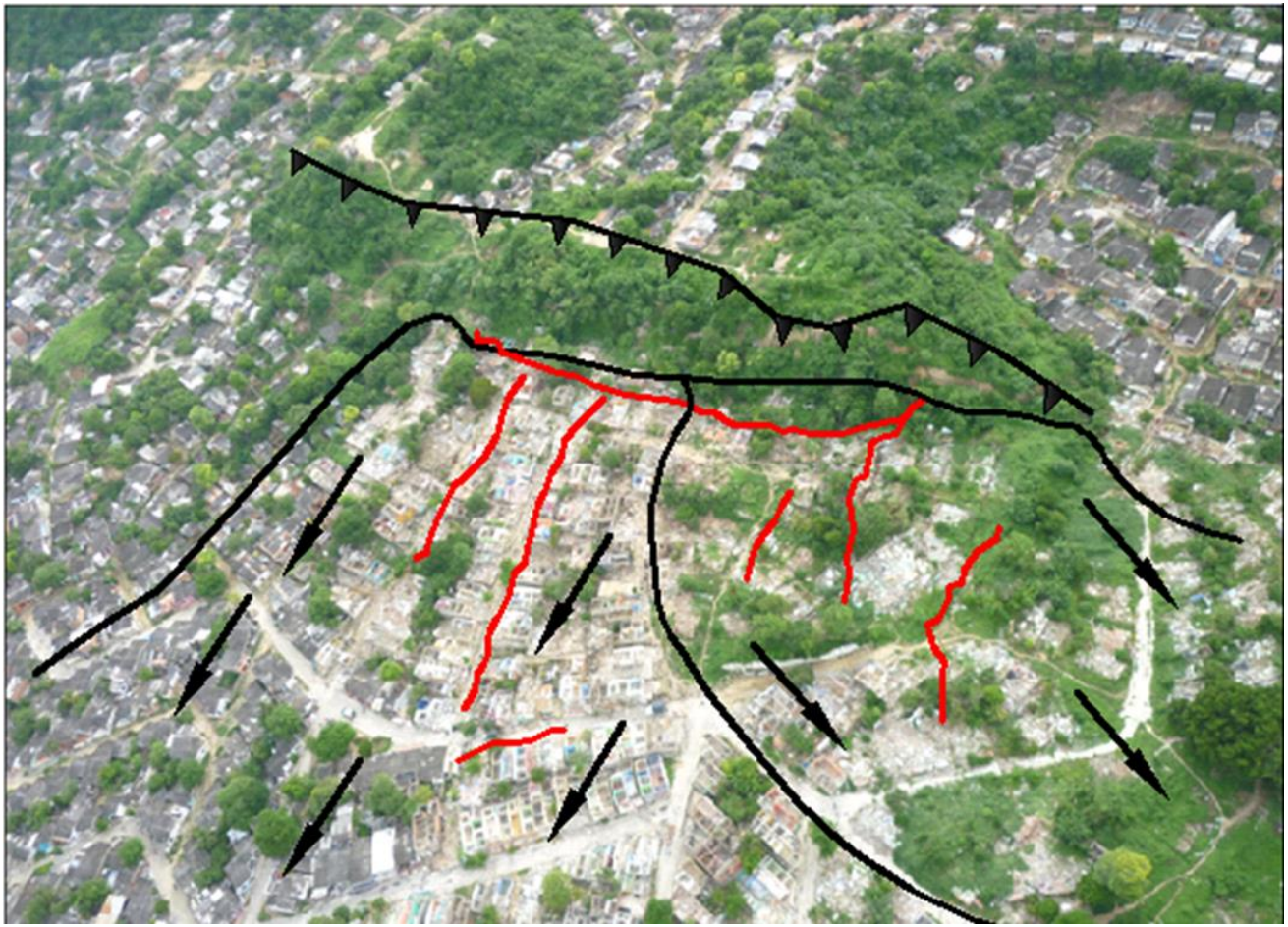
# 5. Identificación San Francisco

2011

# 5. Identificación San Francisco

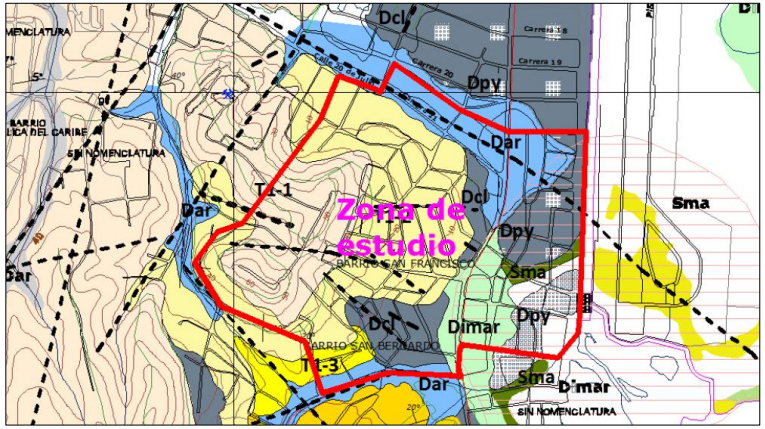
# 5. Identificación San Francisco

EVALUACIÓN DEL ESTADO DE LA LADERA

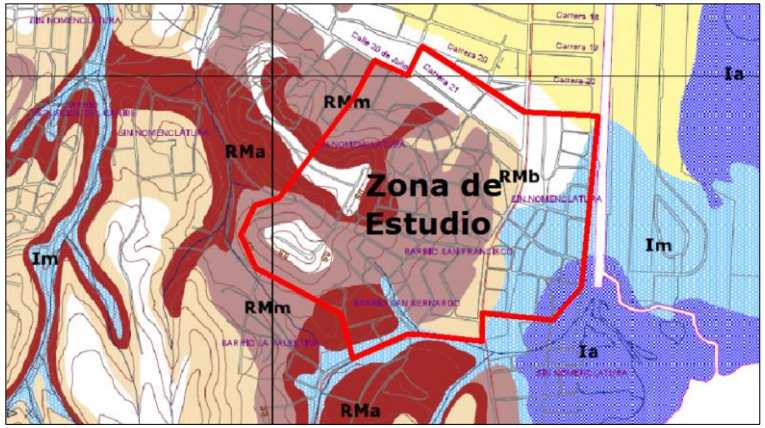


2011

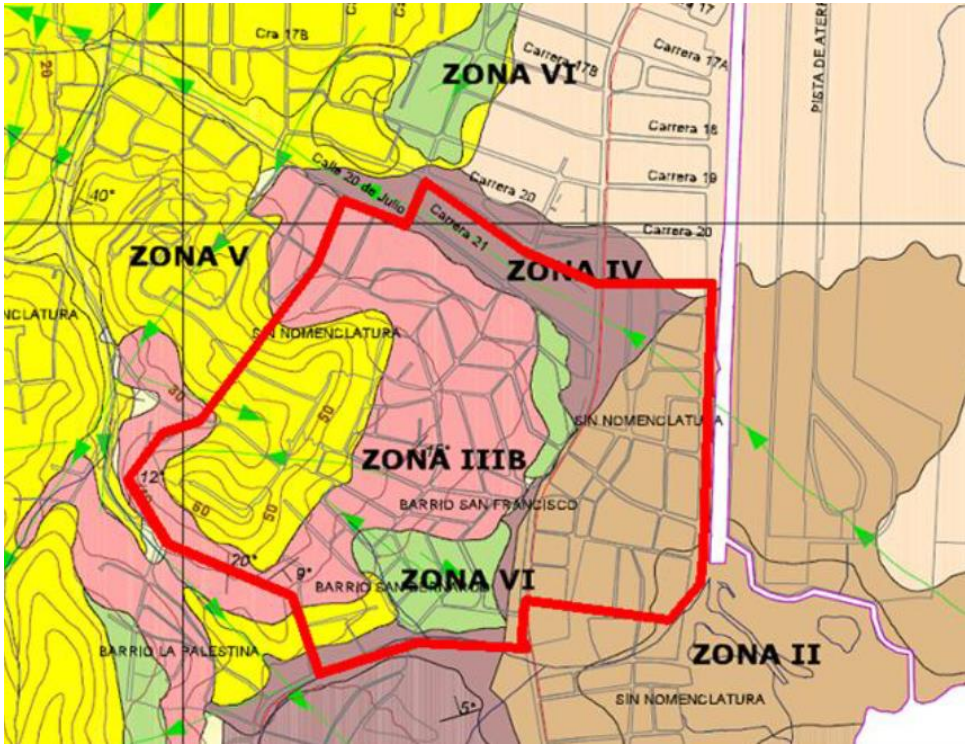
# 5. Identificación San Francisco




Características litológicas del área de estudio

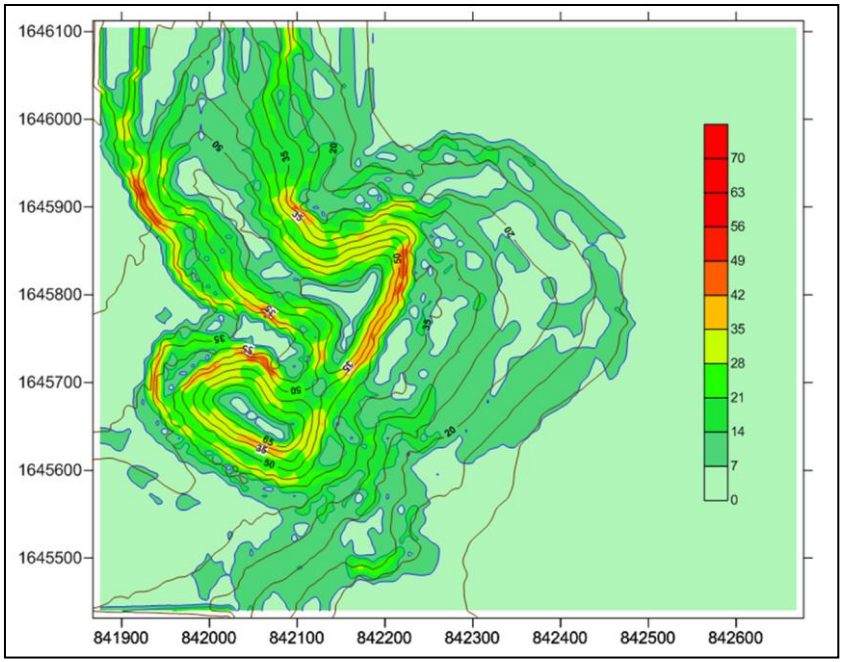


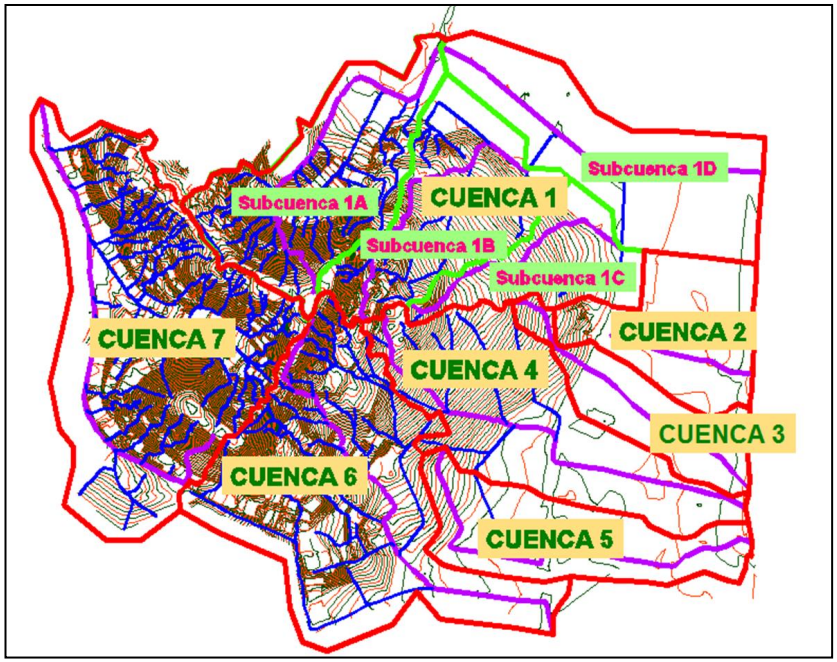

Susceptibilidad a los fenómenos naturales



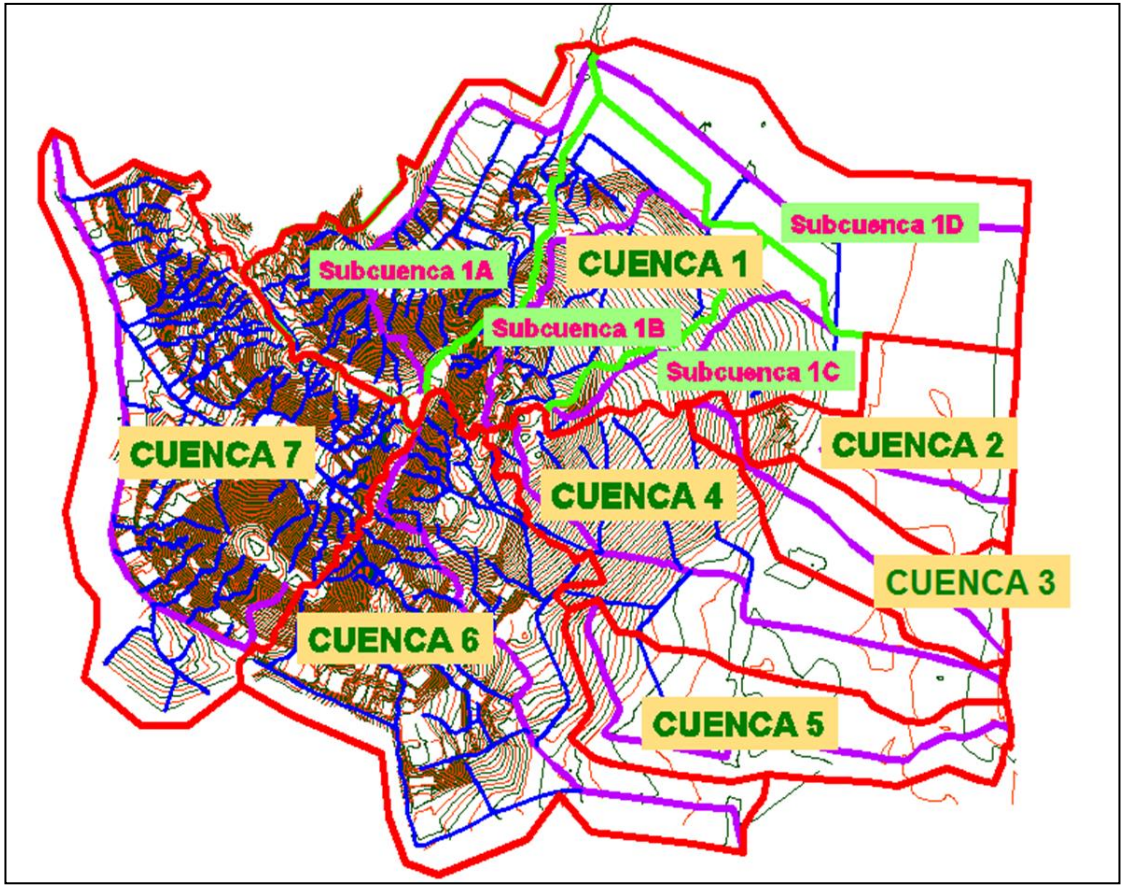

Zonificación Geotécnica general del área de estudio

# 5. Identificación San Francisco

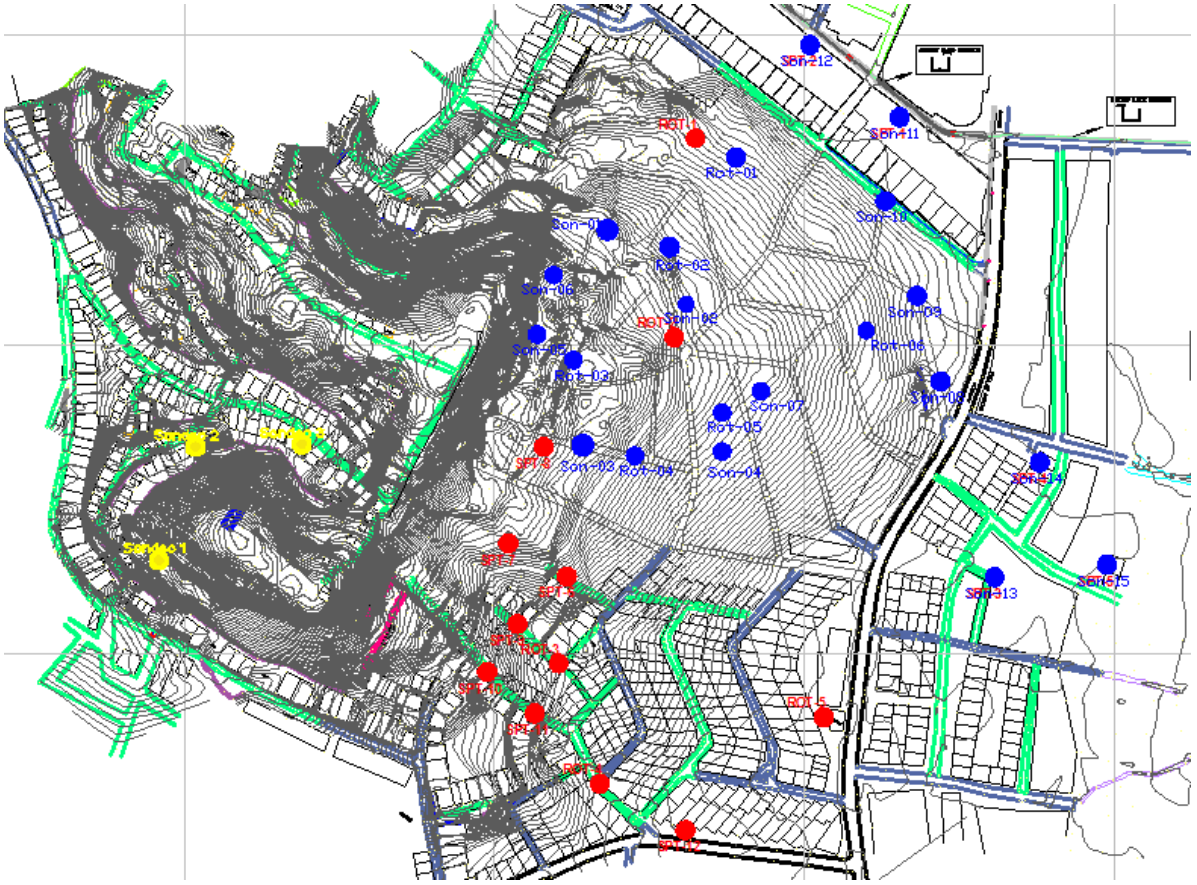


# 5. Identificación San Francisco



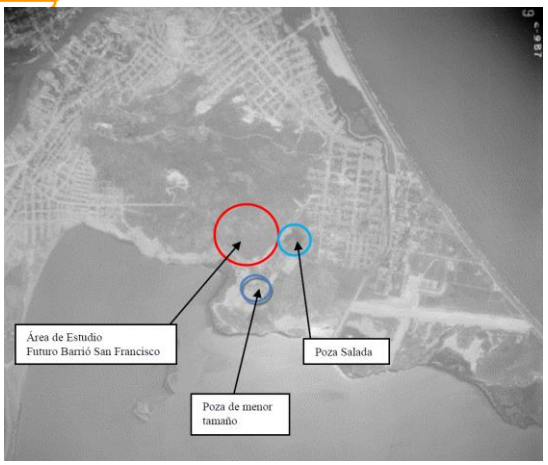
# 5. Identificación San Francisco




Apiques, percolación, Sondeos SPT, Sondeos Rotación

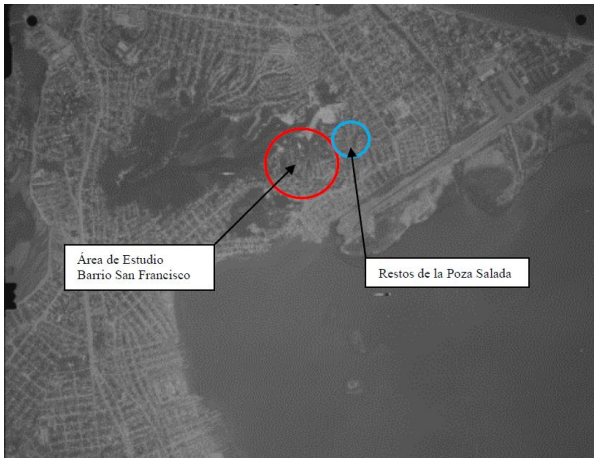
# 5. Identificación San Francisco

# 5. Identificación San Francisco

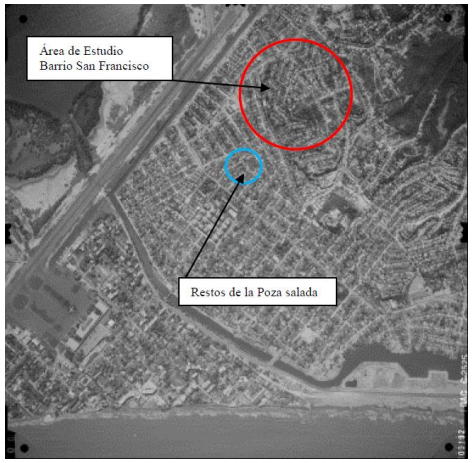



Fotografía Aérea Vuelo C-987-20-62/S-21893 (1962)

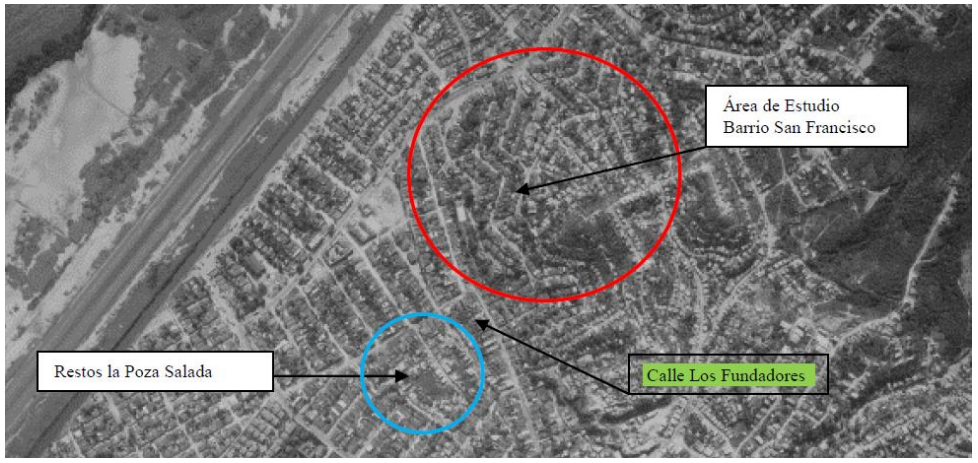
Fotografía Aérea Vuelo R-744-10-77/S-4485 (1977) - IGAC




Fotografía Aérea Vuelo C-2228-22-85/S-33210 (1985) - IGAC

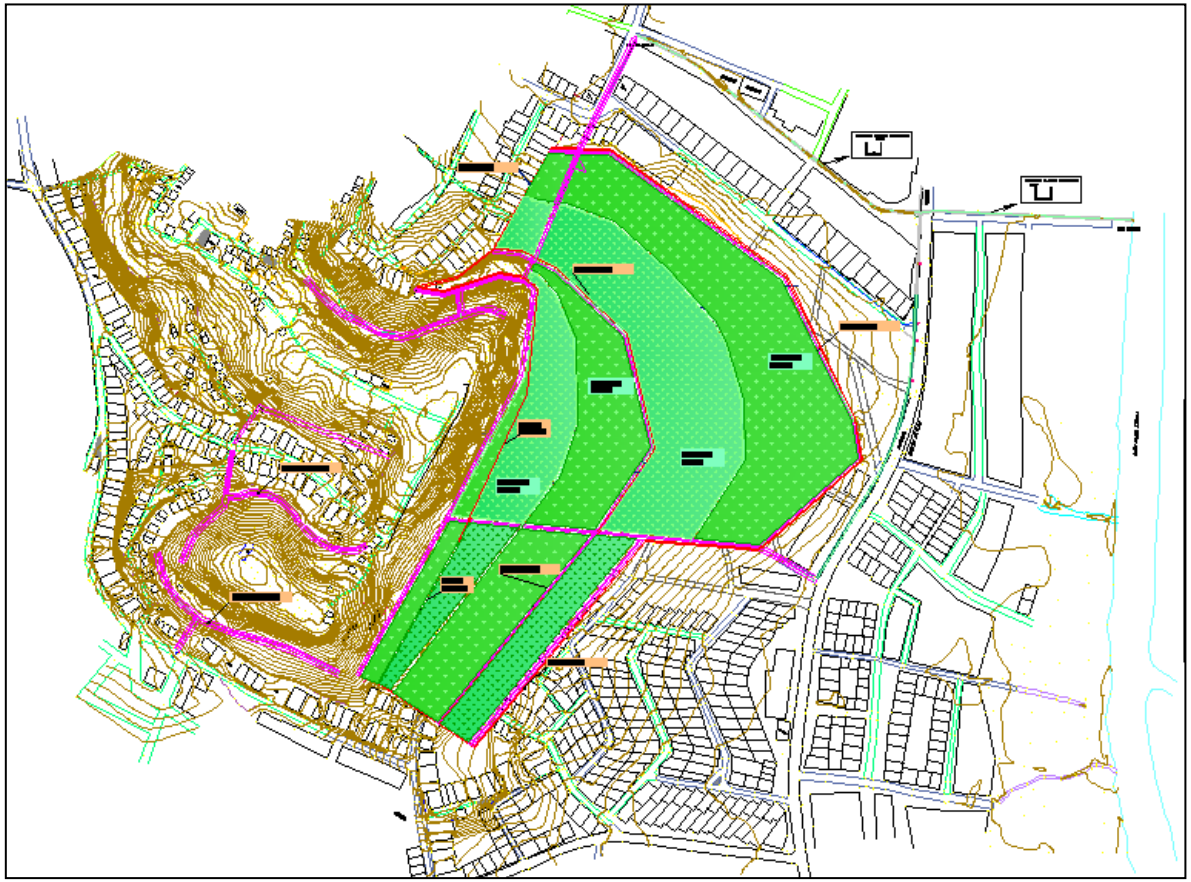



Fotografía Aérea Vuelo C-2525-10-93/S-36814 (1993) - IGAC




Fotografía Aérea Vuelo C-2525-10-93/S-36814 (1993) - IGAC (Ampliación Zona de Estudio)

# 5. Identificación San Francisco



# 6. Conclusiones y Recomendaciones

- Para el sector del Salto del Cabrón se han atendido las necesidades urgentes, sin embargo, es necesario que se ejecuten la totalidad de las recomendaciones incluyendo las obras de mitigación recomendadas a través de diversos estudios.
- Pese a que algunas de las obras definidas para el Salto del Cabrón avanzan en su construcción para el presente año, es conveniente que en cada etapa se revisen las condiciones presentes y se evalúen constantemente los parámetros que se tuvieron en cuenta para las diferentes recomendaciones.
- En la Loma del Peyé, en especial en la parte alta de la misma, las condiciones de intervención y ocupación han modificado las definiciones previamente establecidas, generando la urgencia para obtener resultados de los estudios básicos por remoción en masa que se adelantan por parte del Distrito.
- El estudio e identificación de las condiciones preexistentes en el sector de San Francisco así como los antecedentes recientes de movimientos deberían ser suficientes para que la zona no estuviera habitada, como lo está al día de hoy, con ocupación de población habitando en estructuras de madera y en condiciones precarias.

XVII CCG
I SSAG 2022
Cartagena

SCG

50 años
1971-2021

# ¡GRACIAS!

**¿Preguntas?**

william.mendez01@uptc.edu.co
wmendezm@unicartagena.edu.co
gbarbozam@unicartagena.edu.co
carlos.sainea@uptc.edu.co

XVII CONGRESO COLOMBIANO DE GEOTÉCNIA "EVALUACIÓN Y GESTIÓN DE RIESGOS GEOTÉCNICOS CON ÉNFASIS EN LOS EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO"

14 al 18 de Noviembre de 2022

XVII CCG
I SSAG 2022
Cartagena

# VELOCIDAD CORTANTE DE REFERENCIA DE MATERIALES TÍPICOS PARA ZONIFICACIONES DE RESPUESTA SÍSMICA DE CIUDADES

**Julián Santiago Montejo Espitia, Fernando Díaz-Parra, Nelson Perico, Leonardo Mateus**

**JULIÁN SANTIAGO MONTEJO ESPITIA**
**IC., MSc - Profesional Especializado**
**Servicio Geológico Colombiano**

Sociedad Colombiana de Geotecnia

50 años
1971-2021

# CONTENIDO

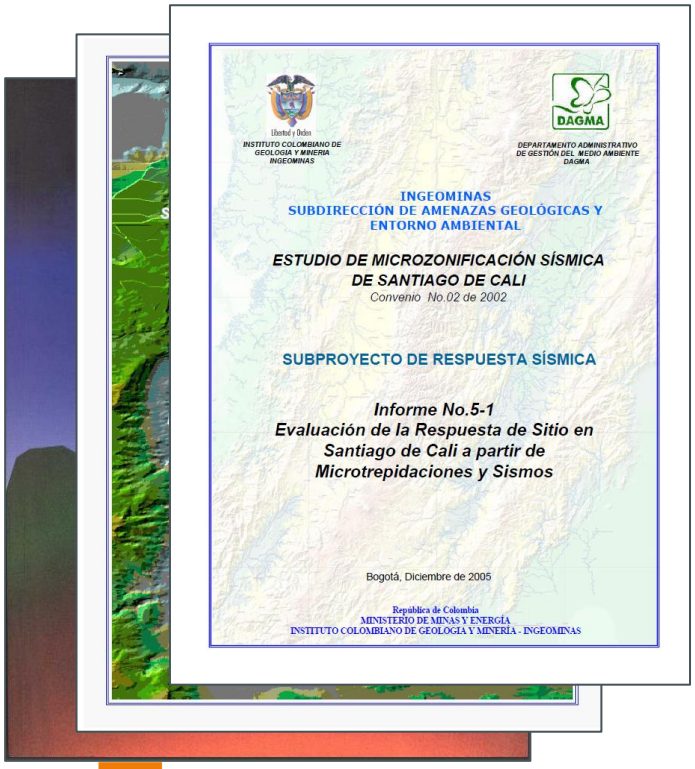
- ✓ Introducción
- ✓ Necesidad
- ✓ Metodología
- ✓ Ejemplo
- ✓ Discusión
- ✓ Bibliografía

# • El SGC y la caracterización del suelo



Misión del SGC

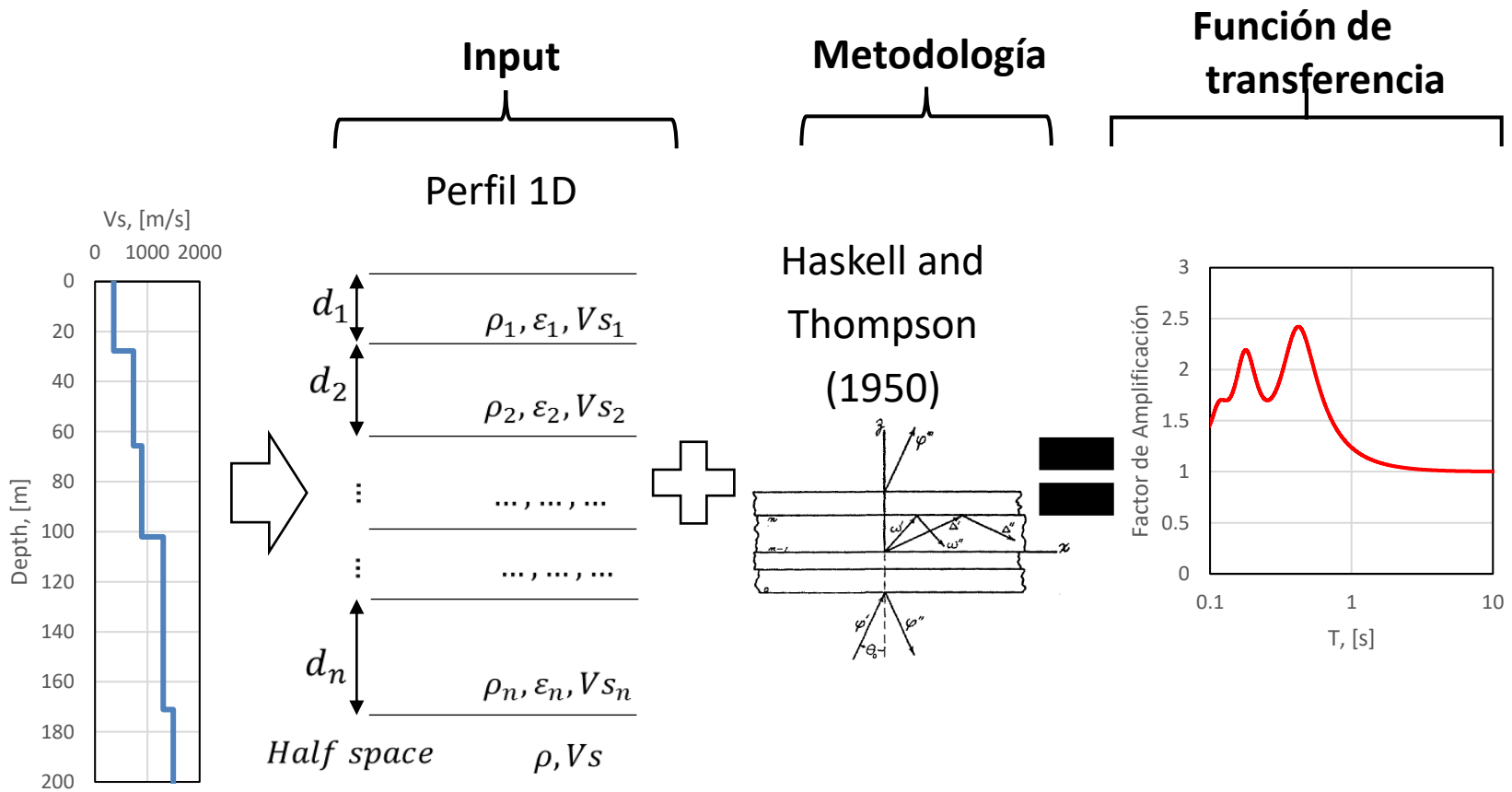
"Contribuir al desarrollo económico y social del país, a través de la investigación en geociencias básicas y aplicadas del subsuelo, el potencial de sus recursos**, la evaluación** y monitoreo de **amenazas de origen geológico**, la gestión integral del conocimiento geocientífico, la investigación y el control nuclear y radiactivo, atendiendo las prioridades de las políticas del Gobierno Nacional."



**Velocidad cortante de referencia de materiales típicos para zonificaciones de respuesta sísmica de ciudades (Montejo, et al. 2022)**

# • Problema general






Velocidad cortante de referencia de materiales típicos para zonificaciones de respuesta sísmica de ciudades (Montejo, et al. 2022)

# • Problema general

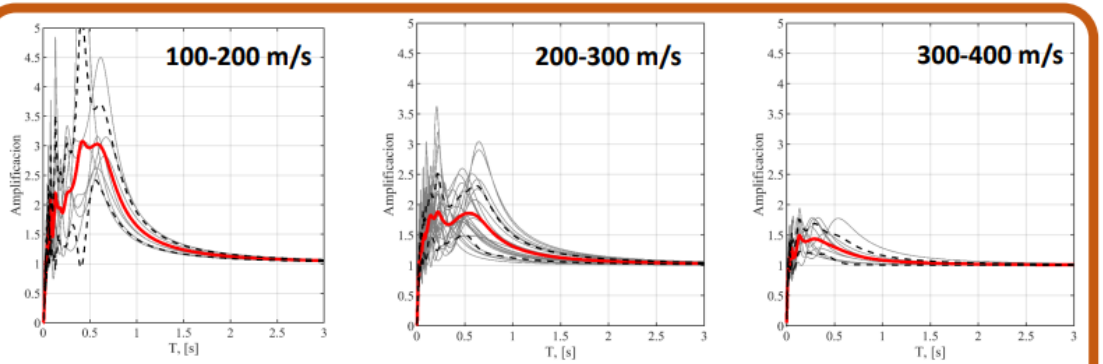



Figura 3. Funciones de amplificación promedio para valores de Periodo natural de entre 0.6 y 0.8 s y rangos de Vs30 de 100-200, 200-300 y 300-400 m/s.

(Montejo, y otros, 2021)

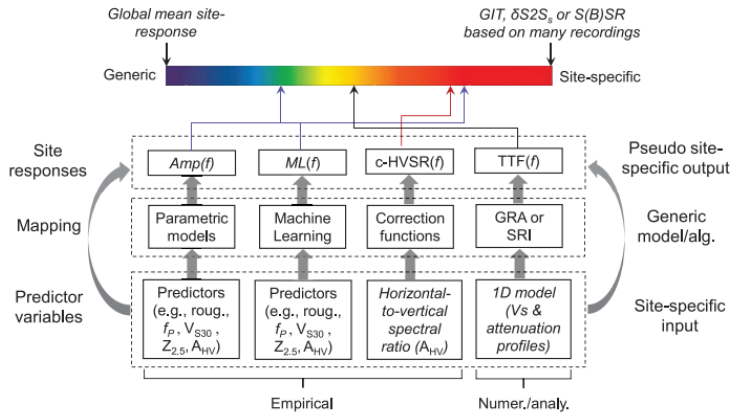
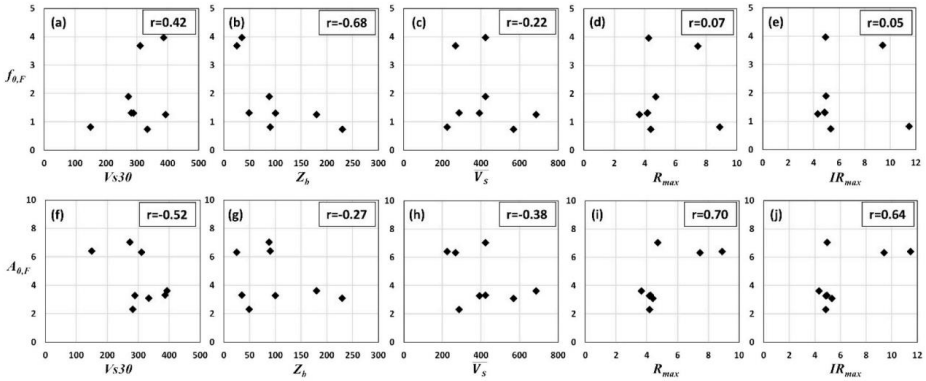



**Figure 14.** A unified view on site-response estimates from different approaches. *Amp* and *ML*—classic regression and ML models, respectively; c-HVSR—empirical correction to eHVSR; and TTF—theoretical transfer function from either 1D ground response analysis (GRA) or the square-root-impedance (SRI, also called quarter-wavelength) method.

(Zhu, y otros, 2022)



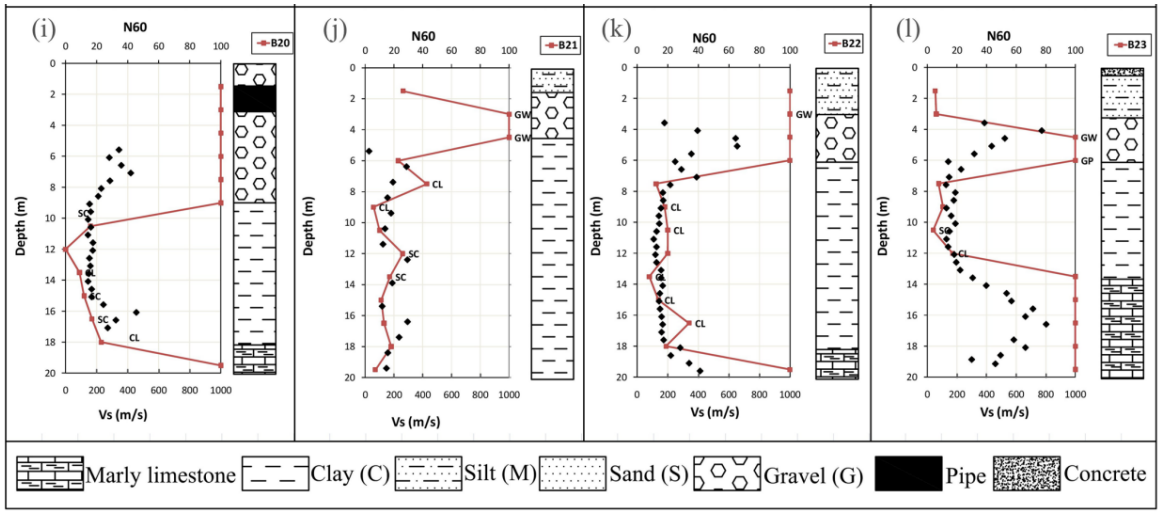

(Wang, y otros, 2023)



Velocidad cortante de referencia de materiales típicos para zonificaciones de respuesta sísmica de ciudades (Montejo, et al. 2022)

# • Necesidad – problemas encontrados en la práctica

- Se encuentran muchos estudios de suelo para respuesta sísmica en donde se estudia en profundidad hasta un valor de Vs superior a un umbral definido como roca o hasta obtener rechazo en un ensayo de SPT. Que pasa si la rigidez no solamente aumenta en profundidad?

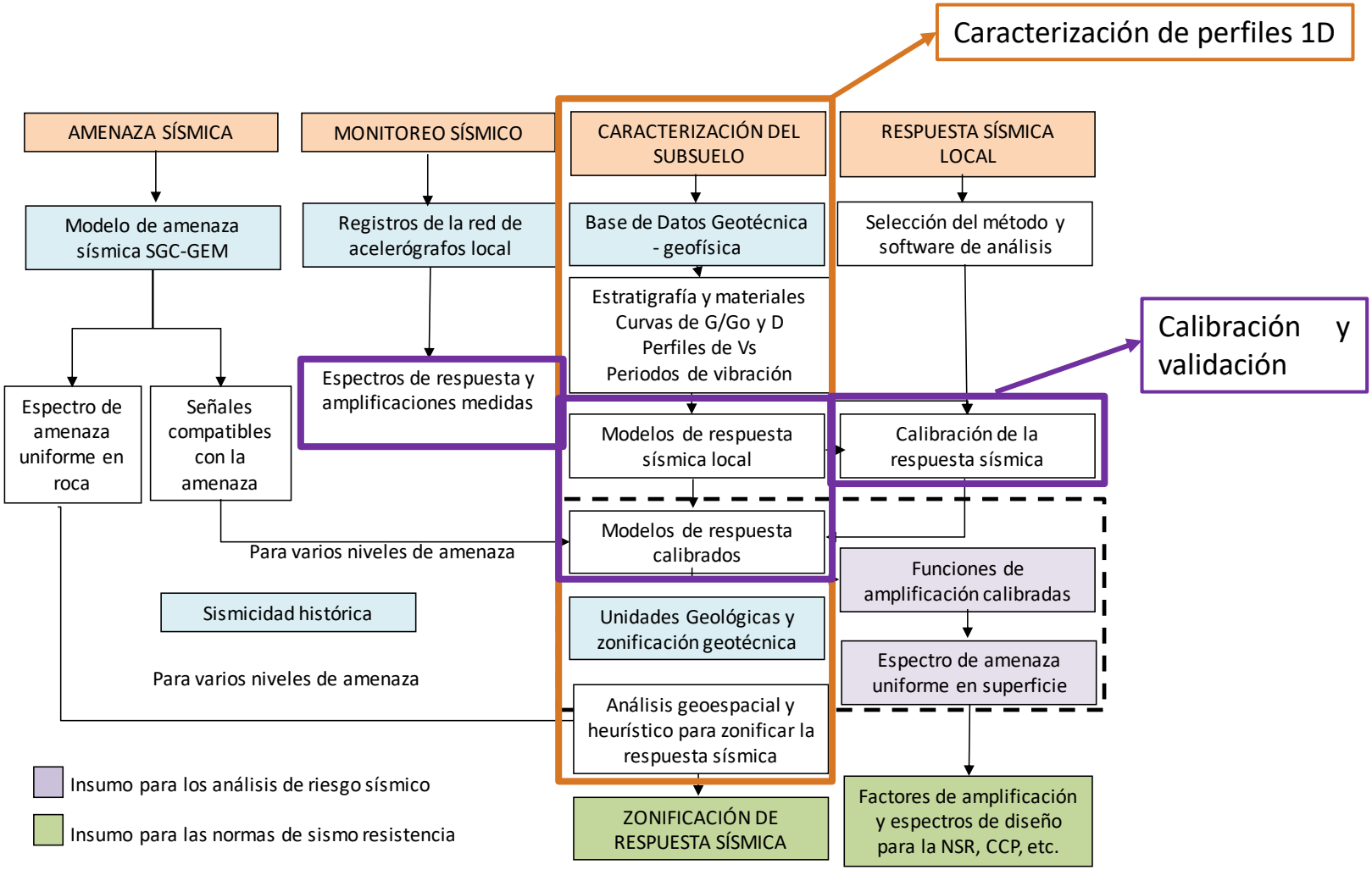



(Salloum, y otros, 2014)

- Existe un sin número de métodos invasivos y no invasivos para la determinación de Vs, cada uno con ventajas y desventajas, como la resolución de las capas superficiales y el costo. Por qué no tener una herramienta para validar?

# • Metodología – Contexto global






(Díaz, y otros, 2021)

**Velocidad cortante de referencia de materiales típicos para zonificaciones de respuesta sísmica de ciudades (Montejo, et al. 2022)**

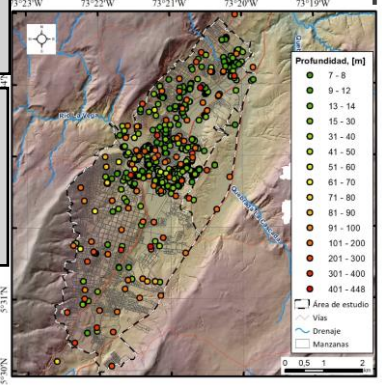
# • Construcción de perfiles 1D

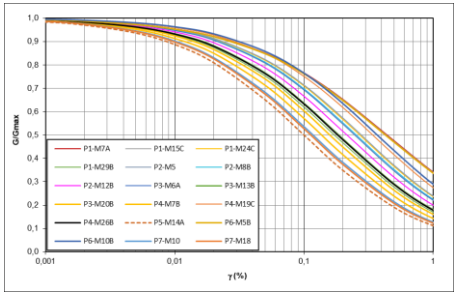


- Recolección de información

- Geofísica superficial (SPAC, CCa, n-CCa)

- Base de datos geotécnica con información disponible




- Construcción de perfiles 1D con la mejor información disponible

| | |
|---|---|
| Estraro 1 | $D$, Vs, $\gamma, LL, LP, IP, \%Grava, \%Arenas, \%Finos$ |
| Estraro 2 | $D$, Vs, $\gamma, LL, LP, IP, \%Grava, \%Arenas, \%Finos$ |
| Estraro 3 | $D$, Vs, $\gamma, LL, LP, IP, \%Grava, \%Arenas, \%Finos$ |
| Estraro 4 | $D$, Vs, $\gamma, LL, LP, IP, \%Grava, \%Arenas, \%Finos$ |

**Velocidad cortante de referencia de materiales típicos para zonificaciones de respuesta sísmica de ciudades (Montejo, et al. 2022)**

# • Cálculo de Vs de referencia



- Definición de materiales típicos:

De manera heurística y con los datos de la BDG se definen materiales típicos con comportamientos similares.

| | 1B Aluvial Duro -7m | | | | 1A Aluvial Duro | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| USCS | Espesor, [m] | | Vs, [m/s] | | Espesor, [m] | | Vs, [m/s] | |
| | min | max | min | max | min | max | min | max |
| MH | 0 | 2 | 80 | 100 | | | | |
| SW | 0 | 5 | 250 | 300 | | | | |
| MH | 3 | 5 | 180 | 240 | | | | |
| GW GM | 10 | 80 | 400 | 600 | 0 | 80 | 500 | 600 |
| Lahar | 30 | 60 | 700 | 900 | 20 | 30 | 500 | 900 |
| Roca alterada | 0 | 30 | 600 | 900 | 0 | 30 | 600 | 900 |

- Definición:

$$V_s = Vs_{ref} \left[\frac{\sigma'_v}{P_{atm}}\right]^b$$

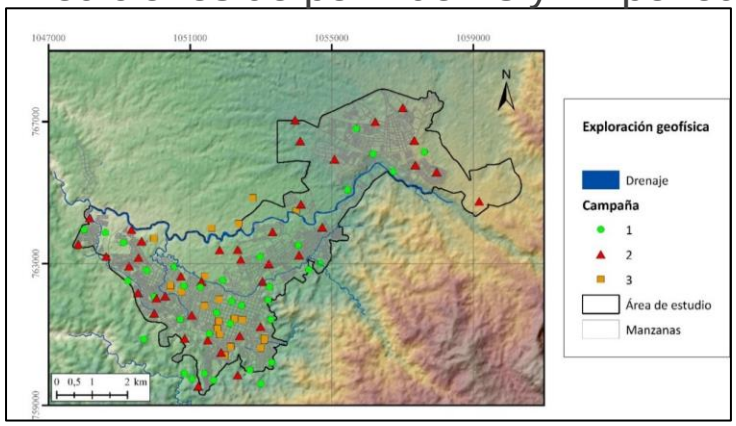
(Menq, 2003; Díaz-Parra, F. J. 2007; Lin, Y., Joh, S., & Stokoe, K., 2014)

# • Aplicación en la ciudad de Popayán

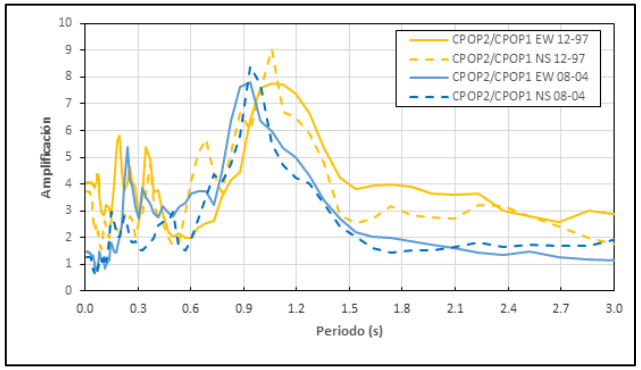


- Recolección de información

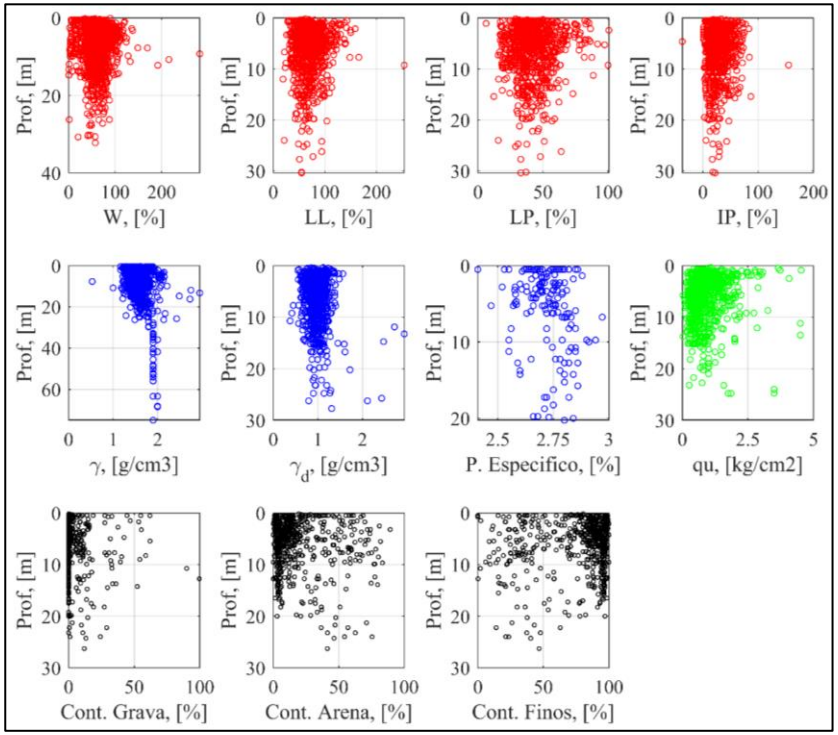
75 mediciones de perfil de Vs y 21 periodos




70 señales sísmicas de 18 eventos




488 Exploraciones geotécnicas y geofísicas





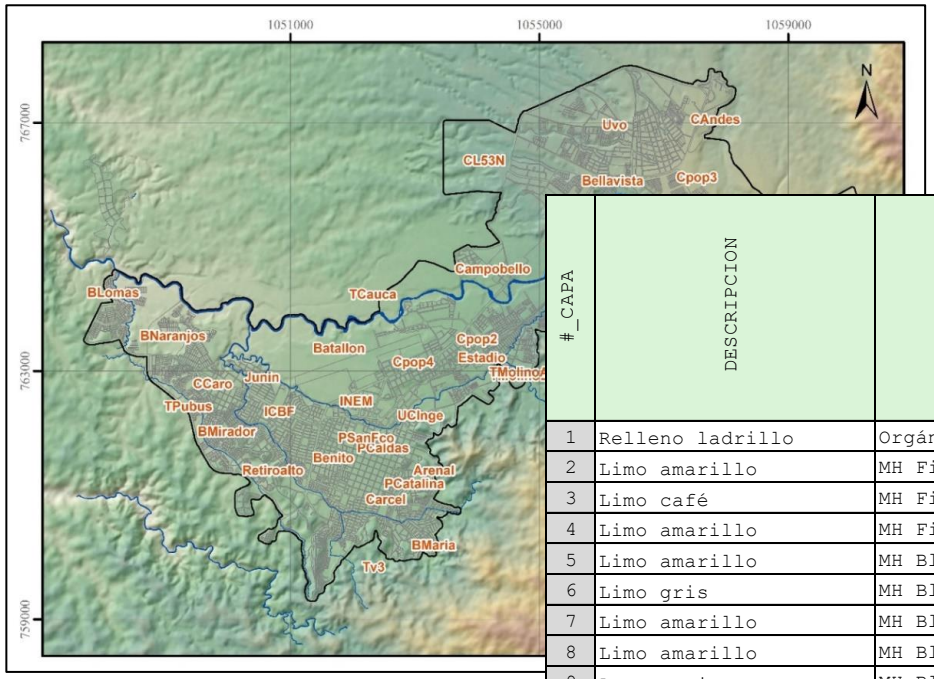

Velocidad cortante de referencia de materiales típicos para zonificaciones de respuesta sísmica de ciudades (Montejo, et al. 2022)

# • Aplicación en la ciudad de Popayán



- Construcción de perfiles 1D

33 sitios en total -> 8 modelos utilizados
para definir materiales y 15 para validar




9 Materiales típicos definidos

Modeo 3G

| # CAPA | DESCRIPCION | Material típico | TRAMO DESDE (m) | TRAMO HASTA (m) | PROF MEDIA (m) | ESPESOR (m) | CLASIF USCS | $w_n$ (%) | LL (%) | LP (%) | IP (%) | $\gamma_t$ (g/cm³) | $\gamma_d$ (g/cm³) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Relleno ladrillo | Orgánico | 0.00 | 0.80 | 0.40 | 0.80 | OL | 40.0 | - | - | - | 1.89 | 1.35 |
| 2 | Limo amarillo | MH Firme | 0.80 | 2.90 | 1.85 | 2.10 | MH | 56.0 | 54.0 | 40.0 | 14.0 | 1.60 | 1.03 |
| 3 | Limo café | MH Firme | 2.90 | 4.50 | 3.70 | 1.60 | MH | 56.0 | 54.0 | 40.0 | 14.0 | 1.50 | 0.96 |
| 4 | Limo amarillo | MH Firme | 4.50 | 7.25 | 5.88 | 2.75 | MH | 52.0 | 72.0 | 38.0 | 34.0 | 1.55 | 1.02 |
| 5 | Limo amarillo | MH Blando | 7.25 | 10.20 | 8.73 | 2.95 | MH | 52.0 | 72.0 | 38.0 | 34.0 | 1.55 | 1.02 |
| 6 | Limo gris | MH Blando | 10.20 | 13.10 | 11.65 | 2.90 | MH | 65.0 | 55.0 | 50.0 | 5.0 | 1.55 | 0.94 |
| 7 | Limo amarillo | MH Blando | 13.10 | 16.30 | 14.70 | 3.20 | MH | 70.0 | 65.0 | 50.0 | 15.0 | 1.52 | 0.89 |
| 8 | Limo amarillo | MH Blando | 16.30 | 18.00 | 17.15 | 1.70 | MH | 70.0 | 65.0 | 50.0 | 15.0 | 1.52 | 0.89 |
| 9 | Arena gris | MH Blando | 18.00 | 21.00 | 19.50 | 3.00 | MH | 70.0 | 65.0 | 50.0 | 15.0 | 1.52 | 0.89 |
| 10 | Limo amarillo | MH Blando | 21.00 | 25.50 | 23.25 | 4.50 | MH | 70.0 | 65.0 | 50.0 | 15.0 | 1.52 | 0.89 |
| 11 | Limo amarillo y café | MH Blando | 25.50 | 30.00 | 27.75 | 4.50 | MH | 70.0 | 65.0 | 50.0 | 15.0 | 1.79 | 1.05 |
| 12 | Limo amarillo | MH Blando | 30.00 | 35.00 | 32.50 | 5.00 | MH | 70.0 | 65.0 | 50.0 | 15.0 | 1.79 | 1.05 |



**Velocidad cortante de referencia de materiales típicos para zonificaciones de respuesta sísmica de ciudades (Montejo, et al. 2022)**

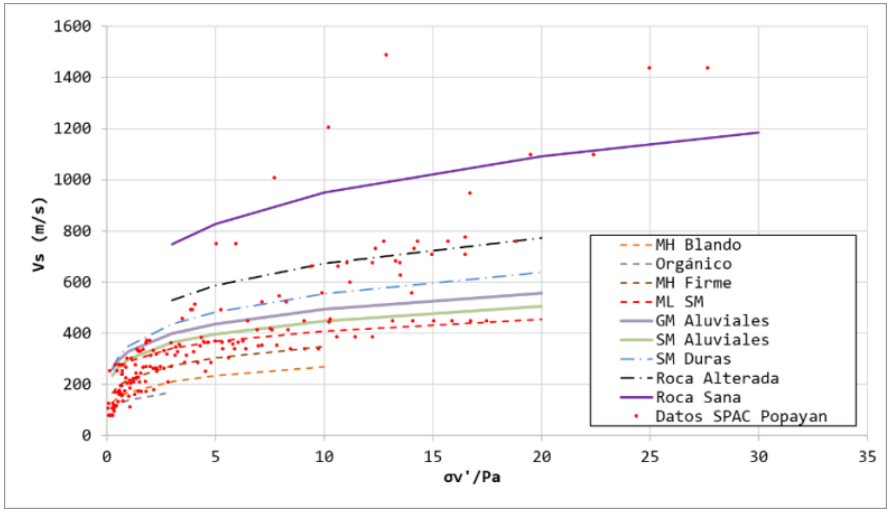
# Aplicación en la ciudad de Popayán

- Definición de materiales típicos

9 Materiales típicos definidos

| No. | Material | Descripción | USCS | Wn | Rango γt | Rango Vs |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Orgánico | Capa vegetal, turba, suelos orgánicos | OL, OH, Pt | >100 | 1.10-1.40 | 80-120 |
| 2 | MH Blando | Limos, arcillas blandos superficial de volcánicos | MH, CH, ML | 50-100 | 1.35-1.65 | 120-250 |
| 3 | MH Firme | Limos, arcillas firmes superficial de suelos residuales | MH, ML | 35-60 | 1.60-1.85 | 200-300 |
| 4 | ML SM | Limo arenoso / arena limosa / toba, ignimbrita meteorizada | ML, SM | 35-60 | 1.80-2.00 | 250-450 |
| 5 | SM Duras | Arena limosa / toba, ignimbrita | SM, ML | <30 | 1.90-2.10 | 350-550 |
| 6 | SM Aluviales | Arenas limosos aluviales | SM, SC | <30 | 1.75-2.00 | 200-450 |
| 7 | GM Aluviales | Gravas areno limosas aluviales | GM, GC | <25 | 1.85-2.10 | 250-500 |
| 8 | Roca Alterada | Aglomerado sedimentario | Roca | <20 | 2.00-2.10 | 600-750 |
| 9 | Roca Sana | Arenita, lodolita | Roca | <10 | 2.2-2.4 | >750 |

- Definición de Vsref



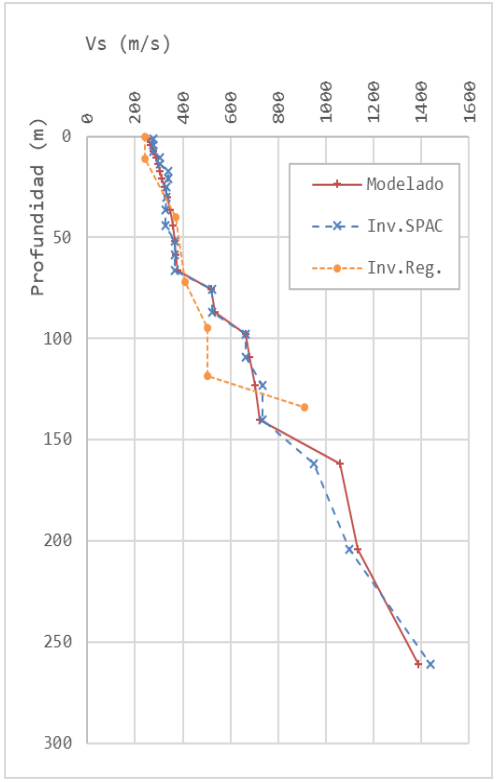



Velocidad cortante de referencia de materiales típicos para zonificaciones de respuesta sísmica de ciudades (Montejo, et al. 2022)

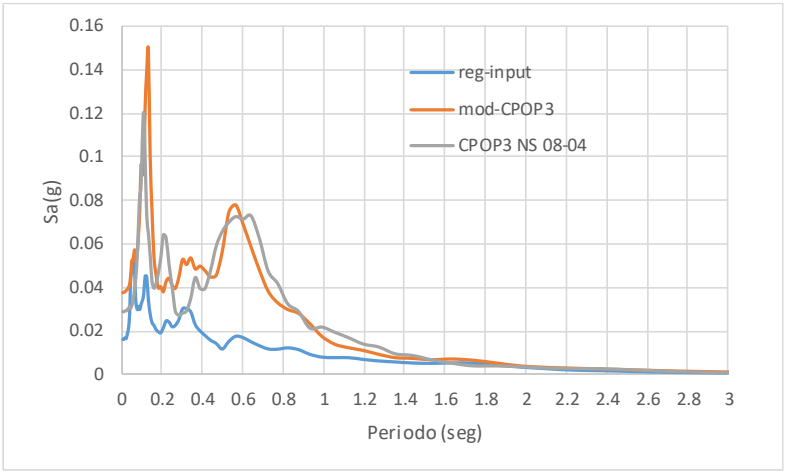
# • Aplicación en la ciudad de Popayán

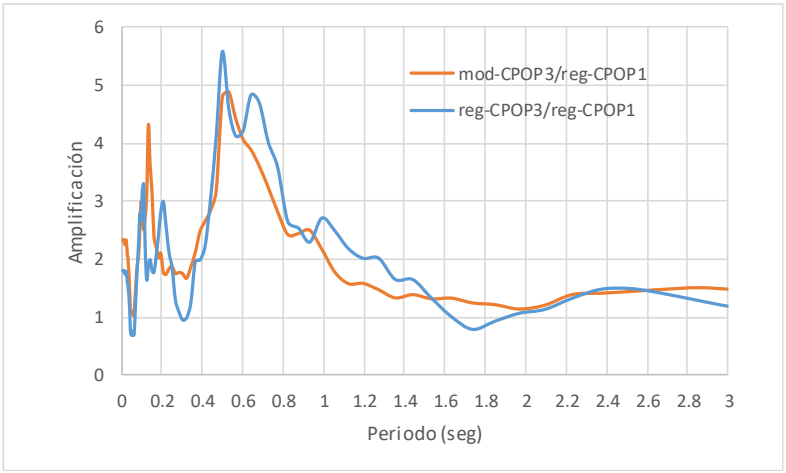


- Validación

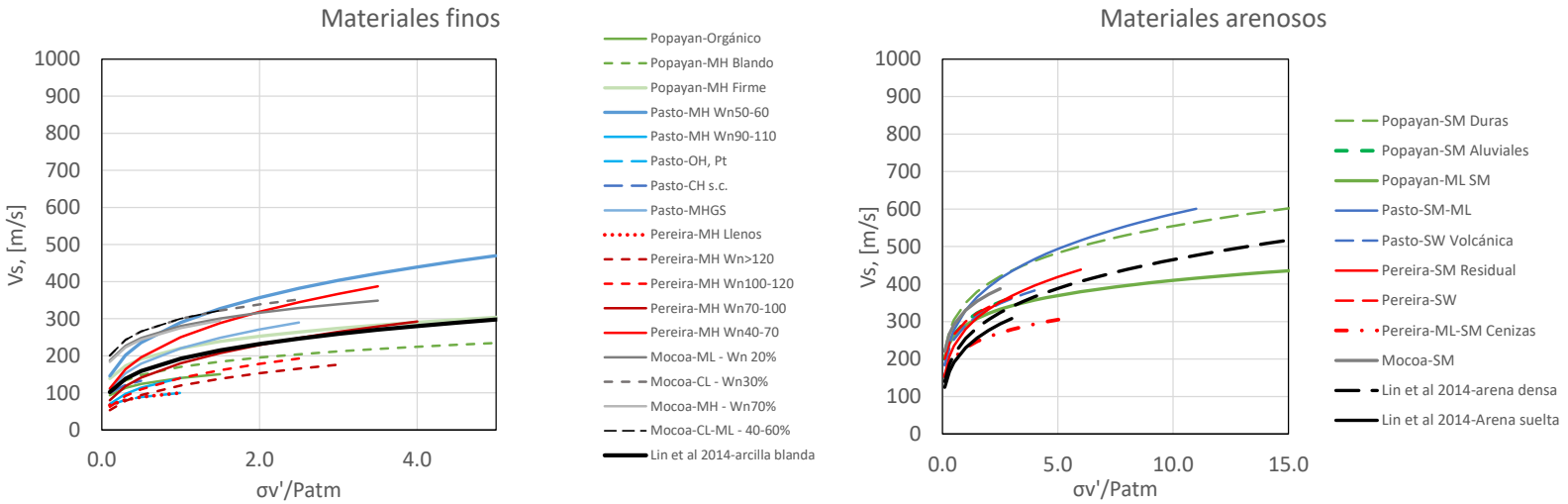


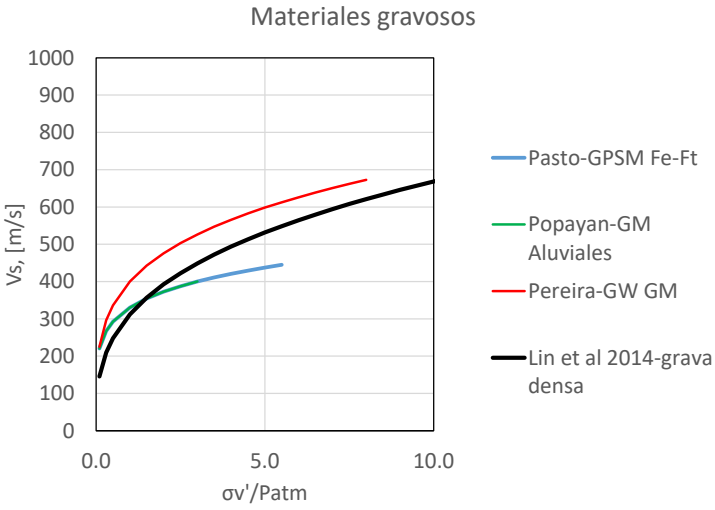

CPOP2 (INVIAS)
Zona Blanda



# • Resultados






Velocidad cortante de referencia de materiales típicos para zonificaciones de respuesta sísmica de ciudades (Montejo, et al. 2022)

# • Discusión y conclusiones



- Logramos caracterizar materiales con un enfoque regional
- Presentamos valores de Vsref para materiales típicos en 4 ciudades del país para la validación de estudios geológicos y geofísicos
- Se integró de manera exitosa un modelo 3G (geológico-geofísico-geotécnico)

# Bibliografía

Salloum, N., Jongmans, D., Cornou, C., Abel Massih, D. Y., Chehade, F. H., Voisin, C., & Mariscal, A. (2014). The shear wave velocity structure of the heterogeneous alluvial plain of Beirut (Lebanon): combined analysis of geophysical and geotechnical data. Geophysical Journal International, 199, 894-913. doi: 10.1093/gji/ggu294

Díaz, F., Montejo, J., Perico, N, Mateus L., Posada G., López M., Barbosa D., Mora, M., Arcila, M., Valcárcel, J., Pérez, H., Perez L., (2021). *Zonificación de Respuesta Sísmica de Pereira*. Bogotá: Servicio Geológico Colombiano.

Díaz, F., Mora, M., Eraso, J., Montejo, J., Valcárcel, J., Sarabia, A., Barbosa, D., Arcila, M., García, H. y Pérez, J. (2019). Evaluación de Amenaza y Riesgo Sísmico de Mocoa (Putumayo). Fase 1: Microzonificación Sísmica. Bogotá: Servicio Geológico Colombiano.

Díaz, F., Arcila, M., Mora, M., Valcárcel, J., Perico, N, López M., Sarabia A., Montejo, J., Eraso J., Barbosa D., Pérez, L. (2020). Zonificación de Respuesta Sísmica de Popayán. Bogotá: Servicio Geológico Colombiano.

