

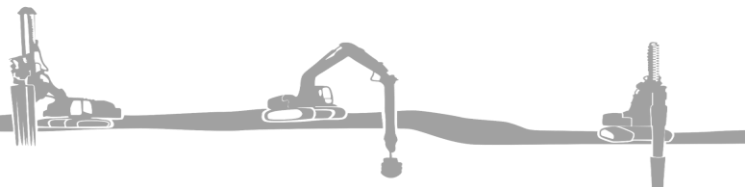


Desempeño del Terraplén de Briceño, apoyado en pilas de agregado compactado luego del terremoto de Ecuador en Pedernales, (Muisne) 2016

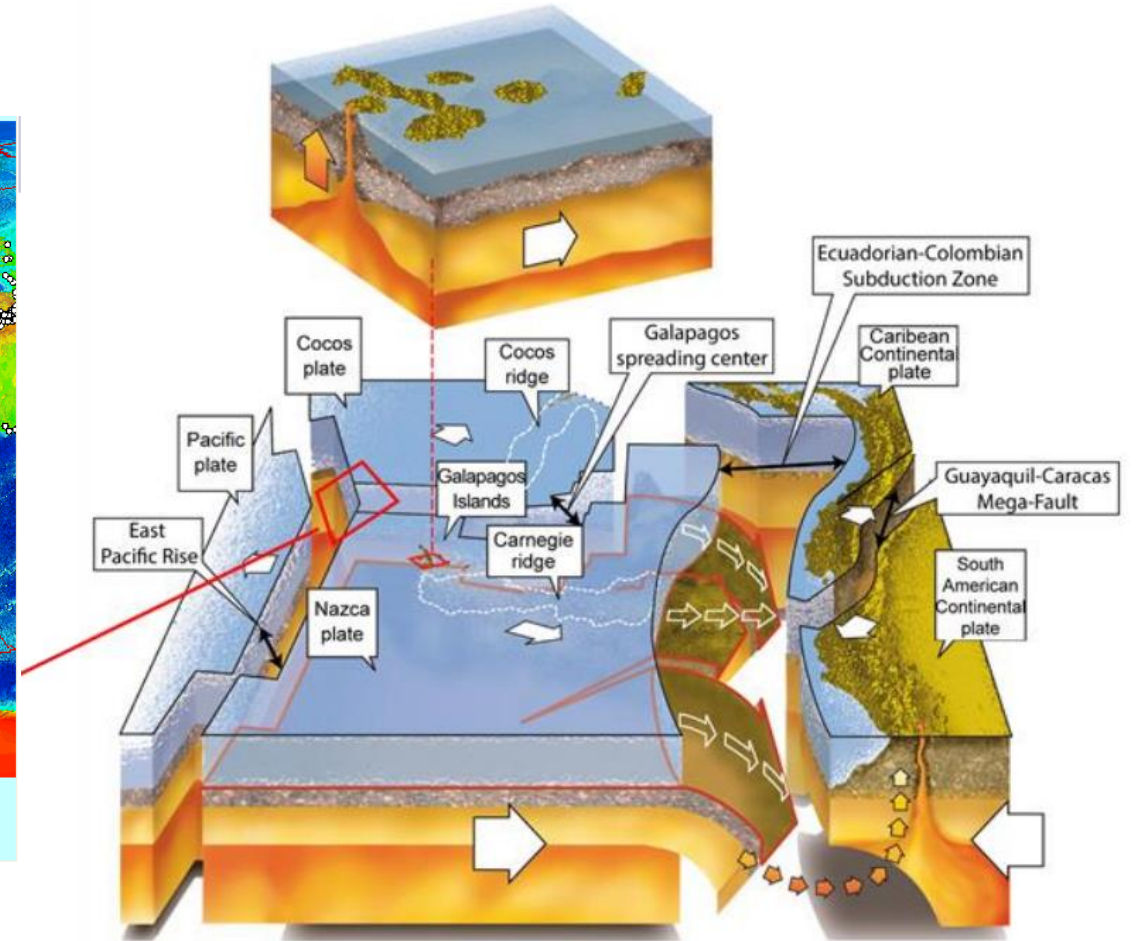
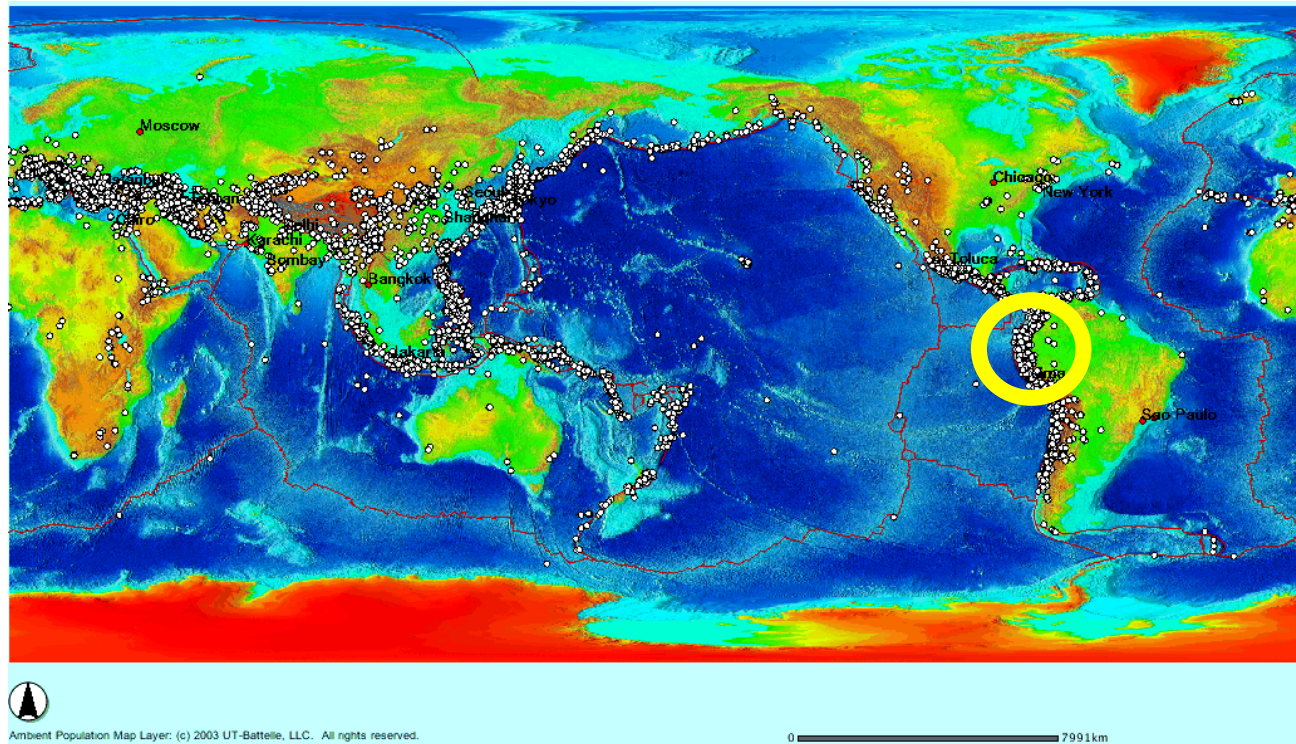
Andrés Melo – Ingeniero encargado Suramérica GFC
Carlos Regalado – Gerente General, CENTRA IC

AGENDA

1. **Sismicidad Ecuador – Terremoto Pedernales, 2016**
2. **Licuación de Suelos – Terremoto Pedernales, 2016**
3. **Mitigación de Licuación de Suelos – Terremoto Pedernales, 2016**
4. **Conclusiones**
5. **Apéndice:**
 - A. **Licuación de Suelos**
 - B. **Daños Inducidos por Licuación**
 - C. **Métodología Geopier para mitigación de Licuación**



Ambiente Tectónico del Ecuador



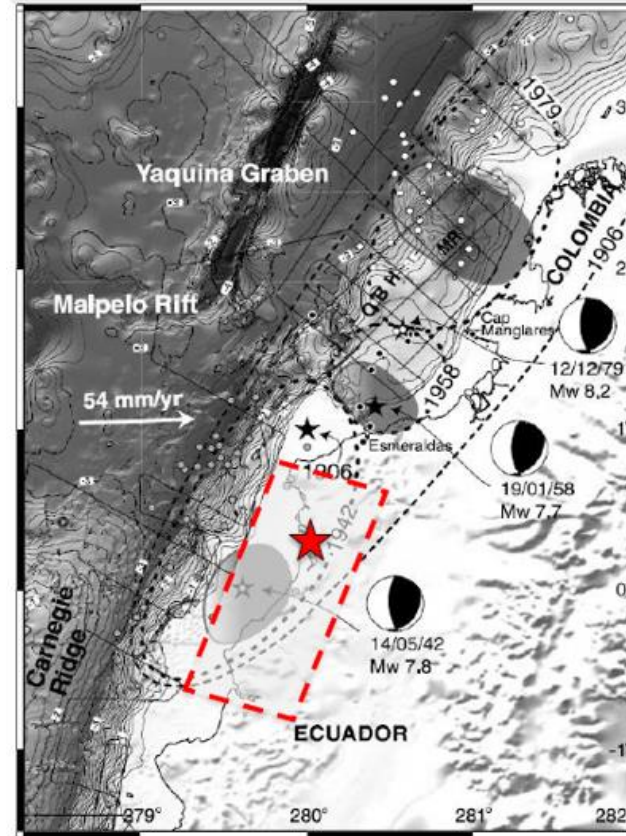
(Toulkeridis, 2013 – GEER, 2016)



Histórico de Eventos de Subducción

1906 M_w 8.8 Esmeraldas	36y
1942 M_w 7.8 Jama	16y
1958 M_w 7.8 Esmeraldas	21y
1979 M_w 8.2 Colombia	19y
1998 M_w 7.2 Bahia	18y
2016 M_w 7.8 Muisne	

1 event / 18y of $M_w \geq 7.0$

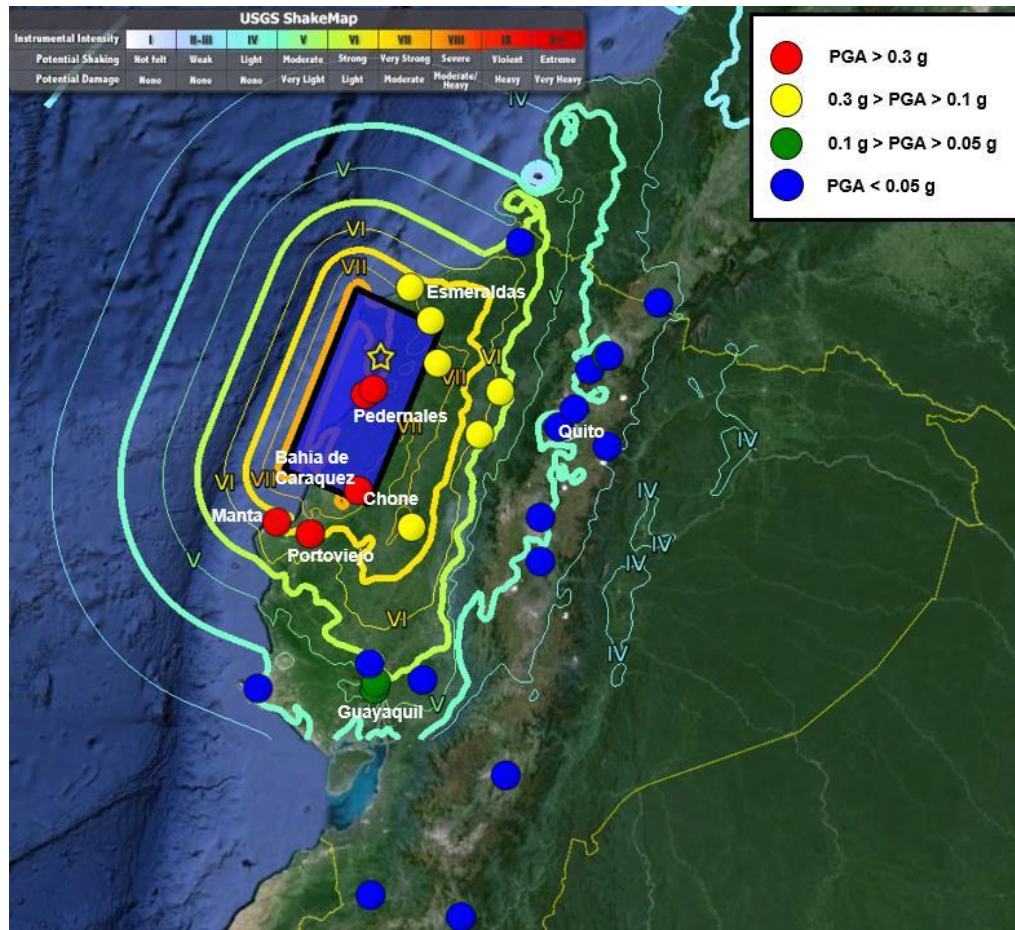


(Mod. Collot et al. 2014)
 Slide: PEER presentation, Miranda et al. (2016) –
 Vera Grunauer (2017)



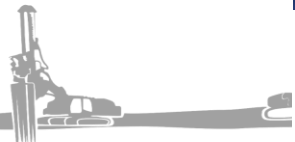
Mediciones de PGA: USGS

CALTECH MODEL
(Ye et al., 2016)

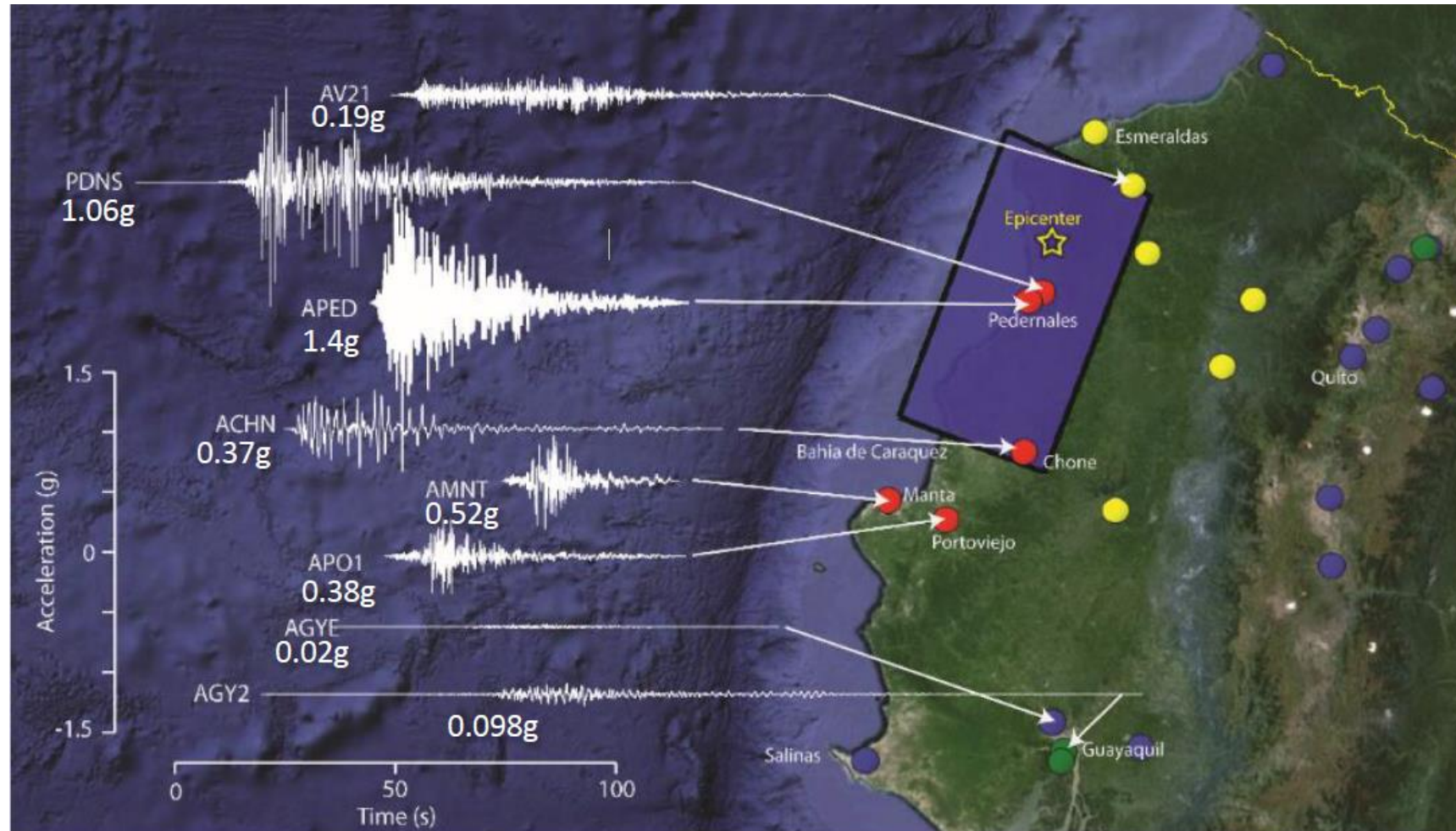


- Magnitude M_w 7.8
- Dip angle = 23°
- Fault length = 110 km
- Fault width = 60km
- Hyp. Depth = 17km
- Local time 6:58pm
- 661 deaths
- 27,732 injured
- 30,000 displaced Residents
- More than 4BillionsUSD

Contornos de Intensidad del USGS, y Aceleración Pico Medida
Fuente: GEER-ATC Earthquake Reconnaissance Report (Oct., 2016)



Registros de Estaciones Sísmicas



RENAC

Red Nacional de
Acelerógrafos

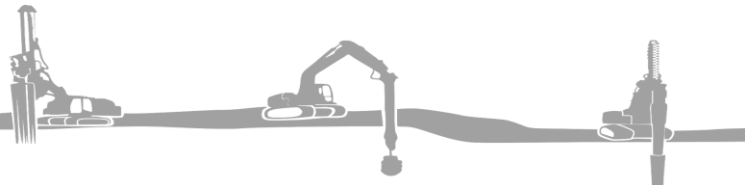
IG-EPN

Instituto Geofísico

(GEER, 2016)

AGENDA

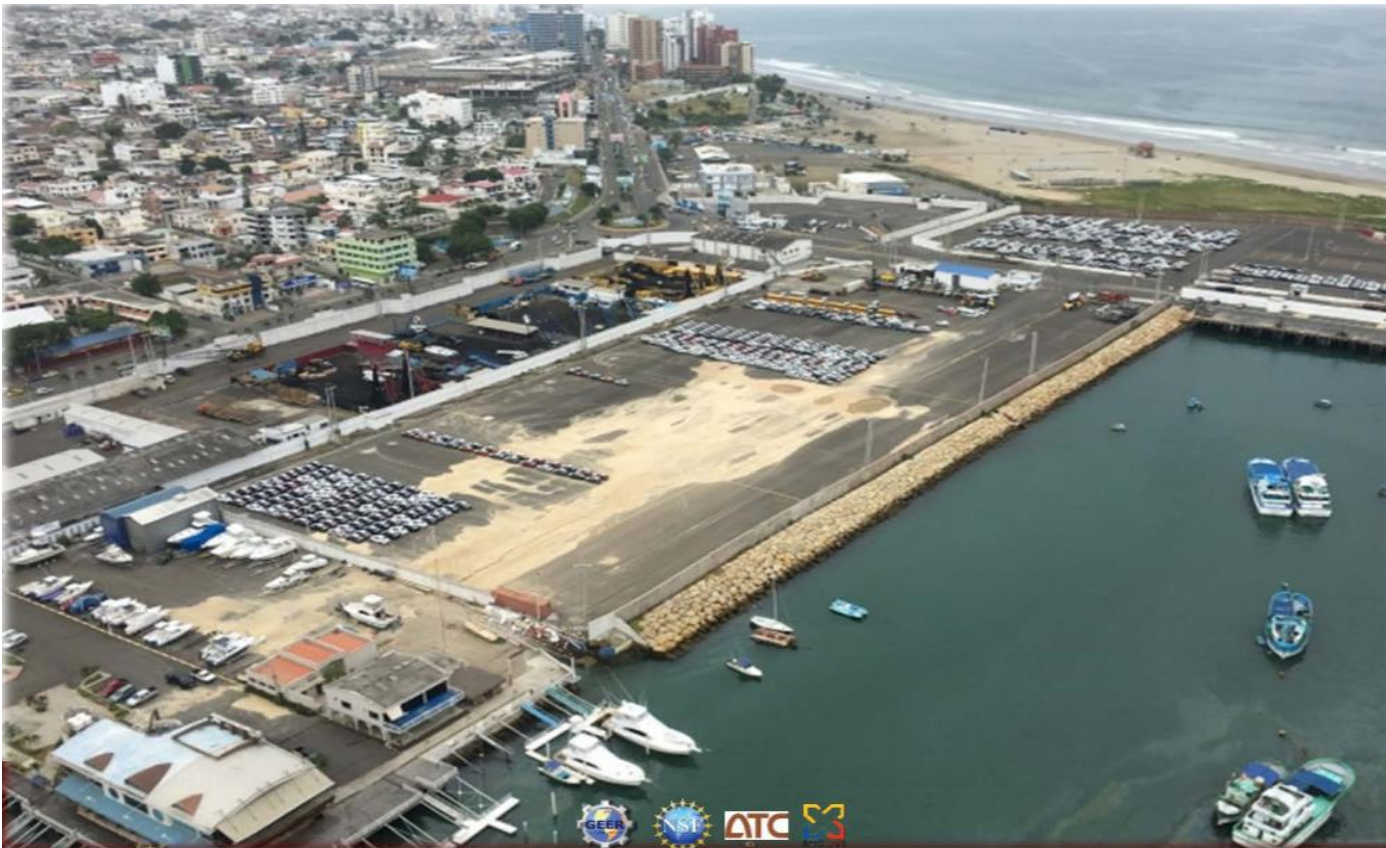
1. Sismicidad Ecuador – Terremoto Pedernales, 2016
2. Licuación de Suelos – Terremoto Pedernales, 2016
3. Mitigación de Licuación de Suelos – Terremoto Pedernales, 2016
4. Conclusiones
5. Apéndice:
 - A. Licuación de Suelos
 - B. Daños Inducidos por Licuación
 - C. Metodología Geopier para mitigación de Licuación



