



ASOCIACIÓN PARAGUAYA DE CARRETERAS

■ CONGRESO PARAGUAYO

2do

Vialidad y Tránsito

6 y 7 de Octubre 2016 | Encarnación
EXPO VIAL | Paraguay



Evaluación Estructural de Terreno y Laboratorio para Suelos Arcillosos Estabilizados Químicamente

Álvaro González, Ing. Civil, MSc, PhD
Profesor Investigador, Facultad de Ingeniería
Universidad del Desarrollo, Santiago, Chile

2^{do} Congreso Paraguayo de Vialidad y Tránsito
6 y 7 de octubre 2016, Encarnación, Paraguay

Sectores Productivos de Chile



Minería



Pesca



Agricultura



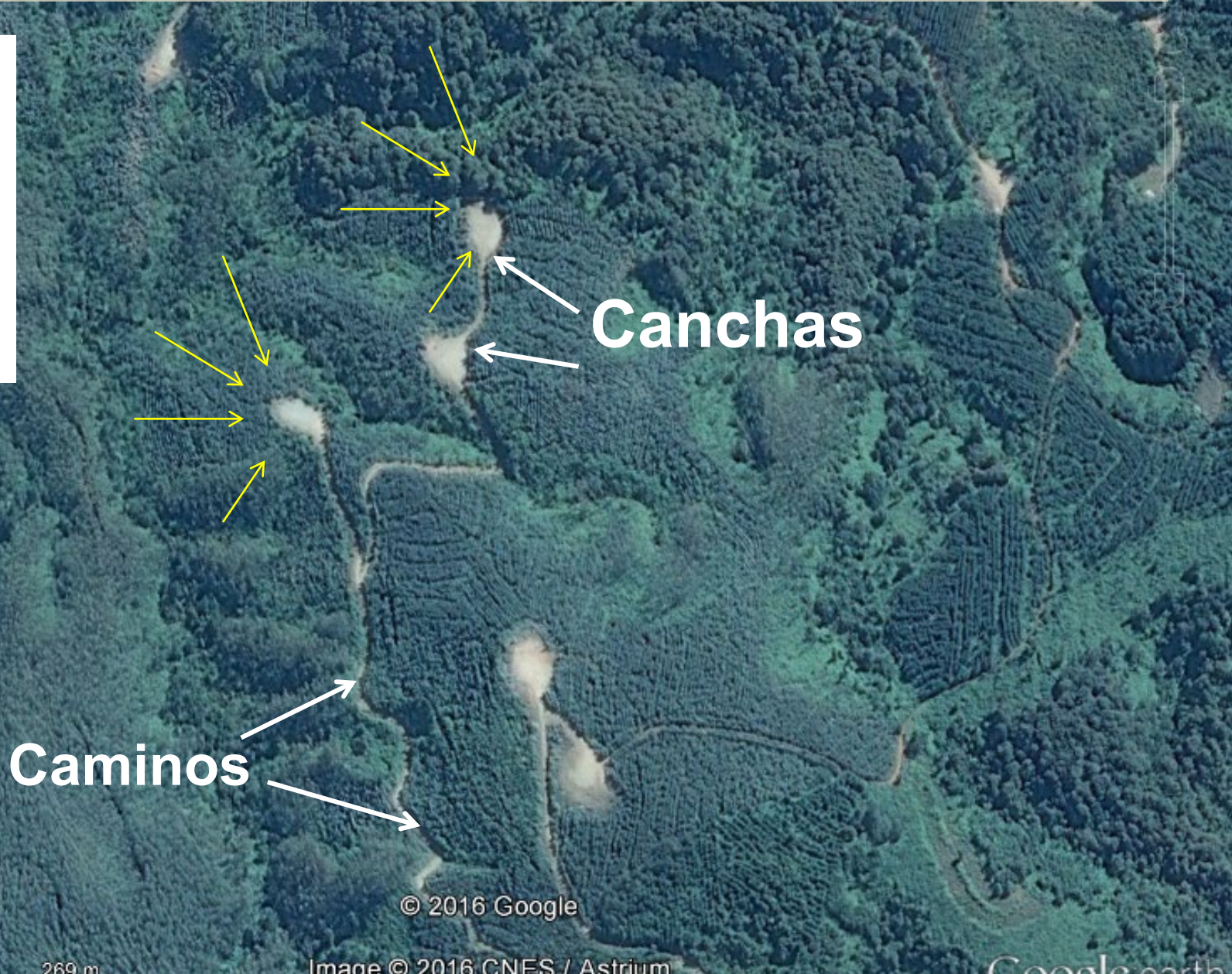
Forestal



Industria Forestal en Chile

- ~3% PIB
- 2^{do} sector exportador USD 6 mil millones
- Recurso Renovable
- Captura 25% de emisiones a la atmósfera
- Extracción por **canchas y caminos**

Cosecha y Extracción



© 2016 Google

269 m

Image © 2016 CNES / Astrium

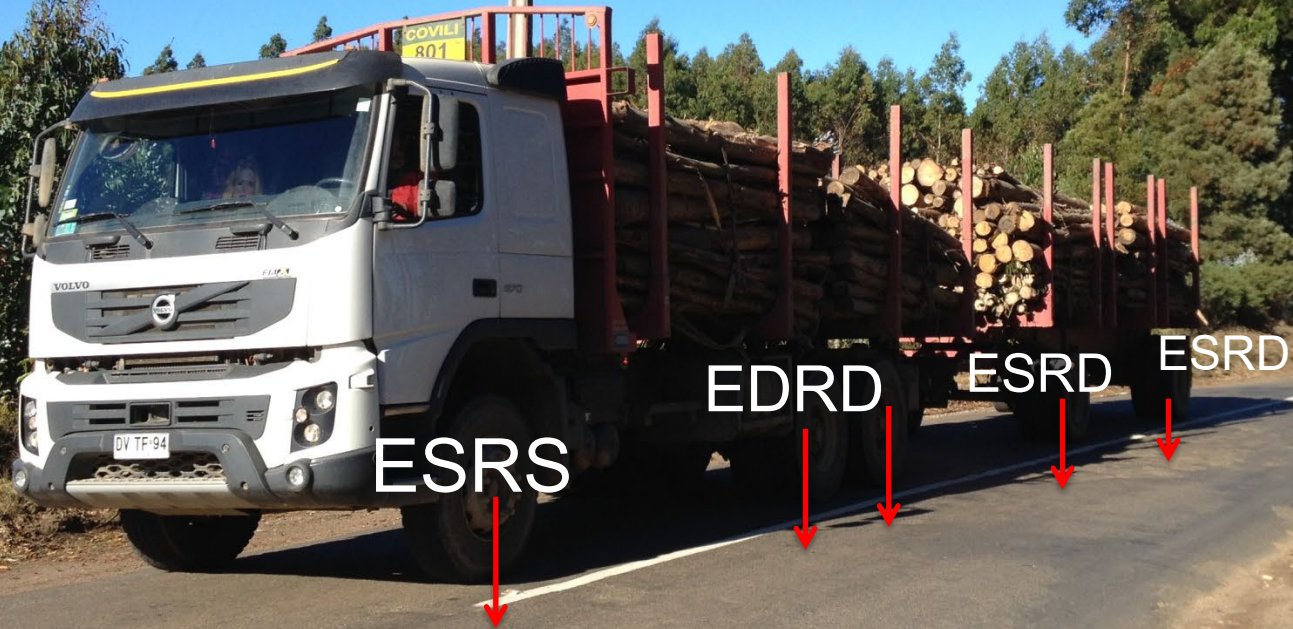
Google earth

Carga de Madera en Canchas



El camino forestal está sometido a condiciones extremas...