Díaz, F., Arcila, M., Perico, N, Montejo, J., Mateus L., Valcárcel, J., Mora, M., Sarabia A., López M., Pérez, L., Eraso J., Barbosa D., (2020). Zonificación de Respuesta Sísmica de Pasto. Bogotá: Servicio Geológico Colombiano.

Díaz, F., Montejo, J., Perico, N, Mateus L., Posada G., López M., Barbosa D., Mora, M., Arcila, M., Valcárcel, J., Pérez, H., Perez L., (2021). Zonificación de Respuesta Sísmica de Pereira. Bogotá: Servicio Geológico Colombiano.

Díaz-Parra, F. J. (2007). Modelo de comportamiento dinámico de arcillas blandas. Tesis de Maestría. Universidad Nacional de Colombia.

Lin, Y., Joh, S., & Stokoe, K. (2014). Analyst J: analysis of the UTexas 1 surface wave dataset using the SASW methodology. Geo-Congres 2014: Geo-characterization and modeling for sustainability, 830-839.

Menq, F. Y. (2003). Dynamic properties of sandy and gravely soils. Ph.d. Dissertation. The University of Texas at Austin.

XVII CCG
I SSAG 2022
Cartagena

SCG

50 años
1971-2021

# ¡GRACIAS!

**¿Preguntas?**

jmontejo@sgc.gov.co

XVII CONGRESO COLOMBIANO DE GEOTÉCNIA "EVALUACIÓN Y GESTIÓN DE RIESGOS GEOTÉCNICOS CON ÉNFASIS EN LOS EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO"

14 al 18 de Noviembre de 2022

XVII CCG
I SSAG 2022
Cartagena

# CARACTERIZACIÓN DE ESTACIONES COLOMBIANAS BASADA EN RELACIONES ESPECTRALES HVSR DE EVENTOS SÍSMICOS

**Vicente Mercado[1]*, Fernando Díaz[2], Julián Montejo[2], César Pájaro[1]**

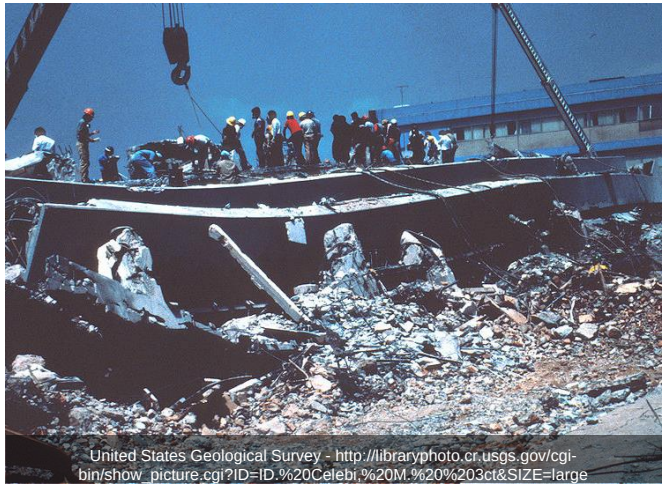
[1] Universidad del Norte, Colombia

[2] Servicio Geológico Colombiano, Bogotá, Colombia

Sociedad Colombiana de Geotecnia

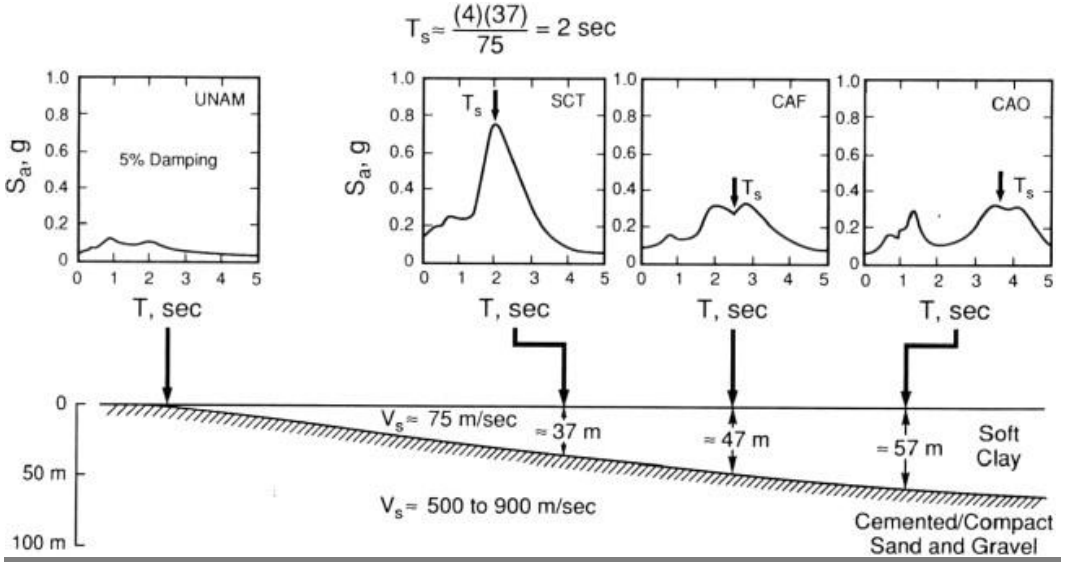
50 años
1971-2021

# Efectos sísmicos de sitio



United States Geological Survey - http://libraryphoto.cr.usgs.gov/cgi-bin/show_picture.cgi?ID=ID.%20Celebi,%20M.%20%203ct&SIZE=large

United States Geological Survey - http://libraryphoto.cr.usgs.gov/cgi-bin/show_picture.cgi?ID=ID.%20Celebi,%20M.%2034




Dobry, R., 2014. Simplified methods in soil dynamics. *soil dynamics and earthquake engineering*, *61*, pp.246-268.

# CONTENIDO

- Efectos de sitio en *GMMs*
- Caracterización de estaciones colombianas
- Modelación de efectos de sitio en Colombia
- Conclusiones

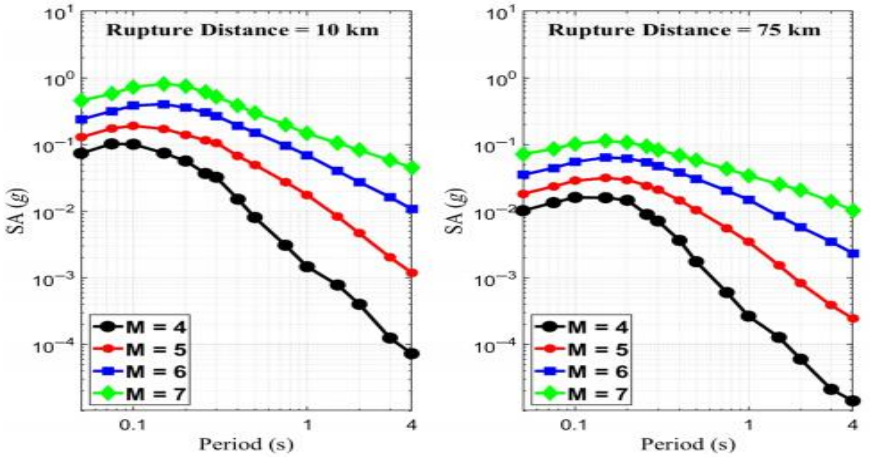
# Modelos para predicción de movimiento fuerte(*GMMs*)

Fuente

Trayectoria

$$ln(S_a) = F_{source}(M) + F_{path}(M,R) + F_S$$

Efectos de sitio

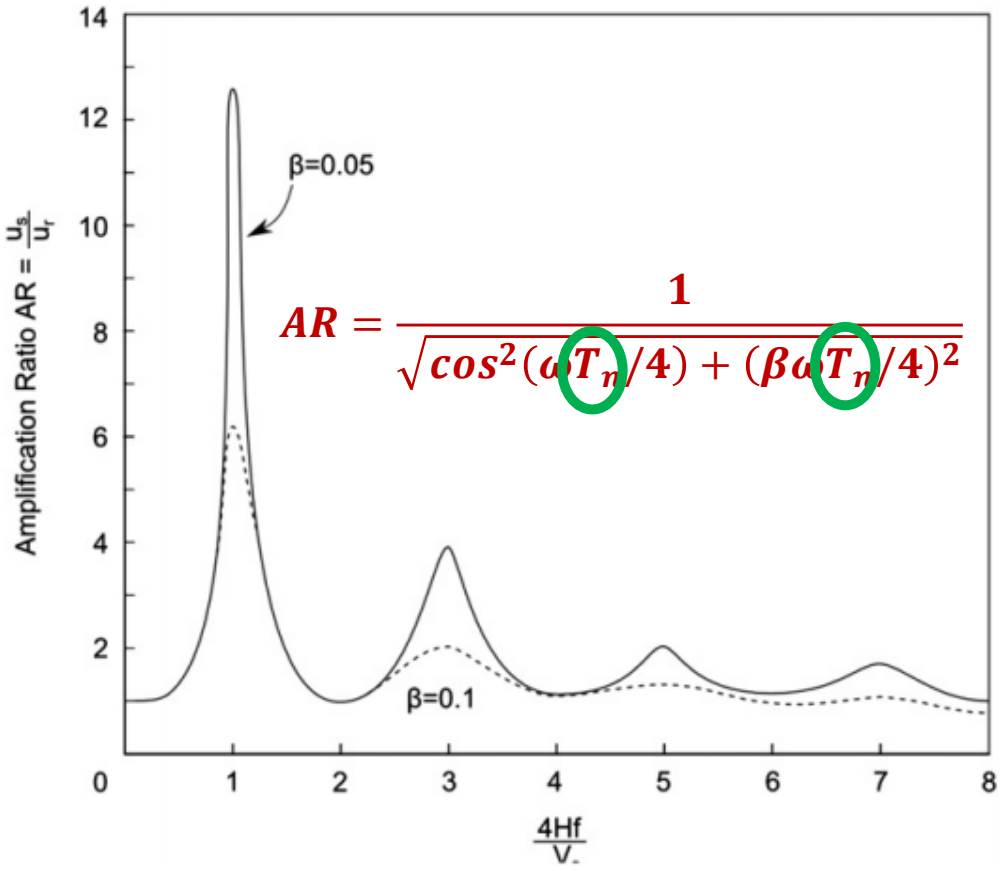



Farajpour, Z., Pezeshk, S. and Zare, M., 2019. A new empirical ground-motion model for Iran. *Bulletin of the Seismological Society of America*, *109*(2), pp.732-74.4

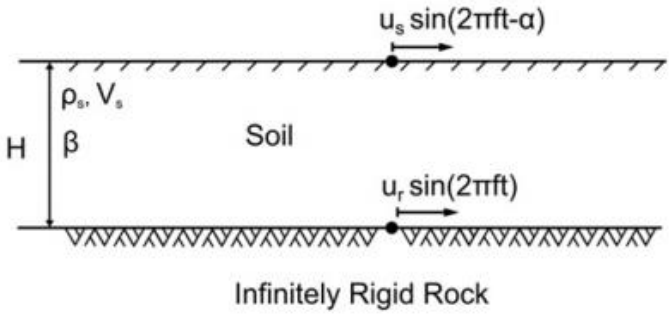
- Los *GMMs* permiten estimar amplitud de excitación del terreno en un sitio determinado.
- Modelos colombianos previos han implementado clasificación binaria para estaciones ( $flag$=0 para "roca", $flag$ =1 para "suelos"):

$$F_S(T) = a(T) * flag$$

# Efectos sísmicos de sitio (caso depósito sobre roca rígida)




$$AR = \frac{1}{\sqrt{cos^2(\omega T_n/4) + (\beta\omega T_n/4)^2}}$$



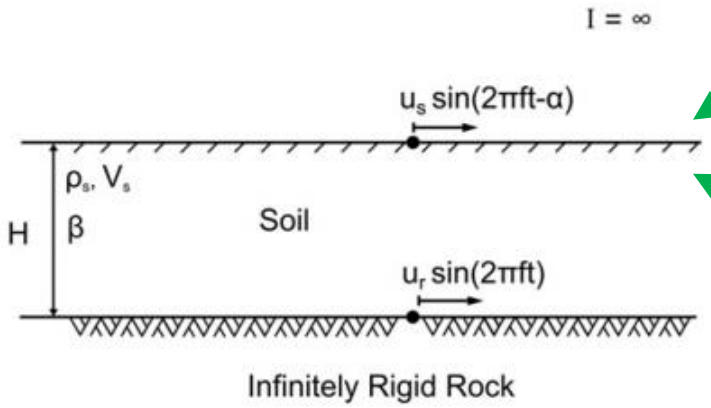

$$AR = \frac{1}{\sqrt{cos^2(\omega H/v_S) + (\beta\omega H/v_S)^2}}$$

$$T_n = \frac{4H}{v_S}$$

**Período natural**

Dobry, R., 2013. Radiation damping in the context of one-dimensional wave propagation: A teaching perspective. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, *47*, pp.51-61.

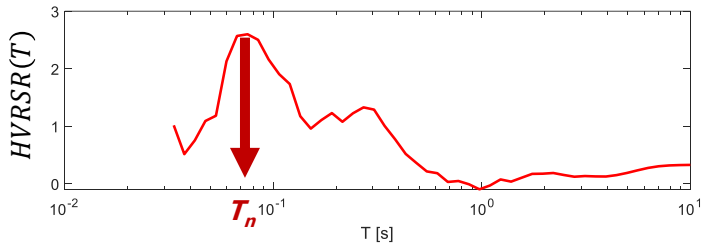
# $T_n$ a partir de relación spectral horizontal-vertical ($HVRSR$)




Amplificación de espectro **horizontal** con pico en $T_n$

Amplificación de espectro **vertical** despreciable (cerca de $T_n$)

$$HVRSR(T) = \frac{S_{a_{horizontal}}(T)}{S_{a_{vertical}}(T)}$$

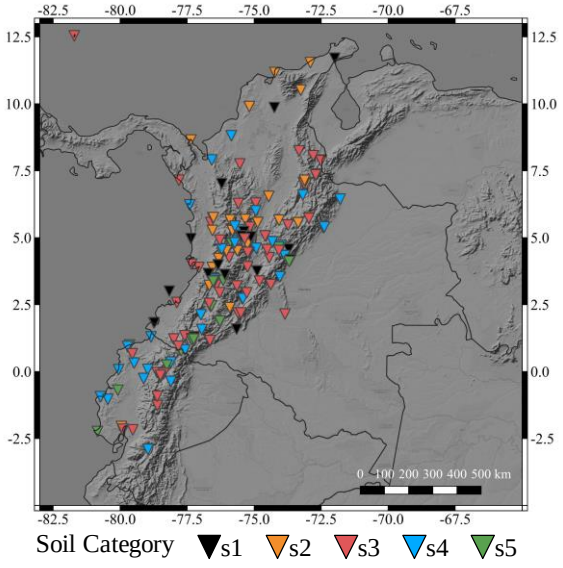


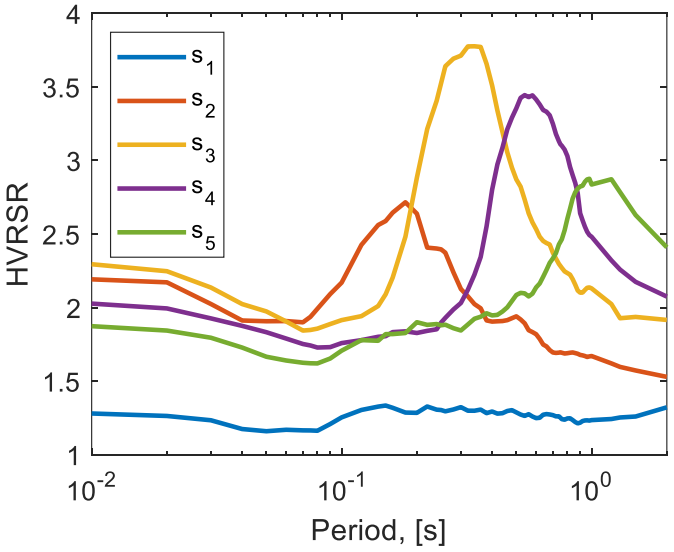
# CONTENIDO

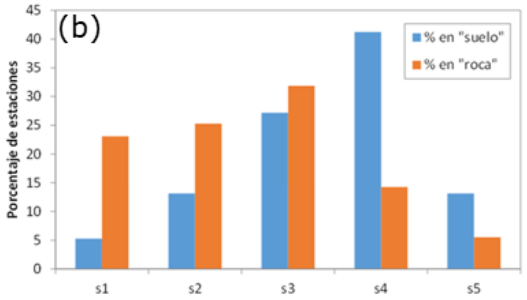
- Efectos de sitio en *GMMs*
- Caracterización de estaciones colombianas
- Modelación de efectos de sitio en Colombia
- Conclusiones

# Caracterización estaciones Colombia

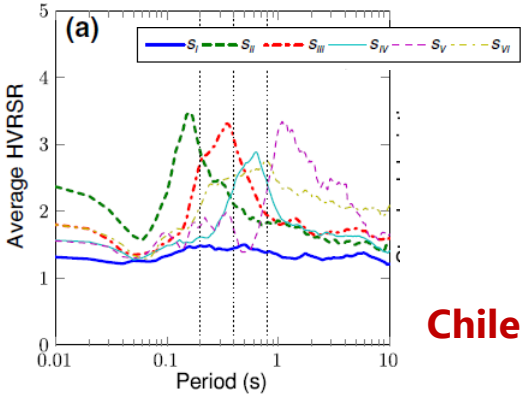
| Category | Predominant period $T_n$ [s] |
|---|---|
| $s_1$ | HVRSR < 2 (Roca) |
| $s_2$ | $T_n \leq 0.2$ |
| $s_3$ | $0.2 < T_n \leq 0.4$ |
| $s_4$ | $0.4 < T_n \leq 0.8$ |
| $s_5$ | $T_n > 0.8$ |



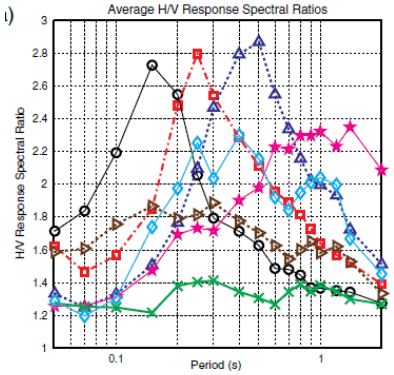




**Promedio relación *HVRSR* por categoría**



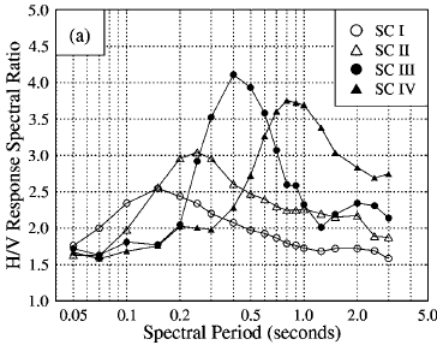

Chile

Idini et al. (2017)



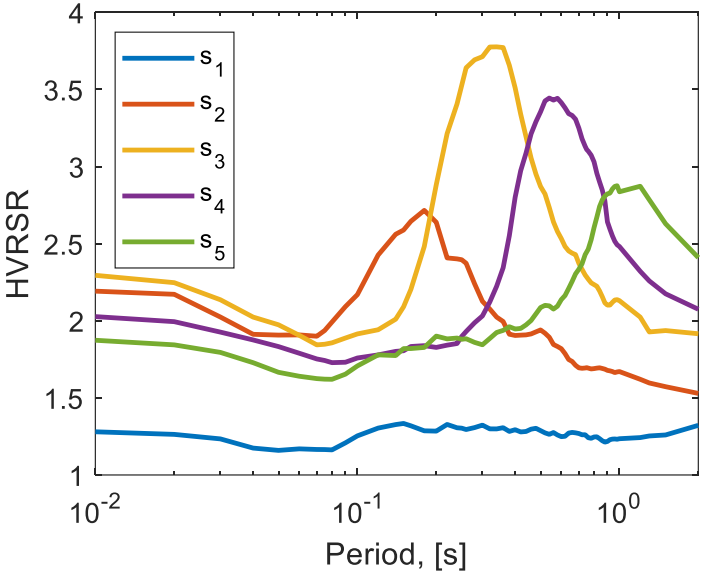

Italia

Di Alessandro et al. (2012)



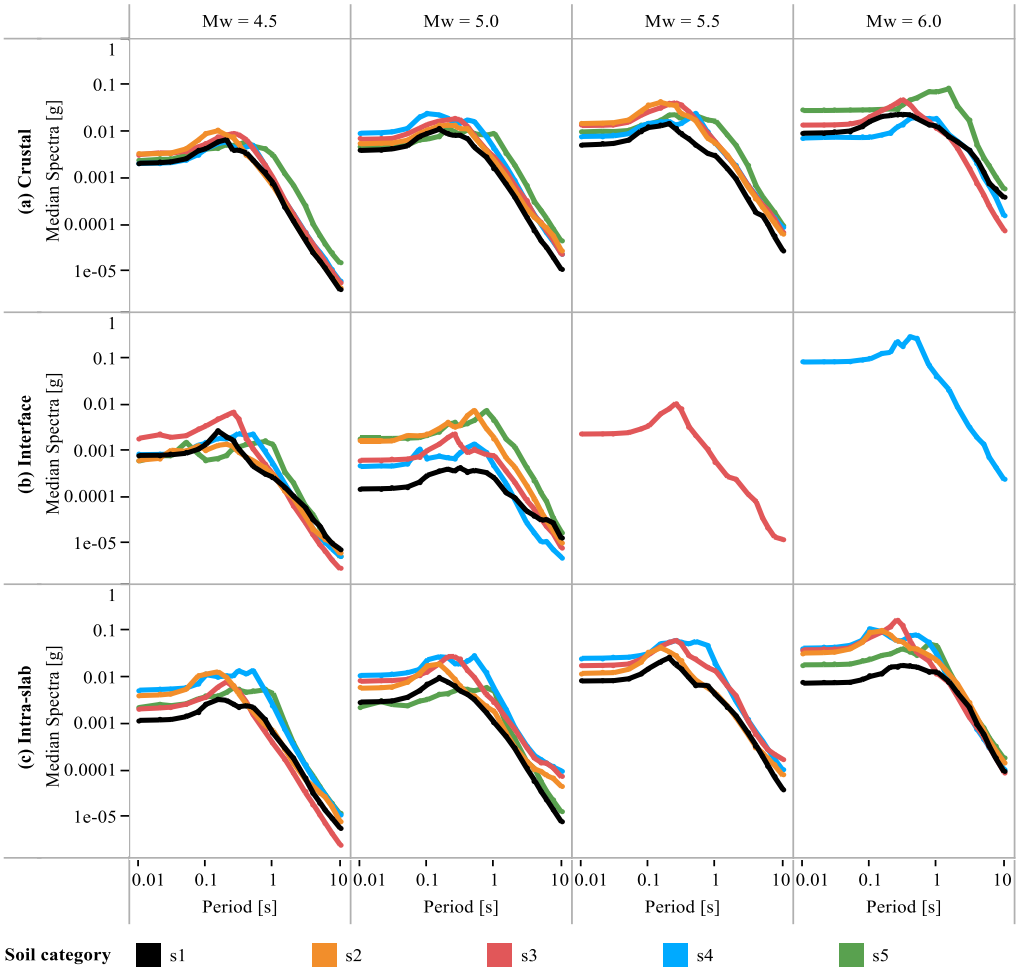

Japón

Zhao et al. (2006)




Colombia

# Promedio relación *HVRSR* por categoría




# Caracterización estaciones Colombia

Espectros promedio (medidos) por categoría de estación

***Figure 3.*** *Sample median spectra for events recorded between 100 and 200 km.*

# CONTENIDO

- Efectos de sitio en *GMMs*
- Caracterización de estaciones colombianas
- Modelación de efectos de sitio en Colombia
- Conclusiones

# Modelo de amplificación de sitio

$$ln(S_a) = F_{source}(M) + F_{path}(M, R) + F_S$$

Efectos de sitio

- Modelo propuesto basado en $T_n$

$$F_S(T) = c_j(T)\ ln(P^*)$$

P*: pico de amplificación de HRVSR (por estación)

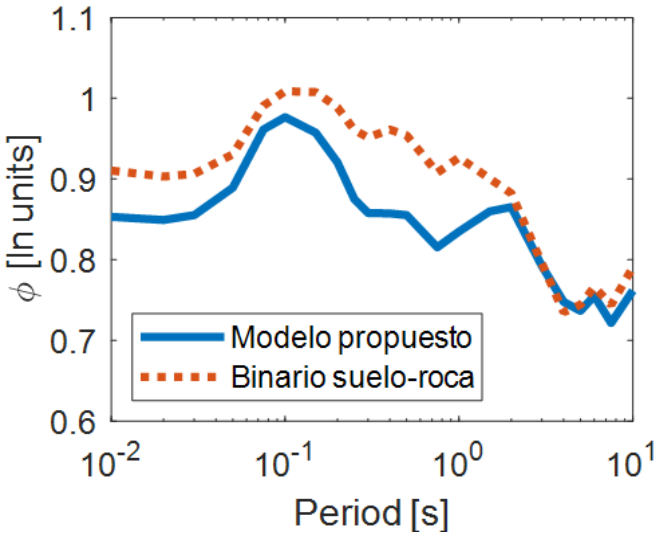
Coeficiente de regresión por cada categoría

$$c_1(T) = 0 \quad (para\ categoría\ s_1)$$

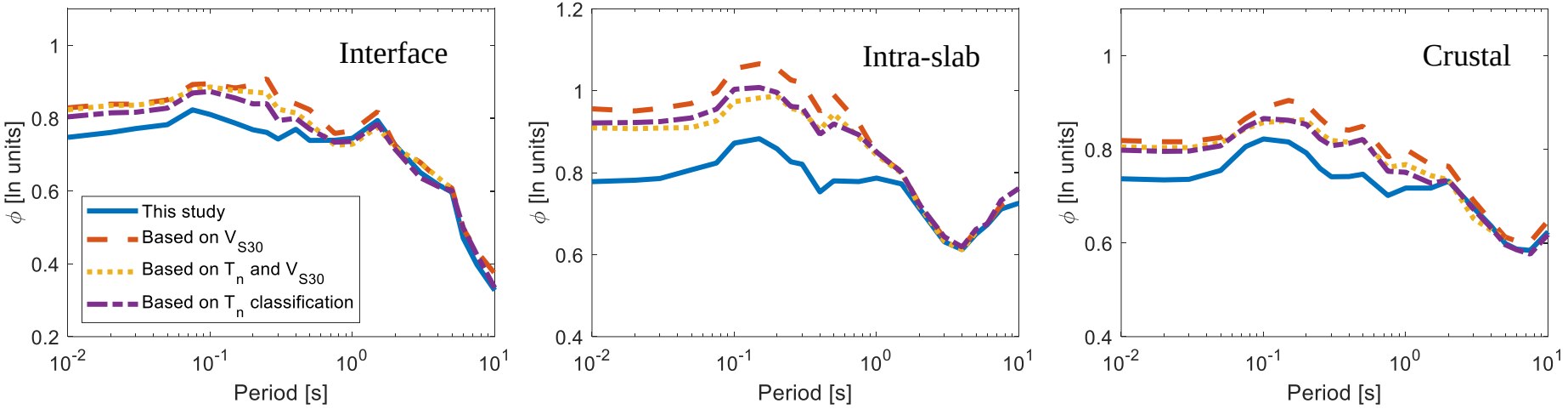
- Modelo binario previo

$$F_S(T) = a(T)\ flag$$

(*flag*=0 para "roca", *flag* =1 para "suelos")



# Comparación de modelos




# Desviación “intra-evento”

# Categorización propuesta y correspondencias

**Table 1.** Classification criteria for stations

| Category | Predominant period, $T_n$ (s) | Site description | Approximate range of $V_{S30}$ (m/s) | Average $P^*$ |
|---|---|---|---|---|
| $s_1$ | Not identifiable: HVRSR <2 | Low-impedance hard rock | Unknown | – |
| $s_2$ | $T_n \leqslant 0.2$ | Rock/stiff soil | $V_{S30} \geqslant 600$ | 3.29 |
| $s_3$ | $0.2 < T_n \leqslant 0.4$ | Hard soil | $370 \leqslant V_{S30} < 600$ | 4.48 |
| $s_4$ | $0.4 < T_n \leqslant 0.8$ | Medium soil | $230 \leqslant V_{S30} < 370$ | 4.24 |
| $s_5$ | $T_n > 0.8$ | Soft soil | $V_{S30} < 230$ | 3.47 |

HVRSR: horizontal-to-vertical response spectral ratio.

Arteta, C.A., Pajaro, C.A., Mercado, V., Montejo, J., Arcila, M. and Abrahamson, 2021. Ground-motion model for subduction earthquakes in northern South America. *Earthquake Spectra*, p.87552930211027585.

# CONTENIDO

- Efectos de sitio en *GMMs*
- Caracterización de estaciones colombianas
- Modelación de efectos de sitio en Colombia
- Conclusiones

# Conclusiones

- Se propuso un esquema de caracterización de estaciones sísimicas basado en $T_n$.
- La determinación de $T_n$ puede realizarse de manera conveniente a partir de la relación *HVRSR* de registros sísmicos.
- Agrupar estaciones por $T_n$ permite una adecuada descripción de la amplificación de las estaciones.
- Caracterización de "roca" basada en *HVRSR* ofrece una más adecuada descripción de amplificación asociada a estaciones correspondientes
- La caracterización[on propuesta permite un mejor desempeño de los modelos de efectos de sitio.

# Agradecimientos


- **Carlos A. Arteta,** Associate Professor, Dept. of Civil and Environmental Engineering, Universidad del Norte, Barranquilla. Colombia
- **Mónica Arcila,** Researcher, Colombian Geological Survey (SGC), Colombia.
- **Gustavo Posada,** Researcher, Colombian Geological Survey (SGC), Colombia.
- **Norman A. Abrahamson,** Adjunct Professor, Department of Civil and Environmental Engineering, University of California, Berkeley, USA

XVII CCG
I SSAG 2022
Cartagena

SCG

50 años
1971-2021

# ¡GRACIAS!

**¿Preguntas?**

vmercado@uninorte.edu.co

XVII CONGRESO COLOMBIANO DE GEOTÉCNIA "EVALUACIÓN Y GESTIÓN DE RIESGOS GEOTÉCNICOS CON ÉNFASIS EN LOS EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO"

14 al 18 de Noviembre de 2022

# EFECTOS DE SITIO EN ESTUDIOS DE RIESGO SÍSMICO EN COLOMBIA

**Grupo Evaluación de amenaza y riesgo sísmico**
**Servicio Geológico Colombiano**

Sociedad Colombiana de Geotecnia

50 años 1971-2021

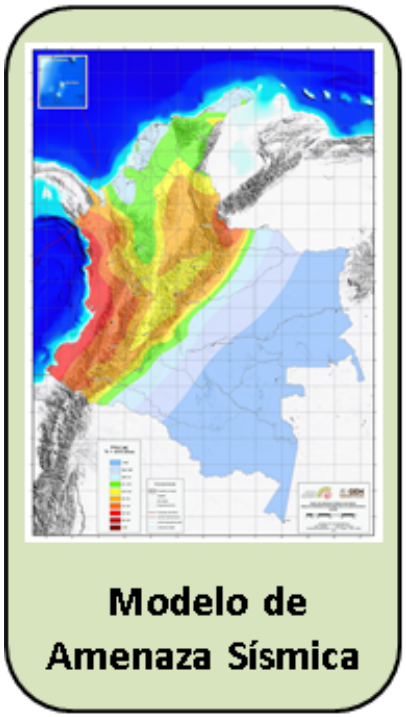
SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO

# MODELO NACIONAL DE RIESGO SÍSMICO DE COLOMBIA

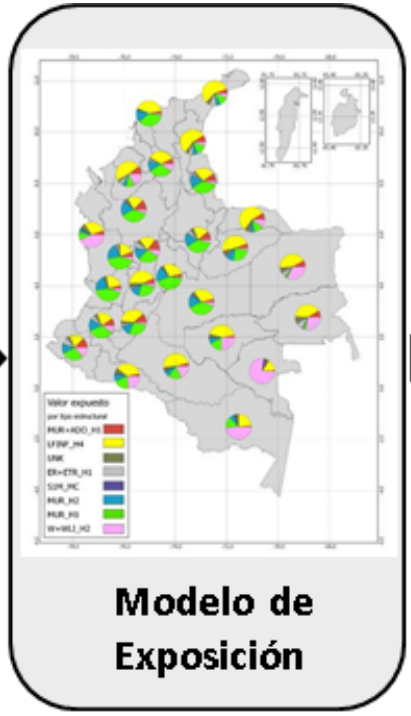
ACOFI
Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería

# Modelo nacional de riesgo sísmico de Colombia

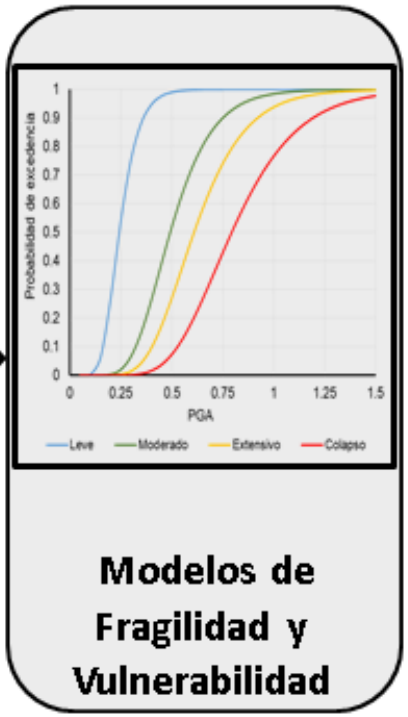
# Componentes evaluación de riesgo sísmico



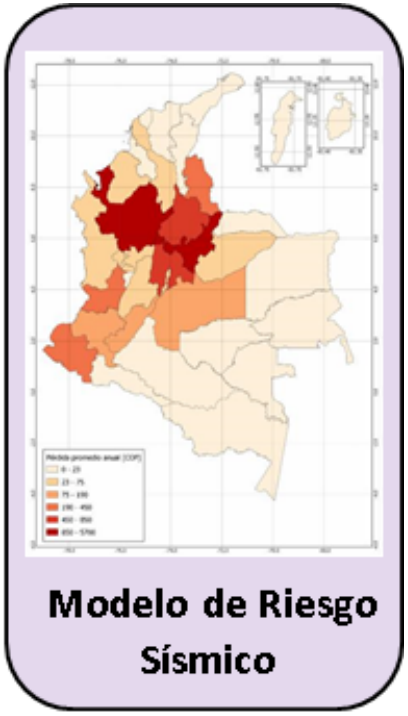
Modelo de Amenaza Sísmica



Modelo de Exposición

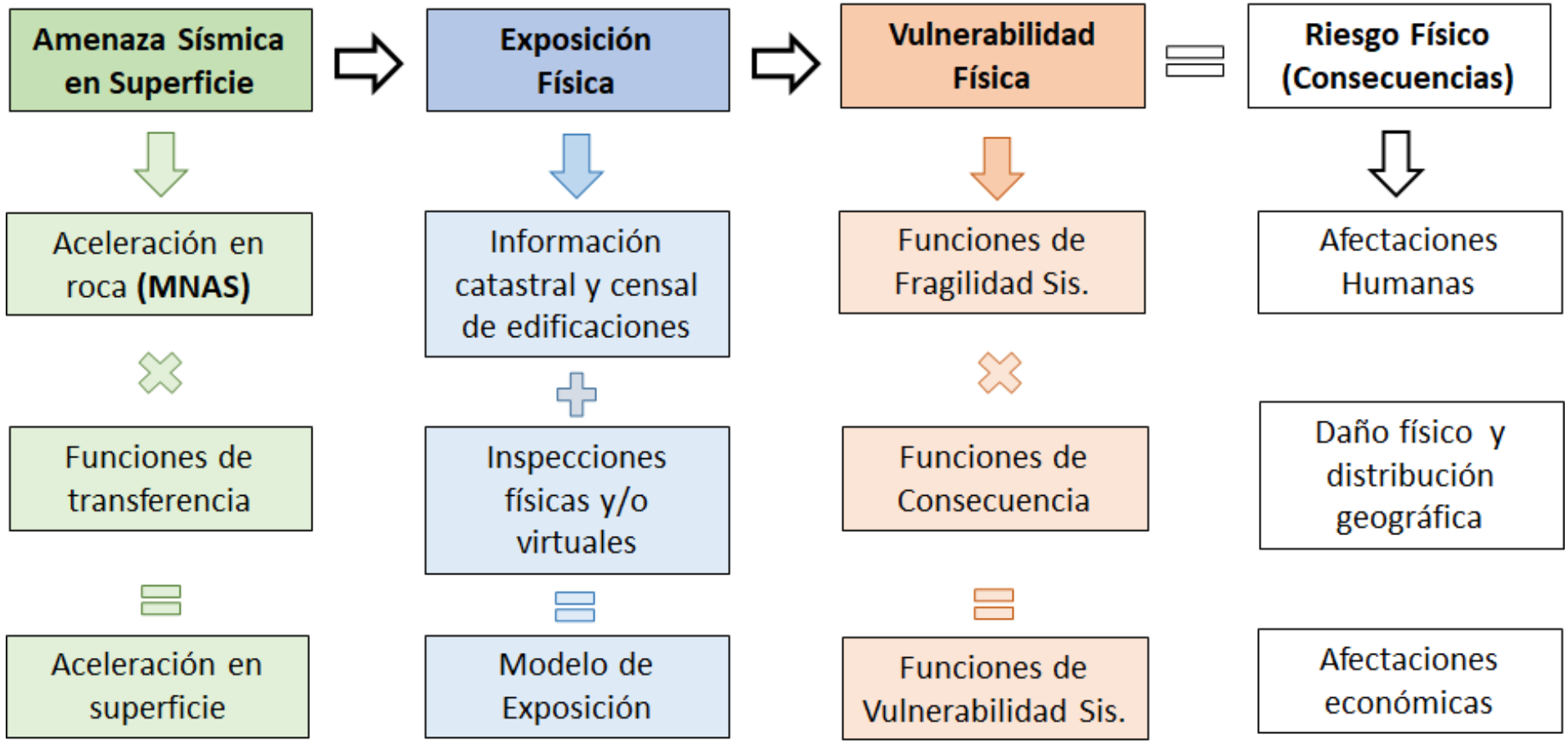



Modelos de Fragilidad y Vulnerabilidad



Modelo de Riesgo Sísmico

# Componentes del proyecto



# MODELO NACIONAL DE RIESGO SISMICO DE COLOMBIA

## Modelo de Exposición Sísmica
## Alcance

### Propósito de un modelo de exposición de edificaciones

*(en el contexto de la evaluación del riesgo de desastres)*

Representación simplificada de características de las edificaciones expuestas

**Ubicación**

*¿Dónde se encuentran con respecto a la distribución de intensidad del evento amenazante?*

**Características que reflejan la propensión al daño**

*¿Cómo clasifico cada elemento con respecto a su forma de verse afectado por el evento?*

**Costo**

*¿Qué costo de reposición podría verse afectado por el evento?*

**Ocupación**

*¿Cuántas personas podrían verse afectadas por el evento?*

*Cortesía Uniandes*

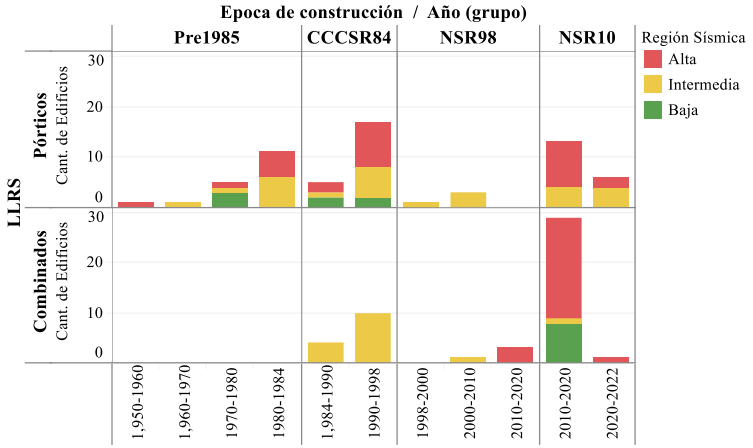
# MODELO NACIONAL DE RIESGO SISMICO DE COLOMBIA

## Estudio de tipologías constructivas típicas de Colombia

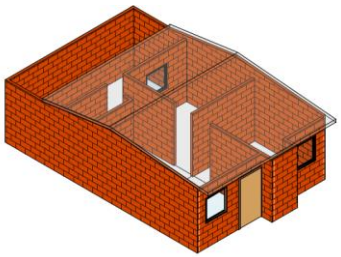
### Informes de Funciones de Fragilidad y Vulnerabilidad

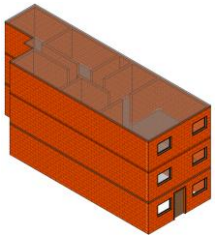
| ID | Tipología |
|---|---|
| V001-2022 | Muros de Mampostería No-Reforzada |
| V002-2022 | Muros de Mampostería Confinada |
| V003-2022 | Muros de Mampostería Reforzada |
| V004-2022 | Muros industrializados de concreto reforzado |
| V005-2022 | Pórticos Resistentes a Momento y Sistemas Combinados de Concreto Reforzado |

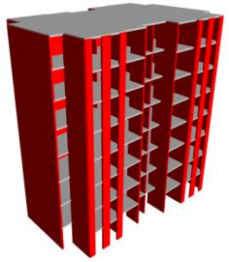
### Bases de datos

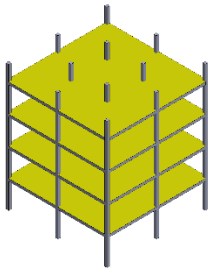


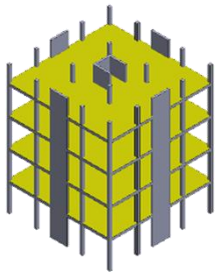

### Arquetipos



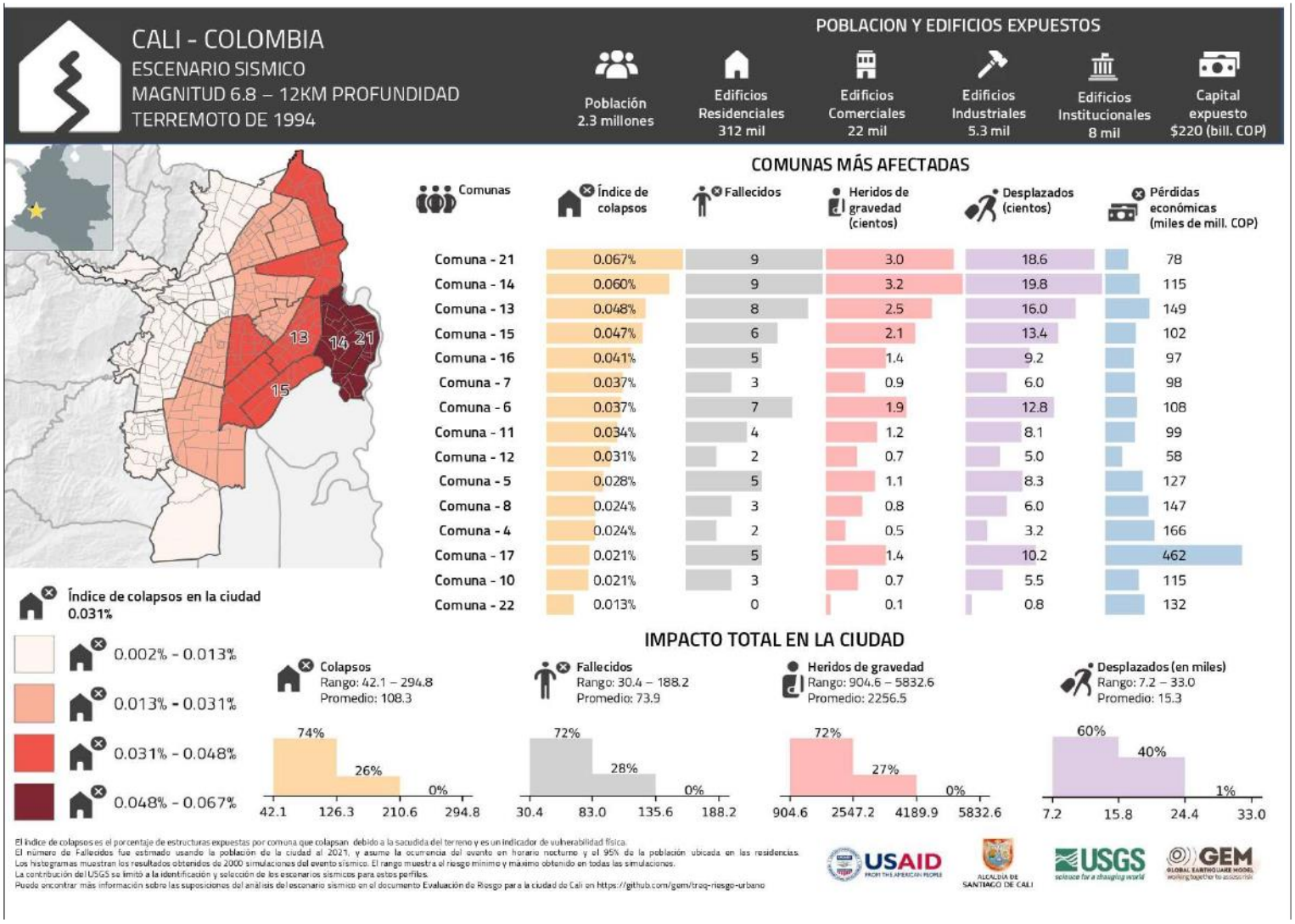








# MODELO NACIONAL DE RIESGO SISMICO DE COLOMBIA



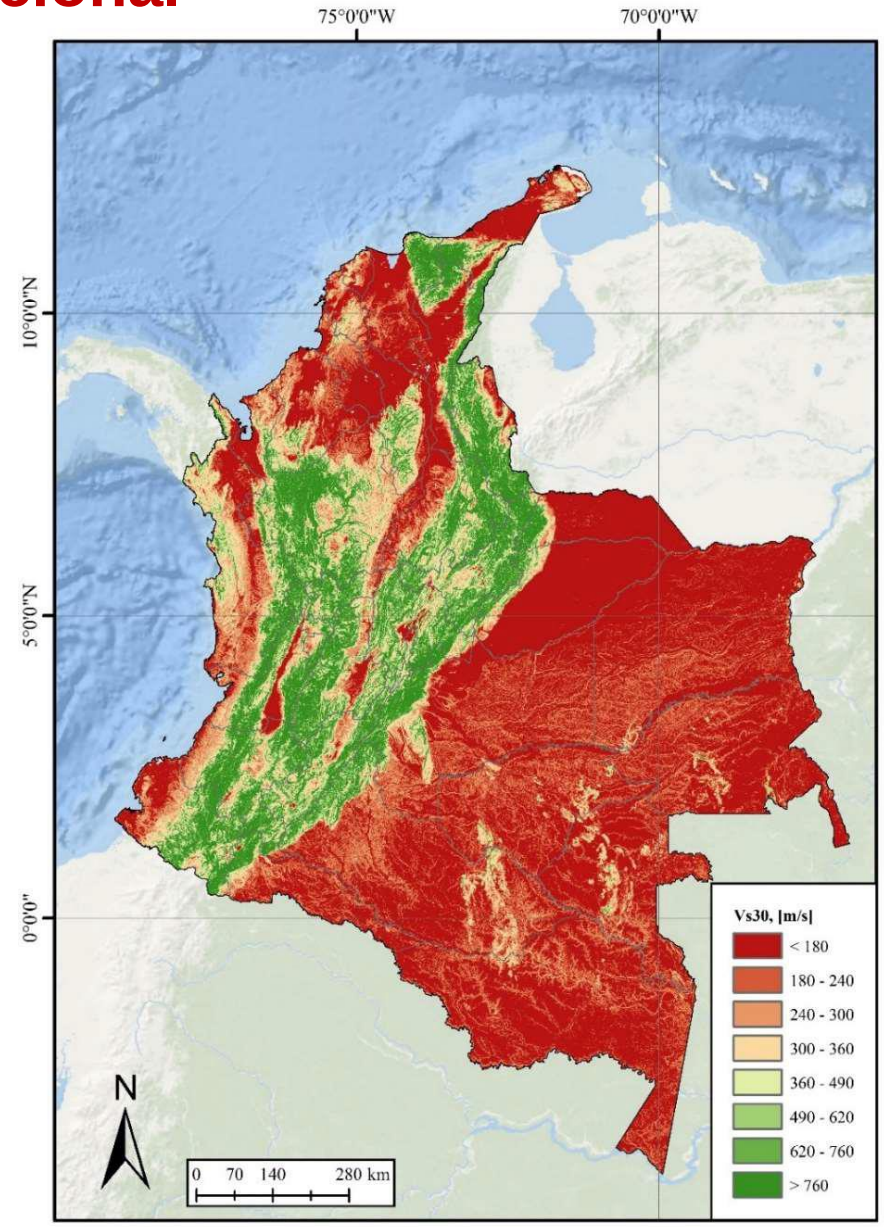

*Ejemplo perfiles de riesgo para municipios*

*Proyecto TREQ*

# Efectos de sitio escala nacional

Actualización mapa nacional de Vs30:

1. Incorporar mediciones realizadas
2. Incluir zonificaciones de respuesta sísmica de ciudades
3. En todas las ciudades grandes, obtener el Vs30 con insumos a escala 25K o mejor según disponibilidad.




*Mapa de Vs30 integrado para Colombia (Eraso & Montejo, 2020)*

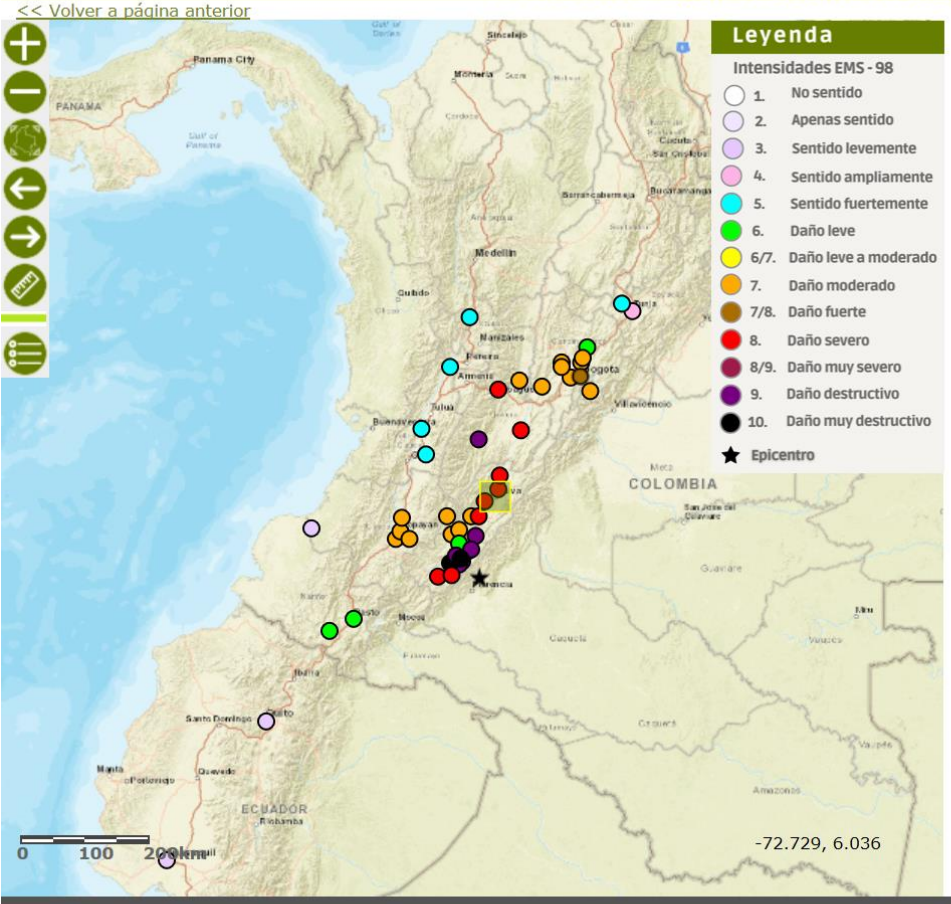
# Efectos locales en estudios macrosísmicos

SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO

El futuro es de todos | Minenergía

Sismicidad histórica de Colombia






Por fecha consultar

## Sismo de 1827/11/16

**Resumen:**
Este sismo se referencia como uno de los más destructivos en la historia de Colombia. Los relatos que lo refieren son impresionantes y dan muestra del daño general que hubo en muchas poblaciones, se mencionan numerosas muertes, heridos, colapso de edificaciones y graves efectos en la naturaleza como represamientos de ríos por deslizamientos, inundaciones y avalanchas.

El departamento del Huila fue el más devastado, ya que allí casi todos sus municipios presentaron daños graves en las construcciones e importantes efectos en la naturaleza. Por ejemplo, en Timaná, la iglesia y la mayoría de las casas quedaron destruidas y las pocas casas que no colapsaron quedaron en muy malas condiciones, razón por la cual sus habitantes emigraron a la Mesa de Elías -o Mesa de Las Limas- y a raíz de ese hecho se fundó aquel municipio. En Targui se reportó la destrucción casi total del

Ver información detallada del sismo | Ver tabla completa

| No | Sitio | Región | Lat. | Long. | Intensidad | Escala | Autor |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Acevedo | Huila | 1.82 | -75.91 | 8 | EMS-98 | SGC-UN |
| 2 | Altamira | Huila | 2.07 | -75.78 | 10 | EMS-98 | SGC-UN |
| 3 | Alvarado | Tolima | 4.56 | -74.95 | 7 | EMS-98 | SGC-UN |
| 4 | Bogotá | Bogotá D.C. | 4.63 | -74.10 | 7/8 | EMS-98 | SGC-UN |
| 5 | Bojacá | Cundinamarca | 4.74 | -74.35 | 7 | EMS-98 | SGC-UN |


Todos los derechos reservados 2016-2017 Apartado Aéreo 4865

# Efectos de los sismos

SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO

## SISMO DEL 16 DE NOVIEMBRE DE 1827 AL SUR DEL DEPARTAMENTO DEL HUILA

**Epicentro**
Lat. 1.8
Long. -75.52

**Hora**
6:00 p.m.

**Profu**
10 (k

El antiguo Cantón de Timaná (que comprendía a Timaná, Agrado, Acevedo, Garzón, Guadalupe, Gigante, Elías, Pital, Pitalito, Tarqui, Suaza y Altamira) dependía en esa época especialmente de la producción de cacao.

Las grandes avalanchas de los ríos que arrasaron estas plantaciones, provocaron una crisis económica en la región que duró varios años

### ¿SABÍAS QUE...?

Este sismo se reseña como **Uno de los más destructivos en la historia de Colombia** debido al daño general que hubo en muchas poblaciones especialmente de Huila y Tolima, en donde colapsaron numerosas edificaciones y hubo efectos severos en la naturaleza

### río Suaza

EL DESLIZAMIEN
más grande
represó el río Suaza dur
haciendo que el flujo s
inundando part
municipio de Gua
Al romperse el dique
las aguas del río, se p
gran avalancha qu
principalmente a los m
Guadalupe, Altamira
Agrado, lo que generó
vidas humanas, c
viviendas y gar

**Números réplicas en la zona epicentral durante más de**

**2 meses**

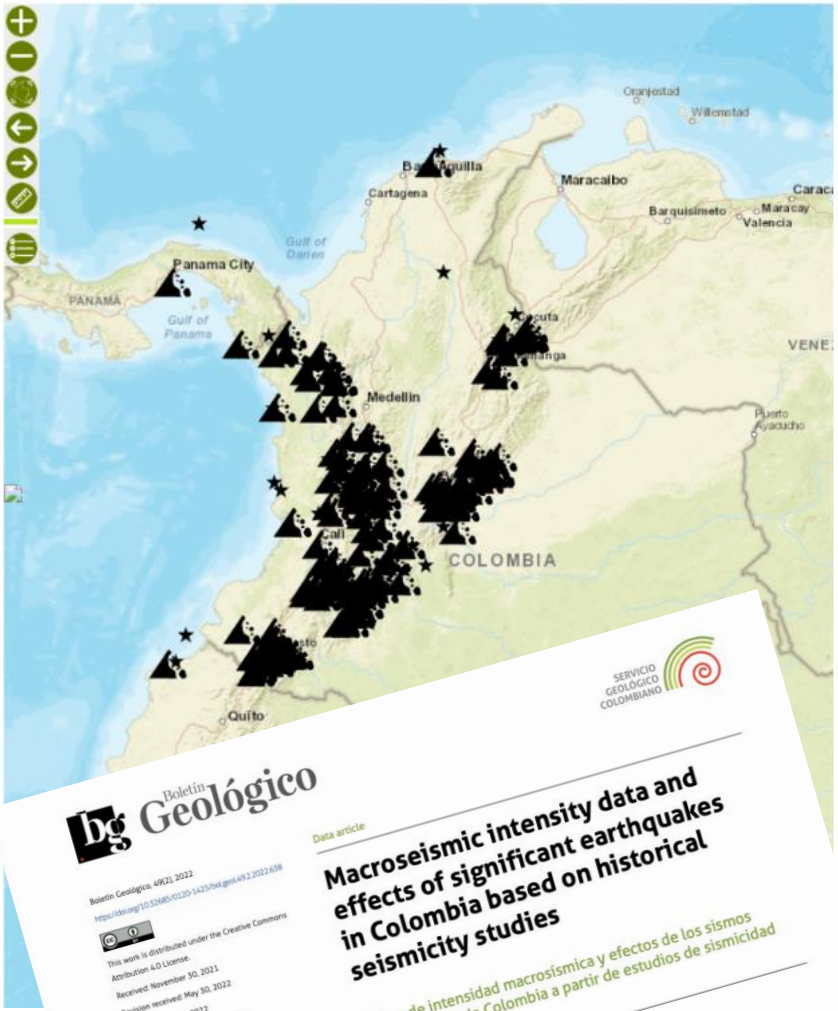
- La mayoría de iglesias y casas del departamento del Huila fueron destruidas total o parcialmente
- En BOGOTÁ colapsaron la Ermita de Guadalupe, la iglesia de San Victorino y la antigua Iglesia de Las Cruces
- En PASTO y POPAYÁN muchas iglesias presentaron agrietamientos y daños de consideración

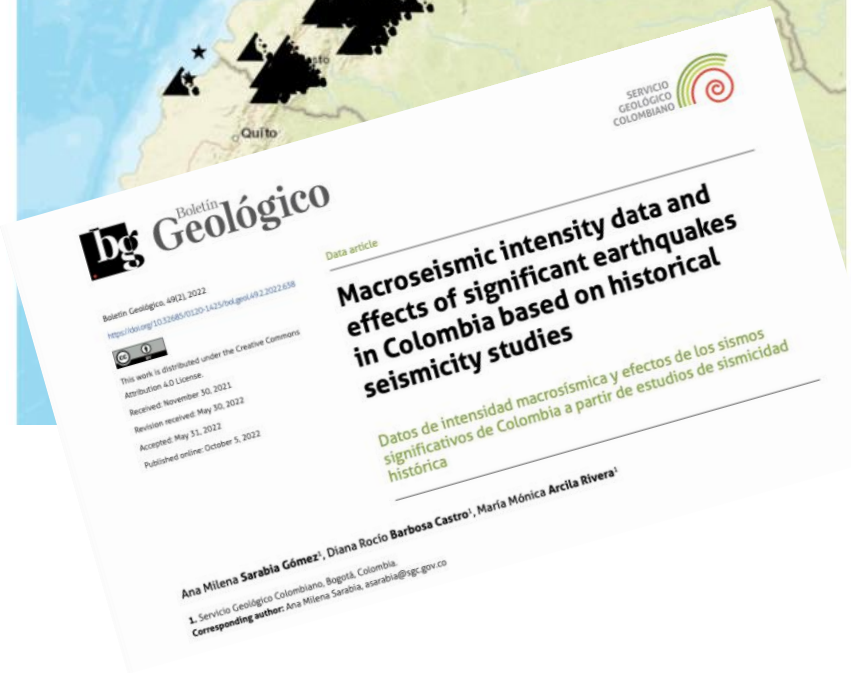
Información tomada de:
Sistema de información de sismicidad histórica de Colombia: http://sish.sgc.gov.co/visor/
*Datos estimados a partir de documentos históricos
*Infografía elaborada por Diana Barbosa, Milena Sarabia y Mónica Arcila -Dirección de Geoamenazas (2021)*

SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO | El futuro es de todos | Minenergía

# Sismicidad histórica de Colombia







Boletín Geológico

Data article

**Macroseismic intensity data and effects of significant earthquakes in Colombia based on historical seismicity studies**

Datos de intensidad macrosísmica y efectos de los sismos significativos de Colombia a partir de estudios de sismicidad histórica

Ana Milena Sarabia Gómez[1], Diana Rocío Barbosa Castro[1], María Mónica Arcila Rivera[1]

1. Servicio Geológico Colombiano, Bogotá, Colombia.
**Corresponding author:** Ana Milena Sarabia, asarabia@sgc.gov.co

Por efectos | consultar

| Categoría | Efecto |
|---|---|
| Naturaleza | Movimientos en masa |

Movimientos en masa
Grietas en el terreno
Licuefacción
Tsunami/Oleaje anormal
Subsidencia/Levantamiento
Anomalías hidrológicas
Sacudimiento de árboles

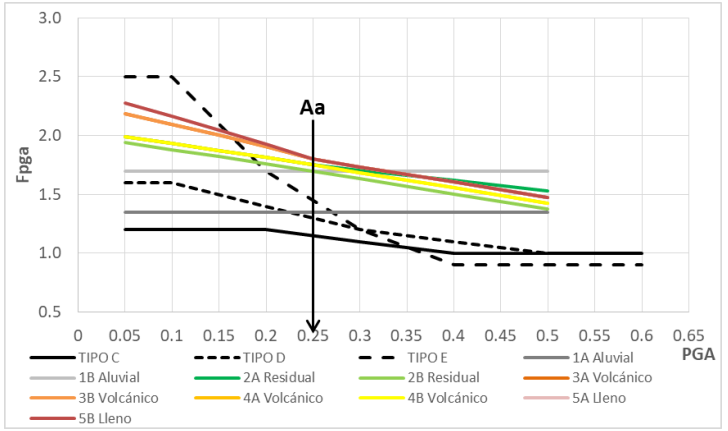
descripción de efectos

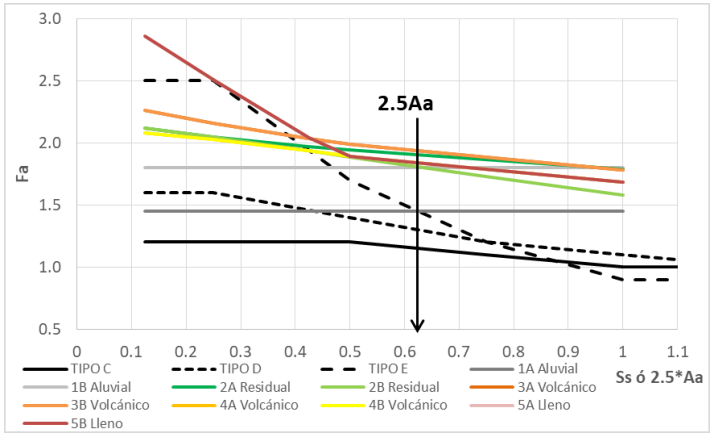
| No. | Fecha | | | | | Tipo de efecto | Localidad afectada | Área epicentral |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 1644-01-16 | 05:00 | 6.5 | 15 | 9 | Deslizamiento mayor | Pamplona, Norte de Santander | Pamplona, Norte de Santander |
| 2 | 1644-03-16 | 12:00 | 5.5 | 15 | 7 | Deslizamiento mayor | Soacha, Cundinamarca | Chipaque, Cundinamarca |
| 3 | 1644-03-16 | 12:00 | 5.5 | 15 | 7 | Deslizamiento mayor | Chipaque, Cundinamarca | Chipaque, Cundinamarca |
| 4 | 1646-04-03 | 02:00 | 6 | 15 | 8 | No definido | Muzo, Boyacá | Muzo, Boyacá |
| 5 | 1743-10-18 | 10:45 | 6.2 | 15 | 8 | No definido | Cáqueza, Cundinamarca | Fómeque, Cundinamarca |
| 6 | 1743-10-18 | 10:45 | 6.2 | 15 | 8 | Deslizamiento mayor | Quetame, Cundinamarca | Fómeque, Cundinamarca |
| 7 | 1743-10-18 | 10:45 | 6.2 | 15 | 8 | Deslizamiento mayor | Guayabetal, Cundinamarca | Fómeque, Cundinamarca |
| 8 | 1743-10-18 | 10:45 | 6.2 | 15 | 8 | No definido | Chipaque, Cundinamarca | Fómeque, Cundinamarca |
| 9 | 1743-10-18 | 10:45 | 6.2 | 15 | 8 | Fómeque, Cundinamarca | | Fómeque, Cundinamarca |
| 10 | 1785-07-12 | 07:45 | 7.1 | 10 | 7 | No definido | Cajamarca, Tolima | Suroriente de Cundinamarca, Cundinamarca |
| 11 | 1827-11-16 | 18:00 | 7.1 | 10 | 10 | Deslizamiento mayor | Ibagué, Tolima | Altamira, Huila |
| 12 | 1827-11-16 | 18:00 | 7.1 | 10 | 10 | Deslizamiento mayor | La Plata, Huila | Altamira, Huila |
| 13 | 1827-11-16 | 18:00 | 7.1 | 10 | 10 | No definido | Chaparral, Tolima | Altamira, Huila |
| 14 | 1827-11-16 | 18:00 | 7.1 | 10 | 10 | Avenida torrencial | Garzón, Huila | Altamira, Huila |
| 15 | 1827-11-16 | 18:00 | 7.1 | 10 | 10 | Deslizamiento mayor | Garzón, Huila | Altamira, Huila |
| 16 | 1827-11-16 | 18:00 | 7.1 | 10 | 10 | No definido | Yaguará, Huila | Altamira, Huila |
| 17 | 1827-11-16 | 18:00 | 7.1 | 10 | 10 | Deslizamiento mayor | Pitalito, Huila | Altamira, Huila |
| 18 | 1827-11-16 | 18:00 | 7.1 | 10 | 10 | Avenida torrencial | Tello, Huila | Altamira, Huila |
| 19 | 1827-11-16 | 18:00 | 7.1 | 10 | 10 | Avenida torrencial | Rivera, Huila | Altamira, Huila |
| 20 | 1827-11-16 | 18:00 | 7.1 | 10 | 10 | Deslizamiento mayor | Acevedo, Huila | Altamira, Huila |
| 21 | 1827-11-16 | 18:00 | 7.1 | 10 | 10 | Deslizamiento mayor | Altamira, Huila | Altamira, Huila |
| 22 | 1827-11-16 | 18:00 | 7.1 | 10 | 10 | Deslizamiento mayor | Gigante, Huila | Altamira, Huila |
| 23 | 1827-11-16 | 18:00 | 7.1 | 10 | 10 | Avenida torrencial | Gigante, Huila | Altamira, Huila |

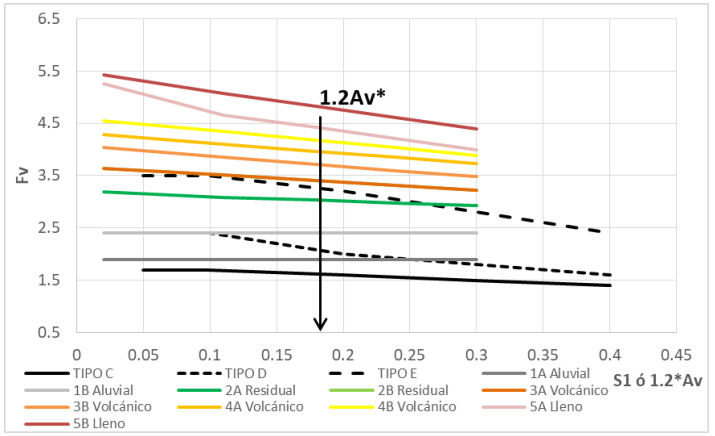
http://sish.sgc.gov.co

# Factores de amplificación

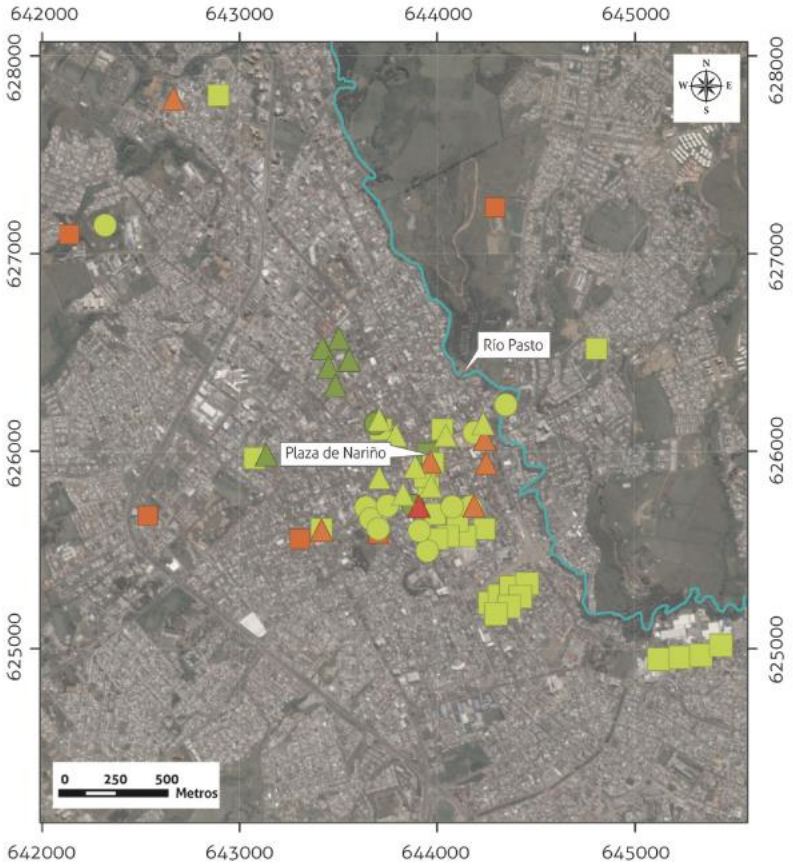
Desarrollar funciones de amplificación para cada unidad geológica-geomorfológica típica de Colombia, tomando como base FT`s de las zonificaciones de respuesta sísmica de ciudades



# Zonificaciones sismo históricas



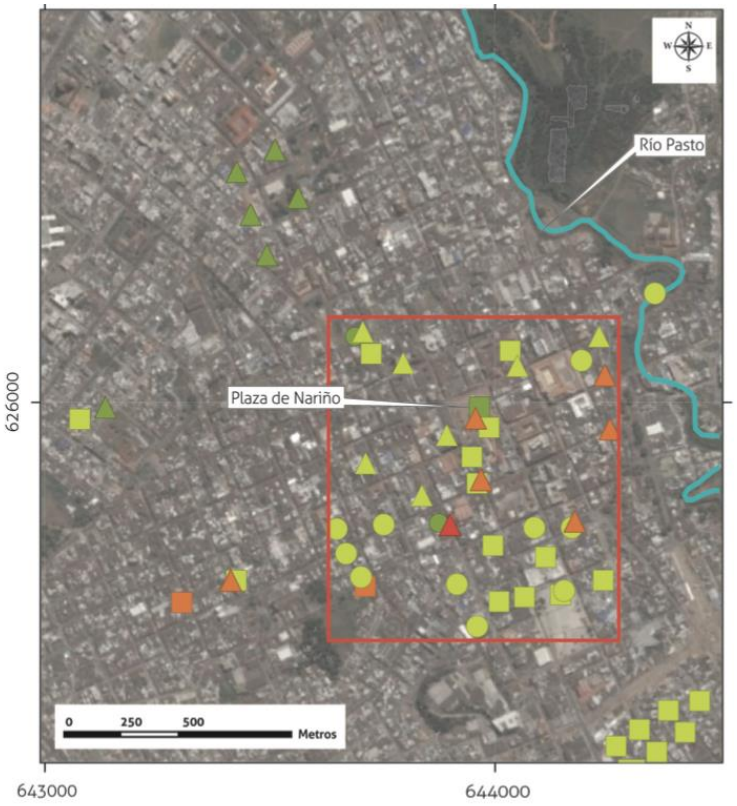
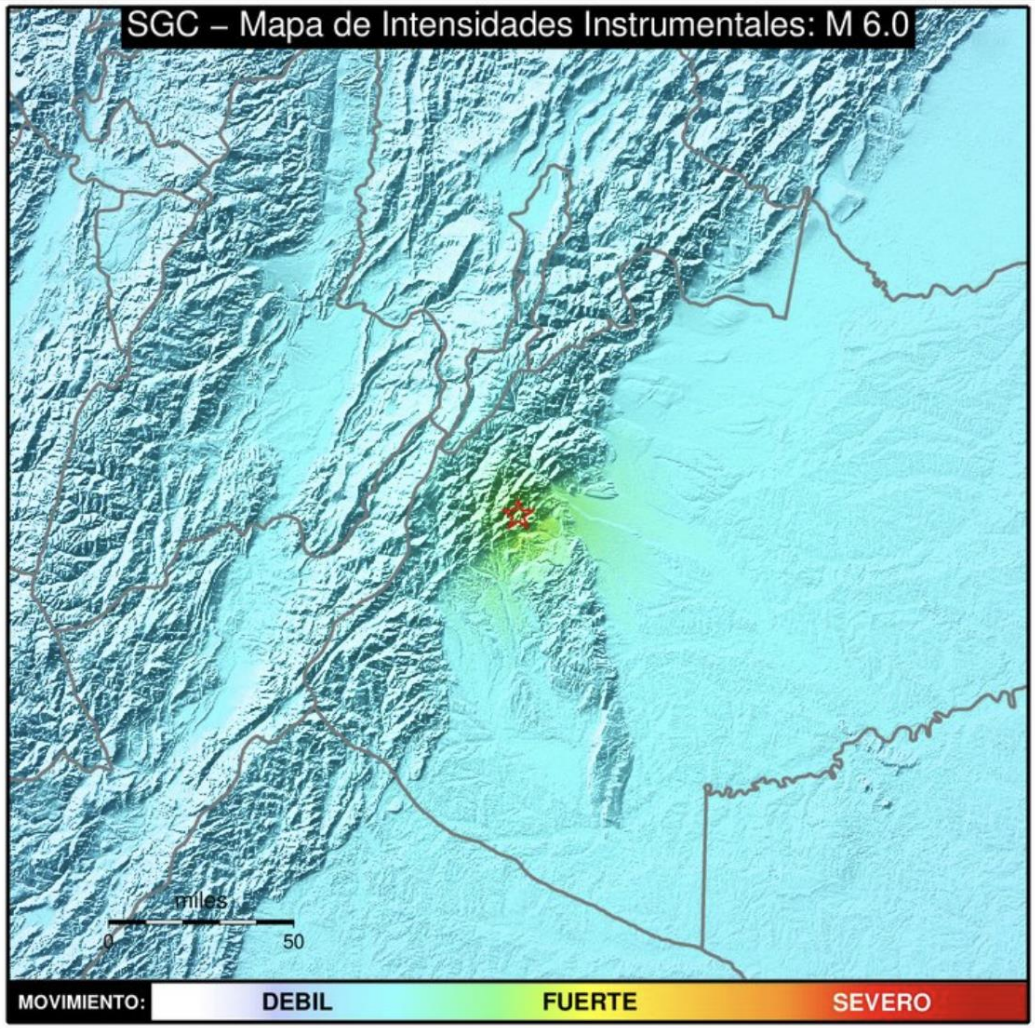




**Imagen de satélite:** *DigitalGlobe*, 05/01/2015

(Sarabia y Cifuentes, 2018)

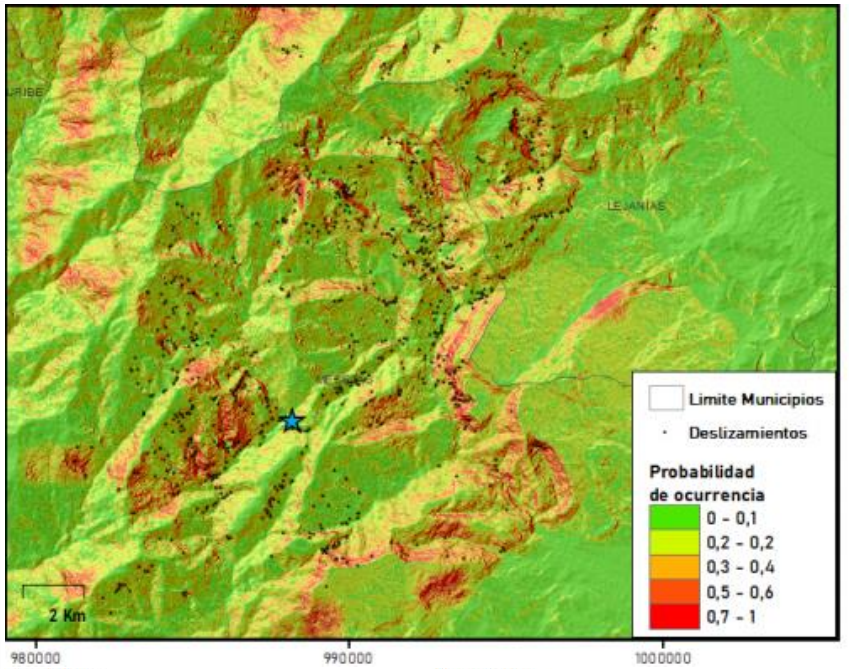
## Mapas de intensidad instrumental (*ShakeMap*)




| PERCEIVED SHAKING | Not felt | Weak | Light | Moderate | Strong | Very strong | Severe | Violent | Extreme |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| POTENTIAL DAMAGE | none | none | none | Very light | Light | Moderate | Mod./Heavy | Heavy | Very Heavy |
| PEAK ACC.(%g) | <0.05 | 0.3 | 2.8 | 6.2 | 12 | 22 | 40 | 75 | >139 |
| PEAK VEL.(cm/s) | *<0.02* | *0.1* | *1.4* | *4.7* | *9.6* | *20* | *41* | *86* | *>178* |
| INSTRUMENTAL INTENSITY | I | II–III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X+ |

Scale based upon Worden et al. (2012)

## Falla de terreno (*Ground Failure*)




### Landslides

Estimated Area Exposed to Hazard

Little or no | Limited | Significant | Extensive

≤ 0.1 km² | 1 km² | 10 km² | 100 km² | ≥ 1,000 km²

Landslides triggered by this earthquake are estimated to be significant in number and (or) spatial extent.