Muisne, 16 de Abril de 2016 ($M_w = 7.8$)



Licuación de Suelos Puerto de Manta




National Science

Geotechnical Extreme

Applied Technology

GEER-ATC EARTHQUAKE RECONNAISSANCE

April 16th 2016, Muisne, Ecuador

Version 1, October 14th 2016

Team Leaders

Sissy Nikolaou (WSP | Parsons Brinckerhoff)

Xavier Vera-Grunauer (Universidad Católica de Guayaquil, Geoestudios)

Editors

Sissy Nikolaou (WSP | Parsons Brinckerhoff)

Xavier Vera-Grunauer (Universidad Católica de Guayaquil, Geoestudios)

Ramon Gilsanz (Gilsanz Murray Steficek, LLP)

Contributing Authors

USA

Universities

BERKELEY	Roberto Luque, Tadahiro Kishida
BYU	Kyle Rollins
CORNELL	Tom O'Rourke, Bernardo Casares
RPI	Nonika Antonaki, Panagiota Kokkali
STANFORD	Eduardo Miranda
UARK	Clinton Wood
UBUFFALO	Enrique Morales, Jerome S. O'Connor
	Andreas Stavridis
UMICH	Adda Athanasopoulos-Zekkos
	Oscar González

Agencies and Individual Volunteers

USACE	Gabriela M. Lyvers
FHWA	Daniel Alzamora
Individuals	Pablo López, Said Maalouf

Engineering Firms

GMS	Ramon Gilsanz, Virginia Diaz, Laura Hernandez
WSP PB	Sissy Nikolaou, Guillermo Diaz-Fanas
	Nonika Antonaki, Efthymios Vaxevanis
	Panagiota Kokkali, Jay Mezher
	Patrick Bassal

ECUADOR

Army Corps of Engineers

ECACE	Enrique Morales Moncayo
--------------	-------------------------

Universities

ESPE	Theofilos Toulkeridis
IG-EPN	Hugo Yepes
	Alexandra Alvarado
SFQUITOU	Fabricio Yepes
UCSG	Adolfo Caicedo
	Francisco Ripalda
	Xavier Vera-Grunauer

Engineering Firms

Geoestudios	Xavier Vera-Grunauer
	Noemi Villagrán León
	Ignacio Ochoa, Danilo Davila
Droneando	Luis Fernando Rodríguez

COLOMBIA

UNCO	Carlos Arteta
-------------	---------------

Recorders

WSP PB	Guillermo Diaz-Fanas (for GEER-Ecuador)
GMS	Virginia Diaz (for ATC-Ecuador)

[2016 Muisne, Ecuador Earthquake \(geerassociation.org\)](http://geerassociation.org)

(GEER, 2016)



Licuación de Suelos Puerto de Manta



(GEER, 2016)



Licuación de Suelos Terraplén Las Charcas



Licuación de Suelos Terraplén Mejía



(GEER, 2016)



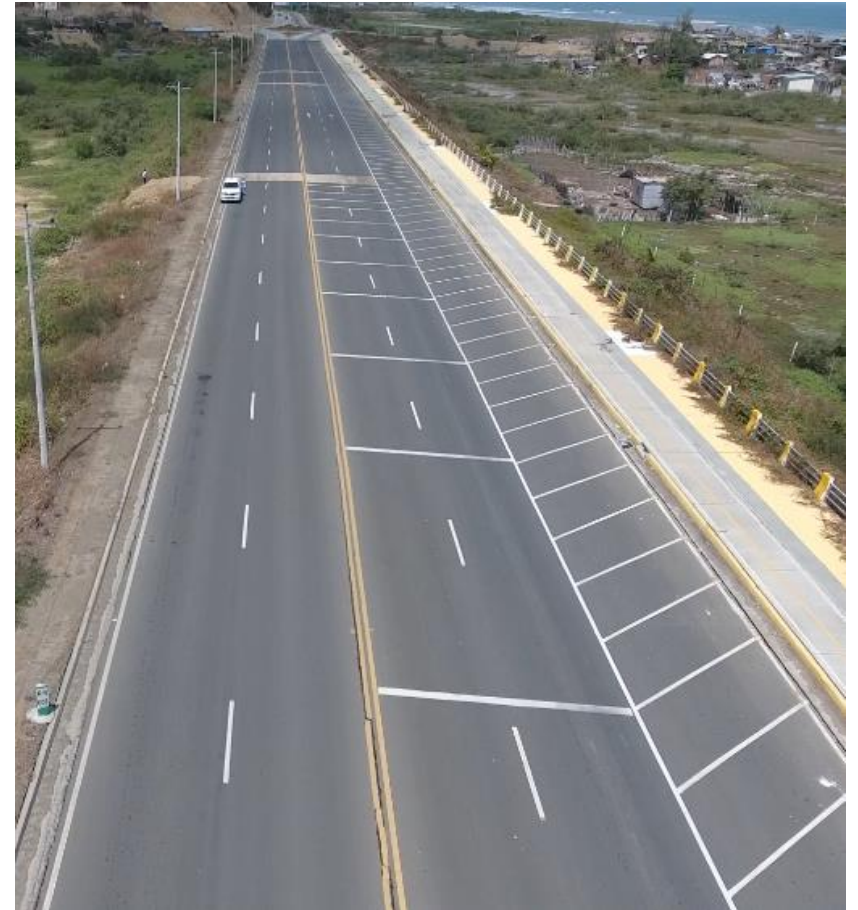
Licuación de Suelos Terraplén Mejía



Licuación de Suelos Terraplén Briceño (GEOPIER)

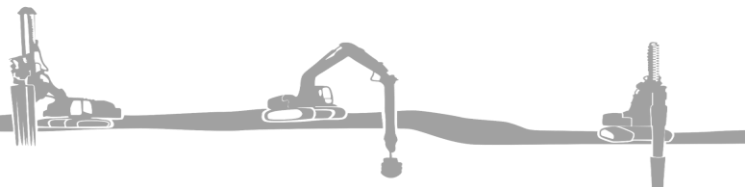


Licuación de Suelos Terraplén Briceño (GEOPIER)



AGENDA

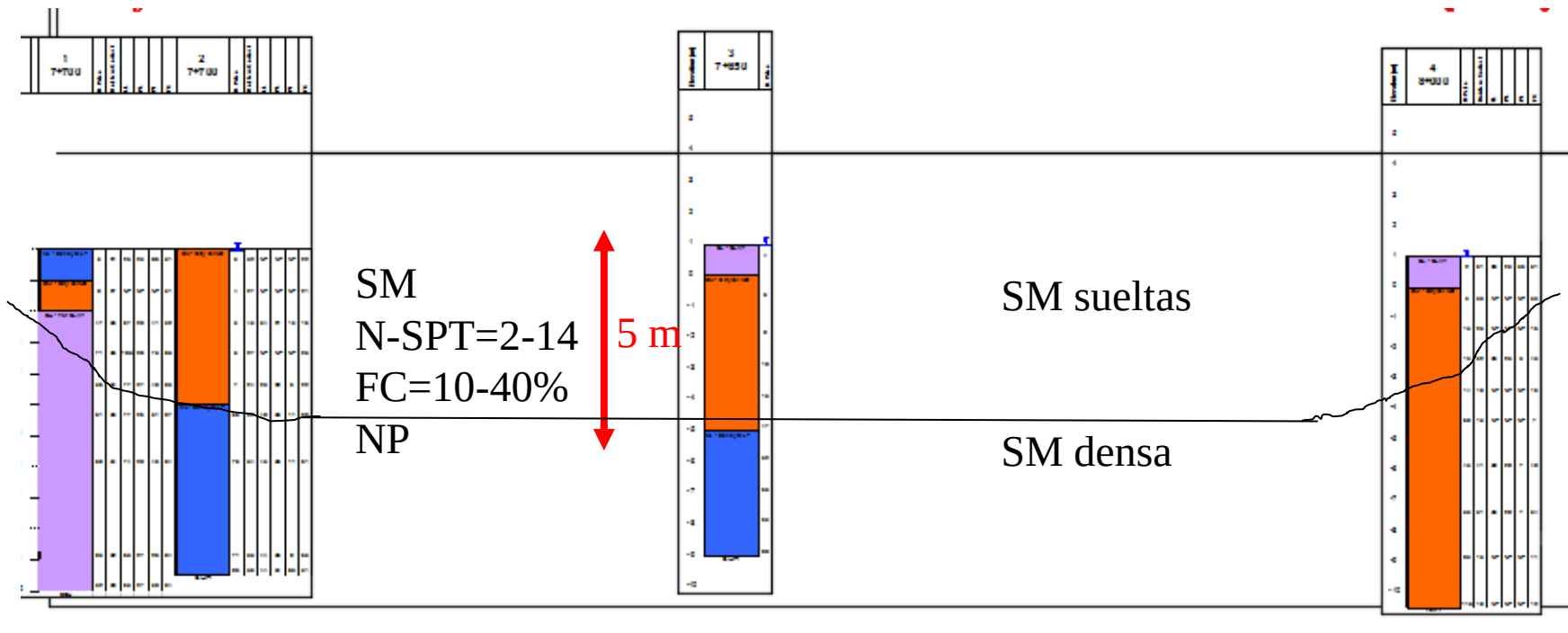
1. Sismicidad Ecuador – Terremoto Pedernales, 2016
2. Licuación de Suelos – Terremoto Pedernales, 2016
3. Mitigación de Licuación de Suelos – Terremoto Pedernales, 2016
4. Conclusiones
5. Apéndice:
 - A. Licuación de Suelos
 - B. Daños Inducidos por Licuación
 - C. Metodología Geopier para mitigación de Licuación



Mitigación de Licuación de Suelos Terraplén Briceño (GEOPIER)



Mitigación de Licuación de Suelos Terraplén Briceño (GEOPIER)



Diseño 2012

Manuel Gutiérrez, PhD

Asentamientos

Capacidad Portante

Estabilidad Global Est.

Estabiliad Global Din.



Mitigación de Licuación de Suelos Terraplén Briceño (GEOPIER)

Geopier Foundation Company

Project:	Variante Briseño
Project No:	IEC-1
Engineer:	JA
Date:	12/6/2016
Boring	S-3, 7+850

Input Parameters:

Peak ground acceleration (g) =	0.4		
Earthquake magnitude, M_w =	8		
Water table depth (m) =	0.0	0	ft
Average, γ above water table (kN/m ³) =	15.7	100	pcf
Average, γ below water table (kN/m ³) =	15.7	100	pcf
boehole diameter (mm) =	102	4	in
Correction for sample liners (Y/N):	N		
Depth Reduction Factors (Y/N)	Y		
INCLUDE FILL HEIGHT (m):	6.3	20.5	ft
Fill Unit Weight (kN/m ³):	19.6	125	pcf
Stress From FILL Weight (kPa)	122.6	2,563	psf
Rod lengths assumed equal to the depth plus 1.5m (or above ground extension).			

(Used for CSR Calculations ONLY. Not used for CRR calculations)

Liquefaction Susceptibility - EXISTING CONDITION

[illegible]

Idriss and Boulanger recommended procedures (EERI 2008)

C_E = Energy Ratio = Hammer Energy / 60
 C_B = Borehole Correction Factor
 C_R = Rod Length Correction
 C_S = Sampler Size Correction
 N_{60} = N"CE"CB"CR"CS
 C_H = Overburden Correction Factor = $\sqrt{\text{SRT}(101/\sigma_{vm})} < 1.7 \ln \text{kPa}$
 $(N_1)_{60}$ = C_u/N_{60}
 $f_{60}(FC)$ = $\text{EXP}(1.63+9.7/(FC+0.1)^{(15.7/(FC+0.1))^2})$
 f_{60} = $\text{EXP}(1.012+1.126^*(\text{SIN}(Z/11.73+5.133)*M_w(0.106+0.118^*(\text{SIN}(Z/11.28+5.142))))$, Z = depth (meters)
 CSR = $0.65^*(\text{PGA}/(\text{av}/\text{vc}))^{1/3}$

MSF = $\text{MIN}[1, 8.6 \cdot 9^{\text{EXP}(-M_{\text{vir}}/4 - 0.058)}$
 K_{cs} = Overburden Correction Factor for CRR
 CRR_{FS} = $\text{EXP}[(\text{N}1/60 - \text{cs})/4 \cdot 1.4 + ((\text{N}1/60 - \text{cs})/25)^2 \cdot 2 + ((\text{N}1/60 - \text{cs})/23.6)^3 + ((\text{N}1/60 - \text{cs})/25.4 \cdot 4 \cdot 2 - 2)]$
 CRR_{FS} = $\text{MSF} \cdot K_{\text{cs}} \cdot \text{CRR}_{\text{FS}}$
 FS = Factor of Safety against liquefaction, CRR/CSR
 ΔH = Layer Increment in feet
 ϵ_v = Vertical reconsolidation strain
 ΔS = Reconsolidation settlement for Increment I, in Inches
 DF = Depth Reduction Factor = $(1 - d/18\text{m})$ (Cetin, et al 2009)
 ΔS DF = Reconsolidation settlement for Increment I reduced with DF applied

Análisis realizado con el
método simplificado
actualizado (Idriss &
Boulanger, 2008)

Diseño 2012

Manuel Gutiérrez, PhD

Arenas SM licuables hasta 5m de prof.

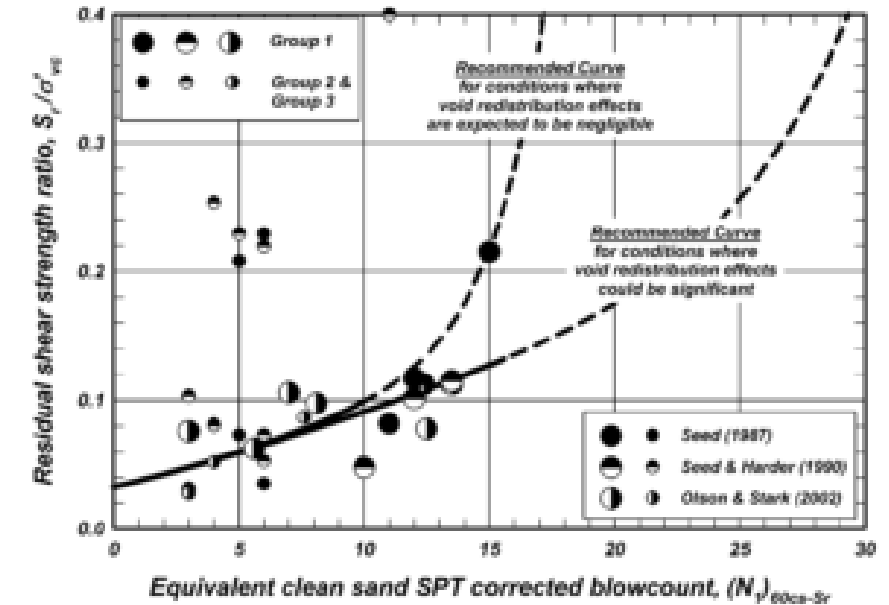
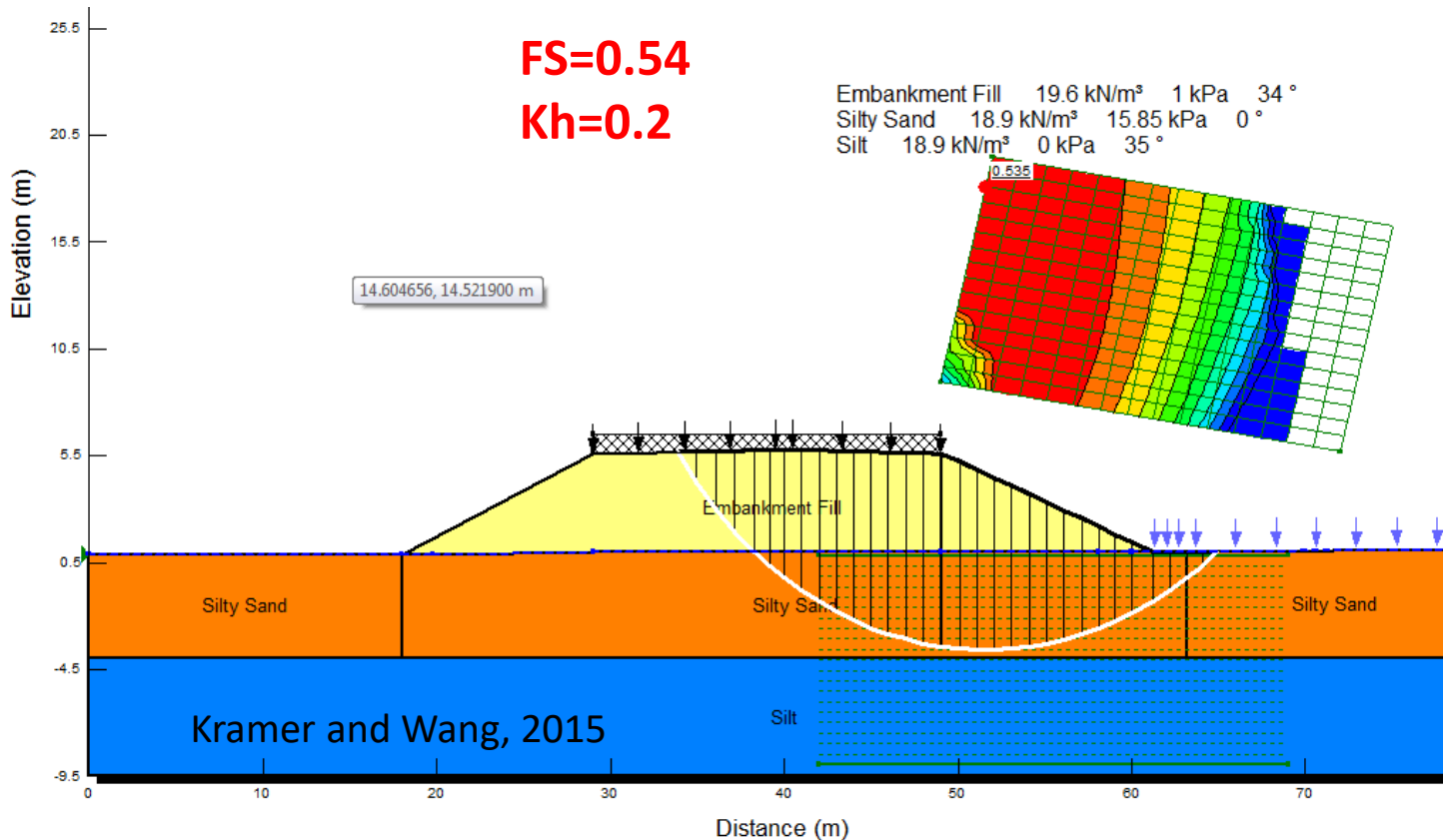
(FS_liq ~0.5 a 0.9) y
~10cm de asentamiento

inducido por licuación
de los suelos de fundación,
en condición no reforzada

Mitigación de Licuación de Suelos Terraplén Briceño (GEOPIER)

$S_r = 0.15 \text{ atm}; 15.8 \text{ kPa}; 317 \text{ psf}$

$\text{PGA} = 0.4g, M_w = 8$

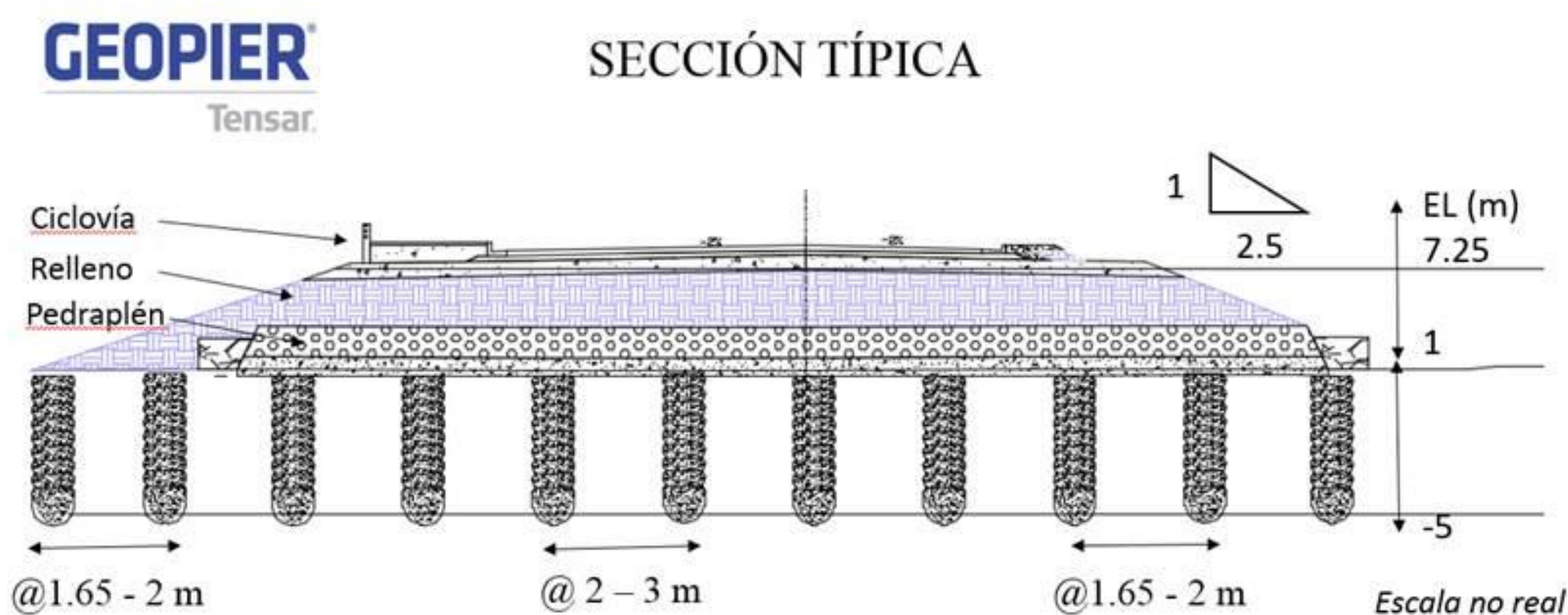


Fuente: [Idriss and Boulanger, 2008.](#)

