





**SSAG 2022** Cartagena





Universidad de los Andes

ParisTech



Prof. Pierre Delage ENPC, Navier

Prof. Bernardo Caicedo U. de Los Andes, Bogotá

Juan Pablo Castillo Betancourt U. de Los Andes, Bogotá; ENPC, Navier

Interacción entre el sismómetro SEIS de la misión InSight y un análogo de regolito marciano

XVII CONGRESO COLOMBIANO DE GEOTECNIA - NOVIEMBRE 2022

Image credit: NASA/JPL-Caltech. Instrument Context Camera (ICC). Sol 83



### CONTENIDO



- 1. Contexto: La misión Mars InSight
- 2. Análogos del regolito marciano
- 3. Dispositivo experimental
- 4. Resultados

### 5. Conclusiones







https://www.jpl.nasa.gov/spaceimages /details.php?id=PIA01249

INTERACCIÓN ENTRE EL SISMÓMETRO SEIS DE LA MISIÓN INSIGHT Y UN ANÁLOGO DE REGOLITO MARCIAÑO

# CONTEXTO: La misión Mars InSight



École des Ponts ParisTech

InSight



https://mars.nasa.gov/insight/spacecraft/instruments/summary/



PGP NSTITUT DE PHYSIOI DU GLOBE DE PARIS Instrumento principal: SEIS

Seismic experiment for Interior Structure



https://mars.nasa.gov/insight/multimedia/raw images/?order=sol+desc%2Cdate taken+desc&per page=50&page=54&mission=insight



INTERACCIÓN ENTRE EL SISMÓMETRO SEIS DE LA MISIÓN INSIGHT Y UN ANÁLOGO DE REGOLITO MARCIANO

XVII CONGRESO COLOMBIANO DE GEOTECNIA - NOVIEMBRE 2022



GRS

THEMIS

# Análogos del regolito marciano

¿Cómo seleccionarlos?

Inercia térmica(I)

 $I \equiv (k \rho C)^{1/2} [J m^{-2} K^{-1} s^{-1/2}]$ 

k: thermal conductivity  $\rho$ : bulk density at surface c : specific heat

#### Verificación in-situ.

MARS ODYSSEY SPACECRAFT

> MARIF (contained inside

Golombek 2020:  $(160-230 [Jm^{-2}K^{-1}s^{-1/2}])$ 







InSight





# Análogos del regolito marciano



#### Características esperadas del regolito marciano.

Golombek 2020: (160–230 [  $Jm^{-2}K^{-1} s^{-1/2}$  ]) Table 1 Characteristics of some Martian surface materials (Golombek et al. 2008, Chap. 20)

Surface material	Bulk density (Mg/m <sup>3</sup> )	Grain size (mm)	Cohesion (kPa)	Friction angle (°)	Thermal inertia $(Jm^{-2}K^{-1}s^{-1/2})$
Drift	1–1.3	0.001-0.01	0-3	15-21	40–125
Sand	1.1-1.3	0.06-0.2	0-1	30	60–200
Crusty to cloddy sand	1.1-1.6	0.005-0.5	0-4	30-40	200-326
Blocky, indurated soil	1.2–2	0.05-3	3–11	25-33	368-410
Dense float rock, volcanic	2.6-2.8	2-2000	1000-10000	40-60	> 1200–2500
Clastic rock, Columbia Hills	2				620-1100
Sulfate rock, Meridiani	< 2				> 400–1100

Data derived from Moore et al. (1987, 1999), Moore and Jakosky (1989), Christensen and Moore (1992), Arvidson et al. (2004a, 2004b), Christensen et al. (2004a, 2004b), Herkenhoff et al. (2004a, 2004b), Fergason et al. (2006a) and Chap. 20 from Bell.







Trabajos previos en análogos de regolito marciano.

École des Pon ParisTech

InSight



(Karakostas et al. 2013)



Figure 2. Grain size distribution curves of the Mars regolith simulants tested

XVII CONGRESO COLOMBIANO DE GEOTECNIA - NOVIEMBRE 2022



INTERACCIÓN ENTRE EL SISMÓMETRO SEIS DE LA MISIÓN INSIGHT Y UN ANÁLOGO DE REGOLITO MARCIANO



InSight

# Análogos del regolito marciano



### Arena de Fontainebleau Sílice > 95%







(Andria-Ntoanina 2011)



INTERACCIÓN ENTRE EL SISMÓMETRO SEIS DE LA MISIÓN INSIGHT Y UN ANÁLOGO DE REGOLITO MARCIANO

## Dispositivo experimental





Universidad de Ios Andes





École des Ponts ParisTech

XVII CONGRESO COLOMBIANO DE GEOTECNIA - NOVIEMBRE 2022

térmico

INTERACCIÓN ENTRE EL SISMÓMETRO SEIS DE LA MISIÓN INSIGHT Y UN ANÁLOGO DE REGOLITO MARCIAÑO



# DISPOSITIVO EXPERIMENTAL



Medidas adoptadas para garantizar la precisión

Calibración de la prensa Ciclos 0.5 µm/min



### Aislamiento térmico Estabilización durante 24h



Test DS1 26 25 Test DS 24 ů Temperature: 23 22 Test DS2 21 20 (a) 19 10 15 Time: h

> INTERACCIÓN ENTRE EL SISMÓMETRO SEIS DE LA MISIÓN INSIGHT Y UN ANÁLOGO DE REGOLITO MARCIANO



INTERACCIÓN ENTRE EL SISMÓMETRO SEIS DE LA MISIÓN INSIGHT Y UN ANÁLOGO DE REGOLITO MARCIANO



R: radio

InSight

XVII CONGRESO COLOMBIANO DE GEOTECNIA - NOVIEMBRE 2022

D: máxima distancia de penetración

INTERACCIÓN ENTRE EL SISMÓMETRO SEIS DE LA MISIÓN INSIGHT Y UN ANÁLOGO DE REGOLITO MARCIANO

P: carga en el disco



InSight

## RESULTADOS



### Interpretación de resultados



XVII CONGRESO COLOMBIANO DE GEOTECNIA - NOVIEMBRE 2022

INTERACCIÓN ENTRE EL SISMÓMETRO SEIS DE LA MISIÓN INSIGHT Y UN ANÁLOGO DE REGOLITO MARCIANO



InSight

## CONCLUSIONES



- Se trabajó con un nuevo material análogo de regolito marciano (arena de Fontainebleau), seleccionado para emular el comportamiento mecánico del material de superficie en el sitio de aterrizaje de Mars InSight.
- Se consiguó una medida de alta precisión del proceso de interacción entre el pie de SEIS y el análogo de regolito marciano, en un rango de muy bajas deformaciones ( $\epsilon = 10^{-6}$ ).
- Se obtuvo el valor de módulo correspondiente a esta información (E=20 MPa en el contexto de InSight), y se observó una variación lineal del modulo en la gama de muy bajos esfuerzos explorada.
- Se obtuvieron resultados de interés en un rango hasta ahora poco explorado de muy bajos esfuerzos (<5 kPa).</li>

https://www.icevirtuallibrary.com/doi/abs/10.1680/jge

<u>ot.21.00171</u>



# **GRACIAS!**

### **¿Preguntas?** jp.castillo11@uniandes.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



EVALUACIÓN DE TIEMPOS DE EQUILIBRADO DE LA SUCCIÓN TOTAL EN MUESTRAS COMPACTADAS DE M.G.S.B. A PARTIR DE SIMULACIONES NUMÉRICAS

René Utrera, Vladimir Merchán\* & Allex E. Álvarez

\*Profesor Asistente Universidad Industrial de Santander – Grupo de Investigación INME Proyecto VIE - 3717

1971-202<sup>-</sup>



XVII CCG ISSAG 2022 Cartagena



- 1. Motivación
- 2. Localización de la cantera
- 3. Materiales y caracterización
- 4. Secado en el laboratorio
- 5. Modelación numérica
- 6. Siguientes pasos
- 7. Agradecimientos.











[1] https://infobasicingcivil.blogspot.com/





EVALUACIÓN DE TIEMPOS DE EQUILIBRADO DE LA SUCCIÓN TOTAL EN MUESTRAS COMPACTADAS DE M.G.S.B A PARTIR DE SIMULACIONES NUMÉRICAS

XVII CCG I SSAG 2022

XVII CCG I SSAG 2022

Cartagena

INVIAS

**PROMEDIO** 

**CANTERA** 

### 2. LOCALIZACIÓN

Localización: Sur occidente de Bucaramanga. Bloque Sur Macizo de Santander Material meteorizado del Granito de pescadero: J-Pi

IP = 11%

LL = 40%

100

90

80

Clasificación SUCS curva promedio: GW-GM

[2] Gelves (2022)









#### 3. MATERIALES Y CARACTERIZACIÓN



Compactador giratorio: amasado por presión y acción giratoria. Velocidad de giro: 30 rpm. Esfuerzo vertical de compactación, Sv= 600kPa. Ángulo de giro: 1.16° Número de giros: 180 IP = 11% LL = 40% Diámetro: 14.9 cm Altura: 20.4 cm





4. PROCESO DE SECADO EN EL LABORATORIO



HR = 85% +-5% Temperatura: 23.3°C +-0.5°C

Evolución del grado de saturación por secado en el ambiente de laboratorio.



EVALUACIÓN DE TIEMPOS DE EQUILIBRADO DE LA SUCCIÓN TOTAL EN MUESTRAS COMPACTADAS DE M.G.S.B A PARTIR DE SIMULACIONES NUMÉRICAS



EVALUACIÓN DE TIEMPOS DE EQUILIBRADO DE LA SUCCIÓN TOTAL EN MUESTRAS COMPACTADAS DE M.G.S.B A

PARTIR DE SIMULACIONES NUMÉRICAS

Van Genuchten para muestras compactadas con porcentaje de finos entre 8% a 24%

Sociedad

de eotecnia

ombiana

5(

1971-2021

Uyy = 0





EVALUACIÓN DE TIEMPOS DE EQUILIBRADO DE LA SUCCIÓN TOTAL EN MUESTRAS COMPACTADAS DE M.G.S.B A PARTIR DE SIMULACIONES NUMÉRICAS



### 5. MODELO NUMÉRICO - Resultados





#### EVALUACIÓN DE TIEMPOS DE EQUILIBRADO DE LA SUCCIÓN TOTAL EN MUESTRAS COMPACTADAS DE M.G.S.B A PARTIR DE SIMULACIONES NUMÉRICAS





EVALUACIÓN DE TIEMPOS DE EQUILIBRADO DE LA SUCCIÓN TOTAL EN MUESTRAS COMPACTADAS DE M.G.S.B A PARTIR DE SIMULACIONES NUMÉRICAS





- Verificación de condiciones iniciales de humedad y densidad en zona superior, media e inferior.
- Control de humedad relativa y temperatura en desecadores.
- Trayectorias de humedecimiento.









Este proyecto es parcialmente financiado por la Vicerrectoría de Investigación y Extensión de la Universidad Industrial de Santander. Se agradece el apoyo del Grupo de investigación INME y la participación proactiva de los estudiantes de Maestría en Geotecnia Roymar Gelves y Sebastián Vallejo y los estudiantes de pregrado, Jeisi Martínez, Juan C. Vargas, Juan Ariza, Carlos Martínez, Álvaro Arroyo y Josi David Cabrales.







# **¡GRACIAS!**

¿Preguntas?

vmerchan@uis.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



Cartagena

#### INFLUENCIA DE LA DISTRIBUCIÓN DE CARBONATOS EN EL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE UNA ARCILLA CEMENTADA ESTUDIO EXPERIMENTAL

DANIEL F. RUIZ<sup>1</sup>; JEAN VAUNAT<sup>2</sup>; DIDIER VIRELY<sup>3</sup>; ANDRY RAZAKAMANAATSOA<sup>4</sup>; CHRISTOPHE DANO<sup>5</sup> <sup>1</sup> Universidad EAFIT. Medellín, Colombia <sup>2</sup> Universitat Politècnica de Catalunya UPC. Barcelona, España <sup>3</sup> CEREMA. Toulouse, Francia <sup>4</sup> Université Gustave Eiffel. Nantes, Francia <sup>5</sup> Université Grenoble Alpes. Grenoble, Francia









- 1. Introduction and Motivation
- 2. Experimental Testing
- 3. Conclusions and Further Developments







Local works

Telmo, F., Montero, J., Pino, A., Duarte, I., Saroglou, H. & Torres, M. (2020). Mudrocks as Soft Rocks: Properties and Characteristics

Montero, J., Torres, M., Palomino, C., & Cortes, R. (2013). Mudrocks from The Colombian Eastern Mountain Range.

Torres, M. & Montero, J. (2011). Geotechnical Behavior of Shales in the Colombian Andes



#### **Merville Clay**

- Flanders Region—Northern France
- The clay is known as a stiff, heavily overconsolidated (1.5 to 40 m)
- Laboratory and in-situ tested (ECN, IFSTTAR(LCPC))



Carbonate Content 0.8 – 5% PhD Thesis Jian Han (2014) Ecole Central de Nantes

XVII CCG





Drying (60°C)  $\rightarrow$  Crushing  $\rightarrow$  Mixing (Clay Powder/Water/Cement)  $\rightarrow$  Static Compaction



10% Cement

XVII CCG



Ca

#### Main objectives

Verify the mixing process (repeatability)

Find microstructural descriptors (bonding distribution)





Polarized Microscopy

Microtomography

- Cracks generated by freezing and vacuum injection

Ca

XVII CCG I SSAG 2022

#### Main objectives

Verify the cement curing process and repeatability **Failure Mechanism** Damage due to loading-Unloading Cycles



Unconfined Compression Strength + Digital Image Correlation



UCS

**UCS-DIC** 

Sample Generation

XVII CCG I SSAG 2022

#### XVII CCG ISSAG 2022 Cartagena

### 2. EXPERIMENTAL TESTING

#### **Main objectives**




## 2. EXPERIMENTAL TESTING





## 2. EXPERIMENTAL TESTING





#### **Main objectives**

Verify the cement curing process and repeatability Failure Mechanism Damage due to loading-Unloading Cycles



XVII CCG

Cartagena

Non Treated Clay (NTC) - ( $C_{s2}=C_{s1}$ ) No Structural Damage, Natural Ca is inclusions



UCS

**UCS-DIC** 

Triaxial Tests

Sample Generation

Microstructural Insight

**Mechanical Tests** 

**Oedometer Tests - CSR** 

#### DISTRIBUCIÓN DE CARBONATOS EN ARCILLAS CEMENTADAS 12

## 2. EXPERIMENTAL TESTING



- The cement distribution does not affect the compressibility of the treated clays 'Same'  $\sigma'_p$  and  $C_c$
- Treated clays (TUDC-TNDC) shows Structural Damage ( $C_{s3} > C_{s2} > C_{s1}$ )
- The swelling index evolution indicates that nodular distribution of cement (TNDC) generates more damage compare with uniform distribution (TUDC)



#### **Main objectives**

Swell Sensitivity

Verify the cement curing process and repeatability Failure Mechanism Damage due to loading-Unloading Cycles







 $C_{s}^{*}/C_{s} \sim 1$ 

XVII CCG

#### ISSAG 2022 4. CONCLUSIONS AND FURTHER DEVELOPMENTS Cartagena

Damage - Plasticity Model

Vaunat, J. & Gens, A. (2003). Bond degradation and irreversible strains in soft argillaceous rock.

Gens, A. Vaunat, J., Garrite, B., & Wileveau, Y (2007). In situ behaviour of a stiff layered clay subject to thermal loading: observations and interpretation Villarraga, J. (2018). Effect of thermal cycles on rock massif stability. This ongoing work...





XVII CCG

CALLOVO OXFORDIAN MUDSTONE

f < 1 (cementing agent has a rather low structuring effect)

Is the bonding distribution a topological variable?

Shape, size, surface area...





Sociedad Colombiana de Geotecnia

DISTRIBUCIÓN DE CARBONATOS EN ARCILLAS CEMENTADAS 16



# **GRACIAS!**

¿Preguntas? dfruizr@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



Cartagena

## INFLUENCIA DE LA DISTRIBUCIÓN DE CARBONATOS EN EL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE UNA ARCILLA CEMENTADA ESTUDIO EXPERIMENTAL

DANIEL F. RUIZ<sup>1</sup>; JEAN VAUNAT<sup>2</sup>; DIDIER VIRELY<sup>3</sup>; ANDRY RAZAKAMANAATSOA<sup>4</sup>; CHRISTOPHE DANO<sup>5</sup> <sup>1</sup> Universidad EAFIT. Medellín, Colombia <sup>2</sup> Universitat Politècnica de Catalunya UPC. Barcelona, España <sup>3</sup> CEREMA. Toulouse, Francia <sup>4</sup> Université Gustave Eiffel. Nantes, Francia <sup>5</sup> Université Grenoble Alpes. Grenoble, Francia









- 1. Introduction and Motivation
- 2. Experimental Testing
- 3. Conclusions and Further Developments







Local works

Telmo, F., Montero, J., Pino, A., Duarte, I., Saroglou, H. & Torres, M. (2020). Mudrocks as Soft Rocks: Properties and Characteristics

Montero, J., Torres, M., Palomino, C., & Cortes, R. (2013). Mudrocks from The Colombian Eastern Mountain Range.

Torres, M. & Montero, J. (2011). Geotechnical Behavior of Shales in the Colombian Andes



### **Merville Clay**

- Flanders Region—Northern France
- The clay is known as a stiff, heavily overconsolidated (1.5 to 40 m)
- Laboratory and in-situ tested (ECN, IFSTTAR(LCPC))



Carbonate Content 0.8 – 5% PhD Thesis Jian Han (2014) Ecole Central de Nantes

XVII CCG





Drying (60°C)  $\rightarrow$  Crushing  $\rightarrow$  Mixing (Clay Powder/Water/Cement)  $\rightarrow$  Static Compaction



10% Cement

XVII CCG



Ca

#### Main objectives

Verify the mixing process (repeatability)

Find microstructural descriptors (bonding distribution)





Polarized Microscopy

Microtomography

- Cracks generated by freezing and vacuum injection

Ca

XVII CCG I SSAG 2022

#### Main objectives

Verify the cement curing process and repeatability **Failure Mechanism** Damage due to loading-Unloading Cycles



Unconfined Compression Strength + Digital Image Correlation



UCS

**UCS-DIC** 

Sample Generation

XVII CCG I SSAG 2022

## 2. EXPERIMENTAL TESTING





## 2. EXPERIMENTAL TESTING





## 2. EXPERIMENTAL TESTING





#### **Main objectives**

Verify the cement curing process and repeatability Failure Mechanism Damage due to loading-Unloading Cycles



XVII CCG

Cartagena

Non Treated Clay (NTC) - ( $C_{s2}=C_{s1}$ ) No Structural Damage, Natural Ca is inclusions



UCS

**UCS-DIC** 

Triaxial Tests

Sample Generation

Microstructural Insight

**Mechanical Tests** 

**Oedometer Tests - CSR** 

#### DISTRIBUCIÓN DE CARBONATOS EN ARCILLAS CEMENTADAS 12

## 2. EXPERIMENTAL TESTING



- The cement distribution does not affect the compressibility of the treated clays 'Same'  $\sigma'_p$  and  $C_c$
- Treated clays (TUDC-TNDC) shows Structural Damage ( $C_{s3} > C_{s2} > C_{s1}$ )
- The swelling index evolution indicates that nodular distribution of cement (TNDC) generates more damage compare with uniform distribution (TUDC)



#### **Main objectives**

Swell Sensitivity

Verify the cement curing process and repeatability Failure Mechanism Damage due to loading-Unloading Cycles







 $C_{s}^{*}/C_{s} \sim 1$ 

XVII CCG

#### ISSAG 2022 4. CONCLUSIONS AND FURTHER DEVELOPMENTS Cartagena

Damage - Plasticity Model

Vaunat, J. & Gens, A. (2003). Bond degradation and irreversible strains in soft argillaceous rock.

Gens, A. Vaunat, J., Garrite, B., & Wileveau, Y (2007). In situ behaviour of a stiff layered clay subject to thermal loading: observations and interpretation Villarraga, J. (2018). Effect of thermal cycles on rock massif stability. This ongoing work...





XVII CCG

CALLOVO OXFORDIAN MUDSTONE

f < 1 (cementing agent has a rather low structuring effect)

Is the bonding distribution a topological variable?

Shape, size, surface area...





Sociedad Colombiana de Geotecnia

DISTRIBUCIÓN DE CARBONATOS EN ARCILLAS CEMENTADAS 16



# **GRACIAS!**

¿Preguntas? dfruizr@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



AN APPROACH TO CHEMICAL AGEING IN COLOMBIAN FLUVIO-LACUSTRINE GRANULAR MATERIALS THROUGH DRX-FRX ANALYSIS AND ELECTROKINETICAL (ZETA) POTENTIAL FORCES

MIGUEL CASTILLA-BARBOSA – MANUEL OCAMPO-TERREROS Pontificia Universidad Javeriana

> ORLANDO RINCÓN-ARANGO WSP Colombia







- 1. Motivation
- 2. Problem Introduction
- 3. Preliminary Results
- 4. Conclusions



Motivation

#### **Historical Cases:**

According to Garcia-Delgado et al. (2022), 12 historical events in the seventeenth and eighteenth centuries and 2339 processes occurred in the twentieth and twenty-first centuries (1912 to 2020).

#### Some historic cases:

- Quebrada Blanca landslide on the road linking Bogotá and Villavicencio on 28 June 1974.
- Chirapotó on the road between Supía and La Pintada in 1970 (Caldas and Antioquia departments).
- Bogotá Villavicencio highway landslide on 2019.



Reference: García-Delgado et al. (2022)



AN APPROACH TO CHEMICAL AGEING IN COLOMBIAN FLUVIO-LACUSTRINE GRANULAR MATERIALS





## "Everything on this earth has at least one thing in common – everything changes with time."

Schmertmann, 1991. Twenty-Fifth Karl Terzaghi Lecture.





## **Motivation**

#### What is the Ageing of Soils?

- Significant modification of mechanical and physical soil properties (Ltifi et al., 2014).
- Increase in strength and deformation parameters of soil caused by rigidification.
- Time-dependent process which leads to change in the behavior of soils.

#### Why these materials?

- Changes in mechanical behavior over time due to stress condition changes.
- Several instability problems on Andes Mountain Range and Bogota-Villavicencio Highway frequently Landslides problems.
- In general terms, most of the analytical models do not include Ageing phenomena.





## Motivation and Justification

- The aging phenomena still generate uncertainty (Baxter, 2004), their verification remains inconclusive (Wang, 2008) or their causes or mechanisms underlying are still unclear (Toyota, 2021).
- In general terms, chemical aging can be interpreted as the dissolution and/or precipitation of minerals such as silica or calcium carbonates (Baxter et al., 2004; Mitchel, 2008), interpreted as the main mechanisms of sand aging, and which can develop particle cementation in granular media (Toyota, 2021).
- However, some authors doubt that granular media can produce sufficient chemical forces between particles since there is still no incontrovertible evidence to validate the hypothesis (Bowman et al., 2003; Baxter et al., 2004; Mitchel, 2008).