Estimated Population Exposure

Little or no | Limited | Significant | Extensive

≤ 10 | 100 | 1,000 | 10,000 | ≥ 100,000

The number of people living near areas that could have produced landslides in this earthquake is limited. This is not a direct estimate of landslide fatalities or losses.

### Liquefaction

Estimated Area Exposed to Hazard

Little or no | Limited | Significant | Extensive

≤ 1 km² | 10 km² | 100 km² | 1,000 km² | ≥ 10,000 km²

Liquefaction triggered by this earthquake is estimated to be limited in severity and (or) spatial extent.

Estimated Population Exposure

Little or no | Limited | Significant | Extensive

≤ 100 | 1,000 | 10,000 | 100,000 | ≥ 1,000,000

The number of people living near areas that could have produced liquefaction in this earthquake is limited. This is not a direct estimate of liquefaction fatalities or losses.

# Resumen

| Escala | Aplicación | Método de análisis de la amenaza por movimientos en masa | Método de análisis del detonante sismo incluyendo efectos de sitio |
|---|---|---|---|
| **Nacional**<br>100k o menor | Planeación nacional<br>PNGRD | **Heurístico, estadístico**<br>Ponderación del detonante con pesos. | PGA en superficie usando el $Vs_{30}$ Nacional y ecuaciones de atenuación con $Vs_{30}$. |
| **Regional**<br>25k | Macrocuencas<br>POMCA<br>EIA, OT<br>PDGRD, PMGRD<br>Infraestructura Fase I | **Heurístico, estadístico**<br>Ponderación del detonante con pesos.<br>**Determinístico**<br>Modelo de estabilidad seudoestático y calcula factor de seguridad. | PGA en superficie con efecto topográfico.<br>• Opción 1. Ecuaciones de atenuación con $Vs_{30}$.<br>• Opción 2. Factor de amplificación con $Vs_{30}$.<br>Amplificación topográfica con curvatura y pendiente. |
| **Semidetallada**<br>5k, 10k | PMAM<br>EIA<br>OT<br>PMGRD<br>Infraestructura Fase II | **Determinístico**<br>Modelo de estabilidad seudoestático y calcula factor de seguridad. | PGA en superficie con efecto topográfico.<br>• Opción 1. Zonificación de respuesta sísmica.<br>• Opción 2. Factor de amplificación con $Vs_{30}$.<br>Amplificación topográfica con curvatura y pendiente. |
| **Detallada**<br>mayor a 5k | EIA<br>POT<br>GRD local<br>Infraestructura Fase III | **Determinístico**<br>Modelo de estabilidad pseudoestático y calcula factor de seguridad.<br>**Probabilístico**<br>Modelo de estabilidad seudoestático y calcula probabilidad de falla. | PGA en superficie con efecto topográfico.<br>• Opción 1. Estudio particular de respuesta local.<br>• Opción 2. Zonificación de respuesta sísmica.<br>• Opción 3. Factor de amplificación con Vs30.<br>Amplificación topográfica con curvatura y pendiente o de la modelación 2D del perfil del sitio. |

XVII CCG
I SSAG 2022
Cartagena

SCG

50 años
1971-2021

# ¡GRACIAS!

**¿Preguntas?**

marcila@sgc.gov.co

XVII CONGRESO COLOMBIANO DE GEOTÉCNIA "EVALUACIÓN Y GESTIÓN DE RIESGOS GEOTÉCNICOS CON ÉNFASIS EN LOS EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO"

14 al 18 de Noviembre de 2022

XVII CCG
I SSAG 2022
Cartagena

# PROPUESTA METODOLÓGICA PARA LA ESTIMACIÓN DE LA AMPLIFICACIÓN SÍSMICA DEBIDA A LA TOPOGRAFÍA

**Leonardo Mateus, Fernando Díaz-Parra, Nelson Perico, Julián Montejo**

**LEONARDO S. MATEUS BÁEZ**
**IC., MSc Geotecnia**
**Servicio Geológico Colombiano**

Sociedad Colombiana de Geotecnia

50 años
1971-2021

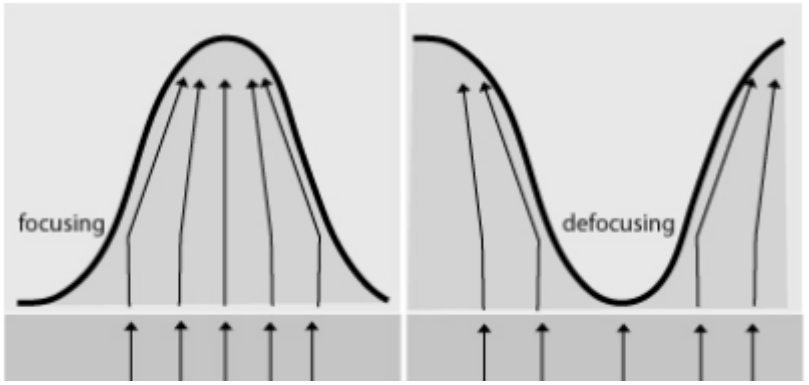
# CONTENIDO

1. Contexto
2. Metodología propuesta
3. Aplicación de la metodología en la ciudad de Pereira
   - Descripción de las diferentes etapas
4. Conclusiones

# • Contexto

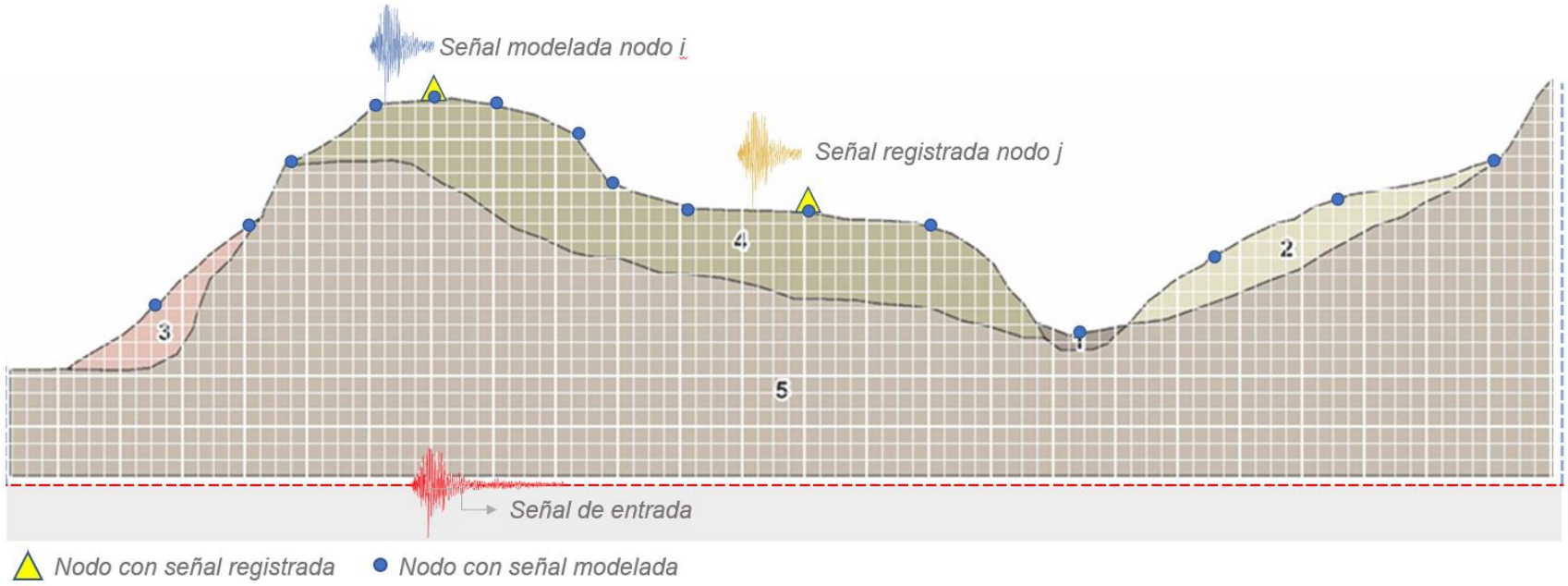
**Fig. 6.33** Completely destroyed houses on terrace hill in Balakot of Pakistan during 2005 earthquake

Geothecnical earthqueake engineering (Towhata)

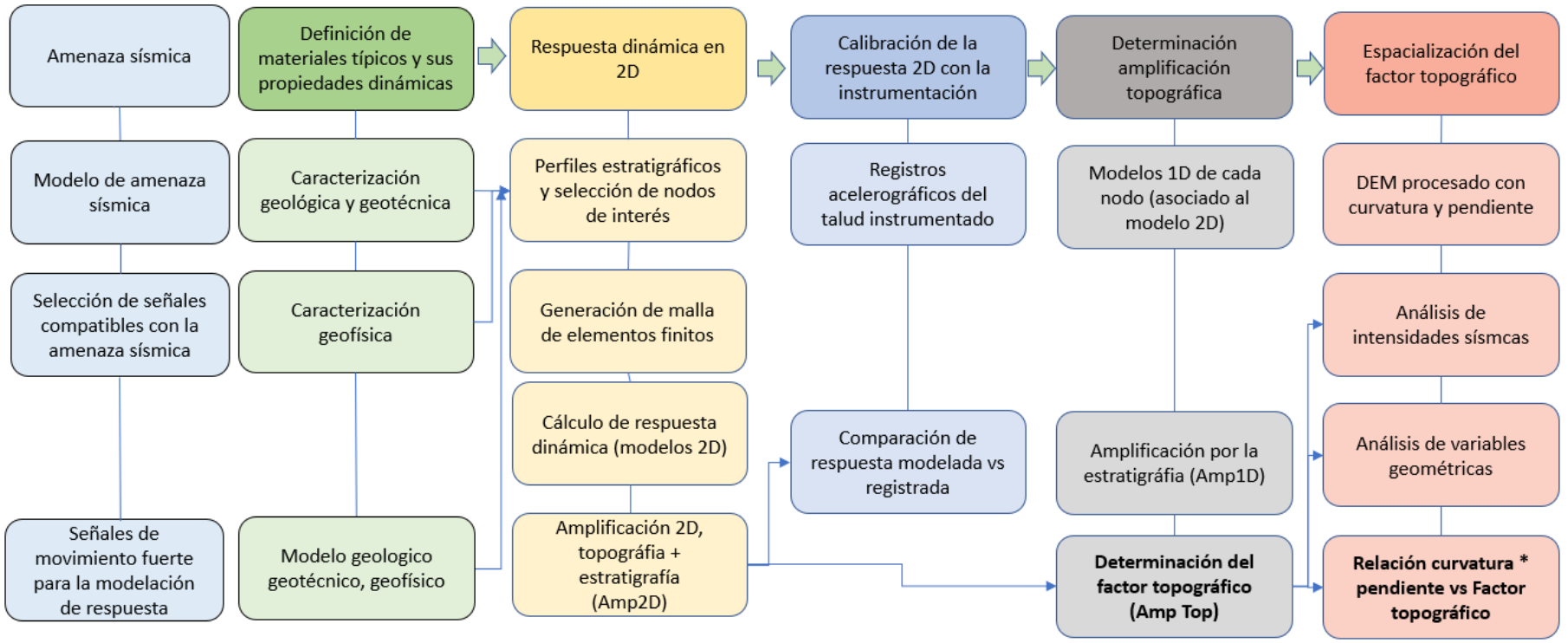



Angannaeri (2019)

# • Contexto


Señal modelada nodo j
Señal registrada nodo j
1
2
3
4
5
Señal de entrada
Nodo con señal registrada
Nodo con señal modelada

# • Metodología propuesta




Propuesta metodológica para la estimación de la amplificación sísmica debido a la topografía (Mateus. et al. 2022)

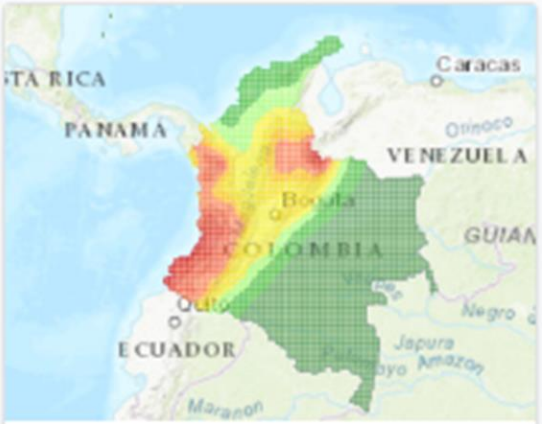
# • Etapa 1. Amenaza sísmica

Consulta de la amenaza sísmica de Colombia
SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO
El futuro es de todos
Minenergía

Sistema de Consulta de la Amenaza Sísmica de Colombia

***Modelo nacional de amenaza sísmica (***https://amenazasismica.sgc.gov.co***):***

Modelo de fuentes sismogénicas




Resultados de amenaza en roca

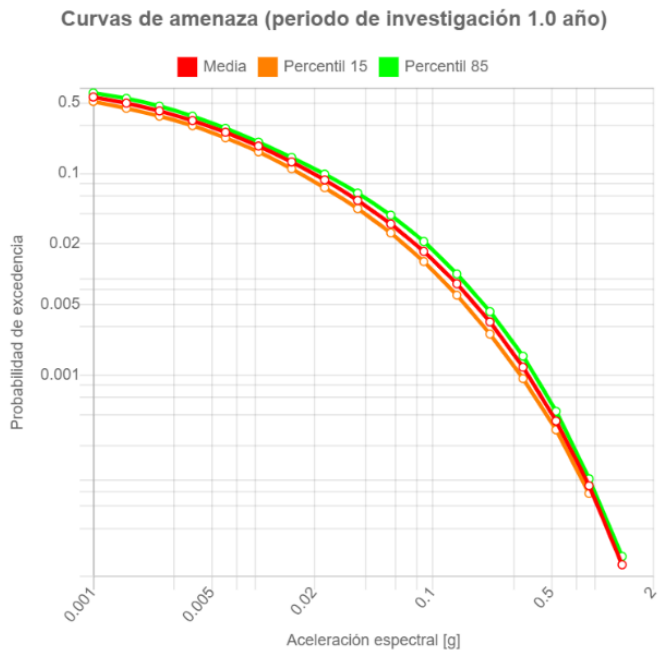
Resultados de amenaza en roca para centros poblados

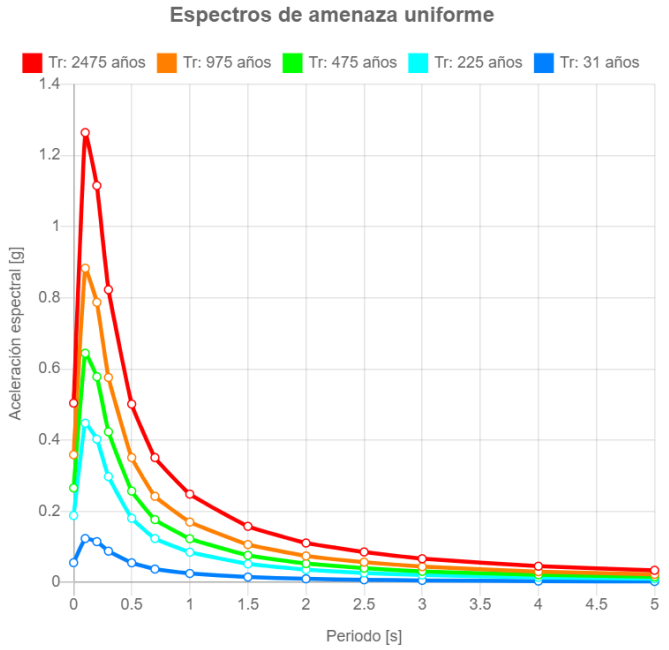
# • Etapa 1. Amenaza sísmica

Consulta de la amenaza sísmica de Colombia
SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO
El futuro es de todos
Minenergía

Sistema de Consulta de la Amenaza Sísmica de Colombia

***Modelo nacional de amenaza sísmica (https://amenazasismica.sgc.gov.co):***

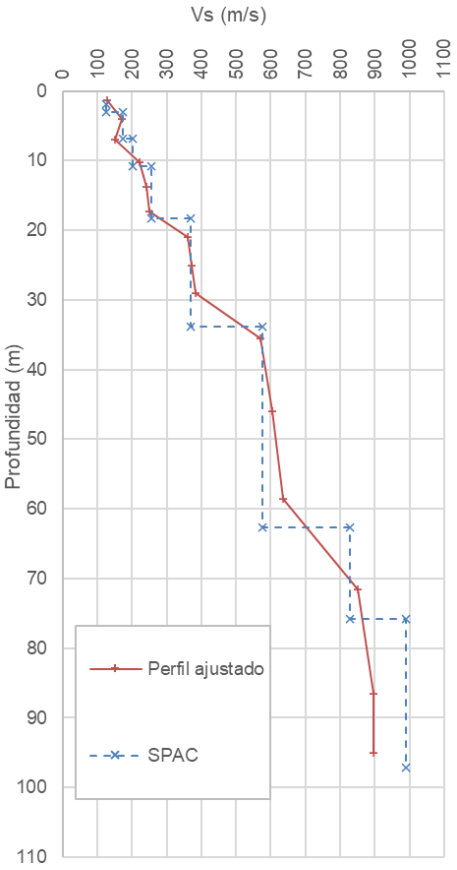


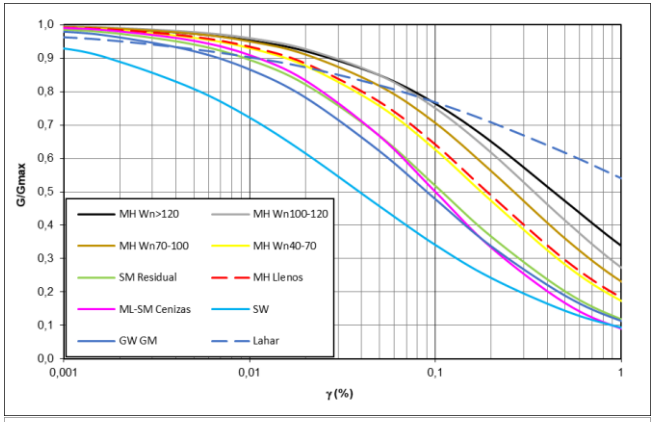



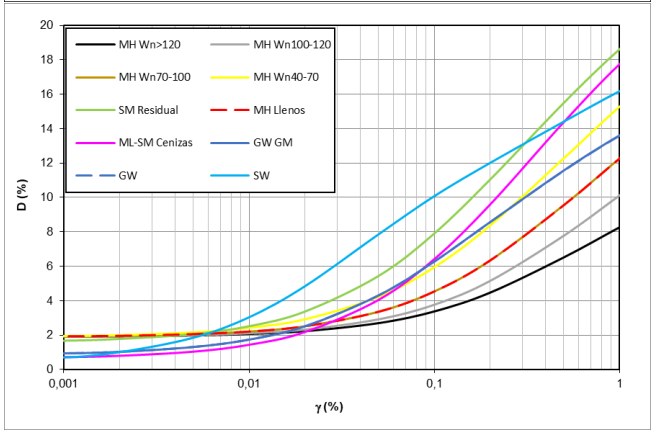



**Propuesta metodológica para la estimación de la amplificación sísmica debida a la topografía (Mateus. et al. 2022)**

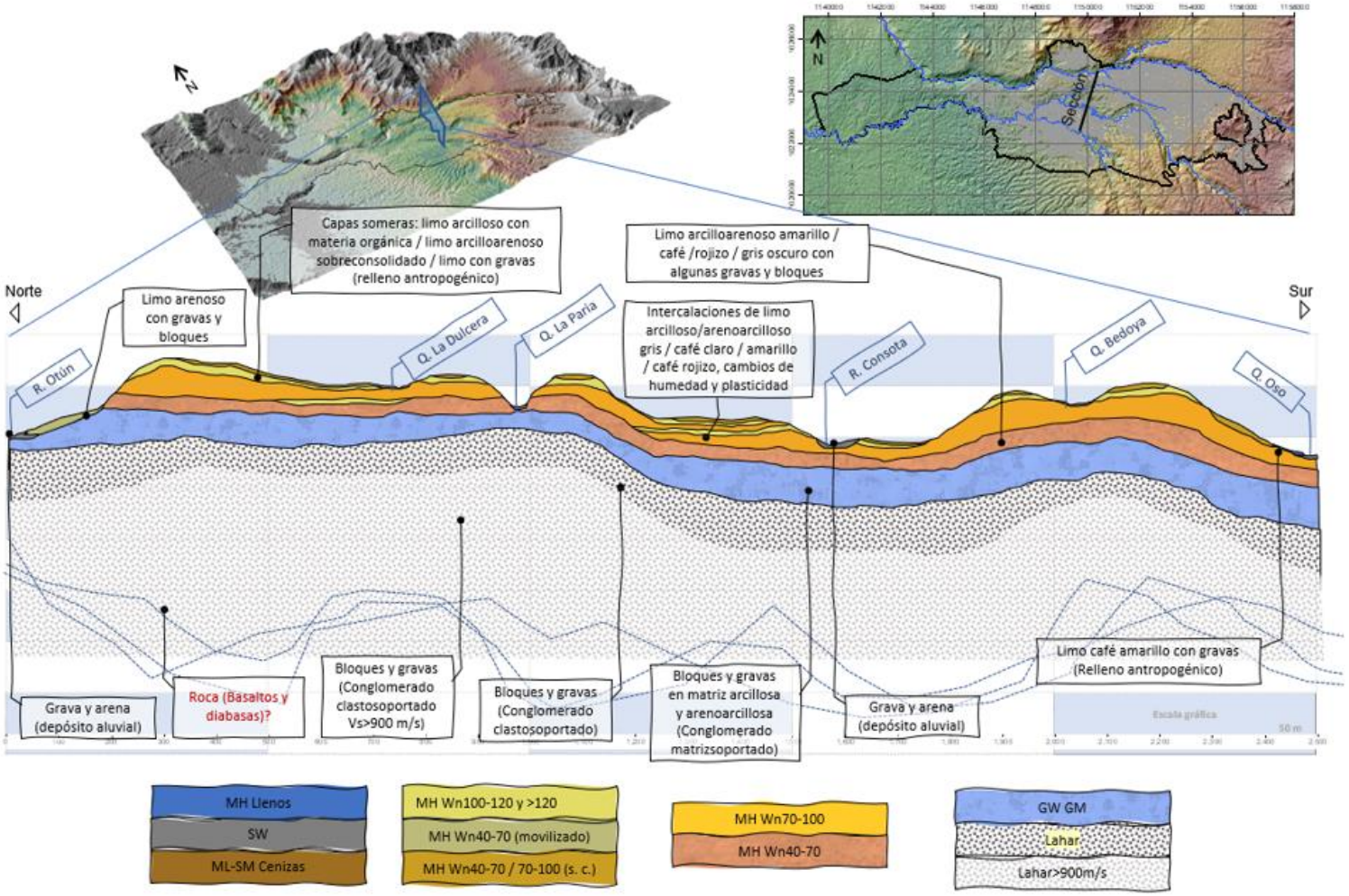
# • Etapa 2. Definición de materiales típicos



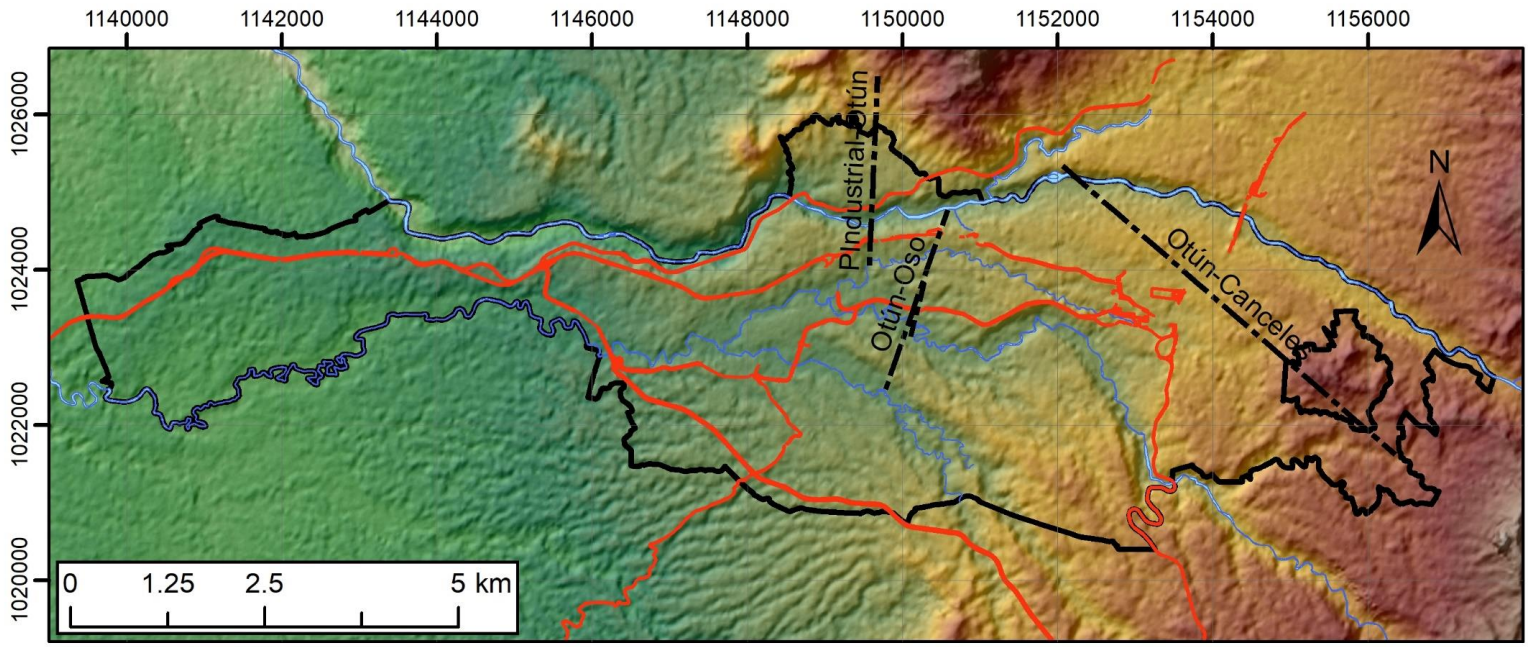



# • Etapa 2. Definición de materiales típicos



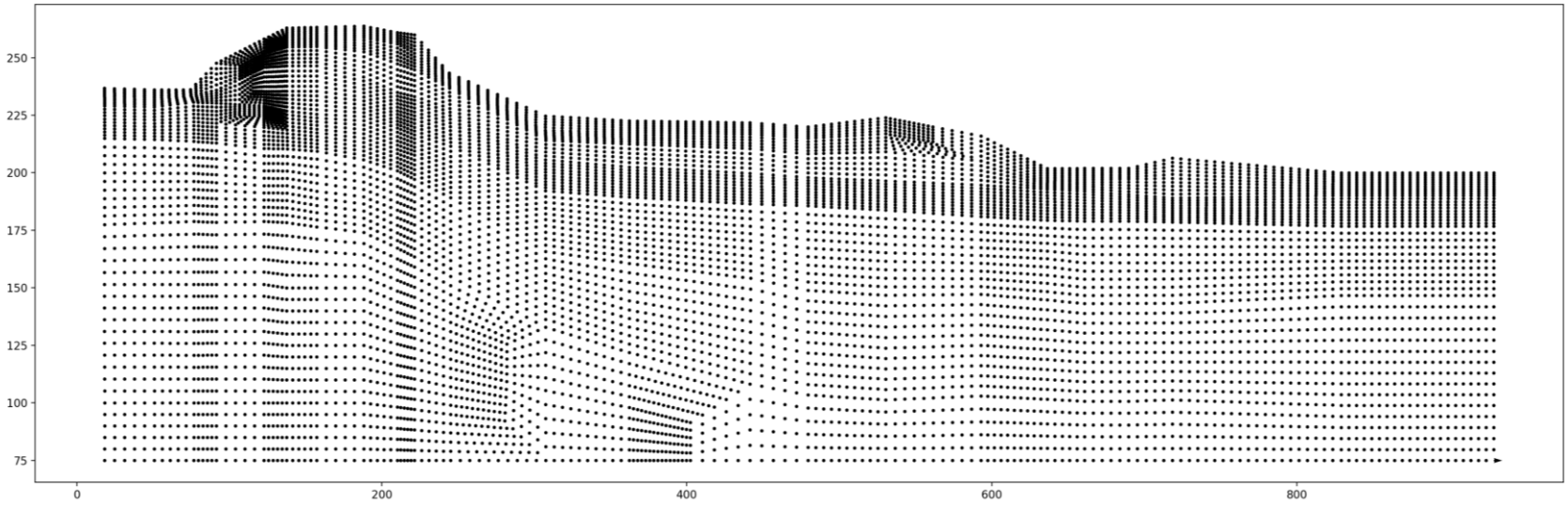

ción sísmica debida a la topografía (Mateus. et al. 2022)

# • Etapa 3. Respuesta dinámica en 2D

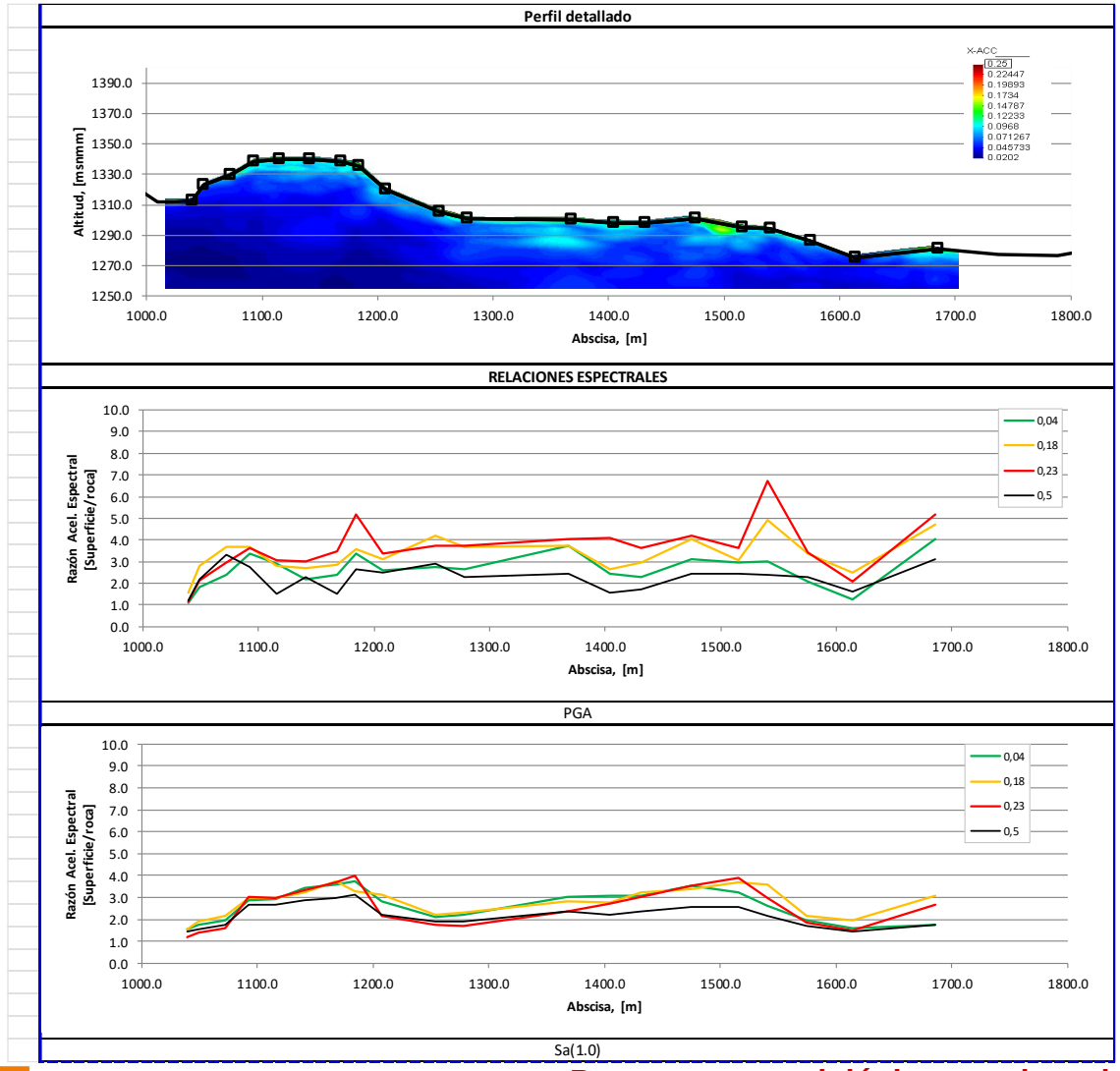



En total se modelaron 4 secciones, donde se obtuvieron resultados para 200 nodos

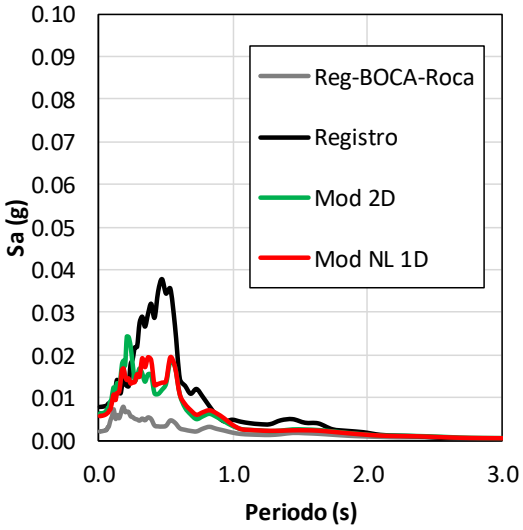
# • Etapa 3. Respuesta dinámica en 2D

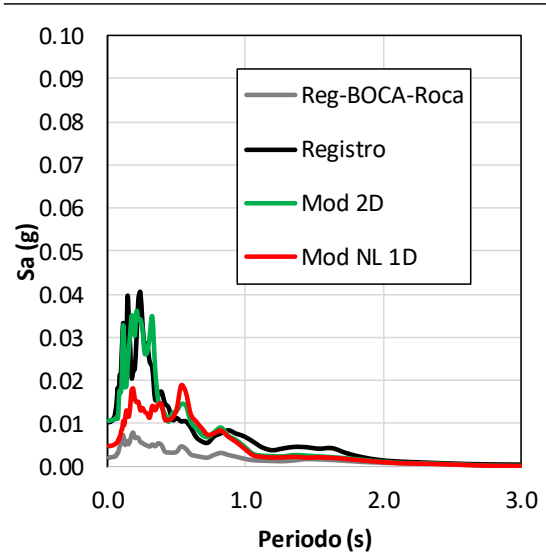


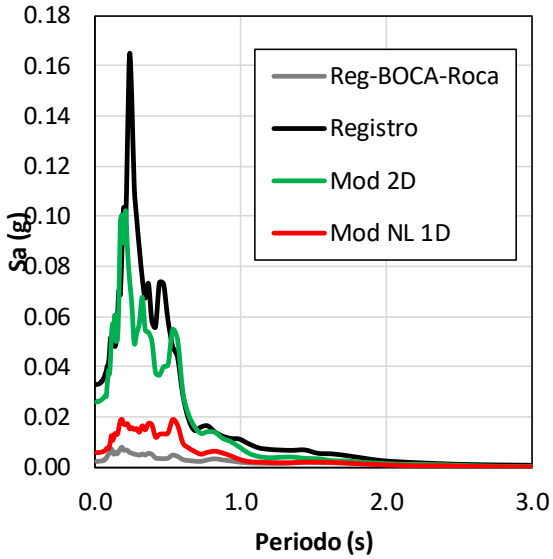
# • Etapa 3. Respuesta dinámica en 2D

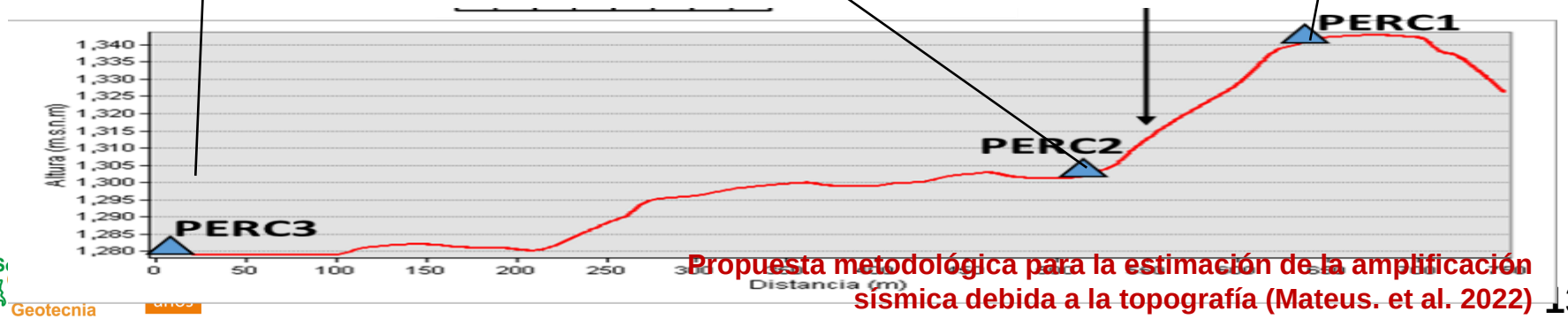


# • Etapa 4. Calibración de la respuesta 2D con instrumentación



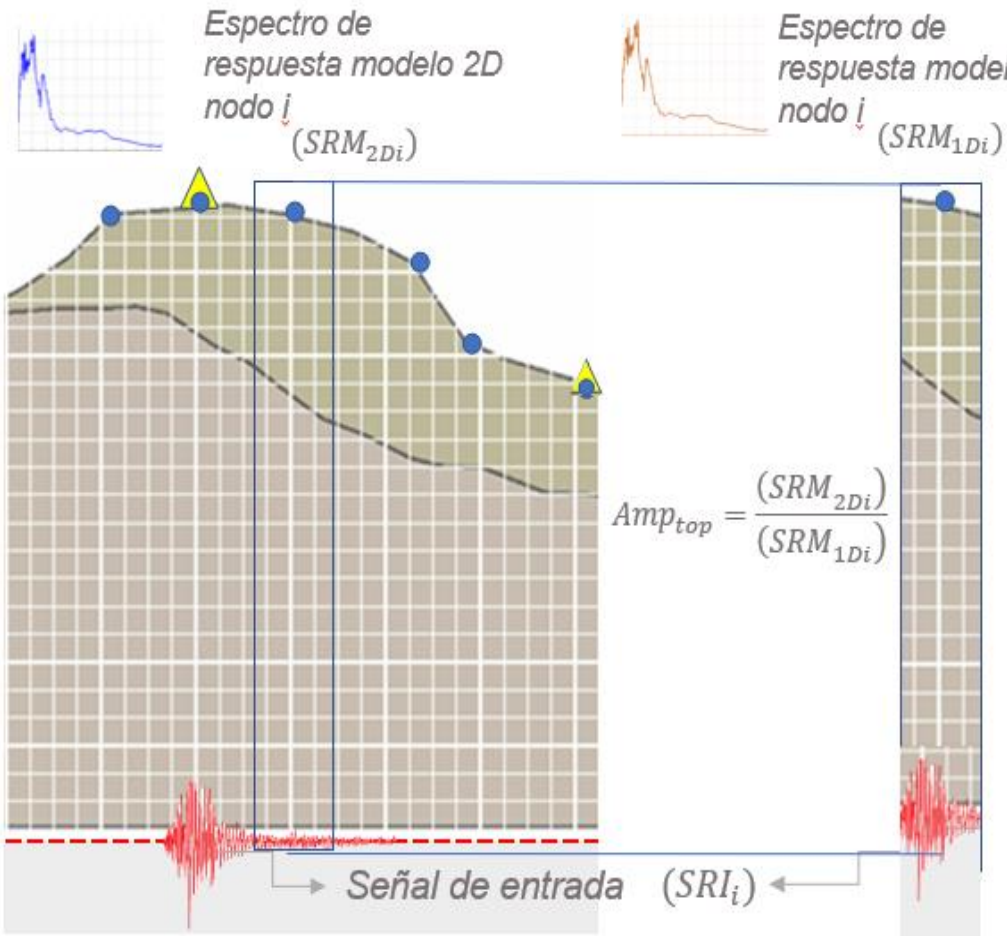




Propuesta metodológica para la estimación de la amplificación sísmica debida a la topografía (Mateus. et al. 2022)

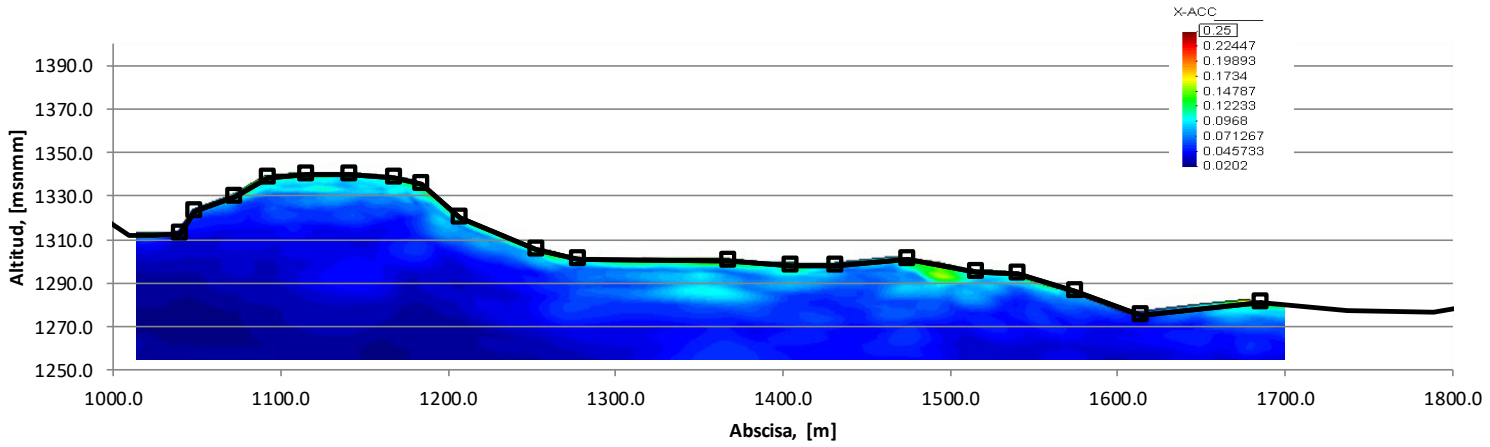
# • Etapa 5. Determinación amplificación topográfica



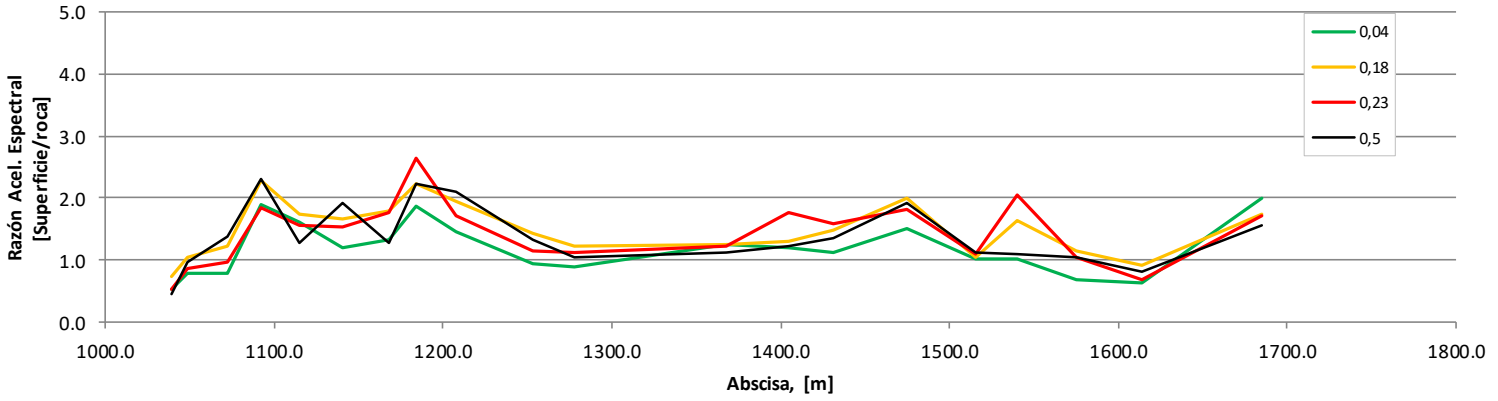

$$Amp.\ Top\ (T_e) = \frac{Amp.2D(T_e)}{Amp.1D(T_e)}$$

# • Etapa 5. Determinación amplificación topográfica

**Perfil detallado**

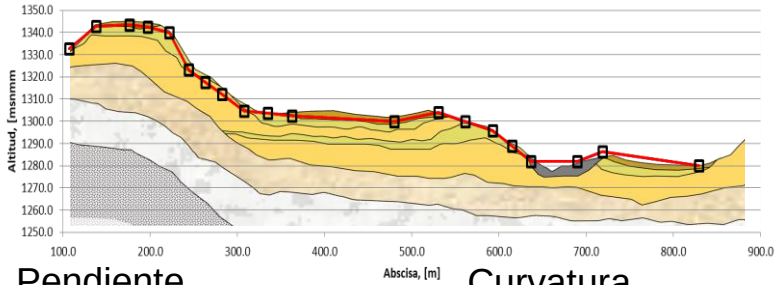



**RELACIONES ESPECTRALES**




PGA

# • Etapa 6. Espacialización del factor topográfico

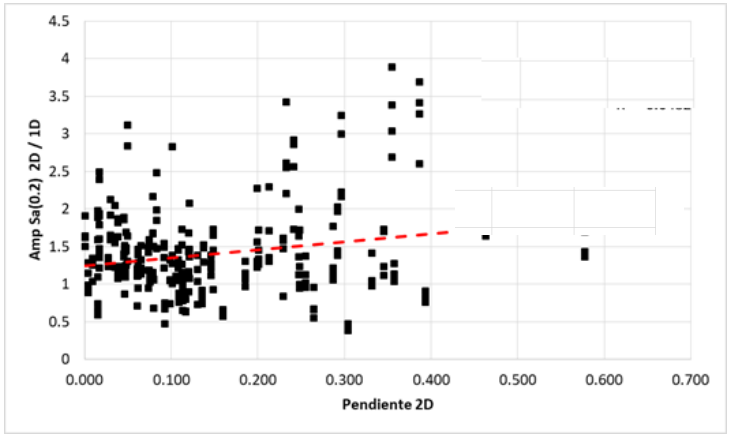


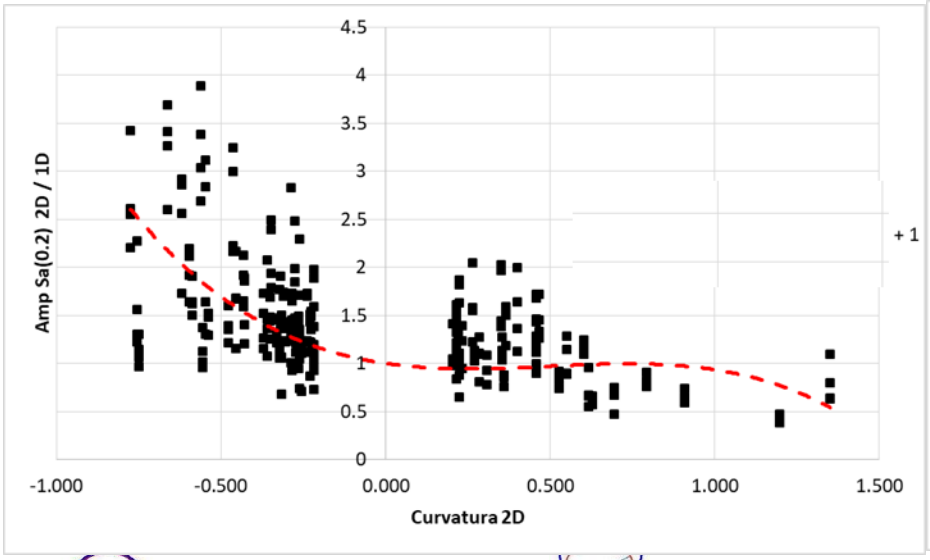

Pendiente

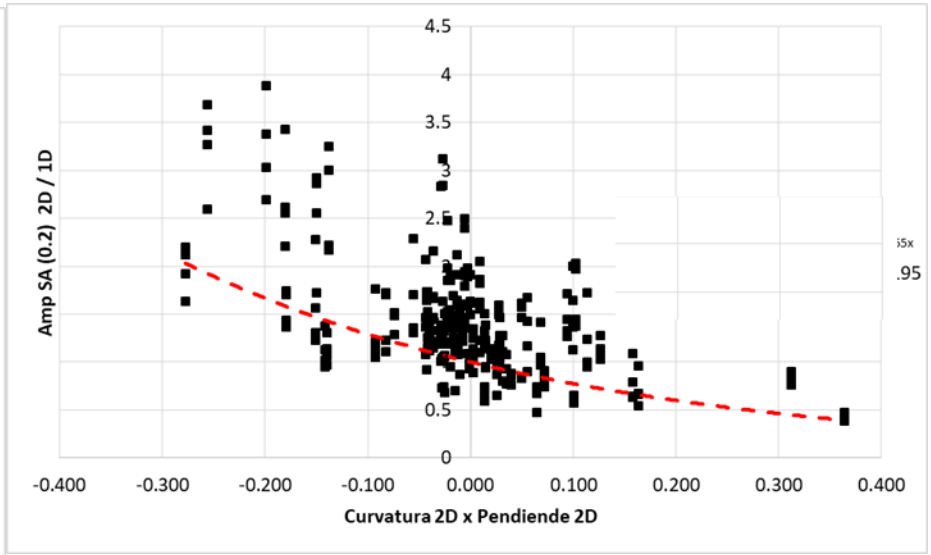
$$a = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$$

Curvatura

$$b = \frac{|y''|}{(1 + y'^2)^{3/2}}$$

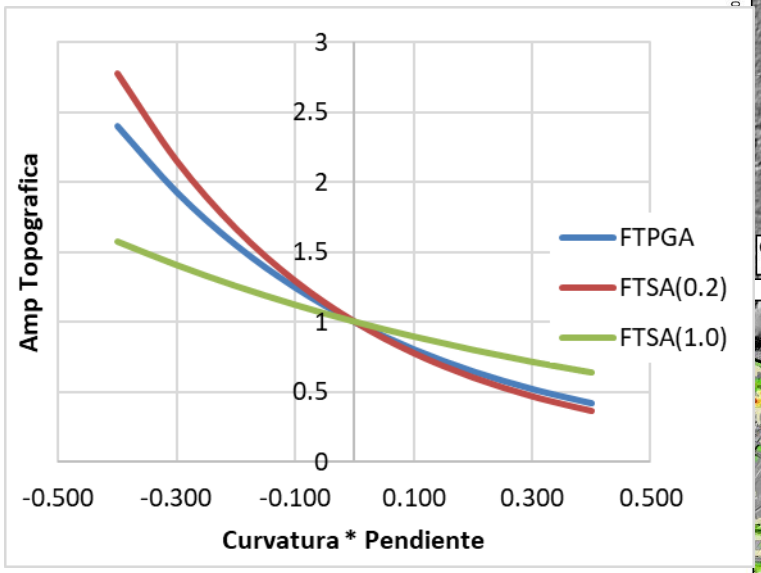


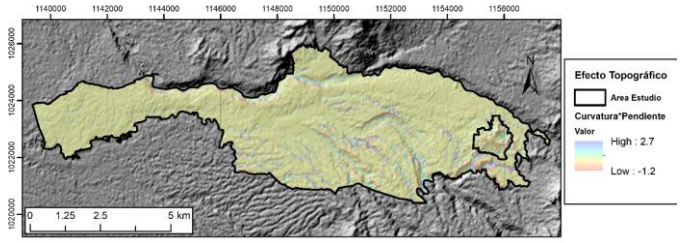



# • Etapa 6. Espacialización del factor topográfico

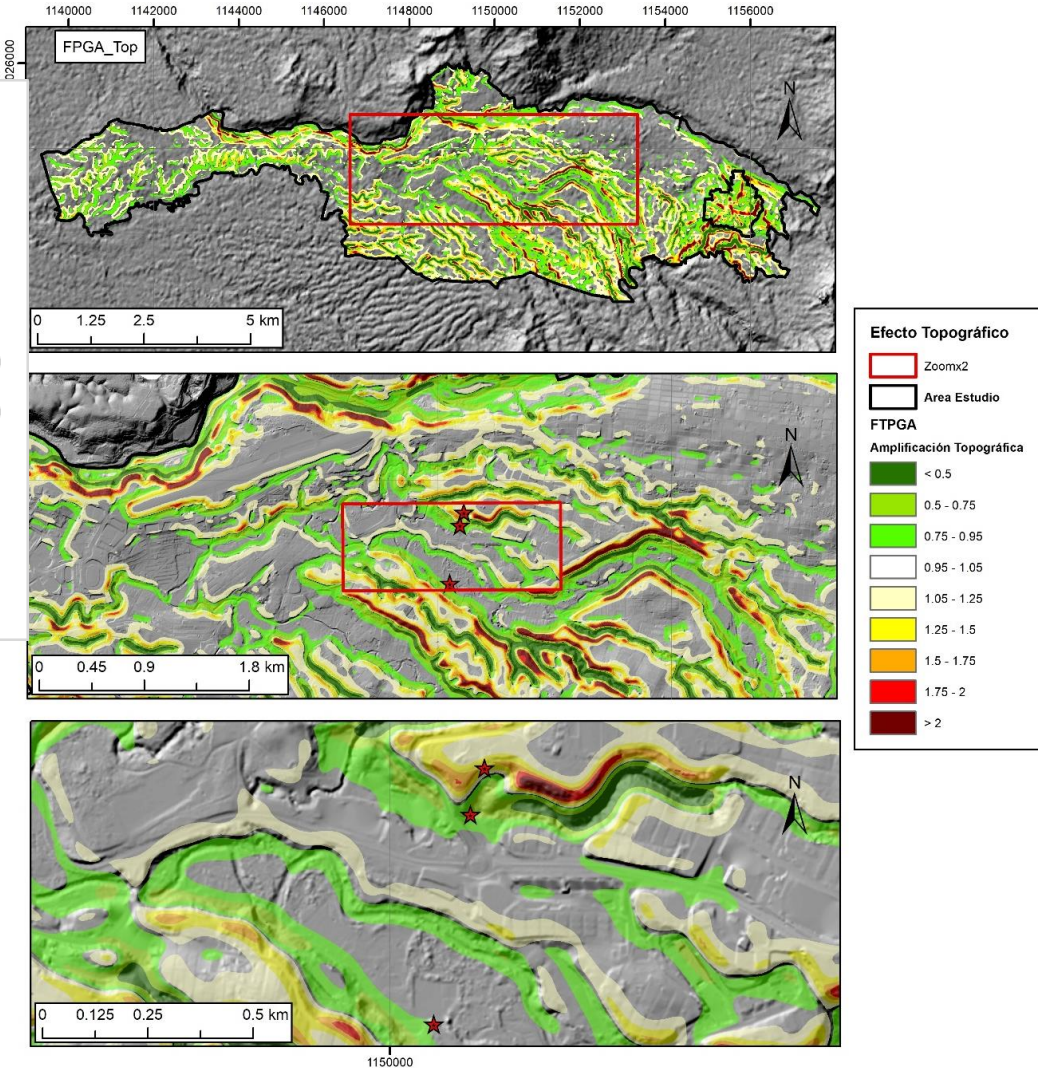
Regresiones




Espacialización de la variable curvatura pendiente




Espacialización de los factores



# • Conclusiones

- Se presenta una metodología y un caso de aplicación para estimar la amplificación sísmica debida a la topografía.
- Se realizaron modelaciones en dos dimensiones para estimar aceleraciones en superficie, estas fueron validadas con las aceleraciones registradas en la ciudad de Pereira
- Se presentan relaciones entre curvatura-pendiente y factores de amplificación topográfica para varios niveles de amenaza

XVII CCG
I SSAG 2022
Cartagena

SCG

50 años
1971-2021

# ¡GRACIAS!

**¿Preguntas?**

lmateus@sgc.gov.co

XVII CONGRESO COLOMBIANO DE GEOTÉCNIA "EVALUACIÓN Y GESTIÓN DE RIESGOS GEOTÉCNICOS CON ÉNFASIS EN LOS EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO"

14 al 18 de Noviembre de 2022

XVII CCG
ISSAG 2022
Cartagena

# METODOLOGÍAS DE ANÁLISIS DE REGISTROS ACELEROGRÁFICOS APLICADAS PARA CARACTERIZAR LA RESPUESTA SÍSMICA DEL TERRENO

**Gustavo Posada, Fernado Díaz-Parra, Julián Montejo**

**Gustavo Posada**
**Ingeniero Geólogo, MSc Ingeniería de Recursos Minerales**
**Servicio Geológico Colombiano**

Sociedad Colombiana de Geotecnia

50 años
1971-2021

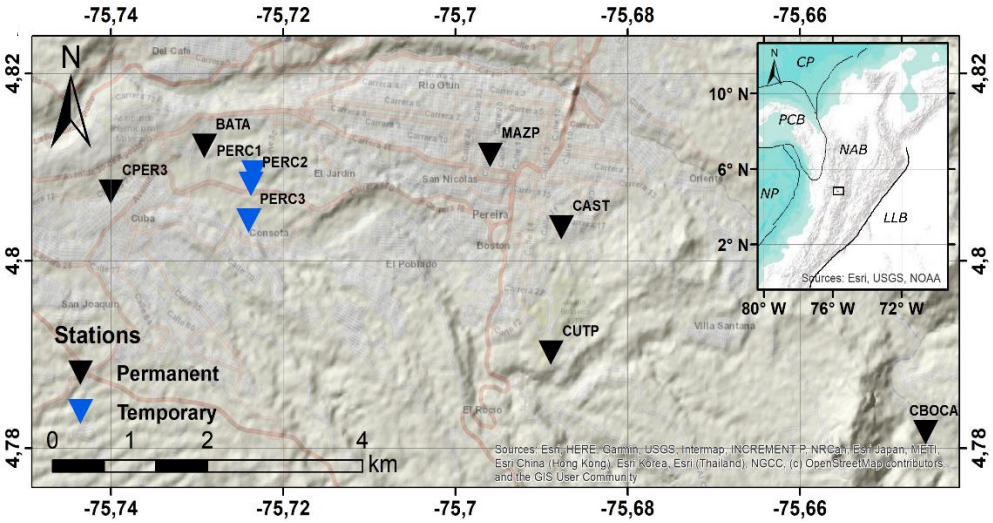
# CONTENIDO

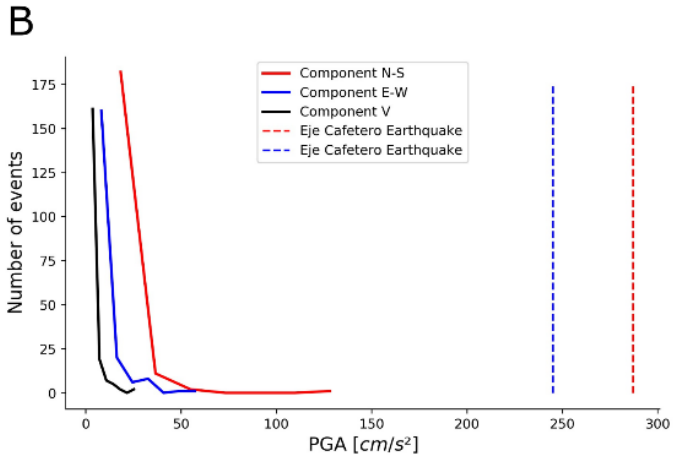
1. Objetivo
2. Caso de estudio
3. Clasificación de sitio
4. Función de transferencia empírica
5. Índice Kg
6. Análisis de direccionamiento del terreno
7. Amortiguamiento mínimo viscoso
8. Inversión H/V