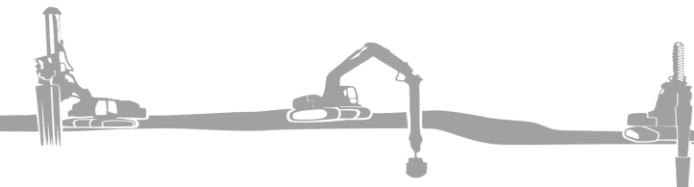
Análisis para caso pseudo-estático del terraplén de Briceño sin mejoramiento de suelos, considerando condiciones post-sísmicas utilizando valores de resistencia al corte no drenada residuales para los suelos licuables (Kramer, Wang, 2015)

Mitigación de Licuación de Suelos Terraplén Briceño (GEOPIER)

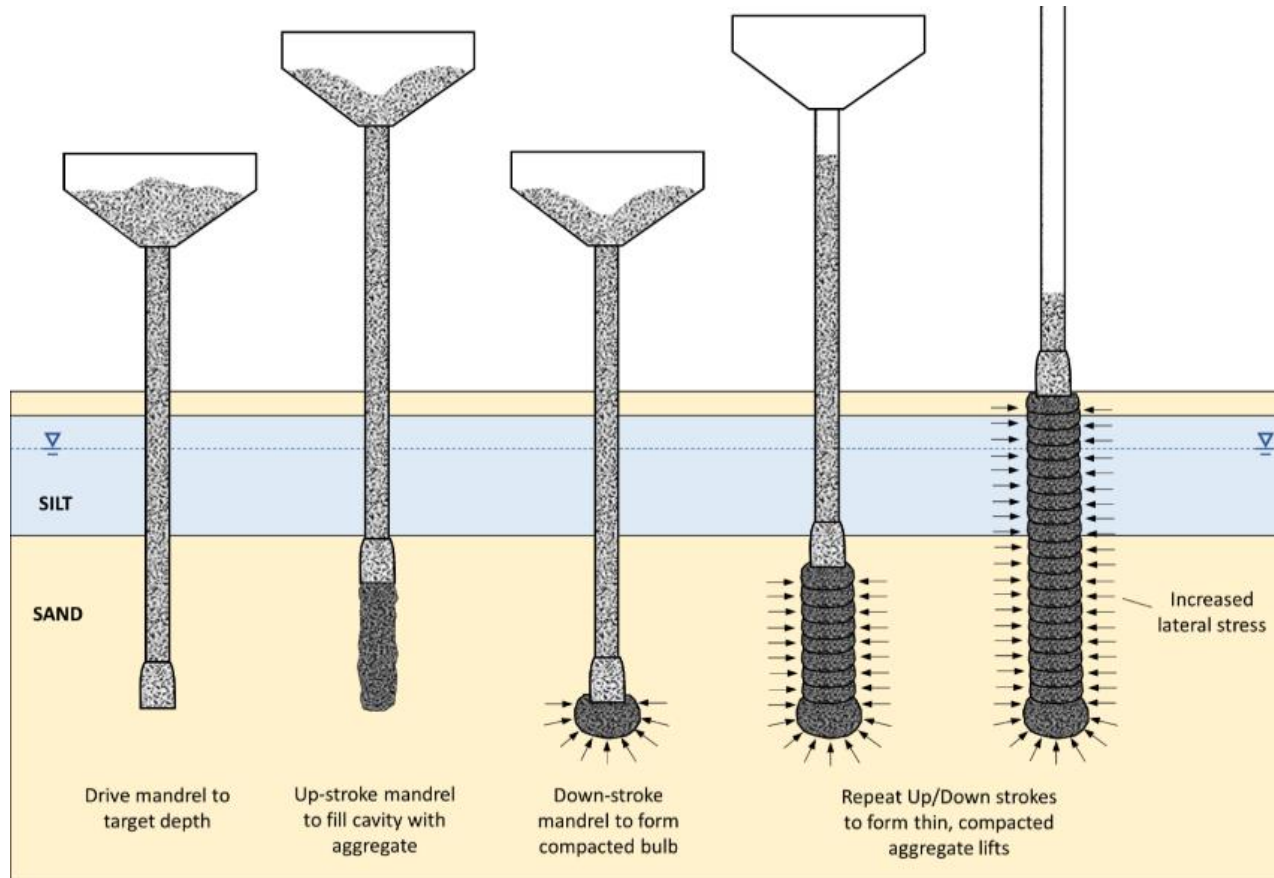
- Longitud del Terraplén: 725m
- Espaciamiento: 1.65m a 3m entre centros
- Profundidad máxima 5m



Sección de corte típica de la solución con RAP's

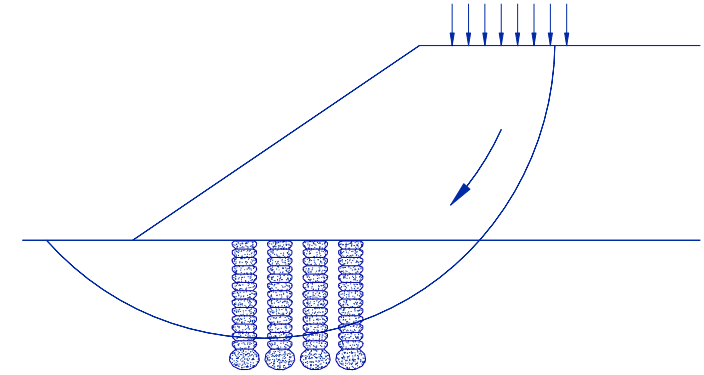
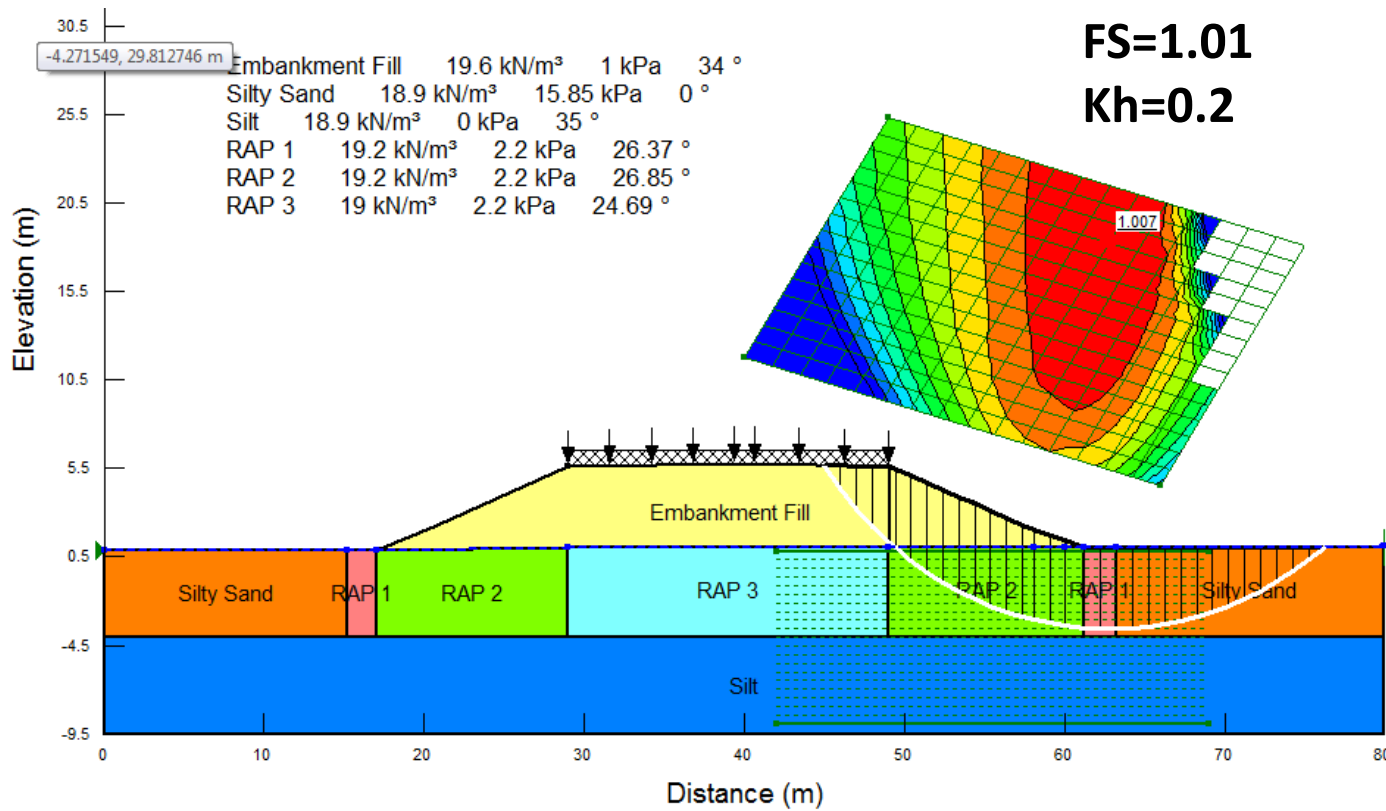


Mitigación de Licuación de Suelos Terraplén Briceño (GEOPIER)



Pilas de grava compactada, método de desplazamiento Impact® pier de Geopier
Espaciamientos hasta 3m cc

Mitigación de Licuación de Suelos Terraplén Briceño (GEOPIER)



$$\tau_{\text{composite}} = c_{\text{composite}} + \sigma' \tan \phi_{\text{composite}}$$

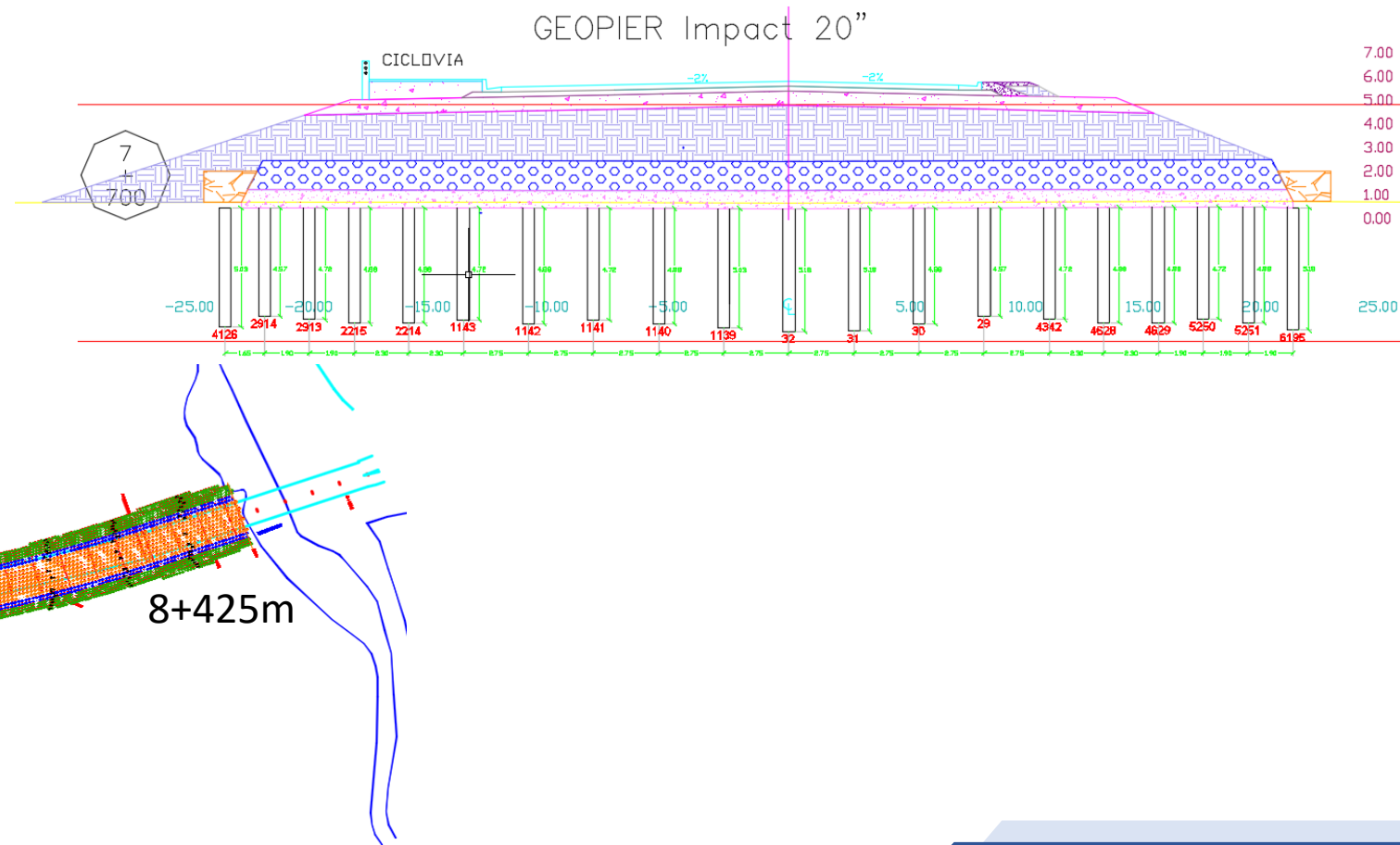
■ Parámetros compuestos de resistencia al corte:

- R_a = Relación de área de reemplazo
- $c_{\text{comp}} = R_a * c_g + (1 - R_a) * c_m$
- $\phi_{\text{comp}} = \arctan [R_a * \tan(\phi_g) + (1 - R_a) * \tan(\phi_m)]$



Mitigación de Licuación de Suelos Terraplén Briceño (GEOPIER)

- Espaciamiento = 1.65 a 3m c-c
- Profundidad = 2.5 a 5m
- Longitud = 725m



Mitigación de Licuación de Suelos Terraplén Briceño (GEOPIER)



No Impact-R

PGA=0.32g

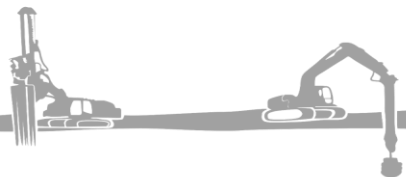


Impact-R

PGA=0.38g



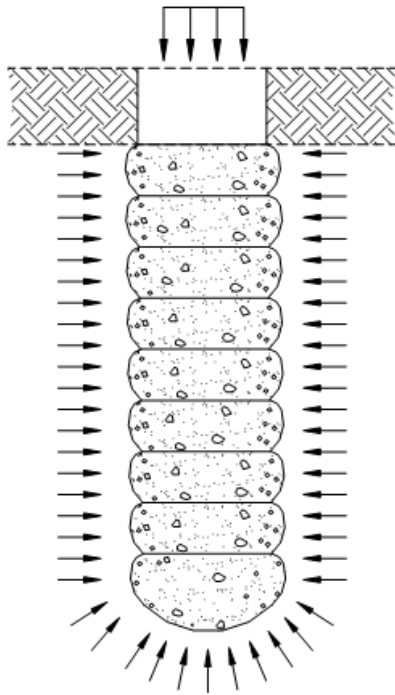
Mitigación de Licuación de Suelos Terraplén Briceño (GEOPIER)



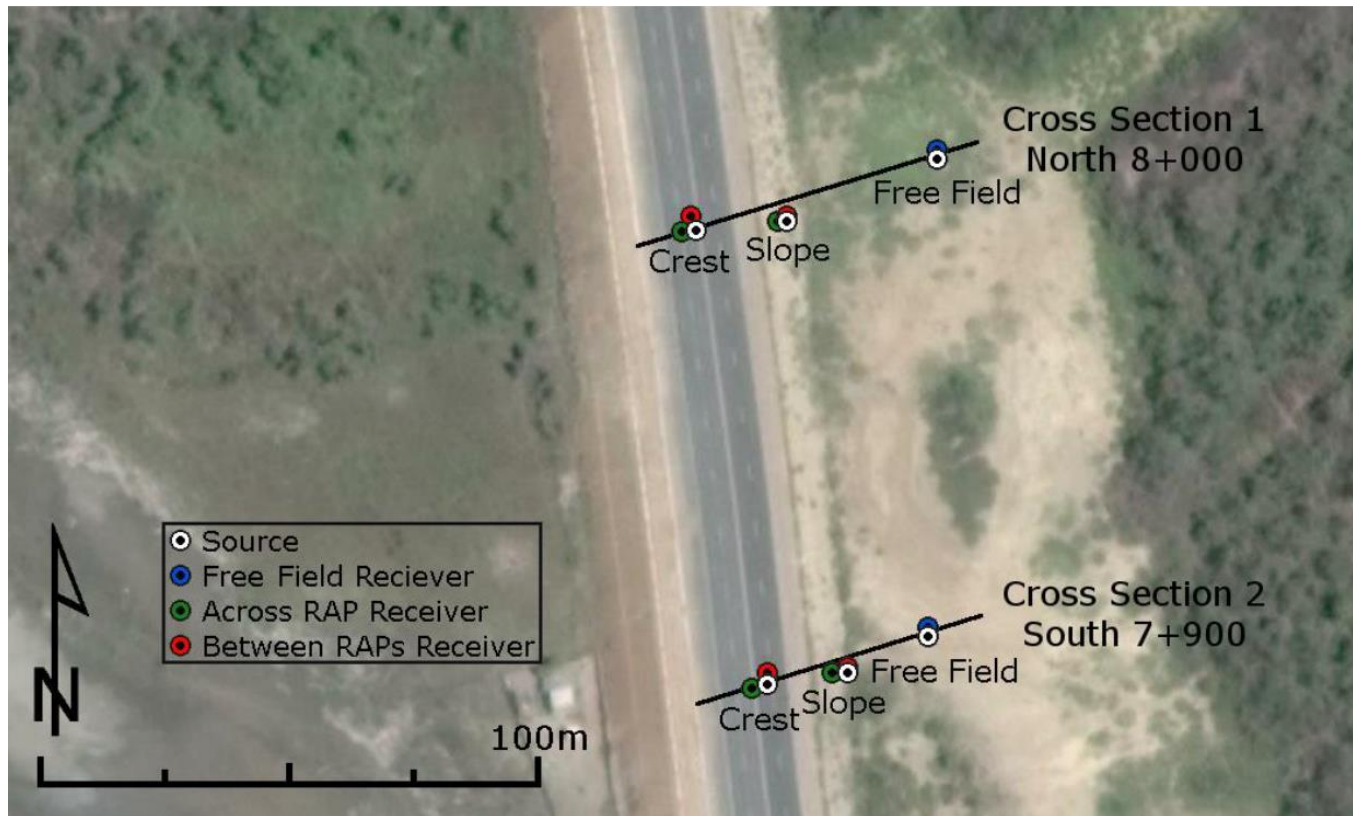
Mitigación de Licuación de Suelos Terraplén Briceño (GEOPIER)

Resultados Directos

- El incremento en la presión lateral a lo largo del fuste incrementa la resistencia friccional al corte



Mitigación de Licuación de Suelos Terraplén Briceño (GEOPIER)