Carga: suele superar límite legal



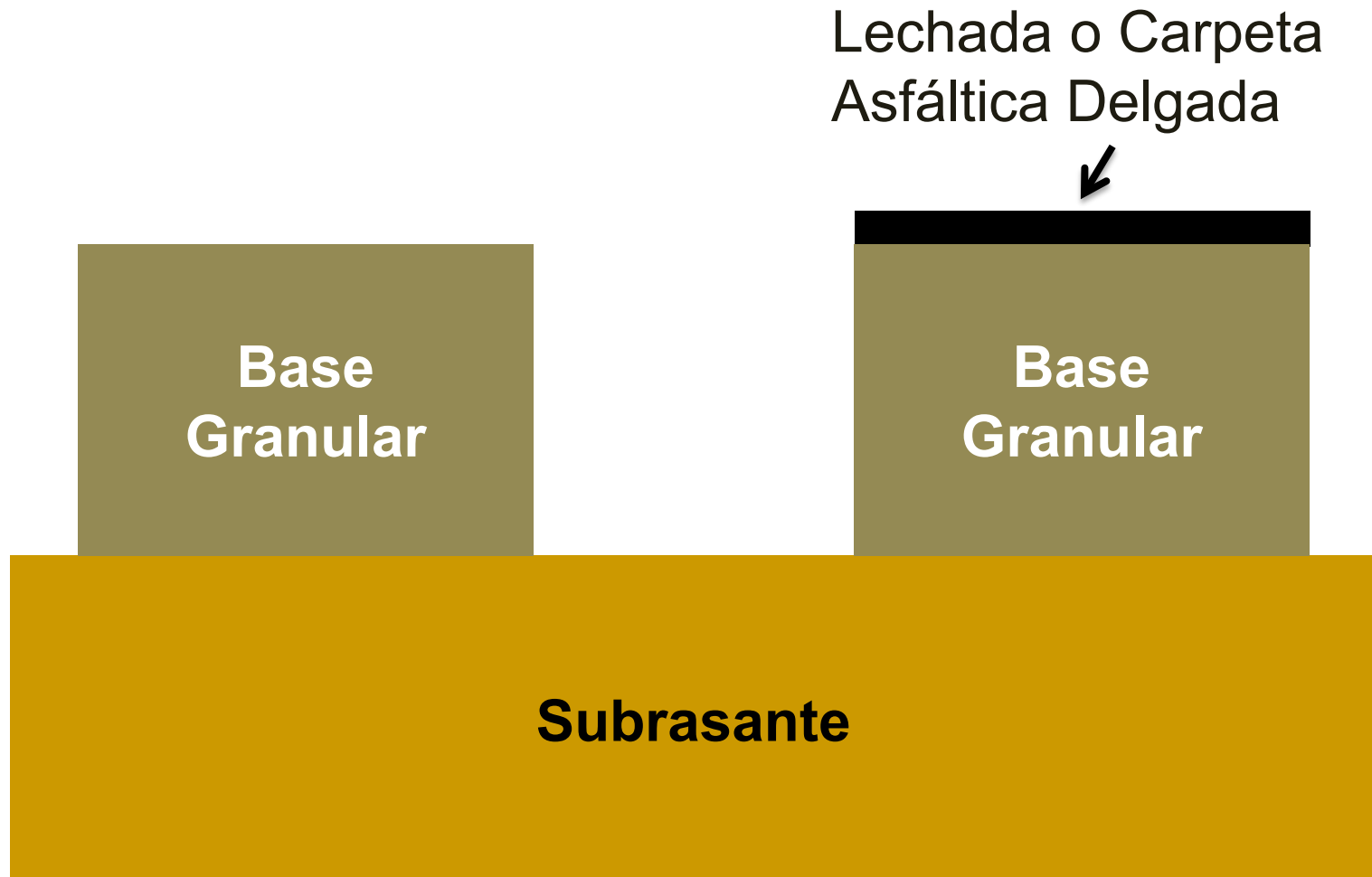
Clima: 1.000-3.000 mm lluvia /año



Suelos: Arcillas



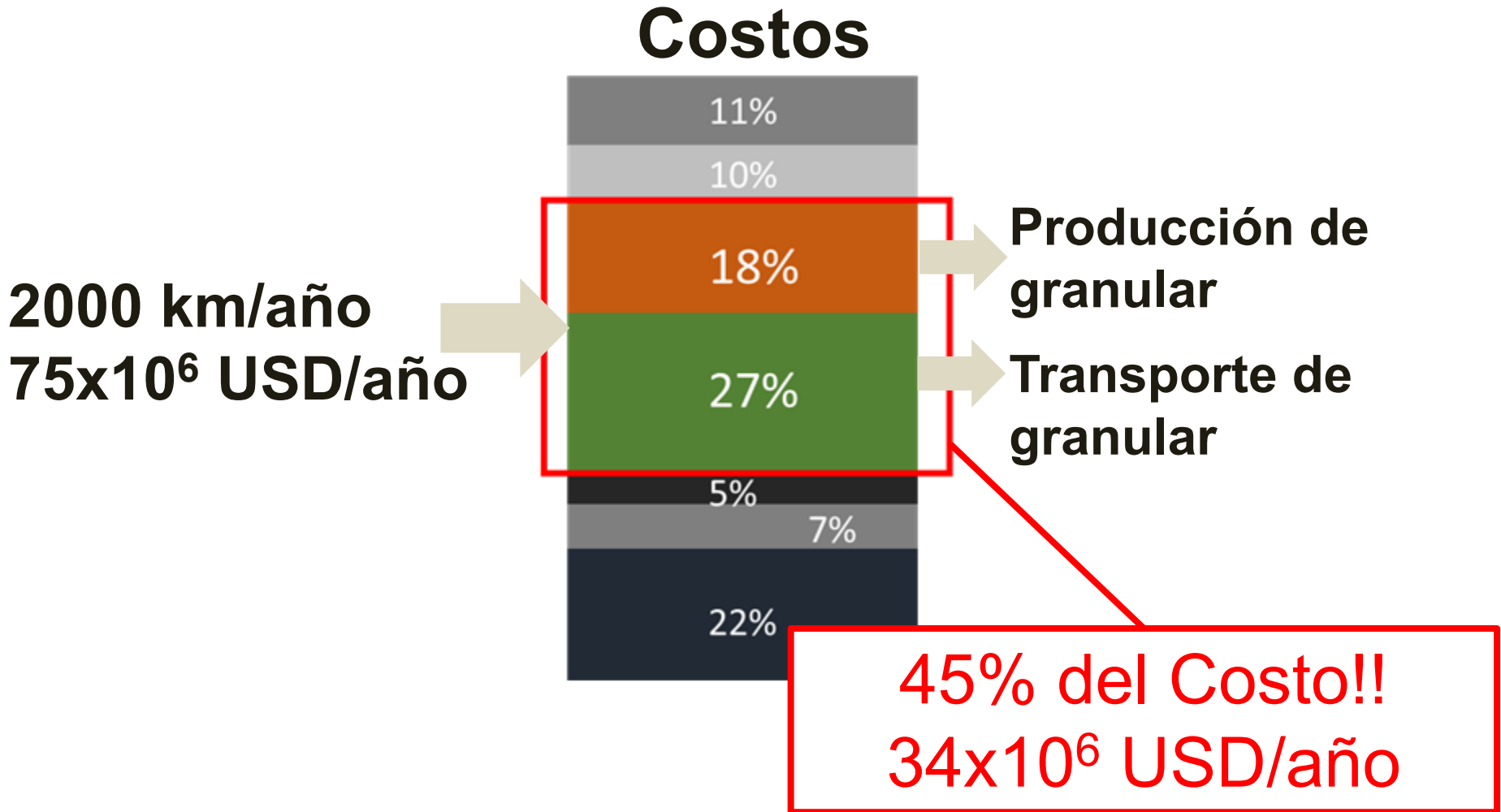
Estructuración de Camino Forestal



Producción de Base Granular...



Costos en Granular al Año



Costos en Granular al Año



**Hay interés por reducir el consumo de granular...
una opción es estabilizar químicamente los