# Objetivo

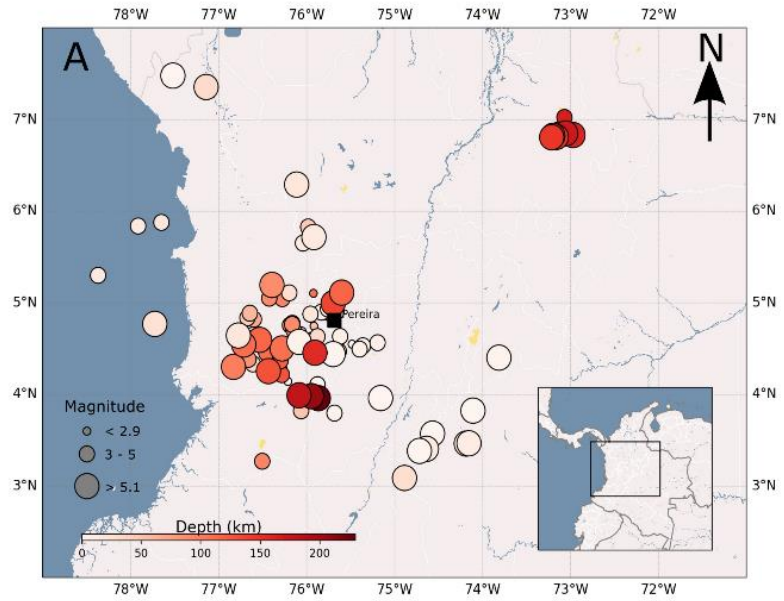
**Definir análisis que funcionen como apoyo para la zonificación de respuesta sísmica.**

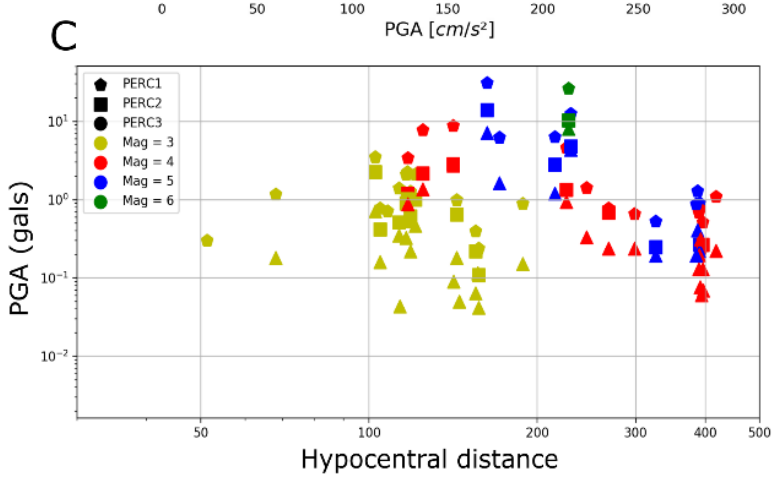
# • Caso de estudio




**96 eventos**

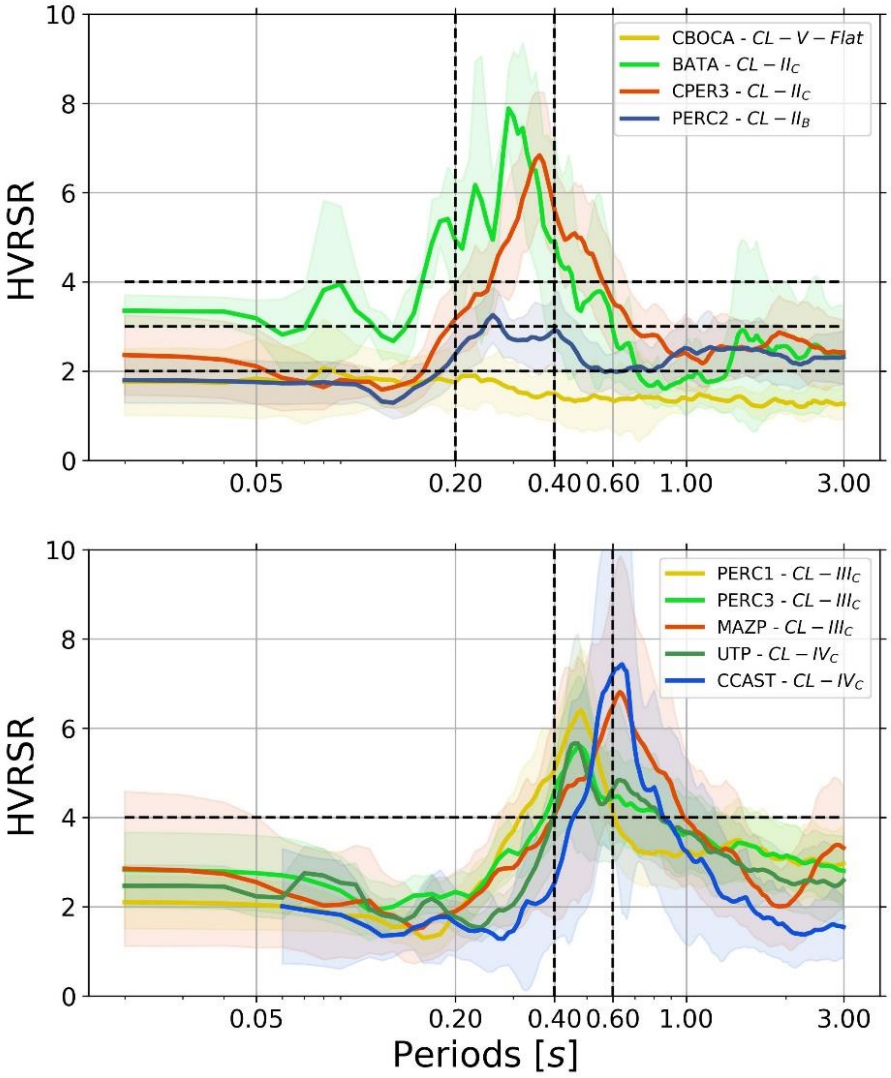


# • Clasificación de sitio

| Zhao et al (2006) | | Fukushima et al. (2007) | | Di Alessandro et al. (2012) | | Idini et al. (2016) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Site class** | Description | **Site class** | Description | **Site class** | Description | **Site class** | Description |
| **SC-I** | T < 0.2 s | **SC-1** | T < 0.2 s | **CL-I** | T < 0.2 s | **$S_I$** | Not identifiable: HVRSR < 2 |
| **SC-II** | 0.2 s = T < 0.4 s | **SC-2** | 0.2 s = T < 0.4 s | **CL-II** | 0.2 s = T < 0.4 s | **$S_{II}$** | T* ≤ 0.2 s |
| **SC-III** | 0.4 s = T < 0.6 s | **SC-3** | T > 0.6 | **CL-III** | 0.4 s = T < 0.6 s | **$S_{III}$** | 0.2 s < T* ≤ 0.4 s |
| **SC-IV** | T > 0.6 | **SC-4** | Not identifiable (rock site) | **CL-IV** | T > 0.6 | **$S_{IV}$** | 0.4 s < T* ≤ 0.8 s |
| -- | | **SC-5** | Not identifiable (soil site) | **CL-V** | Not identifiable (flat HVRSR and amplitude < 2) | **$S_V$** | T* > 8 |
| -- | | -- | -- | **CL-VI** | Multiple peaks at T < 0.2 s | **$S_{VI}$** | Not identifiable: BB amplification or 2+ peaks |
| -- | | -- | -- | **CL-VII** | T not identifiable (Multiple peaks over entire period range) | **Classes for P*** | P* |
| | | | | | | **A** | 2 ≤ P* < 3 |
| | | | | | | **B** | 3 ≤ P* < 4 |
| | | | | | | **C** | P* ≥ 4 |

# • Clasificación de sitio




$$HVSR = \frac{mean(H1_{site}H2_{site})}{V_{site}}$$

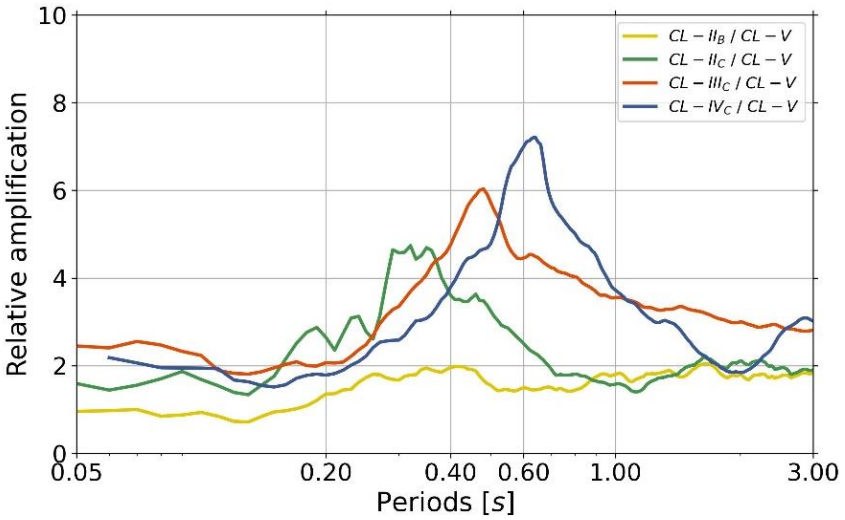
| Estación | Clase |
|---|---|
| CBOCA | CL-V |
| BATA | CL-$II_C$ |
| CPER3 | CL-$II_C$ |
| PERC2 | CL-$II_B$ |
| PERC1 | CL-$III_C$ |
| PERC3 | CL-$III_C$ |
| MAZP | CL-$III_C$ |
| UTP | CL-$IV_C$ |
| CCAST | CL-$IV_C$ |

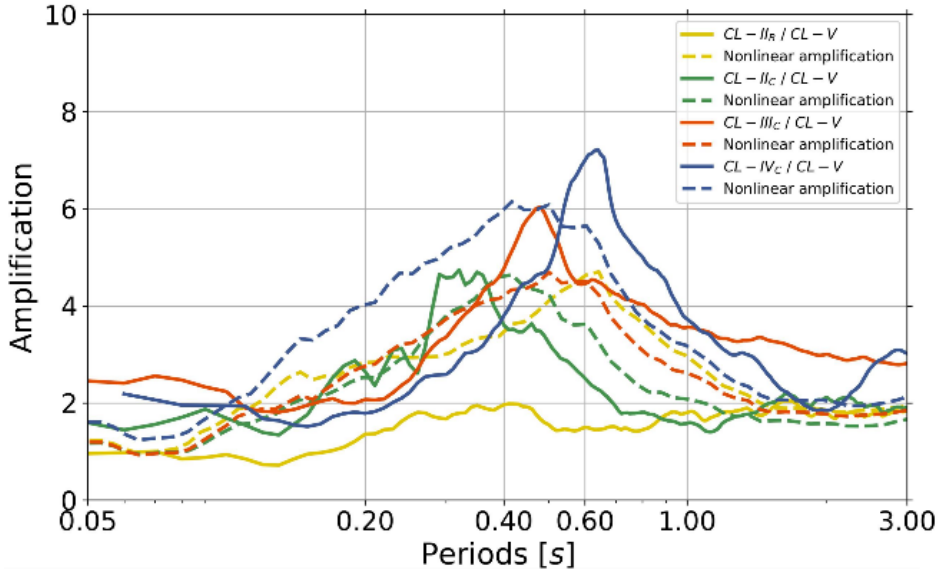
# • Clasificación de sitio

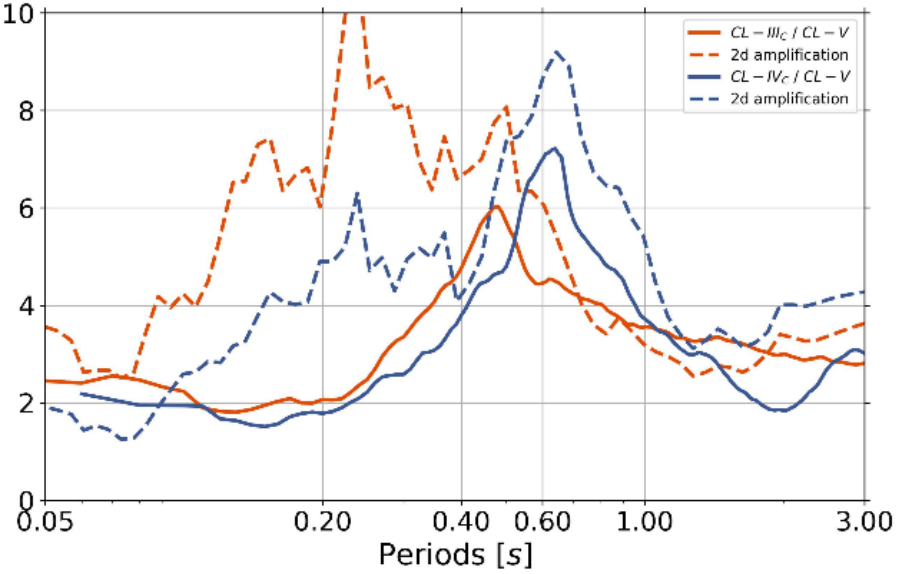
**Amplificación relativa**

**Vs**

**Modelos**



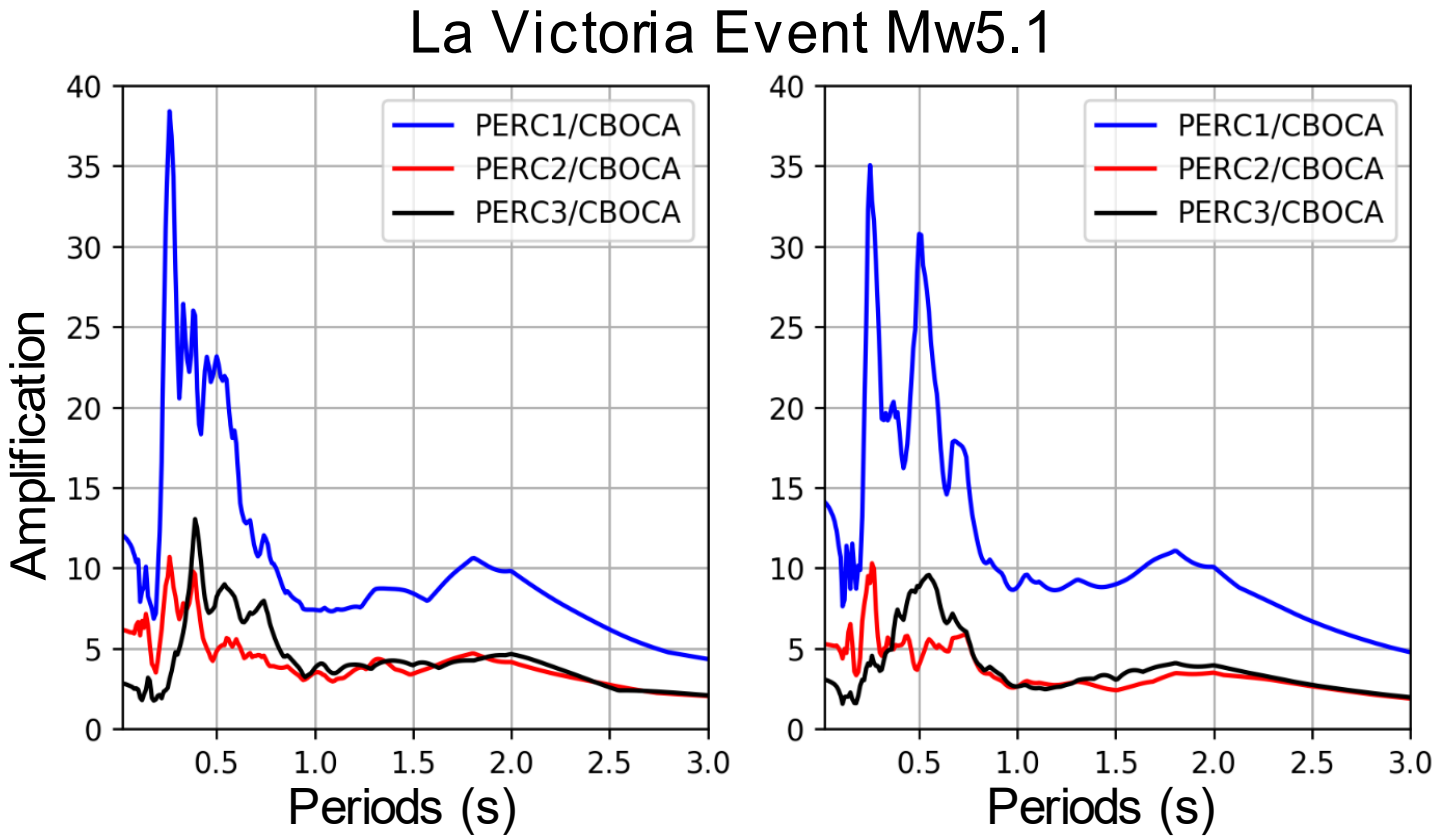



# • Función de Transferencia Empírica

$$ETF = \frac{S_{h-s}}{S_{h-r}}$$

$S_{h-s}$ : Espectros de respuesta horizontales del sitio

$S_{h-r}$: Espectro de respuesta horizontales del sitio de referencia (roca)



# • Análisis de direccionalidad del terreno

***Dominio de la Frecuencia***

Rotación de las señales cada 10°

Razón espectral estándar

$$SSR = \frac{mean(H1_{site}H2_{site})}{mean(H1_{ref}H2_{ref})}$$

Razón espectral Fourier

$$HVFSR = \frac{mean(H1_{site}H2_{site})}{V_{site}}$$

***Dominio del tiempo***
***Polarización***

Cálculo de la matriz de covarianza para 0.5 segundos con 20% de traslapo

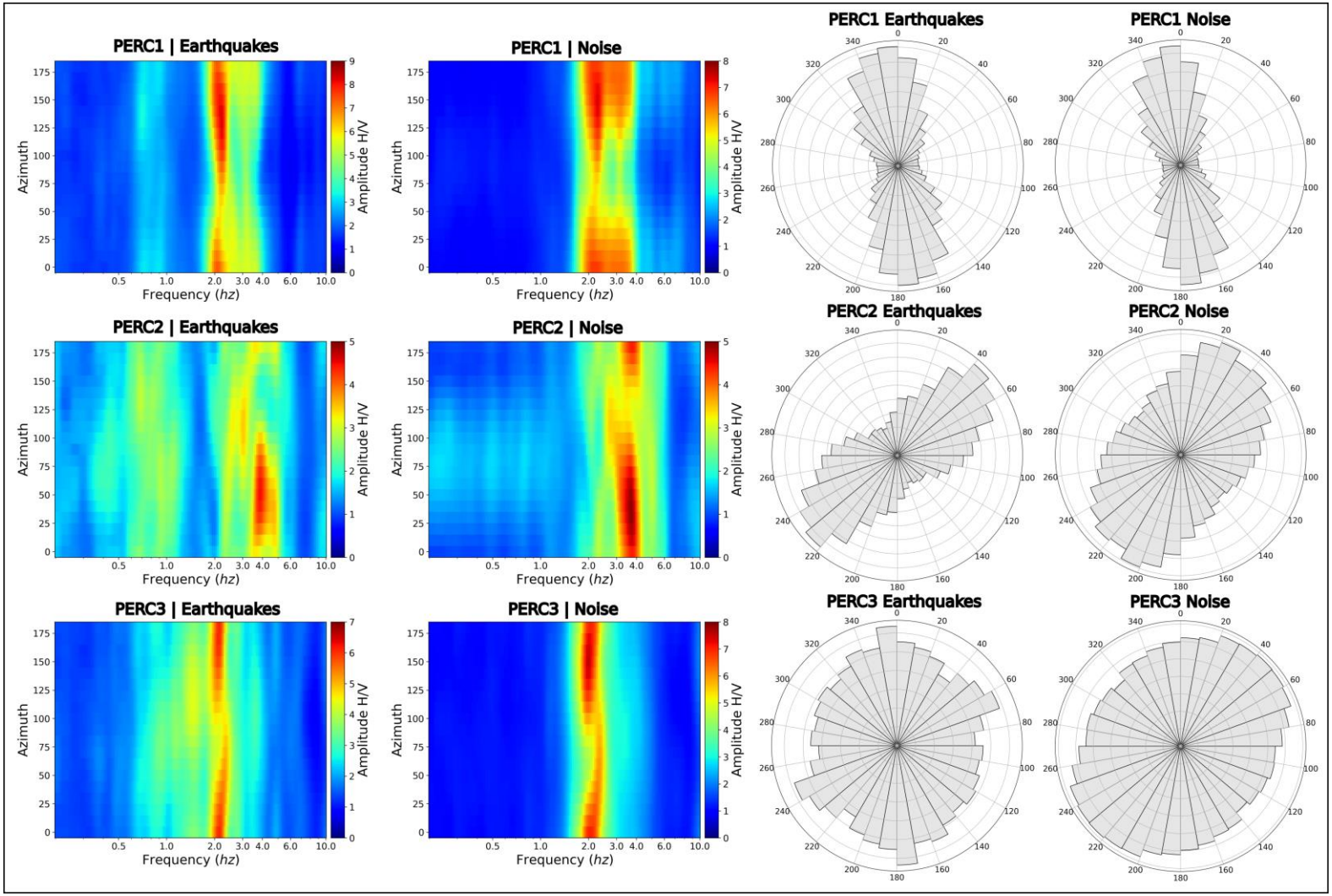
$$\overleftrightarrow{S} = \begin{matrix} S_{zz} & S_{zn} & S_{ze} \\ S_{nz} & S_{nn} & S_{ne} \\ S_{ez} & S_{en} & S_{ee} \end{matrix}$$

$$I = \arccos(\vec{u}_1) \qquad R = 1 - \frac{\lambda_2 + \lambda_3}{2\lambda_1}$$

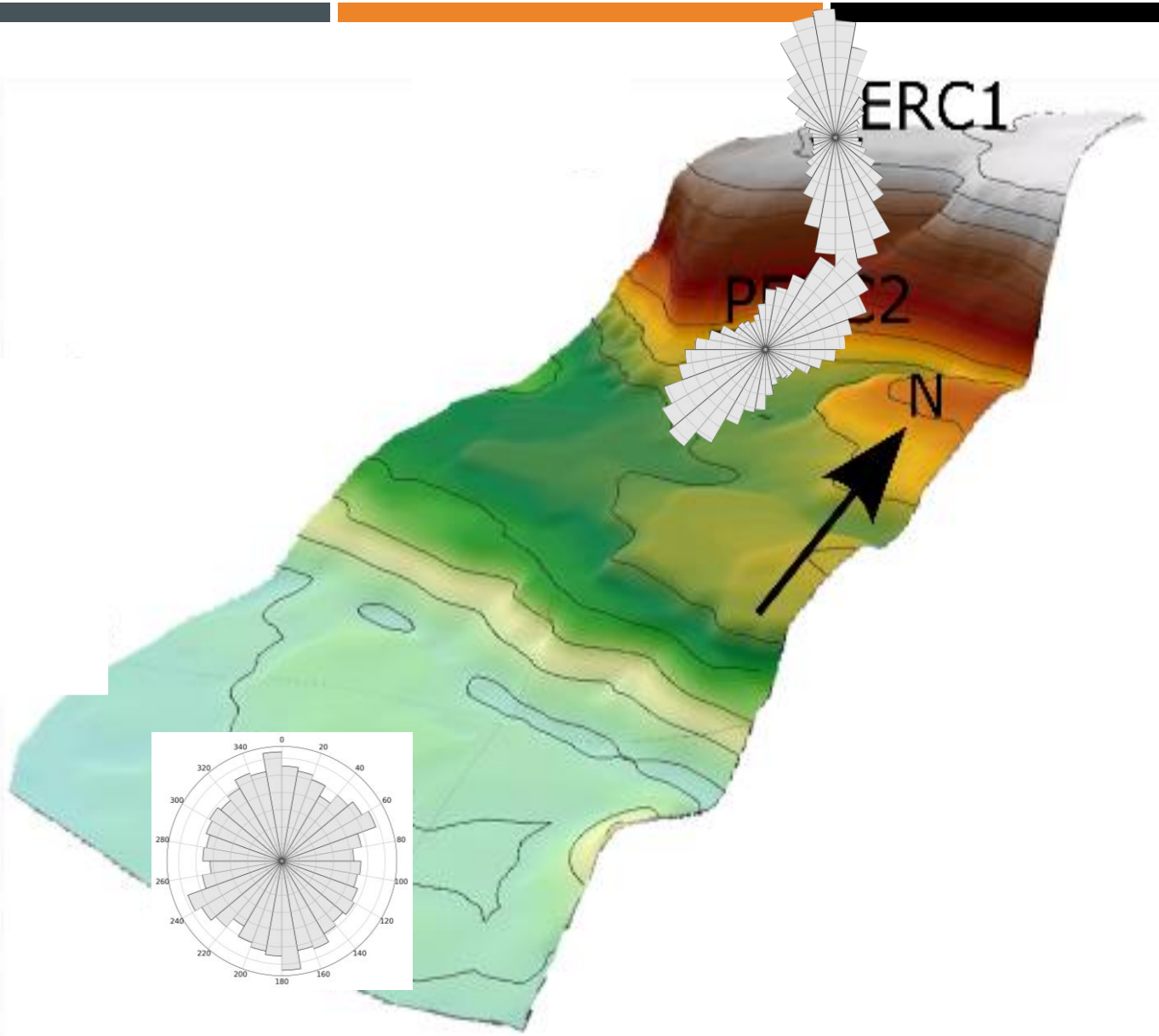
$$AZ = arctg\left[\frac{u_{21}(sign(u_{11}))}{u_{31}(sign(u_{11}))}\right]$$

AZ son graficados en un histograma circular para valores de R entre 0.5 y 1,y para valores de I entre 45° y 90°

# • Análisis de direccionalidad del terreno



# • Análisis de direccionalidad del terreno



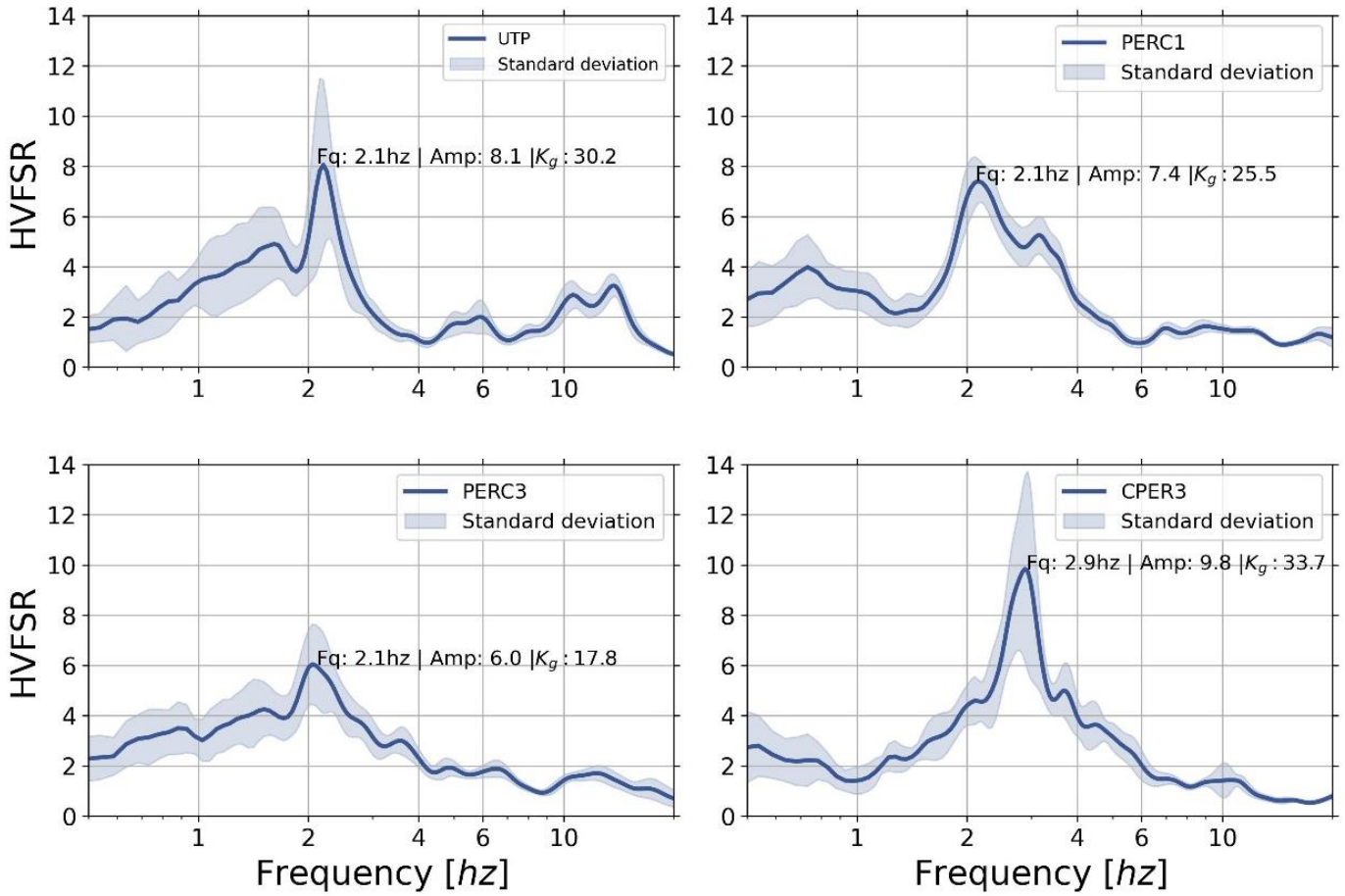
# • Análisis de direccionalidad del terreno

- ***Índice Kg***

$$K_g = \frac{A^2}{F}$$

$F$ : Frecuencia natural a partir del *hvfsr*

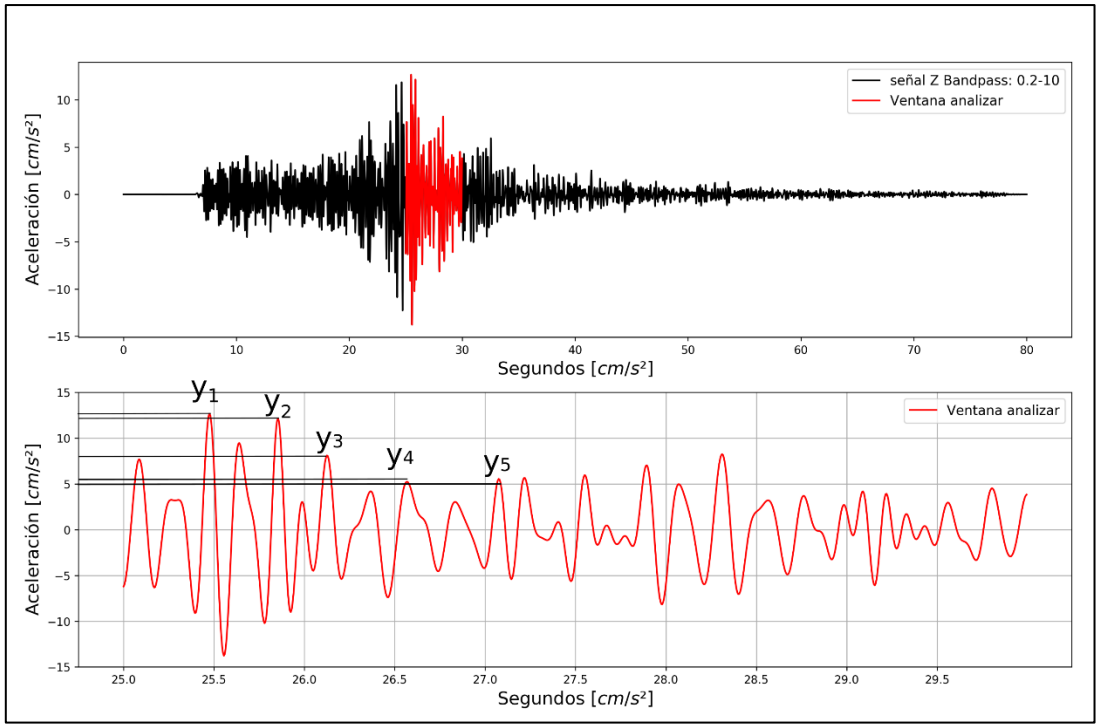
$A$: Amplitud en la frecuencia natural



# • Índice Kg

| Estación | Amplitud | Frequencia | Index Kg | Material |
|---|---|---|---|---|
| **PERC2** | 3.7 | 3.8 | 3.6 | Lleno +30 m blando |
| **UTP** | 8.1 | 2.1 | 17.8 | Volcánico +40 blando |
| **PERC3** | 6.0 | 2.1 | 17.8 | Volcánico -30 m firme |
| **PERC1** | 7.4 | 2.1 | 25.5 | Volcánico +40 m blando |
| **CPER3** | 9.8 | 2.8 | 38.6 | Volcánico -30 m firme |
| **MAZP** | 7.9 | 1.6 | 38.9 | Lleno +30m blando |

# • Amortiguamiento mínimo o viscoso




$$\xi = \frac{1}{2\pi}\Delta, donde\ \Delta = \frac{1}{N-1}\log\frac{y_1}{y_n}$$

$$Q = \frac{1}{2\xi}$$

| Estación | La Victoria - Valle | | Mesetas - Meta | |
|---|---|---|---|---|
| | Q | ξ (%) | Q | ξ (%) |
| PERC1 | 32 | 1.5 | 38 | 1.3 |
| PERC2 | 45 | 1.1 | 45 | 1.1 |
| PERC3 | 58 | 0.85 | 45 | 1.1 |

$$A(\omega, t) = ct^{-a}e^{-\omega t/Q}$$

A: es la amplitud de Coda

t: tiempo medido desde el tiempo de origen

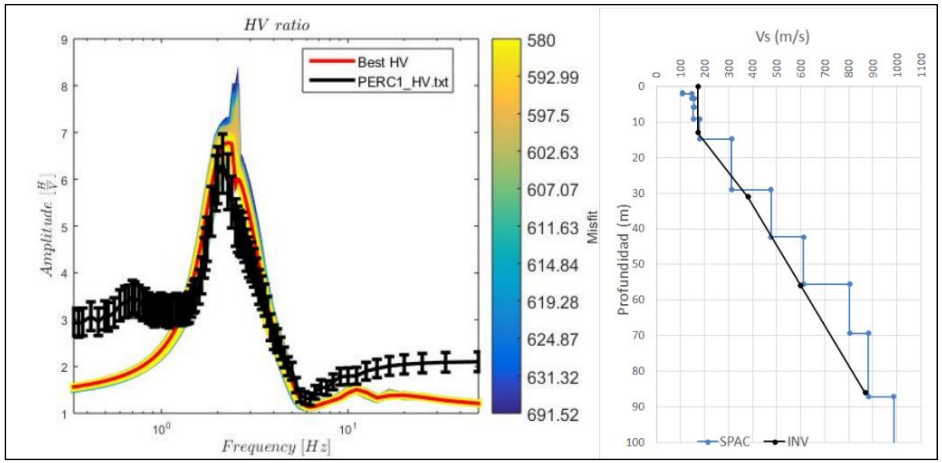
c: factor de fuente de la Coda,

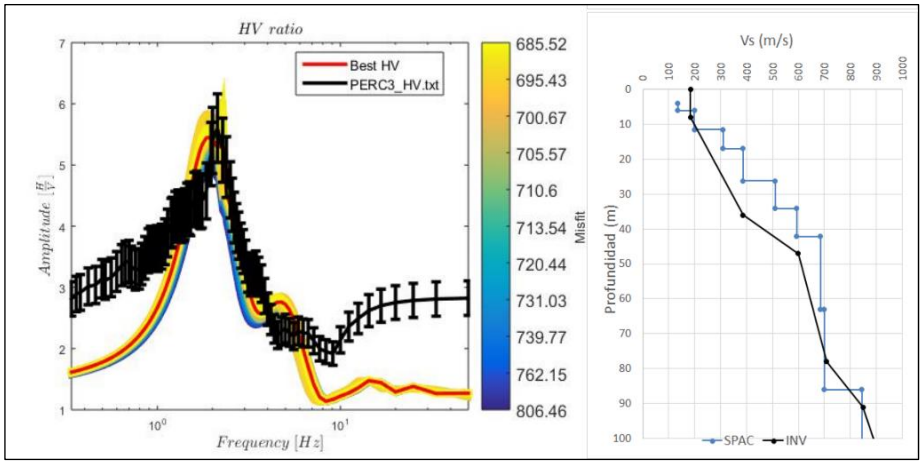
ω: una frecuencia particular,

a: constante que depende de la difusión geométrica

Q: es el factor de calidad.

# • *Inversión curva H/V*



***A software for inversion of H/V spectral ratios of ambient noise based on the Diffuse Field Approximation***

https://w3.ual.es/GruposInv/hv-inv/

XVII CCG
ISSAG 2022
Cartagena

SCG

50 años
1971-2021

# ¡GRACIAS!

**¿Preguntas?**

gposada@sgc.gov.co

**XVII CONGRESO COLOMBIANO DE GEOTÉCNIA "EVALUACIÓN Y GESTIÓN DE RIESGOS GEOTÉCNICOS CON ÉNFASIS EN LOS EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO"**

**14 al 18 de Noviembre de 2022**

XVII CCG
I SSAG 2022
Cartagena

# RECOMENDACIONES Y CONSIDERACIONES PARA MODELAR LA RESPUESTA SÍSMICA DEL TERRENO

**Fernando Díaz-Parra, Julián Montejo, Nelson Perico, Leonardo Mateus, Gustavo Posada**

**FERNANDO JAVIER DIAZ PARRA**
**IC., MSc Geotecnia - Profesional Especializado**
**Servicio Geológico Colombiano**

Sociedad Colombiana de Geotecnia

50 años
1971-2021

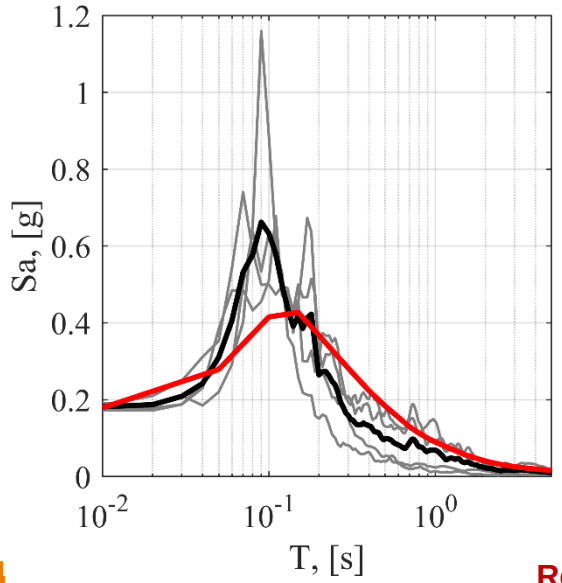
# CONTENIDO

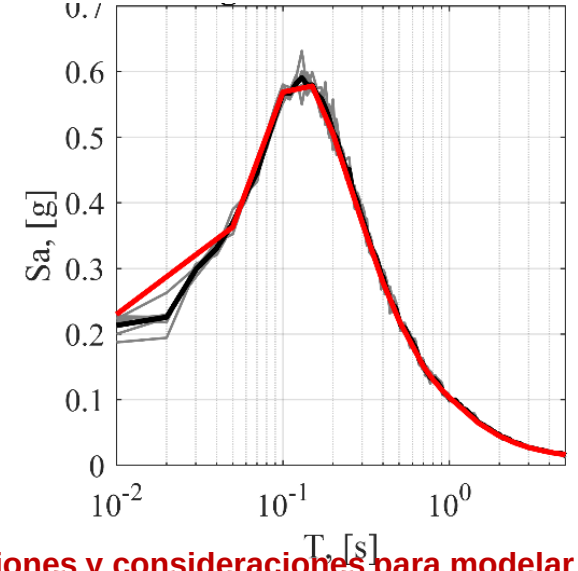
1. *Señales de modelación*
2. *Perfil estratigráfico y materiales típicos*
3. *Perfil de velocidad cortante y curvas dinámicas*
4. *Amortiguamiento mínimo o viscoso*
5. *Periodo de vibración del suelo y fundamental del modelo*
6. *Calibración de la respuesta con base en los registros acelerográficos*
7. *Análisis e interpretación de resultados*

# • Señales de modelación

Teniendo en cuenta que el objetivo de la modelación de la respuesta de sitio es obtener las amplificaciones del terreno para varias intensidades, se recomienda:

- ✓ Consistentes con la desagregación de la amenaza sísmica en roca del Modelo Nacional de Amenaza Sísmica para Colombia del SGC.
- ✓ De estaciones sin efectos locales, con Vs mayor a 760 m/s.
- ✓ Al menos tres señales por nivel de intensidad (4 o 5 niveles de intensidad).
- ✓ Escalamiento frecuencial al espectro objetivo (Ferreira et al. 2020)




**Recomendaciones y consideraciones para modelar la respuesta sísmica del terreno (Díaz-Parra f. et al. 2022)**

# • Perfil estratigráfico y materiales típicos

1. Información geotécnica (Perforaciones BDG)

**Material 1.**
Wn, gt, granulometría

**Material 2.**
Wn, gt, granulometría

**Material 3.**
Wn, gt, granulometría

4. Extrapolar el perfil con Inf. Geofísica - Geológica

2. Identificar materiales típico

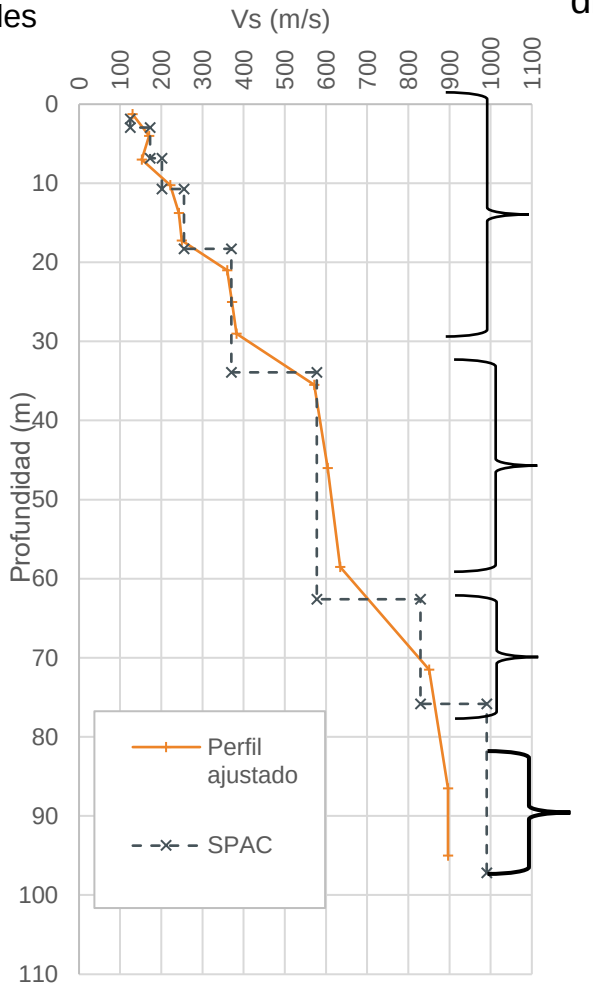
**MH Wn 70-100**
$Vref_1, b_1$
$Dmin_1, g_{ref1}, S_1, \ldots$

**MH Wn 40-70**
$Vref_2, b_2$
$Dmin_2, g_{ref2}, S_2, \ldots$

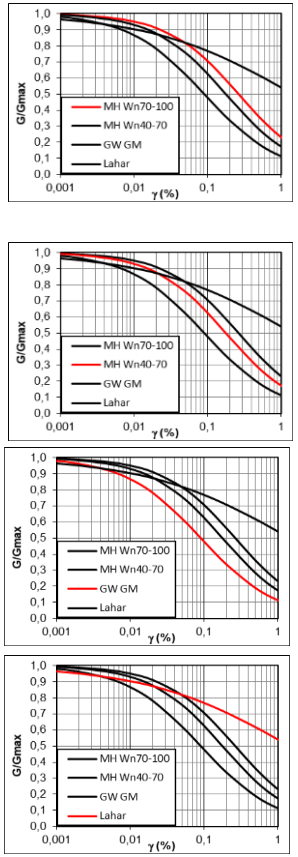
**GW GM**
$Vref_3, b_3$
$Dmin_3, g_{ref3}, S_3, \ldots$

**Lahar**
$Vref_4, b_4$
$Dmin_4, g_{ref4}, S_4, \ldots$

3. Asignar Vs por tipo de material



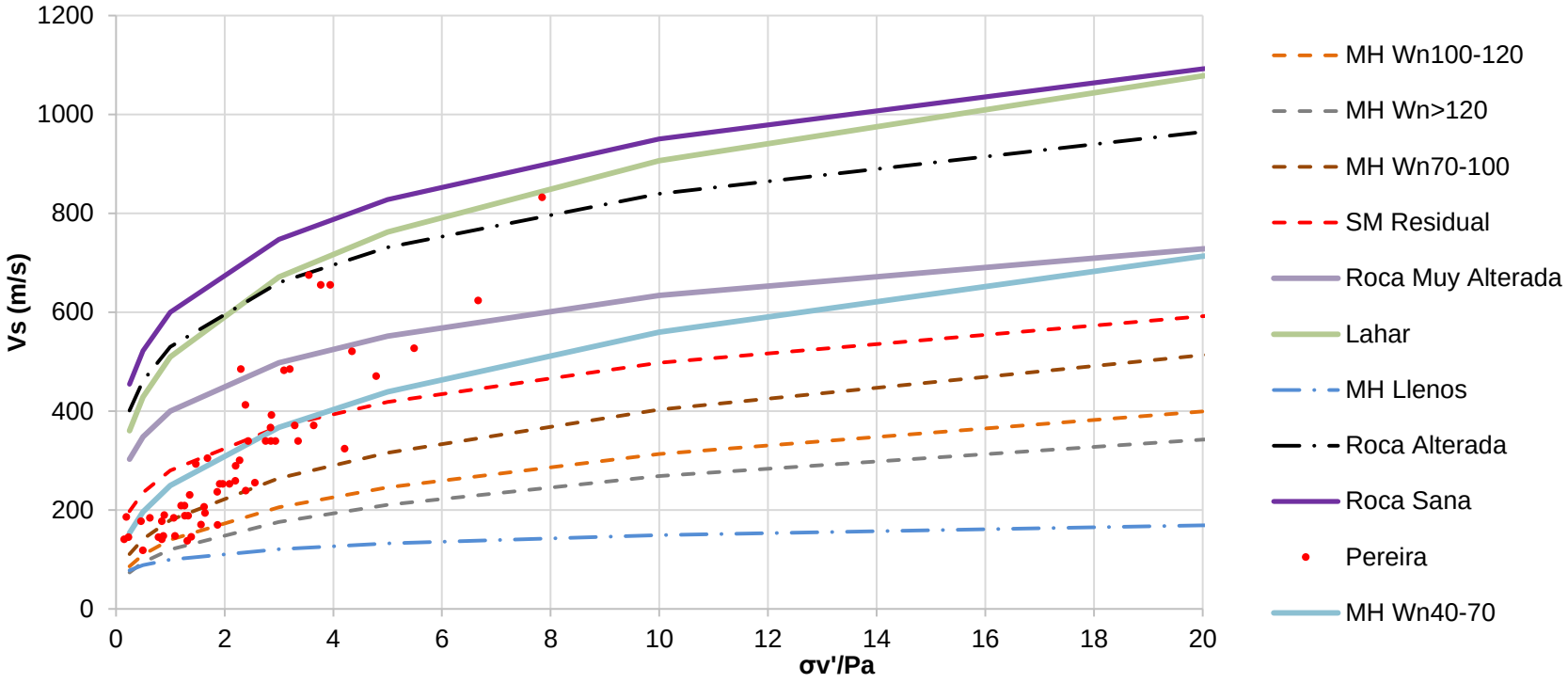

5. Asignar curvas dinámicas por material




Recomendaciones y consideraciones para modelar la respuesta sísmica del terreno (Díaz-Parra f. et al. 2022)

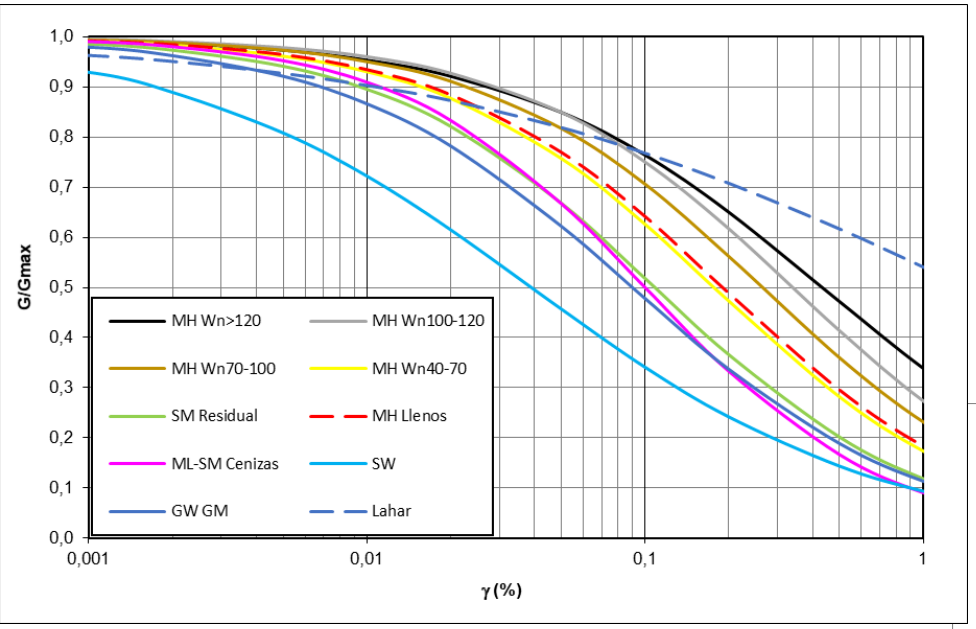
# • Perfil de velocidad cortante

$$Vs_i = V_{ref} \cdot \left( \frac{\sigma'_0}{Pa} \right)^b$$



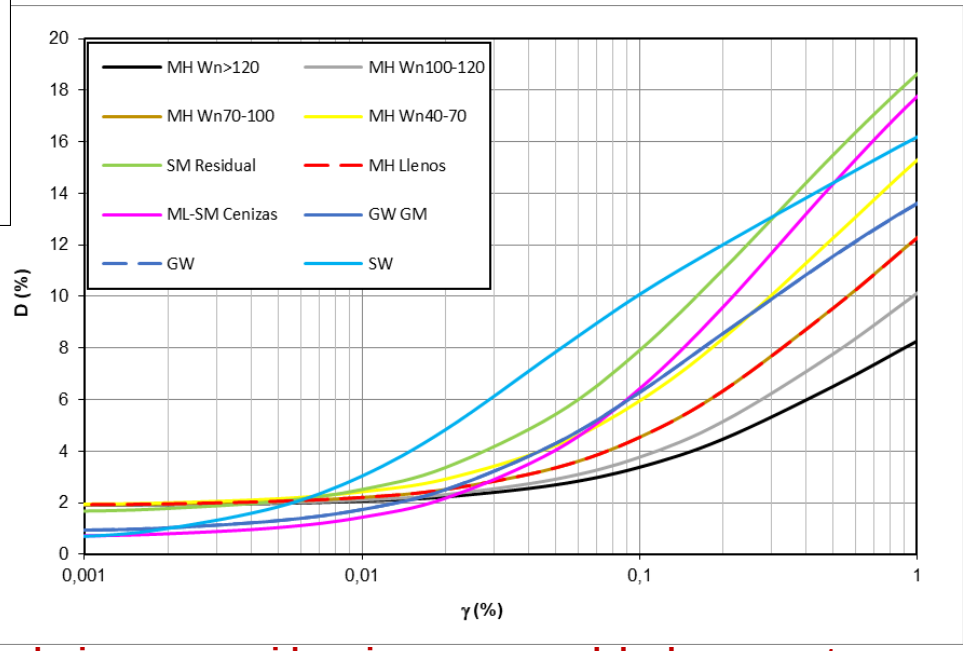
# • Curvas dinámicas

Parametrización de los materiales típicos al modelo hiperbólico extendido MKZ




$$\tau = \frac{G_o\gamma}{1+\beta\left(\frac{G_o}{\tau_{\max}}\gamma\right)^s} = \frac{G_o\gamma}{1+\beta\left(\frac{\gamma}{\gamma_r}\right)^s}$$

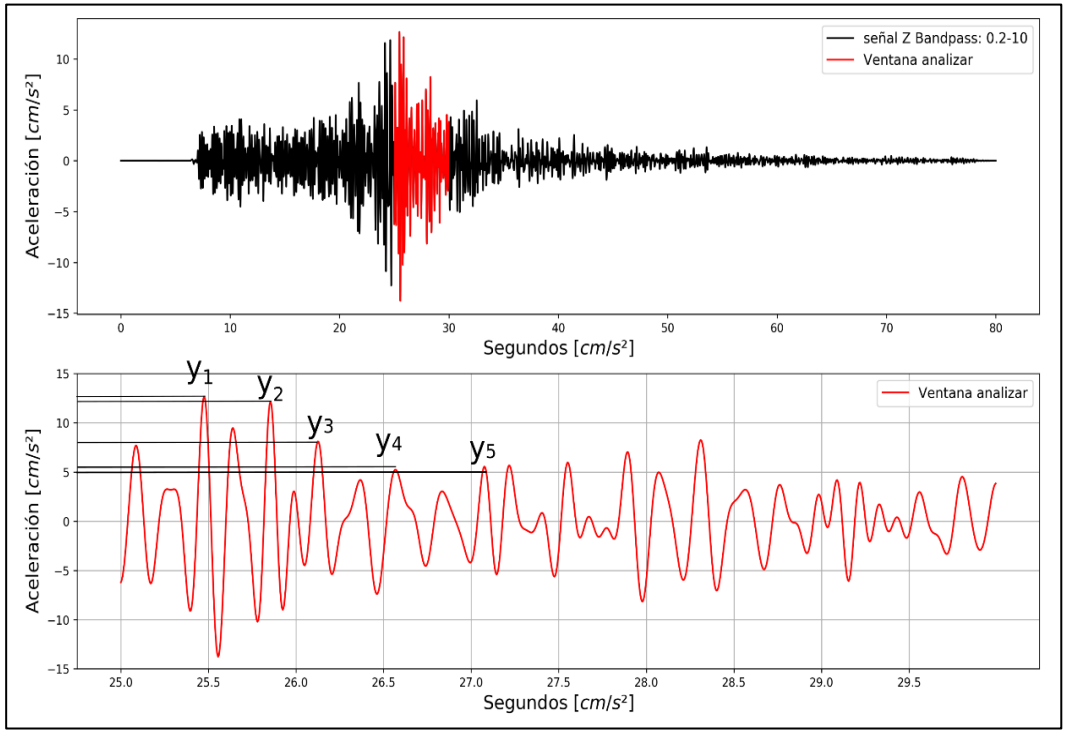
$$\gamma_r = a\left(\frac{\sigma'}{\sigma_{ref}}\right)^b$$




$$D = D_{min} + P1\left(\frac{G}{G_0}\right)^{P2} \cdot D_{masing}$$

Presión de confinamiento = 101 kPa

- # Amortiguamiento mínimo o viscoso



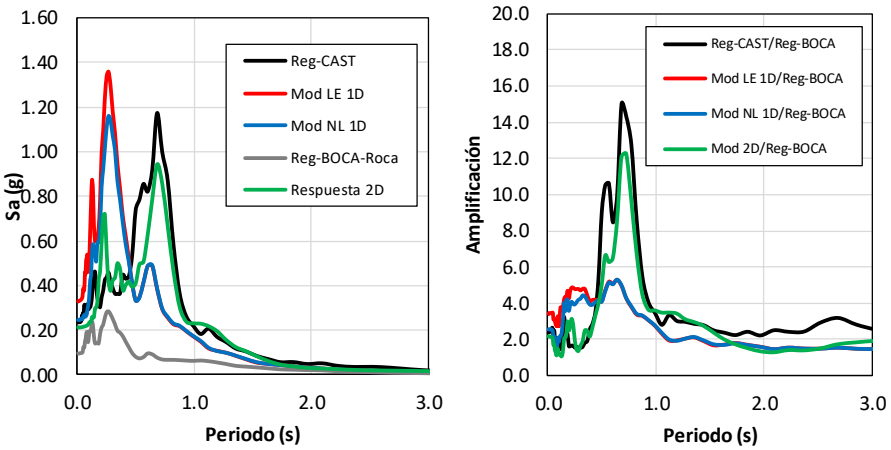
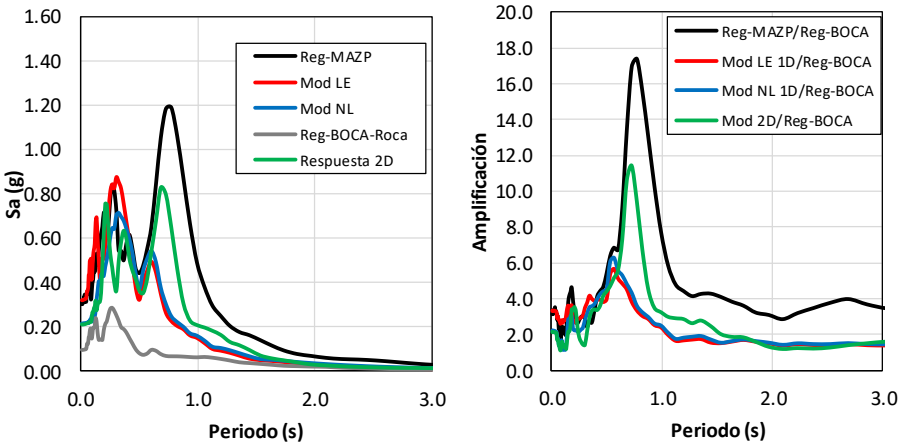

$$\xi = \frac{1}{2\pi}\Delta, donde\ \Delta = \frac{1}{N-1}\log\frac{y_1}{y_n}$$

# • Periodo de vibración

- ✓ Tener en cuenta que los periodos del suelo (Ts) medidos por microtrepidaciones representa el modo de vibración de las capas de suelos firmes y blandos, el periodo del suelo medido es similar al periodo calculado del perfil de velocidad desde superficie hasta una velocidad cortante del orden de 360 m/s.

- ✓ Por su parte los periodos fundamentales (Tf) de los modelos de respuesta se calcula para todo el perfil (hasta Vs mayor a 760 m/s).

# • *Validación – calibración de la respuesta con base en los registros acelerográficos*

| Estación | REGISTRO DE 1999-01-25 |
|---|---|
| Castañares |  |
| Mazpereira |  |

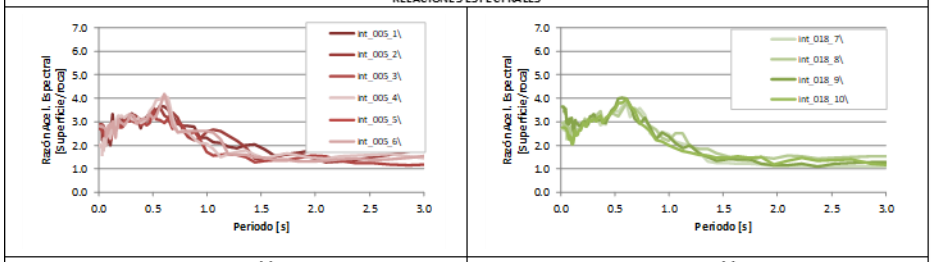


Recomendaciones y consideraciones para modelar la respuesta sísmica del terreno (Díaz-Parra f. et al. 2022)

# • Análisis de resultados

| RESPUESTA DINÁMICA PERFIL DE SUELO | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ID | 2LC | | | | | Localización | Norte | Este |
| | | | | | | | 1022200.0 | 1149438.0 |
| Vs promedio | 448.0 | [m/s] | T suelo Nf | 0.98 20 | [s] [m] | Profundidad roca Ve L Ref. 760m/s | 110 | [m] |

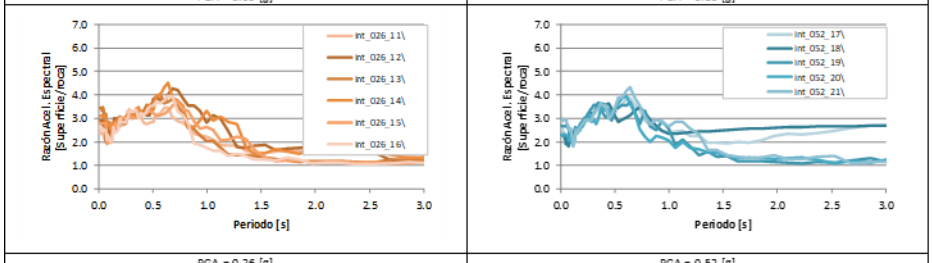
RELACIONES ESPECTRALES




PGA = 0.05 [g]




PGA = 0.18 [g]

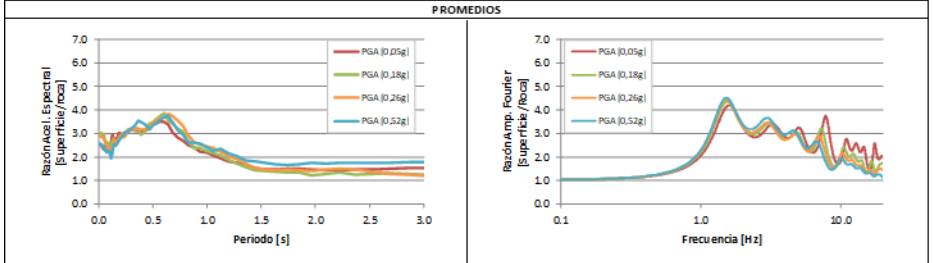



PGA = 0.26 [g]




PGA = 0.52 [g]

PROMEDIOS



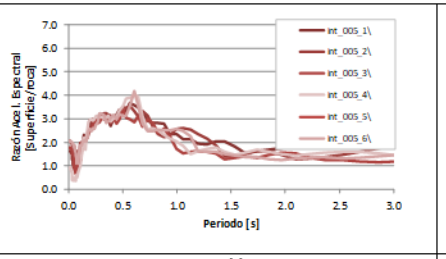

Amplificación



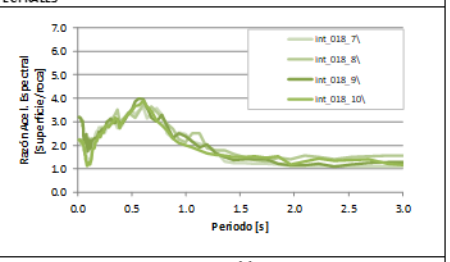

Amplificación

| RESPUESTA DINÁMICA PERFIL DE SUELO | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ID | 2LC | | | | | Localización | Norte | Este |
| | | | | | | | 1022200.0 | 1149438.0 |
| Vs promedio | 448.0 | [m/s] | T suelo Nf | 0.98 20 | [s] [m] | Profundidad roca Ve L Ref. 760m/s | 110 | [m] |

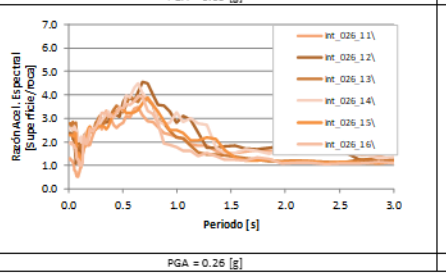
RELACIONES ESPECTRALES



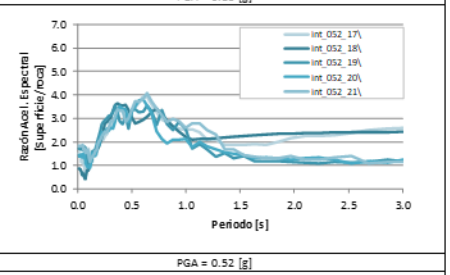

PGA = 0.05 [g]




PGA = 0.18 [g]

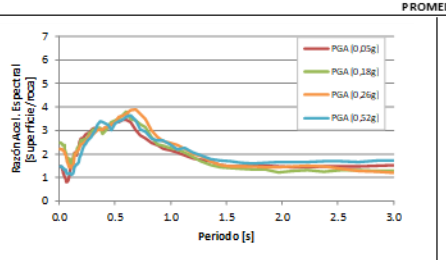



PGA = 0.26 [g]

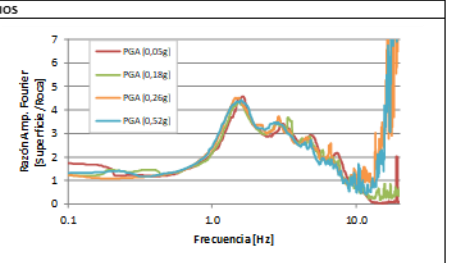



PGA = 0.52 [g]

PROMEDIOS




Amplificación

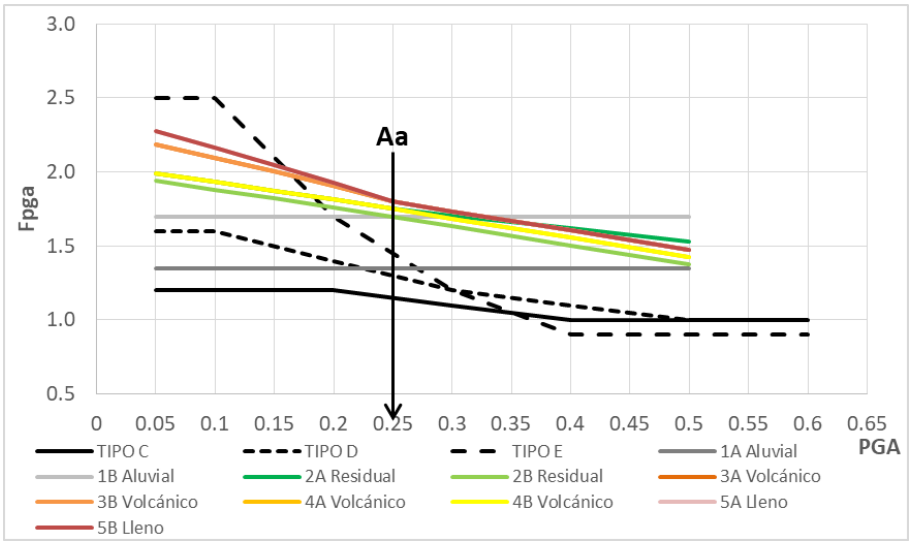


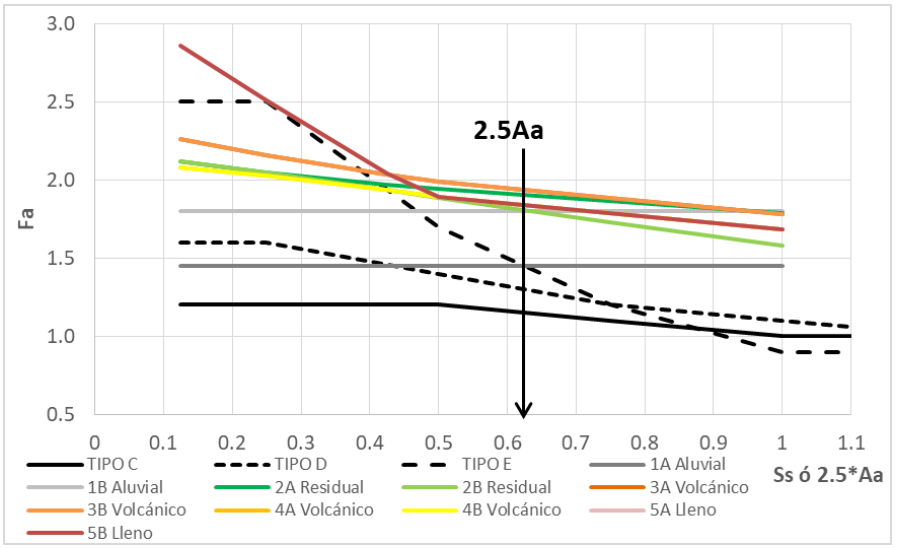

Amplificación

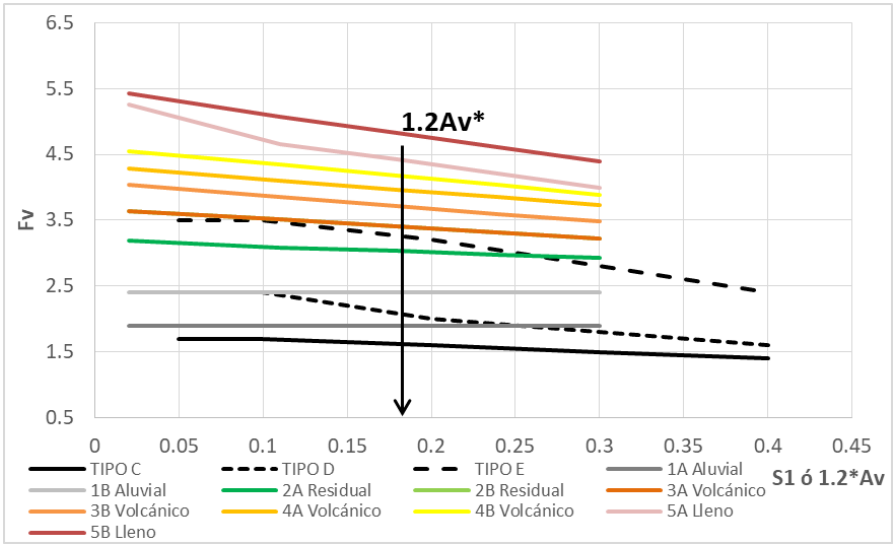


Recomendaciones y consideraciones para modelar la respuesta sísmica del terreno (Díaz-Parra f. et al. 2022)

# • Factores de amplificación y espectros de diseño




Recomendaciones y consideraciones para modelar la respuesta sísmica del terreno (Díaz-Parra f. et al. 2022)

XVII CCG
I SSAG 2022
Cartagena

SCG

50 años
1971-2021

# ¡GRACIAS!

**¿Preguntas?**

fjdiaz@sgc.gov.co

XVII CONGRESO COLOMBIANO DE GEOTÉCNIA "EVALUACIÓN Y GESTIÓN DE RIESGOS GEOTÉCNICOS CON ÉNFASIS EN LOS EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO"

14 al 18 de Noviembre de 2022

# EXPLORACIÓN DE ESTIMADORES DE AMPLIFICACIÓN DE SITIO EN EL CONTEXTO DE MODELOS DE PREDICCIÓN DE MOVIMIENTO FUERTE

**Kevin Durán, Vicente Mercado, César Pájaro, Carlos Arteta**
**Universidad del Norte, Colombia**

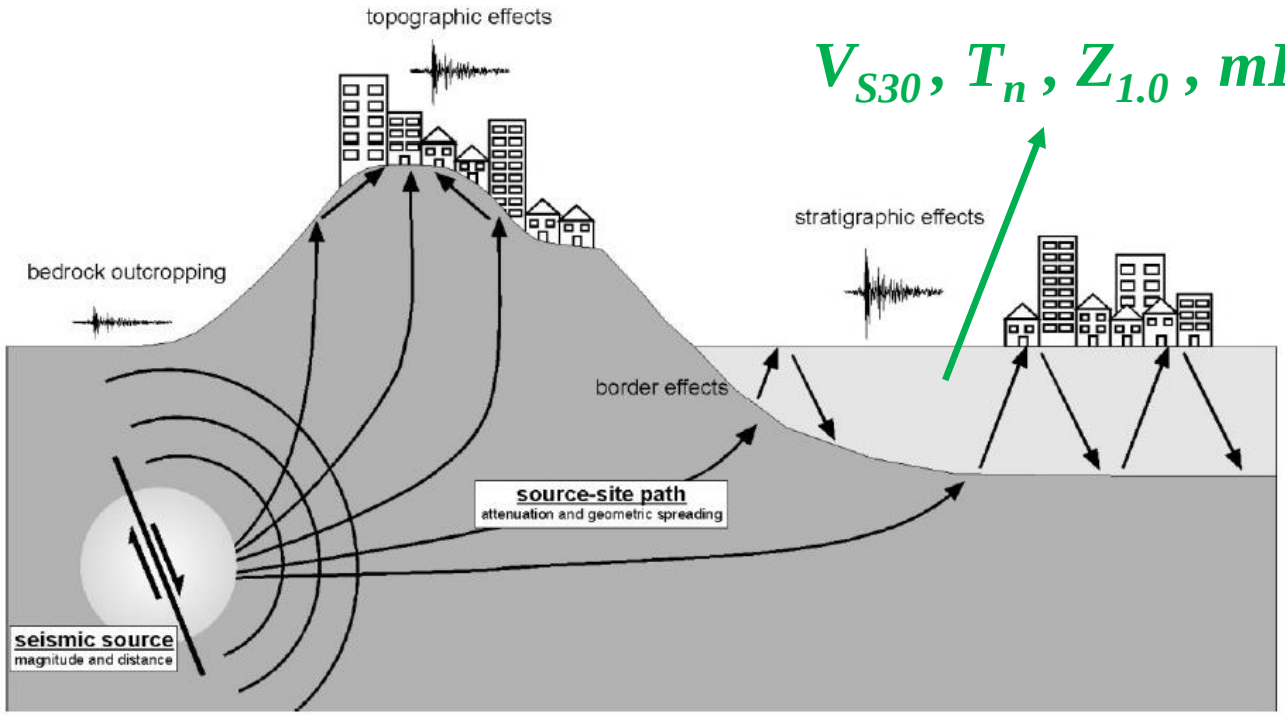
Sociedad Colombiana de Geotecnia

50 años
1971-2021

# CONTENIDO

- Introducción
- Amplificación en estaciones de Japón (red KiK-net)
- Amplificación en estaciones de California (NGA-West2)
- Estimadores de amplificación
- Desempeño de estimadores
- Conclusiones

# Efectos de sitio en modelos de predicción de movimiento fuerte



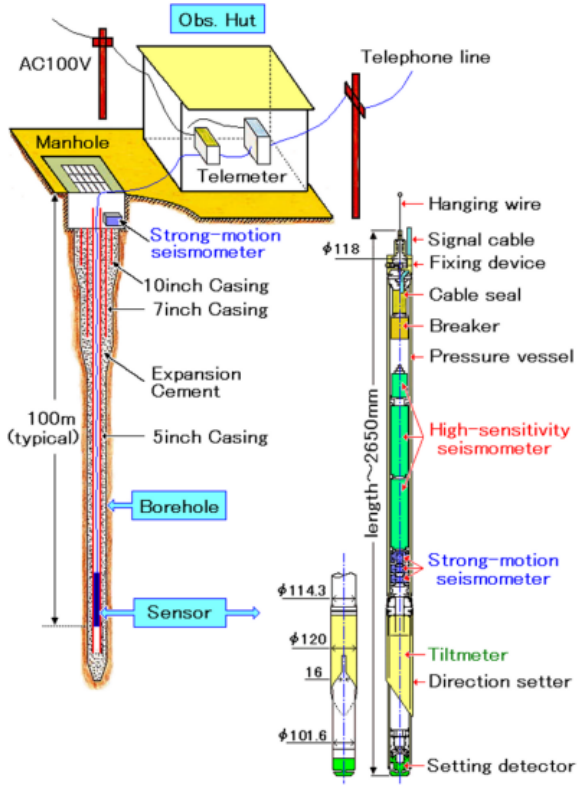

$V_{S30}$, $T_n$, $Z_{1.0}$, *mHVSR* ?