## Problem Introduction

#### Bogotá-Villavicencio Highway Landslide in 2019:



(a) Hillslope of fluvio-lacustrine material in Bogotá-Villavicencio Highway



(b) Exposed area in hillslope for Image Analysis



#### AN APPROACH TO CHEMICAL AGEING IN COLOMBIAN FLUVIO-LACUSTRINE GRANULAR MATERIALS





#### Bogotá-Villavicencio Highway Landslide in 2019:

- Fluvio-torrential deposits with high heterogeneity due to the presence of clasts of various sizes combined with a predominantly sandy matrix.
- Materials that conform to the mass of the slope in different characterization processes have been identified as clast-supported and matrix-supported in the different evaluations carried out.
- Relevance to evaluate the chemical composition of the materials through different techniques and under different pH conditions to understand possible phenomena that can be presented.





10

## Problem Introduction

**Bogotá-Villavicencio Highway Landslide in 2019:** 

Scale	Size Range	Characteristic Materials
Macro Scale	D <sub>i</sub> > 2 mm (φ = -1)	Mega gravels (Megaliths, monoliths, block) and Gravels (boulders and pebble)
Meso Scale	$D_i < 2 \text{ mm} (\phi = -1) \&$ $D_i > 0.125 \text{ mm} (\phi = 3)$	Coarse, medium and fine sands
Micro Scale	D <sub>i</sub> < 0.125 mm (φ = 3)	Very fine sand, silts, clays

Size ranges according to the Modified Udden Wenthworth scale for coarse sedimentary particles (Blair & Mcpherson, 2018)











AN APPROACH TO CHEMICAL AGEING IN COLOMBIAN FLUVIO-LACUSTRINE GRANULAR MATERIALS

XVII CCG I SSAG 2022



Bogotá-Villavicencio – Fine Fractions:

- Pass Sieve: No. 400 (37 μm)
- Retained in sieve No. 500 (25 µm)










2.5µm



#### AN APPROACH TO CHEMICAL AGEING IN COLOMBIAN FLUVIO-LACUSTRINE GRANULAR MATERIALS

XVII CCG I SSAG 2022

Cartagena





### **Energy Dispersive Spectroscopy:**









## **XRF – X Ray fluorescence – Elemental Analysis:**







# Preliminary Results

## XRF – X Ray fluorescence – Oxides Analysis:







# Preliminary Results

## **DRX - XRay Diffraction – Green Fraction:**







### Zeta Potential of Sands:





#### AN APPROACH TO CHEMICAL AGEING IN COLOMBIAN FLUVIO-LACUSTRINE GRANULAR MATERIALS

20

XVII CCG I SSAG 2022

Cartagena



# Conclusions

- XRD-FRX tests allow the identification of concentrations of silica and aluminum in amounts close to 35% and 14% respectively, as well as silicon dioxide (SiO<sub>2</sub>) in concentrations of up to 66% for the representative fractions; elements that, in contact with water, can trigger a process of silica precipitation and/or suspension in particles of fine material.
- Variations in basic pH conditions show that there are no changes in the electrokinetic forces (Zeta Potential) when reaching the electrically stable point at -30mV (Thakur et al., 2020); generating less aggregation of the silica particles as a result of the possible precipitation of silica.
- The silica precipitation process can be interpreted as a mechanism that can develop cementation between sand particles. This could be due to the increase of fine fractions and the possibility to experience a hardening process interpreted as the ageing of soils.





# **GRACIAS!**

¿Preguntas? castilla.m@javeriana.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



## INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL DEL COLAPSO EN SUELOS EÓLICOS UN CASO DE ESTUDIO EN MAYAPO, COLOMBIA

KANDY TEHERAN<sup>1</sup>; <u>DANIEL F. RUIZ<sup>2</sup></u>; MANUEL VILLARRAGA<sup>1</sup> & DIDIER VIRELY<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Universidad Nacional de Colombia – Sede Medellín
<sup>2</sup> Universidad EAFIT. Medellín, Colombia
<sup>3</sup> CEREMA. Toulouse, Francia









- 1. Introduction
- 2. Location: Mayapo, Colombia
- 3. Experimental Testing
- 4. Conclusions and Further Developments







# **1. INTRODUCTION**

## Collapse phenomenon

1971-2021



**COLAPSO EN SUELOS EÓLICOS** 

**Consequences** 







# Infraestructure development









Eolian soils (Ingenominas, 2009)



Flooding during winter season



COLAPSO EN SUELOS EÓLICOS

# **3. EXPERIMENTAL TESTING**



ociedad

de eotecnia

1971-2021

1. Identify the main hydro-mechanical features that contributes to the collapse behaviour of the eolian soils located at Mayapo, Colombia

2. Determinate the collapse potential of sand eolian soils from Eolic Deposit Formation (Qe) in Mayapo, Colombia





#### XVII CCG I SSAG 2022 **3. EXPERIMENTAL TESTING** Cartagena Mayapo Soil sampling Medellín Toulouse, Francia Soil classification SUCS-French standard NF Micro-structure Suction measurement Volumetric behaviour Cerema PIT 4 PIT 1 PIT 2 PIT 3 72'60 W 72'50 W Buenavista Swamp CARIBBEAN SEA

We need to keep the soil structure!





eotecnia

1971-2021



#### Sociedad Colombiana de Geotecnia

COLAPSO EN SUELOS EÓLICOS

## **3. EXPERIMENTAL TESTING**

de Geotecnia

1971-2021



XVII CCG I SSAG 2022

Cartagena



de Geotecnia

1971-2021



Scheme oedometer with auxiliary devices









- The geological origin of eolian soils is the main reason of their collapse potential (e.g. poorly-graded particle distribution and open structure).
- The salt concentration contributes to hydraulic behavior of the soil (osmotic suction).
- The maximum volume change is generated at 200 kPa.
- Stiffness and yield evolution can be reproduced trough well-known constitutive models (e.g. Barcelona Basic Model).





# **GRACIAS!**

¿Preguntas? kteheran@unal.edu.co dfruizr@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



INFLUENCIA DEL CONTENIDO DE CEMENTO EN LAS CARACTERÍSTICAS DE RETENCIÓN DE HUMEDAD EN SUELOS NATURALES DEL DEPARTAMENTO DE ANTIOQUÍA

LAURA TATIANA CORREA GUERRERO, LISSA DANIELA FORERO ORTIZ, YULI NORETH DAZA CORREA Estudiantes de Pregrado y Maestría Universidad Santo Tomás







2

## **CONTENIDO**

- Generalidades de la investigación
- Objetivo de investigación
- Caracterización del suelo en estudio
- Ensayo de succión
- Resultados y Análisis de resultados
- Conclusiones
- Recomendaciones



## GENERALIDADES DE LA INVESTIGACION

## **RED VIAL NACIONAL COLOMBIANA**





XVII CCG I SSAG 2022

Cartagena

4

Fuente: INVIAS 2022



**50** años

INFLUENCIA DEL CONTENIDO DE CEMENTO EN LAS CARACTERÍSTICAS DE RETENCIÓN DE HUMEDAD EN SUELOS NATURALES DEL DEPARTAMENTO DE ANTIOQUÍA



# DISTRIBUCION RED VIAL NACIONAL

Total longitud de la Red Vial Nacional: 205.745 Km Red primaria: 9 % (18.323 Km) Red Secundaria: 22 % (45.137 km) Red Terciaria: 69 % (142.284 km).



**Responsable** ANI NVIAS Departamentos Municipios

Gráfica 2.2. Administración de la red vial nacional. Fuente: elaboración propia con datos de la ANI, Invías y Mintransporte.

Fuente: Transporte en Cifras 2021; Ministerio de Transporte



INFLUENCIA DEL CONTENIDO DE CEMENTO EN LAS CARACTERÍSTICAS DE RETENCIÓN DE HUMEDAD EN SUELOS NATURALES DEL DEPARTAMENTO DE ANTIOQUÍA



## **CARACTERISTICAS DE LA VIAS TERCIARIAS**

Conectan las cabeceras municipales con las veredas

En malas condiciones

Difícil acceso

Falta de mantenimiento

Destapadas, Intransitables

Afirmado

Materiales de bajas especificaciones





Fuente: 17 de agosto de 2019. Vías terciarias, el viacrucis de nuestros campesinos. El Cronista.com. https://elcronista.co/region/vias-terciarias-el-viacrucis-de-nuestros-campesinos



INFLUENCIA DEL CONTENIDO DE CEMENTO EN LAS CARACTERÍSTICAS DE RETENCIÓN DE HUMEDAD EN SUELOS NATURALES DEL DEPARTAMENTO DE ANTIOQUÍA



7

## ALTERNATIVAS PARA LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS



Fuente: Curso de Ingeniería de bajos volúmenes de tránsito, 2010. Escuela de Ingenieros Julio Garavito, 22 y 23 de febrero de 2010





8

Determinar la influencia del contenido de agua en el suelo cementado con dos porcentajes de dosificación analizados y establecer relaciones entre el tamaño de poros de muestras naturales y estructuradas artificialmente, con su capacidad de respuesta ante los cambios en el contenido de agua.





# CARACTERIZACIÓN DEL SUELO EN ESTUDIO





# **CARACTERÍSTICAS DEL SUELO EN ESTUDIO**

#### Gravas 0% Arenas: 3,7% Finos: 96,3%

Limos: 44,5% Arcillas: 21,3%

Masa seca sin lavar (g)		506,16	Masa seca lavada (g)		18,76
ABERTURA DEL TAMIZ		Masa	%	% Retenido	%
Pulgadas	mm	Retenida	Retenido	Acumulado	Pasa
4"	100				100,0
3"	75,0				100,0
21/2"	63,0				100,0
2"	50,0				100,0
11/2"	37,5				100,0
"	25,0				100,0
3/4"	19,0				100,0
1/2"	12,5				100,0
3/8"	9,5				100,0
No 4	4,8				100,0
No 10	2,0				100,0
No 40	0,425	0,11	0,02	0,02	99,98
No 100	0,150	1,47	0,29	0,31	99,7
No 200	0,075	17,18	3,39	3,71	96,3
<u>FONDO</u>		487,40	96,29	100,00	



INFLUENCIA DEL CONTENIDO DE CEMENTO EN LAS CARACTERÍSTICAS DE RETENCIÓN DE HUMEDAD EN SUELOS NATURALES DEL DEPARTAMENTO DE **10** ANTIOQUÍA



# **RESULTADOS ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN**



## Límite Liquido: 46,8

Límite Plástico: 22,0

Índice de plasticidad: 24,8

Índice de Liquidez: -0,9



Humedad 2,81%

Gravedad Especifica: 2,70

Contenido de materia orgánica: 1,22



INFLUENCIA DEL CONTENIDO DE CEMENTO EN LAS CARACTERÍSTICAS DE RETENCIÓN DE HUMEDAD EN SUELOS NATURALES DEL DEPARTAMENTO DE 11 ANTIOQUÍA





















# PREPARACIÓN DE MUESTRAS

XVII CCG I SSAG 2022
Cartagena

CONTENIDOS DE AGUA						
% CEMENTO	SECO	OPTIMA	HUMEDO			
0%						
3%	14,5%	16%	17,5%			
5%						




# ENSAYO DE SUCCIÓN





# SUCCIÒN TOTAL MÈTODO PAPEL DE FILTRO



- Ensayo de succión por el método de papel filtro (INV-E 159 2013)
- Para la cual se manejaron tiempos de 7 días por muestra con diferentes humedades





# SUCCIÒN TOTAL CON EQUIPO WP4C



 Ensayo de succión, método del higrómetro (ASTM 2008)





INFLUENCIA DEL CONTENIDO DE CEMENTO EN LAS CARACTERÍSTICAS DE RETENCIÓN DE HUMEDAD EN SUELOS NATURALES DEL DEPARTAMENTO DE **17** ANTIOQUÍA

## ANÀLISIS DE RESULTADOS









INFLUENCIA DEL CONTENIDO DE CEMENTO EN LAS CARACTERÍSTICAS DE RETENCIÓN DE HUMEDAD EN SUELOS NATURALES DEL DEPARTAMENTO DE 19 ANTIOQUÍA

XVII CCG I SSAG 2022









INFLUENCIA DEL CONTENIDO DE CEMENTO EN LAS CARACTERÍSTICAS DE RETENCIÓN DE HUMEDAD EN SUELOS NATURALES DEL DEPARTAMENTO DE 20 ANTIOQUÍA



COMPARATIVO HUMEDECIMIENTO - SECADO





INFLUENCIA DEL CONTENIDO DE CEMENTO EN LAS CARACTERÍSTICAS DE RETENCIÓN DE HUMEDAD EN SUELOS NATURALES DEL DEPARTAMENTO DE **21** ANTIOQUÍA





- Se observa que, el comportamiento de las muestras tienen una tendencia similar en el rango de contenidos de humedad del 14% al 30%, debido a que no se presenta mayores variaciones en la succión; y para los contenidos del 3% al 14%, el comportamiento difiere entre las muestra de suelo.
- De la curva de humedecimiento, se determina que, a mayor contenido de cemento, mayor reducción del tamaño poros; en consecuencia, la succión muestra una relación directamente proporcional al contenido de cemento.







- Realizando una comparación en la curva de humedecimiento vs secado, se evidencia que, los valores de succión en el secado son mayores a los de humedecimiento, por lo que la humedad es inversamente proporcional a la succión.
- Cuando se presenta un incremento de la succión, la resistencia al corte y la rigidez del material, son directamente proporcionales al parámetro de la succión.











INFLUENCIA DEL CONTENIDO DE CEMENTO EN LAS CARACTERÍSTICAS DE RETENCIÓN DE HUMEDAD EN SUELOS NATURALES DEL DEPARTAMENTO DE 24 ANTIOQUÍA





- Como complemento para el trabajo futuro, se puede estudiar la rigidez dinámica del suelo en estado natural y con los diferentes contenidos de cemento analizados, a partir de ensayos de columna resonante incluyendo el análisis de la interacción con el contenido de agua en un espacio de tres dimensiones que se constituiría como un avance en el estado del conocimiento.
- Otros estudios pueden incluir la interacción con otros estabilizantes como la Cal, polímeros, aceites sulfonatos; buscando determinar la influencia y eficiencia ante los cambios de humedad de cada uno de estos estabilizantes.





# Referencias

- ASTM, «(D6836-02). Método de pruebas estándar para la Determinación de la curva característica del agua del suelo para la desorción mediante columna colgante, extractor de presión, higrómetro de espejo refrigerado o centrífuga,» ASTM International, 2008.
- INVIAS, «(INV E-159-13). Determinación de la succión de un suelo usando papel filtro,» Instituto Nacional de Vías, 2013.
- J. Norambuena, «Water retention curve of soil-cement composite material,» Revista chilena de ingeniería, vol. 23 Nº 4, 2015.
- E. Vitale, O. Cuisinier, G. Russo, D. Deneele, D. De Sarno, M. V. Nicotera y R. Papa, «Water retention





# **GRACIAS!**

## ¿Preguntas?

lissaforero@usantotomas.edu.co laura.correa@usantotomas.edu.co yulidaza@usantotomas.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



Cartagena

### ANÁLISIS DE UN MODELO CONSTITUTIVO PARA LOS SUELOS DERIVADOS DE CENIZAS VOLCÁNICAS

Navarrete R, Diego Nicolas<sup>1</sup>, PhD Colmenares M, Julio Esteban<sup>2</sup> <sup>1</sup>Estudiante Maestría en Ingeniería Geotecnia, <sup>2</sup>Profesor Tutor Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá

1971-202





# CONTENIDO

- 1. Introducción
- 2. Origen de los suelos derivados de ceniza volcánica (SDCV)
- 3. Principales características ingenieriles de los suelos derivados de ceniza volcánica
- 4. Modelo Constitutivo Clay And Sand Model (CASM)
- 5. Resultados experimentales
- 6. Retos en la investigación
- 7. Bibliografía





# 1. INTRODUCCIÓN

- Los suelos residuales producto de la meteorización de los depósitos de ceniza volcánica poseen relaciones "distintas" entre las propiedades geotécnicas de interés.
- Su comportamiento esta ampliamente relacionado por la presencia de sus principales minerales arcillosos como lo son las alófanas, la imogolita y la haloisita así como de los procesos de meteorización asociados.
- Actualmente, no se ha caracterizado ampliamente el comportamiento de la cedencia y la resistencia al corte de estos materiales en Colombia.



### 2. Origen de los suelos derivados de ceniza volcánica

Los suelos derivados de cenizas volcánicas, también conocidos como Andisoles, son producto de la meteorización química y física de los depósitos de cenizas volcánica [1], [2]. Se encuentran sobre el 0.84% de la superficie a nivel mundial y en el 11% de la superficie del territorio colombiano [3], [4]



Figura 2.1 Representación gráfica de la formación de suelos derivados de cenizas volcánicas, tomado de [2]

Figura 2.2 zonas con presencia identificada de suelos derivados de cenizas volcánicas en Colombia, tomado de [4]



#### ANÁLISIS DE UN MODELO CONSTITUTIVO PARA LOS SUELOS DERIVADOS DE CENIZAS VOLCÁNICAS

4

XVII CCG





#### ANÁLISIS DE UN MODELO CONSTITUTIVO PARA LOS SUELOS DERIVADOS DE CENIZAS VOLCÁNICAS

5



### 2. Origen de los suelos derivados de ceniza volcánica



CAPA C3 ARENA LIMOSA CEMENTADA

> Figura 2.4 Perfil típico de suelos derivados de ceniza volcánica en Armenia, tomado de [8]



Figura 2.5 Perfil típico en la exploración mediante apiques en la finca Santa Barbara, Montenegro - Quindío, elaboración propia



sociedadigura 2.2 Cobertura de suelos derivados de cenizas volcánicas ANÁLISIS DE UN MODELO CONSTITUTIVO PARA LOS SUELOS a nivel mundial, tomado de [5] DERIVADOS DE CENIZAS VOLCÁNICAS



7

# 3. Principales características ingenieriles de los suelos derivados de ceniza volcánica

- \*Físicas [6][9]-[11] :
- · Limites de consistencia altos
- · Alto contenido de agua
- Bajo peso unitario

- Estructura y comportamiento mecánico [6][9]-[11] :
- Altos valores de porosidad
- Resistencia mecánica considerable
- Textura francoarenosa a francoarcillosa

GROUP C				
Soils strongly influenced by clay minerals found only in residual soils	(a) Allophane subgroup	Soils weathered from volcanic ash in the wet tropics and temperate climates	Position on plasticity chart, irreversible changes on drying	Very high natural water contents and Atterberg limits. Engineering properties generally good, though high sensitivity may make earthworks difficult
	(b) Halloysite subgroup	Soils derived from volcanic material, especially tropical red clays	Reddish colour, well-drained topography, volcanic origin	Fine-grained soils of low to medium plasticity, and low activity. Engineering properties generally good
	(c) Sesquioxides: gibbsite, goethite, haematite	Laterites, or lateritic clays	Nonplastic or of low-plasticity granular or nodular	Behaviour ranges from low-plasticity silty clay to gravel. End products of very long weathering process

Tabla 3.1 Sistema de clasificación de suelos residuales propuesta por Wesley (1988), adaptada de [12]



#### ANÁLISIS DE UN MODELO CONSTITUTIVO PARA LOS SUELOS DERIVADOS DE CENIZAS VOLCÁNICAS

### 4. Modelo Constitutivo Clay And Sand Model (CASM)

Modelo constitutivo del estado critico propuesto por Yu (1998), que mediante dos parámetros de estado logra reformular en modelo MCC y adaptarlo al comportamiento de la superficie de fluencia para materiales arcillosos y arenosos ) [13].

$$f(p',q) = q^2 + M^2 p'(p'+p'o) \longrightarrow f(p',q,\xi) = \left(\frac{q}{Mp'}\right)^n + \frac{\xi}{\xi_R} - 1 = 0$$



Figura 4.1 Definición de parámetros de estado del modelo Clay And Sand Model, tomado de Yu (1998) [13]



#### ANÁLISIS DE UN MODELO CONSTITUTIVO PARA LOS SUELOS DERIVADOS DE CENIZAS VOLCÁNICAS

XVII CCG

Exploración del subsuelo: 3 apiques entre 2.0m y 3.0m de profundidad, extracción de dos muestras inalteradas de SDCV por cada apique, esta zona se encuentra dentro de la regio conocida como "Glacis del Quindío":



Figura 5.1 Localización de apiques en la finca Santa Barbara, Montenegro – Quindío, elaboración propia



#### ANÁLISIS DE UN MODELO CONSTITUTIVO PARA LOS SUELOS DERIVADOS DE CENIZAS VOLCÁNICAS

XVII CCG



Presencia de alófana en muestras extraídas:











Figura 5.2 Descripción de la estratigrafía de los apiques e identificación de presencia de alofada por el método de Fieldes & Perrot, elaboración propia



#### ANÁLISIS DE UN MODELO CONSTITUTIVO PARA LOS SUELOS 10 **DERIVADOS DE CENIZAS VOLCÁNICAS**

Valores de contenido de agua y limites de consistencia altos:

Muestra	w (%)	LL (%)	IP (%)
A01	88.0	112	44
A02	76.5	110	49
A03	80.9	104	37



Figura 5.3 Carta de plasticidad para suelos con contenido de alófana y suelos sedimentarios típicos, tomado de [10].



Figura 5.4 contenido de agua y limites de consistencia relacionados con el contenido de alofana, tomado de [1].



#### ANÁLISIS DE UN MODELO CONSTITUTIVO PARA LOS SUELOS DERIVADOS DE CENIZAS VOLCÁNICAS 11

XVII CCG



Figura 5.5 Ejecución de ensayos de compresión triaxial CU y CD, envolventes de falla M-C, elaboración propia



#### ANÁLISIS DE UN MODELO CONSTITUTIVO PARA LOS SUELOS DERIVADOS DE CENIZAS VOLCÁNICAS 12

XVII CCG ISSAG 2022

Trayectorias de esfuerzos y estimación de superficie de fluencia CASM



Figura 5.6 Trayectoria de esfuerzos de ensayos triaxiales muestra A01 y superficie de fluencia estimada con el modelo CASM, elaboración propia



#### ANÁLISIS DE UN MODELO CONSTITUTIVO PARA LOS SUELOS DERIVADOS DE CENIZAS VOLCÁNICAS 13

XVII CCG ISSAG 2022

Trayectorias de esfuerzos y estimación de superficie de fluencia CASM



Figura 5.7 Trayectoria de esfuerzos de ensayos triaxiales muestra A03 y superficie de fluencia estimada con el modelo CASM, elaboración propia



#### ANÁLISIS DE UN MODELO CONSTITUTIVO PARA LOS SUELOS 14 **DERIVADOS DE CENIZAS VOLCÁNICAS**

XVII CCG ISSAG 2022

# 📄 6. Retos en la investigación

- Cuantificar la cantidad de alófana de los suelos estudiados
- Ejecución de una mayor cantidad de ensayos Triaxiales que permitan identificar la repetibilidad de los resultados obtenidos.
- Realizar series de ensayos triaxiales + Compresiones Isotrópicas en demás SDCV de diferentes regiones que validen la hipótesis del comportamiento observado.
- El estudio y profundización en el conocimiento y aplicación de diversos modelos constitutivos, incluido el CASM
- La implementación del modelo CASM para el diseño de obras con presencia de SDCV y la medición en campo del comportamiento de las obras geotécnicas.
- Extender la investigación del comportamiento de los SDCV en condiciones parcialmente saturadas.