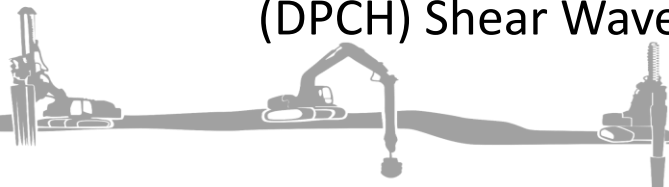
Xavier Vera, PhD

Brady Cox, PhD

Andrew Stolte, PhD

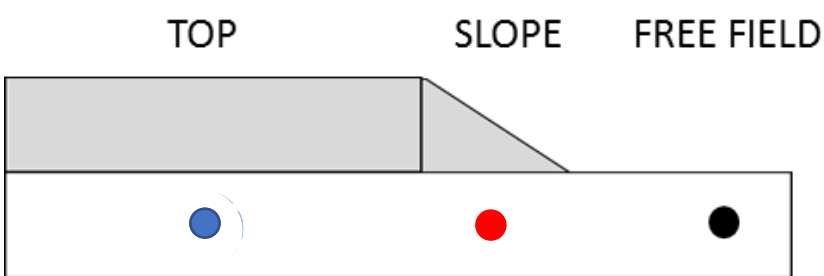


SPT, CPT, DMT, and Direct Push Cross-Hole
(DPCH) Shear Wave Velocity Testing



Mitigación de Licuación – Terraplén Briceño

Exploración Post-Sísmica

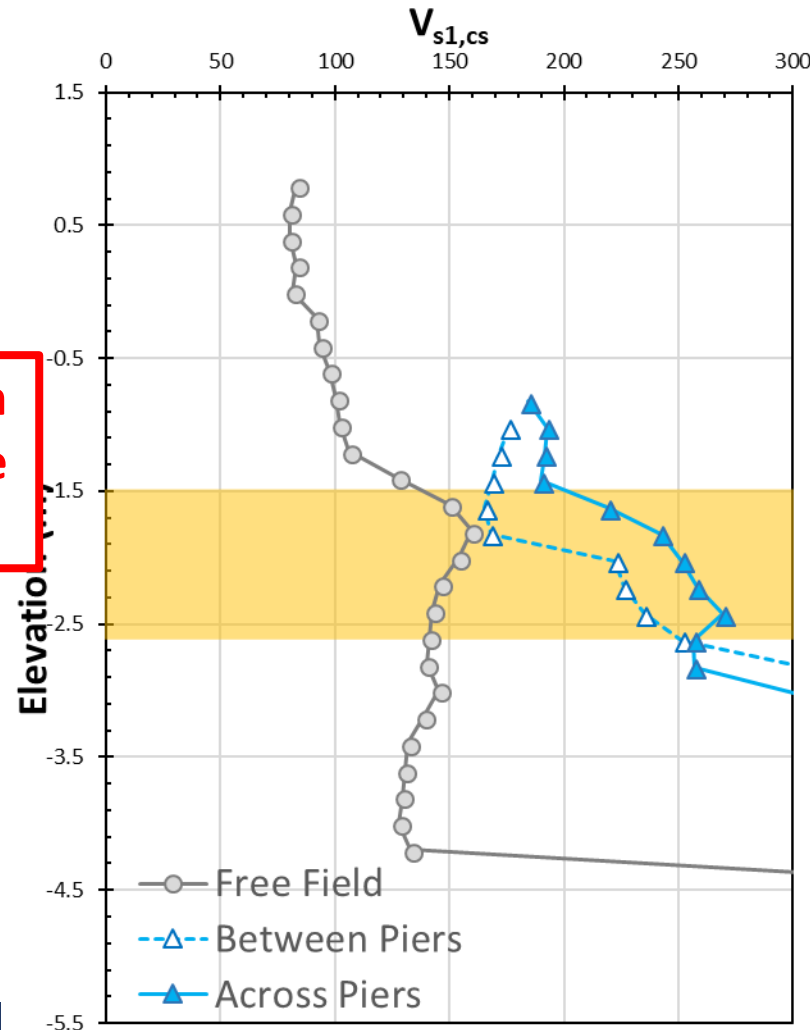


Las pilas de grava compactada incrementan los esfuerzos laterales y Vs (rigidez cortante compuesta) del suelo tratado

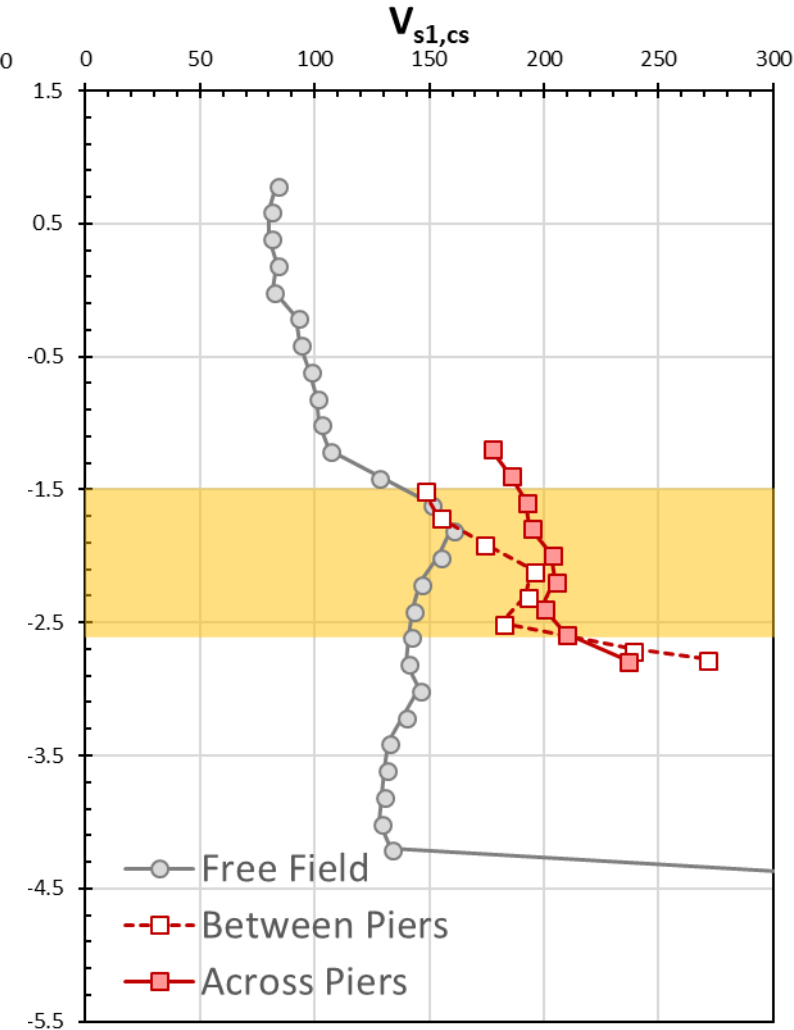
Xavier Vera, PhD
Brady Cox, PhD
Andrew Stolte, PhD



Bajo la corona del Terraplén

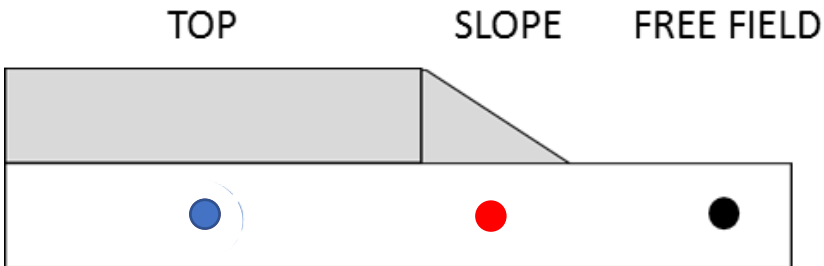


Bajo el talud del Terraplén

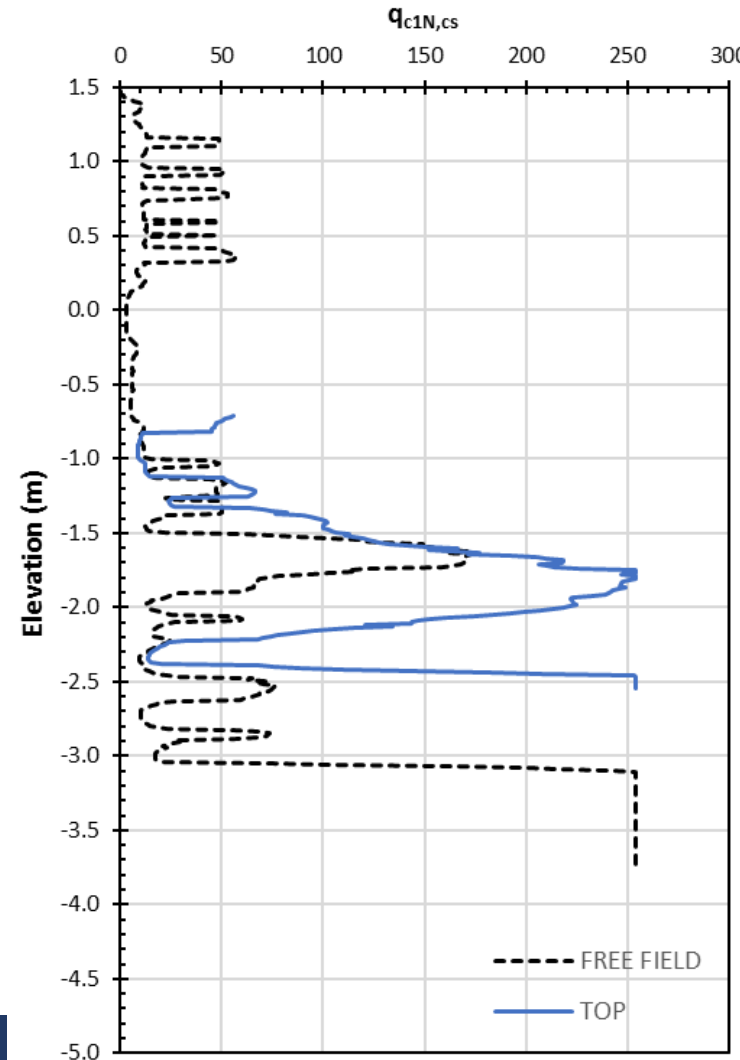


Mitigación de Licuación – Terraplén Briceño

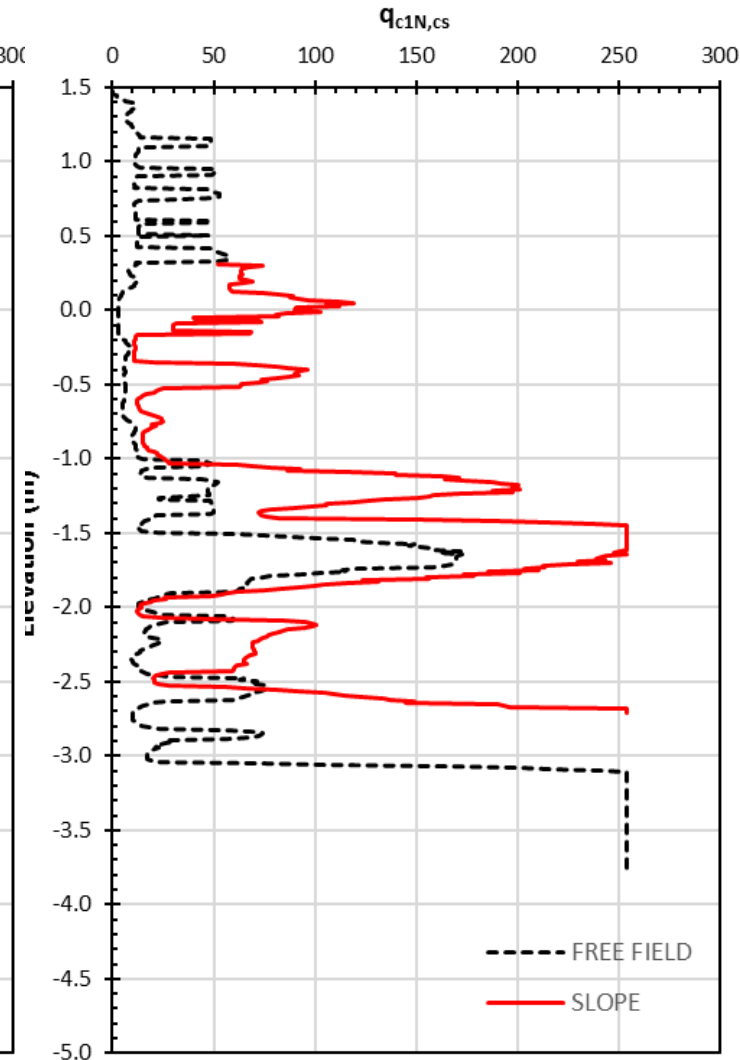
Exploración Post-Sísmica



Bajo la corona del Terraplén



Bajo el talud del Terraplén



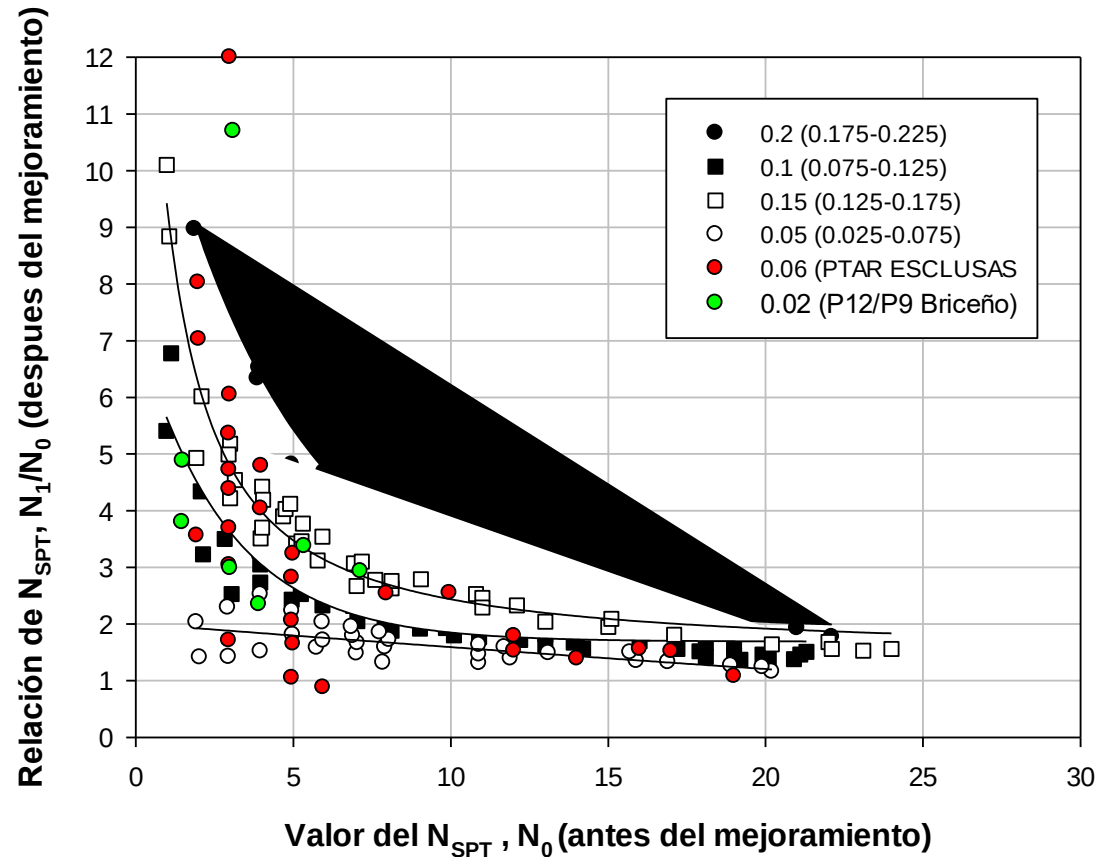
Xavier Vera, PhD
Brady Cox, PhD
Andrew Stolte, PhD



Mitigación de Licuación de Suelos – Terraplén Briceño

Exploración Post-Sísmica

SECCIÓN 7+900

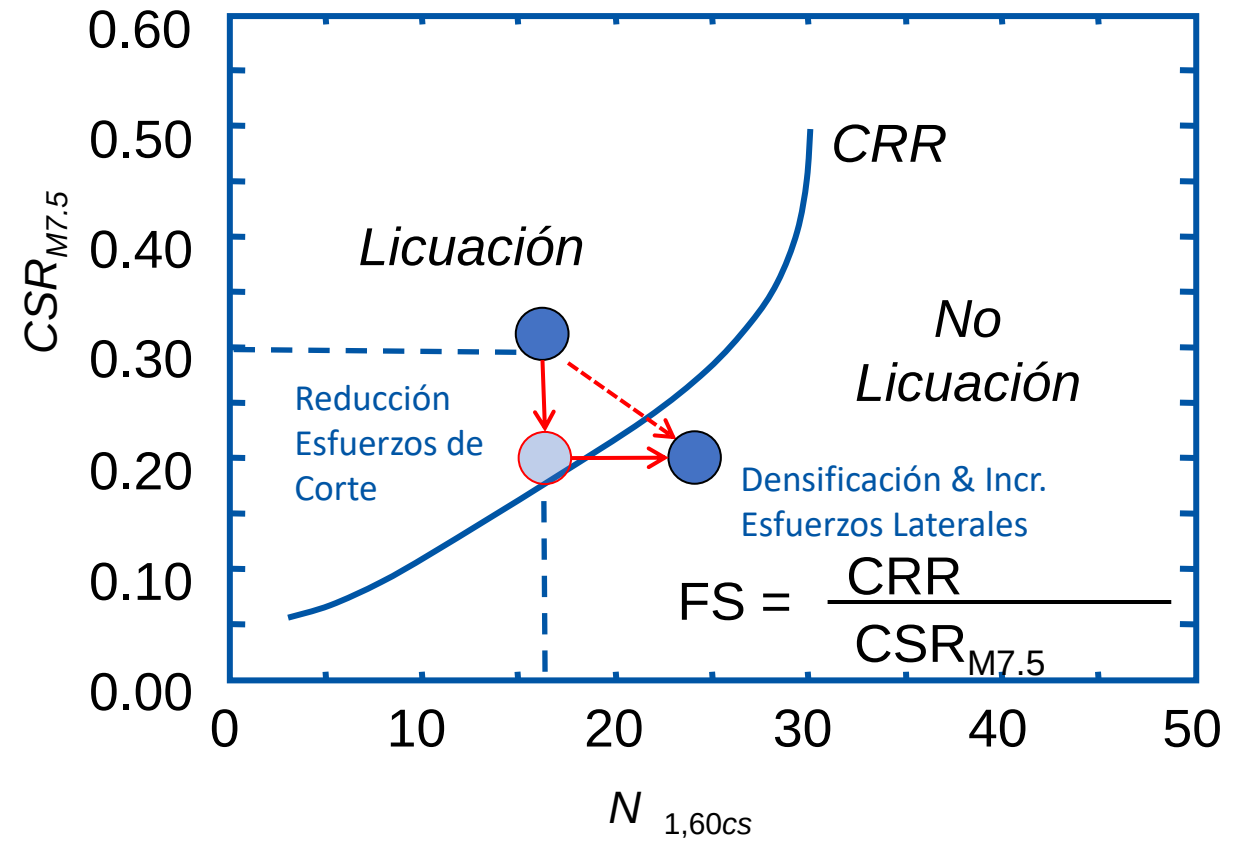
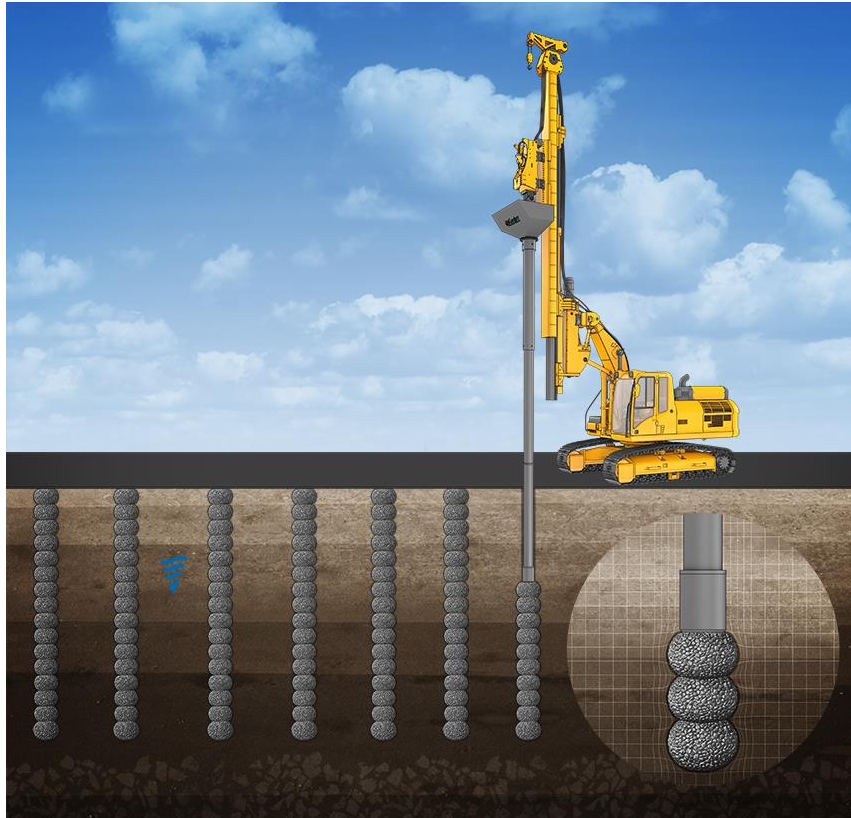


(Mod. From Han, 2015, Vera 2016)

Xavier Vera, PhD
Brady Cox, PhD
Andrew Stolte, PhD

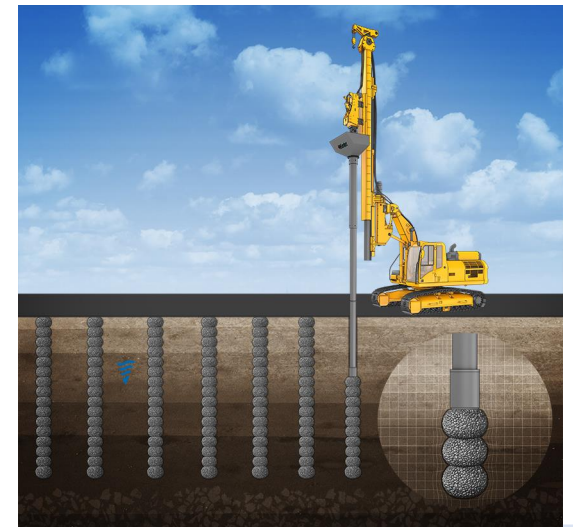


Mitigación de Licuación de Suelos – Terraplén Briceño



Mitigación de Licuación de Suelos – Terraplén Briceño

- Las Columnas de Agregado Compactado (RAP's) Impact® pier de Geopier evidentemente mitigaron el efecto de licuación de suelos bajo el terraplén de Briceño
- Los mecanismos de mitigación de licuación con RAP's incluyen:
 - incremento de esfuerzos laterales,
 - densificación,
 - incremento en rigidez compuesta, y
 - drenaje
- El incremento de estabilidad global mediante el uso de RAP's, en especial para el caso dinámico, quedó comprobado con un caso de sismo fuerte cercano al sismo de diseño ($M_w = 7.8$, $PGA \geq 0.4g$)