Panzera, F., 2012. Approaches to earthquake scenarios validation using seismic site response. Ph.D. dissertation. Università degli studi di Catania

# CONTENIDO

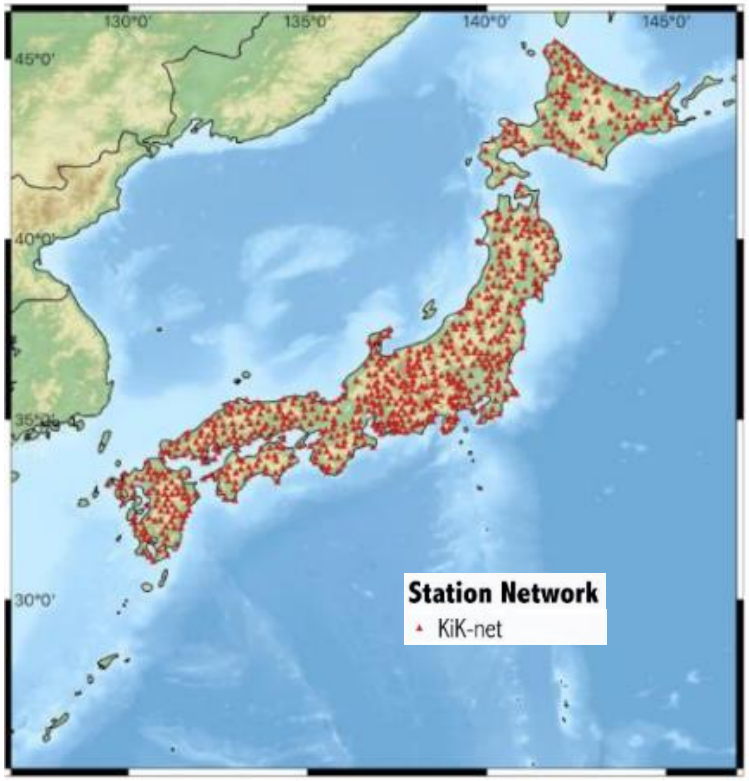
- Introducción
- Amplificación en estaciones de Japón (red KiK-net)
- Amplificación en estaciones de California (NGA-West2)
- Estimadores de amplificación
- Desempeño de estimadores
- Conclusiones

# Amplificación en estaciones de Japón (red KiK-net)



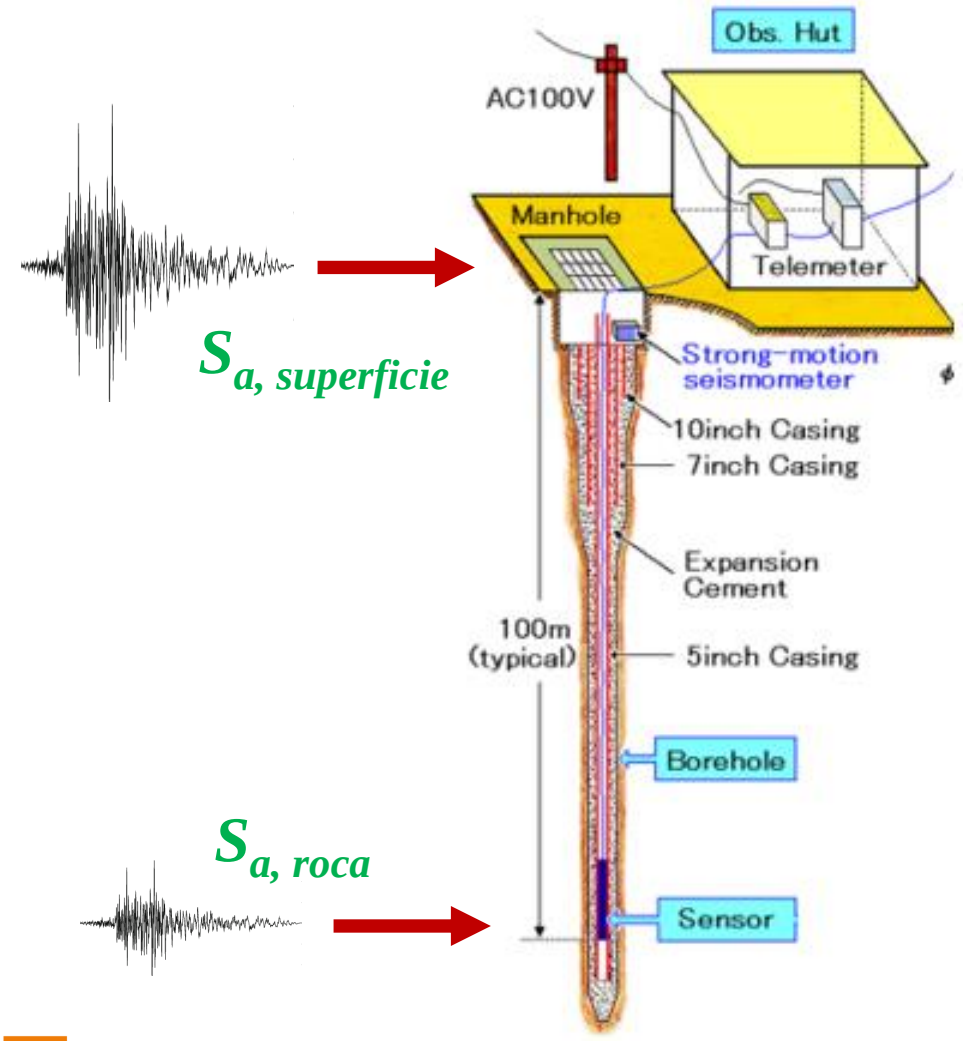

Okada, Y., Kasahara, K., Hori, S., Obara, K., Sekiguchi, S., Fujiwara, H. and Yamamoto, A., 2004. Recent progress of seismic observation networks in Japan—Hi-net, F-net, K-NET and KiK-net—. *Earth, Planets and Space*, *56*(8)

Zhu, C., Weatherill, G., Cotton, F., Pilz, M., Kwak, D.Y. and Kawase, H., 2020. An open-source site database of strong-motion stations in Japan: K-NET and KiK-net.




- En este estudio se analizan 100 estaciones de la red

# Amplificación en estaciones de Japón (red KiK-net)



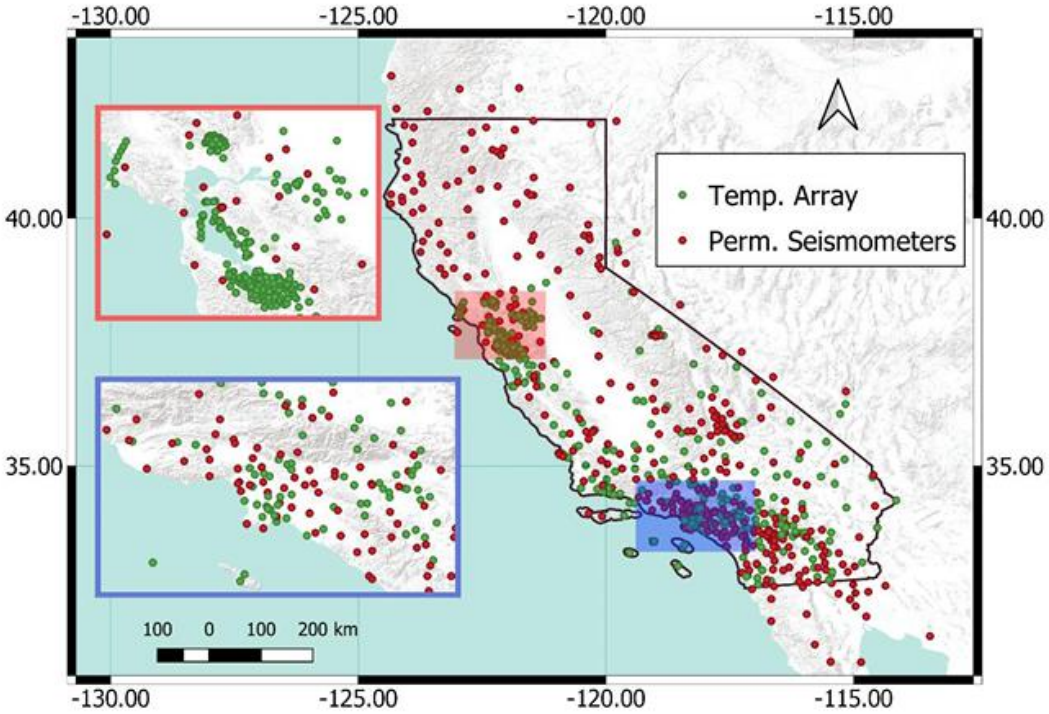

***Estimación de amplificación:***

$$AF_H = \frac{S_{a,\ superficie}}{S_{a,\ roca}}$$

# CONTENIDO

- Introducción
- Amplificación en estaciones de Japón (red KiK-net)
- Amplificación en estaciones de California (NGA-West2)
- Estimadores de amplificación
- Desempeño de estimadores
- Conclusiones

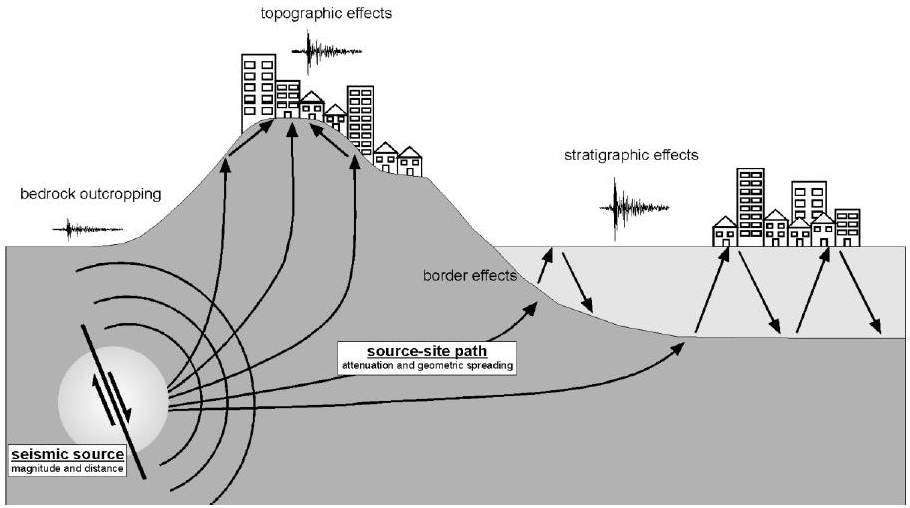
# Amplificación en estaciones de California (base de datos NGA-West2)




- La base de datos incluye 21,336 registros de 599 eventos
- En este estudio se analizan 94 estaciones en California

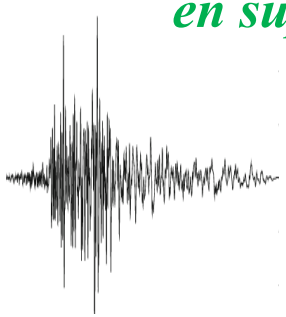
Wang, P., Zimmaro, P., Gospe, T., Ahdi, S.K., Yong, A. and Stewart, J.P., 2021. *Horizontal-to-vertical spectral ratios from California sites: Open-source database and data interpretation to establish site parameters*. California Geological Survey.

# Amplificación en estaciones de California (base de datos NGA-West2)



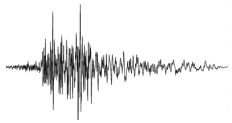

***Espectro registrado en superficie:***

$obs_{ij}$



***Espectro modelado en roca:***

$GMM_{rock,ij}$

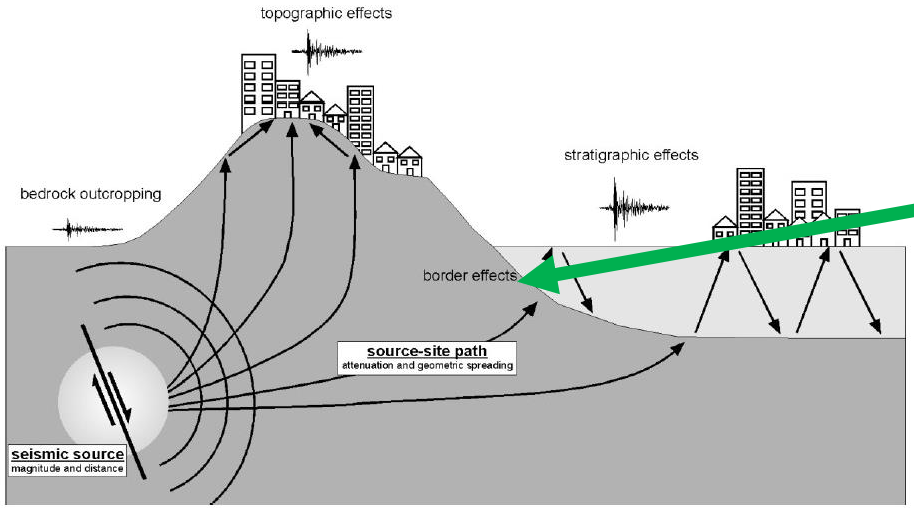


**Summary of the ASK14 Ground Motion Relation for Active Crustal Regions**

Norman A. Abrahamson,[a] M.EERI, Walter J. Silva,[b] M.EERI, and Ronnie Kamai,[c] M.EERI

# Amplificación en estaciones de California (base de datos NGA-West2)

## *Estimación de amplificación:*




***Espectro registrado en superficie:***

$obs_{ij}$

$$ln(res_{ij}) = ln(obs_{ij}) - ln(GMM_{rock,ij})$$

***Espectro modelado en roca:***

$GMM_{rock,ij}$

**Error entre-eventos** **Error intra-estación**

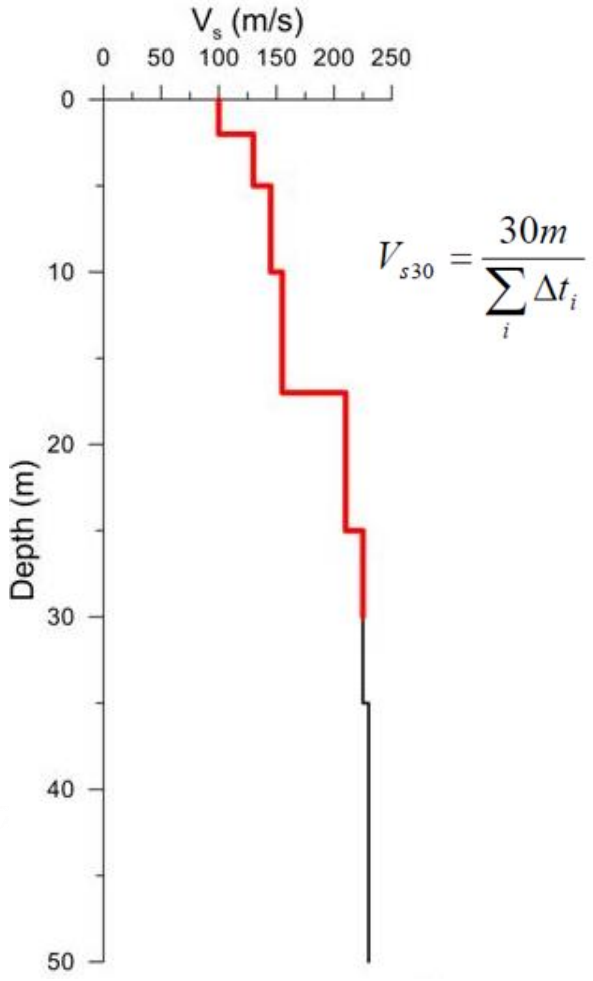
$$ln(res_{ij}) = c + \eta_i + (S_j + \varepsilon_{ij})$$

$$ln(AF_j) = c + S_j$$

# CONTENIDO

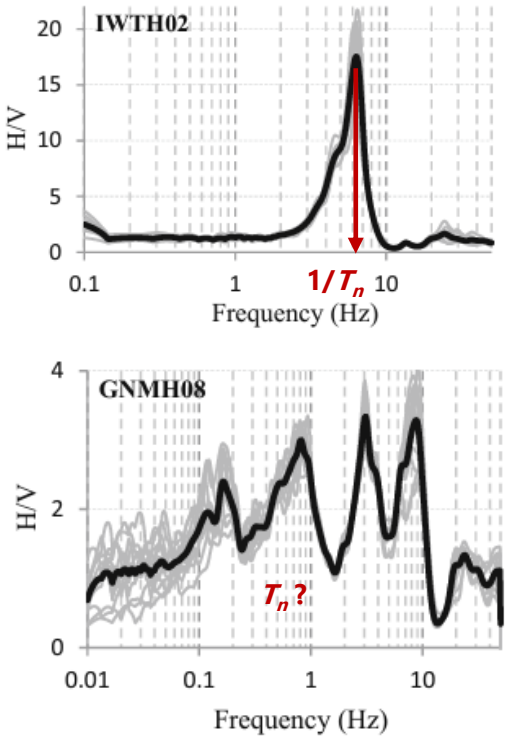
- Introducción
- Amplificación en estaciones de Japón (red KiK-net)
- Amplificación en estaciones de California (NGA-West2)
- Estimadores de amplificación
- Desempeño de estimadores
- Conclusiones

# $V_{s30}$ en *GMMs*




- Pragmático
- Se correlaciona con la amplificación de sitio
- Información incompleta con respecto a profundidad
- No contiene información directa acerca de frecuencias resonantes

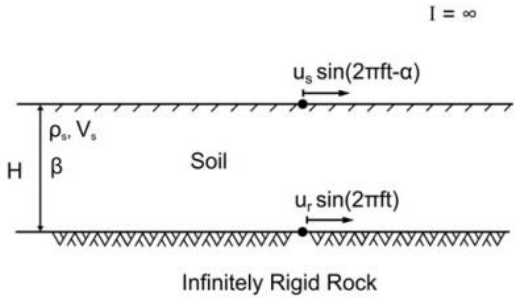
# $T_n$ en *GMMs*



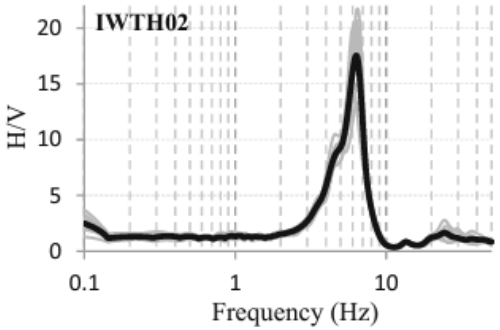

Thabet, M., 2019. Site-specific relationships between bedrock depth and HVSR fundamental resonance frequency using KiK-NET data from Japan. *Pure and Applied Geophysics*, *176*(11), pp.4809-4831.

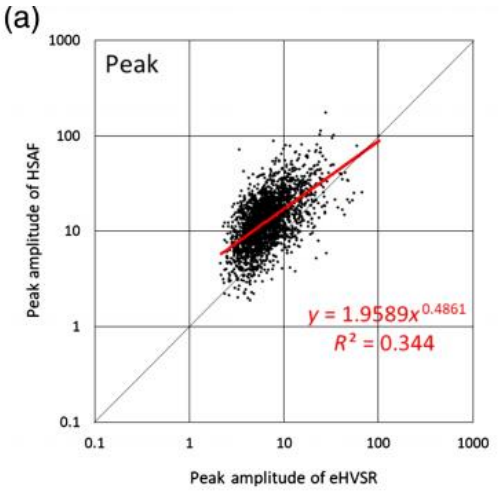
- Se puede obtener a partir de H/V superficial
- Se correlaciona con la amplificación de sitio
- Podría no estar claramente definido para algunas estaciones

$$AR = \frac{1}{\sqrt{cos^2(\omega T_n/4) + (\beta\omega T_n/4)^2}}$$



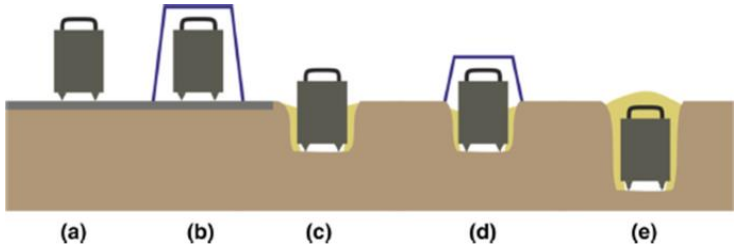
# Relación spectral horizontal-vertical de microtremores (mHVSR)




Ito, E., Nakano, K., Nagashima, F. and Kawase, H., 2020. A Method to Directly Estimate S-Wave Site Amplification Factor from Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio of Earthquakes (eHVSRs). *Bulletin of the Seismological Society of America*, *110*(6), pp.2892-2911.

- Se puede obtener superficialmente
- Se correlaciona con la amplificación de sitio
- Sensible al método de medición y otros factores



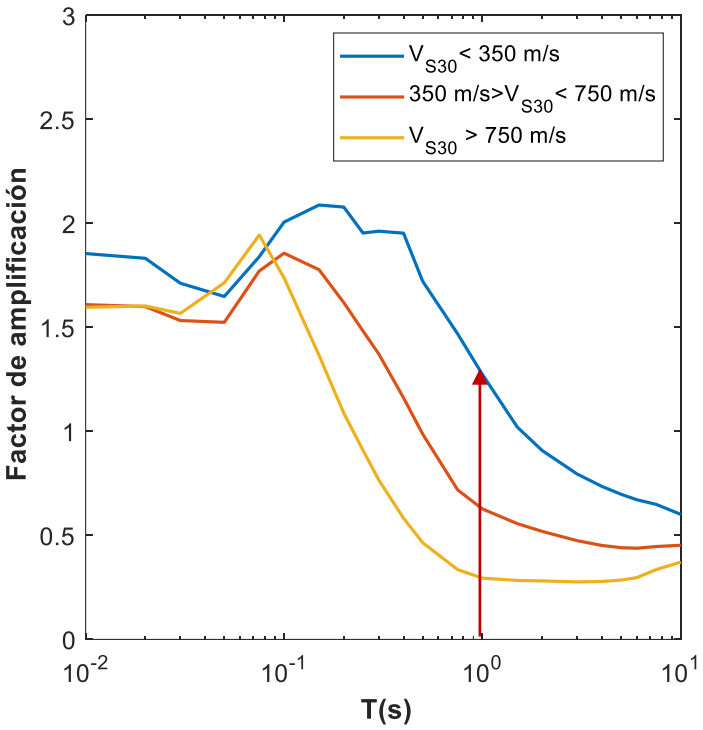

Foti, S., Hollender, F., Garofalo, F., Albarello, D., Asten, M., Bard, P.Y., Comina, C., Cornou, C., Cox, B., Di Giulio, G. and Forbriger, T., 2018. Guidelines for the good practice of surface wave analysis: a product of the InterPACIFIC project. *Bulletin of Earthquake Engineering*, *16*(6), pp.2367-2420.

# CONTENIDO

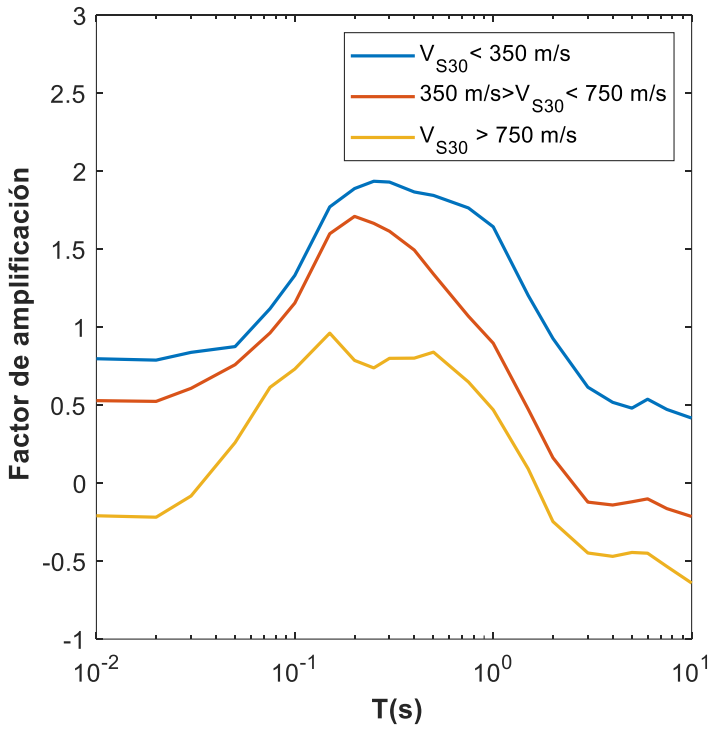
- Introducción
- Amplificación en estaciones de Japón (red KiK-net)
- Amplificación en estaciones de California (NGA-West2)
- Estimadores de amplificación
- Desempeño de estimadores
- Conclusiones

# Factor de amplificación de las estaciones agrupadas por rangos de $V_{S30}$

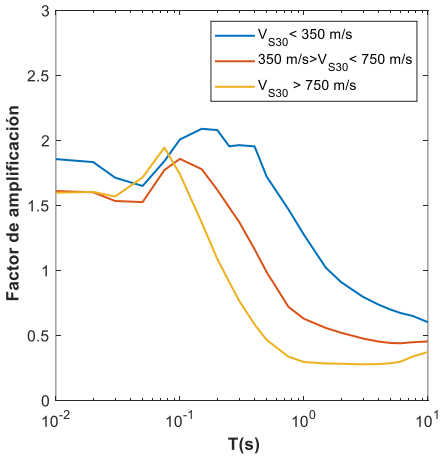
## Japón

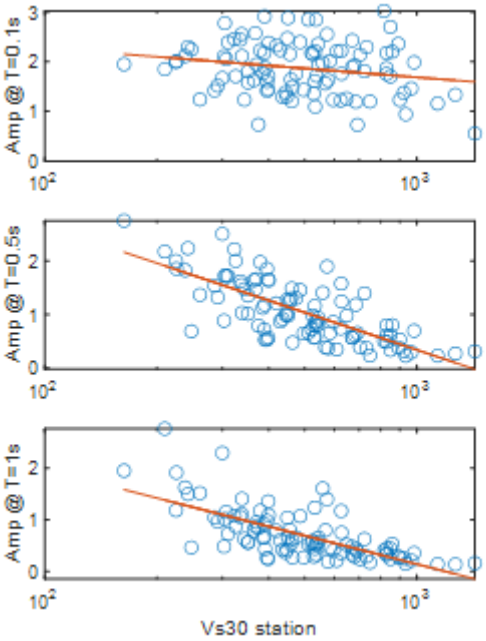



## California

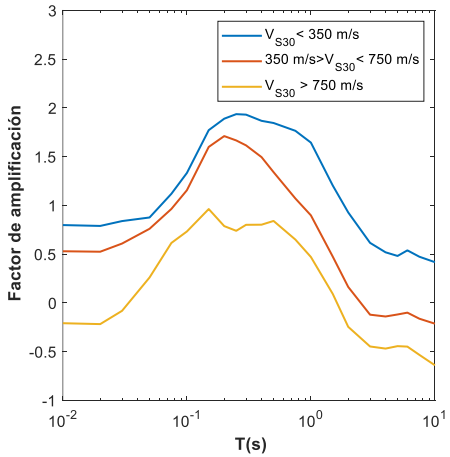


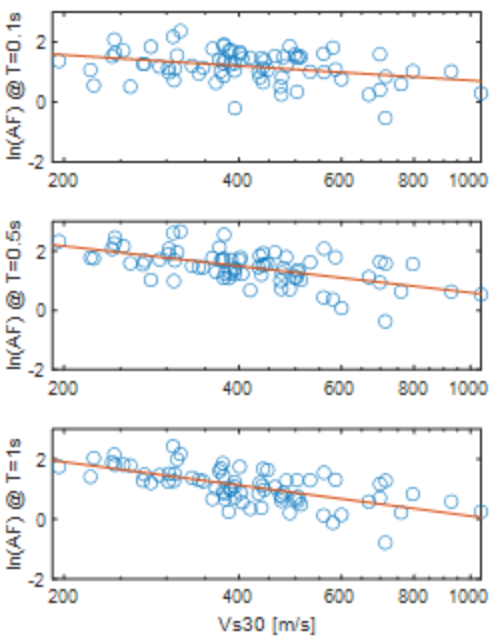
## Japón



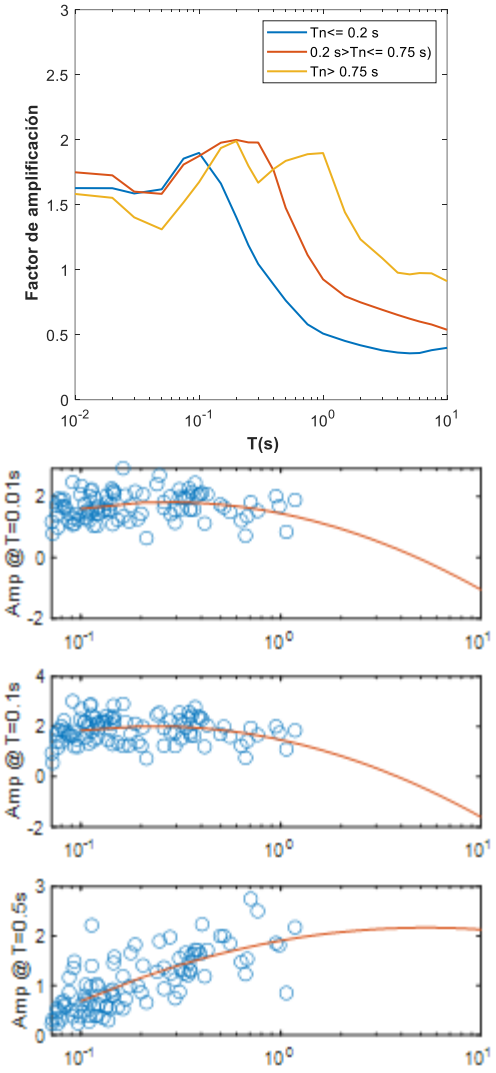

## California



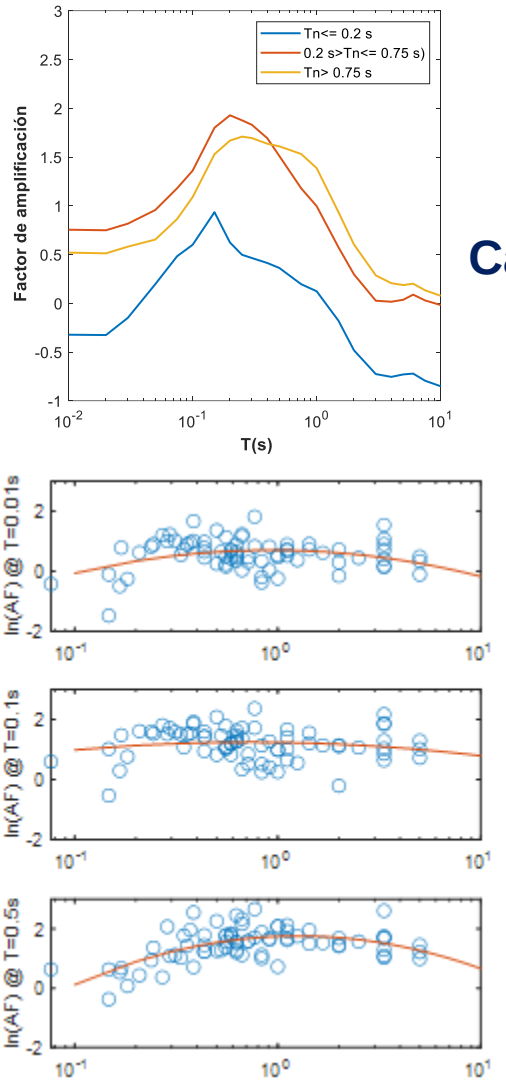



# Factor de amplificación de las estaciones agrupadas por rangos de $T_n$

**Japón**

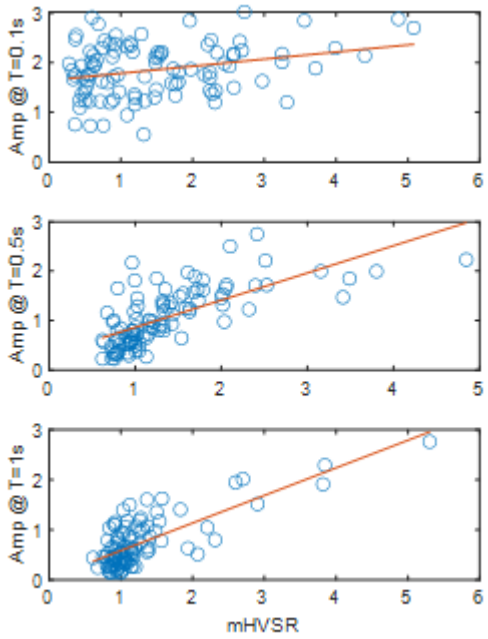


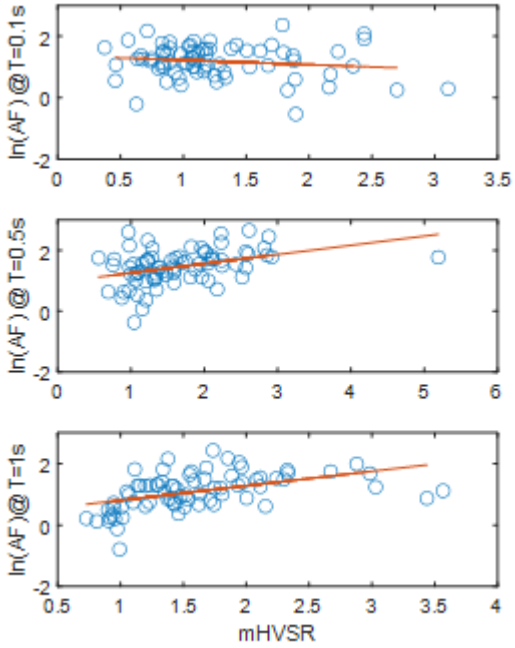

**California**



# Factor de amplificación vs. *mHVSR*

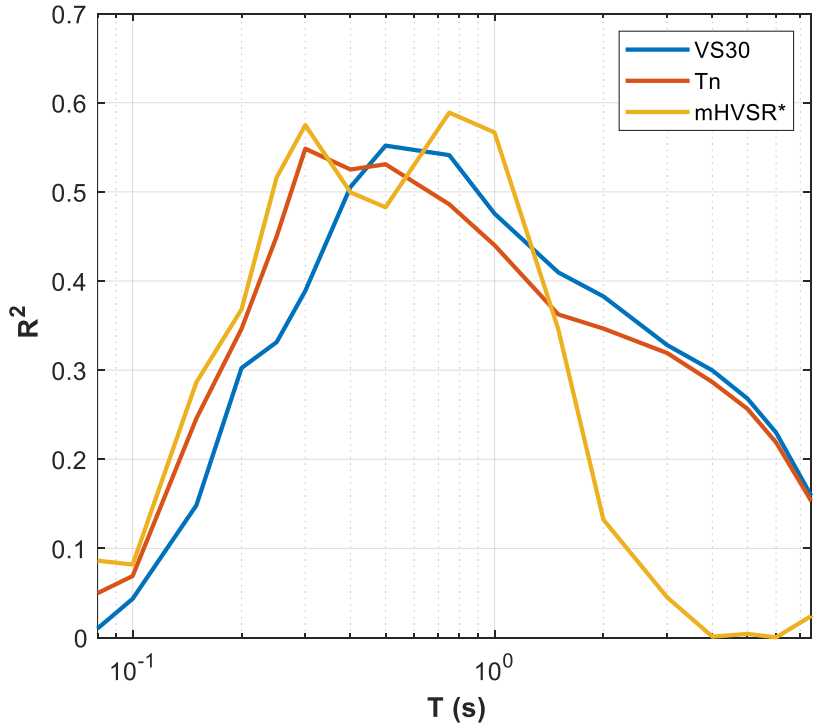
**Japón**



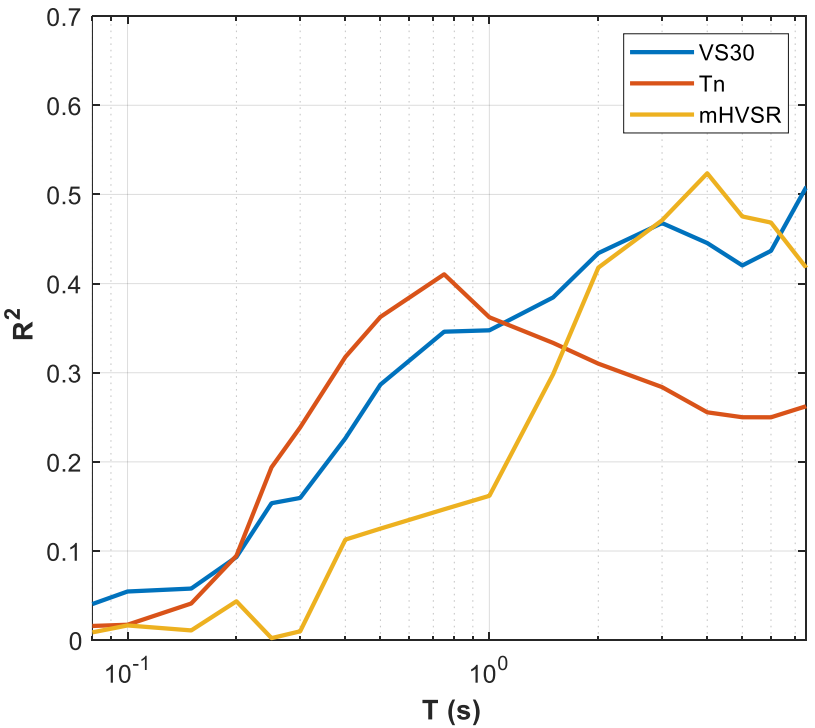




**California**

# Coeficientes de determinación ($R^2$) para la predicción del factor de amplificación

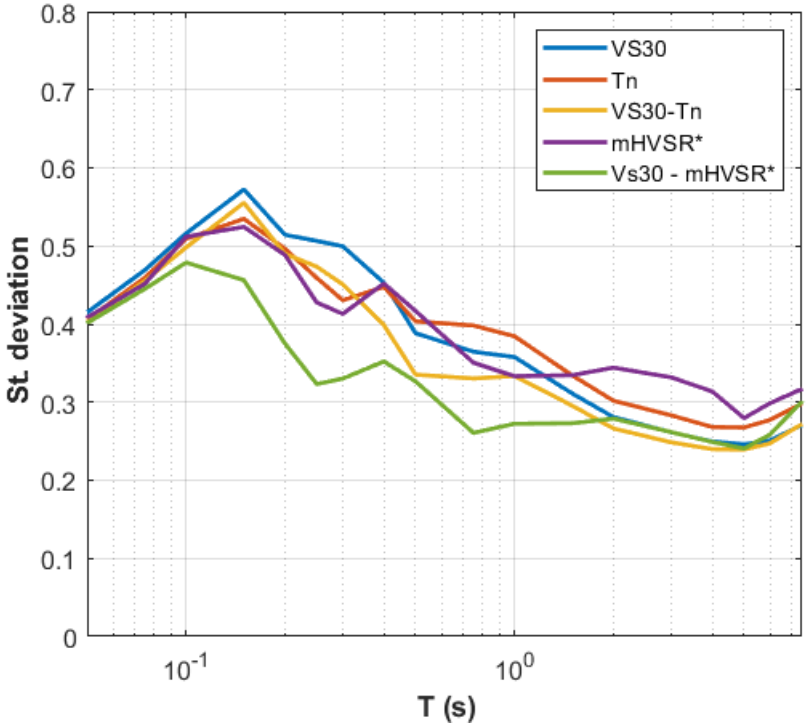



**Japón**

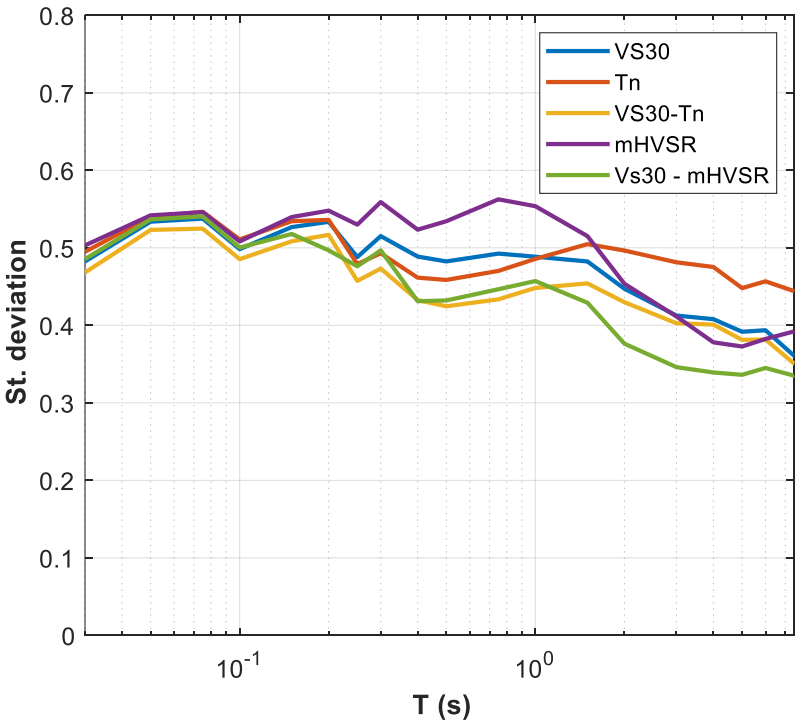



**California**

# Desviación estándar para la predicción del factor de amplificación

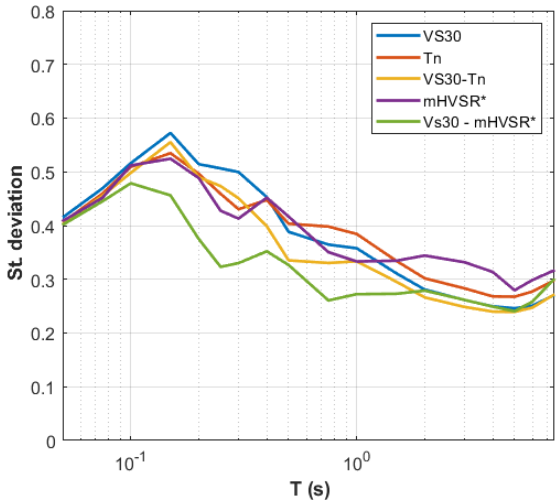



Japón

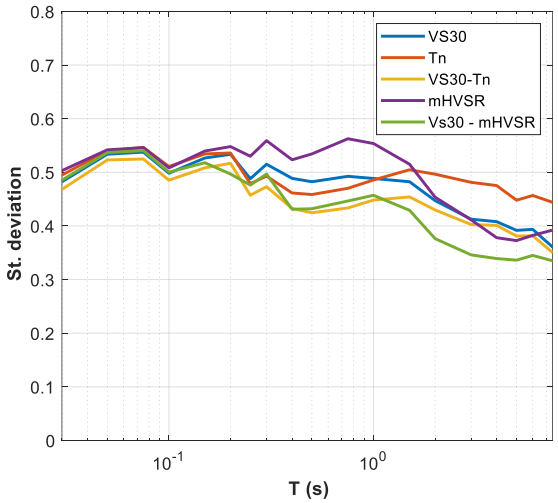



California

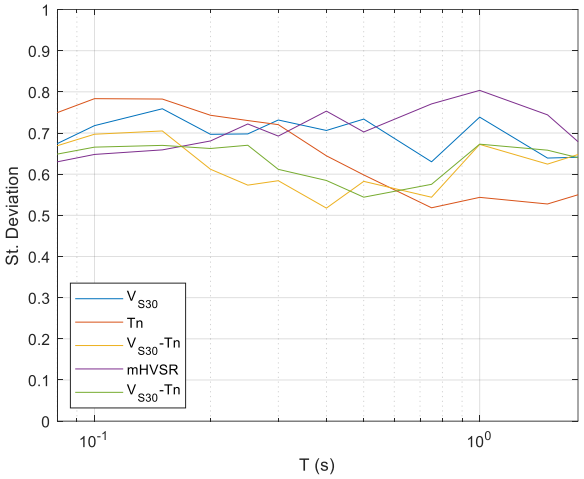
# Desviación estándar para la predicción del factor de amplificación




Japón




California




Colombia

# CONTENIDO

- Introducción
- Amplificación en estaciones de Japón (red KiK-net)
- Amplificación en estaciones de California (NGA-West2)
- Estimadores de amplificación
- Desempeño de estimadores
- Conclusiones

# Conclusiones

- Estaciones sísmicas de Japón y California presentan patrones de amplificación distintos.
- Para las estaciones analizadas, el uso independiente de $T_n$ y de $V_{s30}$ tuvo un desempeño comparable.
- El uso combinado tanto de *mHVSR* y $V_{s30}$ como de $T_n$ y de $V_{s30}$ resultó en una mejora en la capacidad predictiva de amplificación de sitio en comparación con el uso independiente los parámetros predictores.

# Agradecimientos


- **Mónica Arcila,** Researcher, Colombian Geological Survey (SGC), Colombia.
- **Fernando Díaz,** Researcher, Colombian Geological Survey (SGC), Colombia.
- **Julián Montejo,** Researcher, Colombian Geological Survey (SGC), Colombia.
- **Gustavo Posada,** Researcher, Colombian Geological Survey (SGC), Colombia.
- **Norman A. Abrahamson,** Adjunct Professor, Department of Civil and Environmental Engineering, University of California, Berkeley, USA
- **Jorge Macedo,** Associate Professor, Department of Civil and Environmental Engineering, Georgia Institute of Technology, Atlanta, USA

XVII CCG
I SSAG 2022
Cartagena

SCG

50 años
1971-2021

# ¡GRACIAS!

**¿Preguntas?**

@correodecontacto

XVII CONGRESO COLOMBIANO DE GEOTÉCNIA "EVALUACIÓN Y GESTIÓN DE RIESGOS GEOTÉCNICOS CON ÉNFASIS EN LOS EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO"

14 al 18 de Noviembre de 2022

XVII CCG
I SSAG 2022
Cartagena

# REPRESAMIENTO DEL RÍO COLCA ANTE UN DESLIZAMIENTO Y APERTURA DEL CAUCE PARA EL DESEMBALSE CONTROLADO

A. Mamani, E. Castro, E. Maquera
SRK Consulting Perú S.A.

Sociedad Colombiana de Geotecnia

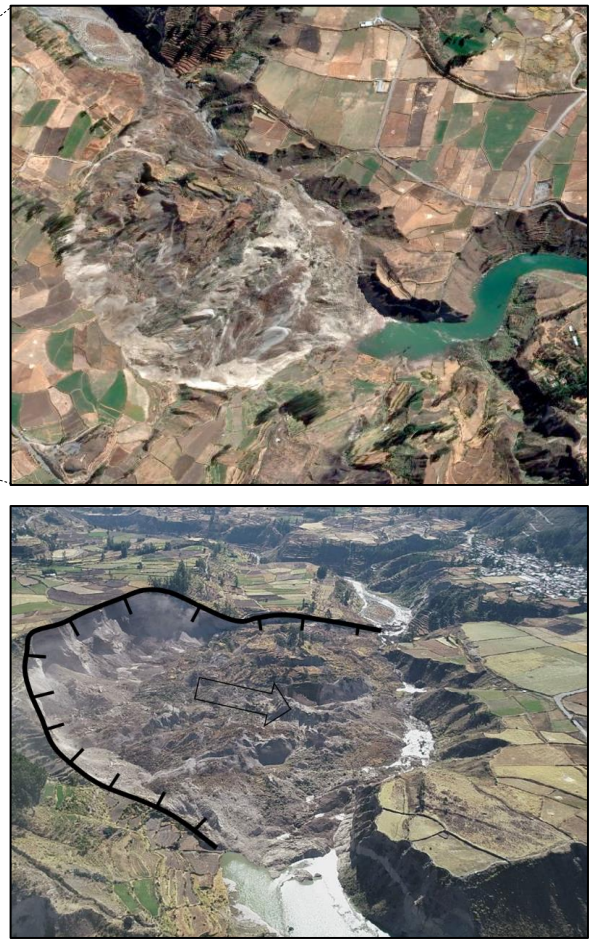
50 años
1971-2021

# Introducción

## Ubicación del deslizamiento

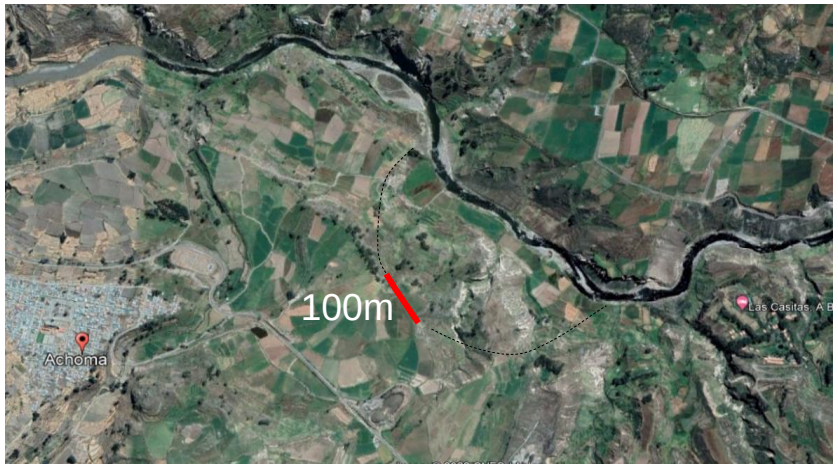
Fuente: Instituto Nacional de Estadística e Informática

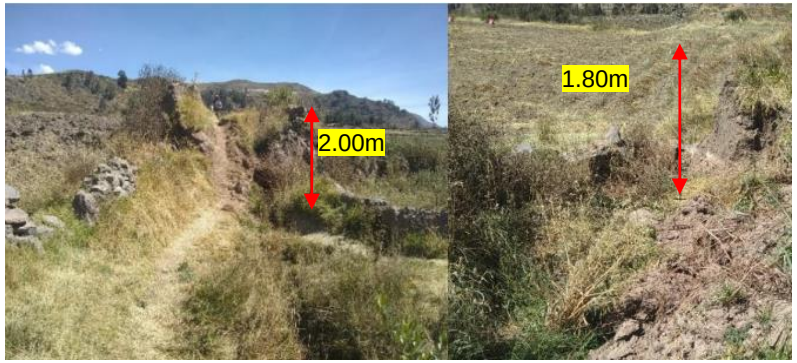
Deslizamiento Achoma



# Antecedentes

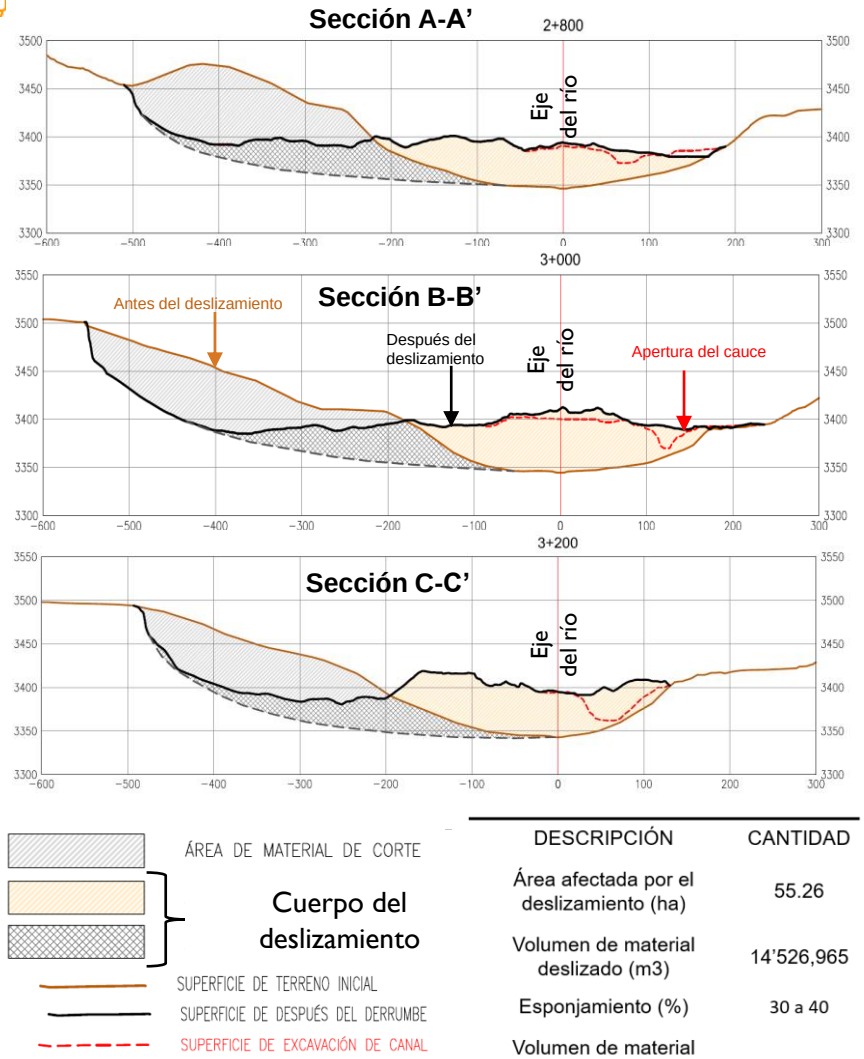
- Identificación de grietas y fisuras previo al deslizamiento (Mayo)
- A principios del mes de mayo la RED Sísmica de Volcán Sabancaya y Est. MAC03, **registraron pequeños sismos con frecuencia de 2 a 6 sismos por día con magnitudes de 2.5 ML.** Después del deslizamiento no se volvió registrar este tipo de sismicidad.
- La acción antrópica: regadío por inundación provocando saturación en el terreno



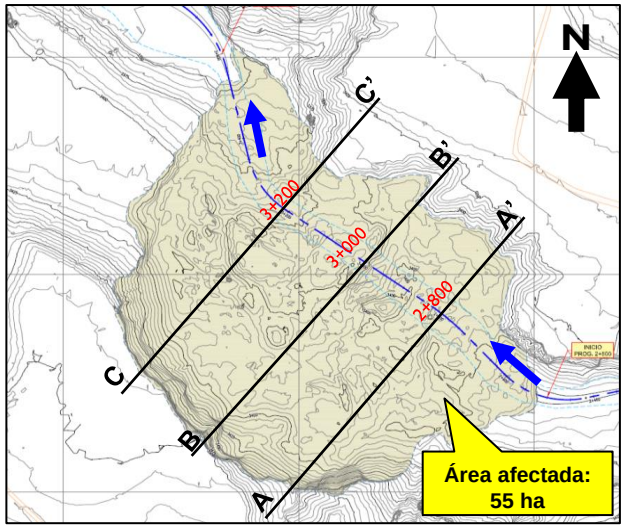

Fuente: INGEMMET, 2020

# Caracterización del deslizamiento - Achoma



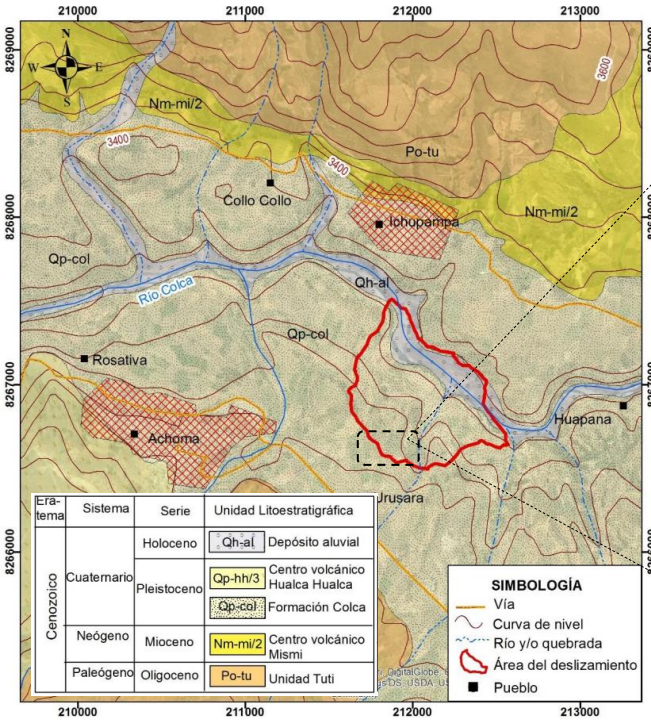

| DESCRIPCIÓN | CANTIDAD |
|---|---|
| Área afectada por el deslizamiento (ha) | 55.26 |
| Volumen de material deslizado (m3) | 14'526,965 |
| Esponjamiento (%) | 30 a 40 |
| Volumen de material removido del canal | 1'040,101 |

Fuente: 20 junio de 2020 (CONIDA, 2020)

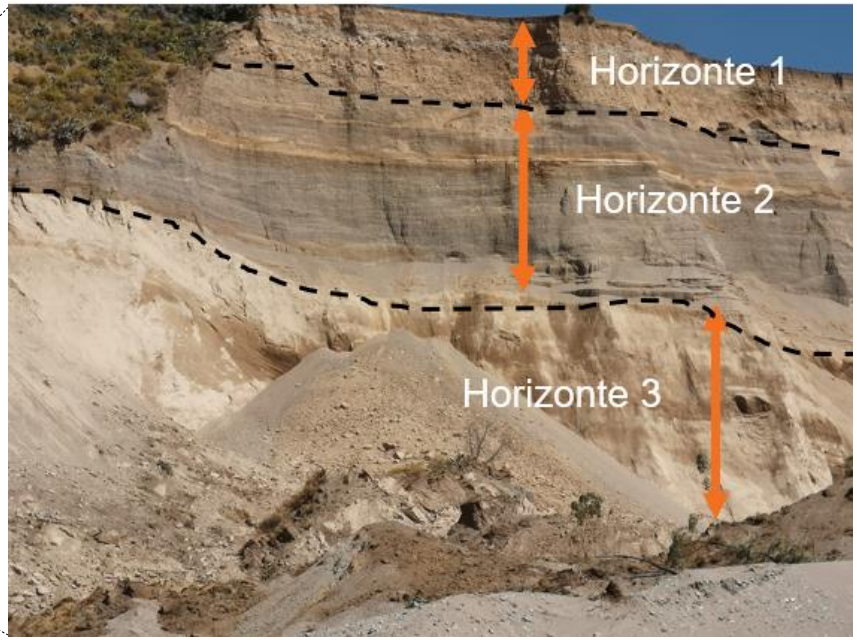


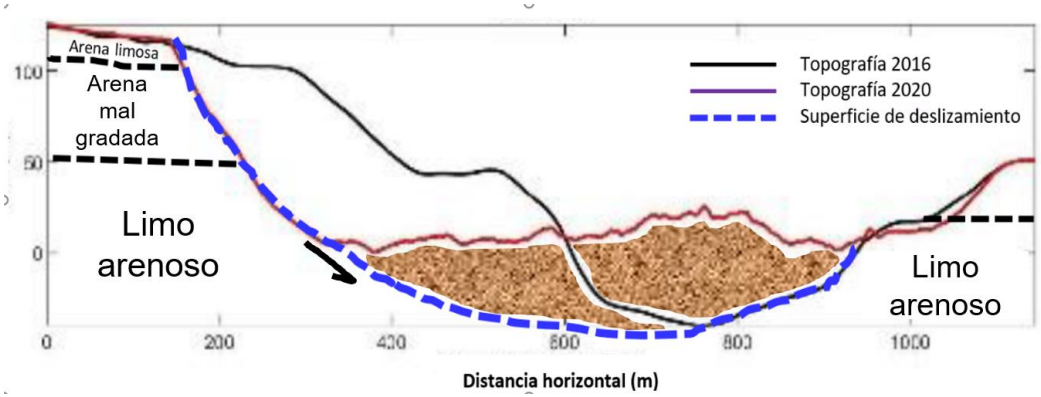

Fuente: Topografía de INGEMMET, junio 2020

# Condición geológica




Fuente: INGEMMET, 2020

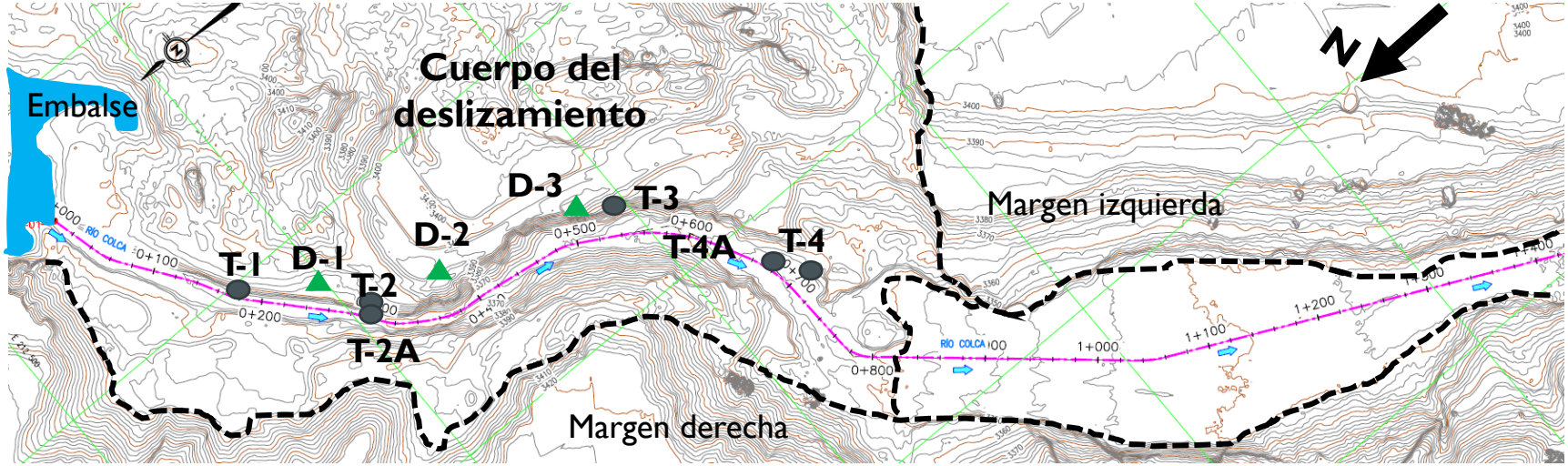



**Depósitos aluviales-fluviales y lacustritos, del Grupo Colca**

- **Horizonte 1**: grava limosa con arena, de color marrón claro, denso a muy denso de 10 a 20 m.
- **Horizonte 2**: arena mal gradada con grava, de color gris claro, suelta a medianamente densa, de 30 a 35 m y
- **Horizonte 3**: limo arenoso, de color beige, compacta, de 50 a 80 m

# Condición geotécnica del aliviadero




- Excavación de trincheras
- Ensayos de densidad in situ

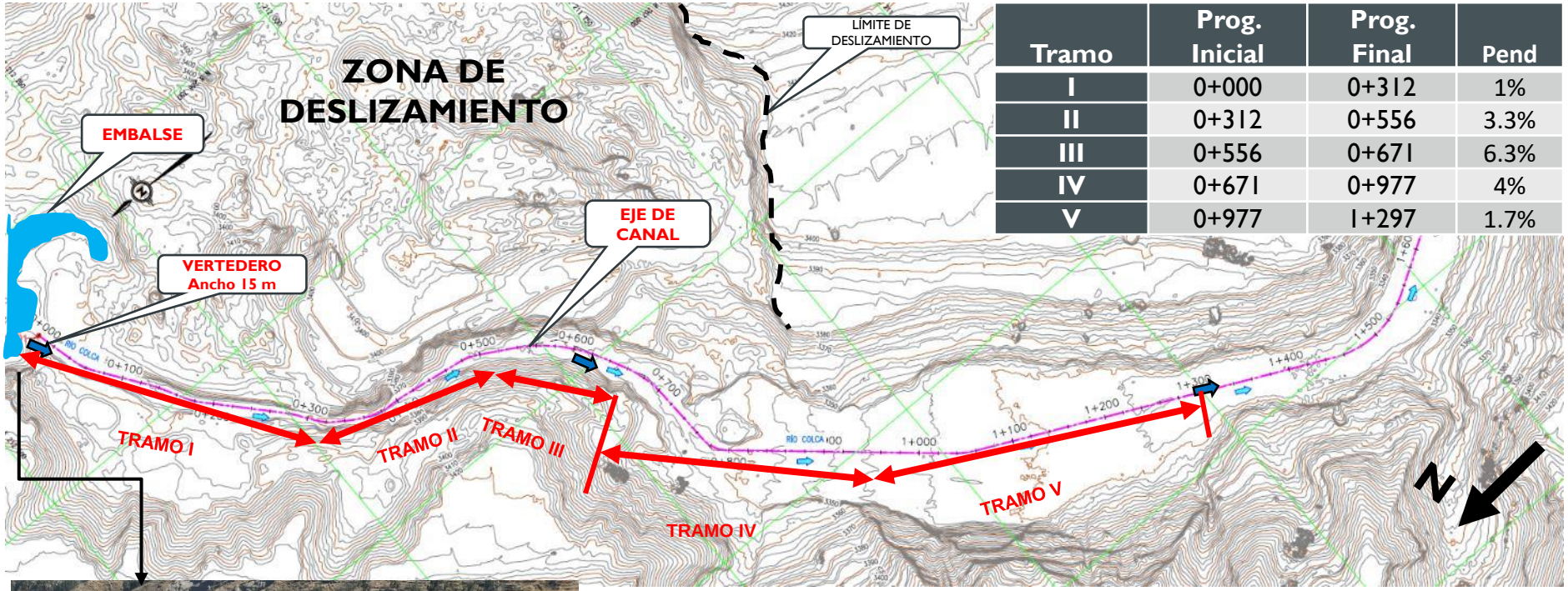
$\rho = 1.4\ g/cm^3\ ;\ \omega = 14.5\%$

| Trinchera/ muestra | Prof. (m) | Granulometría | | | Límites Atterberg | | | Humedad (%) | SUCS |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | G (%) | A (%) | F (%) | LL (%) | LP (%) | IP (%) | | |
| D-1 | | 4.3 | 9.1 | 86.7 | 35 | 28 | 7 | 14.3 | ML |
| D-2 | | 27.9 | 34.9 | 37.2 | 29 | 25 | 5 | 4.2 | SM |
| D-3 | | 0.0 | 8.1 | 91.9 | 33 | 28 | 5 | 14.9 | ML |
| T-01 | | 0.0 | 5.2 | 94.8 | 36 | 30 | 6 | 19.5 | ML |
| T-02 | | 2.9 | 33.9 | 63.2 | 34 | 29 | 5 | 13.0 | ML |
| T-2A | | 5.7 | 9.8 | 84.6 | 42 | 33 | 9 | 40.0 | ML |
| T-03 | | 13.2 | 4.4 | 82.4 | 31 | 27 | 5 | 7.0 | ML |
| T-04 | | 8.7 | 14.7 | 76.6 | 31 | 26 | 5 | 11.5 | ML |
| T-4A | | 19.9 | 45.3 | 34.8 | 31 | 23 | 8 | 8.1 | SM |