XVII CCC



# 📄 7. Bibliografía

[1] L. D. Wesley, Geotechnical Engineering in Residual Soils. John Wiley & Sons, Inc., 2010.

[2] A. Lizcano and M. C. Herrera, "Suelos derivados de cenizas volcánicas en colombia," Rev. Int. Desastr. Nat. Accid. e Infraestruct. Civ., vol. 6, no. 2, pp. 167–198, 2006.

[3] T. Takahashi and S. Shoji, "Distribution and classification of volcanic ash soils," Glob. Environ. Res., vol. 6, no. 2, pp. 83–97, 2002.

[4] M. C. Herrera, "SUELOS DERIVADOS DE CENIZAS VOLCÁNICAS EN COLOMBIA : ESTUDIO FUNDAMENTAL E IMPLICACIONES EN INGENIERIA," Universidad de los Andes, 2006.

[5] P. M. Huang, Y. Li, and M. E. Sumner, Eds., Handbook of Soil Sciences: Properties and Processes, Second. CRC Press, 2012.

[6] L. D. Wesley, Fundamentals of Soil Mechanics for Sedimentary and Residual Soils. John Wiley & Sons, Inc, 2009.

[7] F. Iyoda et al., "Synthesis and adsorption characteristics of hollow spherical allophane nanoparticles," Applied Clay Science, vol. 56. pp. 77–83, 2012.

[8] A. C. Galvis Castro, "Estudio del comportamiento esfuerzo – deformación – tiempo de un suelo derivado de ceniza volcánica," Universidad Nacional de Colombia, 2018.





# 7. Bibliografía

M. I. Rendón, J. C. Viviescas, J. P. Osorio, and M. S. Hernández, "Chemical, Mineralogical and [9] Geotechnical Index Properties Characterization of Volcanic Ash Soils," Geotech. Geol. Eng., vol. 38, no. 3, pp. 3231–3244, 2020.

[10] S. M. Rao, "Mechanistic approach to the shear strength behaviour of allophanic soils," *Eng. Geol.*, vol. 40, no. 3–4, pp. 215–221, 1995.

[11] L. Viveros, "Influencia del proceso de compactación en la resistencia al corte de un suelo derivado de ceniza volcánica," Universidad Nacional de Colombia, 2014.

[12] G. E. Blight and E. C. Leong, Mechanics of Residual Soils, Second Edi. Taylor & Francis Group, 2012.

[13] Yu, H. S. (1998). CASM: a unified state parameter model for clay and sand. Int. J. Numer. Anal. Meth. Geomech., (22), 621-653.

[14] INGEOMINAS. (1999). Terremoto del Quindío (Enero 25 de 1999) Informe Técnico - Científico.





# **GRACIAS!**

## ¿Preguntas? dnnavarreter@unal.edu.co

Agradecimientos especiales al grupo de Investigación GENKI, grupo semillero SIGEO y compañeros de la Maestría en Ingeniería – Geotecnia (UNAL)

### 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



### COLAPSO DE COLUMNA GRANULAR: INFLUENCIA DE LA POLIDISPERSIDAD EN LA MOVILIDAD Y VELOCIDAD

OSCAR SANTIAGO POLANÍA Estudiante de doctorado Universidad de los Andes y Université de Montpellier









# **FLUJOS GRANULARES**



Landslide in Bijie, China. 2022/05/08 From: 小麗睇一睇 [YouTube Channel]

Universidad de

Andes

Los flujos granulares se hallan en distintas escalas, desde procesos geofísicos como deslizamientos hasta procesos industriales como la producción de concreto.





# ¿IMPORTAN SUMERGIDOS?

Berkeley News, 2019 Underwater telecom cables make superb seismic network



### Wind Europe, 2022

France commits to 40 GW offshore wind by 2050









# POLIDISPERSIDAD



Volumen sólidos / Volumen total

$$\phi_0 = 0$$

$$\phi_0 < \phi_a < \phi_b < \phi_c$$







# **COLAPSO GRANULAR**



- Experimento para estudiar flujos granulares transicionales.
- Hay una única dirección principal de flujo.
- Simple descripción geométrica antes y después del

Polanía et al. PRF (2022)

Lf

• Depósito final es una medida indirecta de la resistencia.
## ¿Cuál es efecto de la polidispersidad en flujos granulares sumergidos?



#### Altura

$$L^* = \alpha A^{\beta}$$

 $\beta$ : Bajas  $\neq$  Altas

### Polidispersidad

Movilidad independiente a polidispersidad

**Ambiente viscoso** 

Movilidad

**Densidad columna** 

densa ≠ suelta

**Bidispersas** 

Movilidad

Lajeunesse et al. PF (2005) Staron & Hinch. JFM (2005)

Cabrera & Estrada. JGR SD (2021)

Topin et al. PRL (2012) Pinzon & Cabrera. PF (2019)

Rondon et al. PF (2011)





# ¿QUÉ HACEMOS NOSOTROS?

## **EL EXPERIMENTO**





## **POLIDISPERSIDAD** $\lambda = d_{\text{max}}/d_{\text{min}}$ Cu = $d_{60}/d_{10}$

Curva granulométrica

1.0 -Fracción pasa 0.8 0.6 -0.4 λ 1.0 3.8 0.2 12.6 20.0 0.0 -2 3 0 1 4 5 *d* [mm] Universidad de Ios Andes

 $\lambda = 3.8$   $\lambda = 20.0$ 









# RESULTADOS

## **EVOLUCIÓN FRENTE**



Andes

La **polidispersidad** tiene mayor efecto en flujos granulares sumergidos.

Los flujos **sumergidos** polidispersos tienen mayor movilidad que los **secos**.





Universidad de

Andes

Bougouin & Lacaze. PRF (2018)

La **polidispersidad** tiene mayor efecto en flujos granulares sumergidos.

Los flujos **sumergidos** polidispersos tienen mayor movilidad que los **secos**.

Nuestros resultados **monodispersos** son coherentes con previos estudios.



## **OBSERVACIONES**



Andes

La **polidispersidad** tiene mayor efecto en flujos granulares **sumergidos**.

- Cambia la secuencia de colapso
- Retrasa el tiempo de colapso
- Aumenta la movilidad



## PUB

Universidad de

Andes

#### PHYSICAL REVIEW FLUIDS 7, 084304 (2022)

#### Collapse of dry and immersed polydisperse granular columns: A unified runout description

Oscar Polanía<sup>®\*</sup> LMGC, Université de Montpellier, CNRS, Montpellier, France and Department of Civil and Environmental Engineering, Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia

Miguel Cabrera Department of Civil and Environmental Engineering, Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia

> Mathieu Renouf LMGC, Université de Montpellier, CNRS, Montpellier, France

> Emilien Azéma LMGC, Université de Montpellier, CNRS, Montpellier, France and Institut Universitaire de France (IUF), Paris, France









Nicolás Estrada



**Emilien Azéma** 



### **Miguel Cabrera**



**Mathieu Renouf** 

#### PHYSICAL REVIEW FLUIDS 7, 084304 (2022)

Collapse of dry and immersed polydisperse granular columns: A unified runout description



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



### APLICACIÓN DEL SOFTWARE OPTUMG2 Y OPTUMG3 PARA LA SOLUCIÓN DE PROBLEMAS GEOTÉCNICOS

Johan Camilo Garzón Cubides INGENIERIA Y GEOTECNIA SAS (IGL) José Vicente Amórtegui Gil INGENIERIA Y GEOTECNIA SAS (IGL)







## Software Optum G2 y G3

El programa OptumG2 y OptumG3 (Krabbenhøft et al., 2018), analiza la estabilidad de modelos bidimensionales y tridimensionales (2D y 3D) del terreno mediante el método de los elementos finitos combinado con análisis límite (teoría de plasticidad).



El algoritmo de análisis de elementos finitos de OptumG2 realiza cálculos directos de límite superior (para un campo cinemáticamente posible) e inferior (para un campo estáticamente admisible) combinado con la técnica de reducción de la resistencia al corte (Strength Reduction) de problemas de estabilidad, incluyendo estabilidad de taludes naturales y artificiales, cimentaciones y estructuras de contención, entre otros.







Algunas características sobresalientes del programa son:

- Motor computacional optimizado para incrementar la rapidez de cálculo.
- Interfaz gráfica amigable e intuitiva.
- 8 tipos de análisis.
- Incluye la capacidad de ejecutar análisis límite riguroso por límites inferior y superior.
- Refinación adaptativa de mallado automática.
- Ejecución integrada de análisis de estado inicial de esfuerzos y cálculo del nivel freático en cualquier tipo de análisis.
- Análisis estocástico para propiedades de resistencia y deformación de los materiales. Incluye la teoría de campo aleatorio para la variabilidad de las propiedades de los materiales.
- Análisis de medios continuos con discontinuidades internas.
- 9 modelos constitutivos para el suelo.
- 3 modelos hidráulicos.
- 6 tipos de elementos estructurales.









Para ilustrar las ventajas del uso del programa OptumG2 y OptumG3 se ilustraran diferentes problemas geotécnicos que hemos analizado en Ingeniería y Geotecnia IGL.

Software Optum G2 y G3

Caso 1. Análisis de estabilidad de un talud de corte vial.

**Caso 2**. Diseño de una construcción para la protección de infraestructura contra eventos terroristas, buscando reducir tiempo, costo y facilidad de mantenimiento.

**Caso 3**. Estimación de asentamientos de un taladro de perforación en una plataforma petrolera, teniendo en cuenta diferentes cargas de operación y condiciones especiales en el terreno.











50

### Caso 1. Análisis de estabilidad de un talud de corte vial.







## 50

#### APLICACIÓN DEL SOFTWARE OPTUMG2 Y OPTUMG3 PARA LA SOLUCIÓN DE PROBLEMAS **GEOTÉCNICOS**

XVII CCG I SSAG 2022

Cartagena





### E Caso 1. Análisis de estabilidad de un talud de corte vial.







### Caso 2. Diseño de una construcción para la protección de infraestructura contra eventos terroristas











## Caso 2. Diseño de una construcción para la protección <sup>XVII CCG</sup> de infraestructura contra eventos terroristas



A continuación se ilustra una gráfica desarrollada por el Cuerpo de Ingenieros Militares de Estados Unidos en el año 1984





## Caso 2. Diseño de una construcción para la protección de infraestructura contra eventos terroristas

т	ipo de explosivo: T	NT	~		Tipo de explos	sivo: Com	position C4	~
Ре	so de carga (kg):	54		I	Peso de carga (	( <b>kg):</b> 5	4	
Peso en TNT para ¡ (kg):	presión <b>54.00</b>	Peso en TNT para impulso (kg):	54.00	Peso en TNT (kg):	Γ para presión	73.98	Peso en TNT para impulso (kg):	10.26
Presión del inciden	te (kPa): 54465.29	Impulso del incidente (kPa- ms):	10824.19	Presión del i	incidente (kPa):	54262.44	Impulso del incidente (kPa- ms):	6177.97
Presión refleja (kPa	a): <b>715261.68</b>	Impulso reflejo (kPa-ms):	314452.87	Presión refle	eja (kPa):	711535.85	Impulso reflejo (kPa-ms):	179143.52
Tiempo de llegada	(ms): <b>0.04</b>	Duración de fase positiva (ms):		Tiempo de II	legada (ms):	0.02	Duración de fase positiva (ms):	
Velocidad del frent choque (m/s):	e de 6975.30			Velocidad de choque (m/s	el frente de s):	6963.18		

Fuente: Parámetros de Explosión en el Aire obtenidos de Explosión Esférica al Aire Libre y Explosión Semiesférica en la Superficie de TNT" de Charles N. Kingery y Gerald Bulmash, Informe técnico ARBL-TR-02555, de abril de 1984.





## Tipos de material para protección – Relleno en suelo reforzado con geotextil Biaxial



Suelo	Peso Unitario	Angulo de	Cohesión	Módulo de elasticidad
	(kN/m³)	Fricción (°)	(kPa)	(MPa)
Arena	20	30	5	30





## Tipos de material para protección – Relleno en suelo reforzado con geotextil Biaxial







### **Tipos de material para protección – Tubería metálica** de 3 <sup>1</sup>⁄<sub>2</sub>" de diámetro con sacos llenos de arena







### **Tipos de material para protección – Tubería metálica** de 3 <sup>1</sup>⁄<sub>2</sub>" de diámetro con sacos llenos de arena







## Tipos de material para protección – Gaviones con sacos de arena





Suelo	Peso Unitario (kN/m³)	Angulo de Fricción (°)	Cohesión (kPa)	Módulo de elasticidad (MPa)
Arena	20	30	5	30
Gaviones	20	35	12	45





## Tipos de material para protección – Gaviones con sacos de arena







## Tipos de material para protección – Gaviones con sacos de arena







### Caso 3. Estimación de asentamientos de un taladro de perforación en una plataforma petrolera







## Configuración del taladro







## Configuración del taladro



Sociedad Colombiana de Geotecnia

## Modelo de análisis



Material	Espesores (m)	E (Mpa)	Peso unitario (kN/m <sup>3</sup> )	C´ (kPa)	φ (°)	n
BG est	0.25	2300	19.5	20	40	0.20
SBG	0.30	75	19.6	5	38	0.25
GP-GM	1.1	30	19.9	5	36	0.30
ML	Variable	5.14	18.2	7.6	21	0.40
SM	Variable	11.90	18.5	1.4	26	0.35
SC	Variable	17.88	18.6	8.7	22	0.35
MH	Variable	17.36	18.5	25	19	0.45
LLENO	Variable	15	20	13	20	0.35



#### APLICACIÓN DEL SOFTWARE OPTUMG2 Y OPTUMG3 PARA LA SOLUCIÓN DE PROBLEMAS GEOTÉCNICOS

XVII CCG I SSAG 2022

Cartagena



## 📄 Modelo de análisis



Tipo de elemento	Matting Board e=0.102m	Matting Board e=0.204m	Concreto e=0.6m	Geotextil T2100
E (MPa)	462	462	21000	408.3
EA (kN/m)	47124.0	94248.0	12600000	326.64
EI (kNm²/m)	40.86	326.85	378000	













### Resultado de la deformación vertical con 1 Matting Board y con una carga de 85 psi








## Resultado de la deformación vertical con 2 Matting Board y con una carga de 85 psi









## Resultado de la deformación vertical



## Carga de 85 psi. Placa concreto 0.6m



## Placa rígida





Deformación de la malla de elementos finitos con un factor de exageración de 10%.

## I Matting Board

Placa de concreto



## 2 Matting Board

**Placa rígida** 







## Solución planteada









# Comprobación en G3















#### Carga operación 104 psi



Asentamiento ≈ 0.041m

## Carga Walking 97.5 psi



Asentamiento ≈ 0.033m





## Caso 3. Estimación de asentamientos de un taladro de perforación en una plataforma petrolera







# **¡GRACIAS!**

## ¿Preguntas? jgarzonc@ingenieriaygeotecnia.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



Cartagena

## COMPORTAMIENTO DE ACANTILADOS BLANDOS TROPICALES ANTE SOLICITACIONES CÍCLICAS DE LAS OLAS

SILVANA MONTOYA-NOGUERA Profesora Asociada Universidad EAFIT

1971-2021







1. Problemática: Erosión costera

## 2. Ubicación del proyecto: Arboletes, Urabá

3. Resultados experimentales: Triaxiales cíclicos

4. Conclusiones





## **Problemática**













1789



1938



Retroceso de 0.71 y 1.22 m/año, con cambios del nivel del mar entre 2 y 6 mm/año.

Paniagua et al. 2018





## Proyecto: Arboletes, Costa Caribe, Urabá







COMPORTAMIENTO DE ACANTILADOS BLANDOS TROPICALES ANTE SOLICITACIONES CÍCLICAS DE LAS OLAS

















	Arcilla	Limo	Arena	SUCS	Gs	LL (%)	LP (%)	IP (%)	А
Sitio A	59%	40%	0,48%	СН	2,681	63	27	36	0,61
Sitio B	22%	77%	1,20%	CL	2,631	36	20	16	0,73

Límite líquido, LL (%)



7











## Consistencia dura ante cargas monotónicas







#### Ensayo triaxial de compresión CU

Esfuerzo de confinamiento  $\sigma'_{c}$  = 20 kPa Tasa de deformación = 0.5%/min

		SUCS	Gs	γ <sub>d</sub> (kN/m3)	w (%)	γ <sub>m</sub> (kN/m3)	Sr (%)	e <sub>0</sub>	q <sub>u</sub> (kPa)	ε <sub>a</sub> en pico (%)
	Sitio A	СН	2,68	15,8	24,24	19,6	97,8	0,66	439	4,1
	Sitio B	CL	2,63	18,1	15,75	20,9	97,3	0,43	366	8,7
3		na 5	0						COMPO	ORTAMIENTO

de eotecnia

1971-2021

COMPORTAMIENTO DE ACANTILADOS BLANDOS TROPICALES ANTE SOLICITACIONES CÍCLICAS DE LAS OLAS



10

## Comportamiento ante cargas dinámicas (40 ciclos)



#### Ensayo triaxial cíclico CU

Esfuerzo de confinamiento  $\sigma'_{c}$  = 20 kPa Frecuencia, f = 0.106Hz





## Comportamiento ante cargas dinámicas (40 ciclos)





COMPORTAMIENTO DE ACANTILADOS BLANDOS TROPICALES ANTE SOLICITACIONES CÍCLICAS DE LAS OLAS

11



Comportamiento ante cargas dinámicas (a 270 ciclos)



#### **Ensayo triaxial cíclico CU**

Esfuerzo de confinamiento  $\sigma'_{c}$  = 20 kPa Frecuencia, f = 0.106Hz



COMPORTAMIENTO DE ACANTILADOS BLANDOS TROPICALES ANTE SOLICITACIONES CÍCLICAS DE LAS OLAS





- Variaciones en las propiedades índice y el comportamiento ante cargas monotónicas y cíclicas.
- Los acantilados se podrían estar rigidizando por el efecto de las olas.
- Posible formación de grietas en la estructura macroscópica del acantilado, que contribuiría a los procesos de erosión costera.

## **Perspectivas**

- Incluir el efecto de humedecimiento y secado
- Extender las campañas de exploración y de ensayos de laboratorio
- Acoplar el comportamiento observado a los modelos de erosión costera.











## ¿Preguntas? smontoyan@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



MODELACIÓN FÍSICA EN CENTRÍFUGA GEOTÉCNICA DE LA INFLUENCIA DE LA INCLINACIÓN EN LA ESTABILIDAD DE UN TALUD REFORZADO CON PASTO

#### LINA FERNANDA ESQUIVEL RAMÍREZ CATALINA LOZADA LÓPEZ ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO

1971-202











50

MODELACIÓN FÍSICA EN CENTRÍFUGA GEOTÉCNICA DE LA INFLUENCIA DE LA INCLINACIÓN EN LA ESTABILIDAD DE UN TALUD REFORZADO CON PASTO



Servicio Geológico Colombiano - 2015

Figura 1. Mapa Nacional de amenaza por movimientos en masa (Servicio Geológico Colombiano) - 2015

Un método alternativo es el uso de la vegetación para reforzar el suelo en taludes. El refuerzo con vegetación es empírico y se busca profundizar en su estudio.







#### Aporte de la vegetación a la estabilidad de taludes



Elia, G., & Elia, R. (2010).

Efecto de las raíces en la resistencia del suelo

$$\tau = c' + (\sigma - u)tan\phi'$$

$$\downarrow$$

$$\tau = (c' + C_R) + (\sigma - u)tan\phi'$$

*C<sub>R</sub>*: Cohesión aparente de la raíz





4



Efecto de la inclinación en la estabilidad de taludes



Figura 5. Modelo del talud considerado para simulaciones

La figura 5 presenta los valores medios del FSR (factor de seguridad influenciado por la presencia de raíces) en función del ángulo de la pendiente para diferentes alturas de talud H, observando que existe una mejora en la estabilidad del talud, con la disminución del ángulo de inclinación.



XVII CCG

Cartagena



# **2. MARCO TEÓRICO**

## **CENTRÍFUGA GEOTÉCNICA**

Permite simular distintos procesos geotécnicos generando aceleraciones mayores a la gravedad de tal manera que exista similitud entre los esfuerzos del modelo y el prototipo

#### Leyes de escala

Parámetro	Ley de escala: modelo/prototipo	<b>Dimensiones</b> <sup>a</sup>
Longitud/Profundidad	1/N	L
Área	1/N <sup>2</sup>	$L^2$
Volumen	1/N <sup>3</sup>	L³
Filtración (tiempo de consolidación)	1/N <sup>2</sup>	Т
Densidad	1	M/L <sup>3</sup>
Masa	1/N <sup>3</sup>	М
Esfuerzo/resistencia a la tracción	1	$M/LT^2$
Deformación	1	-
Fuerza	1/N <sup>2</sup>	$ML/T^2$
Momento flector	1/N <sup>3</sup>	$ML^2/T^2$
Módulo de Young	1	$M/LT^2$
Segundo momento del área	1/ N <sup>4</sup>	L <sup>4</sup>

Tabla 1. Leyes de escala para pruebas en centrífuga - Tomado y adaptado de (Liang et al., 2017)

<sup>a</sup> L = Longitud; M = Masa; T = time







## CENTRÍFUGA GEOTÉCNICA ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO







# **3. METODOLOGÍA**



Tabla 2. Modelos planteados a diferentes inclinaciones

Modelo sin Modelo con		Ángulo de inclinación		
refuerzo refuerzo		de la pendiente [°]		
M1	M1R	20		
M2	M2R	40		
M3	M3R	50		
M4	M4R	70		



Figura 6. Geometría del talud antes de la consolidación: a) en modelo a escala reducida y b) prototipo a escala real









#### **PROPIEDADES DEL MATERIAL - CAOLIN**

#### PROPIEDADES DEL MATERIAL CON REFUERZO – CAOLIN Y FIBRA DE VIDRIO

Tabla 3. Propiedades del material

PROPIEDAD	VALOR
Límite líquido LL (%)	77
Límite Plástico LP (%)	51
Índice de plasticidad IP (%)	26
Gravedad específica	2,60
Peso unitario kN/m <sup>3</sup>	14,3
Cohesión efectiva c' (kPa)	5.5
Ángulo de fricción efectivo φ' (°)	24
Resistencia al corte no drenada Su (kPa)	7.6
Conductividad hidráulica saturada (ks)	$1.7 \times 10^{-5}$

Tabla 4. Propiedades del material con refuerzo

PROPIEDAD	VALOR
Cohesión efectiva c'	11,5
Ángulo de fricción efectivo φ'	27

Lozada et al, 2022

Los parámetros de resistencia al corte de la mezcla suelo y fibra de vidrio se asemejan a los reportados por diferentes autores (Liang et al., 2017), (Eab et al.,2015) en ensayos con suelo y raíces.