suelos disponibles**

Estabilización Química de Arcillas



Aumenta:

**Resistencia – Durabilidad – Impermeabilidad –
Estabilidad Volumétrica**

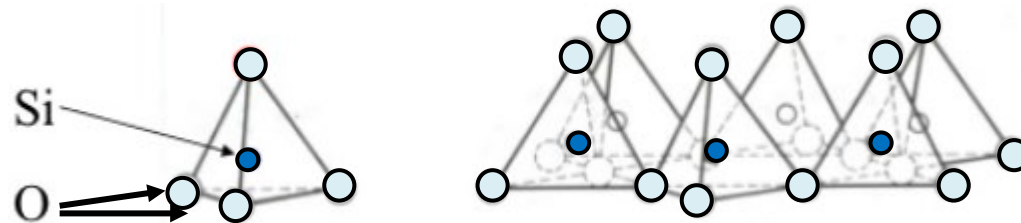
Estabilización Química de Arcillas



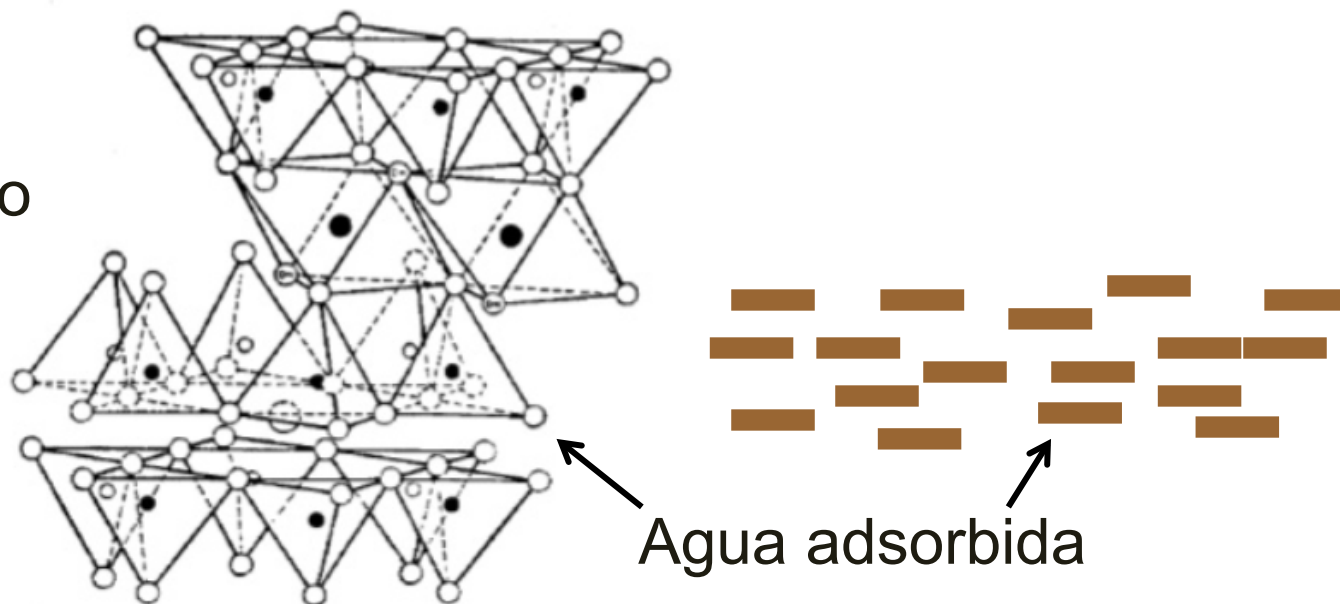
Uso de Material Local – Menor Costo – Menor Impacto Ambiental – Mayor Productividad