**Donde**:
G= grava
A=arena
F=finos

LL=Límite líquido
LP=Límite plático
IP=Indice de plasticidad
D-1, D-2 y D-3=muestras de densidad in situ
Las muestras T-2A y T-4A está unicados en el cauce del canal

# Caracterización del aliviadero

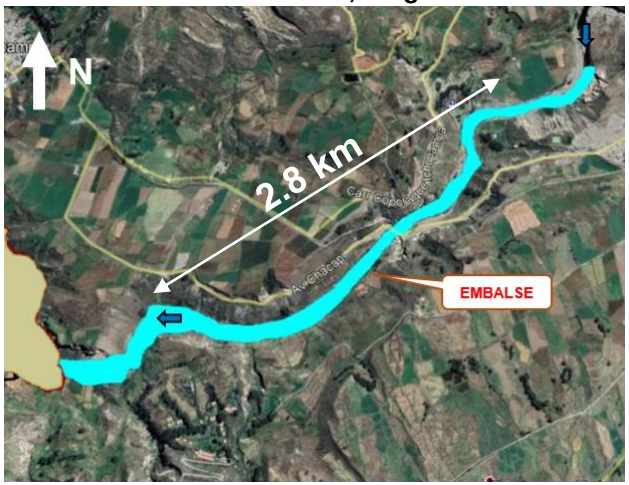



| Tramo | Prog. Inicial | Prog. Final | Pend |
|---|---|---|---|
| I | 0+000 | 0+312 | 1% |
| II | 0+312 | 0+556 | 3.3% |
| III | 0+556 | 0+671 | 6.3% |
| IV | 0+671 | 0+977 | 4% |
| V | 0+977 | 1+297 | 1.7% |

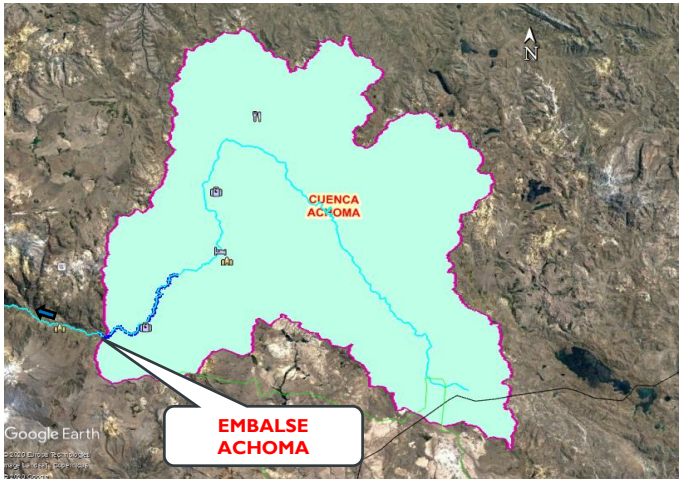
# Caracterización hidrológica

**Características del embalse Achoma**

Área embalse 30.3 ha, longitud 2.8 km

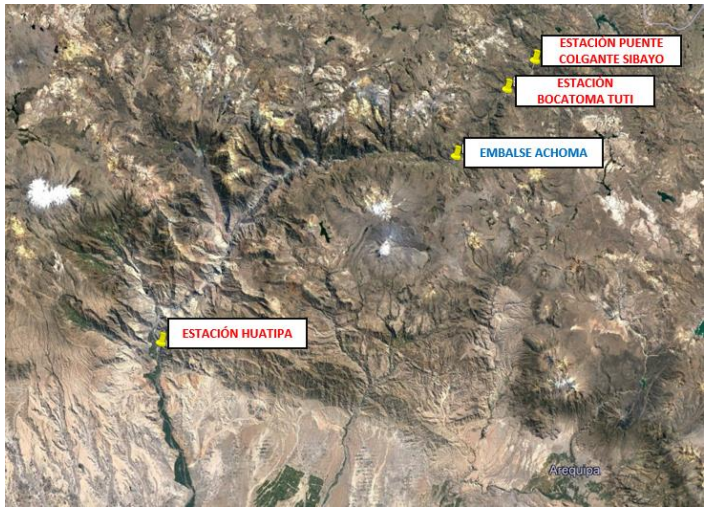



Área cuenca Achoma: 4806.7 km2




**Estaciones hidrométricas**

| Estación | Longitud | Latitud | Altitud (m.s.n.m.) |
|---|---|---|---|
| Huatipa | 72°27'52" | 15°56'49" | 699 |
| Puente Colgante Sibayo | 71°27'21" | 15°28'50" | 3880 |
| Bocatoma Tuti | 71°32'00" | 15°32'00" | 3730 |

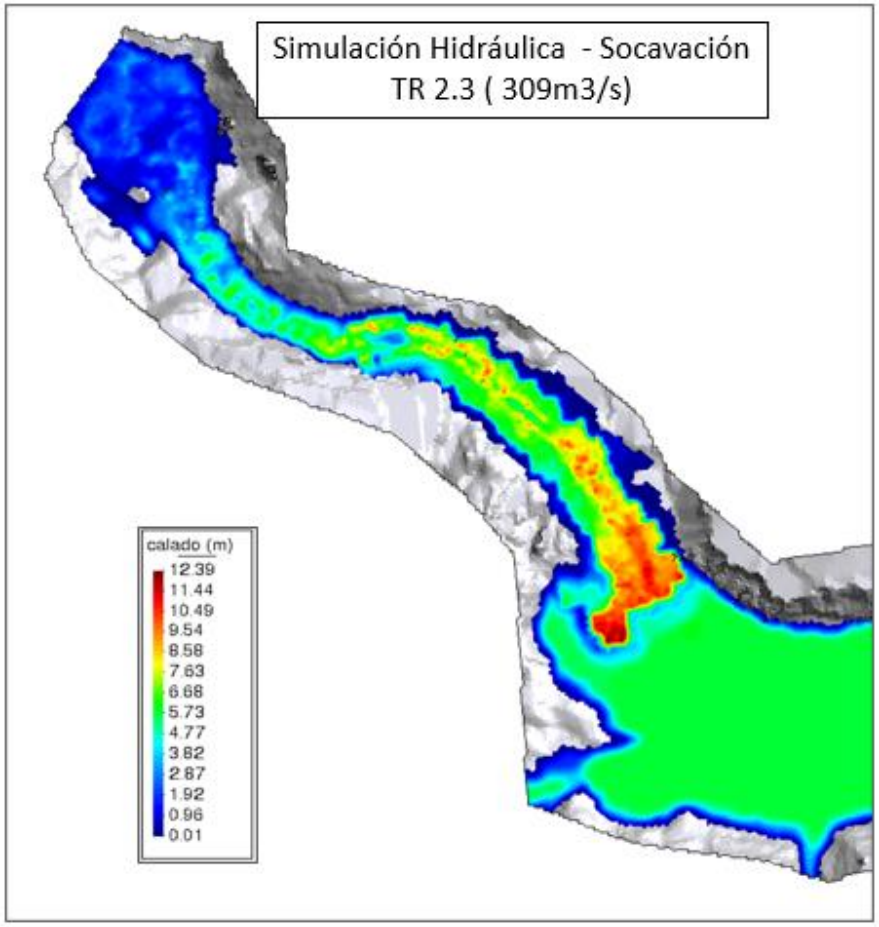


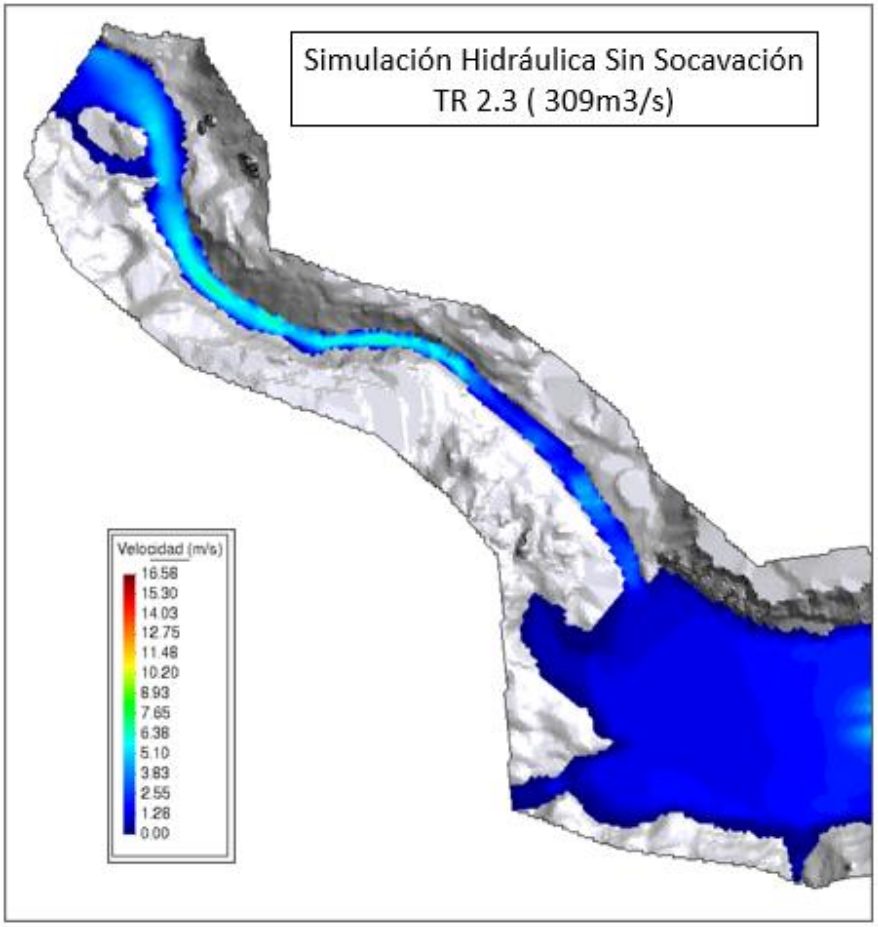

| Periodo de retorno (años) | Caudal (m3/s) |
|---|---|
| 2.3 | 308.9 |
| 10 | 537 |
| 25 | 665.3 |
| 50 | 760.2 |
| 100 | 854.1 |

# Modelamiento hidráulico

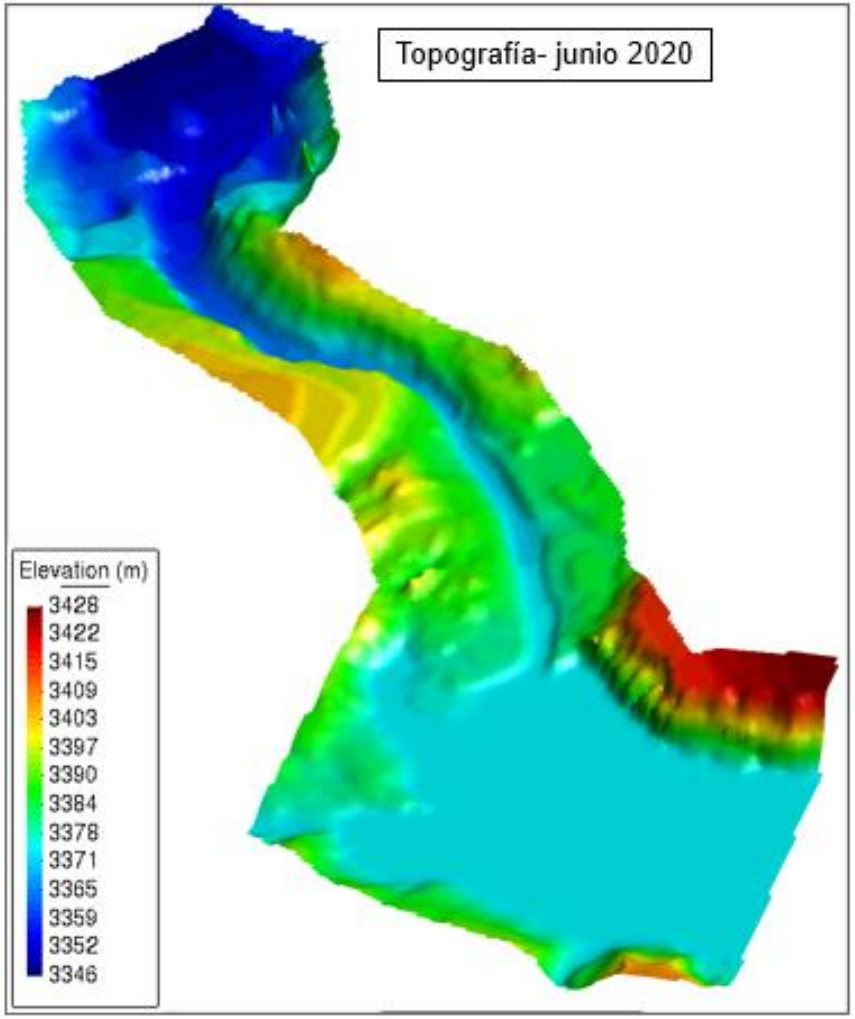
Simulación Hidráulica 2.3 años de periodo de retorno ( 309 m3/s)

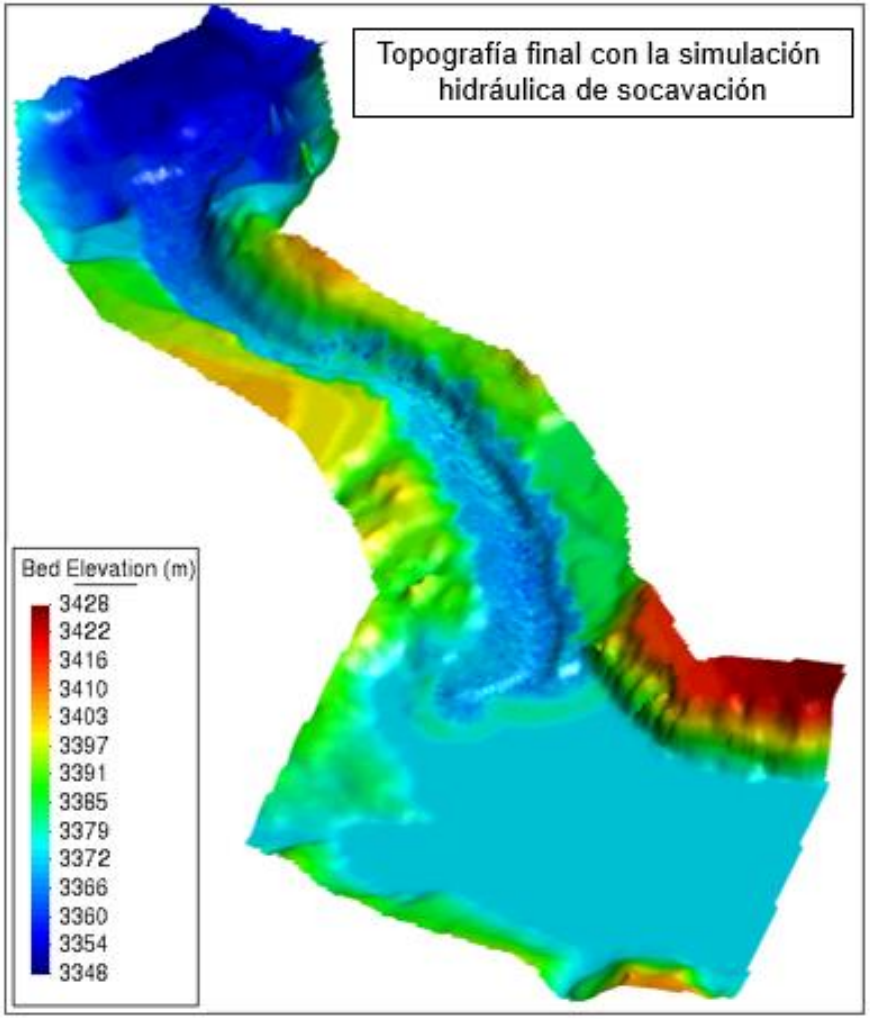
# Análisis de socavación



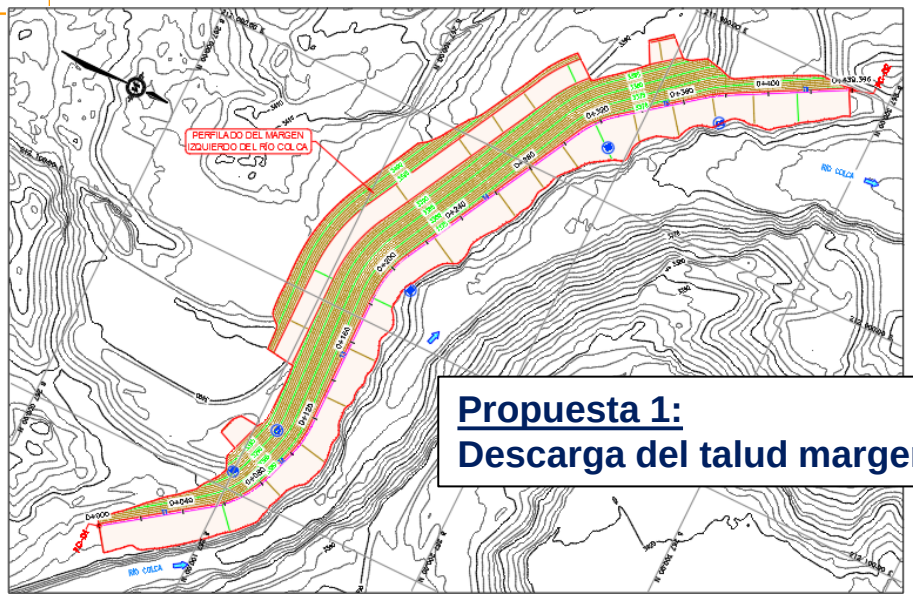



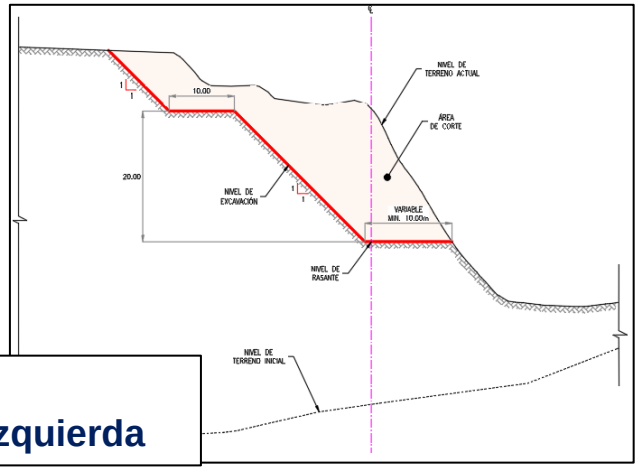
# Morfología simulada



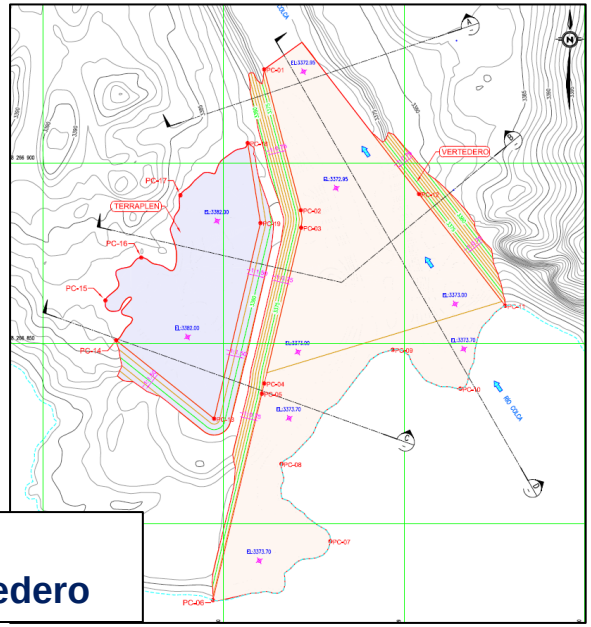



# Propuesta para el desembalse controlado




**Propuesta 1:**
**Descarga del talud margen izquierda**




**Propuesta 2:**
**Ampliación del vertedero**

# Propuesta para el desembalse controlado

**Propuesta 3:**
**Rotura presas (Estiaje)**

# Resultado

Antes del deslizamiento

Después de 24 horas del deslizamiento

Después de 5 meses del deslizamiento

Después de 1 año del deslizamiento

# Conclusiones

- Evitar que el cauce se apoye a la margen derecha del río para que la socavación no se produzca en el suelo natural. Este control se recomienda realizarse por medio de movimiento de tierras en la margen izquierda del cauce.
- Mejoramiento de la sección del vertedero del embalse, para evitar que el agua pueda salir en diversas direcciones ante el incremento del caudal.
- Construcción de diques pequeños temporales en la salida del embalse con la finalidad de elevar el nivel de agua y su posteriormente realizar la rotura para inducir al efecto de socavación en el cauce. (temporada de estiaje)

XVII CCG
I SSAG 2022
Cartagena

SCG

50 años
1971-2021

# ¡GRACIAS!

**XVII CONGRESO COLOMBIANO DE GEOTÉCNIA "EVALUACIÓN Y GESTIÓN DE RIESGOS GEOTÉCNICOS CON ÉNFASIS EN LOS EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO"**

**14 al 18 de Noviembre de 2022**

XVII CCG
I SSAG 2022
Cartagena

# DESLIZAMIENTOS SUBMARINOS EN EL CARIBE COLOMBIANO

**Darwin Mateus Tarazona**
**Geólogo / Geomecánico**
**Centro Innovación y Tecnología (ICP) Ecopetrol**
**Estudiante Doctorado Ciencias de la tierra, Universidad EAFIT (Medellín)**

Sociedad Colombiana de Geotecnia

50 años
1971-2021

# INVESTIGADORES

**Darwin C. Mateus[1,3], Jorge A. Prieto[1]. William Murphy[2], Julian Naranjo-Vesga [3], Daniel Rincon [3], Carlos Hernandez[4], Ginna M. Rincon[4], Hernan D. Madero[4], Andrea. Delgado[4]. Mateo Acuña[4], Anderson Mora Mora[4], Erik Villamizar Pedraza[4].**

**[1]Escuela de Ciencias Aplicadas e Ingeniería, Universidad EAFIT.**

**[2]School of Earth and Environment, University of Leeds, UK**

**[3] Centro de innovación y tecnología (ICP), Ecopetrol S.A**

**[4] T.I.P.Colombia.**

# CONTENIDO

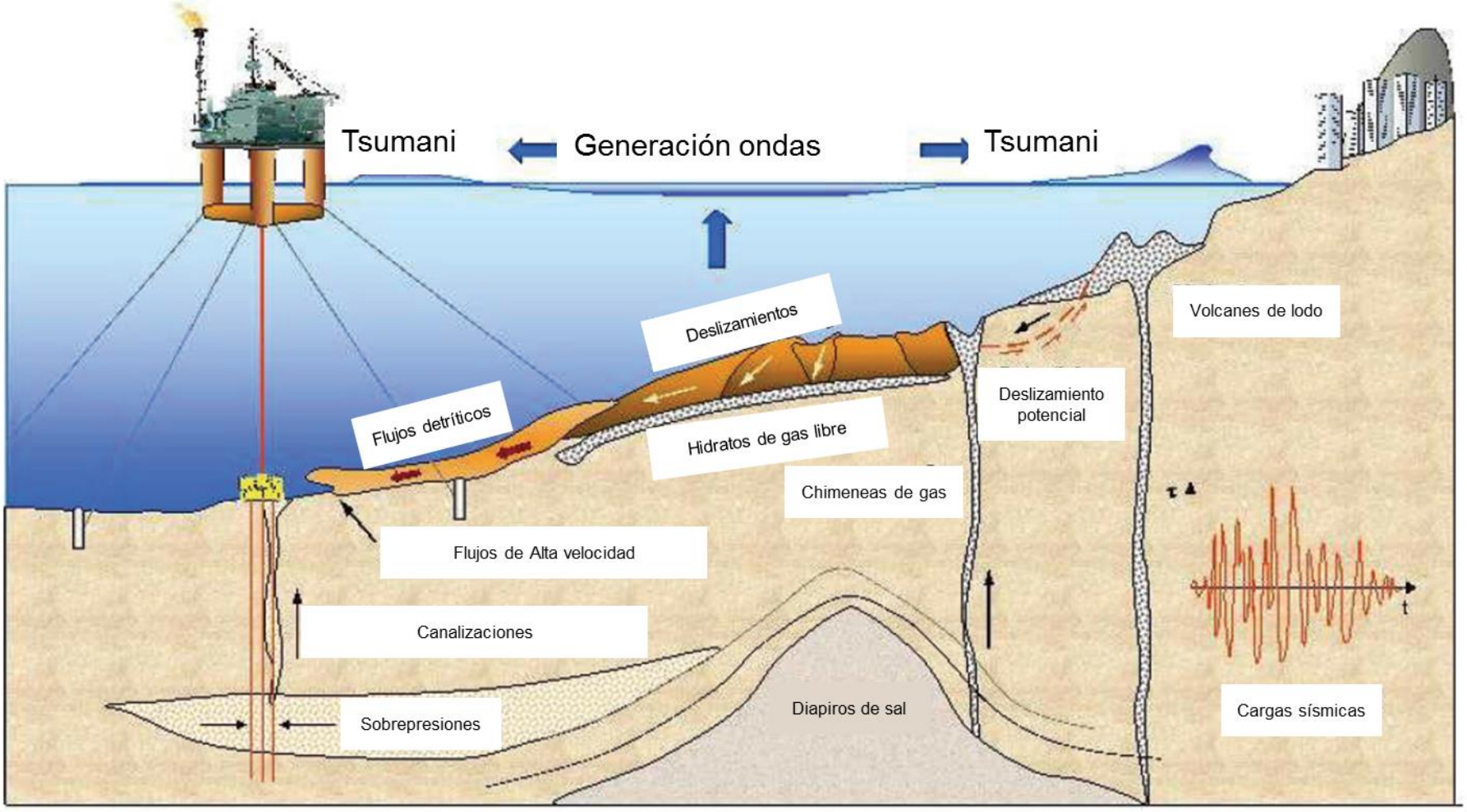
1. Contexto de la investigación
2. Introducción
3. Área de estudio
4. Metodología
5. Principales resultados
6. Conclusiones

# Contexto de la investigación

Gran potencial exploratorio del mar Caribe para la industria de hidrocarburos y energía

# Contexto de la investigación

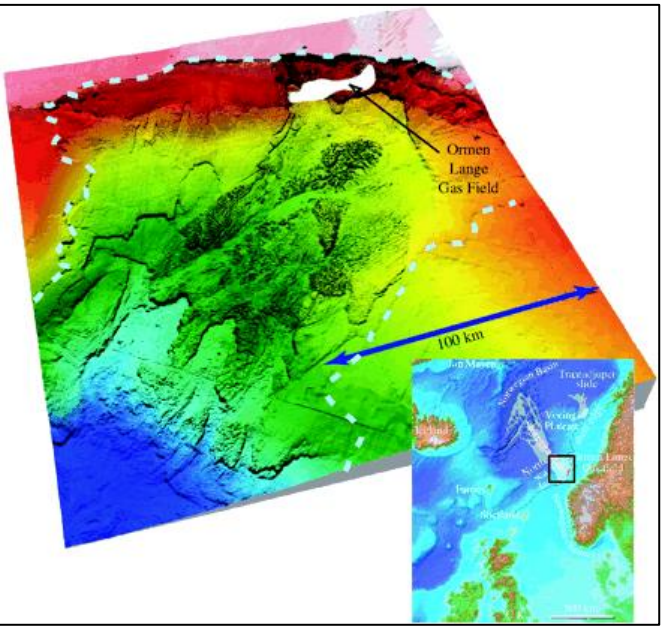
Geoamenazas de las operaciones offshore




(NGI, 2005)

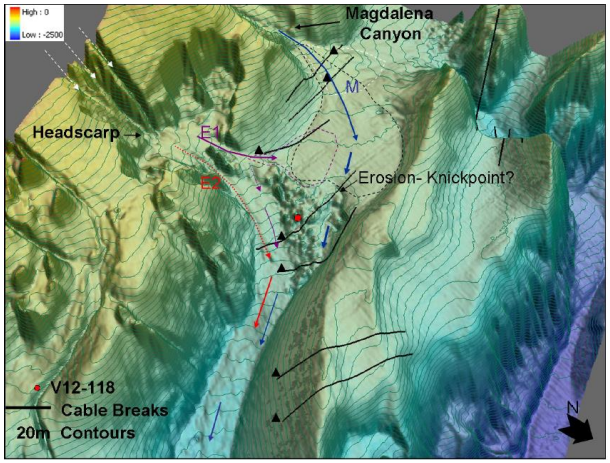
# Contexto de la investigación

**Los costos anuales a oleoductos por movimientos submarino aprox. MM US 400.** (Bull et al., 2016)



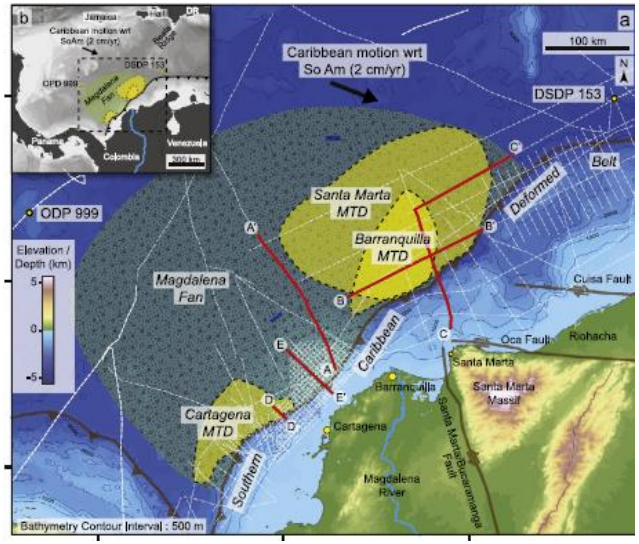

Deslizamiento submarino Storegga (Masson et at., 2006)

**Daño a la infraestructura submarina debido a movimientos en masa**




"El cable submarino fue roto 14 veces en 25 años" (1930 - 1956). (Romero, 2009)

**Potencial para nuevos deslizamientos gigantes?**



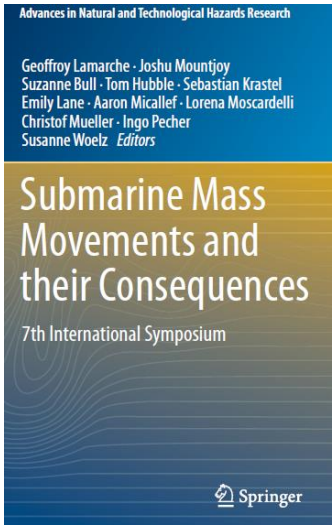

**Movimientos en masa**

1. Santa Marta MTD – SMMTD (5255 km$^3$)
2. Cartagena MTD – CMTD (1610km$^3$)
3. Barranquilla MTD – BMTD (1470 km$^3$)

(Leslie & Mann, 2016)

# Contexto de la investigación

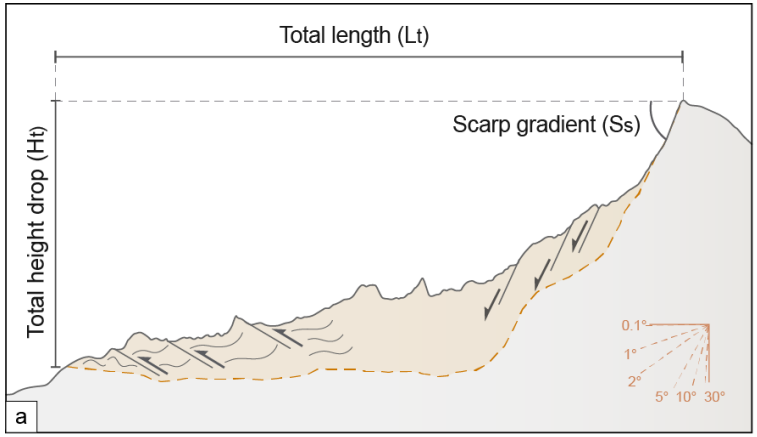
**Vacío en el conocimiento: Séptimo simposio de movimientos de masa submarinos y sus consecuencias**

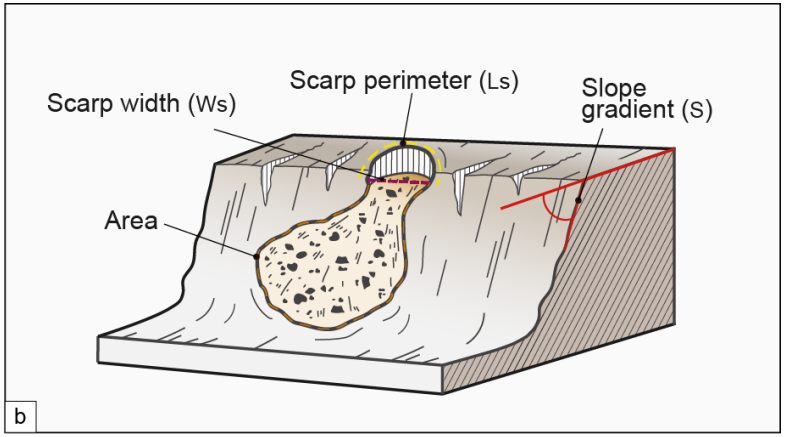


(Lamarche et al., 2016)

# Introducción

## Deslizamientos Submarinos



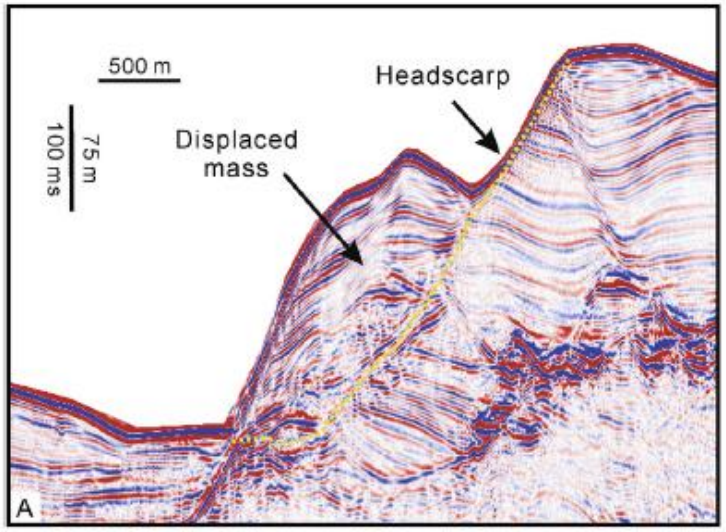

Mateus et al. (2022) sometido "the leading Edge"

## Clasificación

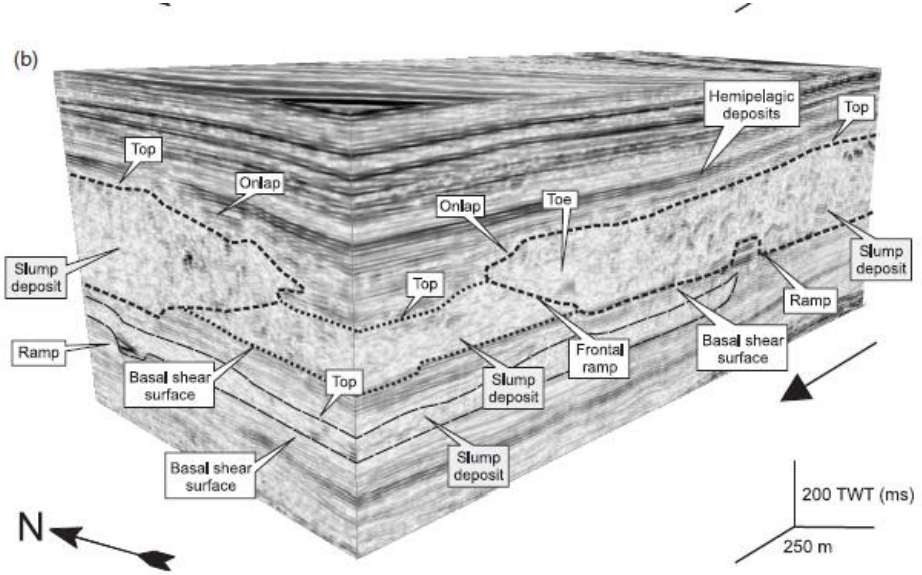
| Cinemática de la falla | Cruden and Varnes, 1996 | *Rotational, traslacional, debris flows* |
|---|---|---|
| Confinamiento lateral | Frey-Martinez et al., 2005 | *Frontally confined*<br>*Unconfined* |
| Relación con el quiebre de la plataforma continental | Moscardelli and Wood, 2008 | *Attached*<br>*Detached* |
| Deformación o desagregación del deposito. | Shanmugam, 2015 | *Slump, slides, debris flows* |
| Superposición de eventos | Hampton et al., 1996; He et al., 2014 | *Complex landslides* |

# Introducción

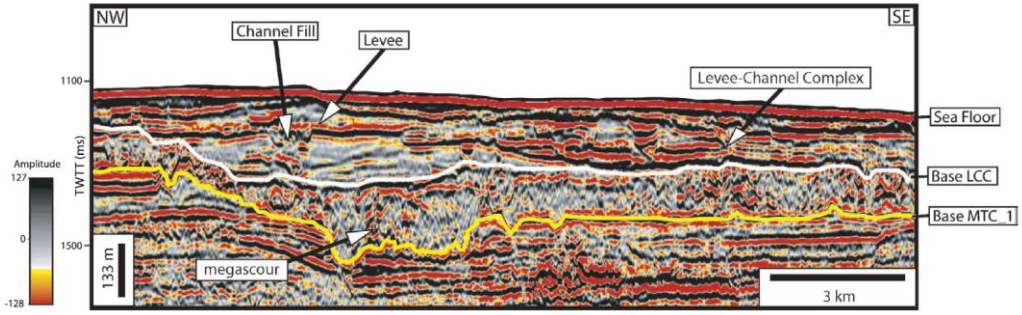
## Identificación deslizamientos submarinos con información geofísica




(He et al., 2014)



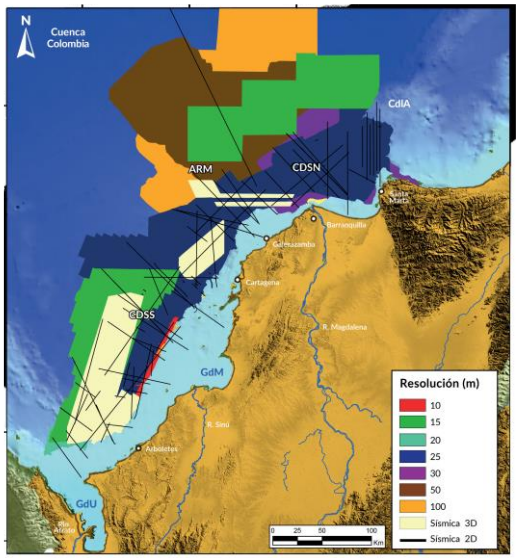

Martinez J. et al 2005



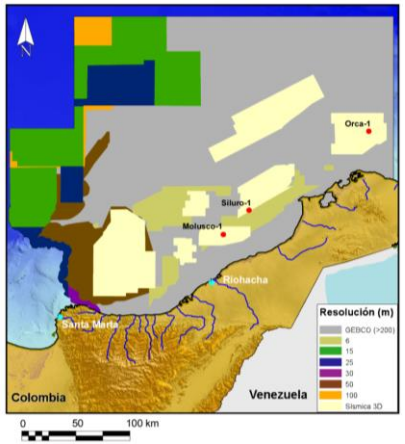

Moscardelli, et al 2006

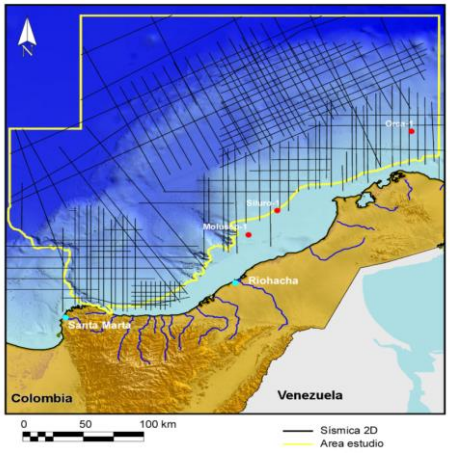
# Area de estudio - Datos

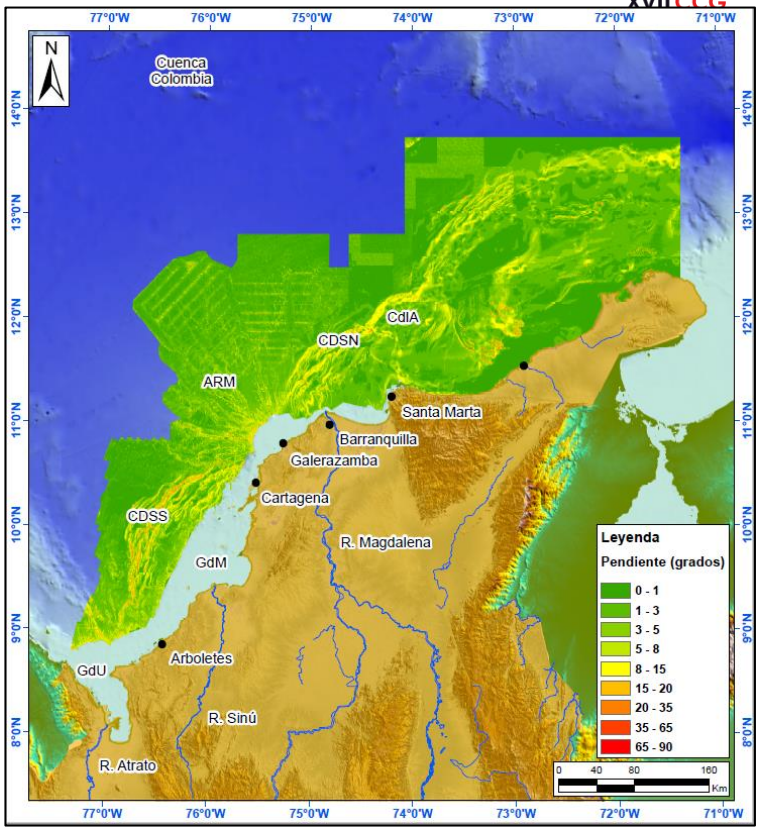
Sísmica 2D/3D – Batimetría Caribe Sur




Sísmica 3D – Batimetría Guajira



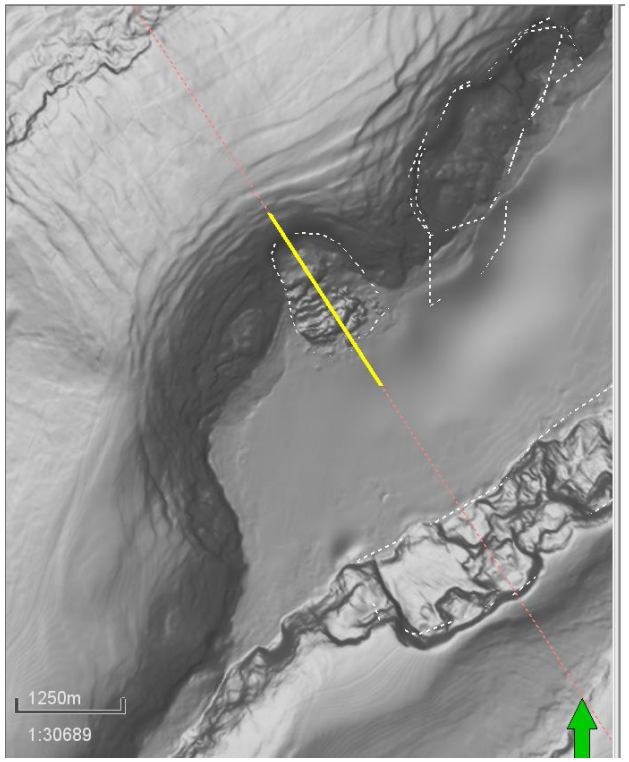



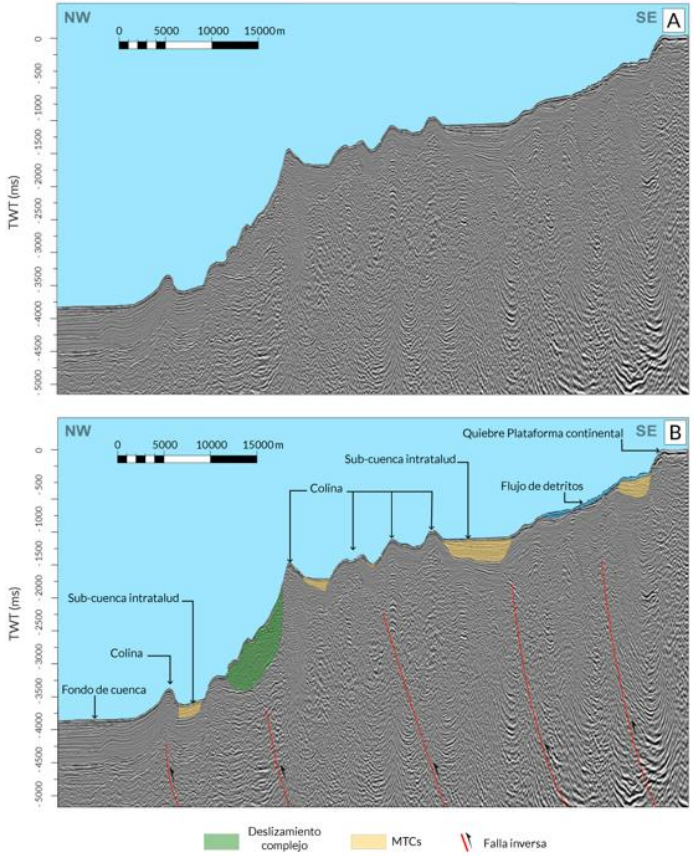

| | Información sísmica 3D | Información Batimétrica |
|---|---|---|
| ***Caribe Sur*** | 9600 Km$^2$ | 131000 Km$^2$ |
| ***Guajira offshore*** | 9100 Km$^2$ | 65000 Km$^2$ |
| Total | 18700 Km$^2$ | 196000 Km$^2$ |

# Metodología

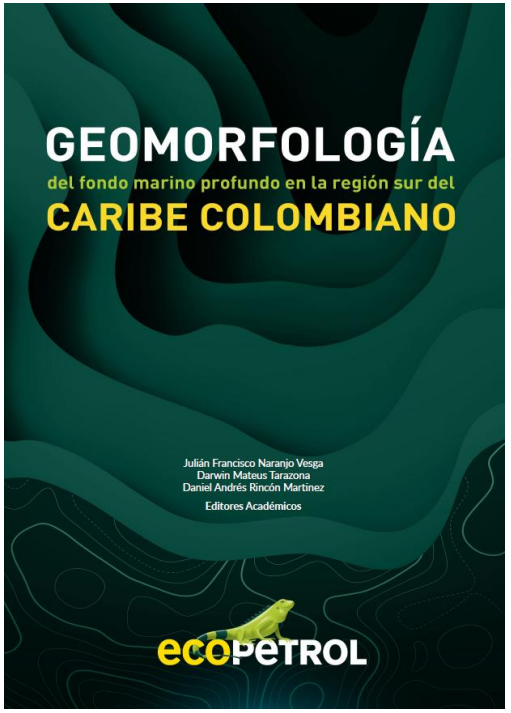
## Interpretación Batimetría




## Interpretación del subsuelo



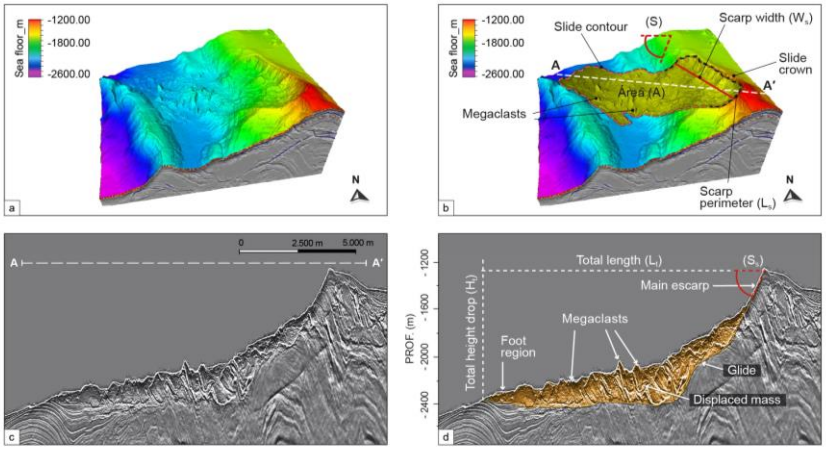

Rincón-Martínez et al. (2021)



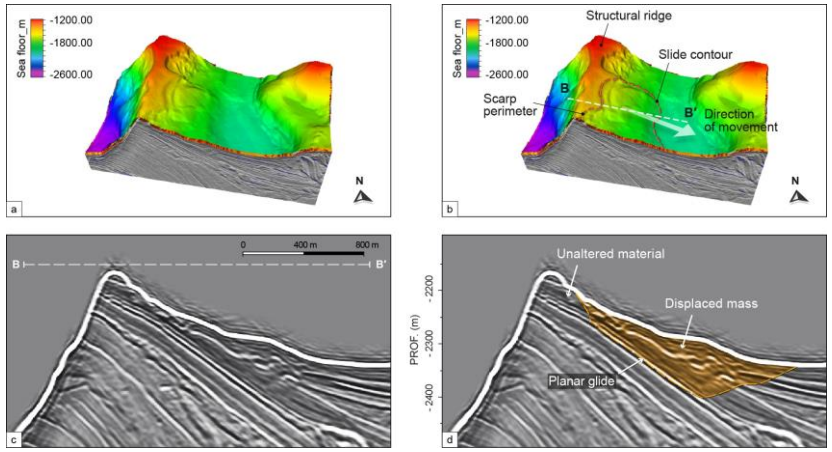

*https://www.researchgate.net/publication/353885934_Geomorfologia_del_fondo_marino_profundo_en_la_region_sur_del_Caribe_Colombiano#fullTextFileContent*.

# Principales Resultados

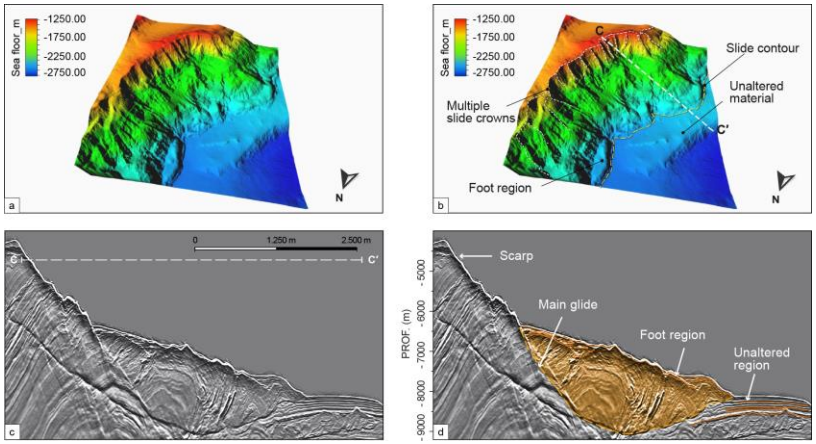
## Deslizamientos Rotacionales



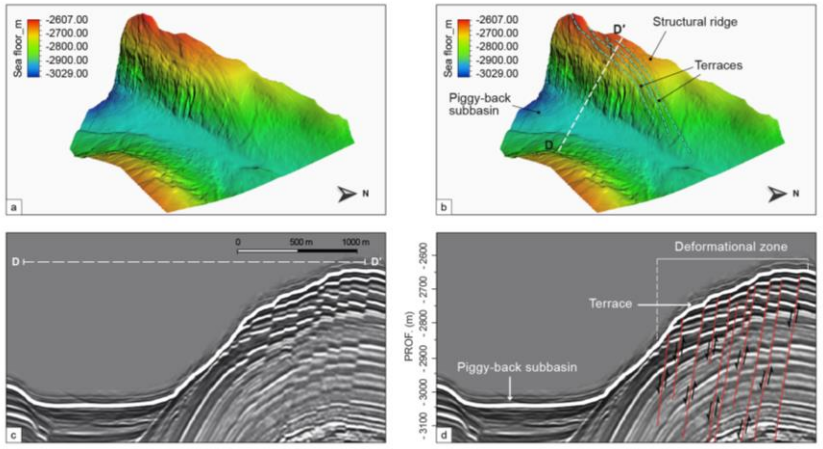

## Deslizamientos Traslacionales




## Deslizamientos complejos



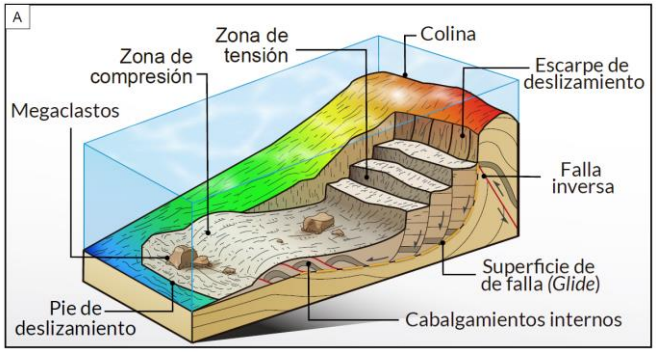

## Zonas de deformación



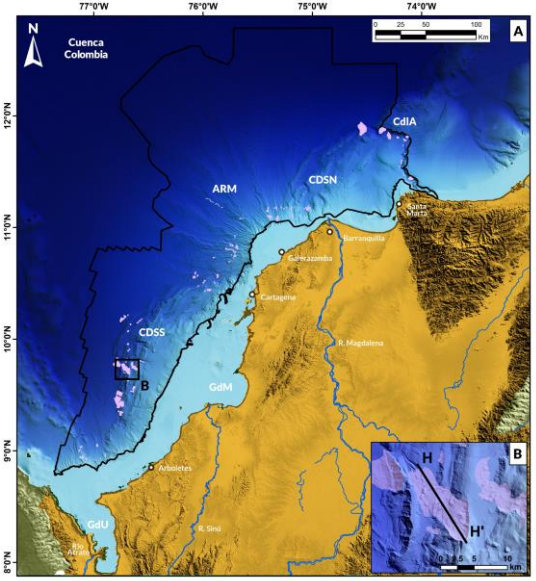

Mateus et al. (2021) “the leading Edge”

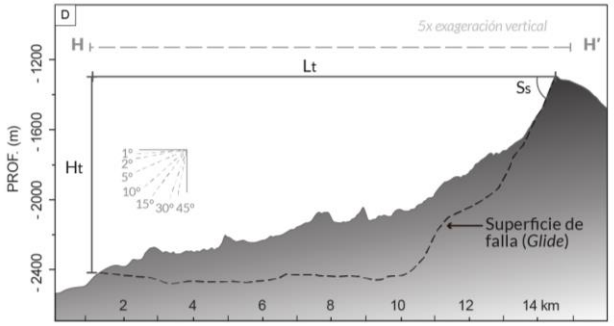
# Principales Resultados

## Deslizamientos Rotacionales



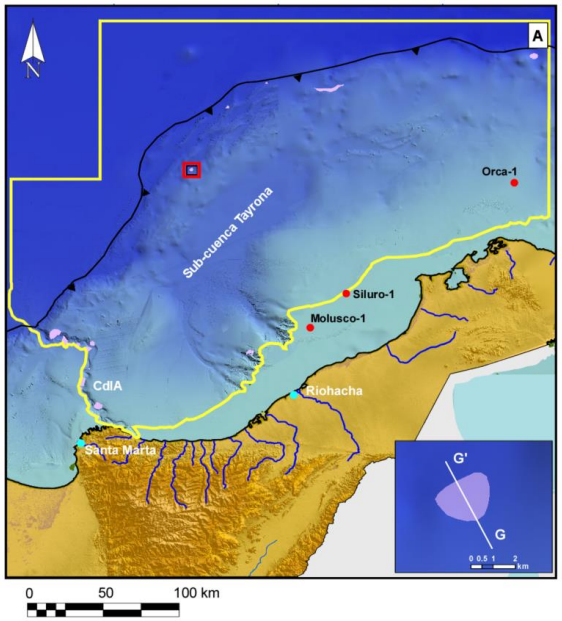

## Caribe Sur

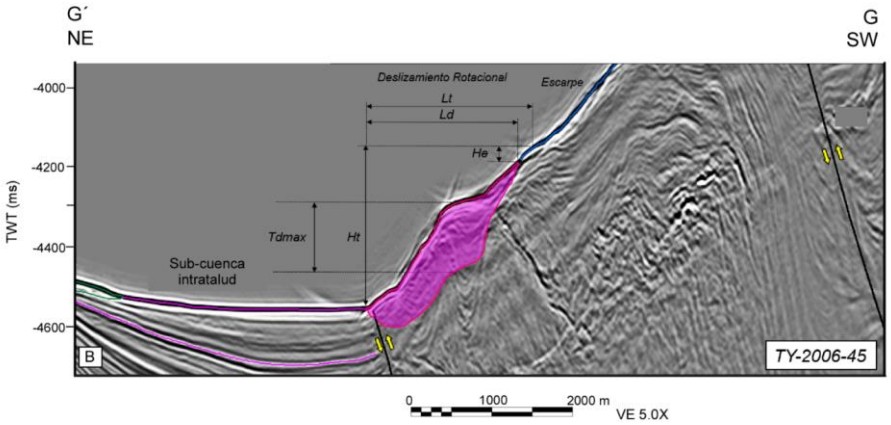


Rincón-Martínez et al. (2021)

## Guajira offshore

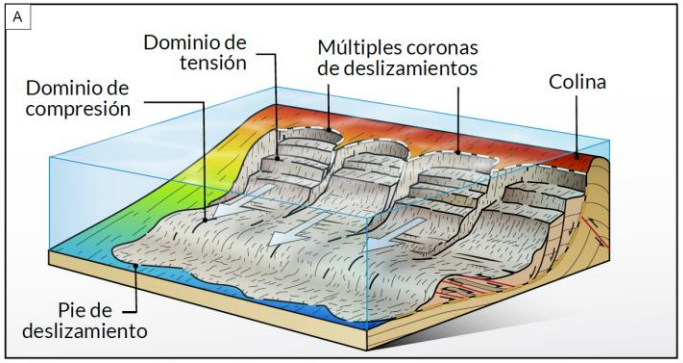


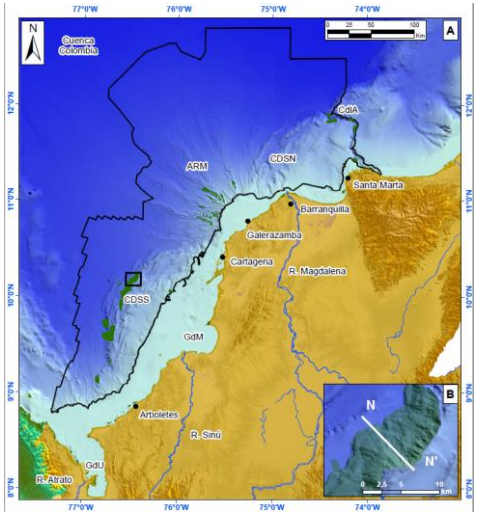

SUBMARINOS OLOMBIANO

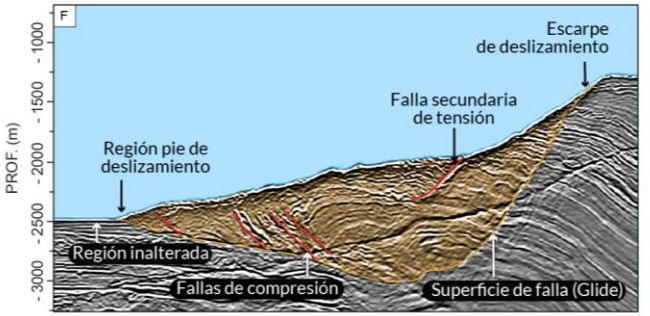
# Principales Resultados

## Deslizamientos Complejos



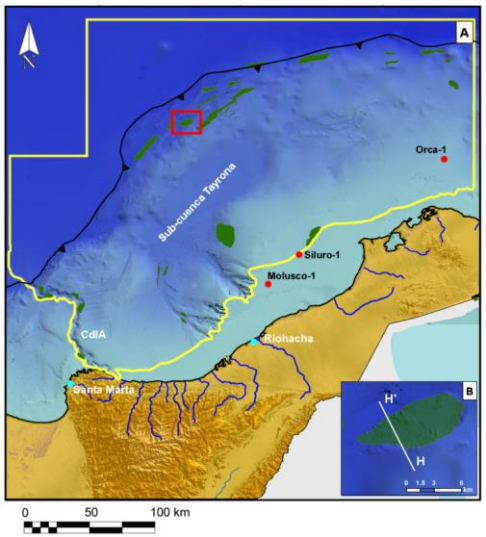

## Caribe Sur

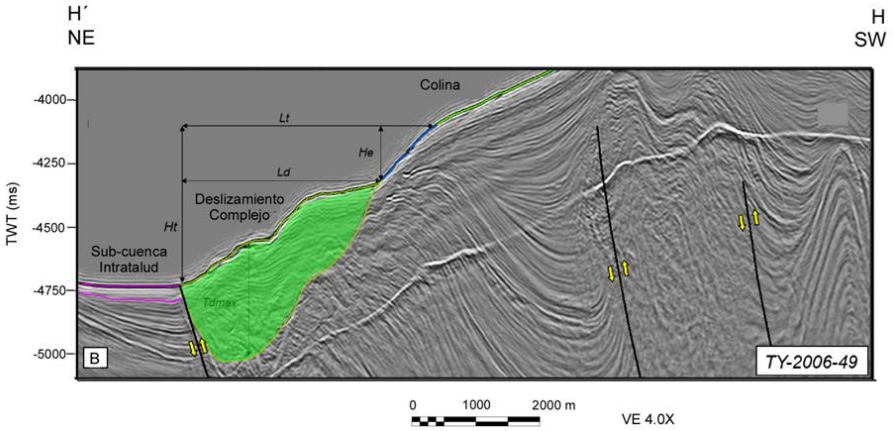



Rincón-Martínez et al. (2021)

## Guajira offshore



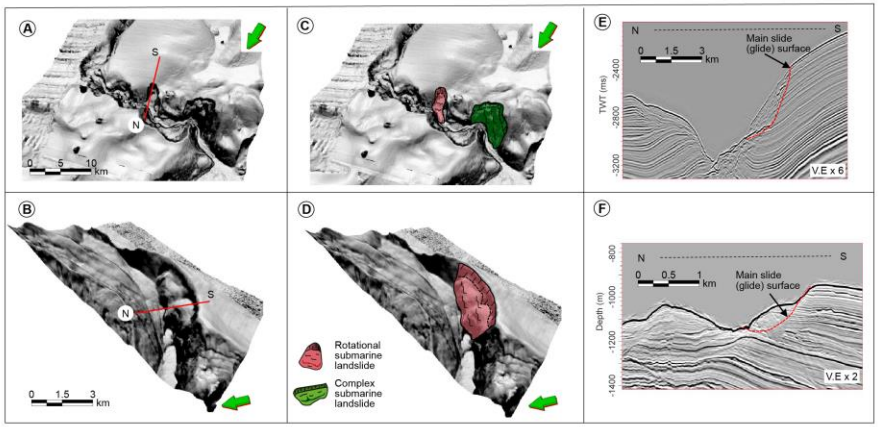




DESLIZAMIENTOS SUBMARINOS
EN EL CARIBE COLOMBIANO

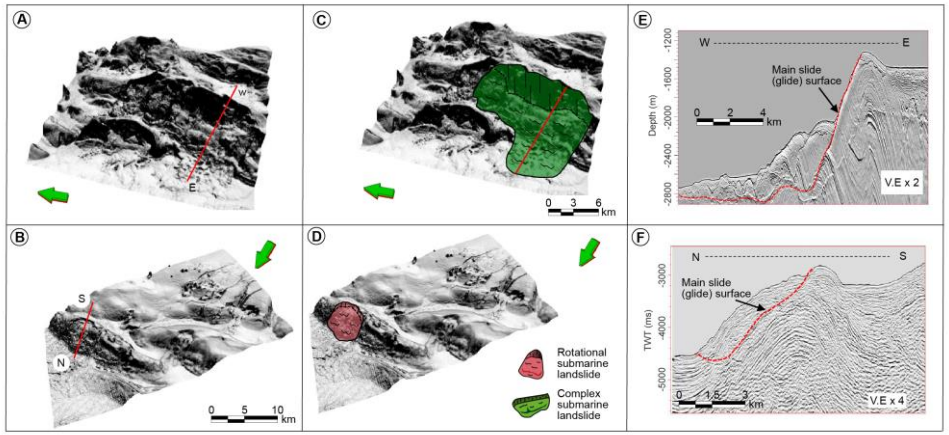
# Principales Resultados

## Relación entre deslizamientos y la morfología del fondo marino

### Deslizamientos en cañones submarinos

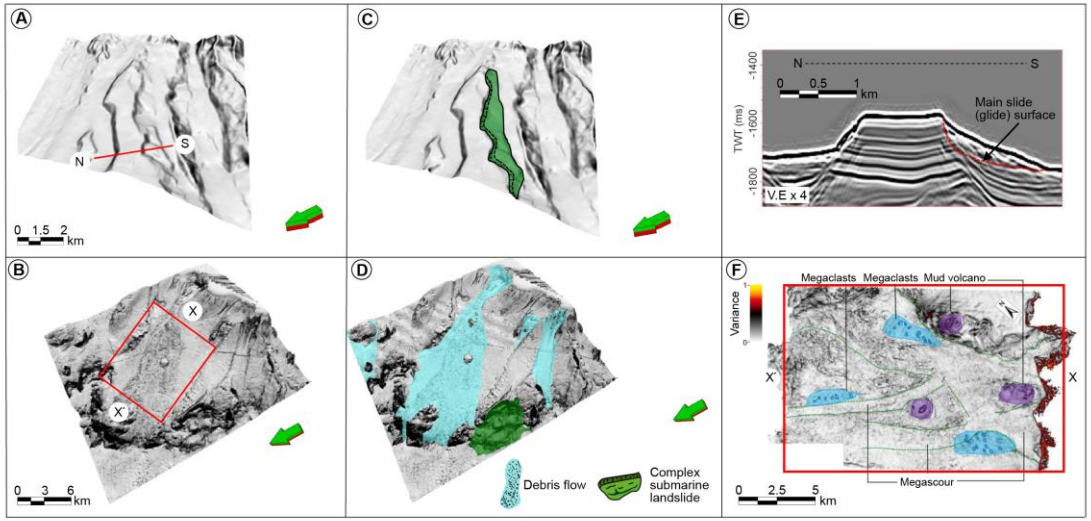



### Deslizamientos en estructuras de compresion




### Deslizamientos en sistemas canal-dique

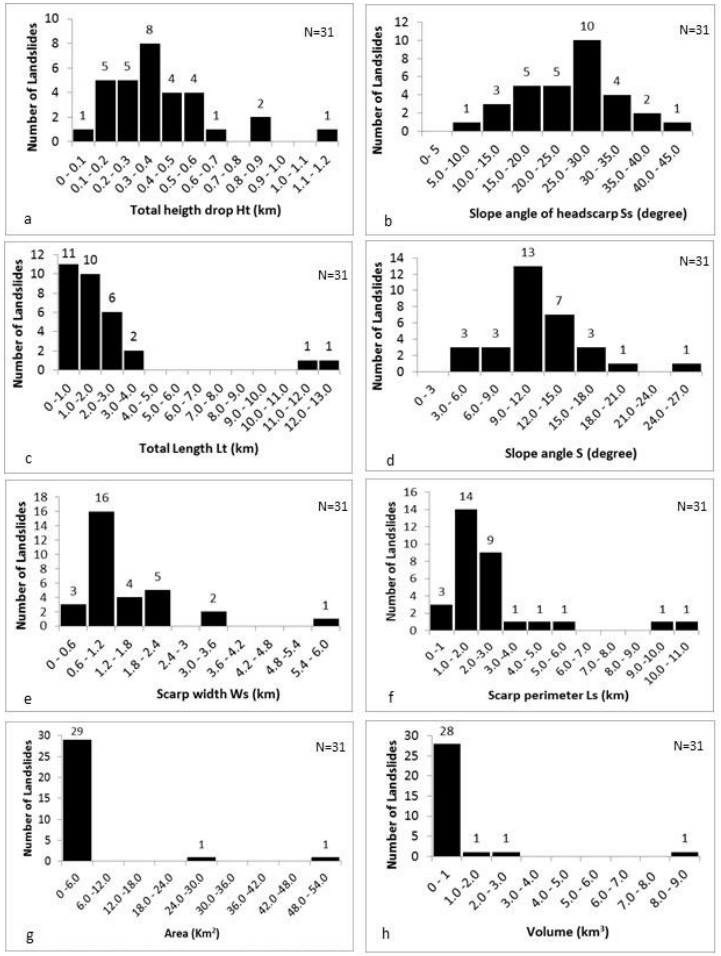
### Deslizamientos en el quiebre del talud continental