Lozada et al, 2022



## **4. RESULTADOS -** Modelos con $\alpha$ =20°



Imágenes **antes** del vuelo en centrífuga

> Imágenes **después** del vuelo en centrífuga



XVII CCG I SSAG 2022

Cartagena

## **4. RESULTADOS -** Modelos con $\alpha$ =40°



Imágenes **antes** del vuelo en centrífuga

> Imágenes **después** del vuelo en centrífuga



XVII CCG I SSAG 2022

Cartagena

## **4. RESULTADOS -** Modelos con α=50°



Imágenes antes del vuelo en centrífuga

Imágenes **después** del vuelo en centrífuga





## **4. RESULTADOS - Modelos con \alpha =70°**

Modelos sin refuerzo



Modelos con refuerzo



Imágenes **antes** del vuelo en centrífuga

> Imágenes **después** del vuelo en centrífuga




mediante GeoPIV\_RG

de eotecnia

1971-2021





Vectores de desplazamiento y desplazamiento resultante obtenidos mediante GeoPIV\_RG

# 5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

- En los modelos con pendiente de 20° y 40° no se evidencian grandes cambios en los desplazamientos debido al efecto del refuerzo.
- Por el contrario en los modelos con pendiente 50° y 70°, ocurre una reducción promedio del 36% debido al efecto del refuerzo.
- La profundidad crítica en modelos sin refuerzo oscila entre 5m y 6m, los modelos con mayores pendientes se observa una superficie de falla definida mientras que modelos con menores pendientes se generan desplazamiento.











# **5. ANÁLISIS DE RESULTADOS**



- En los modelos sin refuerzo los desplazamientos aumentan al aumentar la inclinación del talud.
- En los modelos con refuerzo se observa que para pendientes mayores a 40° el desplazamiento resultante permanece constante en un valor de 0,91m.





# **6. CONCLUSIONES**

- Esta investigación afirma el aporte significativo de la presencia de las raíces en la estabilidad de taludes, modificando el mecanismo de falla en función de la inclinación del talud, donde se pudo analizar que:
  - Para el modelo de menor pendiente sin refuerzo α=20° no se presenta una superficie de falla definida, pero si grandes deformaciones, para esta misma pendiente con refuerzo se observa una disminución de las deformaciones en el talud.
  - En el modelo de pendiente sin refuerzo α =40° se observa una superficie de falla por corte, sin embargo, para la misma pendiente con refuerzo se presentan grandes deformaciones y no se observa corte en el talud.
  - En los modelos con mayor pendiente ( $\alpha$  =50° y 70°), sin refuerzo, se observa una superficie de falla profunda, en este caso, en los modelos con refuerzo se evidencia también una superficie de falla por corte, pero con una menor profundidad.
- En los modelos con pendiente de 20° y 40° no se evidencian grandes cambios en los desplazamientos debido al efecto del refuerzo. Por el contrario en los modelos con pendiente 50° y 70°, ocurre una reducción promedio del 36% debido al efecto del refuerzo.
- La presencia de las raíces tiene un efecto favorable en la estabilidad de un talud, el desplazamiento resultante máximo se reduce en mayor proporción para mayores inclinaciones con el refuerzo.
- El desplazamiento resultante máximo para modelos con refuerzo es constante para inclinaciones mayores a 40°.







- Bischetti, G. B., Chiaradia, E. A., Simonato, T., Speziali, B., Vitali, B., Vullo, P., & Zocco, A. (2005). Root strength and root area ratio of forest species in lombardy (Northern Italy). Plant and Soil, 278(1–2), 11–22. https://doi.org/10.1007/s11104-005-0605-4
- Eab KH, Likitlersuang S, Takahashi A (2015) Laboratory and modelling investigation of root-reinforced system for slope stabilisation. Soils Found 55:1270–1281. https://doi.org/10.1016/j. sandf.2015.09.025
- Gentile, F., Romano, G. & Trisorio-Liuzzi, G., L'uso della vegetazione negli interventi di difesa del suolo in ambiente mediterraneo. Genio Rurale, 2, pp. 42-51, 1998.
- Levy, L. C., Culligan, P. J., and Germaine, J. T., Use of the geotechnical centrifuge as a tool to model dense nonaqueous phase liquid migration in fractures, *Water Resour. Res.*, 38(8), doi:10.1029/2001WR000660, 2002.
- Liang, T., Bengough, A. G., Knappett, J. A., MuirWood, D., Loades, K. W., Hallet, P. D., Boldrin, D., Leung, A. K., & Meijer, G. J. (2017). Scaling of the reinforcement of soil slopes by living plants in a geotechnical centrifuge. Ecological Engineering, 109, 207–227. https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2017.06.067
- Lozada, C., Mendoza, C. & Amortegui, J.V. Physical and Numerical Modeling of Clayey Slopes Reinforced with Roots. *Int J Civ Eng* 20, 1115–1128 (2022). https://doi.org/10.1007/s40999-022-00733-0
- N. K. Kokutse, "Slope stability and vegetation: Conceptual and numerical investigation of mechanical effects", Ecological Engineering, vol 86, pp. 146-153, 2016, doi: 10,1016/j,ecoleng.2015.11.005.





# **GRACIAS!**

# ¿Preguntas?

## lina.esquivel@mail.escuelaing.edu.co catalina.lozada@escuelaing.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



Cartagena

#### ESTABILIZACIÓN DE SUELOS DERIVADOS DE CENIZA VOLCÁNICA MEDIANTE ACTIVACIÓN ALCALINA DE RESIDUOS DE QUEMA DE BAGAZO DE CAÑA

José Fernando Cruz Henao, Lucio Gerardo Cruz Velasco y Jaime Rafael Obando Ante UNIVERSIDAD DEL CAUCA







Universidad del Cauca





- 1. Planteamiento del problema.
- 2. Justificación.
- 3. Objetivos.
- 4. Metodología.
- 5. Resultados de materiales en estado natural.
- 6. Resultados de mezclas estabilizadas.
- 7. Conclusiones.
- 8. Recomendaciones.





- Existencia de suelos problemáticos.
- Red nacional de vías terciarias en condiciones críticas.
- Contaminación y consumo energético de la industria cementera.
- Volúmenes importantes de subproductos desechados.





XVII CCG

Cartagena



# 📄 2. Justificación

- Trascendencia de la infraestructura vial.
- Auge de la investigación sobre materiales conglomerantes alternativos económicos y de menor impacto ambiental.
- Uso de gran cantidad de residuos industriales.
- Sustitución del cemento portland.









# **3. Objetivos**

Objetivo general:

 Estudiar los suelos derivados de ceniza volcánica (SDCV) de Popayán estabilizados mediante activación alcalina de residuos de quema de bagazo de caña de azúcar (CBC) con una solución de hidróxido de sodio (NaOH).

Objetivos específicos:

- Analizar los parámetros que influyen directamente en la elaboración y el desarrollo de las propiedades de las mezclas estabilizadas.
- Determinar el efecto de la dosificación de CBC en la aplicación al mejoramiento de subrasantes de SDCV.
- Desarrollar diseños de mezclas suelo modificado con CBC activadas mediante una solución de NaOH para estabilizar subrasantes de SDCV.
- Determinar mediante ensayos de laboratorio las propiedades mecánicas de las mezclas obtenidas.





- Apoyo de información secundaria.
- Trabajo de campo.
- Ensayos de laboratorio.









# Normas empleadas

- Determinación en laboratorio del contenido de agua (humedad) de muestras de suelo, roca y mezclas de suelo-agregado (INV E-122)
- Determinación de los tamaños de las partículas de los suelos (INV E-123)
- Determinación del límite líquido de los suelos (INV E-125)
- Límite plástico e índice de plasticidad de los suelos (INV E-126)
- Determinación de la gravedad específica de las partículas sólidas de los suelos y la llenante mineral, empleando un picnómetro con agua (INV E-128)
- CBR de suelos compactados en el laboratorio y sobre muestra inalterada (INV E-148)
- Compresión inconfinada en muestras de suelos (INV E-152)
- Relaciones humedad peso unitario seco de mezclas de suelo con estabilizantes químicos no tradicionales (INV E-631)
- Resistencia a la compresión inconfinada de muestras de suelo estabilizadas con productos químicos no tradicionales (INV E-632)
- Estabilización de suelos con productos químicos no tradicionales (Artículo 237 22)





## 5. Resultados de materiales en estado natural

- Facultad

**- Pueblillo** 

------CBC

#### Curvas granulométricas



Límites de Atterberg	Facultad	Pueblillo	
Límite líquido (%)	93	68	
Límite plástico (%)	53	39	
Índice de plasticidad (%)	40	29	
Límite de contracción (%)	36	30	
SUCS	Limo de alta plasticidad (MH)	Limo de alta plasticidad (MH)	

Dicnómotro	Gravedad específica (g/cm3)						
Pichometro	Facultad	Pueblillo	CBC				
1	<b>1</b> 2.597		2.255				
2	<b>2</b> 2.591		2.247				
<b>3</b> 2.596		2.508	2.241				
Promedio	2.595	2.511	2.248				





## 5. Resultados de materiales en estado natural

**Expansión VS Tiempo** 0.700 0.600 0.500 R 0.400 Expansión - Facultad 0.300 📥 Pueblillo 0.200 0.100 0.000 1000 1500 2000 2500 0 500 3000 Tiempo (Minutos)

Grado de expansión	% expansión en edómetro (Seed)				
Bajo	0 - 1.5				
Medio	1.5 - 5.0				
Alto	5.0 - 25.0				
Muy alto	> 25.0				





































XVII CCG I SSAG 2022

Cartagena





- La activación de las mezclas Suelo 1 Facultad y CBC con soluciones de hidróxido de sodio aumenta la resistencia a la compresión simple entre 19% y 60%, disminuye su compresibilidad entre 38% y 71% y reduce la expansión 97.8%.
- La activación de las mezclas Suelo 2 Pueblillo y CBC con soluciones de hidróxido de sodio aumenta la resistencia a la compresión simple entre 150% y 1500%, disminuye su compresibilidad entre 27% y 62% y reduce la expansión en 50%.
- La mezcla óptima diseñada para el Suelo 1 Facultad, consiste en proporcionar CBC al 5% respecto al suelo seco y añadir solución de hidróxido de sodio (NaOH) en una concentración de 3 molar hasta llevar a humedad óptima del Proctor estándar.







- La mezcla óptima diseñada para el Suelo 2 Pueblillo, consiste en proporcionar CBC al 5% respecto al suelo seco y añadir solución de hidróxido de sodio (NaOH) en una concentración de 2 molar hasta llevar a humedad óptima del Proctor estándar.
- La estabilización con de suelos derivados de ceniza volcánica mediante activación alcalina de residuos de quema de bagazo de caña de azúcar puede ser una alternativa viable en el mejoramiento de los suelos de la malla vial terciaria de nuestro país, que aportan a la economía y al medio ambiente debido a que son materiales reciclables abundantes y económicos.







- Realizar análisis morfológico y composicional que permitan conocer las propiedades mineralógicas de los suelos, las adiciones y los productos finales con el fin de establecer las mejores alternativas para estabilizar este tipo de subrasantes.
- Estudiar el efecto de otros tipos de activadores alcalinos.
- Estudiar el efecto de la activación alcalina de otras materias primas derivadas de la agroindustria.





# **GRACIAS!**

¿Preguntas? lucruz@unicauca.edu.co



ſ	Δ
	 =

	Resistencia a la compresión simple de suelo estabilizado con diferentes porcentaj									
Darámatros	Suelo 1 - Facultad									
estadísticos	7 días de curado			21 días de curado			7 días			
estauisticos	5%	10%	15%	20%	5%	10%	15%	20%	5%	10%
	CBC	CBC	CBC	CBC	CBC	CBC	CBC	CBC	CBC	CBC
Media	297.8	321.2	327.7	363.5	449.9	308.2	287.4	261.4	282.3	263.4
Varianza	2509.84	1614.76	1683.60	1709.90	1188.09	15120.86	2617.99	2901.45	127.20	789.7
Desviación estándar	50.10	40.18	41.03	41.35	34.47	122.97	51.17	53.87	11.28	28.1
Mínimo	267.7	279.6	280.3	325.9	413.9	167.9	247.9	199.3	274.8	242.
Máximo	355.6	359.8	352.3	407.8	482.6	397.4	345.2	295.9	295.3	295.
Rango	87.9	80.2	72.0	81.9	68.7	229.5	97.3	96.6	20.5	53.1
Rango (%)	29.5	25.0	22.0	22.5	15.3	74.5	33.9	37.0	7.3	20.2
Coeficiente de variación	0.168	0.125	0.125	0.114	0.077	0.399	0.178	0.206	0.040	0.10
Media del error	38.56	27.73	31.58	29.51	24.00	93.51	38.53	41.38	8.64	21.24
Media del error con 95%	124.46	99.83	101.94	102.73	85.63	305.49	127.11	133.82	28.02	69.8
Límite inferior del intervalo de confianza (P=95%)	173.3	221.4	225.7	260.8	364.3	2.7	160.3	127.5	254.3	193.
Límite superior del intervalo de confianza (P=95%)	422.2	421.0	429.6	466.3	535.5	613.7	414.5	395.2	310.4	333.



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



### USO DE MÉTODOS BASADOS EN LA CONFIABILIDAD PARA EL DISEÑO DEL SOPORTE PRIMARIO EN TÚNELES VIALES PARA MACIZOS ROCOSOS DE CALIDAD INTERMEDIA

Ana C. Rivera A. & Jorge A. Prieto S. EAFIT







# **CONTENIDO**

- 1. Motivación
- 2. Procedimiento metodológico
- 3. Resultados
- 4. Análisis costo esperado
- 5. Conclusiones







# **1. MOTIVACIÓN**

• TALUDES



• Resolución 0364 de 2000: Términos de referencia para estudios detallados de remoción en masa. DPAE

• TÚNELES: ?



50

USO DE MÉTODOS BASADOS EN LA CONFIABILIDAD PARA EL DISEÑO DEL SOPORTE PRIMARIO EN TÚNELES VIALES PARA MACIZOS ROCOSOS DE CALIDAD INTERMEDIA

XVII CCG I SSAG 2022

Cartagena



2. PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO







#### **TÚNEL VIRTUAL** CONDICIONES DE LOS LABIOS DE LAS DISCONTINUIDADESS MUY MUY MEDIA BUENA MALA ESTRUCTURA DEL MACIZO ROCOSO BUENA MALA 6.0m CALIDAD DECRECIENTE DE LOS LABIOS DE LAS DISCONTINUIDADES INTACTO O MASIVO 90 Muestras intactas de roca o macizos rocosos N/A N/A masivos con pocas discontinuidades muy espaciadas. 80 2.9m FORMADO POR BLOQUES Macizo rocoso consistente en bloques cúbicos 70 delimitados por tres familias de discontinuidades, con los bloques bien encajados. 10.3m FORMADO POR MUCHOS BLOQUES Macizo rocoso formado por bloques angulares de muchas caras delimitados por cuatro o más N familias de discontinuidades. Los bloques están encajados pero sólo parcialmente. FORMADO POR MUCHOS BLOQUES, DISTORSIONADO Y BANDEADO Plegado con muchos bloques angulares formados por la intersección de muchas familias de discontinuidades. Planos de 30 estratificación o de esquistosidad persistentes. DESINTEGRADO Macizo rocoso muy fracturado con una mezcla 20 de bloques angulares y redondeados débilmente encajados. 10 LAMINADO Y CIZALLADO Debido a la existencia de numerosos planos N/A N/A débiles muy próximos de esquistosidad o de cizalla, no existen bloques. Índice de Resistencia Geológica - GSI GSI= 1.08RMR-10.44 Rocas ígneas

ORIENTACIÓN TÚNEL 90° RESPECTO AL NORTE



50

1971-2021









# **TÚNEL VIRTUAL**

#### **VARIABLES ALEATORIAS**

Parámetro	Distribución estadística	Promedio	Desviación	Fuente		
Sobreexcavación (m)	Normal	0,64	0,13	Asumida		
Peso Unitario (kN/m3)	Constante	26.6		Estimado a partir de datos reportados por U.S. Geological Survey, 1988		
Módulo de Young roca intacta (GPa)	Normal	72	3	Lanaro, 2005		
Relación de Poisson (-)	Constante	0.27				
Resistencia compresión intacta (MPa)	Normal	120	40	Se asume valor de resistencia a compresión y el valor de la desviación se calcula usando un COV de 33.4% de acuerdo con lo señalado por ISSMGE-TC304(2021)		
GSI (-) (Ver nota)	Uniforme	Mínimo:43, Ma	áximo:54	A partir de relación entre RMR y GSI. Ceballos, 2014		
Constante de la roca mi (-)	Uniforme	Mínimo:20, Máximo:30		Valores de referencia reportados en RS2		
Orientación familias de discontinuidad Buzamiento/Dirección de buzamiento	Fisher K=70	65/310,60/240	),35/90			
Ángulo de fricción lleno entre discontinuidades (°)	Normal	31	4	Lanaro, 2005		
Cohesión lleno entre discontinuidades (kPa)	Normal	75 30		Asumido		
Factor de alteración, D (-)	Constante	D=0.8, para sector dentro de radio plástico en etapas posteriores excavación				
uso de metodos basados en la confiabilidad para el diseno del soporte primar						



1971-2021

## **ALTERNATIVAS DE SOPORTE**

#### **ALTERNATIVA I**





5 pernos de 2m, con capacidad 20Toneladas con una separación de 3m perpendicular a la sección. 5 pernos de 2m, con capacidad 20Toneladas con una separación de 3m perpendicular a la sección+5 cm de concreto lanzado



USO DE MÉTODOS BASADOS EN LA CONFIABILIDAD PARA EL DISEÑO DEL SOPORTE PRIMARIO EN TÚNELES VIALES PARA MACIZOS ROCOSOS DE CALIDAD INTERMEDIA

XVII CCG

Cartagena



**PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO** 








### **3. RESULTADOS**

FACTORES DE SEGURIDAD

Tipo de análisis	Diseño determinístico- Alternativa 1	Diseño determinístico- Alternativa 2
Caída de cuñas	FS.=4.91	FS.=18.4
Modelo elementos finitos	FS.=2.90	FS.=3.65

Hoek (1995) indica que un factor de seguridad de 1.3 es considerado aceptable para minas temporales, mientras que un factor de seguridad de 1.5 a 2 es requerido para excavaciones permanentes.

Jovanovska (2019) plantea, para túneles con poco tráfico la probabilidad de falla aceptable está entre el 1.5 y 2% y para túneles con alto tráfico la probabilidad de falla aceptable esta entre el 0.5 y 1.3%.



1971-2021







MODELACIÓN MONTECARLO



Image source: adcats.et.byu.edu





### **ENFOQUE PROBABILÍSTICO- CAÍDA CUÑAS**

#### **PROBABILIDAD DE FALLA**

Variable	Alternativa 1		Alternativa 2	
	N=500	N=5000	N=500	N=5000
Diaclasa 1	20.6%	17.2%	<b>&lt;10</b> <sup>-6</sup>	<b>&lt;10</b> ⁻ <sup>6</sup>
Diaclasa 2	18.2%	15.1%	<b>&lt;10</b> <sup>-6</sup>	<b>&lt;10</b> ⁻ <sup>6</sup>
Diaclasa 3	58.8%	56.8%		<b>&lt;10</b> ⁻ <sup>6</sup>
Cohesión-	1.4%	1.2%	<b>&lt;10</b> -6	<b>&lt;10</b> ⁻ <sup>6</sup>
Discontinuidad				
φ-	<b>&lt;10</b> <sup>-6</sup>	<b>&lt;10</b> <sup>-6</sup>	<b>&lt;10</b> <sup>-6</sup>	<b>&lt;10</b> ⁻ <sup>6</sup>
Discontinuidad				
f´c, espesor	NA	NA	<b>&lt;10</b> <sup>-6</sup>	<b>&lt;10</b> ⁻ <sup>6</sup>
f´c, resistencia	NA	NA	<b>&lt;10</b> <sup>-6</sup>	<b>&lt;10</b> <sup>-6</sup>
D1,D2,D3,c,ø,	64.6%	61.5%	1.8%	1.0%
f´c(espesor),				
f´c(resistencia)				







#### **RESULTADOS**

#### FACTORES DE SEGURIDAD Y PROBABILIDAD DE FALLA

Tipo de análisis	Diseño determinístico- Alternativa 1	Diseño determinístico- Alternativa 2	Diseño probabilístico- Alternativa 1	Diseño probabilístico- Alternativa 2
Caída de cuñas	FS.=4.91	FS=18.4	Pf=61.5%	<u>Pf</u> =1.0%

Hoek (1995) indica que un factor de seguridad de 1.3 es considerado aceptable para minas temporales, mientras que un factor de seguridad de 1.5 a 2 es requerido para excavaciones permanentes.

Jovanovska (2019) plantea, para túneles con poco tráfico la probabilidad de falla aceptable está entre el 1.5 y 2% y para túneles con alto tráfico la probabilidad de falla aceptable esta entre el 0.5 y 1.3%.



1971-2021



### **ENFOQUE PROBABILÍSTICO-ELEMENTOS FINITOS**

#### MÉTODO ESTIMATIVOS PUNTUALES ROSENBLUETH



Fuente Probabilistic anlyses in Phase 8.0





Sociedad 5 ombiana de eotecnia 1971-202





#### **RESULTADOS**

#### FACTORES DE SEGURIDAD Y PROBABILIDAD DE FALLA

Tipo de análisis	Diseño determinístico- Alternativa 1	Diseño determinístico- Alternativa 2	Diseño probabilístico- Alternativa 1	Diseño probabilístico- Alternativa 2
Modelo elementos finitos	FS.=2.90	FS=3.65	Pf=39.1% FS.(prom)=1.23	Pf=13.7% FS.(prom)=4.29

Hoek (1995) indica que un factor de seguridad de 1.3 es considerado aceptable para minas temporales, mientras que un factor de seguridad de 1.5 a 2 es requerido para excavaciones permanentes.

Jovanovska (2019) plantea, para túneles con poco tráfico la probabilidad de falla aceptable está entre el 1.5 y 2% y para túneles con alto tráfico la probabilidad de falla aceptable esta entre el 0.5 y 1.3%.