Estabilización Química de Arcillas

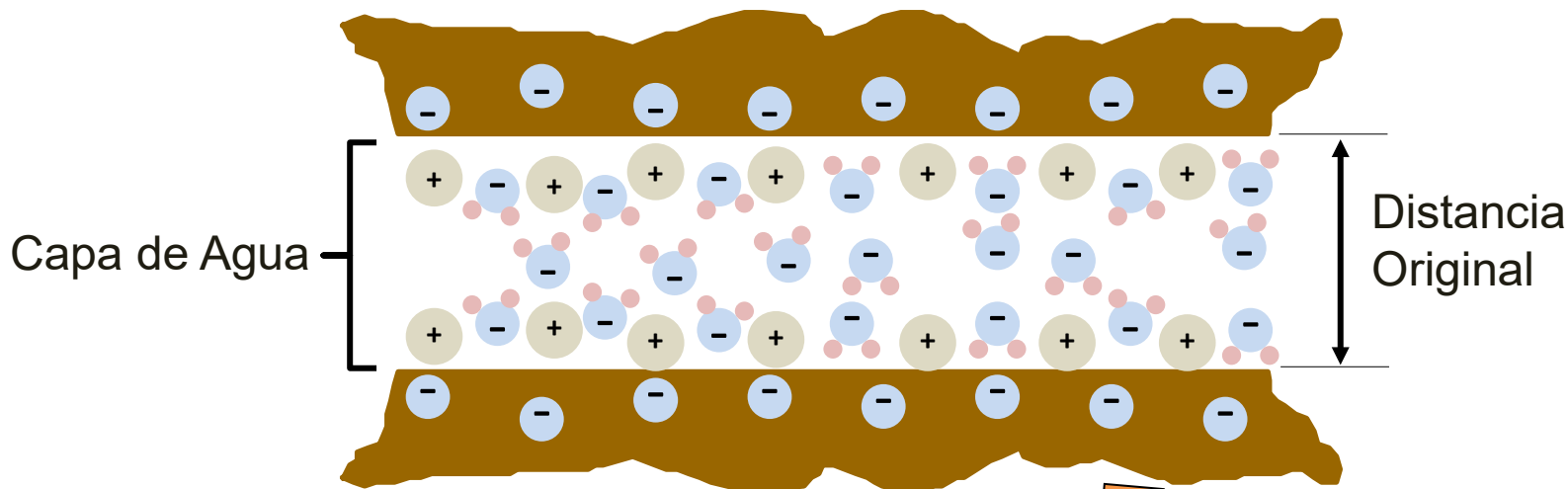
Unidades
Fundamentales



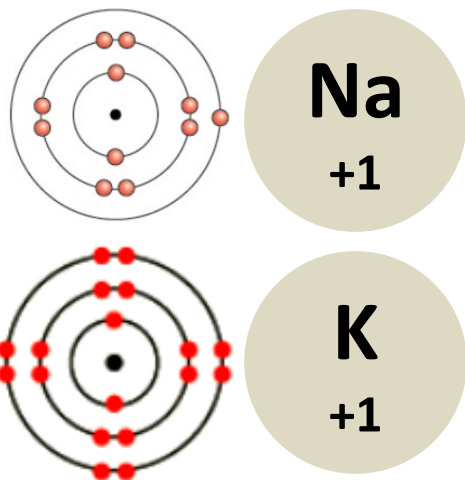
Ordenamiento
Laminar



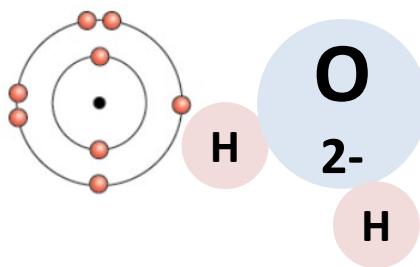
Estabilización Química de Arcillas



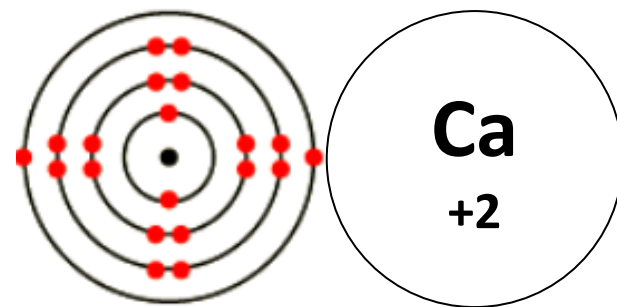
Cationes Libres



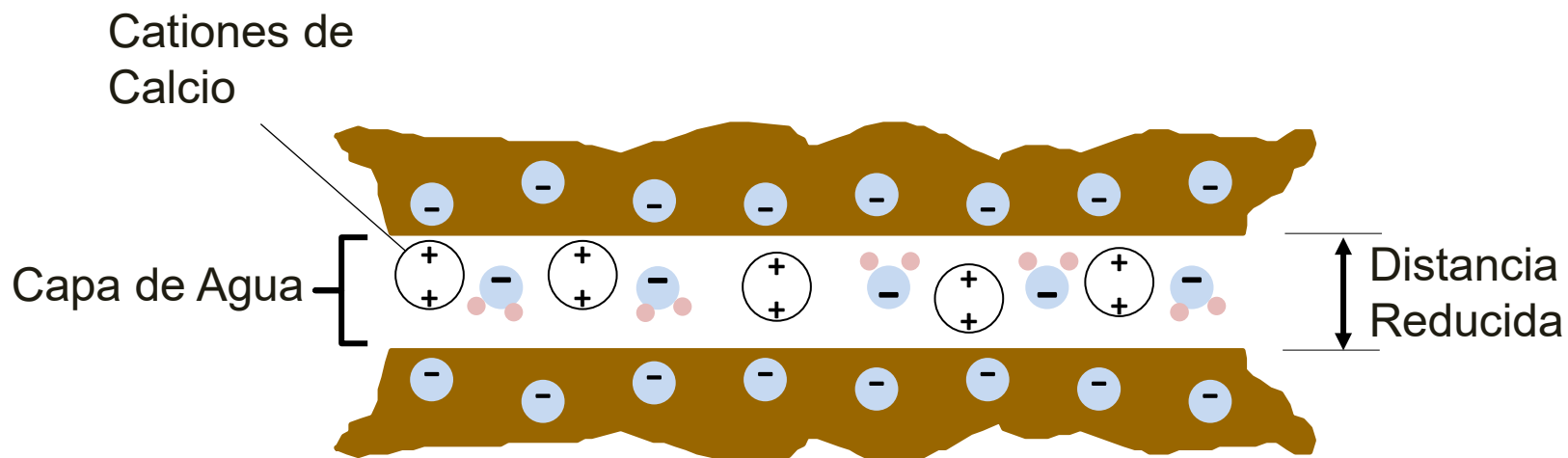
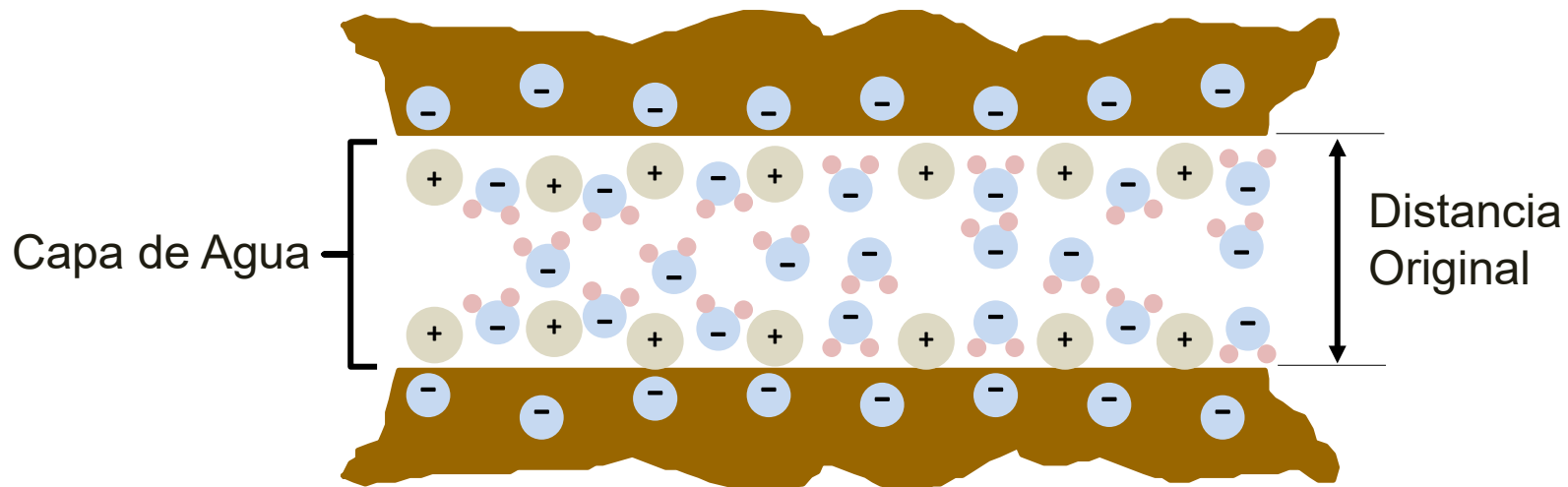
Agua