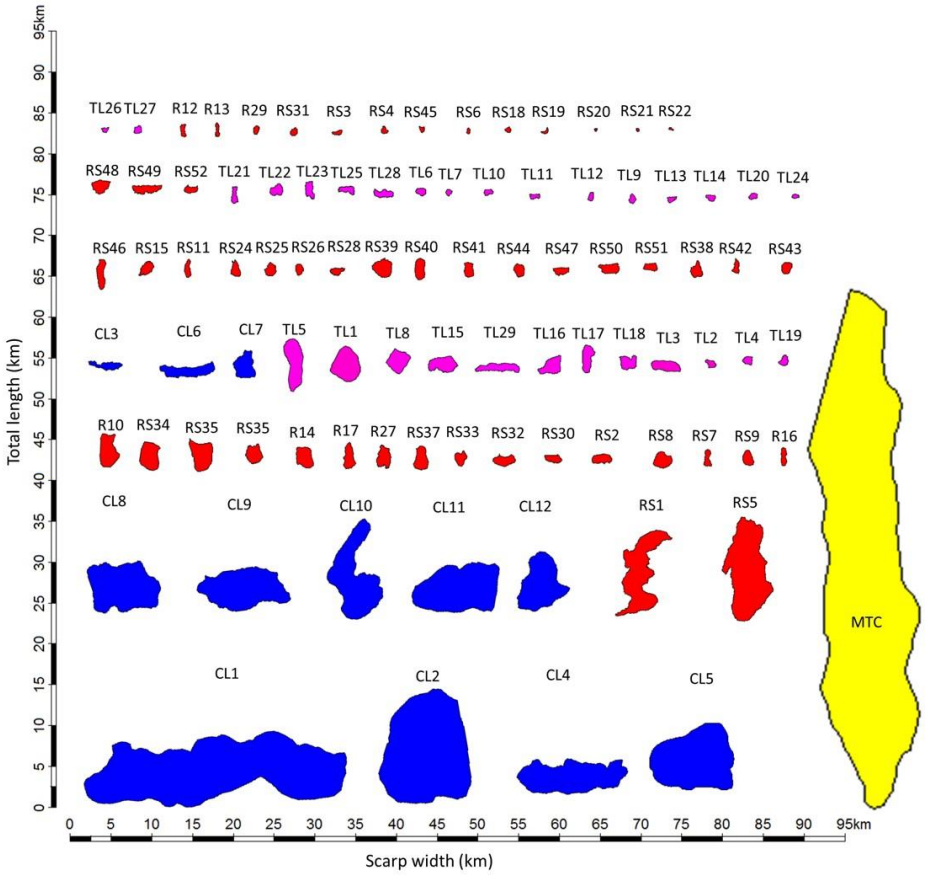



Mateus et al. (2022) sometido “the leading Edge”

# Principales Resultados

## Comparación entre dimensiones de deslizamientos submarinos y complejos de transporte en masa en el caribe sur (MTCs)

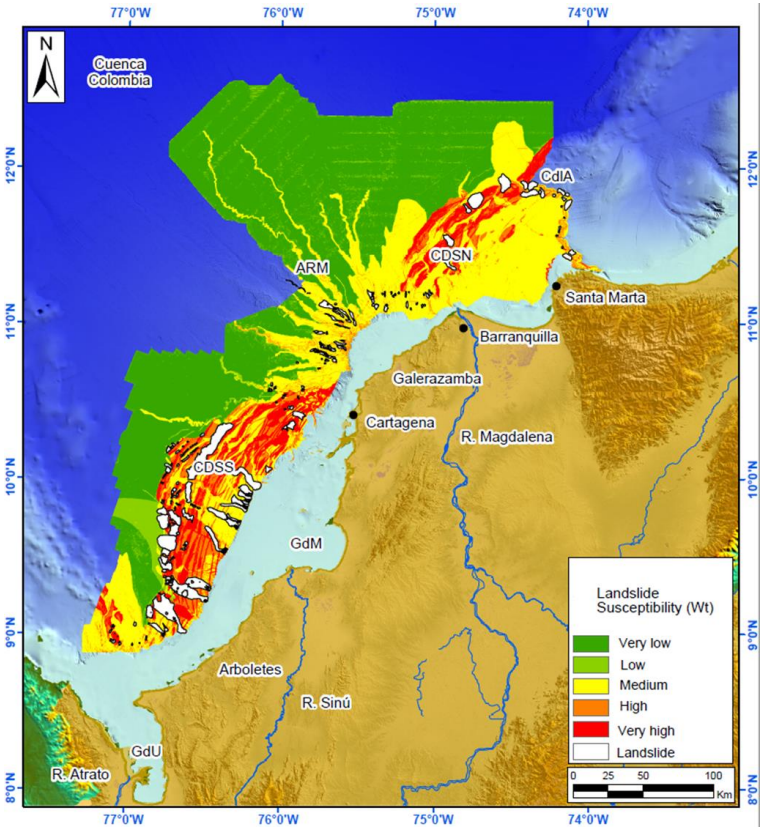



Mateus et al. (2021)

# Principales Resultados

## Mapa de susceptibilidad a Deslizamientos en el caribe Sur



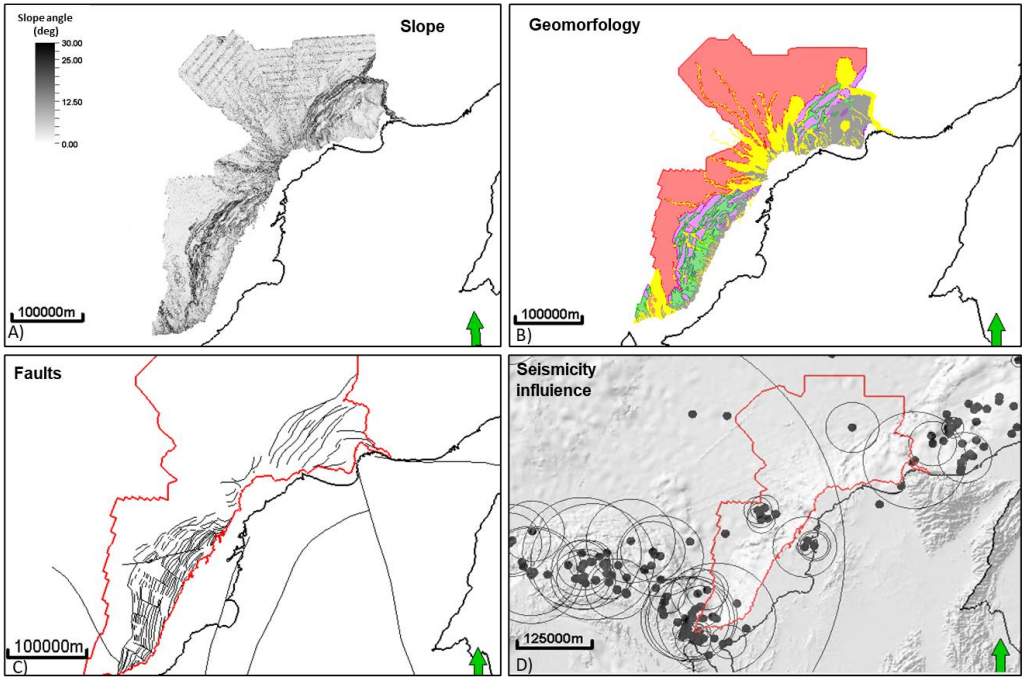

***Niveles de zonificación***

***Nivel 1*** = Escala regional (1:250000 - 1:25000)

***Nivel 2*** = Escala local (1:25000 - 1:5000)

***Nivel 3*** = zonificación especifica (1:5000 - 1:1000)

*(Rapolla et al., 2012)*



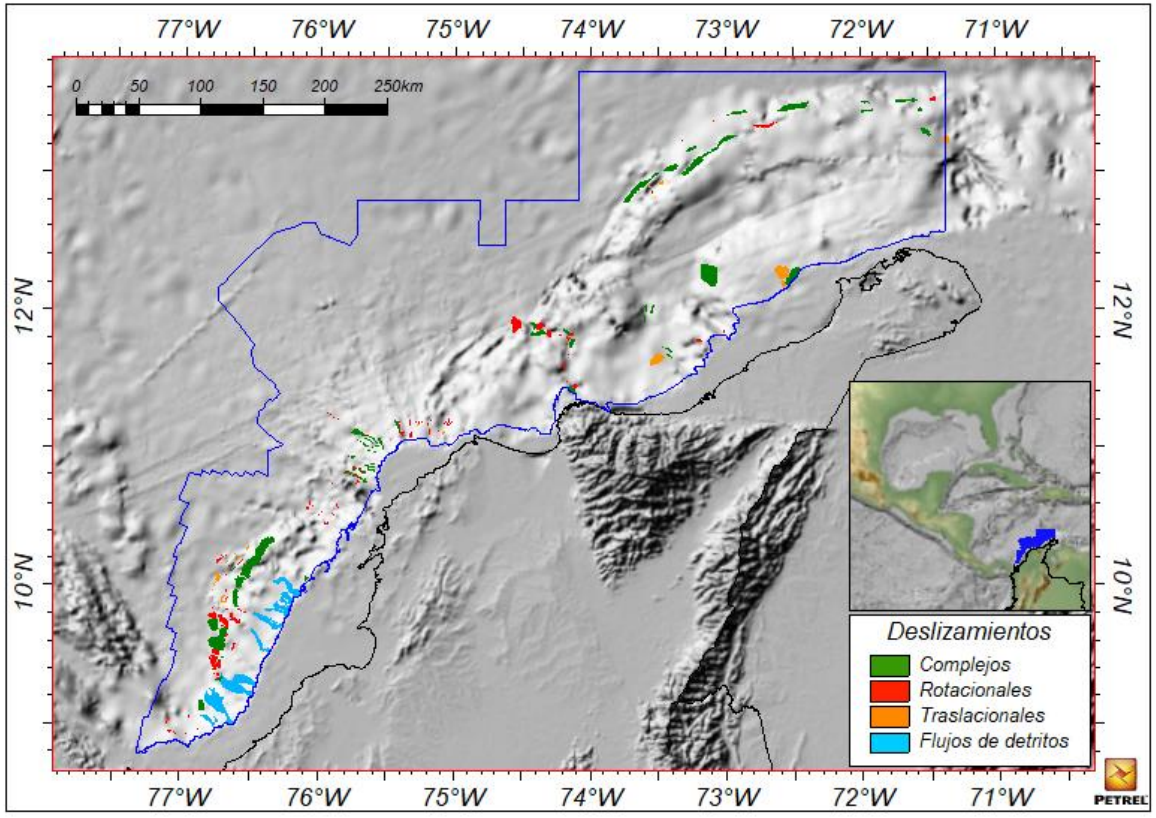

Mateus et al. (2022) sometido "the leading Edge"

$$Wi = Ln\left[\frac{Densclass}{Densmap}\right] = Ln\left[\frac{\frac{Landslide\ area\ in\ a\ Class\ (i)}{Total\ area\ of\ Class\ (i)}}{\frac{Total\ landslide\ area\ in\ the\ study\ zone}{Total\ area\ of\ the\ study\ zone}}\right]$$

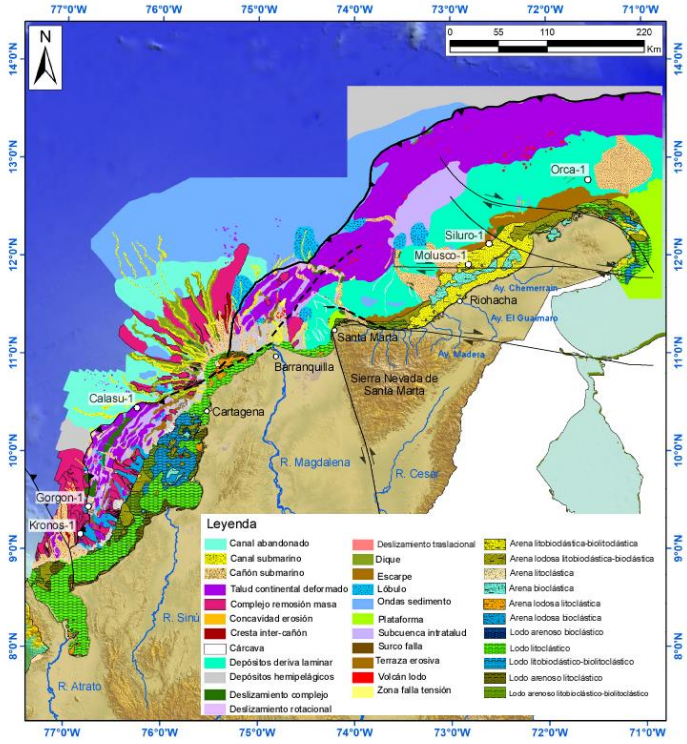
Westen (1997)

# Principales Resultados

## Identificación de principales deslizamientos submarinos en el Caribe Colombiano




## Primer mapa geomorfológico regional del fondo marino del Caribe colombiano



# Publicaciones

## Identification of submarine landslides in the Colombian Caribbean Margin (Southern Sinú Fold Belt) using seismic investigations

Check for updates

Darwin Mateus Tarazona[1,2], Jorge Alonso Prieto[3], William Murphy[4], and Julian Naranjo Vesga[1]

https://doi.org/10.1190/tle40120914.1

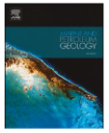
914 The Leading Edge December 2021 Special Section: Latin America

Marine and Petroleum Geology 121 (2020) 104639

Contents lists available at ScienceDirect

Marine and Petroleum Geology

journal homepage: www.elsevier.com/locate/marpetgeo



Research paper

### Regional controls in the distribution and morphometry of deep-water gravitational deposits along a convergent tectonic margin. Southern Caribbean of Colombia

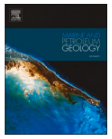
J. Naranjo-Vesga [a,b,*], A. Ortiz-Karpf [a], L. Wood [c], Z. Jobe [c], J.F. Paniagua-Arroyave [b,d], L. Shumaker [c], D. Mateus-Tarazona [a,b], P. Galindo [a]

Marine and Petroleum Geology 137 (2022) 105493

Contents lists available at ScienceDirect

Marine and Petroleum Geology

journal homepage: www.elsevier.com/locate/marpetgeo



### Controls on submarine canyon morphology along a convergent tectonic margin. The Southern Caribbean of Colombia

J. Naranjo-Vesga [a,b,*], J.F. Paniagua-Arroyave [b,d], A. Ortiz-Karpf [a], Z. Jobe [c], L. Wood [c], P. Galindo [a], L. Shumaker [c], D. Mateus-Tarazona [a,b]

## GEOMORFOLOGÍA del fondo marino profundo en la región sur del CARIBE COLOMBIANO

Daniel Andrés Rincón-Martínez[1] 0000-0002-5684-2130
Julián Francisco Naranjo-Vesga[2] 0000-0002-9725-8280
Darwin Mateus-Tarazona[3] 0000-0002-6078-0657
Carlos Andrés Hernández-Muñoz[4] 0000-0002-8503-655X
Hernán Darío Madero-Pinzón[5] 0000-0002-5797-3511
Julián David De Bedout-Ordoñez[6] 0000-0001-8718-9392
Andrea Ortíz-Karpf[7] 0000-0003-3972-5546
Fabio Enrique Malagón-Rojas[8] 0000-0002-0566-2674
Christian Osorio-Cabrera[9] 0000-0003-1163-6744

https://www.researchgate.net/publication/353885934_Geomorfologia_del_fondo_marino_profundo_en_la_region_sur_del_Caribe_Colombiano

*Physical Modelling in Geotechnics*
© 2022 KOREAN GEOTECHNICAL SOCIETY (KGS), Seoul, Korea, ISBN 978-89-952197-7-5

### Sequential submarine landslides: A study on a centrifuge planar setup

A. Jara, O. Polania, M. Cabrera, B. Caicedo & N. Estrada
*Department of Civil and Environmental Engineering, Universidad de los Andes, Colombia*

D. Mateus, J. Naranjo-Vesga & D. Rincón
*Centro de Innovación y Tecnología - ICP, Ecopetrol S.A., Colombia*

# Referencias


- Lamarche, G., J. Mountjoy, S. Bull, T. Hubble, S. Krastel, E. Lane, A. Micallef, L. Moscardelli, C. Mueller, I. Pecher, and S. Woelz, 2016, Submarine mass movements and their consequences: progress and challenges, in G. Lamarche, G., J. Mountjoy, S. Bull, T. Hubble, S. Krastel, E. Lane, A. Micallef, L. Moscardelli, C. Mueller, I. Pecher, and S. Woelz, eds., Submarine mass movements and their consequences – 7th International Symposium: Springer, 41,1-13.
- Leslie, S.C., Mann, P., 2016. Giant submarine landslides on the Colombian margin and tsunami risk in the Caribbean Sea. Earth Planet. Sci. Lett. 449, 382–394. https://doi.org/10.1016/j.epsl.2016.05.040
- NGI. (2005). Offshore geohazards, 2(Summary Report), 72.
- Masson, D.., Harbitz, C.., Wynn, R.., Pedersen, G., Løvholt, F., 2006. Submarine landslides: processes, triggers and hazard prediction. Philos. Trans. R. Soc. A Math. Phys. Eng. Sci. 364, 2009–2039. https://doi.org/10.1098/rsta.2006.1810.
- Martinez, J. F., & Hall, B. (2005). 3D seismic interpretation of slump complexes : examples from the continental margin of Israel, 83–108. https://doi.org/10.1111/j.1365-2117.2005.00255.x
- Mateus Tarazona, D., Prieto J. A., Murphy, W., Naranjo Vesga, J. Identification of submarine landslides in the Colombian Caribbean Margin (Southern Sinú Fold Belt) using seismic investigations. The Leading Edge 2021;; 40 (12): 914–922. doi: https://doi.org/10.1190/tle40120914.1
- Moscardelli, L., Wood, L., & Mann, P. (2006). Mass-transport complexes and associated processes in the offshore area of Trinidad and Venezuela, 7(7), 1059–1088. https://doi.org/10.1306/02210605052.
- Naranjo-Vesga, J., Ortiz-Karpf, A., Wood, L., Jobe, Z., Paniagua-Arroyave, J.F., Shumaker, L., Mateus-Tarazona, D., Galindo, P., 2020. Regional controls in the distribution and morphometry of deep-water gravitational deposits along a convergent tectonic margin. Southern caribbean of Colombia. Mar. Pet. Geol. 121, 1–30. https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2020.104639
- Rincón, D. A., J. F. Naranjo, D. Mateus Tarazona, C. A. Hernández, H. D. Madero, J. De Bedout, A. Ortiz-Karpf, F. E. Malagón and C. O. Cabrera, 2021, Geomorfología del fondo marino profundo en la región sur del Caribe Colombiano: Instituto Colombiano del Petróleo, https://doi.org/10.29047/9789589287361.
- Romero-Otero, G. A., 2009, Deepwater sedimentary processes in anactive margin, Magdalena submarine fan, offshore Colombia: PhD Thesis, University of Oklahoma.
- Shanmugam, G., & Wang, Y. (2015). The landslide problem. Journal of Palaeogeography, 4(2), 109–166. https://doi.org/10.3724/SP.J.1261.2015.00071

XVII CCG
I SSAG 2022
Cartagena

SCG

50 años
1971-2021

# ¡GRACIAS!

**¿Preguntas?**

@correodecontacto

XVII CONGRESO COLOMBIANO DE GEOTÉCNIA "EVALUACIÓN Y GESTIÓN DE RIESGOS GEOTÉCNICOS CON ÉNFASIS EN LOS EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO"

14 al 18 de Noviembre de 2022

# ENFOQUE SISTÉMICO EN LA SELECCIÓN DE OBRAS DE MITIGACIÓN ANTE FLUJO DE DETRITOS

**WEIMAR GARCIA MELO**
**Profesor Asistente**
**Universidad Escuela Colombiana de Ingeniería**

Sociedad Colombiana de Geotecnia

50 años
1971-2021

# CONTENIDO

1. ¿QUÉ ES UN SISTEMA?
2. FLUJOS DE DETRITOS
3. OBRAS DE MITIGACIÓN
4. QUEBRADA ESTAQUECÁ
5. ENFOQUE SISTÉMICO EN LA CUENCA
6. EVALUACIÓN DEL SISTEMA
7. CONCLUSIONES

# ¿QUÉ ES UN SISTEMA?

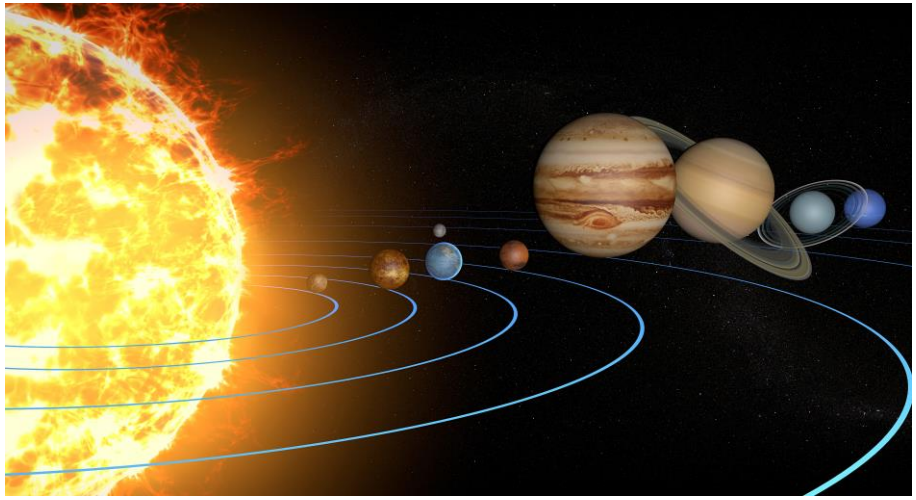
Conjunto de **objetos, entidades materiales o subsistemas** entre las cuales existe una **conexión o interacción** para producir un todo complejo, el cual no se puede explicar como la suma de las partes.

- Sistema abierto es un sistema que recibe flujos (energía y materia) de su entorno.

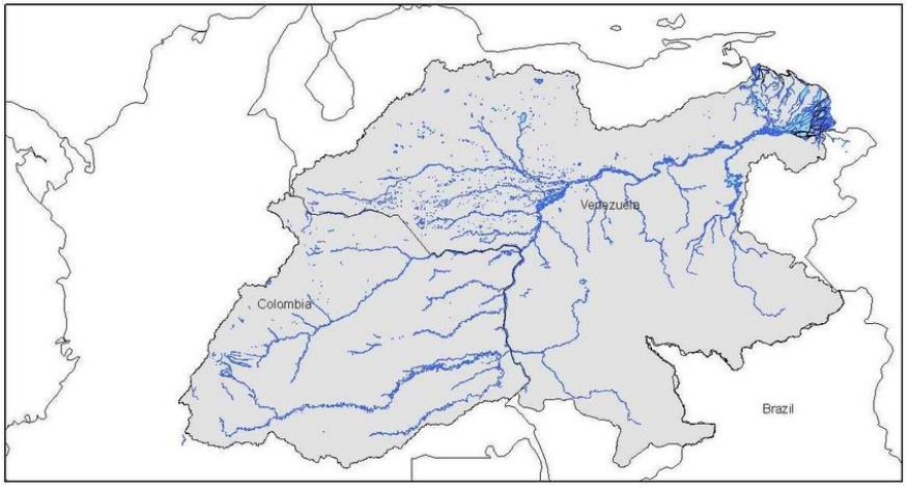
- Sistema cerrado sólo intercambia energía con su entorno.

- Sistema aislado no tiene ningún intercambio con el entorno.

# SISTEMAS



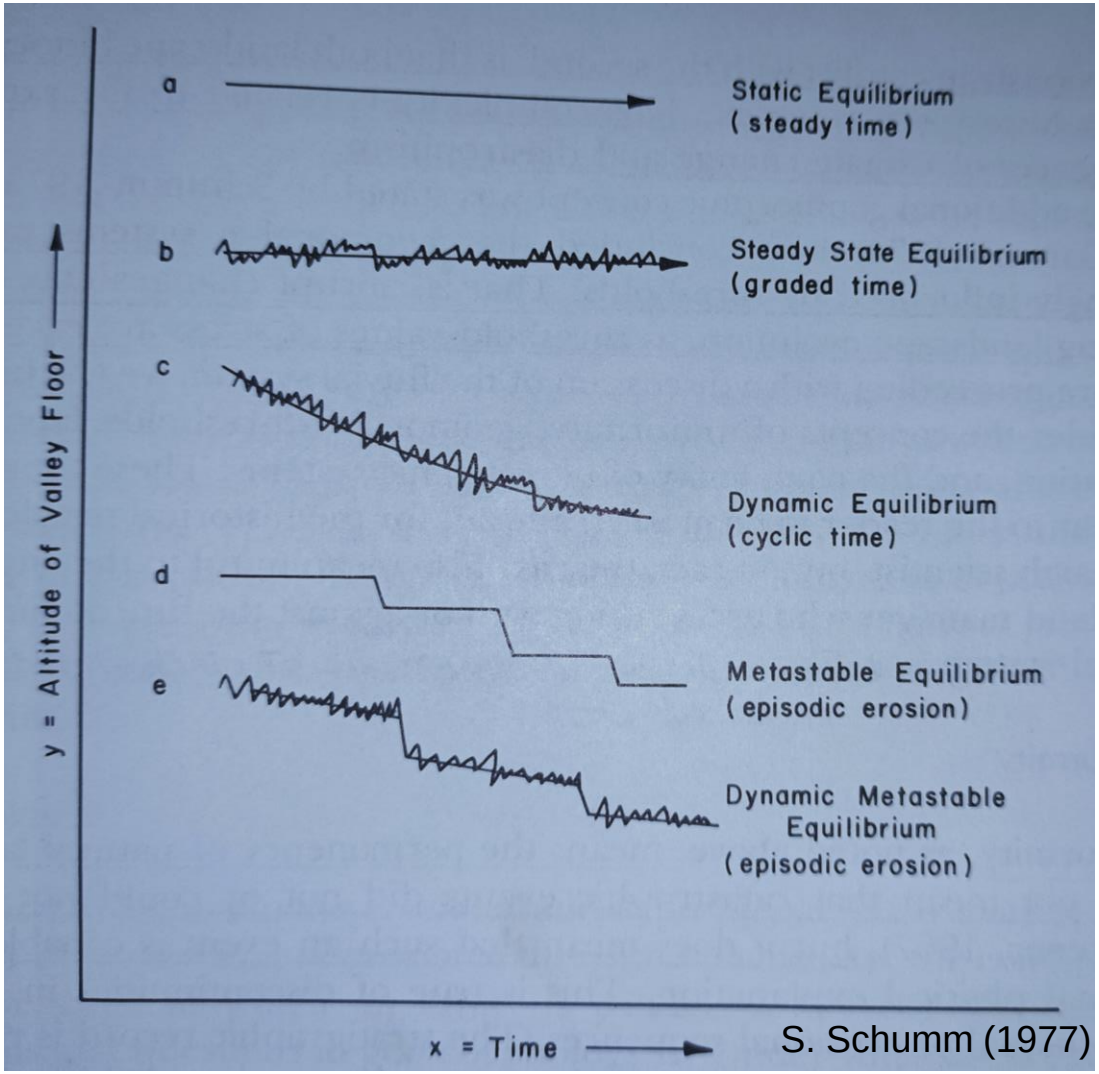
Sistema Solar




C. Cadena (2009)

**ALTA COMPLEJIDAD**

# SISTEMA: Equilibrio




S. Schumm (1977)

**Equilibrio metaestable**: una combinación de equilibrio estable e inestable, excepto que la variable se asienta en un nuevo valor solo después de haber cruzado algún valor umbral; de lo contrario, vuelve al valor original.

# FLUJOS DE DETRITOS

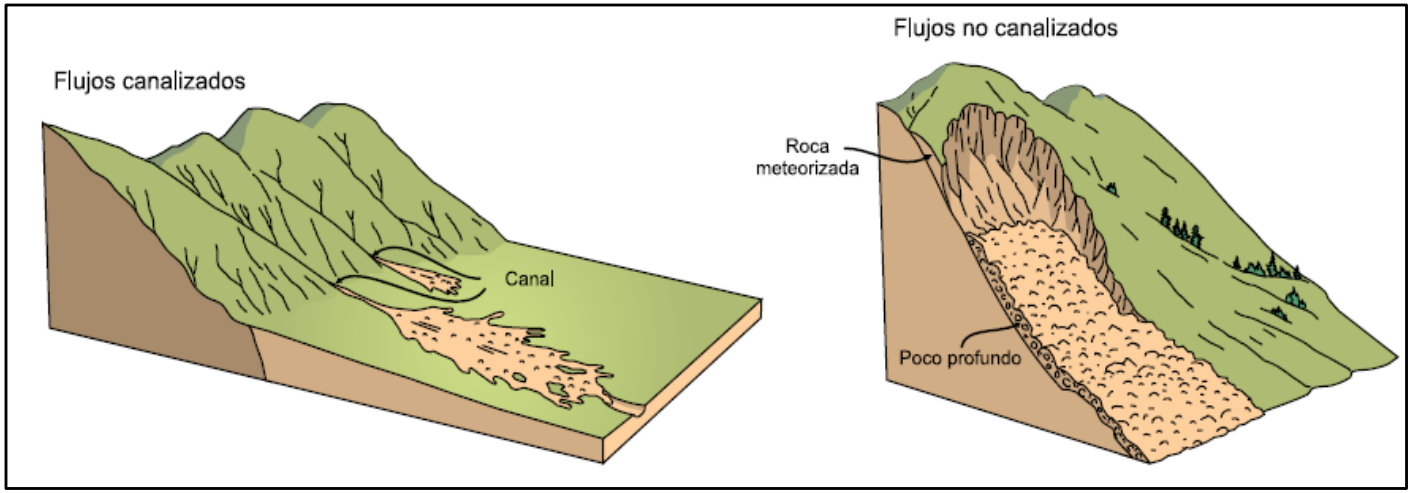


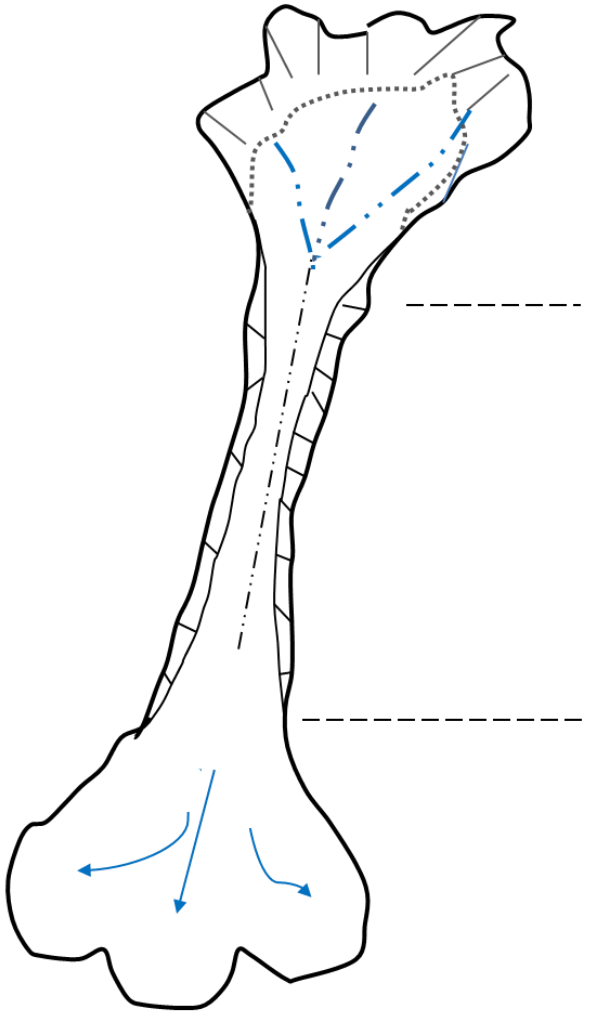

**Figura 1 Esquemas de flujos canalizados y no canalizados según Cruden y Varnes, 1996.**

*Fuente: (Movimientos en masa en la región andina, 2007).*

Son procesos de remoción en masa con velocidades muy rápidas a extremadamente rápidas de mezclas saturadas de detritos rocosos, suelos licuados finos y gruesos (residuales y/o transportados y, en ocasiones, acumulaciones y botaderos artificiales de suelos, biomasa y rocas) y biomasa, que se inician en la parte alta de las cuencas hidrográficas y transcurren a lo largo de cauces o superficies abiertas de pendiente elevada (≥ 10°).

Es típico su depósito en forma de conos o abanicos en zonas de la ladera de menor pendiente. Estos flujos son el resultado de una serie de pulsos, separados por flujos de creciente que alcanzan velocidades en el rango de 1.0 m/s a 1.2 km/min, lo cual los hace muy peligrosos [2].

# OBRAS DE MITIGACIÓN



PROCESOS PREDOMINANTES

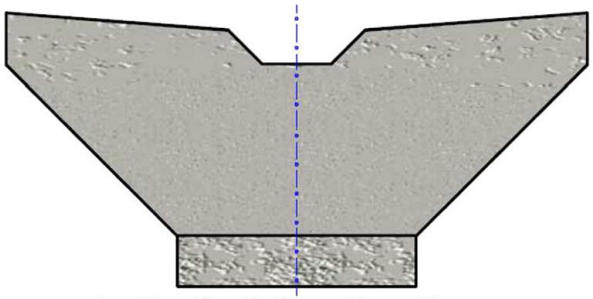
ZONA A: Zona de fuente de materiales por erosión, caídas y deslizamientos.

ZONA B: Zona de "flujo canalizado" de transporte de materiales, encauzados por quebradas y cañadas. Ocurre incorporación de nuevos materiales del fondo del cauce y de las márgenes, por arrastre hidráulico y por deslizamientos y flujos inducidos en éstos.

ZONA C: Zona de sedimentación o depósito de los materiales acarreados por las quebradas. Son áreas planas o de pendiente moderada; en el caso bajo estudio sería aguas abajo de la carretera.

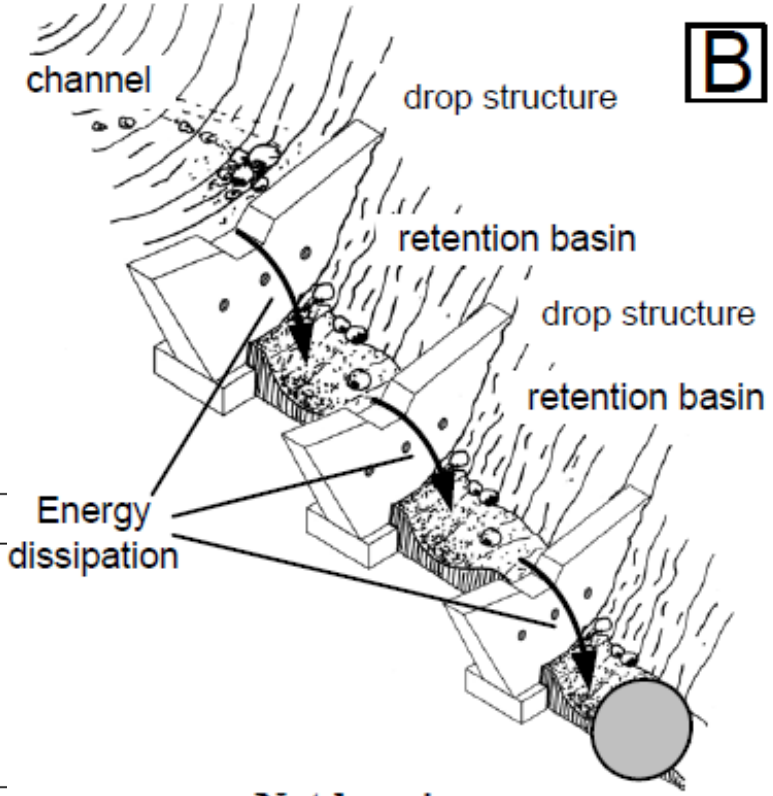
| OBRAS |
| --- |
| Drenaje, bioingeniería y obras de estabilización de laderas |
| Protección marginal, fijación de fondo y retención de sedimentos |
| Reubicación de estructuras, canalización o redireccionamiento de los flujos, obras de paso. |

# OBRAS DE MITIGACIÓN

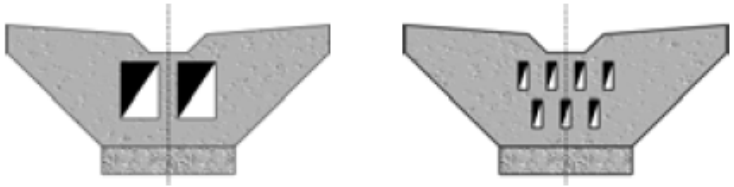


*i) Solid body dam*

B




**Slot barriers**



Large slot barrier

Small slot barrier

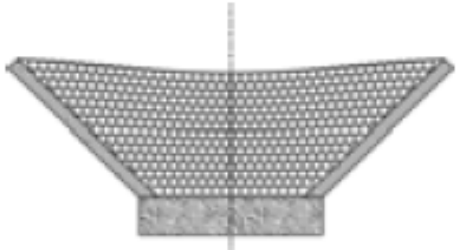
**Slit barriers**

Slit barrier with vertical slits

Slit barrier with horizontal slits

Gap-crested slit barrier with vertical slits

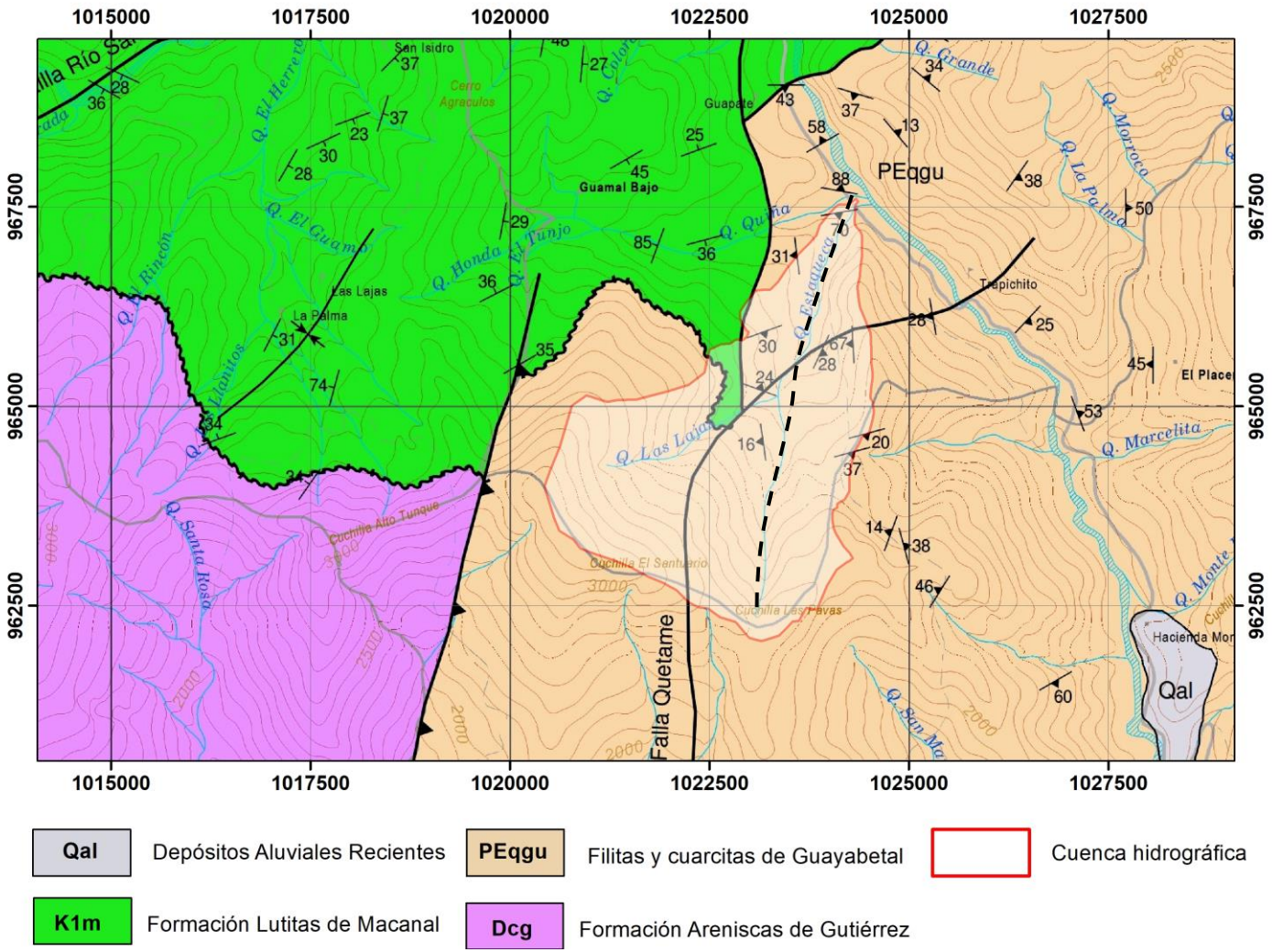
**Net barriers**



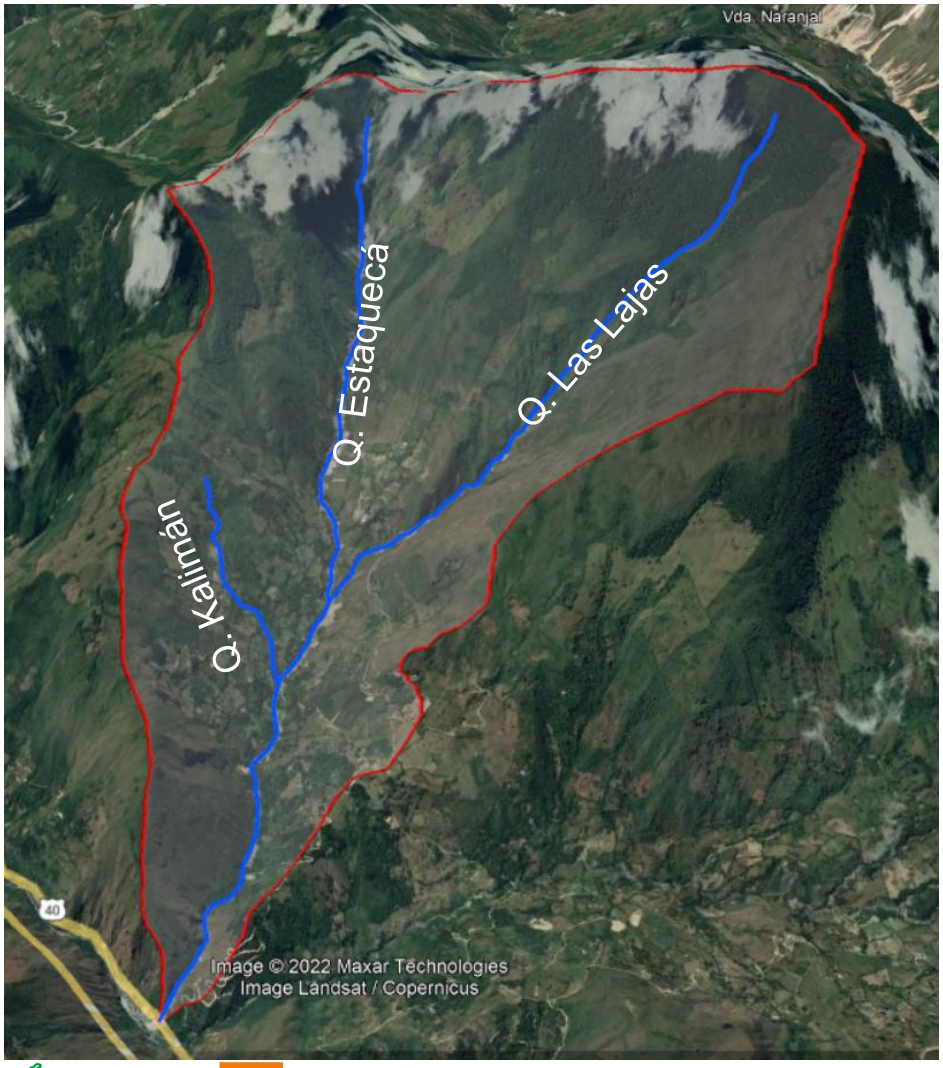
# QUEBRADA ESTAQUECÁ

| Fecha | Afectación |
|---|---|
| julio de 1997 | Avalancha con la rotura de gasoducto |
| julio de1998, | Afectación en la vía |
| julio de 2010 | |
| agosto de 2018 | |
| julio de 2019 | |
| agosto de 2021 | |

# QUEBRADA ESTAQUECÁ



# QUEBRADA ESTAQUECÁ




El régimen de lluvias es monomodal, con periodos altos entre junio y agosto.

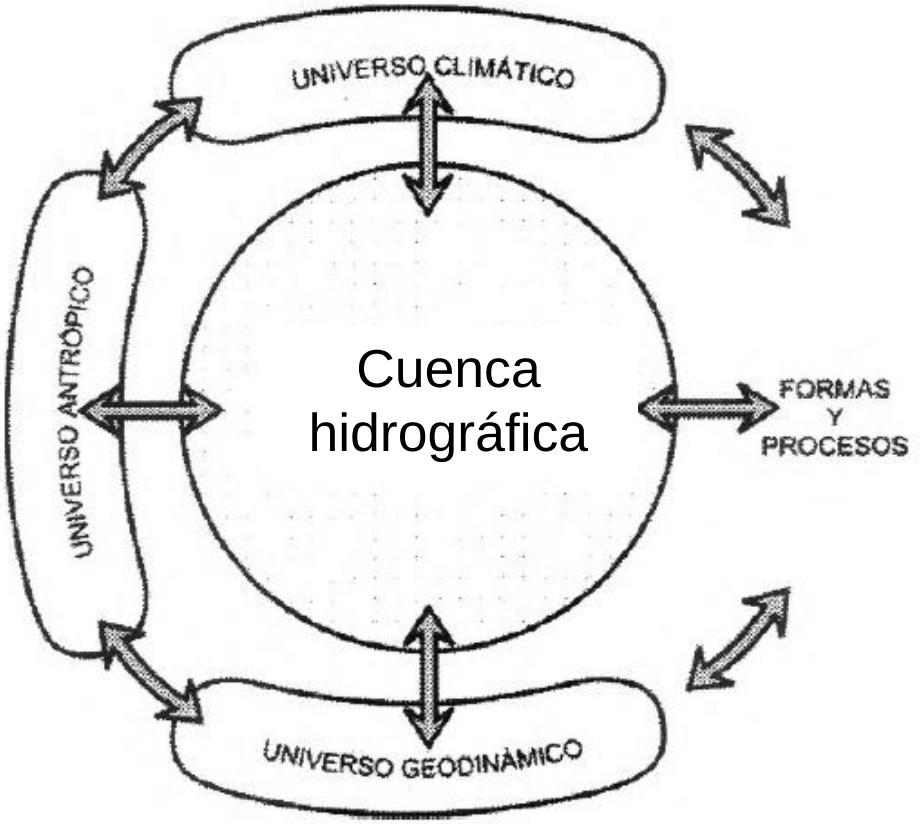
| CUENCA | |
|---|---|
| Área aproximada | 12 km2 |
| Longitud total del cauce | 6 km |
| Pendiente media | 31 % |

| CLIMA | |
|---|---|
| Precipitación total promedio multianual | 2352 mm |
| Temperatura máxima promedio multianual | 24 °C |
| Temperatura mínima promedio multianual | 14 °C |

# ENFOQUE SISTÉMICO EN ESTABILIDAD DE TALUDES

Las cuencas hidrográficas que producen flujos de detritos pueden estudiarse como un sistema abierto, en el cual existen entradas y salidas de materia, energía e información.

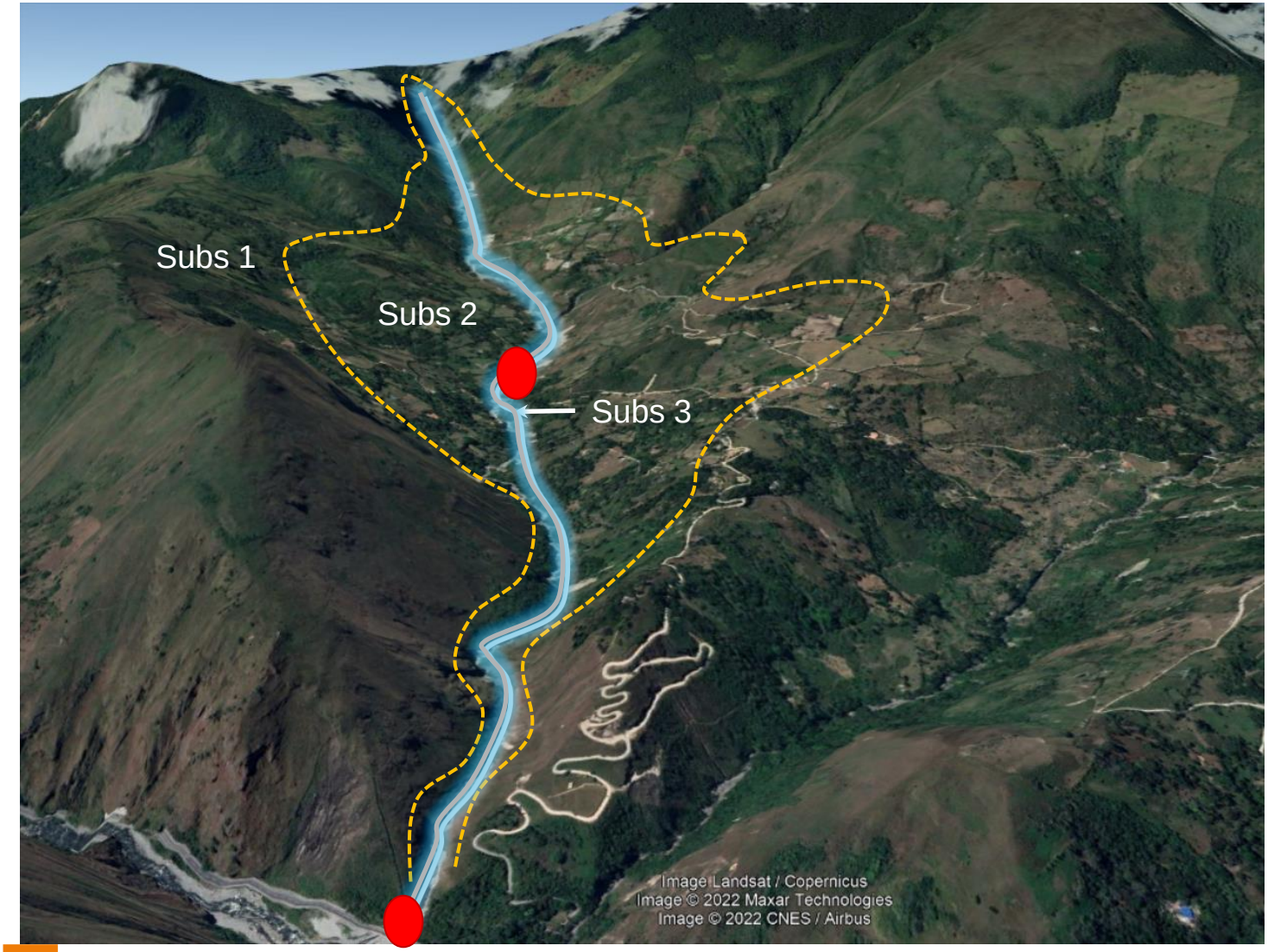
El sistema natural funciona gracias a fuentes de energía (luz solar y gravedad) que desplazan la materia o la energía de un lugar a otro.



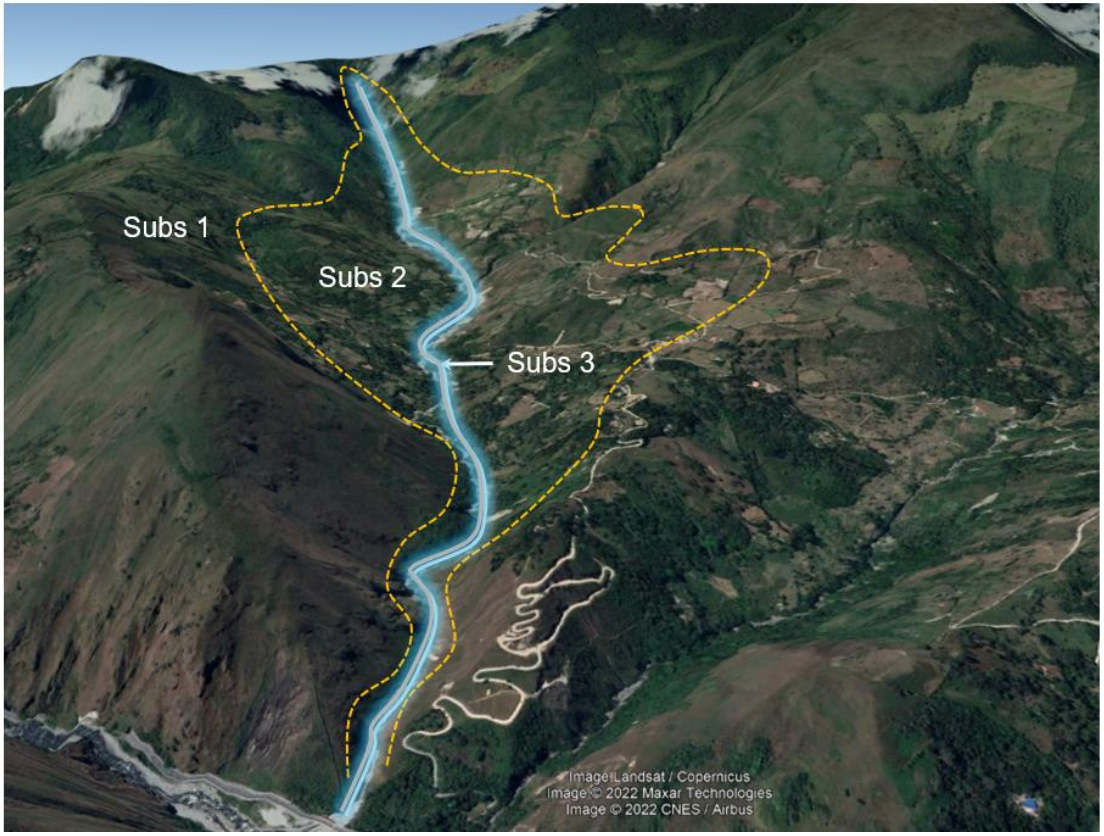

**RELACIÓN ENTRE EL SISTEMA Y LOS UNIVERSOS CONTROLANTES**

Modificado de E. Popolizio (2007)

# EVALUACIÓN SISTÉMICA DE LA CUENCA



# EVALUACIÓN SISTÉMICA DE LA CUENCA



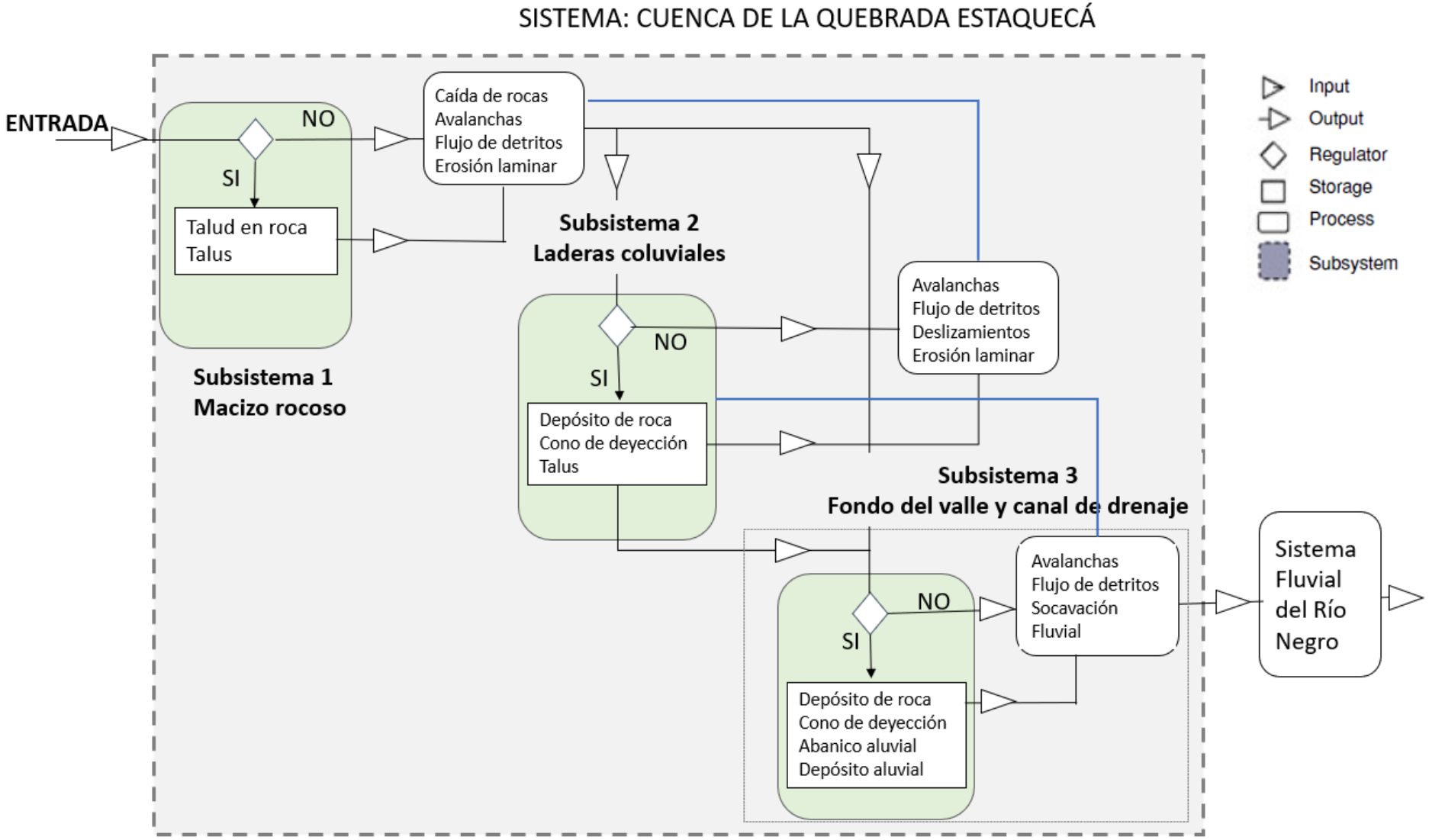

El comportamiento de cada subsistema, y del sistema en general, es función de sus características intrínsecas y de la interacción con los demás subsistemas y con otros sistemas externos como lo son el climático, el antrópico y el geodinámico.

**Subsistema 1**- Ladera rocosa, corresponde a la parte alta de la cuenca donde priman las pendientes altas y la cobertura de pastos y bosque.

**Subsistema 2**- Ladera de media, corresponde a las partes de la cuenta donde existen depósitos aluviales, coluviales y suelos residuales, las pendientes topográficas son menores que las de la parte alta y predominan los pastos, los cultivos y en general vegetación de baja altura.

**Subsistema 3**- Cauce activo de la quebrada Estaquecá hasta la desembocadura en el río Negro.

# ENFOQUE SISTÉMICO EN ESTABILIDAD DE TALUDES



# EVALUACIÓN SISTÉMICA DE LA CUENCA

# EVALUACIÓN SISTÉMICA DE LA CUENCA

# EVALUACIÓN SISTÉMICA DE LA CUENCA

# EVALUACIÓN SISTÉMICA DE LA CUENCA

# EVALUACIÓN SISTÉMICA DE LA CUENCA

# EVALUACIÓN SISTÉMICA DE LA CUENCA

# EVALUACIÓN SISTÉMICA DE LA CUENCA

# EVALUACIÓN SISTÉMICA DE LA CUENCA

# EVALUACIÓN SISTÉMICA DE LA CUENCA

Sitio de cruce del gasoducto Apiay–Villavicencio–Bogotá en la actualidad. Está protegido por un dique de concreto (A).

# EVALUACIÓN SISTÉMICA DE LA CUENCA

El aporte actual de sedimentos se encuentran en la parte alta y media de la cuenca (Subsistemas 1 y 2), aunque también se identificó un aporte importante del lecho de la quebrada (Subsistema 3).

Las obras utilizadas en el subsistema 3 aumentan la capacidad de almacenamiento de material granular del cauce y el lapso entre eventos que llegan a la desembocadura de la quebrada.

Estas obras pueden, o bien, ayudar a estabilizar las laderas (subsistema 2) por la disminución de la altura de las márgenes y el aumento en el confinamiento lateral, o aumentar la socavación lateral debido a la modificación del comportamiento de la quebrada.

# CONCLUSIONES

- Las obras de control del subsistema 3, al igual que los bloques rocosos métricos que se encuentran a lo largo del cauce de la quebrada, fijan el fondo y retienen gran cantidad de material granular grueso que modifica la pendiente del cauce de forma local.
- Las obras no alteran el carácter torrencial de la quebrada ni evitar la llegada de nuevos los eventos hasta el río Negro.
- Si bien se altera el comportamiento al interior de los subsistemas (especialmente el 2), el comportamiento del sistema, a largo plazo, no se ve alterado debido a que las fuentes de material persisten y a que el material acumulado tras las presas mantiene su movilidad.

# REFERENCIAS

[1] Hungr, O., Evans, S. G., Bovis, M. & Hutchinson, J. N. (2001). *Review of the classification of landslides of the flow type*. Environmental and Engineering Geoscience, 7: 221-238.

[2] Montero, J. (2017). *Clasificación de Movimientos en masa y su distribución en terrenos geológicos de Colombia.* Bogotá.

[3] Chorley, R. J. and Kennedy, B. A. (1971). *Physical Geography: A Systems approach.* Prentice-Hall, London.

[4] Popolizio, E. (1987). *El enfoque sistémico en la enseñanza de la Geografía.* Boletín de la Sociedad Argentina de Estudios Geográficos GÆA Nº106. Buenos Aires.

[5] Alberto, J. A. (2011). *Teoría General de Sistemas Aplicada al Estudio de la Geomorfología Terrestre*. Argentina.

[6] Estupiñan, H.A. & Triana, V.H. (2006). Estudio de avalanchas en la quebrada Estaquecá (Quetame – Cundinamarca). Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Colombia. Bogotá D.C.

XVII CCG
I SSAG 2022
Cartagena

SCG

50 años
1971-2021

# ¡GRACIAS!

**¿Preguntas?**

@correodecontacto
**weimar.garcia@escuelaing.edu.co**

**Avalancha en la Q. Estaquecá**
**Julio de 1997**

**Afectó la carretera Bogota-Villavicencio**

**Represó temporalmente el río Negro**

**En su parte superior arrastró la tubería del Gasoducto Apiay-Bogotá en el paso subfluvial.**

Sector de paso de la quebrada por el Gasoducto. El cauce descendió entre 5 y 8 m, por efecto de la avalancha.

**Recuperación y apuntalamiento de las márgenes del cauce, con una gran estructura de gaviones y una tapa de concreto para la zanja del cruce subfluvial.**

Obras de mantenimiento destruidas - 2005

La destrucción de la estructura de protección obligó a adoptar una solución temporal de paso aéreo del gasoducto y poco tiempo más tarde permitió el deslizamiento general de las laderas adyacentes a la quebrada.