GRACIAS POR SU ATENCIÓN



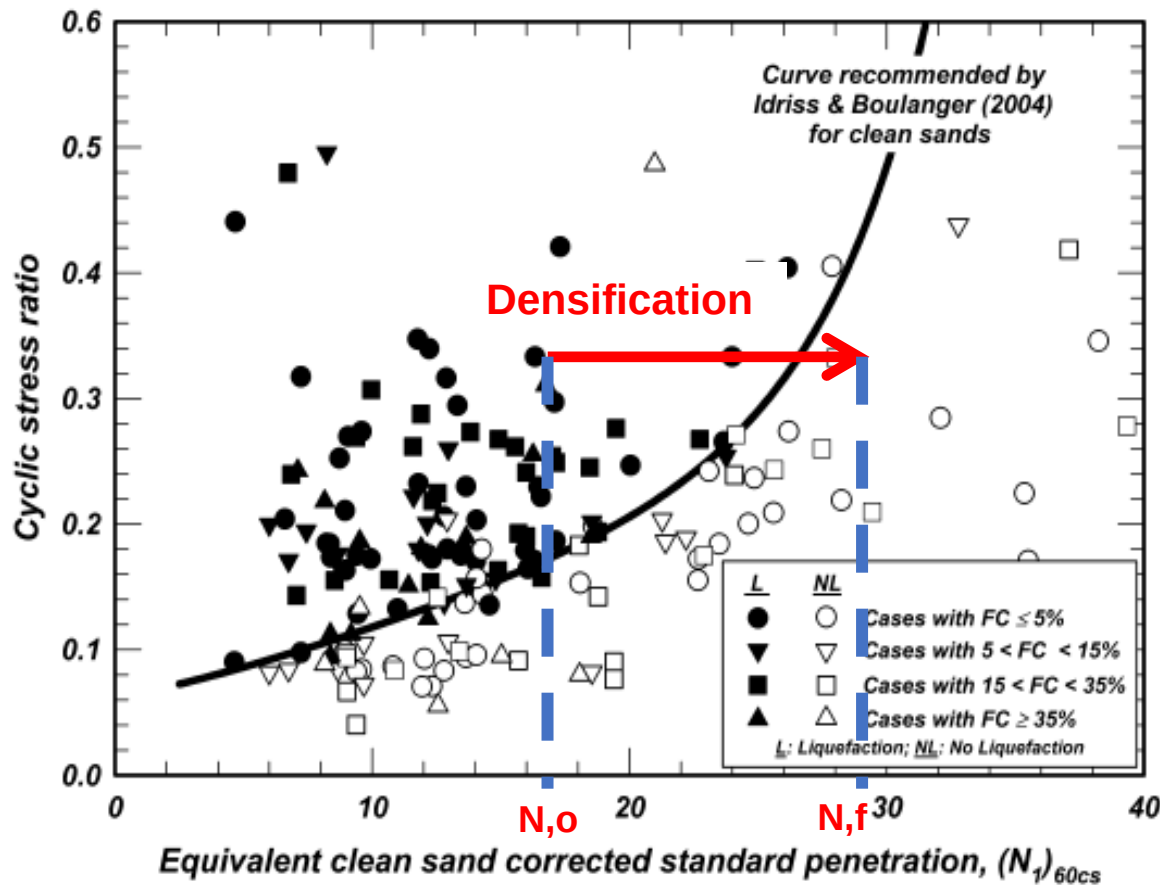
AGENDA

1. Sismicidad Ecuador – Terremoto Pedernales, 2016
2. Licuación de Suelos – Terremoto Pedernales, 2016
3. Mitigación de Licuación de Suelos – Terremoto Pedernales, 2016
4. Conclusiones
5. Apéndice:
 - A. Licuación de Suelos
 - B. Daños Inducidos por Licuación
 - C. Metodología Geopier para mitigación de Licuación



Mecanismos de mitigación de Licuación con Geopier

A. *Densification*



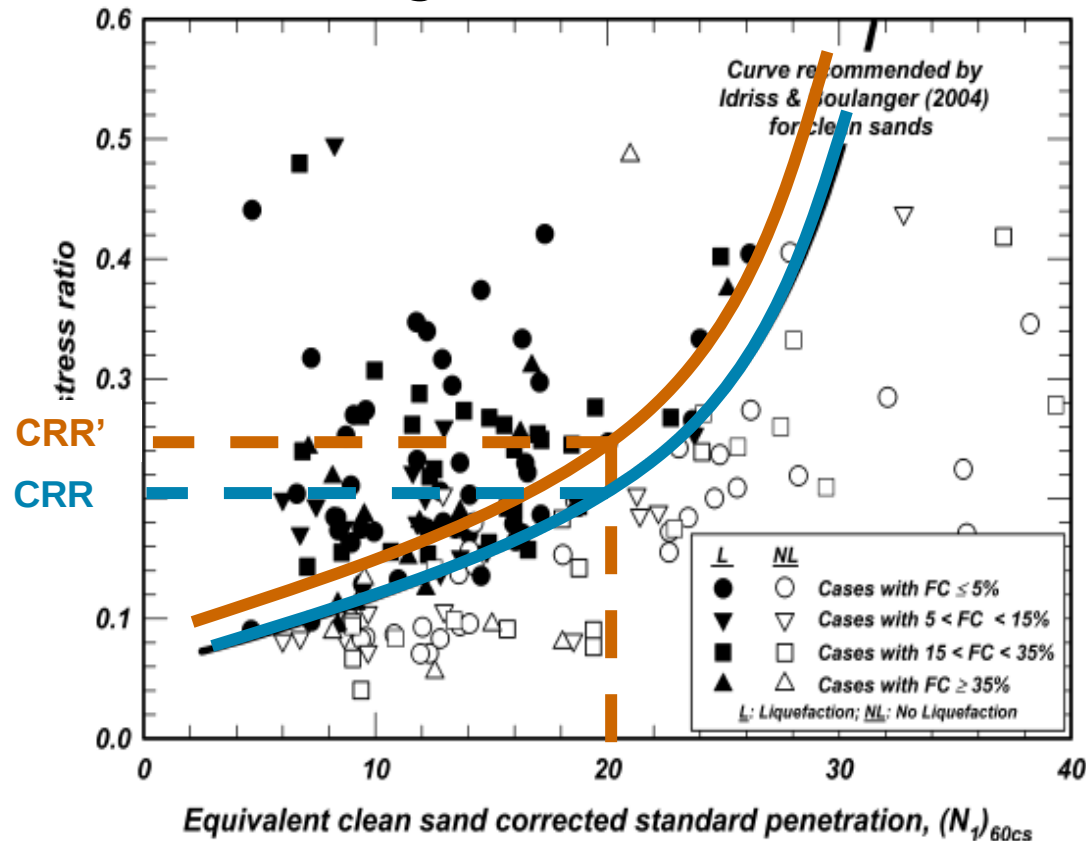
Best design practices:

- Analysis method (NCEER, Idriss & Boulanger)
- Depth weighting (Cetin et al. 2009) – 18 meters max depth consideration

RAP systems densify the ground measured by increasing N

Mecanismos de mitigación de Licuación con Geopier

B. Increasing lateral stress



- CRR** is really dependent on σ_m'

$$\sigma_m' = \frac{\sigma_v' + 2\sigma_h'}{3}$$

- Industry standard is to assume $K_0 = 0.5$ in samples

$$\sigma_m' = 0.67\sigma_v'$$

- Use $K_0' = K_0 * 1.4$
 $\sigma_m' = 0.8\sigma_v'$
 (20% increase)

- τ is linear with σ_m'

$$\mathbf{CRR'} = \mathbf{CRR} * 1.2$$

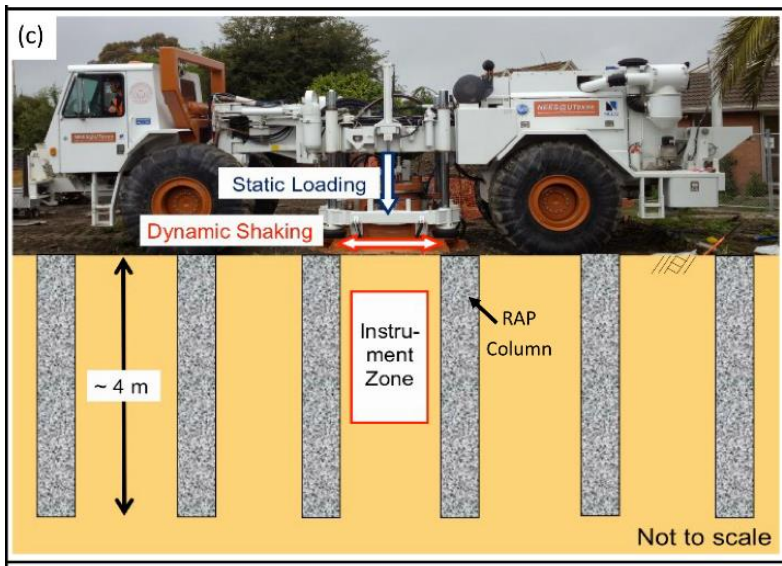
Example: if K_0 increased an average of 40%, then FS increased by x 1.2

Mecanismos de mitigación de Licuación con Geopier

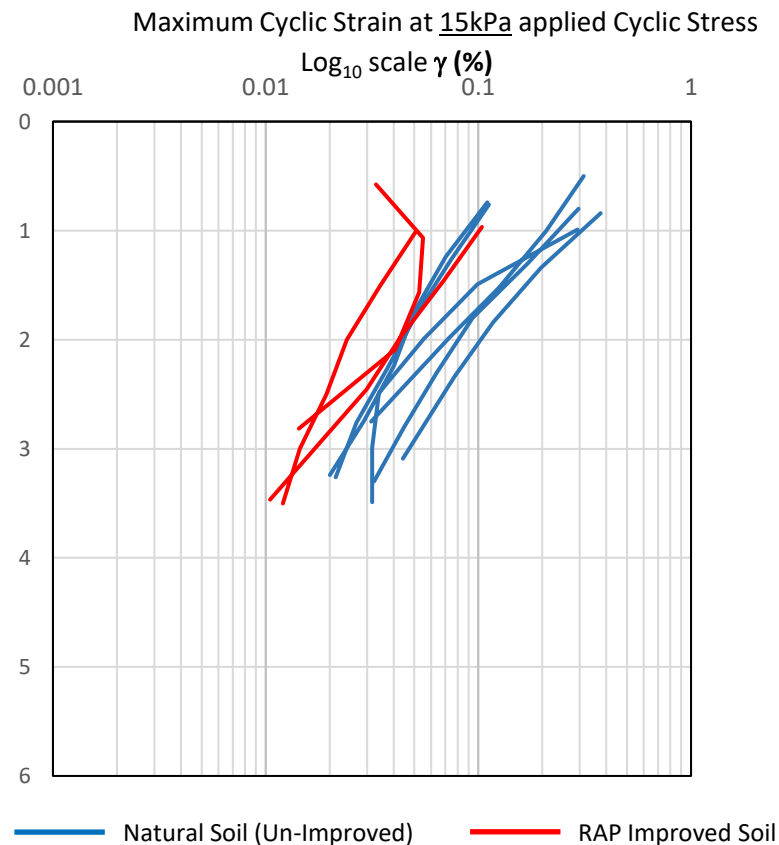
C. Shear stiffening and composite shear strength

RAP installations increase stiffness

Testing in New Zealand:



**Shear strains in RAP treated zones =
½ those in untreated soil suggesting
200% increase in G and CRR**



New Zealand

AGENDA

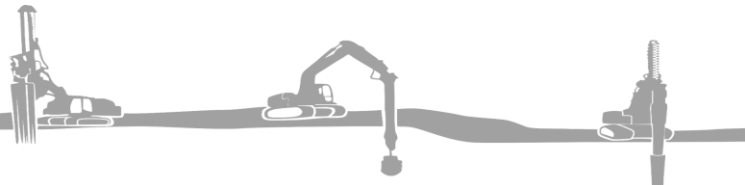
1. Sismicidad Ecuador – Terremoto Pedernales, 2016
2. Licuación de Suelos – Terremoto Pedernales, 2016
3. Mitigación de Licuación de Suelos – Terremoto Pedernales, 2016
4. Conclusiones
5. Apéndice:
 - A. Licuación de Suelos
 - B. Daños Inducidos por Licuación
 - C. Metodología Geopier para mitigación de Licuación



Qué es Licuación de Suelos?

Ocurre cuando los depósitos de suelo de baja resistencia son sujetos a fuerzas dinámicas de duración e intensidad significativas.

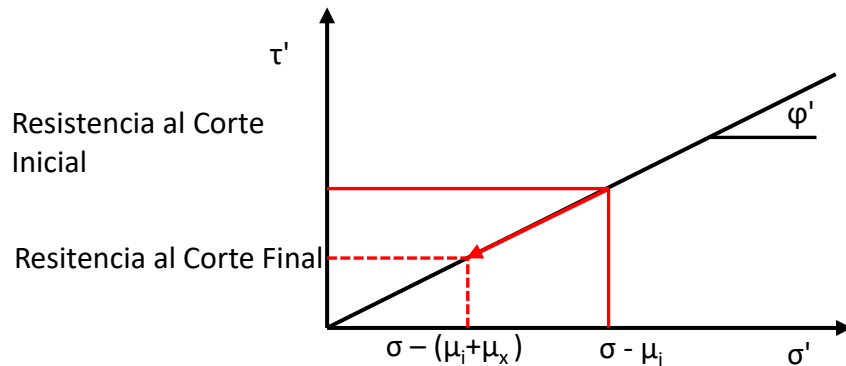
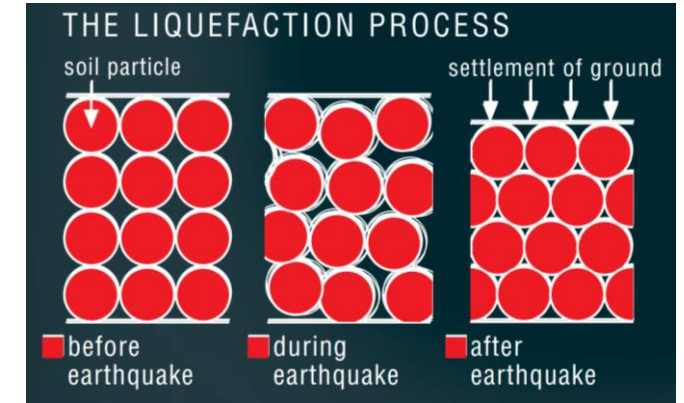
1. Los requisitos para el desencadenamiento de Licuación de Suelos:
 - a. Suelos con comportamiento arenoso (IP importante para limos).
 - b. Saturación o presencia de NAF.
 - c. Baja densidad relativa – comportamiento contráctil.
 - d. Sismo intenso para inducir cambio volumétrico.
 - e. Sismo con duración para generar exceso de presión de poros.



Qué es Licuación de Suelos?

Si el sismo presenta suficiente intensidad y duración:

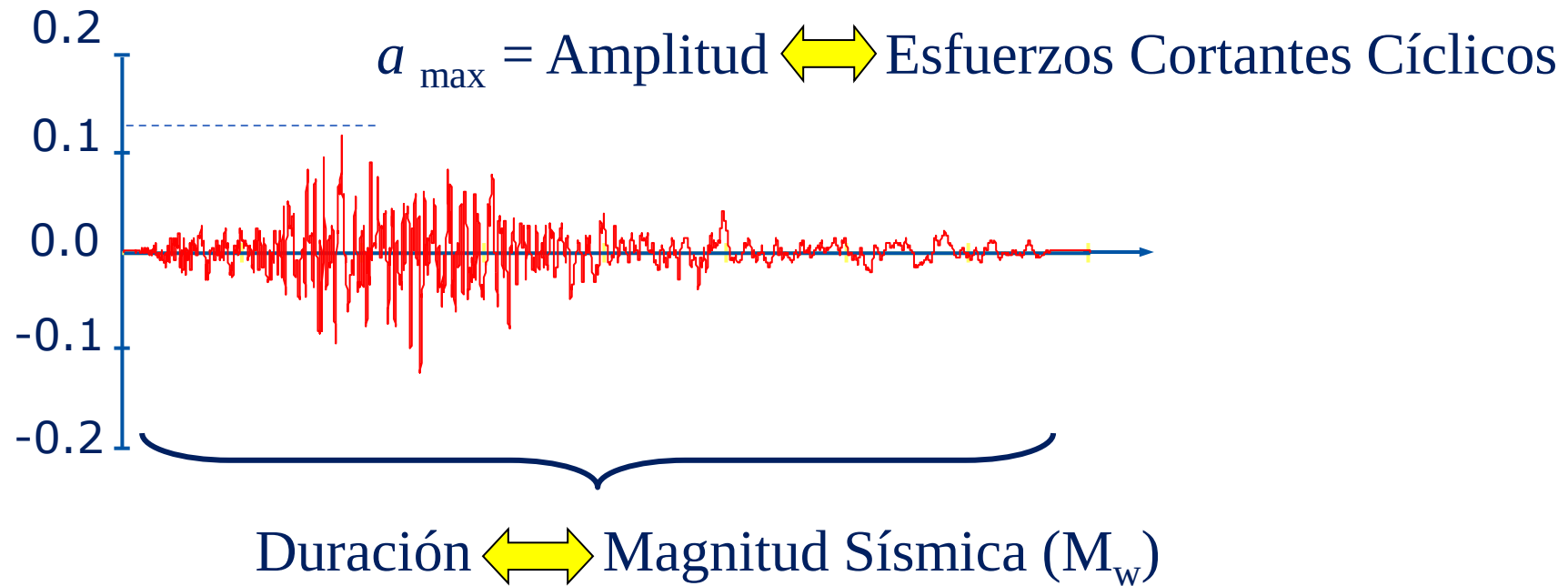
- La presión de poros se incrementa en los depósitos saturados.
- El esfuerzo efectivo se reduce.
- La resistencia al corte del suelo se reduce.
- Los depósitos de baja resistencia se contraen.