1971-2021





#### **RESULTADOS**

#### FACTORES DE SEGURIDAD Y PROBABILIDAD DE FALLA

Tipo de análisis	Diseño determinístico- Alternativa 1	Diseño probabilístico- Alternativa 1	Diseño determinístico- Alternativa 2	Diseño probabilístico- Alternativa 2
Caída de cuñas	FS.=4.91	Pf=61.5%	FS.=18.4	Pf=1.0%
Modelo elementos finitos	FS.=2.90	Pf=39.1% FS.(prom)=1.23	FS=3.65	<b>Pf=13.7%</b> FS.(prom)=4.29

Hoek (1995) indica que un factor de seguridad de 1.3 es considerado aceptable para minas temporales, mientras que un factor de seguridad de 1.5 a 2 es requerido para excavaciones permanentes.

Jovanovska (2019) plantea, para túneles con poco tráfico la probabilidad de falla aceptable está entre el 1.5 y 2% y para túneles con alto tráfico la probabilidad de falla aceptable esta entre el 0.5 y 1.3%.



1971-2021



### 4. ANÁLISIS COSTO ESPERADO

Alternativa	Costo construcción €/ml	Costo en caso de falla €
Alternativa 1	116	11799
Alternativa 2	736	16281







### **5. CONCLUSIONES**

- El diseño basado en la confiabilidad permite detectar aquellas variables que tienen mayor relevancia en la estabilidad y enfocar esfuerzos en realizar una mejor caracterización de dichas variables.
- Para los análisis de caída de bloques, se encontró que, la variación de los parámetros de resistencia del material de lleno entre discontinuidades (cohesión y fricción) no constituye un factor determinante en la estimación de la probabilidad de falla. Para estos análisis se encontró que, ligeros cambios en la orientación de las familias de discontinuidades si pueden ser determinantes en la estabilidad de las cuñas.
- En los análisis realizados, se encontró que para el túnel virtual analizado, los datos de entrada que generan una mayor variación en las estimaciones del factores de seguridad, en el caso de los análisis esfuerzo-deformación, son el módulo de elasticidad y el GSI.
- La información obtenida es de utilidad para la comparación objetiva de alternativas de diseño en términos de costo.
- Un factor de seguridad alto no implican una probabilidad de falla aceptable.



USO DE MÉTODOS BASADOS EN LA CONFIABILIDAD PARA EL DISEÑO DEL SOPORTE PRIMARIO EN TÚNELES VIALES PARA MACIZOS ROCOSOS DE CALIDAD INTERMEDIA

XVII CCO

### REFERENCIAS

XVII CCG

Cartagena

- Hita, J. (2015). Aplicación de métodos estadísticos a la ingeniería de túneles y obras subterráneas. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Madrid.
- Hoek, E., Kaise P.K, Bawden W.F. (1995) Support of Underground Excavation in Hard Rock. Analysis of structurally controlled instability (pp. 57-65).Rotterdman, Netherlands. A.A. Balkema.
- Rivera, A (2022). Diseño del soporte primario en túneles viales con un macizo rocoso con RMR entre 50 y 80 (GSI entre 43 y 75) aplicando métodos basados en la confiabilidad. EAFIT.







# **GRACIAS!**

¿Preguntas? acriveraa@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



# **MODELACIÓN FÍSICA DE TÚNELES POCO PROFUNDOS**

Camilo Sanchez Avellaneda<sup>1</sup>, Bernardo Caicedo<sup>2</sup> <sup>1</sup>Estudiante Msc ICIV, <sup>2</sup>Profesor Titular Universidad de Los Andes









Asentamientos en el terreno debidos a la construcción de túneles:

$$S(y) = S_{\max} \exp\left(\frac{-y^2}{2 \cdot i^2}\right) \quad \text{Peck (1969)}$$
$$i = K \cdot Z_0$$

(K depende del tipo de terreno)

#### Pregunta:

¿Cuál es la presión de sostenimiento a la cual inicia el colapso de la excavación?  $\rightarrow$  modelación física









anos 1971-2021

# **MODELO FÍSICO EN CENTRÍFUGA: IMPORTANCIA**

- 1. Se puede predecir el comportamiento de estructuras geotécnicas reales.
- 2. Alternativa a problemas de gran escala.
- 3. Permite simular esfuerzos de un prototipo en un modelo a escala reducida. (relación 1/1).
- 4. Posibilita el análisis de problemas bidimensionales y tridimensionales.
- 5. Brinda flexibilidad en los estudios (NF, def, terremotos, instrumentación, etc)











# **MODELO FÍSICO EN CENTRÍFUGA: DIMENSIONES**



#### Tamaño del modelo

- H\*: altura
- Y: profundidad

anos 1971-202

B: largo

ociedad

#### Características de la excavación

- P: Longitud sin sostenimiento
- L: Longitud sostenida
- D: Diámetro del túnel
- C: suelo sobre la excavación (2D=3cm)
- Zo: Profundidad al eje del túnel (C+D/2=3.75cm)

#### Otros elementos a considerar

- Ps: Presión de sostenimiento (inyección de aire)
- D\*: Altura de suelo debajo del túnel



# MODELO FÍSICO EN CENTRÍFUGA: MATERIALES E INSTRUMENTACIÓN

#### Suelo:

- Caolín
- Pc: 50 kPa
- w = 76.2%
- $\gamma = 15.4 \ kN/m^3$
- $C_u = 9.86 \, kPa$

### Túnel:

• Acero

### **Otras características**

- Aceleración de 160G
- Sistema de inyección de aire
- Sensor de presión







50

años

1971-2021





# MODELO FÍSICO EN CENTRÍFUGA: PRESIÓN DE SOSTENIMIENTO



 $P_{TBM} = P_E + P_W$ 

Sociedad

lombiana

anos 1971-2021 Presión en el modelo:

Presión lateral en el eje del túnel

$$Ps = 1\gamma Z_0 n$$

donde n=160 **Prototipo:** 

D= 2.4m Z0= 6m C= 4.8m





### MODELO FÍSICO EN CENTRÍFUGA: RESULTADOS MODELO P=1D











## **MODELO FÍSICO EN CENTRÍFUGA: RESULTADOS MODELO P=1D**



 $P_s = 39.7 \, kPa$ ,  $t \approx 8 \, min$ 





50

años



### MODELO FÍSICO EN CENTRÍFUGA: RESULTADOS MODELO P=0











## MODELO FÍSICO EN CENTRÍFUGA: RESULTADOS MODELO P=0



 $P_s = 16.96 \, kPa$ ,  $t \approx 8.94 \, min$ 

50

años

1971-2021







### **MODELOS TEÓRICOS: CAQUOT EN MATERIAL TRESCA (Φ=0)**



$$\frac{P_{sZ_0}}{\gamma a} = \frac{q}{\gamma a} + \frac{h}{a} - 2\frac{c}{\gamma a}k\ln\left(\frac{h}{a}\right)$$

C. Carranza-Torres & Reich (2017)



 $P_s = 67.50 \ kPa$ 

P=0

 $P_s = 60.66 \, kPa$ 









### **MODELOS TEÓRICOS: BROMS & BENNERMARK, KIMURA & MAIR**



- La modelación física en centrifuga permite predecir el comportamiento del modelo, tendencias de en la direccion de desplazamientos.
- $Ps_{P=1D} > Ps_{P=0}$  para evitar la propagación de grandes deformaciones.
- El modelo P=1D inicia con deformaciones en el frente de excavación, pero luego toman importancia las deformaciones en el techo.
- El modelo de Caquot muestra mayores valores de presión de sostenimiento.







#### 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



### **¡MUCHAS GRACIAS!**

Camilo Sanchez Avellaneda<sup>1</sup>, Bernardo Caicedo<sup>2</sup> <u><sup>1</sup>cj.sanchez13@uniandes.edu.co</u>, <u><sup>2</sup>bcaicedo@uniandes.edu.co</u> Universidad de Los Andes









### REFERENCIAS

Peck, R. B. (1969). Deep excavations and tunneling in soft ground. Proc. 7th ICSMFE, 1969, 225-290.

Le, B. T., & Taylor, R. N. (2018). Response of clay soil to three-dimensional tunnelling simulation in centrifuge models. Soils and foundations, 58(4), 808-818.

Carranza-Torres, C., & Reich, T. (2017). Analytical and numerical study of the stability of shallow underground circular openings in cohesive ground. *Engineering Geology*, *226*, 70-92.

Broms, B. B., & Bennermark, H. (1967). Stability of clay at vertical opening. Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, 93(1), 71-94

T. Kimura and R. Mair (1981), Centrifugal testing of model tunnels in soft clay, in Proc. 10th Int. Conf. Soil Mech. and Found. Engg, vol. 1, pp. 319–322.

Jones, B. (2021). Soft Ground Tunnel Design. CRC Press.

Guglielmetti, V., Grasso, P., Mahtab, A., & Xu, S. (2008). *Mechanized tunnelling in urban areas: design methodology and construction control*. CRC Press.

#### **FIGURAS**:

Alternative 7., The Tunnels and Trains., web site: https://www.alternative7.net/the-tunnels





1971-202



### OTROS MODELOS PARA LA PRESIÓN DE SOSTENIMIENTO



Model/method	Analys	sis type*	Failure criterion
I. Horn model (Horn, 1961)	GE	3D	-
<ol> <li>Murayama method (Murayama, 1966)</li> </ol>	GE	2D	MC
<ol> <li>Broms &amp; Bennemark method (Broms et al., 1967)</li> </ol>	GE	2D	TR
<ol> <li>Atkinson &amp; Potts method (Atkinson et al., 1977)</li> </ol>	St	2D	MC
5. Davis et al. method (Davis et al., 1980)	St	2D	TR
<ol> <li>Krause method (Krause et al., 1987)</li> </ol>	GE	2D-3D	MC
<ol> <li>Mohkam method (Mohkam et al., 1984, 1985, 1989)</li> </ol>	GE	2D-3D	MC
<ol> <li>Leca &amp; Dormieux method (Leca et al., 1990)</li> </ol>	St	3D	MC
<ol> <li>Jancsecz &amp; Steiner method (Jancsecz et al., 1994)</li> </ol>	GE	3D	MC
<ol> <li>Anognostou &amp; Kovari method (Anognostou et al., 1994, 1996)</li> </ol>	GE	3D	MC
<ol> <li>W. Broere method (Broere, 2001)</li> </ol>	GE	3D	MC
<ol> <li>Caquot method (Caquot, 1956) implemented by C.Carranza-Torres (Carranza-Torres, 2004)</li> </ol>	St	3D	MC-HB





Sociedad Colombiana de Geotecnia



#### 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



Cartagena



En memoria al profesor Luis Vallejo

### COMPORTAMIENTO A COMPRESIÓN SIMPLE DE ROCAS ARCILLOSAS ANTE CAMBIOS DE HUMEDAD

Jairo Martín Espitia López<sup>1</sup>, Olga Patricia Gómez<sup>1</sup> y Daniel Morales<sup>2</sup> <sup>1</sup>Docente Escuela de Ingeniería de Minas <sup>2</sup>Ingeniero de Minas, M.Sc. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia

1971-202<sup>-</sup>







- 1. MOTIVACIÓN
- 2. DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL DE ESTUDIO
- **3.** PLAN EXPERIMENTAL
- 4. RESULTADOS
- 5. TRABAJO FUTURO
- 6. CONCLUSIONES





# 1. MOTIVACIÓN





 Año 2021: Cierre total de la vía Sogamoso-Yopal en el sector de Pajarito de octubre de 2021 a enero de 2022. Volumen 335 mil m<sup>3</sup>.
 Año 2022: Cierre total de la vía Sogamoso Yopal en el sector de Pajarito de abril a agosto de 2022. En la actualidad con paso a 1 carril. Volumen 200 mil m<sup>3</sup>.









https://boyaca7dias.com.co/2021/11/03/al-menos-poreste-ano-permanecera-cerrada-la-via-sogamosoaguazul/









https://boyaca7dias.com.co/2022/04/25/vuelve-acerrarse-la-via-sogamoso-aguazul-en-el-sector-lagranja-por-amenaza-de-perdida-de-la-banca/



https://boyaca7dias.com.co/2020/08/31/la-orquidea-unpunto-que-sigue-siendo-critico-en-la-via-del-cusianapese-a-las-millonarias-inversiones/





# 2. DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL DE ESTUDIO












Propiedades índice	(%)
Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	2.52
Porosidad (%)	10
Gs	2.79
Contenido de agua (%)	5
LL	22
IP	10

Mineral

Arcilla

Cuarzo

Micas

Clorita

Dolomita

Pirita

Otros



Figura. Detalle ilustrando cuarzo redondeado (1), laminillas de moscovita (2), dolomita (3), matriz arcillo-carbonosa (4), opacos: materia orgánica compacta y pirita (5), clorita (6). Luz trasmitida objetivo 10X. PPL y XPL respectivamente.





(%)

56,1

9,5

20,3

3,5

2,8

6,8

1,0

### **3. OBJETIVO Y PLAN EXPERIMENTAL**



а



Toma de muestras de núcleos de roca



Imposición humedad

de

3



Comportamiento compresión simple

#### Tabla. Soluciones salinas usadas

Solución salin	a	Concentración	HR (%)	
Sulfato de Potasio	$(K_2SO_4)$	60 gr sal / 400 gr H <sub>2</sub> O	97	
Sal de cocina	(NaCl)	124.2 gr sal / 300 gr H <sub>2</sub> O	75	
Carbonato de potasio	$(K_2CO_3)$	390 gr sal / 300 gr H $_2$ O	44	
Cloruro de calcio	$(CaCl_2)$	336 gr sal / 300 gr $H_2O$	29	







XVII CCG I SSAG 2022

Cartagena

Figura 1. Curvas de esfuerzo versus deformación unitaria axial





Figura. Variación de la resistencia a la compresión simple y del módulo tangente con la humedad relativa

HR (%)	Dirección de aplicación de carga	w (%)	UCS (MPa)	E <sub>t50</sub> (MPa)
29	Perpendicular	0.32	26.8	2053.5
29	Paralela	0.26	25.4	2095.4
44	Perpendicular	0.31	26.2	1837.1
44	Paralela	0.30	26.2	1547.0
75	Perpendicular	0.89	22.8	1558.0
75	Paralela	0.87	21.5	1450.3
97	Perpendicular	0.92	14.6	1356.4
97	Paralela	0.81	19.7	1385.0



1971-2021







**Figura.** Montaje experimental para comportamiento tiempo-dependiente



**Figura.** Estudiar el efecto de degradación por condiciones ambientales y evaluar su efecto en las propiedades mecánicas.



### 6. CONCLUSIONES

- XVII CCG ISSAG 2022 Cartagena
- Los resultados experimentales permitieron validar lo evidenciado por diferentes autores frente al efecto de la humedad en el comportamiento mecánica de rocas arcillosas. Estos resultados podrán ser de gran utilidad dado que para las rocas arcillosas de la formación Lutitas de Macanal que afloran en el sector del Municipio de Pajarito (Boyacá) se carece de resultados experimentales que evalúen este fenómeno.
- Los problemas de inestabilidad en el tramo vial entre Sogamoso-Aguazul en el sector de Pajarito además de depender de la susceptibilidad de las rocas arcillosas a los cambios de humedad, tienen una influencia importante de los cambios en las condiciones ambientales a los que están expuestos estas rocas. Por lo tanto, a futuro se estudiara el efecto de la degradación sobre el comportamiento mecánico de este tipo de rocas.





# **GRACIAS!**

### **¿Preguntas?** jairomartin.espitia@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



Cartagena

EFECTO DEL USO DE BARRERAS FLEXIBLES EN EL COMPORTAMIENTO DE UN FLUJO DE DETRITOS EN LA CUENCA ALTA DE LA QUEBRADA TARUCA (MOCOA, PUTUMAYO) UTILIZANDO DEM.

> <u>GINNA MARCELA TORRES RODRÍGUEZ;</u> MAURICIO ALBERTO TAPIAS Ingeniera Civil-Estudiante actual de la Maestría en Geotecnia Universidad Nacional de Colombia









### ¿Cómo determinar bajo metodología de métodos de elementos discretos (DEM) la efectividad del uso de barreras flexibles en el comportamiento de un flujo de Detritos?





### **CONTENIDO**

- 1. Introducción.
- 2. Antecedentes.
- 3. Planteamiento del problema.
- 4. Objetivo General y específicos.
- 5. Metodología tratada.
- 6. Análisis de datos cuenca Taruca (Putumayo).
- 7. Simulación numérica.
- 8. Análisis de Resultados.
- 9. Conclusiones.
- 10. Referencias.





> de eotecnia

XVII CCG ISSAG 2022 Cartagena

Según la Unidad Nacional para la gestión del riesgo de desastres (UNGRD, 2020), "Colombia se encuentra expuesta a amenaza sísmica alta e intermedia, siendo un país con múltiples amenazas geológicas." (UNGRD, 2020). Es decir que "más del 87% de la población está expuesto a cualquier tipo de evento, específicamente un 82% a movimientos en masa" (UNGRD, 2020), dentro de los cuales se encuentran los flujos de detritos y avalanchas.









Foto aérea del evento ocurrido en 2017 Fuente: (UNGRD & Pontificia Universidad Javeriana, 2018)









Esquematización de las ríos y quebradas respecto a la localización del municipio Mocoa-Putumayo. Fuente: (Servicio Geológico Colombiano, 2017)





### 1. INTRODUCCIÓN



Foto aérea del evento ocurrido en 2017 y Bloques que desplazó la avalancha de detritos. Fuente: (UNGRD & Pontificia Universidad Javeriana, 2018)



#### **2. ANTECEDENTES** State of Art

Particle model for crushable aggregates which includes size, time and relative humidity effects



Fuente: (Tapias Camacho, 2016)

XVII CCG I SSAG 2022

Cartagena





#### Discrete element modeling of debris avalanche impact on earth fill barriers.



Fuente: Salciarini, Tamagnini & Conversini, 2014



EFECTO DEL USO DE BARRERAS FLEXIBLES EN EL COMPORTAMIENTO DE UN FLUJO DE DETRITOS EN LA CUENCA ALTA DE LA QUEBRADA TARUCA (MOCOA, PUTUMAYO) UTILIZANDO DEM 9

XVII CCG

### **2. ANTECEDENTES**



Figure 1: Design load configurations

Fuente: Cheung RWM & Kwan JSH, 2012





#### XVII CCG ISSAG 2022 Cartagena

### **3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Colombia ha experimentado una gran variedad de desastres que han dejado como consecuencias pérdidas humanas y económicas. En el 2017 Mocoa sufrió uno de los más devastadores desastres, una avalancha de detritos con más de 11 millones de escombros que cubrieron la ciudad completamente. Así que, a partir de las investigaciones ya realizadas acerca de zonificaciones por amenaza, vulnerabilidad y riesgo y en búsqueda de mitigar los impactos generados por la quebrada Taruca en la cuenca alta se busca evaluar el efecto del uso de barreras flexibles a partir de una simulación numérica utilizando el método de elementos discretos (DEM). Esto con el fin de estudiar la mitigación que se logra con este tipo de soluciones geotécnicas. Buscando así soluciones que puedan ser aplicadas en el país con el fin de mitigar los impactos sociales y ambientales.



Figura a,b,c-Tipos de Barreras Flexibles y semi rígidas para control de detritos. Fuente (Revista Obras Urbanas,2021) Figura d-Interacción entre partículas-Fuerzas de contacto y de gravedad que actúan sobre una partícula Fuente: (Tapias Camacho, 2016)







**GENERAL:** Evaluar el efecto de barreras flexibles en el comportamiento de un flujo de detritos localizado en la cuenca alta de la quebrada Taruca en el municipio de Mocoa, a través de la modelación numérica utilizando DEM.

#### **ESPECÍFICOS:**

- Caracterizar el flujo de detritos y las zonas críticas de acuerdo con investigaciones realizadas en la zona de la cuenca alta de la quebrada Taruca (Mocoa, Putumayo) con base en los eventos ocurridos en 2017.
- Modelar numéricamente un flujo de detritos en la zona de estudio con la utilización de barreras flexibles usando elementos discretos (DEM).
- Comparar la situación presentada en Mocoa en el 2017 con la situación implementando las barreras flexibles.









### 6. ANÁLISIS DE DATOS CUENCA TARUCA











### 6. ANÁLISIS DE DATOS CUENCA TARUCA

Tabla 9. Relación de movimientos en masa fotointerpretados en las cuencas de las quebradasTaruca, San Antonio y El Carmen y los ríos Sangoyaco y Mulato, detonados en el evento del 31 demarzo de 2017.

Subcuenca	Movimientos en masa detonados en 2017	Movimientos en masa que aportaron al flujo del 2017	Volumen de materia aproximado aportado (m <sup>3</sup> )
Q. Taruca	158	65	126.128
Q. Taruquita	21	19	61.703
Rio Mulato	132	47	34.009
Rio Sangoyaco	153	59	76.940
Total	276	190	298.780

#### Fuente: Dirección Regional del Putumayo,2018

Parámetro	Partículas	Superficie
Densidad (kg/m3)	2650	1000
Módulo de Young (kg/cm2)	le7	30e9
Poisson	0.5	0.3
Ángulo de Fricción (rad)	0.3	0.1









Fuente: Propia







Acomodación de Partículas-Desaparición de Barrera Móvil cuando Fuerzas entre partículas es mínima. *Fuente: Propia* 



EFECTO DEL USO DE BARRERAS FLEXIBLES EN EL COMPORTAMIENTO DE UN FLUJO DE DETRITOS EN LA CUENCA ALTA DE LA QUEBRADA TARUCA (MOCOA, PUTUMAYO) UTILIZANDO DEM**17** 

XVII CCG



#### SIMULACIÓN SIN BARRERAS



Fuente: Propia



EFECTO DEL USO DE BARRERAS FLEXIBLES EN EL COMPORTAMIENTO DE UN FLUJO DE DETRITOS EN LA CUENCA ALTA DE LA QUEBRADA TARUCA (MOCOA, PUTUMAYO) UTILIZANDO DEM**18** 

XVII CCG I SSAG 2022







Fuente: Propia



EFECTO DEL USO DE BARRERAS FLEXIBLES EN EL COMPORTAMIENTO DE UN FLUJO DE DETRITOS EN LA CUENCA ALTA DE LA QUEBRADA TARUCA (MOCOA, PUTUMAYO) UTILIZANDO DEM**19** 

XVII CCG

### 7. SIMULACIÓN NÚMERICA



#### SIMULACIÓN DEL EVENTO CON BARRERA 1











#### SIMULACIÓN DEL EVENTO CON BARRERA 2



Fuente: Propia







#### SIMULACIÓN DEL EVENTO CON BARRERA 2











Fuente: Propia



EFECTO DEL USO DE BARRERAS FLEXIBLES EN EL COMPORTAMIENTO DE UN FLUJO DE DETRITOS EN LA CUENCA ALTA DE LA QUEBRADA TARUCA (MOCOA, PUTUMAYO) UTILIZANDO DEM23

XVII CCG





## Fuerza en Barrera 3 60000 80000 100000 120000 O.iter .No. Ciclos 54.795m122u428n

#### SIMULACIÓN DEL EVENTO CON BARRERA 3







5

7E+09 6E+09 5E+09 4E+09

산 3E+09 2E+09 IE+09







Fuente: Propia



EFECTO DEL USO DE BARRERAS FLEXIBLES EN EL COMPORTAMIENTO DE UN FLUJO DE DETRITOS EN LA CUENCA ALTA DE LA QUEBRADA TARUCA (MOCOA, PUTUMAYO) UTILIZANDO DEM25

XVII CCG

### 7. SIMULACIÓN NÚMERICA



#### SIMULACIÓN DEL EVENTO CON BARRERA 2Y3





Fuente: Propia









EFECTO DEL USO DE BARRERAS FLEXIBLES EN EL COMPORTAMIENTO DE UN FLUJO DE DETRITOS EN LA CUENCA ALTA DE LA QUEBRADA TARUCA (MOCOA, PUTUMAYO) UTILIZANDO DEM27

XVII CCG









EFECTO DEL USO DE BARRERAS FLEXIBLES EN EL COMPORTAMIENTO DE UN FLUJO DE DETRITOS EN LA CUENCA ALTA DE LA QUEBRADA TARUCA (MOCOA, PUTUMAYO) UTILIZANDO DEM28

XVII CCG **ISSAG 2022** 





- La discretización del sistema permite conocer a más detalle la incidencia que tiene el contacto-contacto de las partículas y la superficie, lo que se ve evidenciado en el aumento de fuerzas que llegan a las diferentes posiciones que se manejaron en las simulaciones numéricas. Entre mayor era el recorrido de la partícula podría ganar mayor energía y generar mayor fuerza.
- El uso de elementos transversales como lo son las Barreras flexibles ayuda a mitigar los impactos que pueden generar este tipo de eventos, dado que las energías de las partículas disminuyen y las fuerzas de impacto así mismo serán menores.
- Para los casos revisados, se evidencia que la mejor opción es implementar la Barrera 2 y Barrera 3, dado que entre las dos disipan las energías y controlan las fuerzas de una mejor distribución.
- Para el uso de la Barrera 1, que controla los detritos deslizados en su totalidad, es importante poder revisar factores adicionales como lo es la facilidad constructiva por ser un sitio con inclinación mayor y con mayor altura que los definidos para la Barrera 2 y 3.