Cal/Cemento/Otros

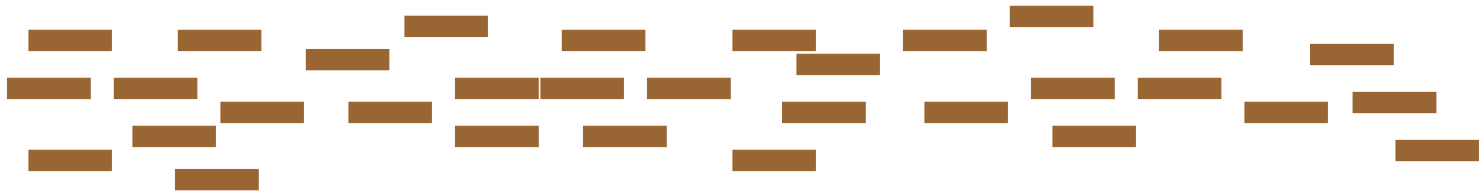


Estabilización Química de Arcillas

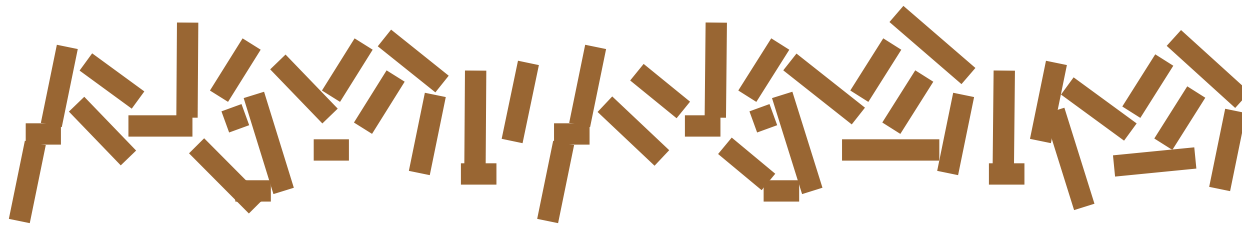


Estabilización Química de Arcillas

Partículas Antes de Estabilizar



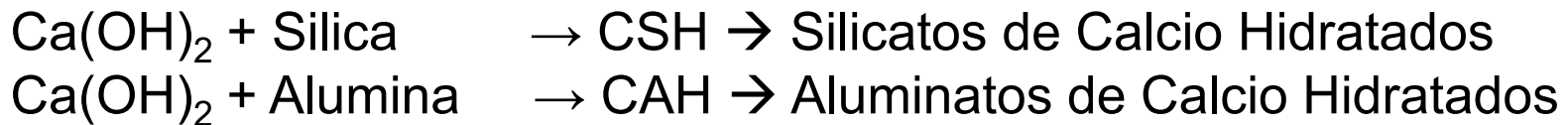
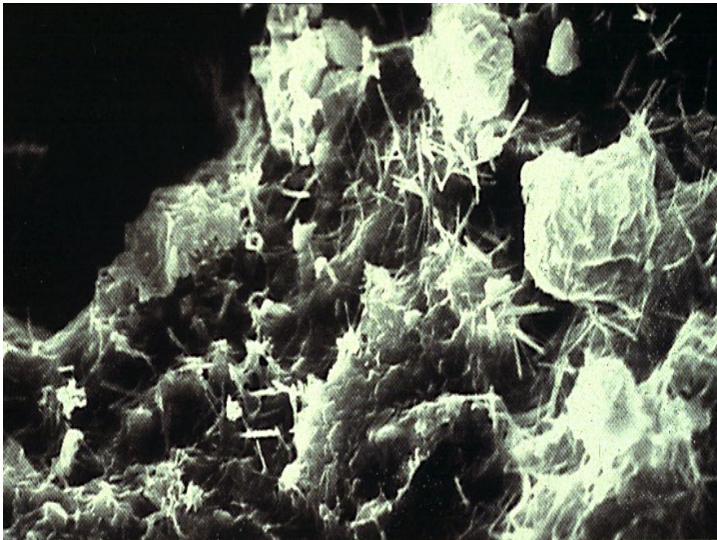
Partículas Después de Estabilizar



- Disminuye Plasticidad
- Aumenta la resistencia al corte
- El material adquiere un comportamiento más “granular”

Estabilización Química de Arcillas

Reacción Puzolánica



Para mantener el efecto de la reacción puzolánica se puede agregar aditivos líquidos ionizadores que aumentan la durabilidad y mejoran el comportamiento de los suelos estabilizados.

Técnica de Estabilización Estudiada

Técnica utilizada por 15 años en sector Forestal



Aditivo sólido

Cal/Cemento/Otros



Aditivo líquido

Ionizador de partículas



**Suelo Local
con Arcilla
Estabilizado**

Técnica de Estabilización Estudiada



The diagram illustrates a soil stabilization technique. It features a central brown rectangular block with the text "Suelo Local con Arcilla Estabilizado" (Local Soil with Stabilized Clay) written in white. This block is positioned on top of a wider, thinner yellow rectangular base. A thin black horizontal line is located at the top edge of the brown block.

**Suelo Local
con Arcilla
Estabilizado**

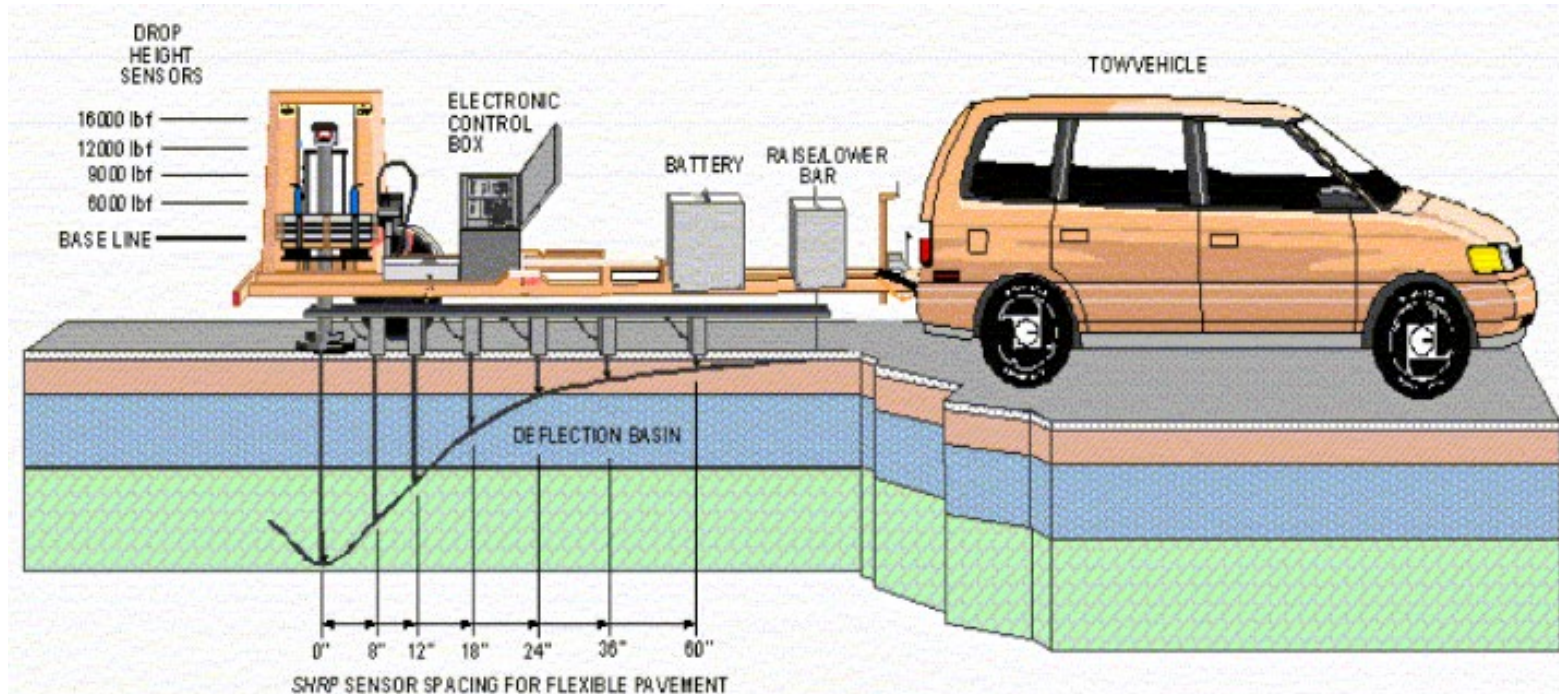
**Técnica utilizada por más de 15 años pero...
¿y su comportamiento estructural?**