La Licuación de Suelos entonces resulta en ambos; pérdida de resistencia al corte y subsecuentemente, una reducción volumétrica ante la disipación de presión de poros (*Seed and Idriss, 1982*)

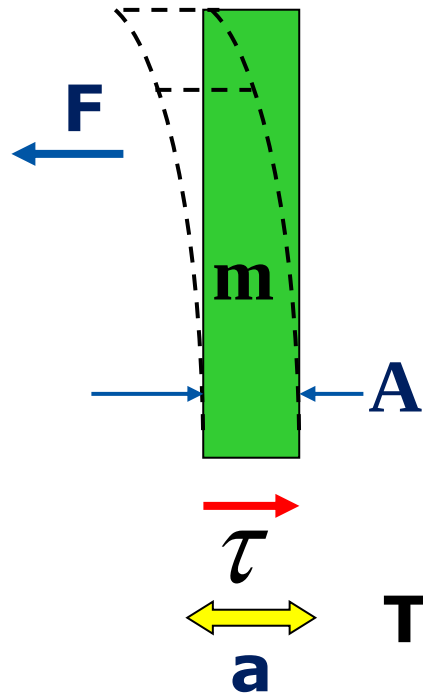


La fuerza sísmica es expresada en términos de esfuerzos cortantes cíclicos
Licuación de Suelos es relacionada con una Amplitud (a) y a la Duración del Sismo (M_w)



Demanda Sísmica

Columna de Suelo



Tasa de Esfuerzo Cíclico (CSR)

Inercia:

$$\tau = \frac{F}{A} = \frac{m a}{A} = \sigma_v a$$

Simplificación de Seed

$$a \sim 0.65 \text{ PGA} \sim 0.65 a_{\max}$$

$$\tau = (0.65 a_{\max}) \sigma_v r_d$$

$$\frac{\tau}{\sigma'_v} \approx 0.65 \frac{a_{\max}}{g} \frac{\sigma_v}{\sigma'_v} r_d$$



Resistencia ante Esfuerzos Cíclicos Cortantes

Tasa de Resistencia Cíclica (CRR)

CRR = *Cyclic Resistance Ratio*

De ensayos In-situ:

- SPT – $(N_1)_{60}$
- CPT – q_c
- Geofísica - V_s
- DMT - K_d

$$FS = \left(\frac{CRR_{7.5}}{CSR} \right) MSF$$

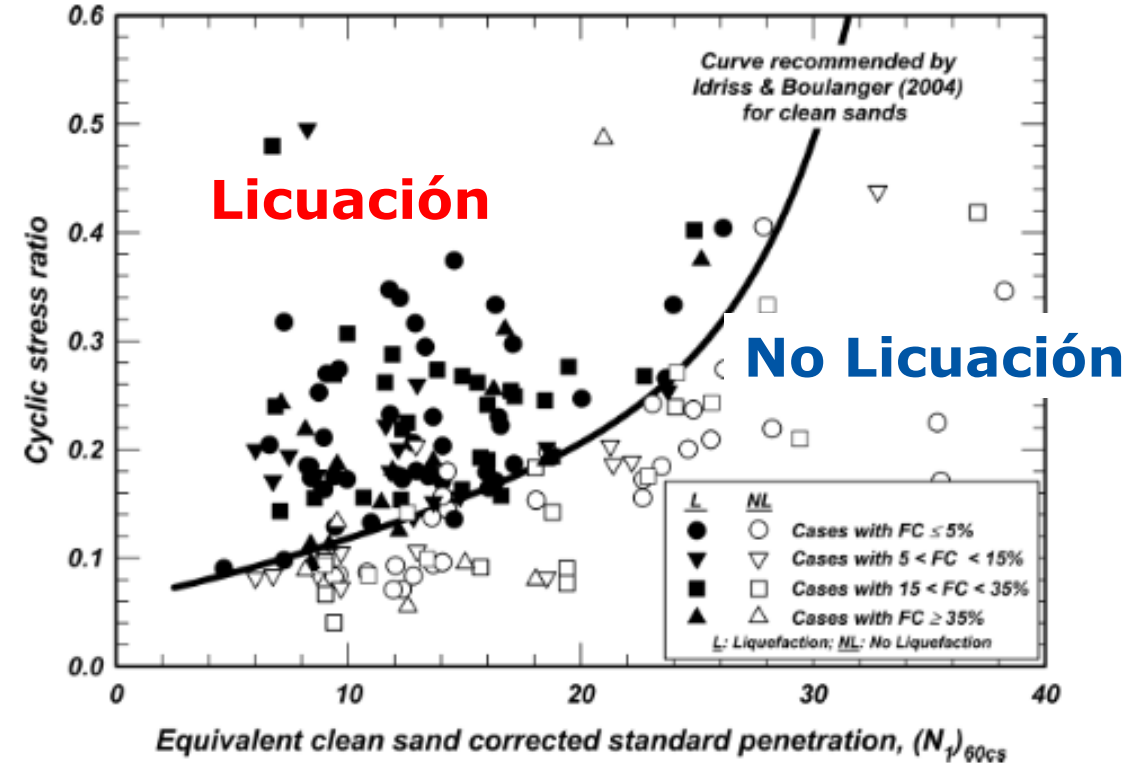
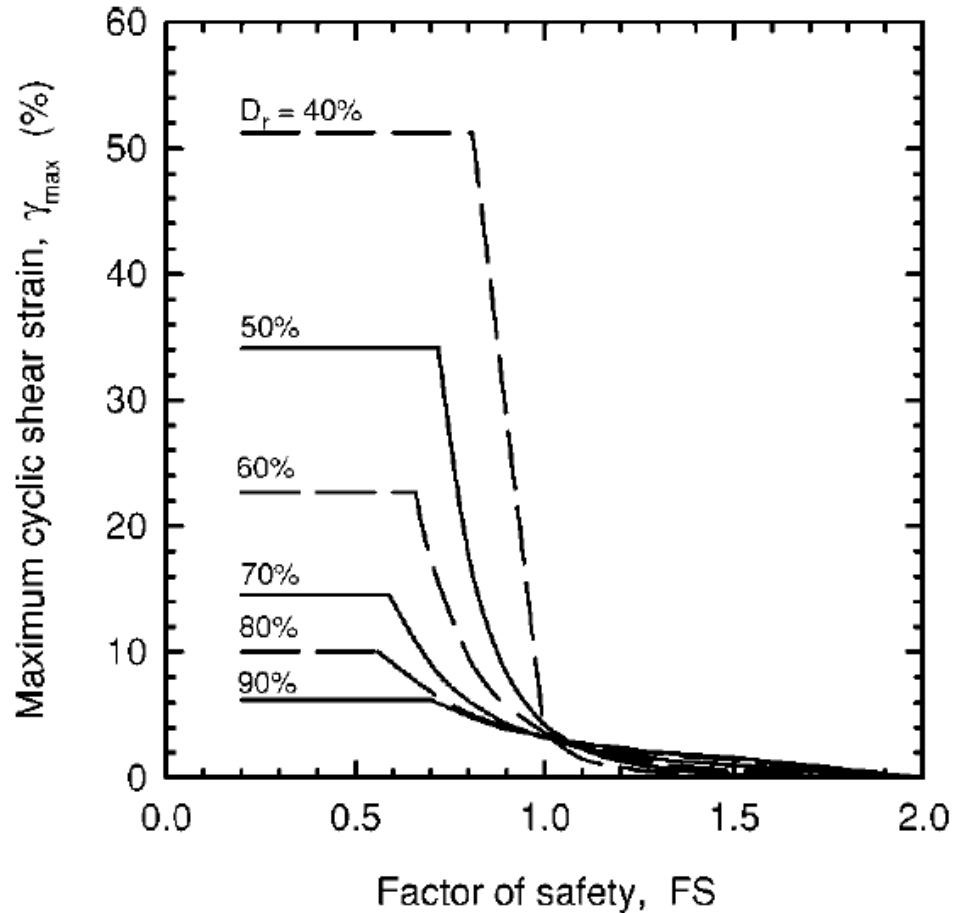
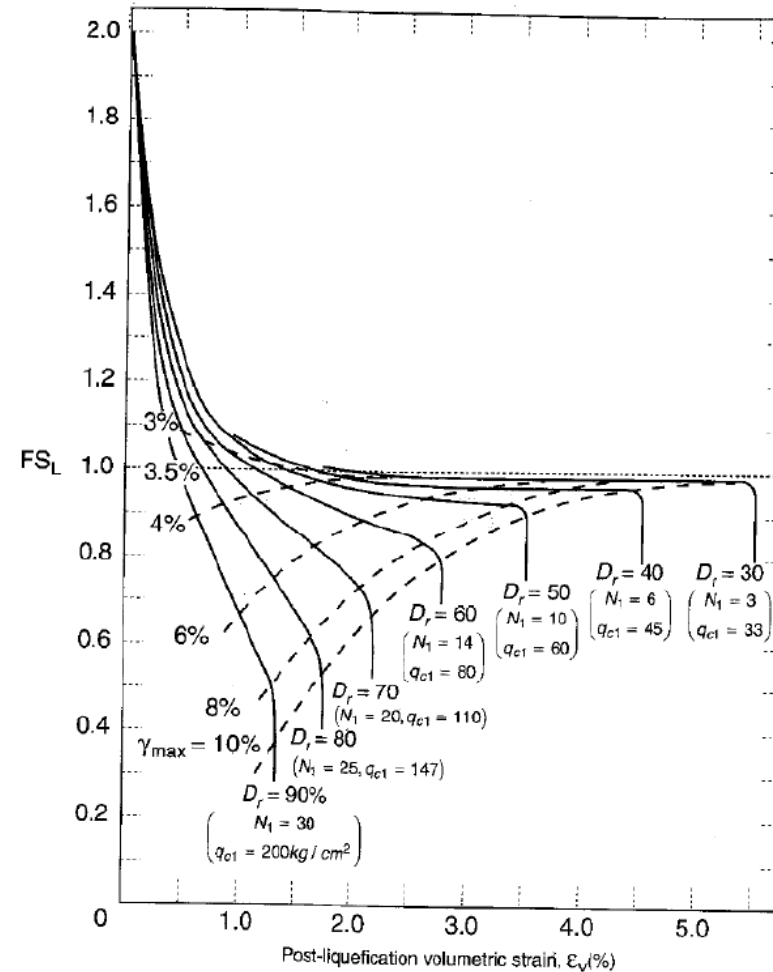


Figure 75. SPT case histories of liquefaction in cohesionless soils with various fines contents plotted versus their equivalent clean sand $(N_1)_{60cs}$ values for $M = 7.5$ and $\sigma'_{vc} = 1$ atm.

Deformaciones Inducidas por Licuación de Suelos



(Zhang, et al. 2004)



(Ishihara and Yoshimine, 1992)

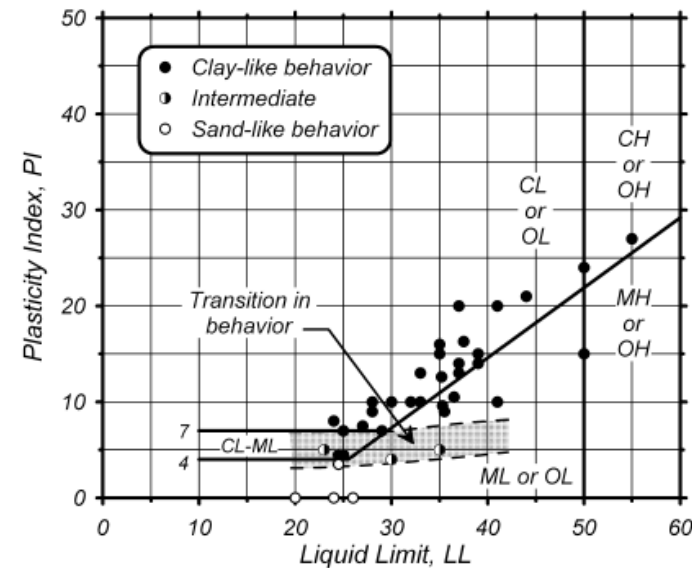
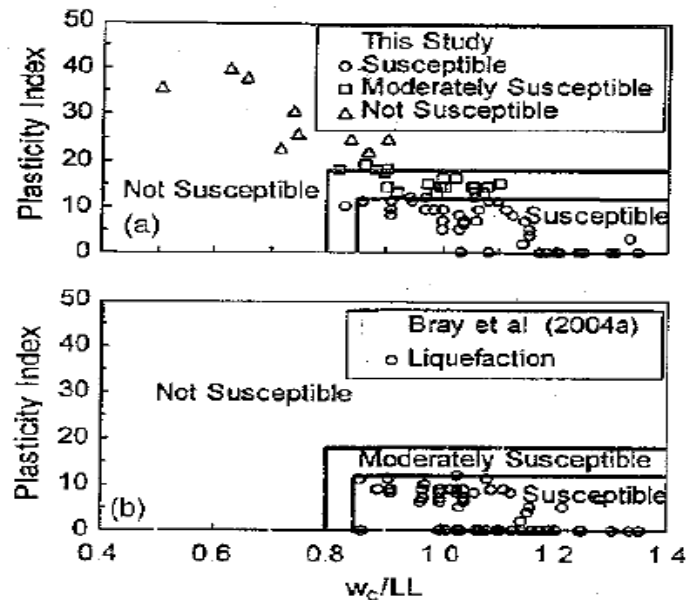
Susceptibilidad de Licuación en Suelos Finos

1. Bray & Sancio (2006):

Licuación: suelos con $IP < 12$ and $W\%/LL > 0.85$

2. Idriss & Boulanger et al. (2008):

Licuación: suelos con $IP < 7$.



AGENDA

1. Sismicidad Ecuador – Terremoto Pedernales, 2016
2. Licuación de Suelos – Terremoto Pedernales, 2016
3. Mitigación de Licuación de Suelos – Terremoto Pedernales, 2016
4. Conclusiones
5. Apéndice:
 - A. Licuación de Suelos
 - B. Daños Inducidos por Licuación**
 - C. Metodología Geopier para mitigación de Licuación



Eyecciones de Suelo

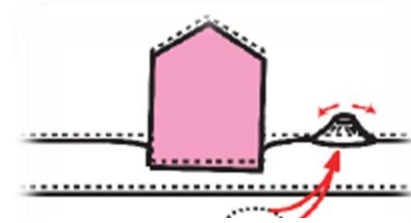
Punzonamiento

Deformación Plástica

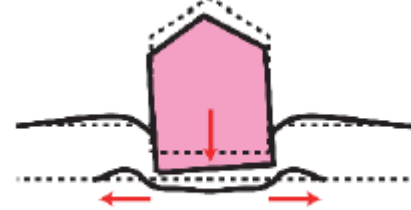
Asentamiento

Consolidación

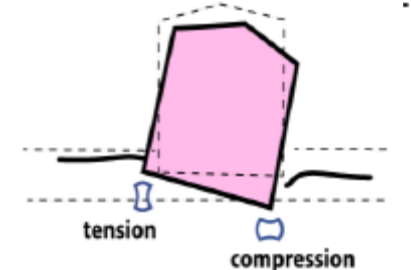
(Mod. Bray and Dashti 2014)



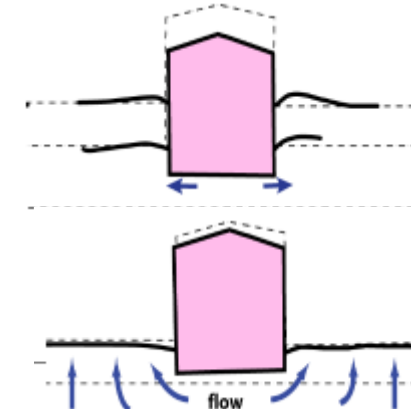
Pérdida de Suelo



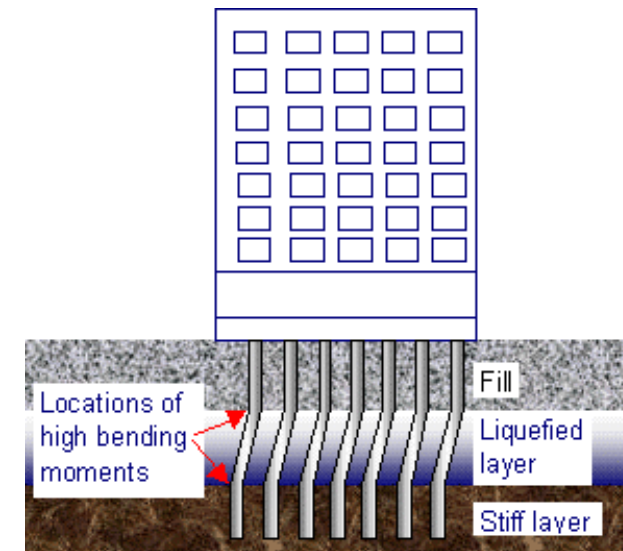
Deformaciones Inducidas por Cortante



Deformaciones Volumétricas



1. Falla por capacidad portante / asentamientos excesivos
2. Eyección excesiva / Corrimiento laterale
3. Pilotes o **Inclusiones Rígidas** estarán sujetas a momentos/esfuerzos excesivos debido a la pérdida de confinamiento del suelo circundante.



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



Procesos de inestabilidad de terraplenes viales en Colombia

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

Estos son los daños por los que cerraron la vía Cali - Buenaventura a la altura de Dagua

El corredor vial presenta graves grietas que imposibilitan la movilidad y ponen en riesgo a las personas que se transportan por esa zona

29 de Octubre de 2022



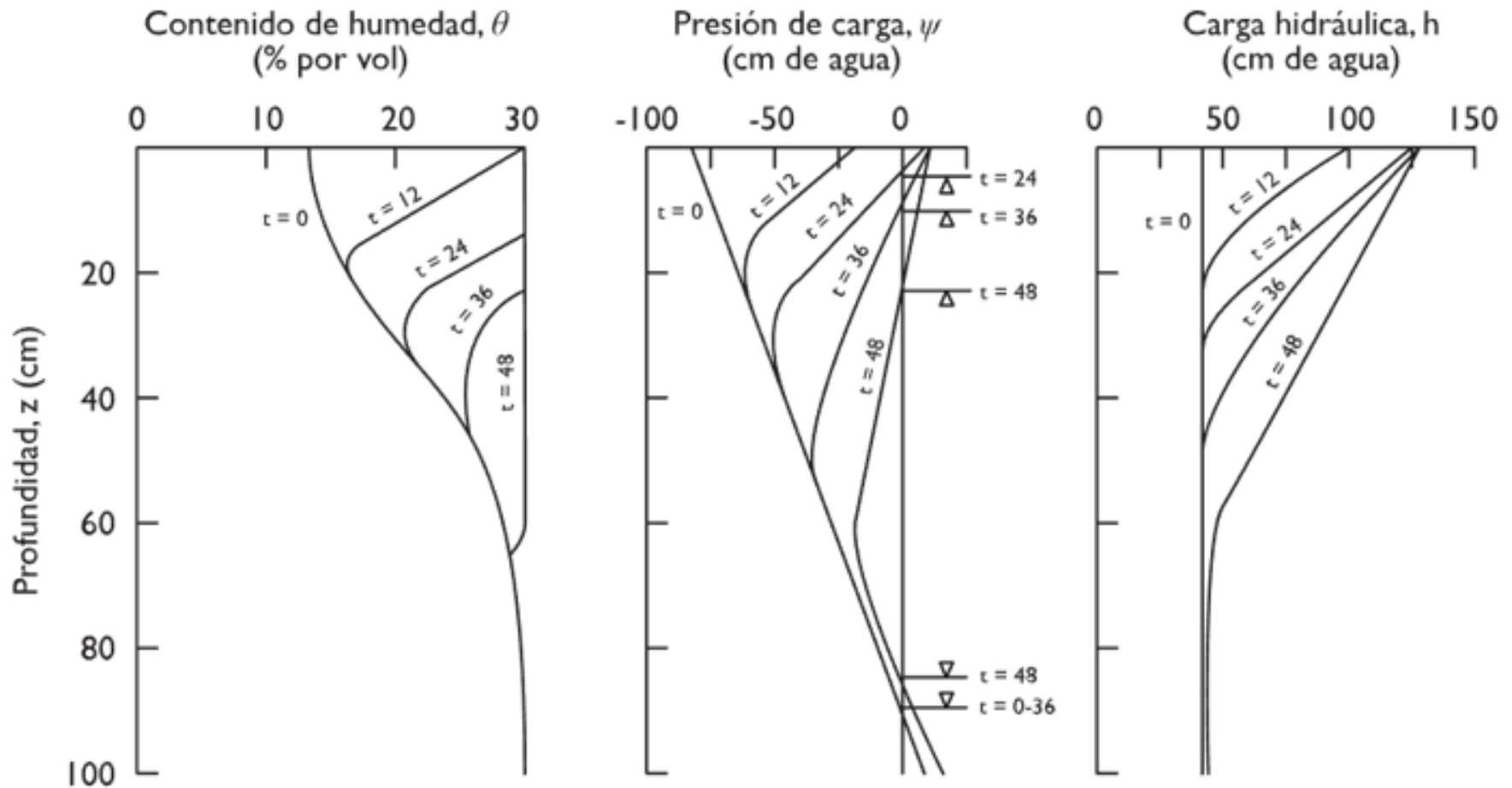
El corredor vial presenta graves grietas que imposibilitan la movilidad y ponen en riesgo a las personas que se transportan por esa zona. Foto: captura video - Twitter

 Persiste el cierre total en la Ruta del Cacao | Vanguardia

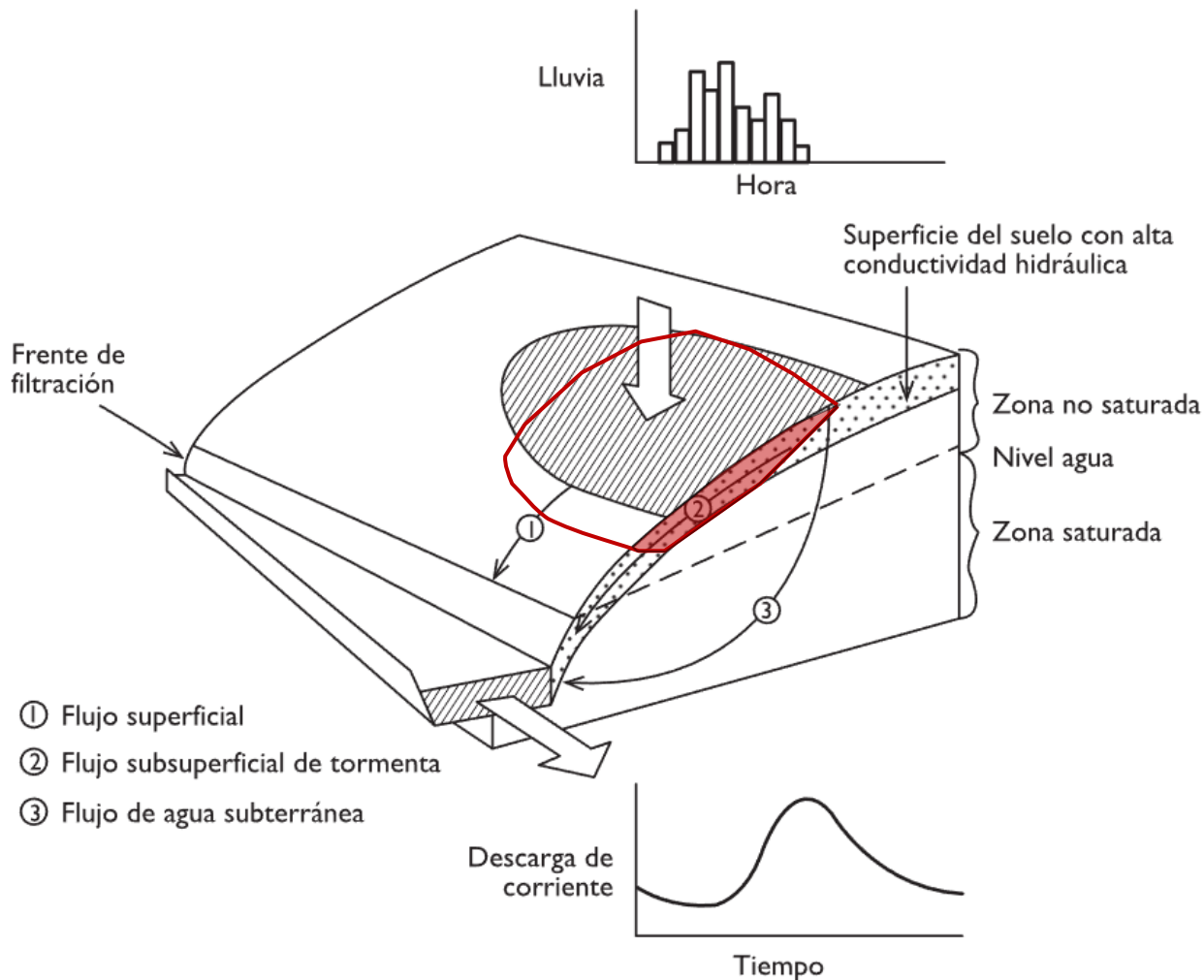
 Ver más ta...  Compartir



Desarrollo de frente de saturación en suelos parcialmente saturados (Terraplén)



Tomado de Figura 6.13 de Freeze y Cherry (1979) The Groundwater Project, Freeze A. & Cherry J. 1979.