**Sitio de cruce del gasoducto Apiay–Villavicencio–Bogotá en la actualidad. Está protegido por un dique de concreto (A).**

**XVII CONGRESO COLOMBIANO DE GEOTÉCNIA "EVALUACIÓN Y GESTIÓN DE RIESGOS GEOTÉCNICOS CON ÉNFASIS EN LOS EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO"**

**14 al 18 de Noviembre de 2022**

# MODELACIÓN DE FLUJO DE LODOS PARA LA EVALUACIÓN DE RIESGOS POR LA OCURRENCIA DE MOVIMIENTOS EN MASA

**César Augusto Hidalgo Montoya (Fredy Alexander Muñoz Cano)**
**Profesor Titular**
**Universidad de Medellin**

Sociedad Colombiana de Geotecnia

50 años
1971-2021

# CONTENIDO

1. El problema
2. Meteriales y métodos
3. Resultados y analisis
4. Conclusiones

# DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Ocurrencia de movimientos en masa debido a los abundantes regímenes hidrológicos y ocurrencia de sismos (Hungr et al., 2001)

Generación de flujos de lodo como consecuencia post falla de los movimientos en masa (Li et al., 2012)

Los flujos de lodo presentan un movimiento rápido y ocurrencia repentina, generando grandes catástrofes a su paso

Evaluación de riesgos por deslizamientos, recursos económicos y afectaciones **(Lacerda et al., 2004)(Zhuang & Peng, 2014)(Vega & Hidalgo, 2016)(Vega & Hidalgo, 2017)**

Ocurrencia de deslizamientos (suceptibilidad y amenaza) detonados por la ocurrencia de precipitaciones y consecuencias postfalla **(Hungr, 1995) (Hungr et al., 2001) (Lacerda et al., 2004) (Zhuang & Peng, 201**4)

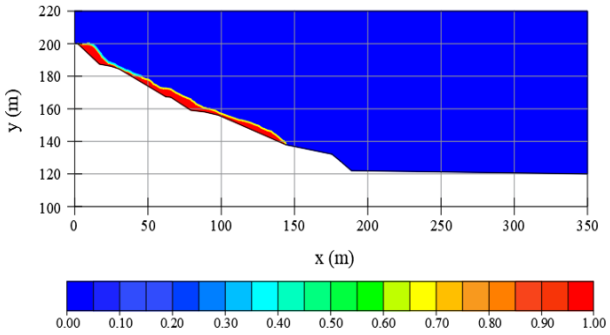
**Comportamiento reológico del material:**

Modelo de Herschel Bulkley **(Huang & García, 1998) (Bartosik, 2010) (Sawyer et al., 2012) (Han et al., 2019)**

Modelo de Bingham **(Widjaja & Lee, 2013) (Kameda & Hirauchi, 2018)**

# DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

**Escasez de modelos que reproducen el movimiento del flujo de lodo**



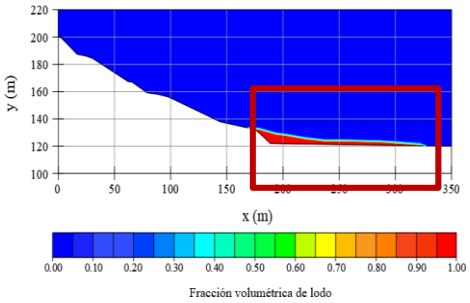

Modelación de flujo de lodos con herramienta CFD.
*Fuente propia*

**Existencia de aplicaciones con dinámica de flujos computacional (CFD)**

Uso De herramientas de dinámica de fluidos computacional CFD para reproducir flujos de material en tuberías y canales abiertos. **(Trewhela et al., 2014) (George & Iverson, 2014).**

**Otras aplicaciones:**

- Modelos de profundidad promedio para simular las etapas del flujo de material, utilizando método de volúmenes finitos**. (George & Iverson, 2014) (Liu et al., 2018) (Xia & Liang, 2018).**
- Método DEM para separar partículas sólidas de las líquidas de un flujo de material y simular su movimiento, acoplando métodos como MPM y CFD. **(Liu et al., 2018) CFD (X. Li & Zhao, 2018) (Zheng et al., 2018).**




**Estimación de distancias de avance**

**Determinación de posibles áreas afectadas**

**Alternativa a la estimación y prevención de riesgos**

Universidad de Medellín
Ciencia y Libertad

# MATERIALES Y METODOS

## 1. Caracterización física de los materiales

*Suelo residual Stock de Altavista, Medellín, Colombia*

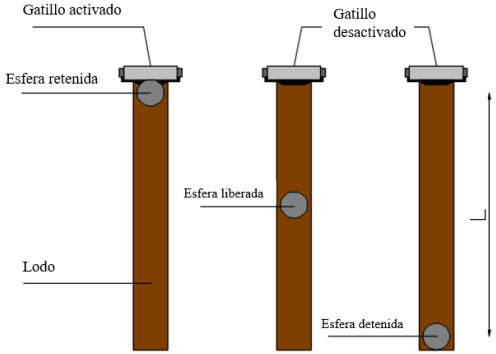
### a. Clasificación del suelo

| Suelo | |
|---|---|
| **Límite líquido (%)** | 43 |
| **Índice Plástico (%)** | 13 |
| **Gravedad específica** | 2.71 |
| **Tamiz N°10: 2 mm (% finos)** | - |
| **Tamiz N°40: 425 µm (% finos)** | - |
| **Tamiz N°200: 75 µm (% finos)** | 84.25 |
| **Clasificación USCS (ASTM D2487)** | ML |

## b. Determinación de la viscosidad del flujo ➡ humedades de 60%, 65%, 70%, 80%

### Fluido Newtoniano

Determinación de viscosidad a través de Ley de Stokes



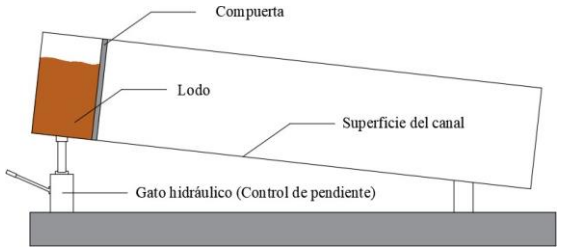

$$\eta = \frac{2 * g * (\rho_p - \rho_m) * r^2}{9 * \left(\frac{L}{t}\right)}$$

*(Sandoval et al., 2009)*

$g$ gravedad0
$\rho_p$ densidad de la esfera
$\rho_m$ densidad del lodo
$r$ radio de la esfera
$t$ Tiempo de recorrido

### Fluido No Newtoniano

Determinación a través de análisis regresivo mediante herramienta CFD




Canal: Largo:1m. Alto:0.2 m ancho:0.2 m

Según modelo reológico Herschel – Bulkley:

$$\tau = \tau_y + K\gamma^n$$

Determinación de parámetros $K$, $\tau_y$ y $n$ *(Sawyer et al., 2012)*

Universidad de Medellín
Ciencia y Libertad

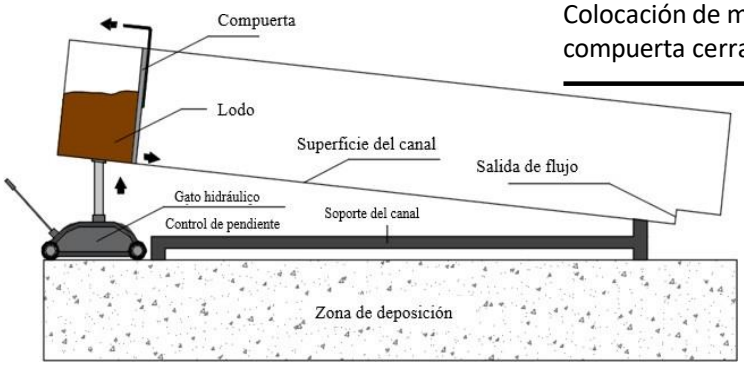
# MATERIALES Y METODOS

## 2. Ensayos en el canal de laboratorio

**Pendientes: 5% - 10% - 15% - 20%** **Humedad del material: 60% - 80%**

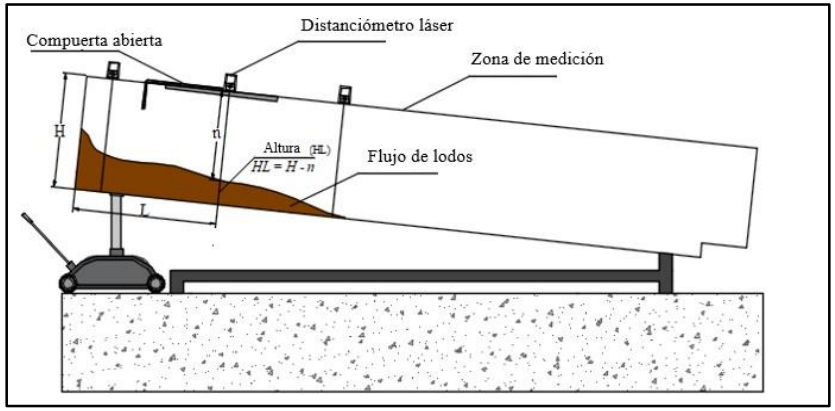
**Especificaciones geométricas:**
Largo: 3.0 m
Alto: 0.5 m
Ancho: 0.7 m
Compuerta: 0.5 m x 0.7 m
- Localización desde el inicio: 0.25 m
- Capacidad: 0.25 x 0.5 x 0.7 [m3]

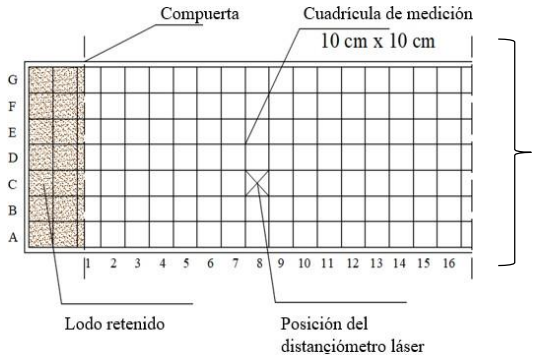
*Centro de laboratorios, Universidad de Medellín*




Colocación de material con compuerta cerrada

Apertura de la compuerta




Medición de alturas de deposición

Medición de distancias de avance

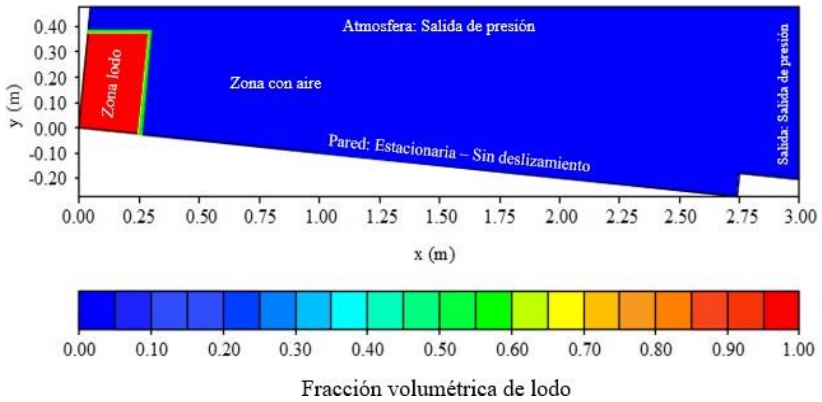
Proyecto optimización de una metodología para la evaluación del riesgo de movimientos en masa, UdeM.

# MATERIALES Y METODOS

## 3. Construcción del modelo numérico en ANSYS FLUENT

### Modelo geométrico y condiciones de frontera

Condición inicial de material en reposo  Fracción volumétrica: 1.0
 Velocidad = 0.0 m/s



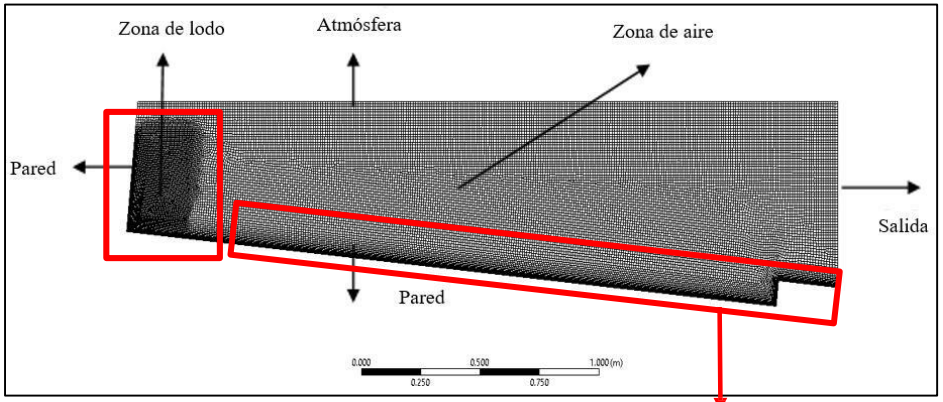

Frontera tipo atmósfera: 0.0 Pa  Fracción volumétrica de aire: 1.0

Frontera tipo salida: 0.0 Pa  Fracción volumétrica de aire: 1.0

Frontera tipo pared: Ks = 0.0 mm  Suposición de fondo liso

### Construcción de la malla

*Ejemplo malla – pendiente 10% | w = 80%*




Tamaño de la celda:
Zona con lodo: 1x10-3 m
Zona con aire: 2x10-3 m
Número de elementos: 71130

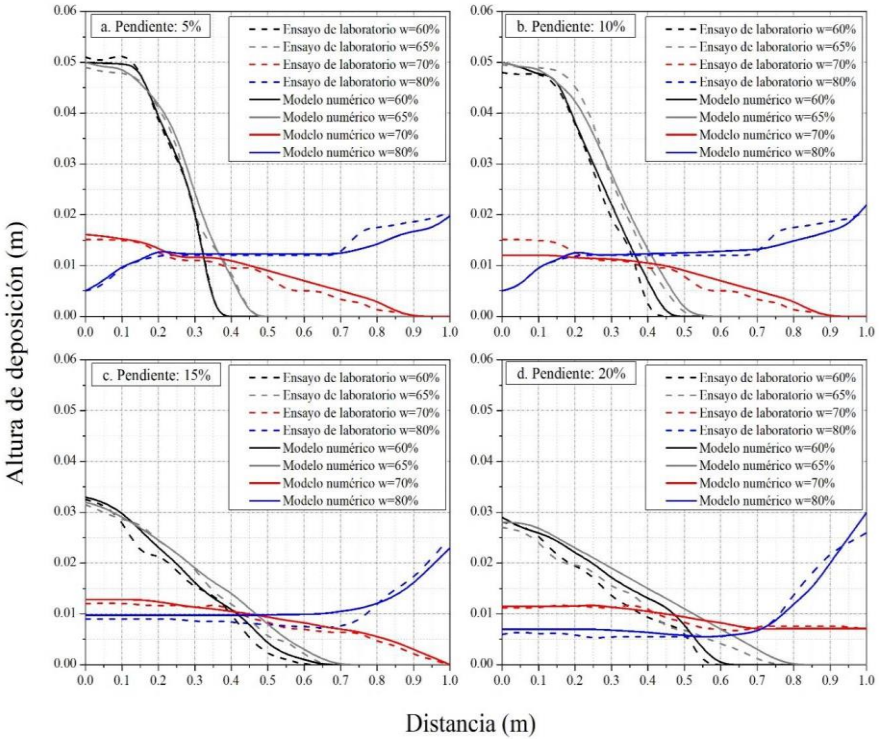
Aplicación de algoritmo de inflación:
Número de capas: 15
Tasa de crecimiento: 1.2
Altura de la primera capa: 5x10-4 m

**Pendientes: 5% - 10% - 15% - 20%**

**Humedad del material: 60% - 80%**

# RESULTADOS Y ANALISIS

## 1. Viscosidad del lodo como flujo No - Newtoniano




**Comparación de resultados para una misma pendiente y distintos contenidos de humedad para el consistómetro – *Resultados finales de análisis regresivo***

Evaluación del desempeño del modelo a través de la cuantificación del error cuadrático medio RMSE y el coeficiente de eficiencia NSE

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sigma_{i=1}^{N}(O_i - P_i{}^2)}{N}} \qquad NSE = 1 - \left(\frac{RMSE}{SD}\right)^2$$

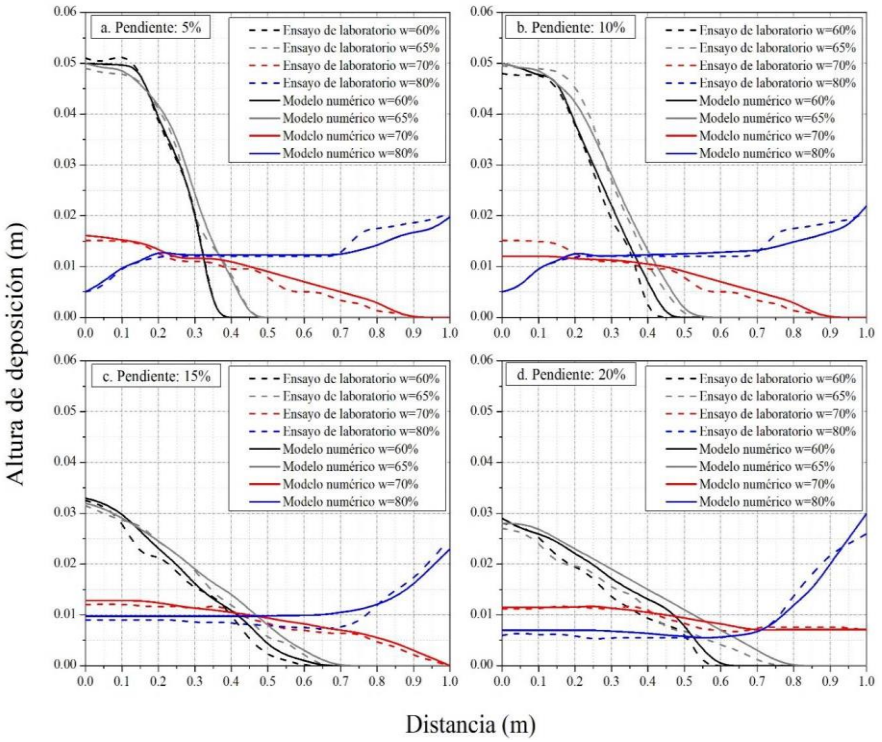
Oi = Observaciones experimentales. Pi = Estimaciones del modelo. N = Muestra

*Fuente: (Ritter & Muñoz-Carpena, 2013)*

| Clasificación de rendimiento | Interpretación de la eficiencia del modelo | NSE |
|---|---|---|
| **Muy bueno** | [SD/RMSE] > 3.2 | > 0.90 |
| **Bueno** | 2.2 < [SD/RMSE] < 3.2 | 0.8 - 0.9 |
| **Aceptable** | 1.2 < [SD/RMSE] < 2.2 | 0.65 - 0.8 |
| **Insatisfactorio** | [SD/RMSE] < 1.2 | < 0.65 |

# RESULTADOS Y ANALISIS

## 1. Viscosidad del lodo como flujo No - Newtoniano



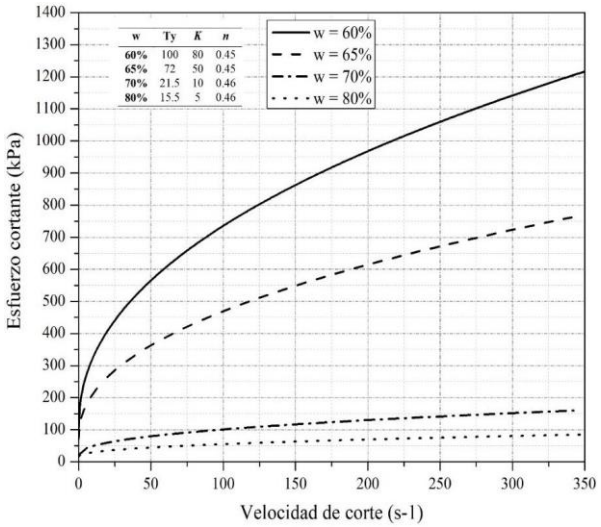

| Pendiente | Humedad del material | SD/RMSE | NSE | Clasificación |
|---|---|---|---|---|
| 5% | 60% | 11.58 | 0.99 | Muy bueno |
| 5% | 65% | 8.23 | 0.99 | Muy bueno |
| 5% | 70% | 3.73 | 0.93 | Muy bueno |
| 5% | 80% | 2.86 | 0.88 | Bueno |
| 10% | 60% | 4.74 | 0.96 | Muy bueno |
| 10% | 65% | 8.97 | 0.99 | Muy bueno |
| 10% | 70% | 4.14 | 0.86 | Muy bueno |
| 10% | 80% | 4.65 | 0.90 | Muy bueno |
| 15% | 60% | 5.39 | 0.97 | Muy bueno |
| 15% | 65% | 7.42 | 0.98 | Muy bueno |
| 15% | 70% | 4.14 | 0.94 | Muy bueno |
| 15% | 80% | 4.65 | 0.88 | Muy bueno |
| 20% | 60% | 2.50 | 0.84 | Bueno |
| 20% | 65% | 2.24 | 0.80 | Bueno |
| 20% | 70% | 2.82 | 0.87 | Bueno |
| 20% | 80% | 4.65 | 0.95 | Muy bueno |

**Desempeño adecuado de los modelos**

**Se finaliza proceso de calibración de parámetros** $K$, $\tau_y$ y $n$

# RESULTADOS Y ANALISIS

## 1. Viscosidad del lodo como flujo No - Newtoniano



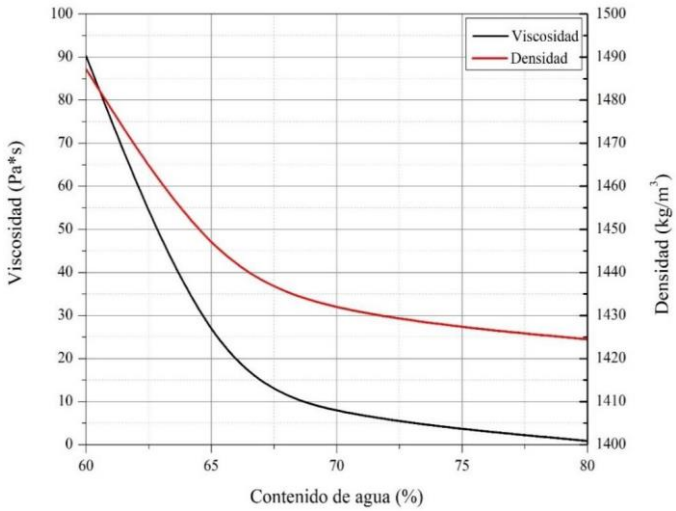

| | $\tau_y$ (Pa) | K | n |
|---|---|---|---|
| **w=60%** | 100 | 80 | **0.45** |
| **w=65%** | 72 | 50 | **0.45** |
| **w=70%** | 21.5 | 10 | **0.46** |
| **w=80%** | 15.5 | 5 | **0.46** |

Parámetros calibrados ecuación Herschel - Bulkley

$$\tau = \tau_y + K\gamma^n$$

- Menor tasa de crecimiento de esfuerzo cortante para humedades mayores

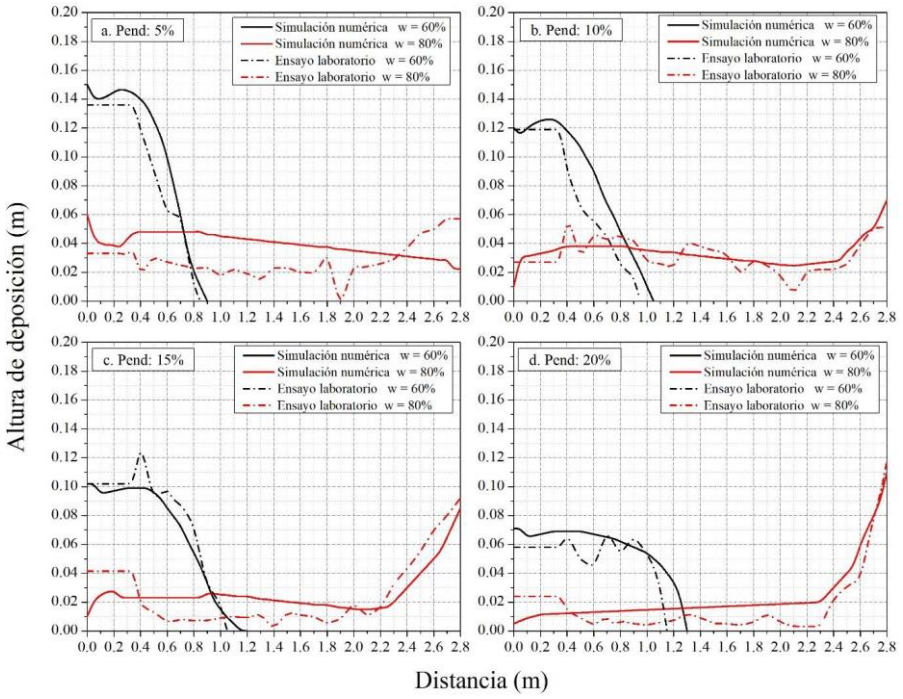
## Viscosidad como flujo Newtoniano




Disminución del valor de la viscosidad con el aumento de la humedad

# RESULTADOS Y ANALISIS

## 2. Ensayos del canal – Flujo No Newtoniano



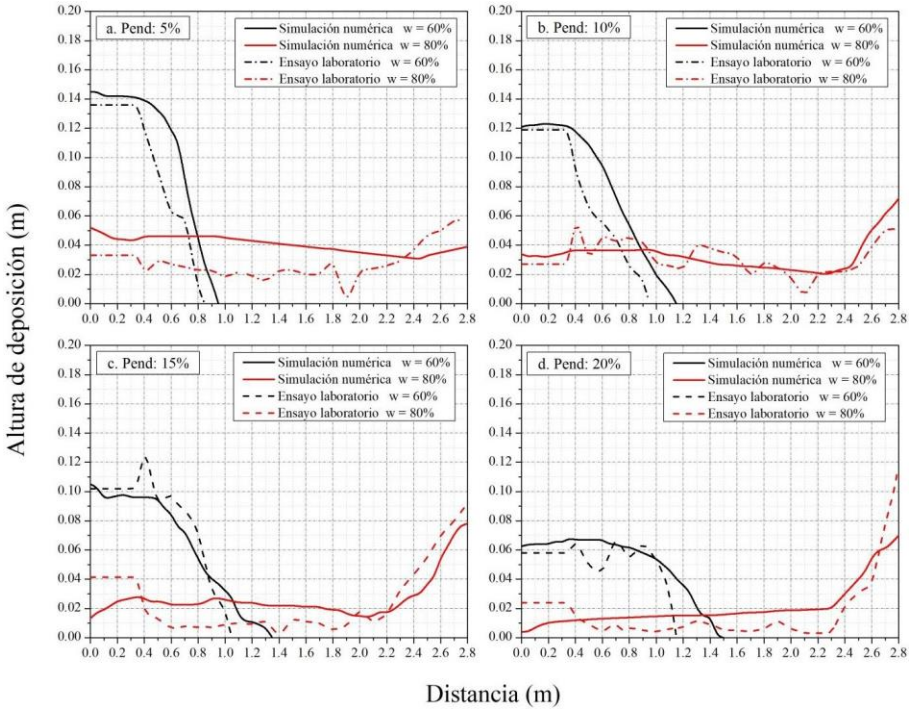

| Pendiente | w | SD/RMSE | NSE | Clasificación |
|---|---|---|---|---|
| **5%** | 60% | 2.51 | 0.84 | Bueno |
| **5%** | 80% | 1.27 | 0.38 | Aceptable |
| **10%** | 60% | 2.96 | 0.89 | Bueno |
| **10%** | 80% | 1.34 | 0.44 | Aceptable |
| **15%** | 60% | 3.30 | 0.91 | Muy bueno |
| **15%** | 80% | 1.66 | 0.64 | Aceptable |
| **20%** | 60% | 1.73 | 0.67 | Aceptable |
| **20%** | 80% | 1.97 | 0.74 | Aceptable |

**Mejores desempeños para materiales con humedad al 60&**

| Clasificación de rendimiento | Interpretación de la eficiencia del modelo | NSE |
|---|---|---|
| **Muy bueno** | [SD/RMSE] > 3.2 | > 0.90 |
| **Bueno** | 2.2 < [SD/RMSE] < 3.2 | 0.8 - 0.9 |
| **Aceptable** | 1.2 < [SD/RMSE] < 2.2 | 0.65 - 0.8 |
| **Insatisfactorio** | [SD/RMSE] < 1.2 | < 0.65 |

# RESULTADOS Y ANALISIS

## 3. Ensayos del canal – Flujo Newtoniano




| Pendiente | w | SD/RMSE | NSE | Clasificación |
|---|---|---|---|---|
| **5%** | 60% | 1.74 | 0.67 | Aceptable |
| **5%** | 80% | 0.63 | -1.54 | Insatisfactorio |
| **10%** | 60% | 1.85 | 0.71 | Aceptable |
| **10%** | 80% | 0.63 | 0.39 | Insatisfactorio |
| **15%** | 60% | 2.64 | 0.86 | Bueno |
| **15%** | 80% | 1.62 | 0.62 | Insatisfactorio |
| **20%** | 60% | 1.08 | 0.14 | Insatisfactorio |
| **20%** | 80% | 1.64 | 0.63 | Insatisfactorio |

**Se presentan algunos resultados insatisfactorios para este tipo de flujo**

| Clasificación de rendimiento | Interpretación de la eficiencia del modelo | NSE |
|---|---|---|
| **Muy bueno** | [SD/RMSE] > 3.2 | > 0.90 |
| **Bueno** | 2.2 < [SD/RMSE] < 3.2 | 0.8 - 0.9 |
| **Aceptable** | 1.2 < [SD/RMSE] < 2.2 | 0.65 - 0.8 |
| **Insatisfactorio** | [SD/RMSE] < 1.2 | < 0.65 |

# CONCLUSIONES

Los CFD constituyen una herramienta útil para la modelación de flujos de lodo o movimientos en masa tipo flujos, los cuales podrían ser utilizados en la evaluación de amenaza y riesgo

El modelo de turbulencia $k - \varepsilon$ *Realizable* simula adecuadamente el flujo de lodos respecto a los resultados experimentales. Se presenta una mayor captura de los resultados cuando el flujo no newtoniano

Para flujos de lodo con w=80% se esperan menores tasas de variación en su fuerza cortante, donde la viscosidad disminuye con el contenido de humedad. Esto implica mayores longitudes de avance, y arrastre de sólidos

El modelo reproduce adecuadamente el movimiento del flujo sobre una superficie irregular. En este caso, al simular lo ocurrido en el flujo de Yangbaodi, China, se presentó una deposición final sobre la zona en la cual ocurrió el fenómeno.

12

XVII CCG
I SSAG 2022
Cartagena

SCG

50 años
1971-2021

# ¡GRACIAS!

**¿Preguntas?**

@correodecontacto

XVII CONGRESO COLOMBIANO DE GEOTÉCNIA "EVALUACIÓN Y GESTIÓN DE RIESGOS GEOTÉCNICOS CON ÉNFASIS EN LOS EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO"

14 al 18 de Noviembre de 2022

# DESLIZAMIENTOS EN LA VÍA TOTORÓ – INZÁ DEL DEPARTAMENTO DEL CAUCA, SUS FACTORES E INFLUENCIA DE PROCESOS VOLCÁNICOS

**Manuel García López**
INGENIERIA Y GEOTECNIA SAS (IGL)

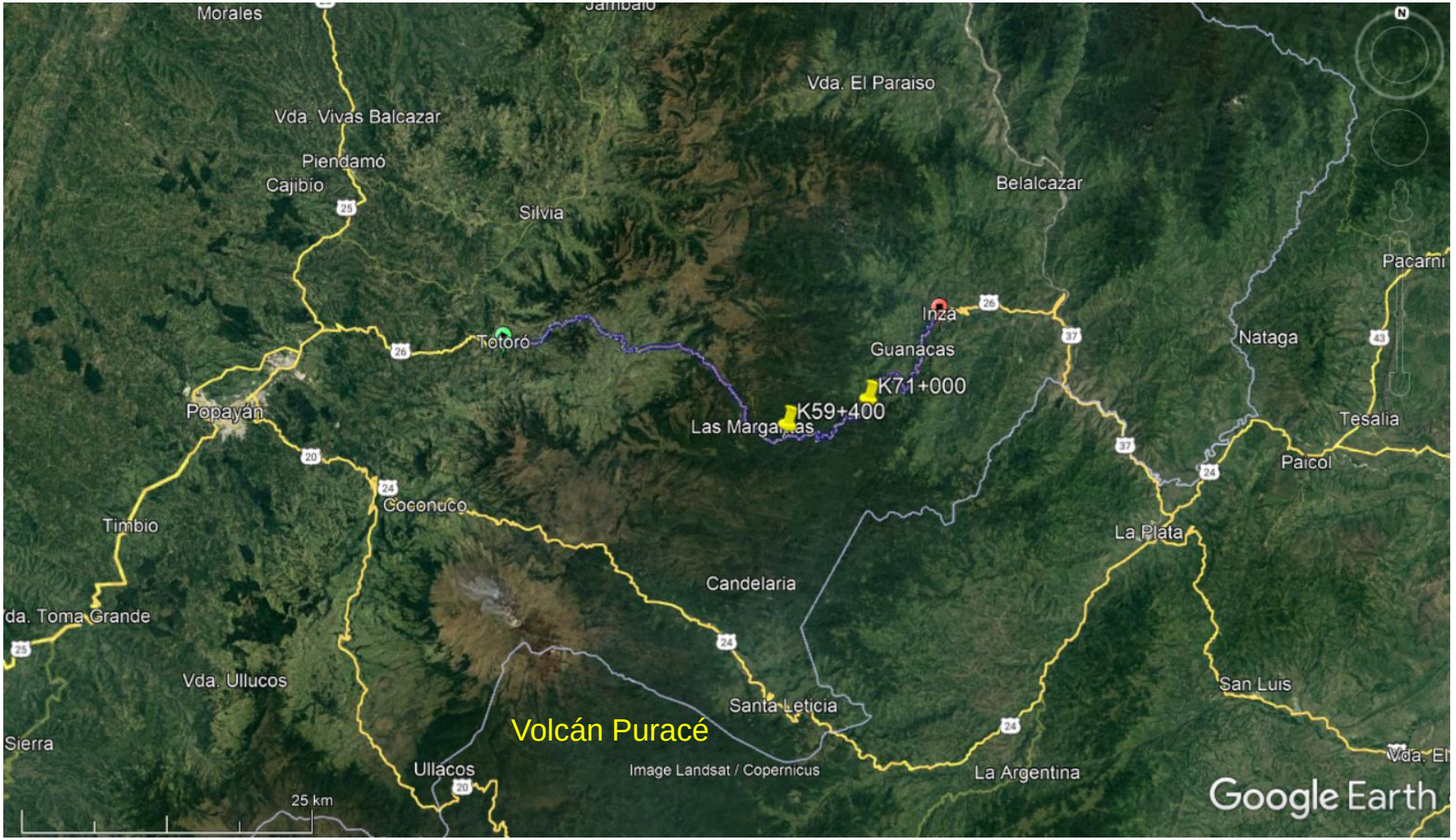
**Luis Eduardo Santamaría**
INGENIERIA Y GEOTECNIA SAS (IGL)

**Johan Camilo Garzón Cubides**
INGENIERIA Y GEOTECNIA SAS (IGL)

Sociedad Colombiana de Geotecnia

50 años
1971-2021

# Localización general

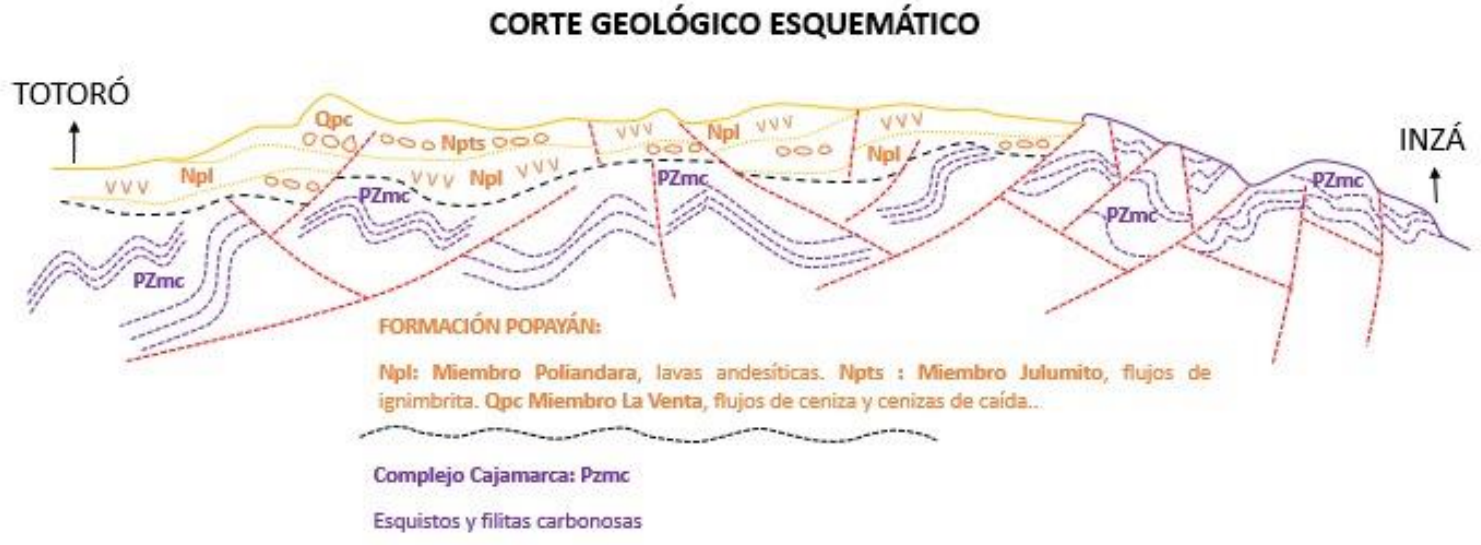


# Geología

El corredor vial de la Transversal del Libertador en el tramo localizado entre los municipios de Totoró e Inzá, se desarrolla sobre dos unidades geológicas principales una predominante de origen volcánico y la otra de origen metamórfico:

1. FORMACIÓN POPAYÁN: Miembro Poliandara (lavas andesíticas), Miembro Julumito (flujos de ignimbrita), Miembro La Venta (flujos de ceniza y cenizas de caída).
2. COMPLEJO CAJAMARCA: Esquistos y filitas carbonosas.

Geomorfológicamente se encuentran unidades de origen estructural denudacional asociadas al Complejo Cajamarca y unidades volcánicas denudacionales relacionadas con la Formación Popayán.

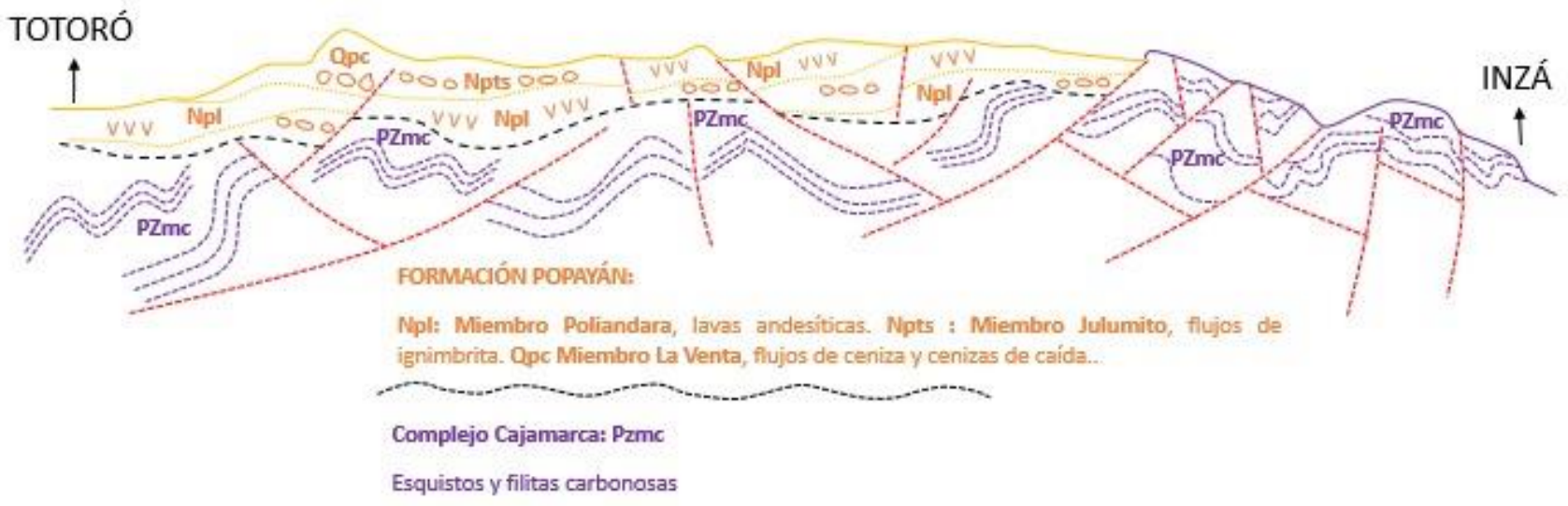


# Geología

De acuerdo con observaciones de campo los esquistos grafitosos se presentan intensamente tectonizados, plegados, fallados y su meteorización produce un suelo arcilloso de color negro, de consistencia blanda y alta plasticidad.

Adicional, en contacto fallado o dispuestos de manera discordante sobre los esquistos, descansan los flujos de lavas andesíticas y los depósitos vulcanosedimentarios y con una marcada sobreimposición de eventos tectónicos, los cuales generan horizontes espesos de suelos residuales de pobre condición geomecánica.

**CORTE GEOLÓGICO ESQUEMÁTICO**

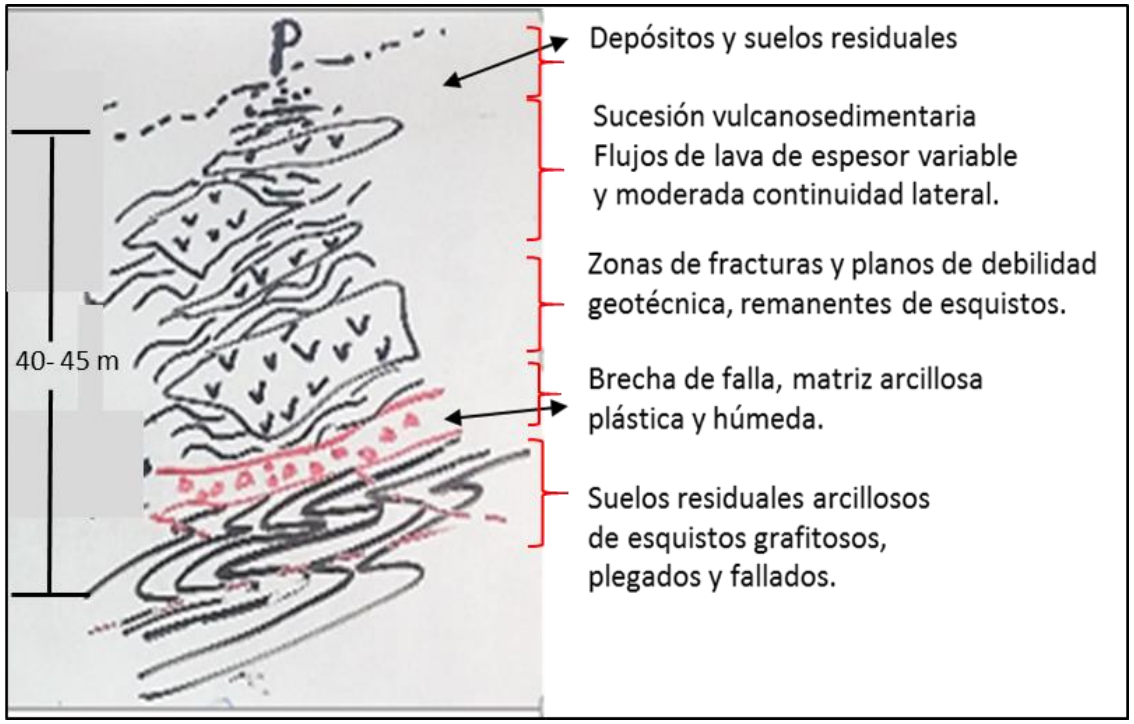


# Unidades lito-estratigráficas

Distribución irregular de las unidades geológicas existentes en el sector del Puente sobre la Quebrada Córdoba (K71+000).

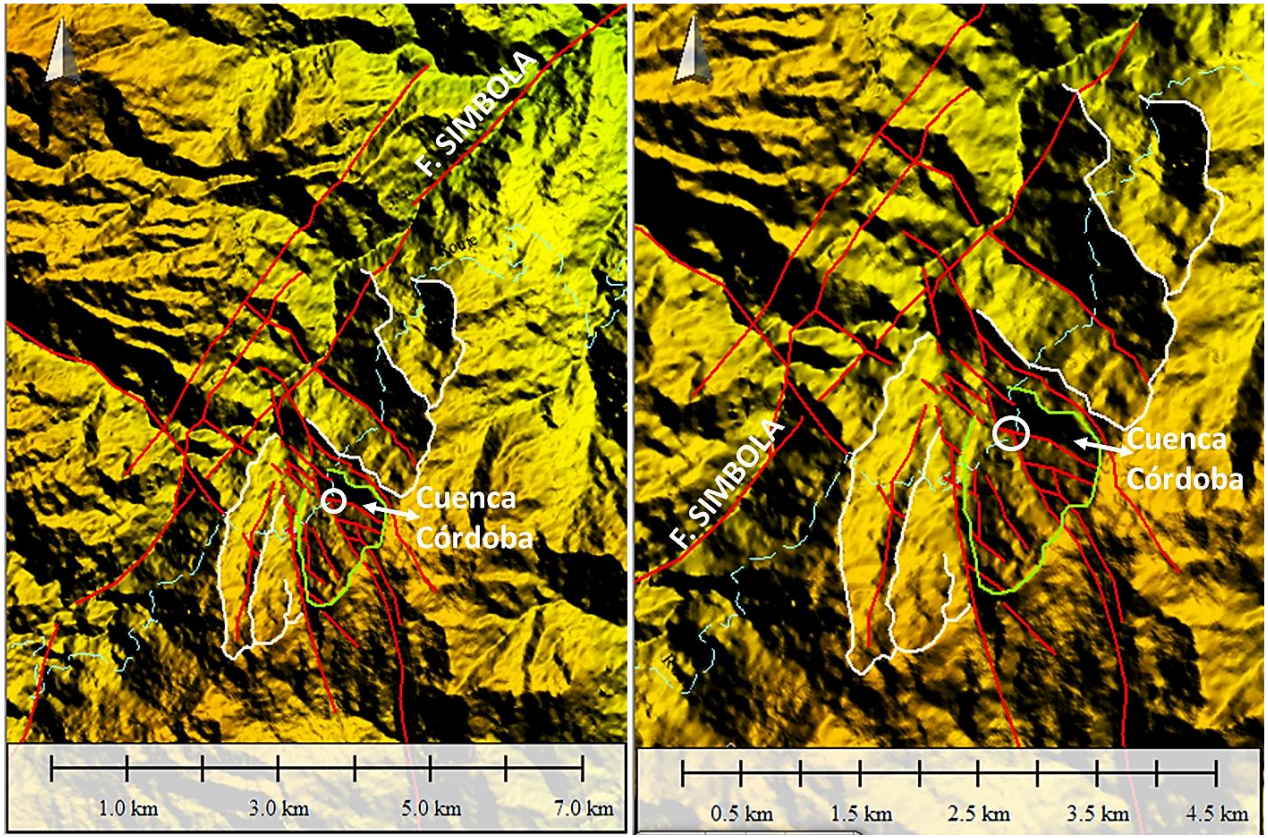
**A**: Esquistos grafitosos.
**B**: Lavas andesíticas.
**C**: Depósitos vulcano-sedimentarios y suelos residuales.
**D**: Coluviones.
**E**: Rellenos antrópicos.

# Unidades lito-estratigráficas




De acuerdo con la información obtenida en los sondeos se puede establecer un perfil litológico generalizado como el mostrado en las figura. Se resalta con rojo la brecha tectónica encontrada hacia los 40 a 45 metros de profundidad, cuyo testigo físico, varios meses después de realizada la perforación mantiene su consistencia blanda, plástica y húmeda en una litología predominante de matriz arcillosa con fragmentos de andesitas y esquistos. Este horizonte se convierte en un indicador cinemático indiscutible a manera superficie de despegue (o de deslizamiento) en el sector.

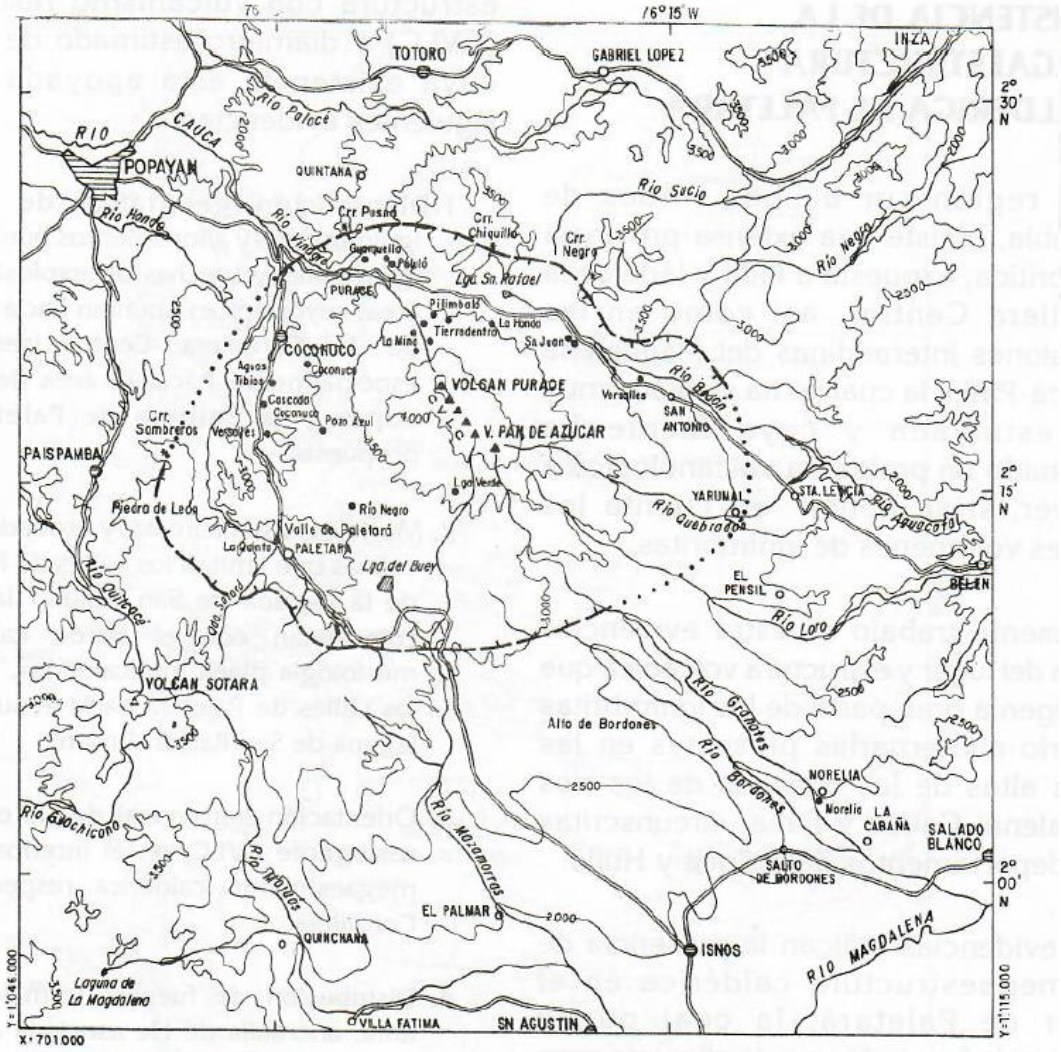
# Esquema Regional – Aspectos tectónicos




Aspectos tectónicos regionales. En el círculo blanco el sitio del Puente Córdoba

La sucesión antes descrita está afectada intensamente por sistemas de fallas NE–SW, NNW–SSE y NW–SE, en algunos casos activos con marcados indicadores de actividad neotectónica, con desarrollo de brechas de magnitudes y extensiones importantes produciendo franjas muy susceptibles a sufrir procesos de inestabilidad y fenómenos neotectónicos

# Actividad Volcánica




▲▲▲ Cadena volcánica de Los Coconucos (CVLC).

● La Mina Fuente termal (Modificado de Monsalve y Pulgarín; 1993).

Caldera de Paletará.

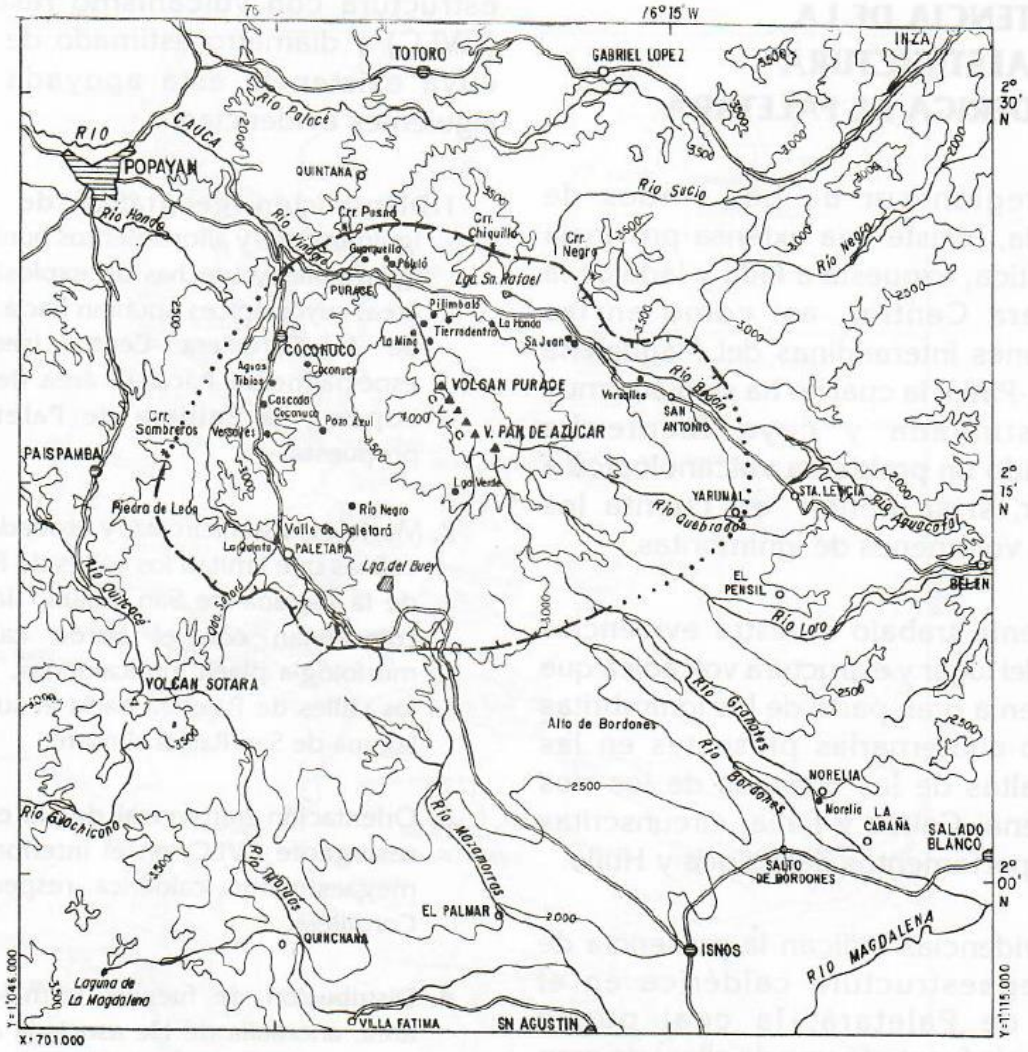
Límite reconocido

Límite inferido

Boletín Geológico del Ingeominas V34 de 1994. ***Actividad histórica y actual del volcán Puracé, Colombia.***
Elaborado por:

***Bernardo Pulgarin***
***María Luisa Monsalve***
***Mónica Arcila***
***Héctor Cepeda***

# Actividad Volcánica




▲▲▲ Cadena volcánica de Los Coconucos (CVLC).

● La Mina Fuente termal (Modificado de Monsalve y Pulgarín; 1993).

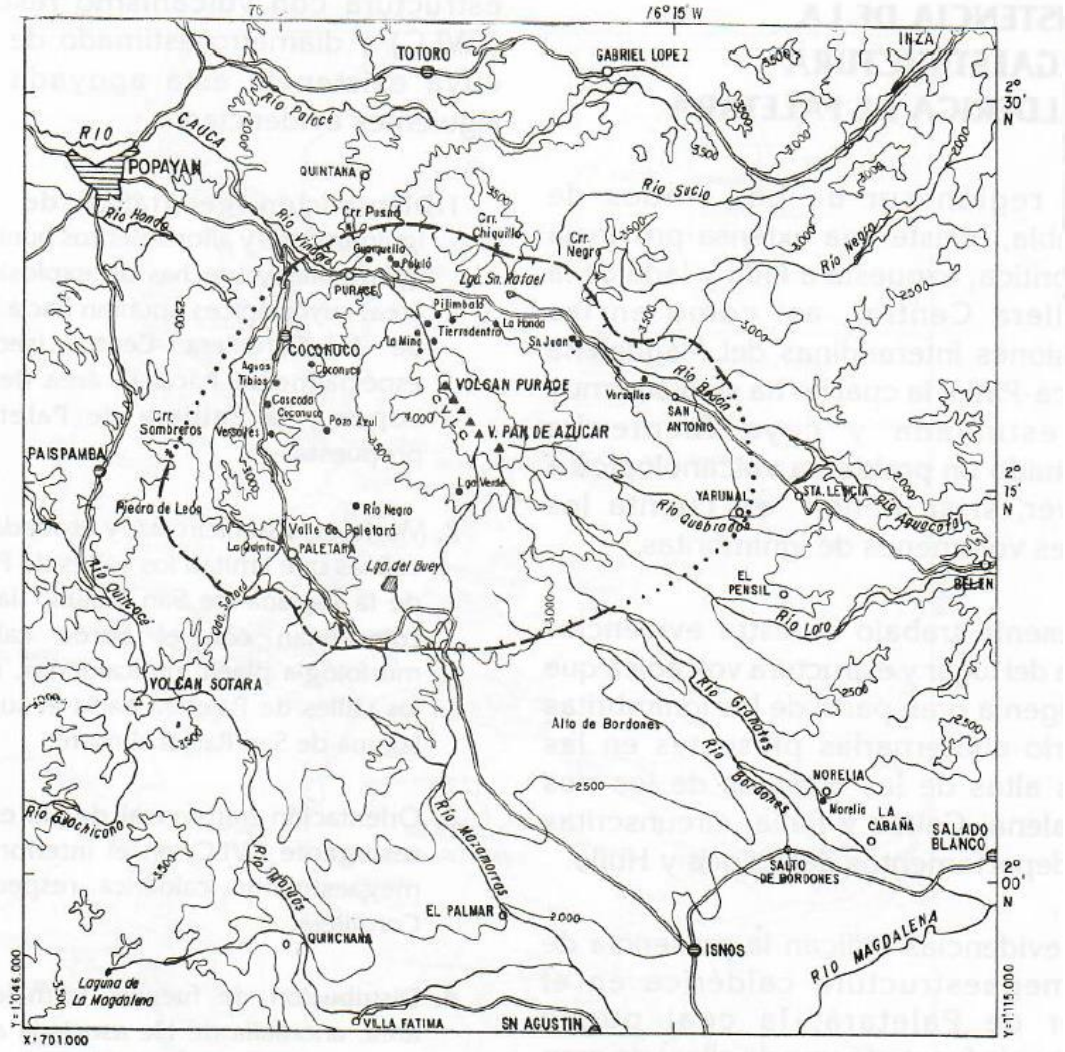
Caldera de Paletará.

Límite reconocido

Límite inferido

*"El Volcán Puracé es un estrato-volcán activo en estado de reposo, cuyo registro geológico mas reciente, muestra actividad predominantemente explosivo. Se tienen descripciones de erupciones históricas desde 1816, algunas de ellas con generación de flujos piroclásticos. En los últimos 150 años el Puracé ha presentado cinco periodos eruptivos, con intervalos de reposo entre 10 y 20 años."*

# Actividad Volcánica




▲▲▲ Cadena volcánica de Los Coconucos (CVLC).

● La Mina Fuente termal (Modificado de Monsalve y Pulgarín; 1993).

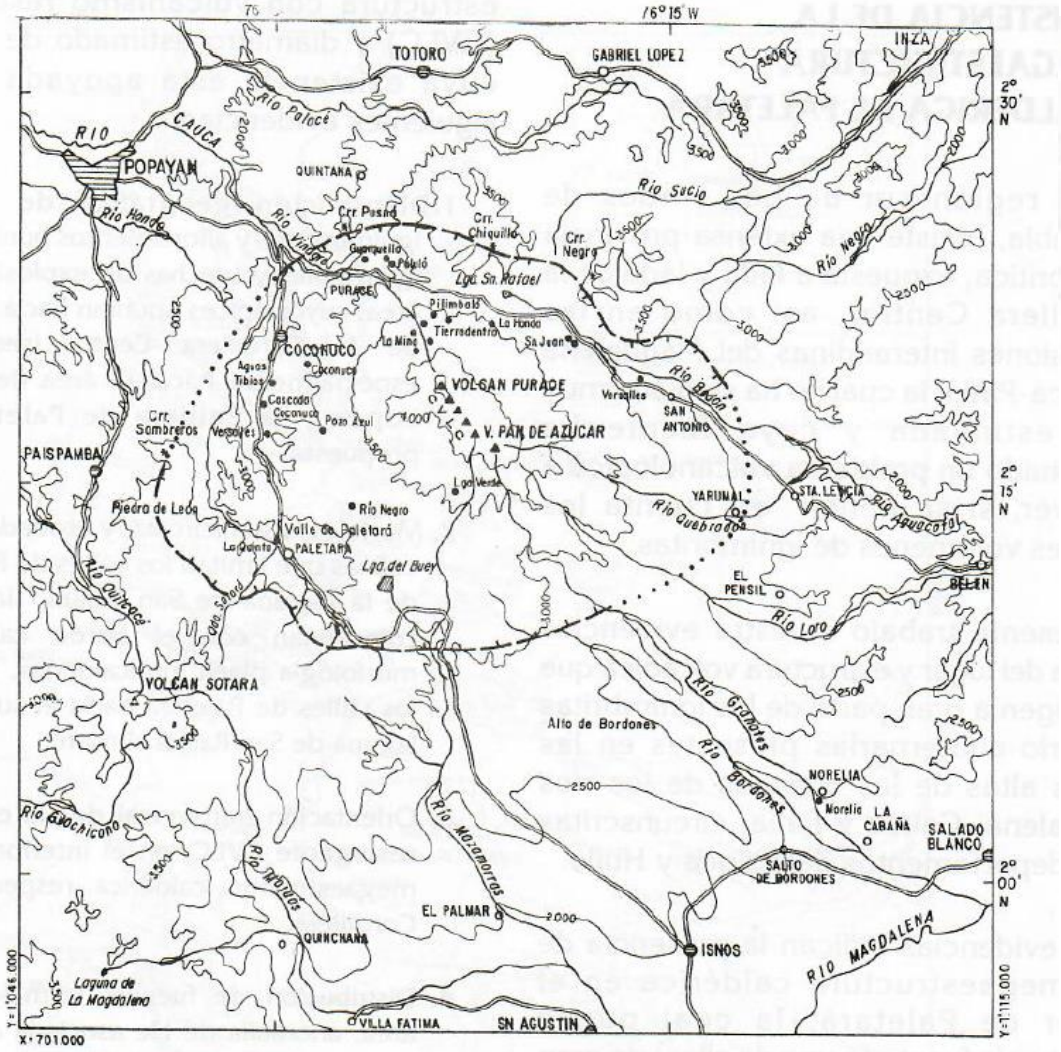
Caldera de Paletará.

Límite reconocido

Límite inferido

*"En la región sur de los Andes de Colombia, existe una extensa provincia ignimbrítica, expuesta a lado y lado de la Cordillera Central, así como en las depresiones interandinas del Magdalena y Cauca, la cual no ha sido aun bien estudiada y cuya fuente ha constituido un problema vulcanológico a resolver, si se tienen en cuenta los grandes volúmenes de ignimbritas."*

# Actividad Volcánica




▲ ▲ ▲ Cadena volcánica de Los Coconucos (CVLC).

● La Mina Fuente termal (Modificado de Monsalve y Pulgarín; 1993).

Caldera de Paletará.

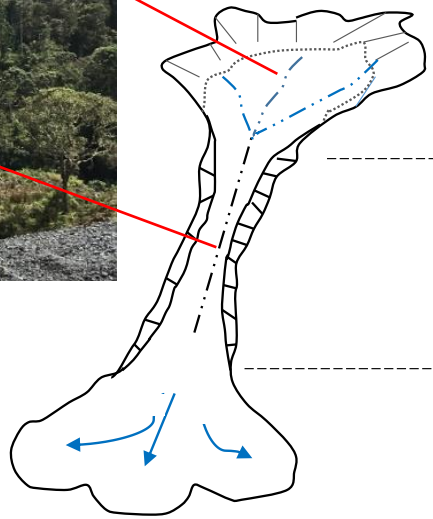
Límite reconocido

Límite inferido

*"Tales evidencias indican la presencia de una megaestructura caldérica en el sector de Paletará, la cual puede constituir la fuente de gran parte de las ignimbritas que afloran en los valles y paleovalles de los ríos que nacen en los sectores de Paletará.*

# PK71+000

El día 7 de Mayo del año 2016 se presentan una serie de avalanchas en el tramo comprendido entre Río Sucio y el Viaducto de Córdoba. En especial el viaducto Córdoba fue sobrecargado por una avalancha que termina depositando su flujo en la superestructura del puente.



PROCESOS PREDOMINANTES

ZONA A: Zona de fuente de materiales por erosión, caídas y deslizamientos.

ZONA B: Zona de "flujo canalizado" de transporte de materiales, encauzados por quebradas y cañadas. Ocurre incorporación de nuevos materiales del fondo del cauce y de las márgenes, por arrastre hidráulico y por deslizamientos y flujos inducidos en éstos.

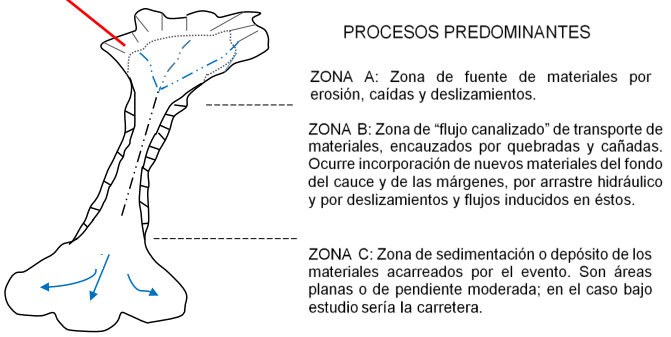
ZONA C: Zona de sedimentación o depósito de los materiales acarreados por el evento. Son áreas planas o de pendiente moderada; en el caso bajo estudio sería la carretera.

# PK71+000

El día 7 de Mayo del año 2016 se presentan una serie de avalanchas en el tramo comprendido entre Río Sucio y el Viaducto de Córdoba. En especial el viaducto Córdoba fue sobrecargado por una avalancha que termina depositando su flujo en la superestructura del puente.

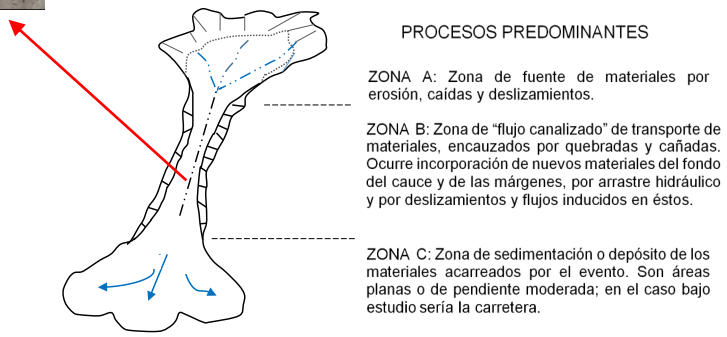
Aspecto cercano de los graves problemas de deslizamientos, flujos de detritos y de lodos de la zona inferior de la cuenca de las Quebradas Córdoba – Aguaclara y de deslizamientos múltiples retrogresivo, del cual se aportan materiales a ambas quebradas

Con las flechas rojas se indican los flujos de lodo que se originan en los flancos del deslizamiento



# PK71+000

El día 7 de Mayo del año 2016 se presentan una serie de avalanchas en el tramo comprendido entre Río Sucio y el Viaducto de Córdoba. En especial el viaducto Córdoba fue sobrecargado por una avalancha que termina depositando su flujo en la superestructura del puente.



# PK71+000

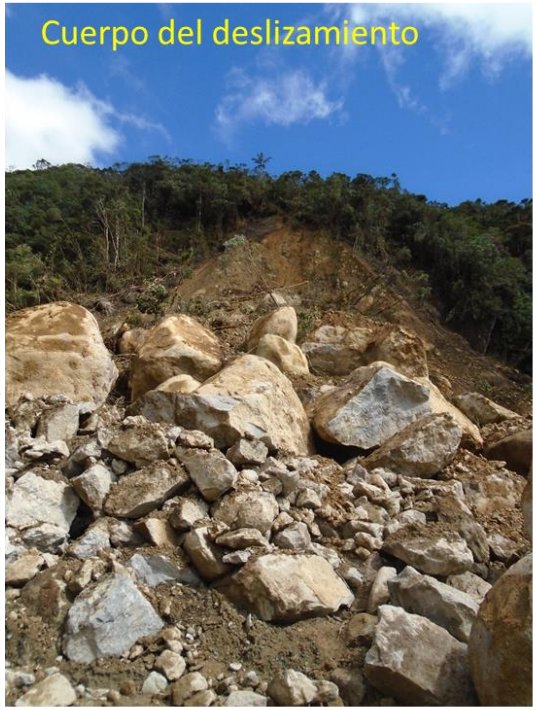
Instante de caída de avalancha de volumen relativamente pequeño. Notar el tamaño de los bloques rocosos mayores (dimensiones de 1.5 a 3.0 m) que les proporciona su alta capacidad de impacto y arrastre,

# PK59+400

El 16 de agosto de 2019 ocurrió un deslizamiento traslacional de rocas y suelo residual en el K59+400 de la vía Totoró – Inzá en el departamento del Cauca, el cual tuvo como consecuencia la pérdida de la banca en dos sectores, y llevó al cierre de la vía.

# PK59+400

Se puede observar el flanco derecho e izquierdo respectivamente, con bloques de roca embebidos dentro de suelo residual.



# PK59+400

La gran cantidad de bloques de roca de hasta 6 metros de diámetro que se encuentran depositados en el cuerpo principal del deslizamiento

# PK59+400

# PK59+400

Se observa el avanzado grado de meteorización de la roca al ser expuesta al medio ambiente en los cortes de la vía.

# PK59+400

Flanco izquierdo del deslizamiento

Se observa el flanco izquierdo del deslizamiento, con gran cantidad de suelo residual proveniente de la meteorización de la roca. También se evidencia un talud de corte adyacente al deslizamiento, al lado de Inzá, en cuya parte inferior se observa un suelo residual y en la parte alta gran cantidad de bloques en proceso de descomposición y alteración (Posible estado del corte del K 59+400 previo al deslizamiento).

# PK59+400

El sitio del deslizamiento se encuentra en una zona de alta recarga hídrica debido a su cercanía al páramo de las Delicias, lo cual induce una abundancia de agua tanto superficial que lava los finos limo arenosos del suelo residual en el cual se engloban los grandes bloques, como infiltrada y subterránea que origina altas presiones de infiltración y de poros que a su vez obran en contra de la inestabilidad del talud. Se nota en ambas fotos el proceso de meteorización esferoidal; el agua lluvia y la salida de la infiltrada lavan el suelo residual y facilitan el desmembramiento y la caída o flujo de las rocas.

# PK59+400

Los procesos de meteorización intensa y de deslizamientos, flujos y caída de rocas. Se pueden observar a lo largo de la vía y por lo tanto, ante la acción de la pluviosidad, es de esperarse la ocurrencia de otros eventos similares (eventualmente mas graves) que el estudiando.

# PK59+400

En las abscisas K58+220 y K56+800 se observan procesos de inestabilidad similares a los presentados en el K59+400.

# PK59+400

En las abscisas K58+220 y K56+800 se observan procesos de inestabilidad similares a los presentados en el K59+400.

Agradecimiento especial al Ing. Lucio Gerardo Cruz. Docente de la Universidad del Cauca

# PK56+680

En la abscisa K56+680 se observa cómo se presenta el deslizamiento y flujo de suelo residual, debido a las aguas lluvias que caen desde la parte alta de la ladera y a las infiltradas que afloran en el talud, y cómo éstas pueden generar desprendimientos de rocas que afectan la seguridad de la vía.

# Noticias de los últimos años

*Tomado de W Radio

# Factores Inherentes de la falla de taludes

En relación con los factores inherentes, contribuyentes o preparatorios de la falla del talud, se permite establecer que en el deslizamiento han jugado un papel importante tanto los procesos geológicos y geomorfológicos, entre éstos el avanzado grado de descomposición y alteración de las rocas, como las altas pendientes del terreno, junto con el clima en especial por la pluviosidad en la región, bastante alta y casi permanente, que también actuó como factor o agente disparador. La acción humana (o antrópica) que pudiera consistir en la excavación del corte para la carretera años atrás, aceleró los procesos de meteorización debido a que al exponer materiales a la atmosfera se intensifican las reacciones físicas y químicas propias de los procesos de meteorización.

Adicional, el tramo esta afectado intensamente por sistemas de fallas NE–SW, NNW–SSE y NW–SE, en algunos casos activos con marcados indicadores de actividad neotectónica, con desarrollo de brechas de magnitudes y extensiones importantes produciendo franjas muy susceptibles a sufrir procesos de inestabilidad y fenómenos neotectónicos.

En conjunto los aspectos mencionados hacen que el corredor Totoró – Inzá presente tramos complejos en su condición geológica – geotécnica, afectados por procesos combinados de meteorización - erosión, brechas de falla y gran desarrollo de suelos residuales de pobres especificaciones geomecánicas.

XVII CCG
I SSAG 2022
Cartagena

SCG

50 años
1971-2021

# ¡GRACIAS!

**¿Preguntas?**

jgarzonc@ingenieriaygeotecnia.com