# **10. BIBLIOGRAFÍA**

- Kwon, S.-K. C.-M.-H. (2017). Effect of slit-type barrier on characteristics of water-dominant debris flows: small-scale physical modeling. Landslides, 1-12.
- Law, R. P., Choi, C. E., & Ng, C. W. (2015). Discrete-element investigation of influence of granular debris flow baffles on rigid barrier impact. Canadá: Canadian Geotechnical Journal.
- Montero Olarte, J. (2017). Clasificación de movimiento sen masa y su distribución en terrenos geológicos de Colombia. Servicio Geológico Colombiano, Cundinamarca. Bogotá: Luis Eduardo Vásquez Salamanca.
- Salciarini, D., & Tamagnini, C. (2009, June 6). Discrete element modeling of debrisavalanche impact on earthfill barriers. El Sevier, 1-10.
- Tapias Camacho, M. A. (2016). Particle model for crushable aggregates which includes size,time and relative humidity effects. Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona. Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya.

Terzaghi, K. (1950). Mechanism of landslides. Cambridge: Harvard University.

Varnes, D. (1976). Landslides, causes and effect. Geologie de l'ingenieur, 12.





# **¡GRACIAS!**

¿Preguntas? gitorresr@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



Cartagena

## ESTUDIO DEL EFECTO DE ROTURA DE PARTÍCULAS DURANTE UNA AVALANCHA DE ROCAS, USANDO DEM (TRABAJO EN PROGRESO)

Sergio D. Garcia G., Mauricio A. Tapias C. Maestría en Ing. Civil – Geotecnia Universidad Nacional de Colombia







# CONTENIDO

- 1. Colombia, un país de amenazas geológicas
- 2. Simulación numérica como herramienta de investigación
- 3. Movimientos en masa: Avalancha de rocas
- 4. Fragmentación dinámica
- 5. DEM
- 6. YADE
- 7. Caso de estudio
- 8. Resultados
- 9. Conclusiones
- 10. Referencias





# 1. Colombia, un país de amenazas geológicas

### Flujo de lodos Armero (Tolima) - 1985

Imagen tomada de: https://cnnespanol.cnn.com/2020/11/13/armero-30-anosdespues-sobrevivientes-recuerdan-la-peor-tragedia-natural-de-colombia/





#### Barrio Villatina Medellín (Antioquia) – 1987

### Deslave y Flujo de lodos de Mocoa (Putumayo) - (2017)

Imagen tomada de: https://www.eltiempo.com/colombia/otrasciudades/peores-avalanchas-en-america-luego-de-tragedia-en-mocoa-73818

https://arquitectura.medellin.unal.edu.co/escuelas/ha bitat/galeria/displayimage.php?album=10&pid=122#t op\_display\_media



#### ESTUDIO DEL EFECTO DE ROTURA DE PARTÍCULAS DURANTE UNA AVALANCHA DE ROCAS



# 2. Simulación numérica como herramienta









Imágenes tomadas de https: 1. //www.itascacg.com/software/pfc

2. https://yade-dem.org/doc/





## 3. Movimientos en masa: Avalancha de rocas

- Movimiento tipo flujo, extremadamente rápido y masivo, de roca fragmentadas
  - Rocas duras
  - Laderas abruptas (>45°)



### Alpes - frontera Italia - Suiza

Imagen tomada de Imagen tomada de http://www.sirenaselectronicas.com/lasregiones-estan-respondiendo-con-sirenas-electronicas-al-riesgo-de-avalanchas-y-





deslizamientos-de-tierras/



Deslizamiento de Frank (Alberta, Canadá) Imagen tomada de SGC (2017)

- Características del deposito
- Velocidades pico 100 m/s, velocidad media 30-40 m/s



- Davies et. Al (1999) "A fragmentation-spreading model for longrunout rock avalanches" - Fenomeno "fragmentación dinámica"
- Características del depósito
- Distancia de viaje



<b>5. DEM</b>	
---------------	--

• Es un modelo numérico capaz de describir el comportamiento mecánico de arreglos de partículas, bajo unas condiciones especificas.







Imagen tomada de Tapias (2016)

Imágenes tomadas de: Albaba (2016)





XVII CCG I SSAG 2022 Cartagena

	6. YADE
--	---------

 YADE: Yet another Dynamic Engine - Es un marco extensible de código abierto para modelos numéricos discretos, basado en el método de elementos discretos. XVII CCG I SSAG 2022 Cartagena

8



Imagen tomada de https://www.yade-dem.org/doc/tutorial-examples.html









Imagen tomada de https://www.yade-dem.org/doc/tutorial-examples.html



XVII CCG

Cartagena

9



Condiciones de frontera: "The runout of chalk cliff collapses in England and France - case studies and physical model experiments" -Bowman (2014)







Partículas (Clumps): macro • partículas compuestas por 4 micro - partículas





XVII CCG I SSAG 2022

Cartagena



Configuración inicial: Arreglo de 20 • macro - partículas.

Rotura: 1. Splitting ٠





Elaboración propia

2. Comminution



Elaboración propia



ESTUDIO DEL EFECTO DE ROTURA DE PARTÍCULAS DURANTE UNA AVALANCHA DE ROCAS 11

**XVII CCG** I SSAG 2022

Cartagena



# 7. Caso de estudio: Simulaciones

- Damping: 0,3
- ∆t =1x10^-6
- Iteraciones: 300.000 Rotura a iteración 100.000
- Secuencia de simulaciones:
  - <u>1er Caso:</u> Clumps sin rotura
  - **<u>2do Caso:</u>** Clumps pre-fragmentados 50% Comminution
  - <u>**3er Caso:</u>** Clumps pre-fragmentados 50% Splitting</u>
  - 4to Caso: Clumps pre-fragmentados 25% Comminution 25% Splitting
  - <u>5to Caso:</u> Clumps fragmentados 50% Comminution a iteración n° 100.000
  - <u>6to Caso:</u> Clumps fragmentados 50% Splitting a iteración n° 100.000
  - <u>7to Caso:</u> Clumps fragmentados 25% Splitting 25% Comminution, a iteración n° 100.000





# 7. Caso de estudio: Simulaciones









14

### 1er. Clumps sin rotura

2do. Clumps prefragmentados 50% Comminution 5to. Clumps fragmentados 50% Comminution a iteración nº 100.000







Elaboración propia







### 1er. Clumps sin rotura

3er. Clumps prefragmentados 50% Splitting 6to. Clumps fragmentados 50% Splitting a iteración n° 100.000







Elaboración propia







### 1er. Clumps sin rotura

4to. Clumps prefragmentados 25% Splitting – 25% Comminution 7mo. Clumps fragmentados 25% Splitting – 25% Comminution a iteración nº 100.000







Elaboración propia





# 9. Conclusiones

- Se registraron las distancias de viajes mas largas cuando existió rotura, bien sea por pre fragmentación (Mas común) o fragmentadas durante el viaje (7mo caso 25% Splitting – 25% Comminution).
- El caso donde la masa se movilizó mas lejos fue el pre-fragmentado 25% Splitting – 25% Comminution
- Los casos donde se observa un área de dispersión de masa más amplio es donde se utilizó el criterio de relación de rotura 25% Splitting – 25% Comminution
- Al emplear sólo un mecanismo de rotura, el rompimiento por splitting generó una distancia de viaje en línea recta ligeramente mayor.
- La forma influye considerablemente en la distancia de viaje alcanzada, sobre todo a bajas velocidades.





# 9. Trabajo pendiente

- Análisis de sensibilidad de forma de los clumps
- Hay que migrar a un criterio de rotura que dependa directamente de las fuerzas aplicadas por otros cuerpos sobre las partículas.
- Revisión de datos de avalanchas, Acantilados del canal de la Mancha, con el fin de calibrar el modelo de rotura con las curvas granulométricas iniciales y finales. Además de las características geométricas del movimiento.



# 10. Referencias bibliográficas

• Albaba, A. 2016. Discrete element modeling of the impact of granular debris flows on rigid and flexible structures. Université Grenoble Alpes.

XVII CCC

artagena

- Bowman, E. T. (2014). The runout of chalk cliff collapses in England. Landslides. Obtenido de 10.1007/s10346-014-0472-2
- Bowman, E., Take, W., Rait, K., & C., H. (2012). Physical models of rock avalanche spreading behaviour with dynamic fragmentation. Canadian Geotechnical Journal, 460 - 476. Obtenido de 10.1139/T2012-007
- Davies, T., McSaveney, M., & Hodgson, K. (1999). A fragmentationspreading model for long-runout rock avalanches. Canadian Geotechnical Journal. Obtenido de 10.1139/t99-067
- Lin, Q.-w., Cheng, Q.-G., Xie, Y., Zhang, F.-s., Li, K., Wang, Y.-f., & Zhou, Y.-y. (2020). Simulation of the fragmentation and propagation of jointed rock masses in rockslides: DEM modeling and physical experimental verification. Landslides. Obtenido de 10.1007/s10346-020-01542-z



# 10. Referencias bibliográficas

 Locat, P., Couture, R., Leroueil, S., Locat, J., & Jaboyedoff, M. (2006).
Fragmentation energy in rock avalanches. Canadian Geotechnical Journal. Obtenido de 10.1139/T06-045 XVII CCG

artagena

- Montero Olarte, J. (2017). Clasificación de movimientos en masa y su distribución en terrenos geológicos de Colombia. Servicio Geologico Colombiano. Bogotá: Imprenta Nacional de Colombia.
- Tapias, M. (2016). Particle model for crushable aggregates which includes size, time and relative humidity effects. Tesis doctoral, Universitat Politècnica de Catalunya, Division of Geotechnical Engineering and Geosciences - Department of Civil and Environmental Engineering, Barcelona.
- Zhao, T., Battista Crosta, G., Utili, S., & De Blasio, F. V. (2017). Investigation of rock fragmentation during rockfalls and rock avalanches via 3-D discrete element analyses. Journal of Geophysical Research: Earth Surface. Obtenido de 10.1002/2016JF004060





# **GRACIAS!**

¿Preguntas? sedgarciagi@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



Cartagena

# DINÁMICA DEL VOLTEO DE BLOQUES EN TALUDES ROCOSOS POR EL MÉTODO DEM

Juan Pablo Romero Bermúdez Ingeniero Civil, Magíster en Geotecnia DM Ingeniería y Consultoría SAS

1971-202<sup>-</sup>







### 1. VOLTEO DE BLOQUES EN TALUDES DE ROCA

### 2. EL MÉTODO DE LOS ELEMENTOS DISCRETOS (DEM)

- a) Las fuerzas de choque
- b) Las ecuaciones de movimiento
- c) Validación de las ecuaciones en el programa **Toppling\_UN**
- 3. DINÁMICA DE UN PROCESO DE VOLTEO EN UN SISTEMA DE BLOQUES
- 4. CONCLUSIONES





# VOLTEO DE BLOQUES EN TALUDES DE ROCA

El volteo de rocas es un tipo de movimiento que consiste en la rotación y traslación de un sistema de bloques bajo la acción de fuerzas externas, como la gravedad, y de fuerzas internas, como el empuje entre los bloques.



Tomado de Goodman y Bray (1976)





# **VOLTEO DE BLOQUES EN TALUDES DE ROCA**



método de Hoek y Bray (1981)

 $\beta$  es la inclinación de los bloques

 $\alpha_1$  es la inclinación del talud

 $\alpha_2$  es la inclinación de la superficie sobre el talud

 $\Delta x$  es el ancho de los bloques

b es la altura del escalón

 $\phi$  es ángulo de fricción en las paredes de los bloques  $\phi_c$  es ángulo de fricción con el cual FS=1

$$FS = \frac{F_{resistente}}{F_{actuantes}} \quad FS = \frac{\tan\phi}{\tan\phi_c}$$







# VOLTEO DE BLOQUES EN TALUDES DE ROCA



### Equilibrio de fuerzas

$$_{n-1,s} = \frac{W_n(\operatorname{sen}\beta - \cos\beta \tan\phi_M) + P_n(1 - \tan^2\phi_M)}{(1 - \tan^2\phi_M)}$$

### Equilibrio de momentos

$$P_{n-1,t} = \frac{W_n(h_n sen\beta - \Delta x \cos \beta) + P_n(M_n - \Delta x \tan \phi_M)}{2L_n}$$





# EL MÉTODO DE LOS ELEMENTOS DISCRETOS (DEM)





Tres elementos básicos:

- 1. Un elemento discreto
- 2. Unas ecuaciones de fuerza
- 3. Unas ecuaciones de movimiento



método propuesto por Peter Cundall (1971)







Entre dos bloques hay 32 contactos diferentes.

En un sistema de 10 bloques hay 1440 posibilidades de contacto.

$$\overrightarrow{F} = \overrightarrow{F_n} + \overrightarrow{F_t}$$



ociedad

de

otecnia





TALUDES ROCOSOS POR EL MÉTODO DEM



# Aplicación de las ecuaciones en Toppling\_UN









# Aplicación de las ecuaciones en Toppling\_UN



Sociedad

de eotecnia

ombiana

5(

1971-2021







1971-2021

12 TALUDES ROCOSOS POR EL MÉTODO DEM



# DINÁMICA DEL VOLTEO DE BLOQUES





DEM 10:10.1








Al estudiar el comportamiento de taludes fallados en macizos rocosos se requiere del uso de **una mecánica diferente** a la del continuo y de un método de análisis **diferente al del equilibrio límite**.

*Toppling\_UN* permite evaluar la **dinámica** de un sistema de bloques rígidos en condiciones planas de desplazamientos. Particularmente, resuelve el problema del volteo de bloques desde una perspectiva que va más allá de los análisis estáticos.

Los resultados de un programa como este son muy importantes para realizar análisis cuantitativos **de vulnerabilidad y riesgo**, sobre los elementos expuestos al movimiento.

El trabajo de maestría titulado "*Dinámica del volteo de bloques en taludes rocosos*" se encuentra disponible en el Repositorio Universidad Nacional: <u>https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/75632</u>





# **¡GRACIAS!**

¿Preguntas? juanpasjp@gmail.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



Cartagena

### ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DINÁMICO DE LOS SUELOS DE LA CIUDAD DE TUNJA-BOYACÁ, MEDIANTE ENSAYOS DE COLUMNA RESONANTE Y TORSIÓN CÍCLICA



ANGIE LIZETH HERNÁNDEZ BONILLA Estudiante de Ingeniería Civil SIISMO-GIISAG



Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia





XVII CCG ISSAG 2022 Cartagena



- 1. Introducción
- 2. Objetivos
- 3. Marco Teórico
- 4. Zona de estudio
- 5. Caracterización física
- 6. Obtención de curvas dinámicas
- 7. Comparación de curvas dinámicas
- 8. Conclusiones





### 1. INTRODUCCIÓN

#### TUNJA

Localizada en el Altiplano-Cundiboyacense, se encuentra a 160 km de La Mesa de los Santos, donde se presenta la mayoría de movimientos telúricos del país.

De acuerdo a catálogos de Preliminary Determination of Epicenters, entre 1973 y 2005, en Tunja se presentaron 28 sismos con magnitudes de 3.7 a 5.8.



Según la NSR-10, Tunja-Boyacá, se encuentra en una zona sísmica intermedia.

### PARÁMETROS DE ESTUDIO

Propiedades dinámicas del suelo

- Módulo de corte (G)
- Relación de amortiguamiento (D)
- Velocidad de onda de corte (Vs)

### **INSTRUMENTO**



Fuente. AIS (2010)





### GENERAL

Analizar el comportamiento dinámico de suelos de la ciudad de Tunja, por medio de sus curvas de módulo cortante y relación de amortiguamiento obtenidas a partir de ensayos de columna resonante y torsión cíclica.

### **ESPECÍFICOS**

- Obtener las curvas de degradación para cada tipo de suelo, teniendo en cuenta condiciones de confinamiento constante y frecuencias de incidencia, mediante la implementación de ensayos de columna resonante y torsión cíclica.
- Analizar los resultados obtenidos por medio de la columna resonante y torsión cíclica, permitiendo conocer su comportamiento de acuerdo a resultados obtenidos mediante literatura.







### **3. MARCO TEÓRICO**

### PARÁMETROS DINÁMICOS



Relación de amortiguamiento:  $D = \frac{1}{4\pi} \frac{\Delta W}{W}$  Velocidad de onda de corte:

$$Vs = \sqrt{\frac{G}{\rho}}$$

### ENSAYO CR Y TC



Fuente. Sierra y Rivera (2015)

#### Proceso del ensayo













### **CLASIFICACIÓN SUCS**



**PROPIEDADES ÍNDICE** 

NI <sup>0</sup>	C	•	n	S	XI	Xd.	ω
N.	Gs	e	(%)	(%)	(g / cm <sup>3</sup> )	(g / cm <sup>3</sup> )	(%)
M1	2,60	0,73	42,12	100,0	1,93	1,50	27,99
M2	2,65	1,27	55,92	100,0	1,73	1,17	47,88
М3	2,65	0,51	33,92	100,0	2,09	1,75	19,37
M4	2,65	0,84	45,51	100,0	1,90	1,44	31,51
M5	2,58	0,74	42,37	100,0	1,91	1,49	28,50
M6	-	-	-	-	-	-	-
M7	2,66	0,38	27,34	100,0	2,21	1,93	14,15
M8	2,55	0,47	32,08	100,0	2,05	1,73	18,52
M9	2,68	0,62	38,16	100,0	2,04	1,66	23,03
M10	2,70	0,55	35,31	100,0	2,10	1,75	20,22







### 6. OBTENCIÓN DE CURVAS DINÁMICAS

### **CURVAS DE DEGRADACIÓN DEL SUELO**

CURVA G Y D





ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DINÁMICO DE LOS SUELOS DE LA CIUDAD DE TUNJA- 9 BOYACÁ, MEDIANTE ENSAYOS DE COLUMNA RESONANTE Y TORSIÓN CÍCLICA



30,0

25,0

20,0

15,0 🖇

10,0

5.0

0.0

1,00E+01

1,00E+00

----- D

### 6. OBTENCIÓN DE CURVAS DINÁMICAS

#### **ANÁLISIS DE FRONTERA**



Fuente. Camacho-Tauta (2011)



 $\gamma_t v$ : Deformación corte volumétrico

ANÁLISIS DE FRONTERA DE CURVAS DINÁMICAS 1.00E-04 5E-04 .6E-04 2.0E-04 2.4E-04 2.8E-04 4.0E-0 3.8E-04 4.2E-04 4.9E-04 1.00E-03 5.7E-04 4.0E-03 **%** (%) 4.5E-03 4.8E-03 1.00E-02 7.1E-03 1.1E-02 2.6E-02 2.5E-02 4.7E-02 1.00E-01 1.00E+00 CH CH ML CH CH ML CL CL ML M1 M2 M3 M4 M5 M7 M8 M9 M10 Def. pequeñas Def. media-larga

#### Comportamiento de deformación lineal o recuperable



Comportamiento de deformación no-lineal o degradable







### 7. COMPARACIÓN CURVAS DINÁMICAS



XVII CCG I SSAG 2022

Cartagena





### 7. COMPARACIÓN CURVAS DINÁMICAS

N°	SUCS	e (%)	IP (%)	G <sub>máx</sub> (MPa)	D <sub>máx</sub> (%)	V <sub>s máx</sub> (m/s)	fres (Hz)	w
M5	СН	0.74	37	18.97	18.13	99.64	43.43	28.5
M4	СН	0.84	35	31.93	29.15	129.67	56.76	31.51
M2	СН	1.27	36	39.53	38.3	151.28	43.54	47.88
M1	СН	0.73	45	40.81	28.2	145.56	63.93	27.99
M8	CL	0.47	26	45.82	24	149.38	66.40	18.52
M9	CL	0.62	21	48.78	19.98	154.68	65.67	23.03
M3	ML	0.51	18	50.64	24.08	155.64	74.46	19.37
M10	ML	0.55	8	76.72	24.87	191.15	85.92	20.22
M7	ML	0.38	6	82.81	12.29	193.75	19.19	14.15

- $G_{máx}$ : >G  $\rightarrow$  >Rigidez. Comportamiento de arcillas dentro de los rangos usuales.
- D<sub>máx</sub>: Comportamiento dentro de rangos típicos de 15 a 30%, excepto M2 y M7
- Vs<sub>máx</sub>: > Vs → > Rigidez. En el rango entre 100 y 200 m/s
- Fres: Relación directa con Gmáx, excepto M7
- Influencia IP, e y w: Relación inversa con Gmáx. Comportamiento definido.
- Influencia tipo de suelo: Comportamiento definido
- Presión de confinamiento: Se requiere más información







0.8

0.4

0.2

0

IP=100

IP=200

G/Gmáx

#### **MUESTRA M3-ML-IP=18**



COMPARACIÓN MÓDULO DE CORTE NORMALIZADO- M7 vs

VUCETIC Y DOBRY (1991)

#### **MUESTRA M9-CL-IP=21**

XVII CCG **ISSAG 2022** 

Cartagena











1.00E-03

1.00E-02

¥ (%)

1.00E-01

1.00E+00 1.00E+01

10

5

٥

1.00E-04

ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DINÁMICO DE LOS SUELOS DE LA CIUDAD DE TUNJA-13 BOYACÁ, MEDIANTE ENSAYOS DE COLUMNA RESONANTE Y TORSIÓN CÍCLICA

- IP=0

IP=15

IP=50

- IP=100

IP=200

--- M7-IP=6

- IP=30

<b>8. CONCLUSION</b>
----------------------

• Por fronteras de deformación se considera CH, CL, ML de comportamiento dúctil a frágil de deformación. Suelos CH requieren mayor deformación para empezar su degradación y perder su condición elástica, mientras que suelos ML se degradan frente a deformaciones más pequeñas.