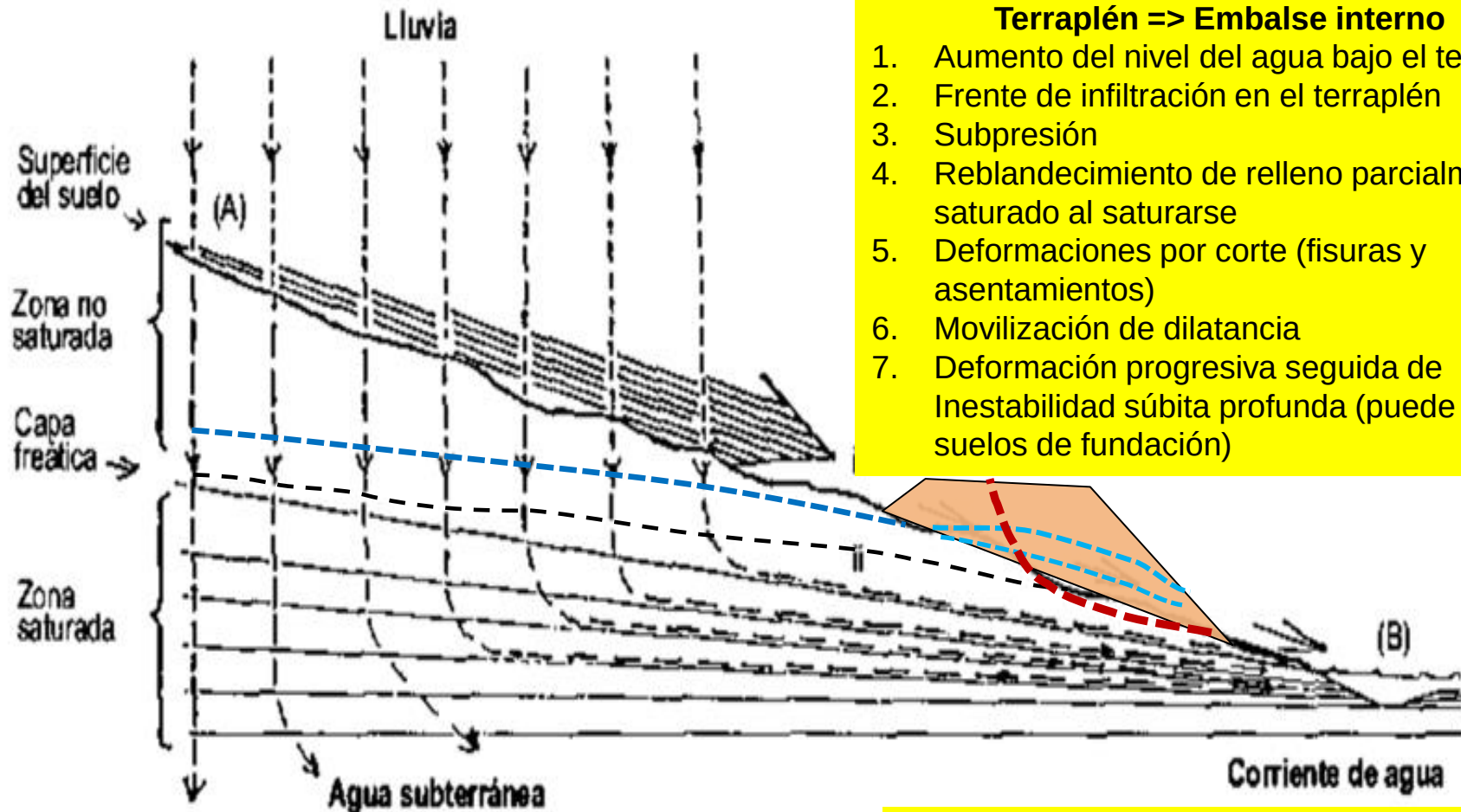


Terraplén

Infiltración superficial

1. Desarrollo de frente de infiltración
2. Saturación y reblandecimiento de suelos superficiales
3. Ciclos de expansión / contracción; desarrollo de fisuramiento superficial. Condiciona permeabilidad y futuros ciclos de reblandecimiento
4. Generación de deslizamientos superficiales de suelos reblandecidos y saturados en lluvias fuertes
5. Desarrollo de flujos de lodos o tierra relativamente superficiales

Modificado de Figura 6.17 de Freeze y Cherry (1979) The Groundwater Project, Freeze A. & Cherry J. 1979.



Terraplén => Embalse interno

1. Aumento del nivel del agua bajo el terraplén
2. Frente de infiltración en el terraplén
3. Subpresión
4. Reblandecimiento de relleno parcialmente saturado al saturarse
5. Deformaciones por corte (fisuras y asentamientos)
6. Movilización de dilatancia
7. Deformación progresiva seguida de inestabilidad súbita profunda (puede incluir suelos de fundación)

Tasa del movimiento (A) → (B)

Ruta i : Escorrentía superficial : Rápido : Minutos
 Ruta ii : Infiltración y percolación : Lento : Horas, días, semanas

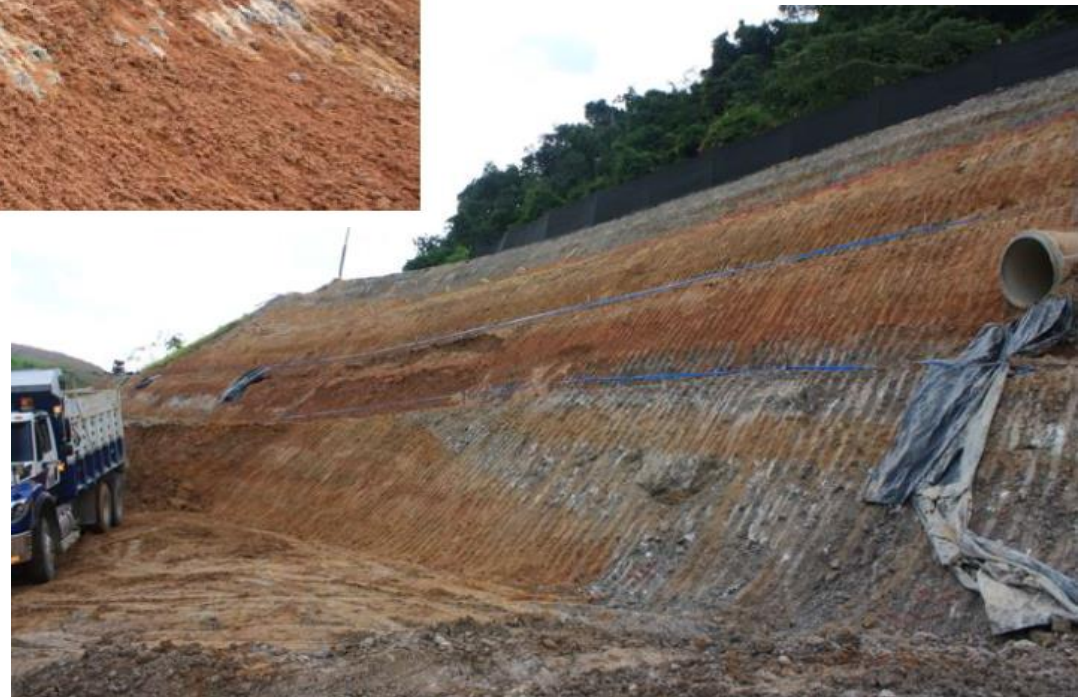
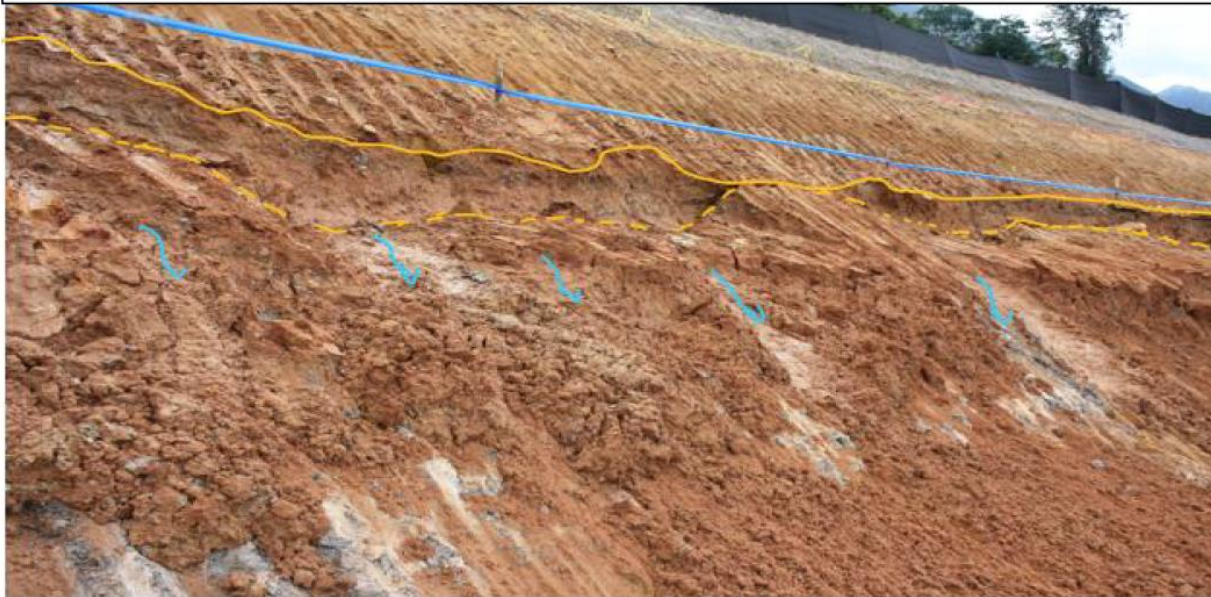
El drenaje en la base del terraplén es fundamental. Se deben evaluar las condiciones de flujo (hidrogeología) para definir donde se debe colocar.

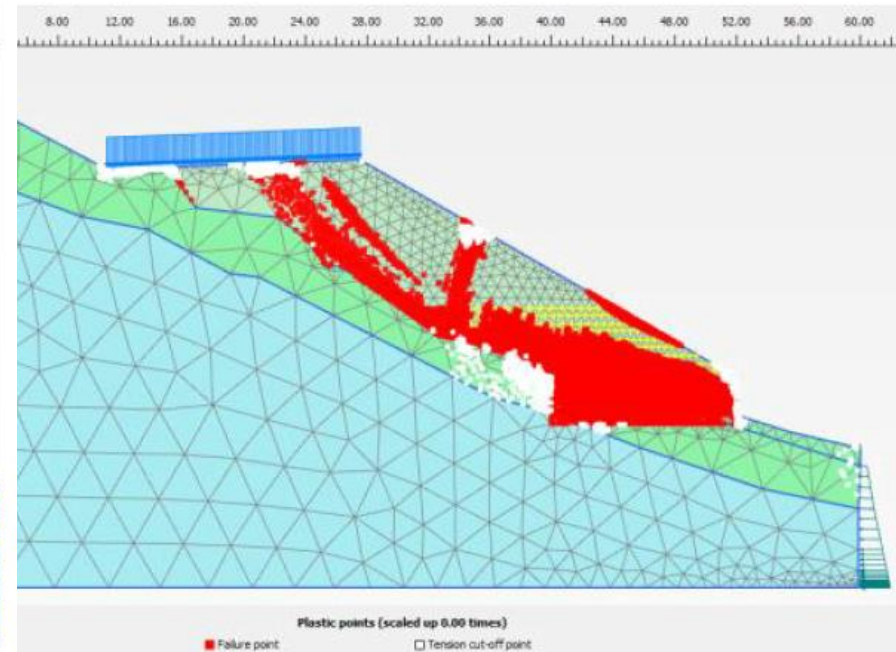
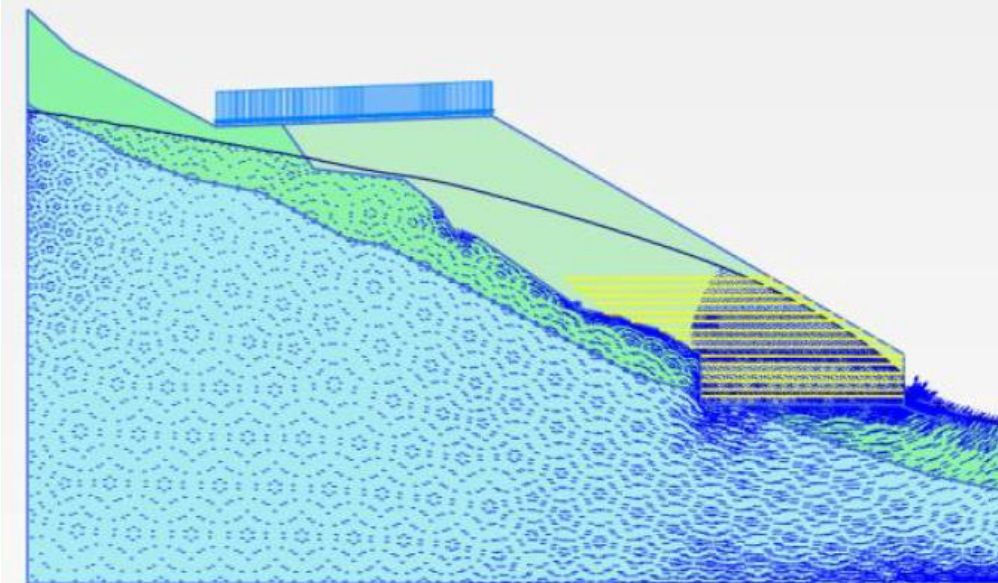
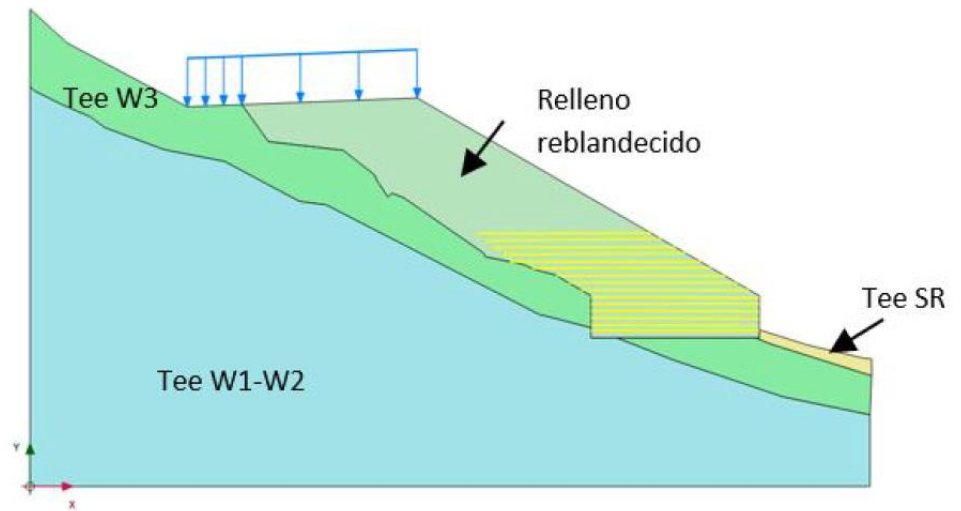
(Adaptado de *The Groundwater Project*, Freeze A. & Cherry J. 1979)

Talud de corte al norte del terraplén inestable. Se aprecia una zona de fracturamiento por replegamiento o una pequeña zona de falla. Hay cambios en la orientación de los estratos y alto fracturamiento. Se aprecia salida de agua en múltiples puntos del talud, indicativo de recarga y flujo en el macizo a lo largo de discontinuidades y estratos permeables.



Detalle de los deslizamientos recientes de material de relleno saturado con flujo de agua saliendo del terraplén.





Desarrollo de presiones de poros por sobrecarga en el Terraplén y la fundación

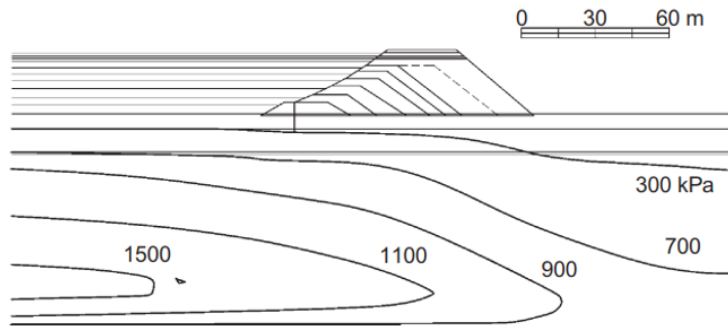


Fig. 14. Distribution of pore water pressures in last stage of FE calculations, immediately prior to failure

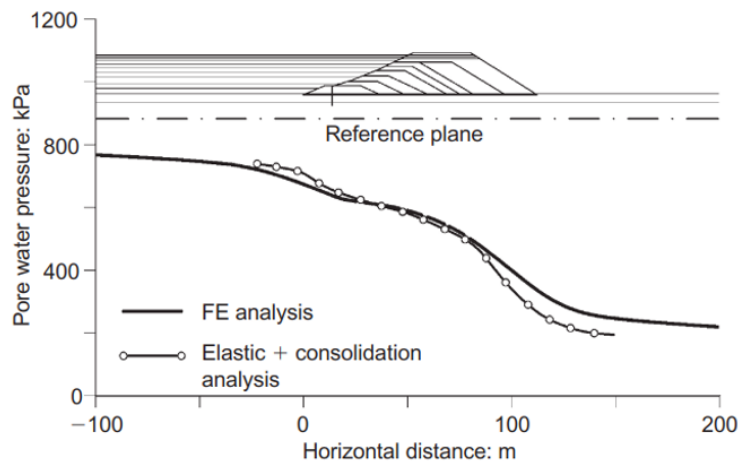


Fig. 15. Distribution of pore water pressures along failure surface (reference plane): comparison of FE and simplified elastic-consolidation analysis

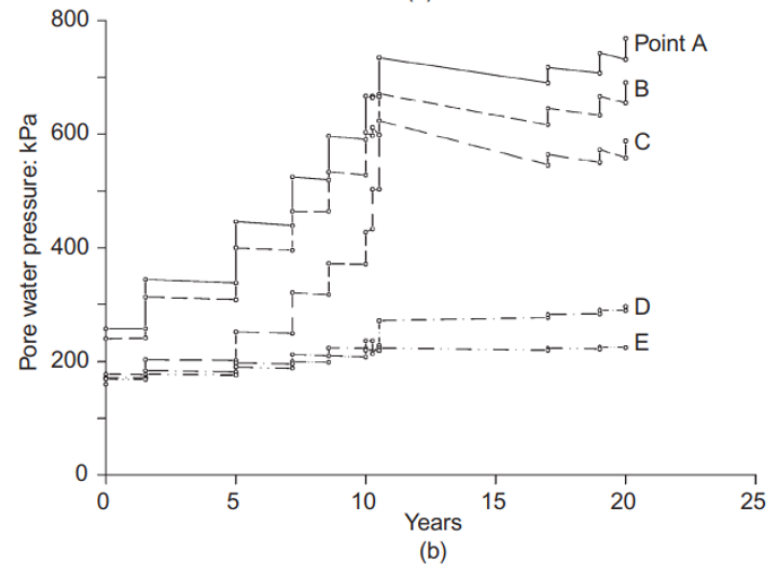
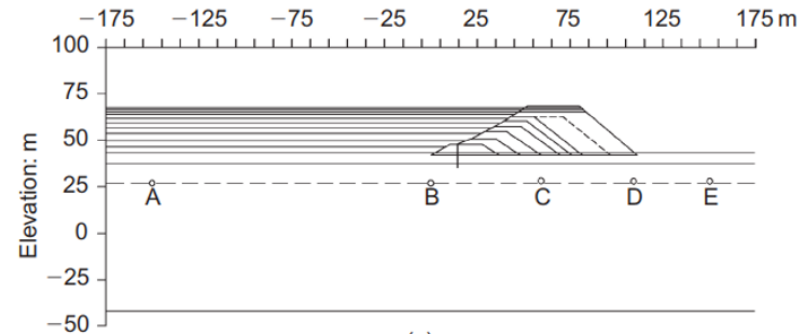
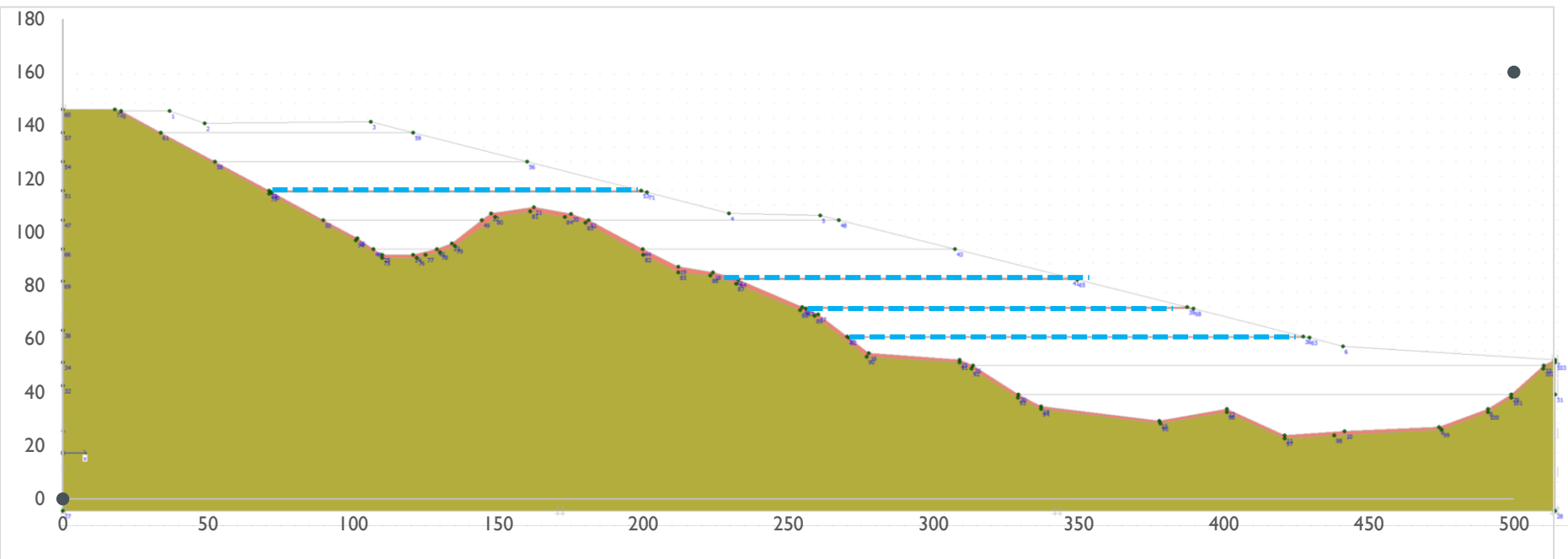


Fig. 16. Calculated development of pore water pressure at points of failure surface: FE analysis

Tomado de Alonso, E. E. & Gens, A. (2006) Aznalcollar dam failure. Part 2: Stability conditions.