El objetivo de este trabajo fue caracterizar mecánicamente suelos tratados químicamente en terreno y laboratorio

(módulo, coeficiente estructural)

Trabajo Experimental: FWD

- Equipo aplica cargas similares a las producidas por vehículos pesados
- Mide la deformación del terreno mediante geófonos
- Permite obtener parámetros de diseño (M_r , a_e)



Trabajo Experimental



Caminos y Tramos Estudiados

Red de Caminos Forestales



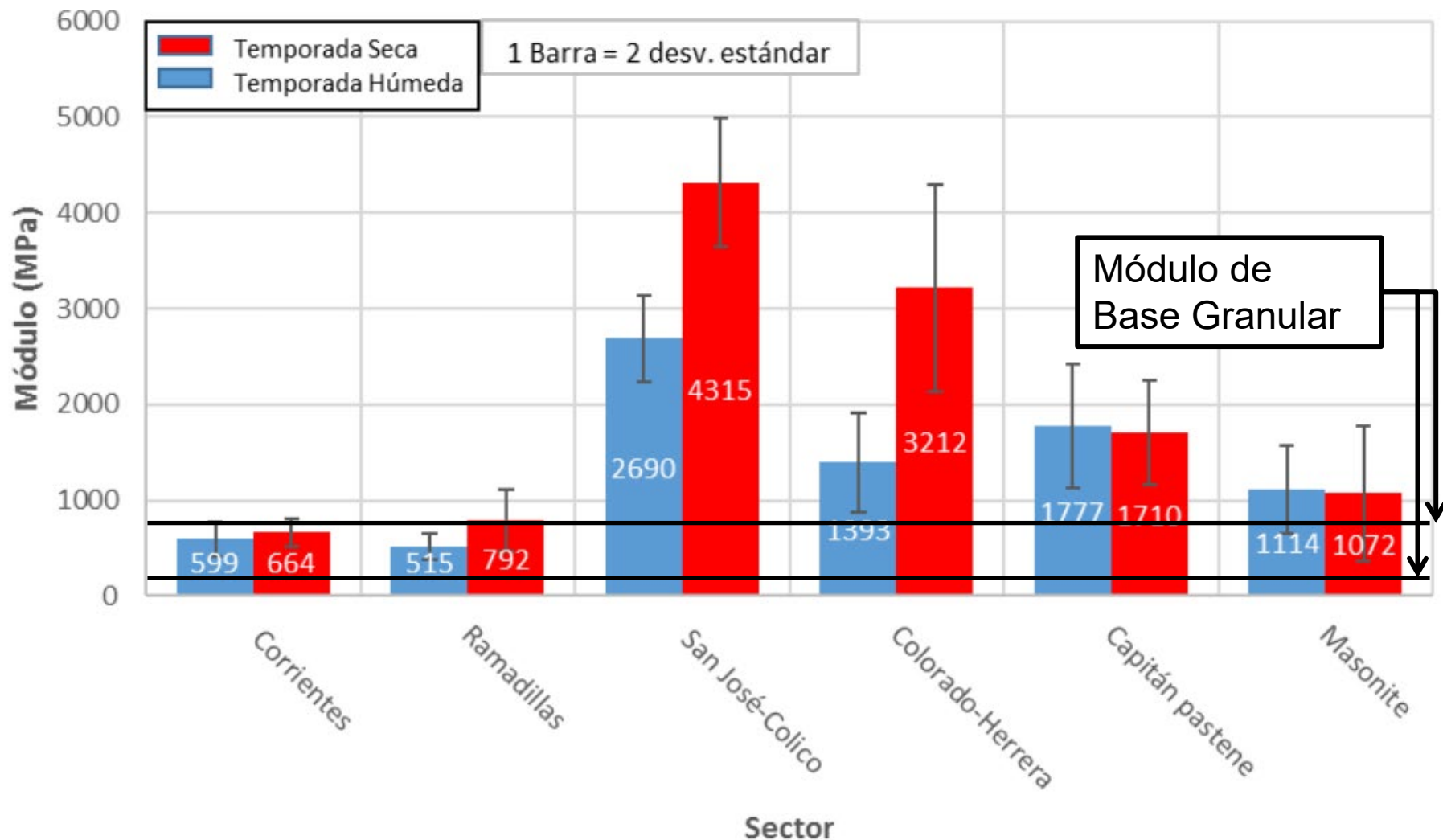
Tramo de Prueba D



Tramo de Prueba F

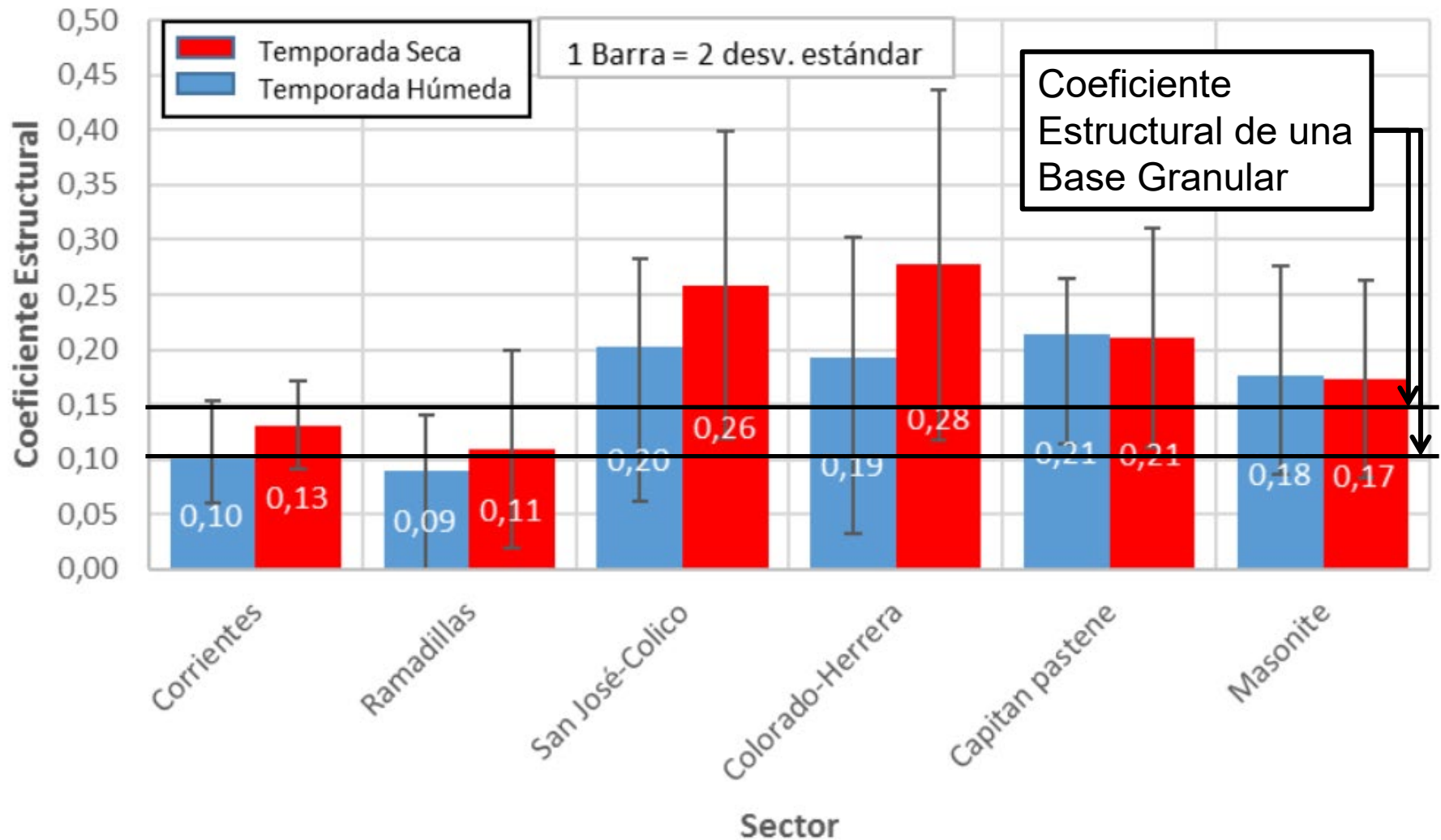


Resultados: Módulo Elástico