XVII CCG I SSAG 2022 Cartagena

- Los suelos de menor rigidez corresponden a los suelos de tipo CH y coinciden con las provenientes del depósito fluviolacustre. Los de valor medio de G corresponden a zona de relleno y suelo tipo CL, y los de mayor rigidez corresponden a suelo tipo ML, de zona de relleno y formación Bogotá.
- Las muestras M8, M9 y M10, provenientes de la misma zona, no presentan similitud entre sus propiedades dinámicas ni con las curvas de Vucetic y Dobry, reafirmando su composición heterogénea. Se evidencian resultados muy atípicos en la muestra M10, por lo que, no se consideran confiables sus resultados.
- La discrepancia entre las curvas experimentales y las realizadas por Vucetic y Dobry para ciertos IP, puede deberse a la diferencia en los suelos y origen de formaciones. Aunque las curvas teóricas se realizaron con suelos de diversos sitios; los suelos del país, al ubicarse sobre formaciones de condiciones especiales y diferentes a las reunidas por los autores, no son plenamente representadas.





# **¡GRACIAS!**

### ¿Preguntas?

angie.hernandez08@uptc.edu.co omar.jimenez@uptc.edu.co carlos.sainea@uptc.edu.co santiago.berdugo@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



Evaluación del uso de las ondas solitarias para control de compactación

Juan P. Villacreses, Bernardo Caicedo, Laura Ibagón Universidad San Francisco de Quito Universidad de los Andes









# Contenido

- 1. Introducción
- 2. Problema de Investigación
- 3. Metodología
- 4. Resultados
- 5. Conclusiones
- 6. Bibliografía





# Introducción









# Introducción



Overlap of locations of earthen construction and moderate, high and very high seismic hazard







# Problema de Investigación

- Limitaciones de los equipos comúnmente utilizados.
- Metodología de control de compactación (E, G, δ).







- Ondas solitarias (pulsos que viajan en sistemas no lineales, solo generan compresión o tensión)
- Se generan por un impacto.
- La longitud de onda, velocidad y amplitud a del impacto.

Ni, X., & Rizzo, P. (2012)







$$\dot{V}_1 = \frac{1}{m_1} \left( -A_{sph} \left( \delta_{01} - u_2 + u_1 \right)^{\frac{3}{2}} + m_1 g \right)$$

 $e = \frac{V_1 - V_{0f}}{V_{0i}}$ 

Restitution coef. Initial Condition of Velocity Acceleration equal to ZERO at the time t=0

$$\dot{V}_{i} = \frac{1}{m_{i}} \Big( A_{top} (\delta_{0i-1} - u_{i} + u_{i-1})^{\frac{3}{2}} - A_{bott} (\delta_{0i} - u_{i+1} + u_{i})^{\frac{3}{2}} + m_{i}g \Big)$$

Velocity and Acceleration equal to ZERO at the time t=0

$$\dot{V}_{17} = \frac{1}{m_{17}} \Big( A_{sph} (\delta_{016} - u_{17} + u_{16})^{\frac{3}{2}} - A_m (\delta_{017} - u_{17})^{\frac{3}{2}} + m_{17} g \Big)$$

Velocity and Acceleration equal to ZERO at the time t=0



















• Calibración con materiales patrón





- 3 Materiales de control
- 11 Rocas Naturales (2050 Kg/m3 2760 Kg/m3)
- 21 Suelos (1601 Kg/m3 a 1800 Kg/m3)







#### Muestras en Roca



Geomateriales & Sistemas de Infraestructur

(ASTM) D2845 -Laboratory Determination of Pulse Velocities and Ultrasonic Elastic Constants of Rock





#### **Soil Samples**







• Muestras compactadas

Numh	т 1			Hammer
er of Samp les	Liquid Limit (%)	Plastic Index (%)	Specific Gravity	Blows (Compacti on Energy KJ/m <sup>3</sup> )
5	35	18	2.68	12 (287)
4	35	18	2.68	25 (598)











# Conclusiones

- El equipo con un contacto esférico subestima del valor de Emax.
- El valor de TOF se ve afectado por la densidad seca del material.
- Existe un cambio del valor del TOF cercano wopt.





# Bibliografía

[1] Soltani A., Taheri A., Deng A., O'Kelly BC., Improved Geotechnical Behavior of an Expansive Soil Amended with Tire-Derived Aggregates Having Different Gradations, Minerals, 10(10), 2020, 923.

[2] Défossez P., Richard G., Models of soil compaction due to traffic and their evaluation, Soil and Tillage Research, 67(1), 2002, 41-64.

[3] Lenke LR., McKeen RG., Grush MP., Laboratory evaluation of GeoGauge for compaction control, Transportation research record, 1849(1), 2003, 20-30.

[4] Rizzo P., Li K., Analysis of the geometric parameters of a solitary waves-based harvester to enhance its power output. Smart Materials and Structures, 26(7), 2017, 075004.

[5] Villacreses JP., Caicedo B., Caro S., Yépez F., Feasibility of the use of nonlinear solitary waves for the nondestructive measurement of Young's modulus of rocks and compacted materials, Transportation Geotechnics, 26:100437, 2021.

[6] Nazzal M., Non-nuclear methods for compaction control of unbound materials, 2014.

[7] Rathje, E.M., Wright, S.G., Stokoe, K.H., Adams, A., Tobin, R. and Salem, M., Evaluation of non-nuclear methods for compaction control, 2006.



Universidad de Ios Andes

# Bibliografía

- [8] Paez, G. E. P., Comparison Study Between Field Compaction Control Devices Of Unbound Materials, 2018.
- [9] Anderson, D.M., Ehni, W.J. and Lundstrom, J., Electrical Density Gauge Replacement For Nuclear Density Gauge., In 14th EEGS Symposium on the Application of Geophysics to Engineering and Environmental Problems, European Association of Geoscientists & Engineers, 2001, pp. cp-192.
- [10] McLain KW., Gransberg DD., Life cycle cost evaluation of alternatives to the nuclear density gauge for compaction testing on design-build projects, Journal of Structural Integrity and Maintenance, 1(4), 2016, 197-203.
- [11] Alshibli KA., Abu-Farsakh M., Seyman E., Laboratory evaluation of the geogauge and light falling weight deflectometer as construction control tools, Journal of materials in civil engineering, 17(5), 2005, 560-9.
- [12] Fleming PR., Frost MW., Lambert JP., Review of lightweight deflectometer for routine in situ assessment of pavement material stiffness, Transportation Research Record, 2004(1), 2007,80-7.
- [13] Si, J. Z., Intelligent Compaction for Quality Control and Acceptance for Soil and Base Compaction through Statistical Analysis, Transportation Research Record, 2018, 2672(52), 325-332.
- [14] Lenke, L.R., McKeen, R.G. and Grush, M., Evaluation of a mechanical stiffness gauge for compaction control of granular media (No. NM99MSC-07.2), New Mexico, State Highway & Transportation Department., 2001.
- [15] Weidinger, D.M. and Ge, L., Laboratory evaluation of the Briaud compaction device. Journal of geotechnical and geoenvironmental engineering, 135(10), 2009, 1543-1546.
- [16] Heitor, A., Indraratna, B. and Rujikiatkamjorn, C., Use of the soil modulus for compaction control of compacted soils, 2012.
- [17] Yang, J., Silvestro, C., Khatri, D., De Nardo, L. and Daraio, C., Interaction of highly nonlinear solitary waves with linear elastic media. Physical Review E, 83(4), 2011, 046606.





# 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



### CAMBIOS GEOTÉCNICOS DE SUELOS FINOS SOMETIDOS A PROCESOS DE FUSIÓN EN EL LABORATORIO

LESLY NATHALIE LÓPEZ VALIENTE

Docente Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia Grupo de Investigación GIISAG -Semillero de Investigación Geotécnica








# 

- 1. INTRODUCCIÓN
- 2. GENERALIDADES
- 3. METODOLOGÍA DESARROLLADA
- 4. RESULTADOS
- 5. CONCLUSIONES







Dentro del proceso de estabilización de suelos blandos con granulometría fina, es conocido que en la actualidad existen diversas técnicas que permiten obtener resultados adecuados de mejoramiento de sus propiedades esfuerzodeformación, técnicas en las que se hacen caracterizaciones de una condición inicial y final. En el presente documento se tratan temas respecto a cambios producidos en suelos sometidos a alta temperatura.

La metodología, consistió en la caracterización física y mecánica de un suelo arcilloso de la ciudad de Tunja (Colombia), donde se obtuvieron muestras por medio de perforación manual, las cuales fueron caracterizadas geotécnicamente y expuestas a la acción del calor en diversos ciclos y magnitudes (temperaturas hasta de 1250 grados centígrados) con la verificación de las nuevas características físico- mecánicas, lo cual permitió establecer y cuantificar algunos de los cambios en el suelo ensayado.





**GENERALIDADES** 

No. Sondeo	Profundidad	Norte	Oeste
	(m)		
1	6.0	5°33`31.18"	73°20`41,54"
2	6.0	5°33`30.24"	73°20`41,74"
3	6.0	5°33`30.38"	73°20`41,24"
4	6.0	5°33`29.49"	73°20`41,45"
5	6.0	5°33`29.82"	73°20`41,02"
6	8.0	5°33`30,19"	73°20`40,39"
7	10	5°33`28,97"	73°20`40,92"
8	10	5°33`29,74"	73°20`40,16"



















**FASE INICIAL** 



#### FASE EXPERIMENTAL



## **RESULTADOS**



CONDICION NATURAL

150°C

350°C°

550 °C









50

1971-2021

Sociedad Colombiana de Geotecnia





FASE EXPERIMENTAL Cartagena Resistencia a la Compresión Inconfinada



Temperatura (ºc) - Tiempo (Horas)



**XVII CCG** 



Microscopio Electrónico de Barrido









MEB

Variación de Hierro (Fe)00





2,2

2

1.8

1,6

70

Temperatura (°C) - Tiempo (horas

% En peso

% En peso

Fluorescencia





12

Temperatura (°C) - Tiempo (hor







En este ensayo debido a las digestiones realizadas la unidad de medida no es el % del total del peso sino mg/litro.



10 µm

EHT = 20.00 kV

WD = 10.5 mm

Signal A = SE1

Mag = 2.00 K X



ZEISS

Incitema

Intitute para la interfacción e inscentión en Carela y Taracigia de Manadal-



Uptc

ided Perhapision y

10 µm





EHT = 20.00 kV Signal A = SE1 WD = 12.5 mm Mag = 2.00 K X ZEISS

Incitema





1250 \*C







#### Secciones delgadas



Composición Mineralogica 100 Contenido (%) 80 60 40 20 0 Natural 650°C (4h) 850°C (4h) 1050°C (8h) 1250°C (8h) Temperatura (tiempo) ■ Arcilla ferruginosa (%) ■ Cuarzo (%) (SiO2) Opacos (%) FE2O3-FeOOH Arcilla (%)

**RESULTADOS** 

Condición	Arcilla (%)	Arcilla ferruginosa (%)	Cuarzo (%) (SiO₂)	Opacos (%) FE <sub>2</sub> O <sub>3</sub> - FeOOH
Natural	87,6	7,6	2,5	2,3
650°C (4h)	64,9	13,2	14,2	7,7
850°C (4h)	85,5	9,1	3,6	1,8
1050°C (8h)	54,2	36,7	4	5,1
1250°C (8h)	86,5	6,2	5,3	2,0





## **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

Las Microfábricas observadas dentro del análisis con el microscopio de barrido electrónico MEB dejan concluir que las muestras sufren un proceso de reducción en su relación de vacíos, se evidencia que inicialmente se presentan Láminas con presencia de poros dentro de la condición inicial sin embargo a medida que se genera el aumento de la temperatura la muestra se hace más densa presentando una Microfábrica nodular y turbostratica lo que hace que la muestra presente menos relaciones de vacíos y mayor resistencia al cortante; otra evidencia del mejoramiento con calentamiento que se le puede proporcionar a un suelo.

El comportamiento de falla observado en el ensayo de compresión inconfinada de las muestras analizadas refleja un comportamiento frágil del material, generándose grietas y diferentes formas de falla del suelo respecto a su condición natural.





# 

De acuerdo al ensayo de límites de Atterberg se establece que el comportamiento del suelo analizado tiende a mejorar con el aumento de la temperatura comportándose de manera lineal, sin embargo se nota que el suelo con tratamiento térmico a 150 grados centígrados presenta un comportamiento diferente pasando de baja a alta plasticidad, donde el suelo podría generar una mayor resistencia al cortante y por ende una mayor cohesión entre partículas, el comportamiento registrado para esta temperatura se encuentra como anómalo dentro de la investigación, por eso dentro de las regresiones estadísticas no fue tenido en cuenta.

La mayor correlación evidenciada dentro de los ensayos químicos corresponde a la establecida en el elemento de Aluminio (AI) dentro de la absorción atómica y la fluorescencia ya que se evidencia en las mismas temperaturas disminuciones o aumento en la concentración de este.





# **¡GRACIAS!**

¿Preguntas? Lesly.lopez@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



### EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES DINÁMICAS DE ARENAS SUELTAS A BAJOS CONFINAMIENTOS UTILIZANDO EL ANÁLISIS MECÁNICO DINÁMICO (DMA)

Presentador: Bernardo Caicedo Profesor Departamento de Ingeniería Civil y ambiental. Universidad de Los Andes, Bogotá, Colombia.

971-202











María Juliana Chaparro Juan

Juan Pablo Castillo

Miguel Cabrera

Bernardo Caicedo (Presentador)

Pierre Delage

Agradecimientos:



Departamento de Ingeniería Civil y ambiental. Universidad de Los Andes, Bogotá, Colombia.





José Naranjo

#### **MARS INSIGHT 2018 - 2022**



Instrument Deployment Arm

Grapple \_\_\_\_\_\_ RISE Antenna \_\_\_\_

Instrument Context Camera -

SEIS Instrument (covered with Wind & Thermal Shield) Temperature/Wind Sensors Pressure Inlet UHF Antenna

RISE Antenna

HP<sup>3</sup> Instrument

**Heat Flow Probe** 







#### Mars InSight 2018 - 2022



Golombek ,2020





## ANÁLOGO REGOLITO MARCIANO MARS INSIGHT - ARENA DE FOINTANEBLEAU



Golombek ,2020





## CARACTERÍSTICAS ESPERADAS DEL REGOLITO MARCIANO.

#### Golombek 2020: (160–230 [ $Jm^{-2}K^{-1} s^{-1/2}$ ])

Table 1 Characteristics of some Martian surface materials (Golombek et al. 2008, Chap. 20)

Surface material	Bulk density (Mg/m <sup>3</sup> )	Grain size (mm)	Cohesion (kPa)	Friction angle (°)	Thermal inertia $(Jm^{-2}K^{-1}s^{-1/2})$
Drift	1–1.3	0.001-0.01	0_3	15-21	40–125
Sand	1.1-1.3	0.06-0.2	0–1	30	60-200
Crusty to cloddy sand	1.1-1.6	0.005-0.5	0-4	30-40	200-326
Blocky, indurated soil	1.2–2	0.05-3	3-11	25-33	368-410
Dense float rock, volcanic	2.6-2.8	2-2000	1000-10000	4060	> 1200–2500
Clastic rock, Columbia Hills	2				620-1100
Sulfate rock, Meridiani	< 2				> 400-1100

Data derived from Moore et al. (1987, 1999), Moore and Jakosky (1989), Christensen and Moore (1992), Arvidson et al. (2004a, 2004b), Christensen et al. (2004a, 2004b), Herkenhoff et al. (2004a, 2004b), Fergason et al. (2006a) and Chap. 20 from Bell.





### INVESTIGACIONES EN CURSO: INTERACCIÓN ENTRE EL SISMÓMETRO SEIS DE LA MISIÓN INSIGHT Y UN ANÁLOGO DE REGOLITO MARCIANO



Fuente imagen: https://mars.nasa.gov/insight/







#### INSTRUMENTOS ACTUALES PARA MEDIR EFECTOS SOBRE EL SUELO DE CARGAS CÍCLICAS Y DINÁMICAS.





Universidad de

Andes

Piezoelectric bender element



# **RÉOMETRO PARA CARGAS CÍCLICAS EN ARENAS**

El reómetro de corte dinámico permite el Análisis Mecánico Dinámico (DMA por sus siglas en inglés). El DMA evalúa un rango más amplio de deformación  $\gamma = [6 \times 10^{-6}: 1 \times 10^{-2}]$ .



# **RÉOMETRO PARA CARGAS CÍCLICAS EN ARENAS**

La muestra se prepara por medio del método de pluviación alcanzando densidades relativas de  $D_r = 0.2$ 







### **RÉOMETRO PARA CARGAS CÍCLICAS EN ARENAS**

La presión de confinamiento se aplica por medio de una bomba de vacío. Para obtener medidas más exactas se comprueba la presión de confinamiento con el método de columna de agua.



- 1. Muestra en el pedestal del reómetro
- 2. Succión a través del orificio del cap inferior
- 3. Columna de agua
- 4. Trampa de agua y arena
- 5. Bomba de vacío
- 6. Sistema de vacío del edificio





#### **RESULTADOS**

#### Degradación del módulo para 3kPa y 30kPa

Zona elástica

Los resultados muestran el efecto del confinamiento en las propiedades dinámicas del suelo. Se observa que, a medida que incrementa la presión de confinamiento  $\sigma_3$ , el módulo de rigidez *G* se incrementa







#### **RESULTADOS**

Amortiguamiento para 3kPa y 30kPa

En cuanto al amortiguamiento  $\xi$ , este se incrementa a medida que aumenta el nivel de deformación, y tiende a disminuir con la presión de confinamiento  $\sigma_3$ .







#### **CONCLUSIONES**

El ensayo DMA en arenas a densidades bajas y bajos confinamientos pueden replicar las condiciones que se presentan en Marte. Este puede ser un punto de partida para entender el comportamiento mecánico del subsuelo del planeta rojo.



https://mars.nasa.gov/resources/26911/paraitepuy-pass-from-a-distance/?site=msl





# 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



#### MODELO PARA CALCULO DE CONSOLIDACIÓN SECUNDARIA PARA LOS SUELOS LACUSTRES DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ

#### Cristhian C. Mendoza, Bernardo Caicedo Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales, Universidad de los Andes














**CONSOLIDACIÓN SECUNDARIA** 









CONSOLIDACIÓN SECUNDARIA

LYRA3 TESCAN



## 🔗 Tabla de contenido

- 1. Introducción
- 2. Estructura del suelos
- 3. Caracterización de suelos lacustre
- 4. Ensayos de compresión
- 5. Pendiente  $C\alpha$
- 6. Modelo de compresión

#### 7. Conclusiones





### Formación del suelo lacustre de Bogotá







#### Estructura del suelos lacustre



















Ensayos de compresión (compresión secundaria)



$$C_{\alpha} = rac{\Delta e}{log\left(rac{t}{t_p}
ight)}$$



CONSOLIDACIÓN SECUNDARIA 10





CONSOLIDACIÓN SECUNDARIA 11



## $\square$ $C_{\alpha_{max}}$ y el efecto de la consolidación secundaria

Effects of secondary consolidation	
Very low	<0.002
Low	0.002 - 0.004
Medium	0.004 - 0.008
High	0.008 - 0.016
Very high	0.016 - 0.032
Extremely high	> 0.064

Mesri (1973)







#### Modelo de compresión secundaria propuesto

$$s_s = \frac{C_C}{1 + e_0} \frac{C_\alpha}{C_C} L_0 \log \frac{t}{t_p}$$

Suelos con límites líquidos menores a 90:

$$s_s = \frac{C_C}{1+e_0} 0.042L_0 \log \frac{t}{t_p}$$

Suelos con límites líquidos mayores a 90:

$$s_s = \frac{C_C}{1 + e_0} 0.075 L_0 \log \frac{t}{t_p}$$

Modelos para cálculos rápidos

$$s_s = \frac{C_C}{1 + 0.033 w_L^{0.9053}} 0.075 L_0 \log \frac{t}{t_p}$$







Un problema académico propuesto asociado al cálculo de asentamientos deriva de la ecuación, calcular el asentamiento que se produciría a los 25, 50 y 100 años debido a la colocación de un terraplén de 2 m de altura con un peso unitario de 20 kN/m3 en una capa de arcilla consolidada normalmente saturada de 4 m de espesor sobre roca. El ensayo de consolidación sobre una muestra de 2,5 cm de espesor, tomada de la mitad de la capa, arrojó un límite líquido del 200% y un tiempo de consolidación inicial de 50 min. Se obtuvo la pendiente CC con un valor de 1.99. En consecuencia, al igualar los factores de tiempo de laboratorio y de campo, se obtuvo un primer tiempo de consolidación en campo de 9,74 años, dando lugar a asentamientos a los 25, 50 y 100 años de 4,9 cm, 8,5 cm y 12,11 cm respectivamente.

Cristhian Mendoza, Bernardo Caicedo, Jhonathan Duque, **Technical report on the compression**, structure, and creep behaviors of lacustrine soil deposits in Bogotá, Colombia, Soils and Foundations, Volume 62, Issue 5, 2022, 101215.



## Conclusiones



Según la clasificación de Mesri (1973), los coeficientes de consolidación secundarios  $C_{(\alpha max)}$  encontrados en esta investigación son muy altos. En consecuencia, el análisis del asentamiento por consolidación secundaria es un aspecto esencial de la etapa de diseño de estructuras geotécnicas sobre suelos lacustres que contienen diatomeas. Este análisis es fundamental en algunos suelos de Bogotá. El presente estudio muestra un valor aproximado en función del límite líquido.

Las relaciones entre los valores iniciales de consolidación secundaria y el índice de compresibilidad se presentan con valores fáciles de obtener, como el límite líquido y la relación de vacío inicial. Estas relaciones pueden ayudar a eliminar algunas de las pruebas de laboratorio que consumen mucho tiempo y que de otro modo se requieren en la fase preliminar de los proyectos geotécnicos. Además, se obtuvo una nueva ecuación con potencial práctico para calcular el asentamiento secundario aproximado, adaptada de Mesri y Vadhanabhu (2005). Esta ecuación se puede utilizar con el límite líquido, un valor fácilmente obtenido en cualquier estudio geotécnico.