Geotechnique 56, No. 3, 185–201.

JEOPROBE Estabilidad Terraplenes 10

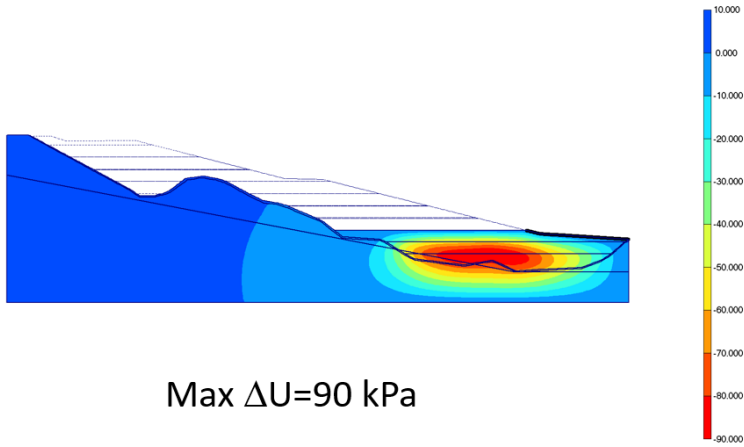


Terraplén => Desarrollo de presiones de poros

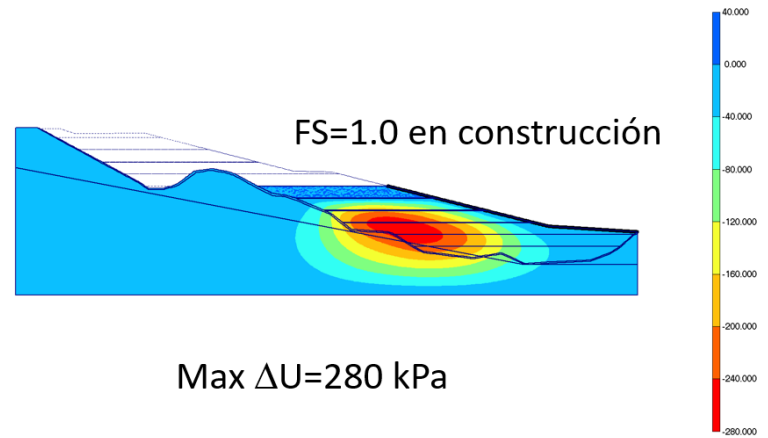
1. Compresión por capas sucesivas de relleno produce saturación del suelo parcialmente saturado
2. Posteriormente se producen incrementos de presión de poros que reducen los esfuerzos efectivos
3. El tiempo de construcción, la permeabilidad del material y las condiciones de frontera y drenaje condicionan el desarrollo de la consolidación y la disipación de presiones de poros
4. Las presiones de poros y la pérdida de succión pueden generar inestabilidad
5. Se debe evaluar la estabilidad teniendo en cuenta el proceso constructivo y el desarrollo de la consolidación
6. Es posible que se requiera implementar drenaje interno. Esto se debe diseñar consecuentemente con la posibilidad de generación de presiones de poros.

EXCESOS DE PRESION DE POROS

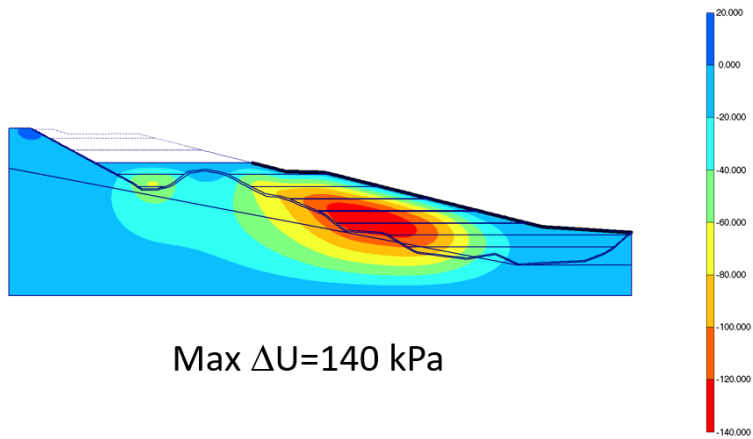
SIN DRENAJE



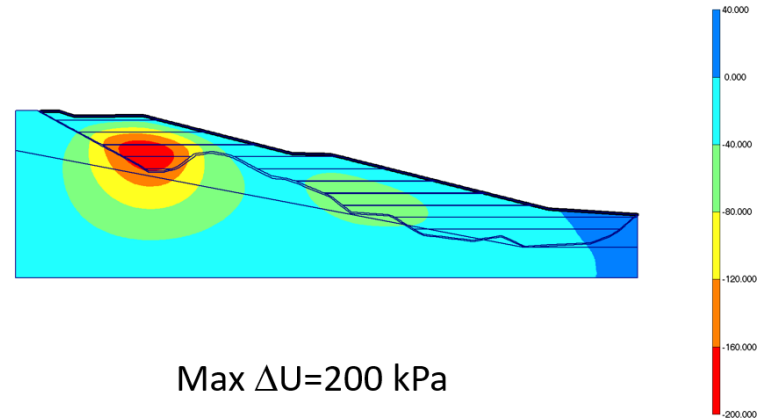
$\text{Max } \Delta U = 90 \text{ kPa}$



$\text{Max } \Delta U = 280 \text{ kPa}$

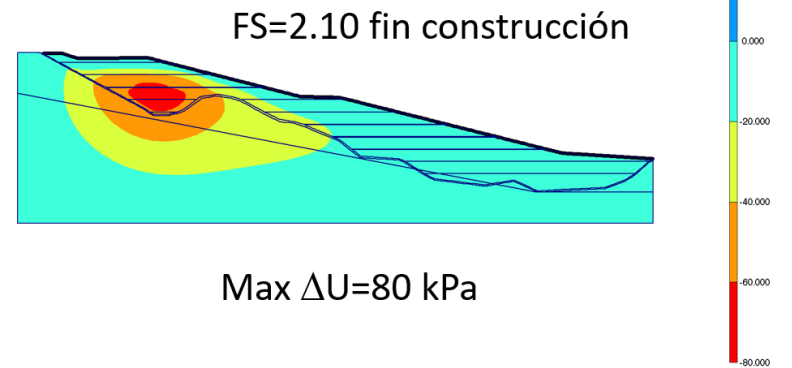
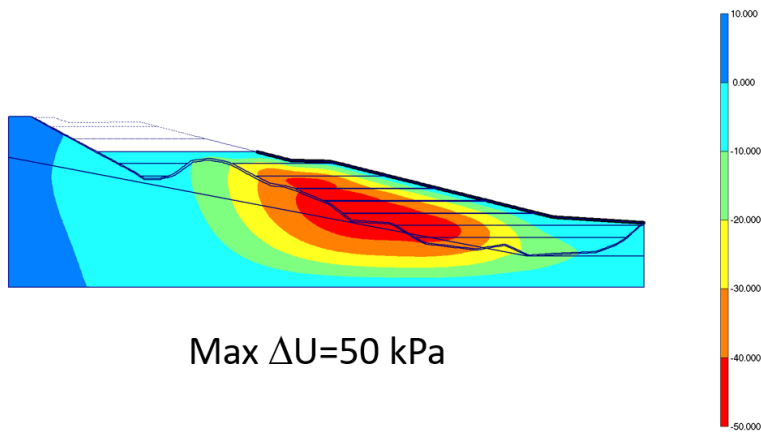
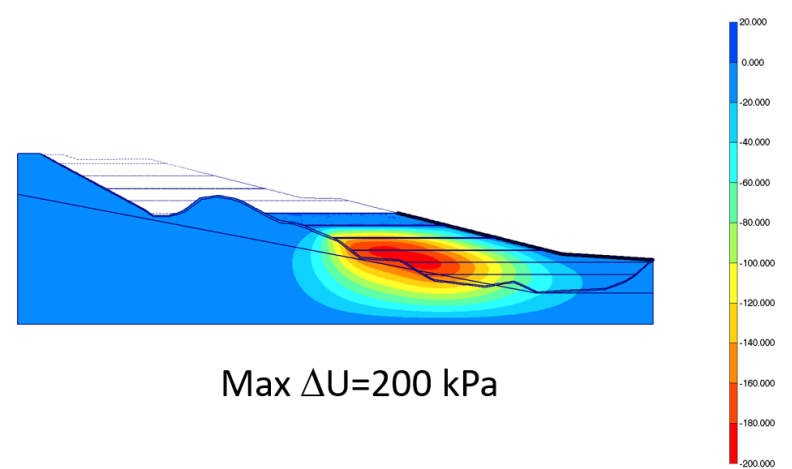
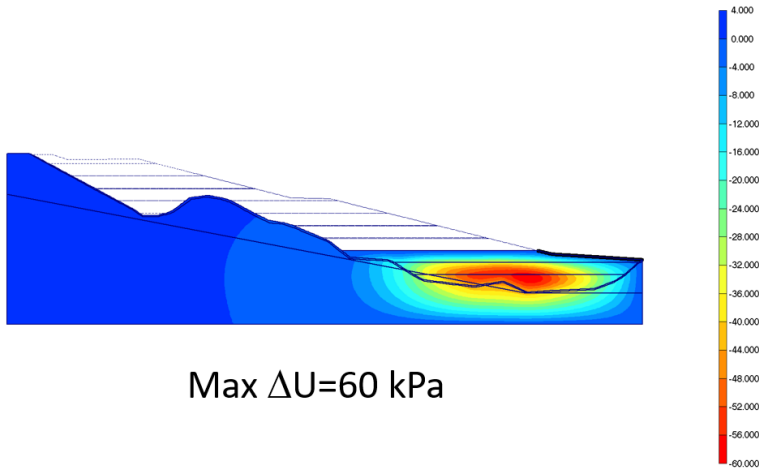


$\text{Max } \Delta U = 140 \text{ kPa}$



$\text{Max } \Delta U = 200 \text{ kPa}$

EXCESOS DE PRESION DE POROS CAPAS DRENANTES Y FILTRO





¡GRACIAS!

¿Preguntas?

■ Jorge.rodriguez@jeoprobe.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



EL ASFALTO ESPUMADO, EXPERIENCIAS LLEVADAS A CABO DESDE LA ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERA JULIO GARAVITO

Daniela Alejandra Ladino García
Estudiante

Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito



CONTENIDO

1. EL ASFALTO ESPUMADO
2. VENTAJAS Y USOS DEL ASFALTO ESPUMADO
3. LA ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA COMO PIONERA DE INVESTIGACIÓN
4. RESULTADOS OBTENIDOS EN LA INVESTIGACIÓN
5. RECURSOS DE LA INSTITUCIÓN
6. PROYECCIÓN DEL SEMILLERO DE PAVIMENTOS



EL ASFALTO ESPUMADO

Es un tipo de mezcla asfáltica que suele ser más sostenible y eco amigable puesto que para su elaboración sus componentes (agregados) se mezclan a temperatura ambiente y finalmente la adición del asfalto se realiza a temperaturas de entre 160°C a 180°C y combinándolo con aire presurizado y agua produciendo así el efecto de espumado.



VENTAJAS Y USOS DEL ASFALTO ESPUMADO

- **Ventajas**
 - Reducción de la huella de carbono
 - Facilidad de producción
 - Menores costos
- **Desventajas**
 - Es muy innovador y hay muchas incertidumbres
 - El uso del agua en la mezcla es un factor de cuidado
 - No siempre cumple con los requerimientos, por lo que es necesario hacer modificaciones con aditivos y demás



LA ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERIA COMO PIONERA DE INVESTIGACIÓN

Año	Titulo	Autor	Referencia
2021	Evaluación del impacto del uso de RAP en las propiedades de mezclas asfálticas tibias con tecnología de espumado	Andrés Felipe Ortiz Aristizábal	[1]
2019	Parámetros de resistencia al corte (cohesión y ángulo de fricción interna) de materiales estabilizados con asfalto espumado.	Dairo Stevens Puentes Penagos	[2]
2018	Ecuaciones constitutivas de módulo resiliente para materiales tratados con asfalto espumado	Sandy Jazmín Pardo Herreño	[3]
2019	Óxido de calcio o hidróxido de calcio para la estabilización de materiales no estándar con asfalto espumado	José Leonardo Gutiérrez Tejedor	[4]

Tabla 1. Referencias de los trabajos de grado realizados en la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito relacionados al asfalto espumado.



RESULTADOS OBTENIDOS EN LA INVESTIGACIÓN

Referencia	Compuesto tratado	Objeto de estudio	Variables	Ensayo	Resultados
[1]	Mezcla asfáltica	MDC – 19 con incorporación de RAP	RAP (40% - 60%)	Resistencia a la tensión indirecta y susceptibilidad a la humedad	Las mezclas con RAP presentan menor resistencia a la fatiga y compactibilidad
[2]	Base estabilizada	Materiales granulares estabilizados e incorporación de RAP	Porciones de material granular/RAP: 100/0, 85/15, 70/30 y 50/50	Ensayos triaxiales monotónicos	Valores de cohesión entre 227kPa y 620kPa y los ángulos de fricción entre 19° y 50°.
[3]	Base estabilizada	Materiales granulares estabilizados e incorporación de RAP	Porciones de material granular/RAP: 100/0, 85/15, 70/30 y 50/50	Pruebas triaxiales dinámicas; Modulo resiliente	No hay tendencia definida de variación del Mr con el incremento en el RAP, ni con el tipo de asfalto, ni con los cambios del tipo de llenante
[4]	Base estabilizada	Material de base granular estabilizado con adición de Cal	2,5% CaO y 3,0% Ca(OH) ₂	ITSdry, ITSwet, TSR, Modulo resiliente	Se recomienda ampliamente el uso de CaO para el pretratamiento de materiales no estándar que presenten índices de plasticidad superiores a 10 y su estabilización posterior con asfalto espumado

Tabla 2. Aspectos más relevantes de los trabajos de grado realizados en la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito relacionados al asfalto espumado.



RECURSOS DE LA INSTITUCIÓN



Figura 1. Planta móvil de producción de asfalto espumado de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.



PROYECCIÓN DEL SEMILLERO DE PAVIMENTOS

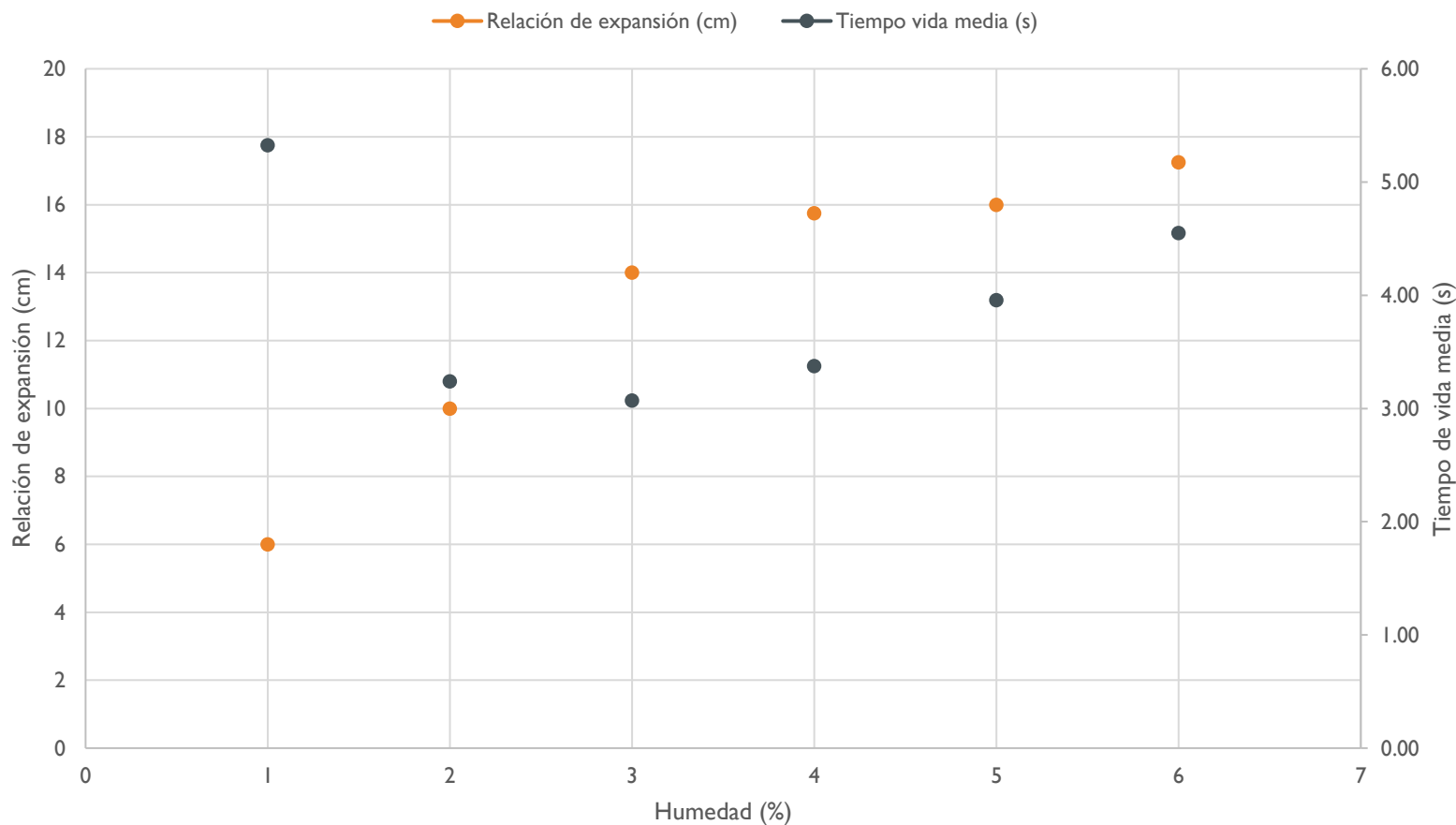
Temperatura (°C)	Betun	Humedad (%)	Tiempo vida media (s)	Promedio	Relacion de expansion (cm)	Promedio
140	60-70	1	6,7	5,33	6	6
			4,45		6	
			4,83		6	
140	60-70	2	3,44	3,24	12	10
			2,97		12	
			3,66		8	
			2,89		8	
140	60-70	3	2,66	3,07	14	14
			3,3		14	
			3,25		14	
140	60-70	4	2,69	3,38	16	15,75
			3,35		16	
			4		15	
			3,46		16	
140	60-70	5	3,31	3,96	16	16
			4,02		16	
			4,54		16	
140	60-70	6	5,28	4,55	16	17,25
			4,45		17	
			4,13		18	
			4,34		18	

Tabla 3. Resultados obtenidos en practica de asfalto espumado del semillero de pavimentos en la escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.



PROYECCIÓN DEL SEMILLERO DE PAVIMENTOS

Propiedades practica asfalto espumado





PROYECCIÓN DEL SEMILLERO DE PAVIMENTOS



Figura 2. Probetas de asfalto espumado y asfalto convencional.



Figura 3. Probetas de asfalto espumado y asfalto convencional.



XVII CCG
I SSAG 2022

Cartagena



SCG

50
años

1971-2021

¡GRACIAS!

¿Preguntas?

daniela.ladino@mail.escuelaing.edu.co