# **GRACIAS!**

¿Preguntas? cmendozab@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



#### PROGRAMA DE ENSAYOS TIPO ROUND ROBIN PARA LA CARACTERIZACIÓN FÍSICA DE LA ARENA DEL GUAMO

#### J.C. Ruge Universidad Militar Nueva Granada







- 1. Motivación / Introducción
- 2. Contexto
- 3. Materiales y Métodos
- 4. Resultados
- 5. Conclusiones





## MOTIVACIÓN / INTRODUCCIÓN



# I 2 UNIVERSIDADES I 4 GRUPOS DE INVESTIGACIÓN 29 INVESTIGADORES





#### **MOTIVACIÓN / INTRODUCCIÓN** J.C. Ruge<sup>1\*</sup>, F.A. Molina-Gómez<sup>1</sup>, M.C. Olarte<sup>1</sup>, J.F. Camacho-Tauta<sup>1</sup>, O.J. Reyes-Ortiz<sup>1</sup>; J.M. Larrahondo<sup>2</sup>, H. Vacca<sup>2</sup>; L.F. Prada<sup>3</sup>, A.M. Ramos<sup>3</sup>; Y. Alvarado<sup>4</sup>, F. Reyes<sup>4</sup>; M.A. Cabrera<sup>5</sup>, B. Caicedo<sup>5</sup>, J. Naranjo<sup>5</sup>; I.F. Otálvaro<sup>6</sup>, A.M. Gómez<sup>6</sup>, M. Galvis<sup>6</sup>; J.S. Carmona<sup>7</sup>, C.A. Garcia<sup>7</sup>; A.E. Alvarez<sup>8</sup>; E.J. Diaz<sup>9</sup>, J.E. Colmenares<sup>10</sup>, C. Reina<sup>10</sup>, C.C. Mendoza<sup>11</sup>, D. Gil<sup>11</sup>, L. Espinosa<sup>12</sup>, E. Martínez<sup>13</sup>, J.G. Bastidas<sup>13</sup>, J.P. Rojas<sup>14</sup> <sup>1</sup> Grupo de Investigación en Geotecnia, Facultad de Ingeniería, Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá D.C., Colombia <sup>2</sup> Centro de Estudios en Carreteras, Transporte y Afines (CECATA), Facultad de Ingeniería, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá D.C., Colombia <sup>3</sup> Grupo de Investigación en Riesgo en Sistemas Naturales y Antrópicos, Facultad de Ingeniería, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá D.C., Colombia <sup>4</sup> Grupo de Investigación en Estructuras y Construcción, Facultad de Ingeniería, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá D.C., Colombia <sup>5</sup> Grupo de Investigación en Geomateriales y Sistemas de Infraestructura (GeoSi), Facultad de Ingeniería, Universidad de Los Andes. Bogotá D.C., Colombia <sup>6</sup> Grupo de Investigación Sigma, Facultad de Ingeniería y Ciencias, Pontificia Universidad Javeriana, Cali, Colombia <sup>7</sup> Grupo de Investigación en Ingeniería Civil Universidad Distrital (GIICUD), Facultad de Tecnología, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá D.C., Colombia <sup>8</sup> Grupo de Investigación en Materiales de Construcción y Estructuras (INME), Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia <sup>9</sup> Grupo Integrado de Investigación en Ingeniería Civil (GIIC), Facultad de Ingeniería, Universidad del Magdalena, Santa Marta, Colombia <sup>10</sup> Grupo de Investigación Genki, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia <sup>11</sup> Grupo de Investigación de Trabajo Académico en Ingeniería Hidráulica y Ambiental, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Nacional de Colombia, Manizales, Colombia <sup>12</sup> Grupo de Investigación en Infraestructura & Desarrollo Sostenible (IDS), Facultad de Ingeniería, Universidad Católica de Colombia, Bogotá D.C., Colombia <sup>13</sup> Grupo de Investigación en Hábitat, Diseño e Infraestructura (HD+*i*), Facultad de Ingeniería, Universidad Piloto de Colombia, Bogotá D.C., Colombia <sup>14</sup> Grupo de Investigación en Infraestructura Vial (GIVIAL), Facultad de Ingeniería, Universidad Francisco de Paula Santander, Cúcuta, Colombia PROGRAMA DE ENSAYOS TIPO ROUND ROBIN PARA LA CARACTERIZACIÓN FÍSICA DE LA ARENA DEL GUAMO

ociedad

otecnia



## MOTIVACIÓN / INTRODUCCIÓN

- Suelo transportado aluvial usado en investigación e ingeniería;
- Ensayos cooperativos: siete replicas de diferentes parámetros;
- Distribución de tamaño de partículas, gravedad específica (Gs), relación de vacíos máxima (e<sub>max</sub>), relación de vacíos mínima (e<sub>min</sub>) y forma de partículas (esfericidad, S, y redondez, R).







Laboratorio/Universidad	Ciudad	DTP	Esfericidad y redondez	Gs	e <sub>max</sub> ; e <sub>min</sub>
Universidad Militar Nueva Granada (UMNG)	Bogotá	123-13ª	Cho et al. (2006)	128-13a	136-13a
Pontificia Universidad Javeriana (PUJ-B)	Bogotá	123-13ª	Zheng & Hryeiw (2015)	128-13a	36- 3a
Universidad de los Andes (UniAndes)	Bogotá	78-95℃	Zheng & Hryeiw (2015)	128-13a	92-95c
Pontifica Universidad Javeriana (PUJ-C)	Cali	D6913 <sup>b</sup>	-	D854-14b	1 <b>36-12</b> a
Universidad Distrital Francisco José de Caldas (UDFJC)	Bogotá	123-07ª	Cho et al. (2006)	128-07a	136-07a
Universidad Industrial de Santander & Universidad del Magdalena	Bucaramanga / Santa Marta	123-13ª	-	128-13a	-
Universidad Nacional de Colombia (Unal- B)	Bogotá	123-13ª	-	128-13a	136-13a
Universidad Católica de Colombia (UCC)	Bogotá	123-13ª	-	128-13a	1 <b>36-13</b> a
Universidad Piloto de Colombia (UPC)	Bogotá	123-13ª	-	128-13a	136-13a
Universidad Nacional de Colombia (Unal- Mz)	Manizales	123-13ª	Gye-Chun et al. (2006)	128-13a	36- 3a
Universidad Francisco de Paula Santander (UFPS)	Cúcuta	123-13ª	-	128-13a	136-13a







Referencia	Сс	Cu	D <sub>50</sub> (mm)	Gs	e <sub>max</sub>	e <sub>min</sub>
Arias (2006)	-	2,04	0,51	-	١,00	0,52
Patiño (2006)	-	0,65	0,56	2,63	0,83	0,50
Ruge & Rondón (2008)	0,93	1,34	0,23	2,70	0,90	0,58
Gómez (2010)	-	-	0,43	2,66	١,00	0,52
Jiménez (2011)	1,21	2,73	0,54	2,62	0,92	0.55
Camacho-Tauta et al. (2014)	1,35	١,67	0,75	2,70	0,95	0,77
Bermúdez & Ruiz (2015)	1,05	2,44	0,55	2,70	١,00	0,59
Tique (2016)	0,63	3,05	0,54	2,64	0,97	0,60
Dulcey-Leal et al. (2018)	0,69	١,76	0,39	2,70	0,90	0,63
Molina-Gómez et al. (2019)	1,29	1,23	0,70	2,70	0,93	0,57





XVII CCG I SSAG 2022

Cartagena



Deferencia	Partícula						
Keterencia	1	2	3	4	5	Forma y criterio	
Solaque (2008)	0,55	0,77	0,52	0,74	0,53	Redondeado (Santamarina, 2001)	
Bermúdez & Ruiz (2015)	0,32	0,24	0,26	-	-	Discoidal (Zingg, 1935)	
Carmona (2020)	0,60	0,30	0,20	0,30	0,40	Sub-redondeado (Cho et al, 2006)	





DTP reportados por los participantes del RRT





DTP reportados por los participantes del RRT







DTP reportados por los participantes del RRT



XVII CCG I SSAG 2022

Cartagena



Box plot de coeficientes de curvatura





Box plot de coeficientes de uniformidad





Box plot de Gs





Box plot de e<sub>max</sub>





Box plot de e<sub>min</sub>



Cartagena





En este trabajo se presentaros los resultados preliminares de un ejercicio tipo Round Robin para caracterizar las propiedades físicas de la Arena del Guamo (suelo granular referente en trabajos de investigación en Colombia).

A partir de los ensayos ejecutados por los participantes se obtuvieron las siguientes conclusiones:





- Durante el análisis de datos se identificaron diferencias significativas entre los resultados presentados por los participantes del ejercicio Round Robin. No obstante, la mayoría de parámetros se encajaron dentro de los rangos típicos de arenas limpias silíceas reportados en la literatura.
- Los resultados con menor variabilidad fueron los de gravedad específica. Por otro lado, la mayor se observó en la caracterización de la relación de vacíos mínima y relación de vacíos máxima. Dichas diferencias se atribuyeron a factores relacionados a la aplicación de diferentes métodos de ensayo (o normas) y, posiblemente, a errores de operación.





# **¡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



FORMACIÓN DE GRANDES FISURAS ATRIBUIBLES AL ASENTAMIENTO DE SUELOS FINOS ANTE LA PRESENCIA DE UN MONTÍCULO EN LA ROCA BASAL EN EXPERIMENTACIÓN CON MAQUINA CENTRIFUGA

> YENY KATHERINE JIMÉNEZ BELTRÁN, CATALINA LOZADA LÓPEZ Estudiante de maestría, Directora del trabajo de tesis Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito (Universidad)

> > 1971-202<sup>-</sup>




# **CONTENIDO:**

- 1. Introducción.
- 2. Antecedentes.
- 3. Marco teórico.
- 4. Objetivo.
- 5. Metodología.
- 6. Resultados.
- 7. Análisis de resultados.
- 8. Conclusiones.



### Introducción:



En la literatura se han registrado diferentes mecanismos de propagación de grietas:

- Cambios de humedad (Cuevas Alba, V., & Torres Martínez, J. 2020).
- Cambios de temperatura (Andrango Carrillo, O. 2020).
- Explotación de pozos subterráneos

(Romero Cueva, J. W. 2019). Vientos

(Castiblanco Ramírez, P. M. 2015).

Existen diferentes factores geológicos que determina la formación de grietas (*Barragán & Rodríguez, 2021*).



FORMACIÓN DE GRANDES FISURAS ATRIBUIBLES AL ASENTAMIENTO DE SUELOS FINOS ANTE LA PRESENCIA DE UN MONTÍCULO EN LA ROCA BASAL. XVII CCG

Cartagena



### **Antecedentes:**



Fisura de aproximadamente un año de antigüedad en el <u>centro-sur de Arizona</u> (Holzer, 1984).



Fisura ubicada en Villas de San Martín, una colonia en el municipio de Chalco, al oriente de la <u>ciudad de México.</u> (Michelle et al., 2011).



Fisura en el <u>centro-sur de Arizona</u> (Holzer, 1984).



*Fisuras en el sector noroccidental de la <u>ciudad de Bogotá</u> (Vesga et al., 2003).* 





# Marco teórico:

Mecanismo de formación de fisuras debido a la reducción de volumen del suelo:



Asentamiento del suelo debido a un montículo en el fondo de un estrato arcilloso.

De acuerdo con la teoría de la consolidación se tiene que:

$$\nabla H = H_0 \left( \frac{\nabla e}{1 + e_o} \right) \tag{1}$$

Donde:

 $\nabla H$  = Asentamiento debido a la consolidación.

 $H_0$  = Espesor de la capa de arcilla que se consolida.

 $\nabla e$  = Cambio en la relación de vacíos debido a la carga impuesta.

 $e_o$  = Relación de vacíos antes de la consolidación.





# Marco teórico:



Esfuerzos de tensión hacia ambos lados de la cúspide.



Formación de grande fisura vertical.



FORMACIÓN DE GRANDES FISURAS ATRIBUIBLES AL ASENTAMIENTO DE SUELOS FINOS ANTE LA PRESENCIA DE UN MONTÍCULO EN LA ROCA BASAL.

### Marco teórico - Centrífuga geotécnica:



Centrífuga de la ECI. Fuente propia.

### LA MODELACIÓN EN CENTRÍFUGA GEOTECNICA

Es una técnica que consiste en construir un modelo a escala reducida de un prototipo real e introducirlo en una máquina centrífuga, con el objetivo de mantener la similitud del estado de esfuerzos entre el modelo y el prototipo. **Tabla 1.** Relación de las variables en el prototipo y en elmodelo. Tomado de: (Azizi, 1999)

VARIABLE	MODELO	PROTOTIPO
Longitud	L <sub>m</sub>	$L_m * N$
Peso unitario	Υm	$\gamma_m * N$
Velocidad	v <sub>m</sub>	$v_m/N$
Tiempo	$t_m$	$t_m * N^2$



FORMACIÓN DE GRANDES FISURAS ATRIBUIBLES AL ASENTAMIENTO DE SUELOS FINOS ANTE LA PRESENCIA DE UN MONTÍCULO EN LA ROCA BASAL.





Estudiar el efecto de la variación en la altura de un montículo de la roca basal en la formación de fisuras en suelo arcilloso.





FORMACIÓN DE GRANDES FISURAS ATRIBUIBLES AL ASENTAMIENTO DE SUELOS FINOS ANTE LA PRESENCIA DE UN MONTÍCULO EN LA ROCA BASAL.

XVII CCG

Cartagena





#### Características de los modelos físicos



Dimensiones del modelo. Fuente propia.

Tabla 2. Dimensiones del modelo.

MODELO	ALTURA DEL MONTÍCULO h3 (MODELO) (Cm)	ALTURA DEL MONTÍCULO h3 (PROTOTIPO) (m)
M1	2,5	1,25
M2	3	1,5
M3	4	2

Altura del suelo h1 (cm) (modelo) = 5.5cm

Altura del suelo h1 (m) (prototipo) = 2.75m

N =50





Límites de Atterberg	limites líquido	71%
	limites plástico	48.36%
	Índice de plasticidad	22.64%
Gravedad especifica		2.80
Peso unitario		14.62 ( <i>kN/m</i> 3)
Resistencia al corte del suelo		$0.7 \ kg/cm^2$







Caracterización del suelo.



Consolidación edometría



Análisis de imágenes.











FORMACIÓN DE GRANDES FISURAS ATRIBUIBLES AL ASENTAMIENTO DE SUELOS FINOS ANTE LA PRESENCIA DE UN MONTÍCULO EN LA ROCA BASAL.



# Metodología:

Caracterización del suelo.









Análisis de imágenes.









## Metodología:

Caracterización



edometría









 $t_{final} = t_{Propagación total de la fisura en el ancho de la caja.$ 



50

FORMACIÓN DE GRANDES FISURAS ATRIBUIBLES AL ASENTAMIENTO DE SUELOS FINOS ANTE LA PRESENCIA DE UN MONTÍCULO EN LA ROCA BASAL.



### Programa software GeoPIV











 $t_{Modelo} = 0$  min.

 $t_{Prototipo} = 0$  días.

15



 $t_{Modelo}$  = 8 min.

 $t_{Prototipo} = 14$  días.







$$t_{Modelo} = 24 \text{ min.}$$
$$t_{Prototipo} = 42 \text{ días.}$$



 $t_{Prototipo} =$ 



$$t_{Modelo} = 28$$
 min.  
 $t_{Prototipo} = 49$  días.





$$t_{Modelo} = 34$$
 min.  
 $t_{Prototipo} = 59$  días.















 $t_{Modelo}$  = 48 min.

 $t_{Prototipo}$  = 83 días.

















### **Resultados:**

Propagación final de la fisura en superficie.



Modelo M1



Modelo M2





FORMACIÓN DE GRANDES FISURAS ATRIBUIBLES AL ASENTAMIENTO DE SUELOS FINOS ANTE LA PRESENCIA DE UN MONTÍCULO EN LA ROCA BASAL.

XVII CCG I SSAG 2022

Cartagena



### **Resultados:**

Comparación de los modelos antes y después del ensayo en la centrifuga geotécnica.



Modelo M1



Modelo M2



Modelo M3



FORMACIÓN DE GRANDES FISURAS ATRIBUIBLES AL ASENTAMIENTO DE SUELOS FINOS ANTE LA PRESENCIA DE UN MONTÍCULO EN LA ROCA BASAL.



17 cm



#### Resultado tiempo contra asentamiento





15 cm

1 cm

10 cm

27



### Análisis de Resultados:

Resultado de la altura del montículo contra tiempo de propagación de fisuras (LVDT):







### Análisis de Resultados:

Resultado de la altura del montículo contra distancia de abertura de la fisuras (LVDT):

0.02 Distancia de abertura en la fisura (m) 10.0 Modelo - M3 A mayor altura del Modelo - Mi Modelo - M1 apertura de la fisura 0 2 1.25 1.75 Altura del montículo en el prototipo (m)

Resultado de la altura del montículo contra asentamiento del suelo (LVDT):

A mayor altura del montículo el asentamiento del suelo disminuye.

montículo la

distancia de

aumenta.





FORMACIÓN DE GRANDES FISURAS ATRIBUIBLES AL ASENTAMIENTO DE SUELOS FINOS ANTE LA PRESENCIA DE UN 29 MONTÍCULO EN LA ROCA BASAL.



### Análisis de Resultados:

Análisis de imágenes en el programa GeoPIV-RG – M2

#### Vectores de desplazamiento

#### **Desplazamiento vertical**



#### **Desplazamiento Horizontal**







**Conclusiones**:

- El asentamiento vertical del terreno aumentaba debido al aumento del espesor de la capa de suelo que se consolida, por tanto entre mayor altura del montículo menor tiempo de propagación de la fisura.
- □ A mayor altura del montículo la distancia de apertura de la fisura aumenta.
- □ La altura del montículo en una roca basal, causan cambios en las tensiones dentro del terreno originando la propagación de fisuras en suelos finos.
- □ La inclinación de la grieta depende tanto de la magnitud y dirección de los esfuerzos a los que esté sometido el macizo de suelo.
- Este tipo de grietas provocan una multiplicidad de daños, entre los que se cuentan: Los desniveles, las inclinaciones y daños en la estructura y acabados de inmuebles.





Bibliografía:

Andrango Carrillo, O. J. (2020). Mitigación de riesgos asociados al deterioro físico del suelo debido a acciones ambientales mediante el uso de geosintéticos (Master's thesis, Universitat Politècnica de Catalunya).

Castiblanco Ramírez, P. M. (2015). Modelación física a escala reducida del fenómeno de desecación de arcillas-(ensamblaje cámara climática pequeña y ensayos a una gravedad).

Cuevas Alba, V., & Torres Martinez, J. S. (2020). Efecto del tamaño de la muestra en la formación de fisuras en arcilla.

Rodríguez, J. M., & Soiltec, S. D. C. Génesis y Mitigación del Agrietamiento del Subsuelo en el Suroriente del Valle de México.

Romero Cueva, J. W. (2019). Estudio geoeléctrico y planteamiento de explotación de aguas subterráneas en el fundo La Victoria-UNC, 2019.





# **GRACIAS!**

### ¿Preguntas? yeny.jimenez@mail.escuelaing.edu.co catalina.lozada@escuelaing.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



INTERPRETACIÓN DE ENSAYO DE CORTE DIRECTO CONSOLIDADO DRENADO

Jorge A. Rodriguez, PhD Gerente Jeoprobe SAS Jorge.rodriguez@jeoprobe.com





Products & Services Get Involved About News

Home / Products & Services / Standards & Publications / Standards Products

Work Item

#### ASTM WK72756 (i)

Reinstatement of D3080/D3080M-11 Standard Test Method for Direct Shear Test of Soils Under Consolidated Drained Conditions (Withdrawn 2020)

#### Rationale

This revision is to mean to bring the standard up-to date after it was withdrawn in 2020. Comments and negatives received from the previous ballots in 2019 have been addressed in this revision



#### 50 años

ASTM Standard D3080 - Problemas con el ensayo de corte directo que motivaron el retiro del estándar:

- No hay control de drenaje
- No hay medición de presiones de porros
- Esfuerzos principales desconocidos; múltiples interpretaciones posibles
- Errores de medición significativos
- Saturación parcial y bajos esfuerzos: la succión controla los resultados

Adicionalmente (motivo de esta charla)

Se asumen condiciones drenadas cuando muchas veces no lo son

Sin embargo, como mucho en geotecnia (y en otras áreas), a falta de algo mejor, es necesario trabajar con información incompleta e imprecisa lo cual genera incertidumbre y falta de confiabilidad. A pesar de eso es información con la que se ha trabajado y se sigue trabajando.

Propuesta de mejora

- Incorporar principios de mecánica de suelos en el entendimiento y la interpretación de la prueba
- Validar con otros ensayos, pruebas de campo y comportamiento observado



Se usaron dos valores de velocidad para la realización del ensayo de 0.008 y 0.98 mm/min; es decir una relación de 122 veces con base en el rango de velocidades que tienen los equipos de corte directo. En algunos suelos este rango permite tener ensayos en condición drenada y no drenada; aunque en suelos finos de baja permeabilidad, usualmente los resultados que se obtienen son en condición no drenada en el rango de velocidad posible con el equipo.



Los valores de permeabilidad del material saturado se encuentran entre  $1.3 \times 10^{-8}$  y  $3.6 \times 10^{-9}$  m/s ( $1.3 \times 10^{-6}$  m y  $3.6 \times 10^{-7}$  cm/s). Corresponde a un material de baja permeabilidad, consecuente con el predominio del material fino, del orden del 50%.




Inicialmente :

 $s_u/\sigma_{vo}'$  = constante para suelos NC (aprox.0.2)

En compresión primaria :

 $\sigma_{vo}' = \sigma_e'$ 

Entonces:

 $S_u/\sigma_e'$  = constante para todo suelo (NC & SC)

Para corte simple :

 $s_u/\sigma_e' = \frac{1}{2} \sin \phi'$ 

Esfuerzo equivalente:

JEOPROBE Corte Directo 5

 $\sigma_e' = \sigma_{vo}' RSC^{[1-Cs/Cc]}$ 



#### **JEOPROBE Corte Directo 6**

#### Colombian de Geotecnia

1971-2021





### **JEOPROBE Corte Directo 7**

#### Conclusiones

El ensayo de corte directo tiene limitaciones significativas en suelos finos Es necesario incluir información adicional para tener una interpretación razonable, Esta incluye:

- Verificar la saturación, y posible succión para tenerla en cuenta
- Verificar si los ensayos son en condición drenada o no drenada
- Es necesario conocer la permeabilidad; También estimar la relación de sobreconsolidación. Esto se puede hacer mediante ensayos de consolidación.
- El ángulo de fricción interna se puede estimar a partir correlación con el índice de plasticidad, u otros ensayos.

Las ecuaciones de mecánica de suelos se pueden utilizar para verificar la consistencia de los parámetros en la interpretación: ángulo de fricción, sobreconsolidación



**JEOPROBE Corte Directo 8** 



# **GRACIAS!**

## **Preguntas?** Jorge.rodriguez@jeoprobe.com



**JEOPROBE Corte Directo 9**