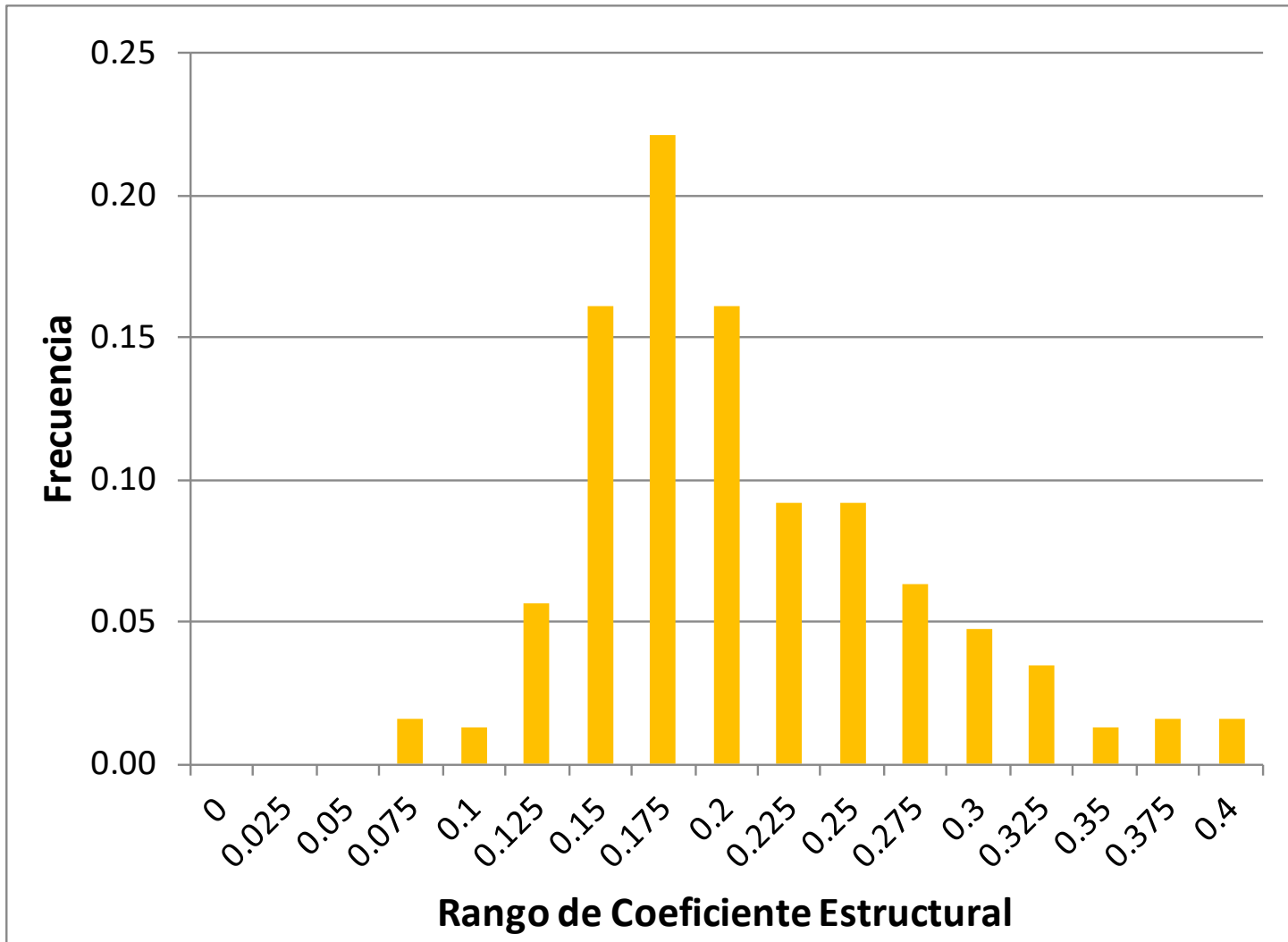
Caminos que ya cumplieron su vida útil

Resultados: Coeficiente Estructural



Caminos que ya cumplieron su vida útil

Análisis de Resultados

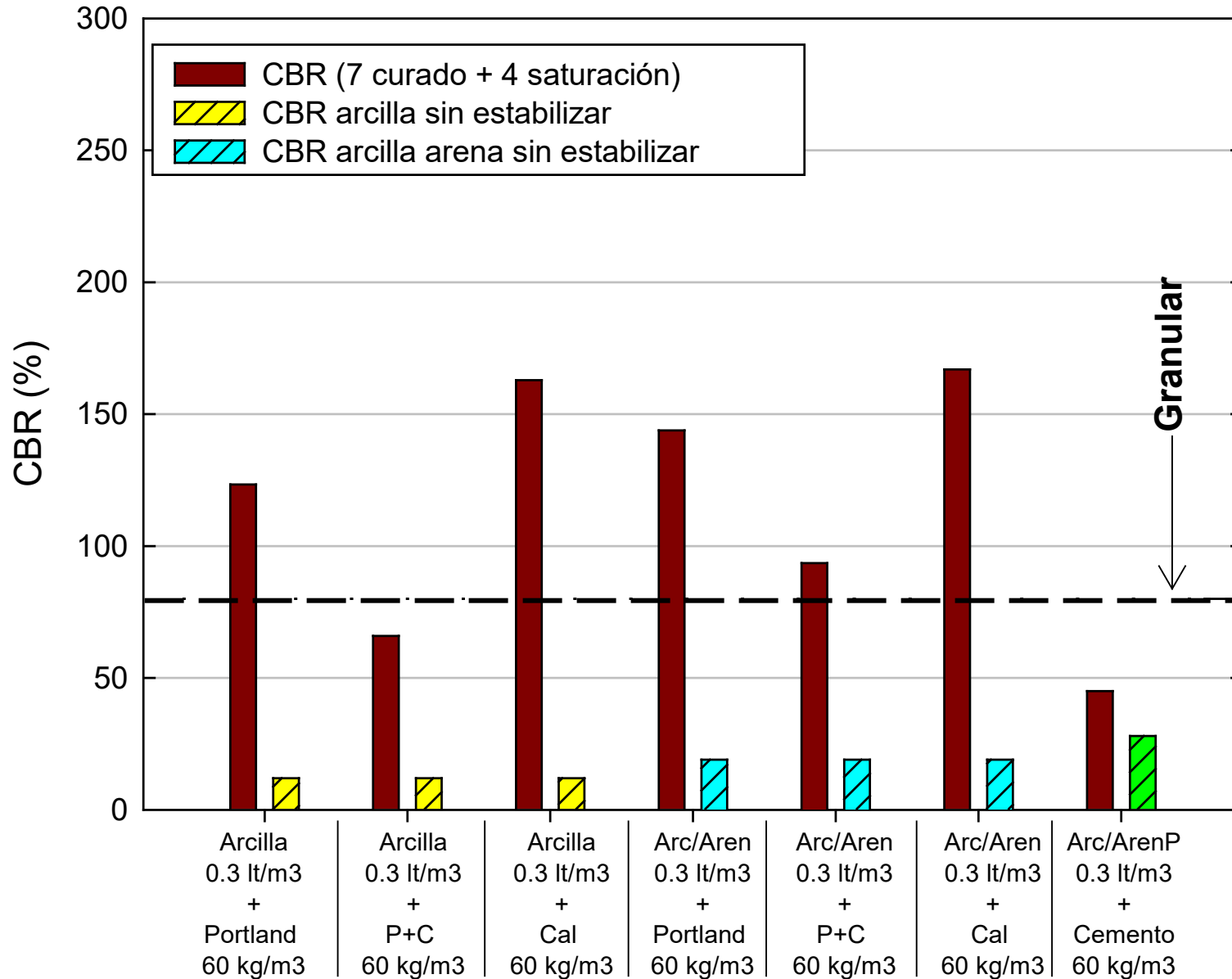


Todos los Caminos

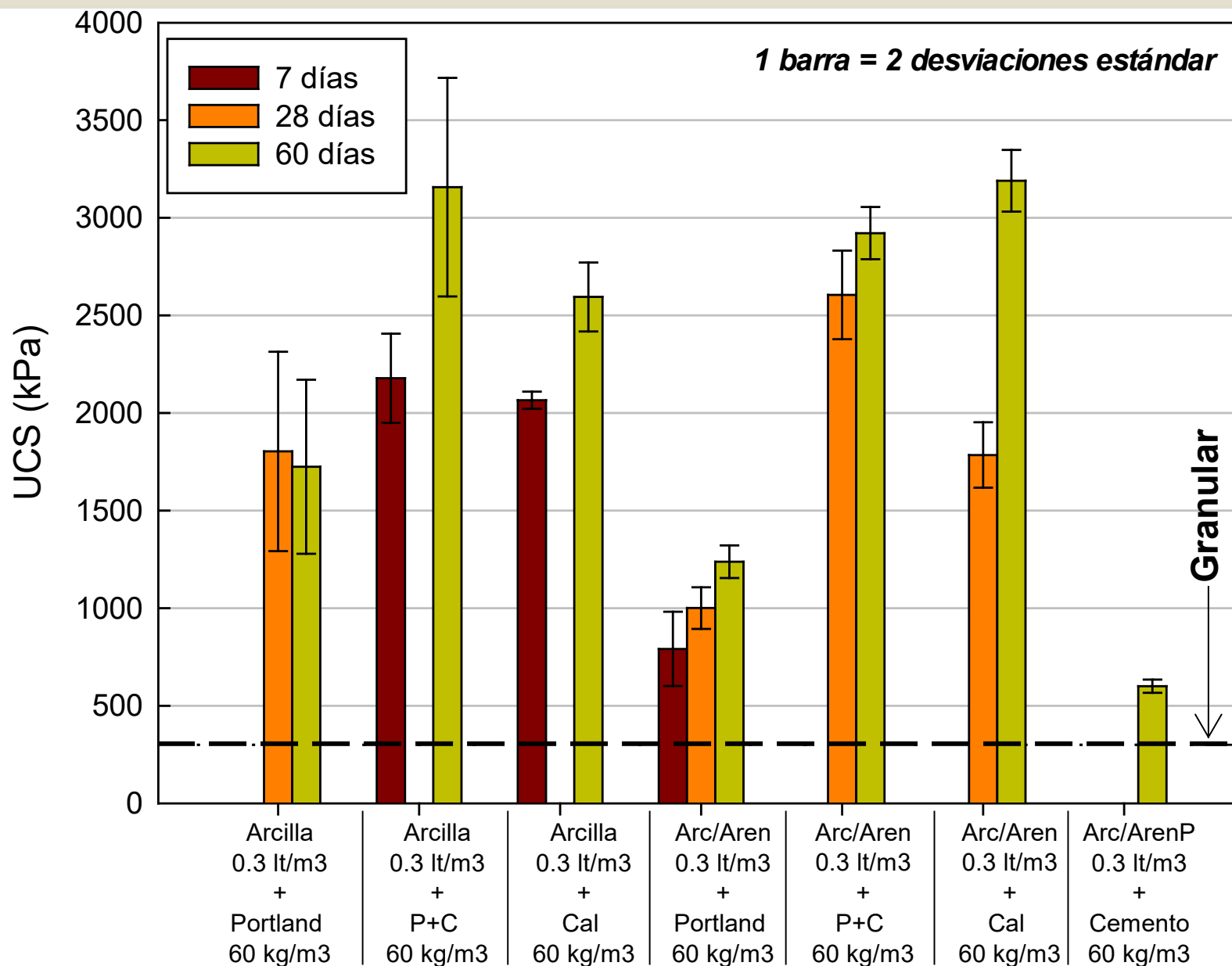
Laboratorio U. del Desarrollo



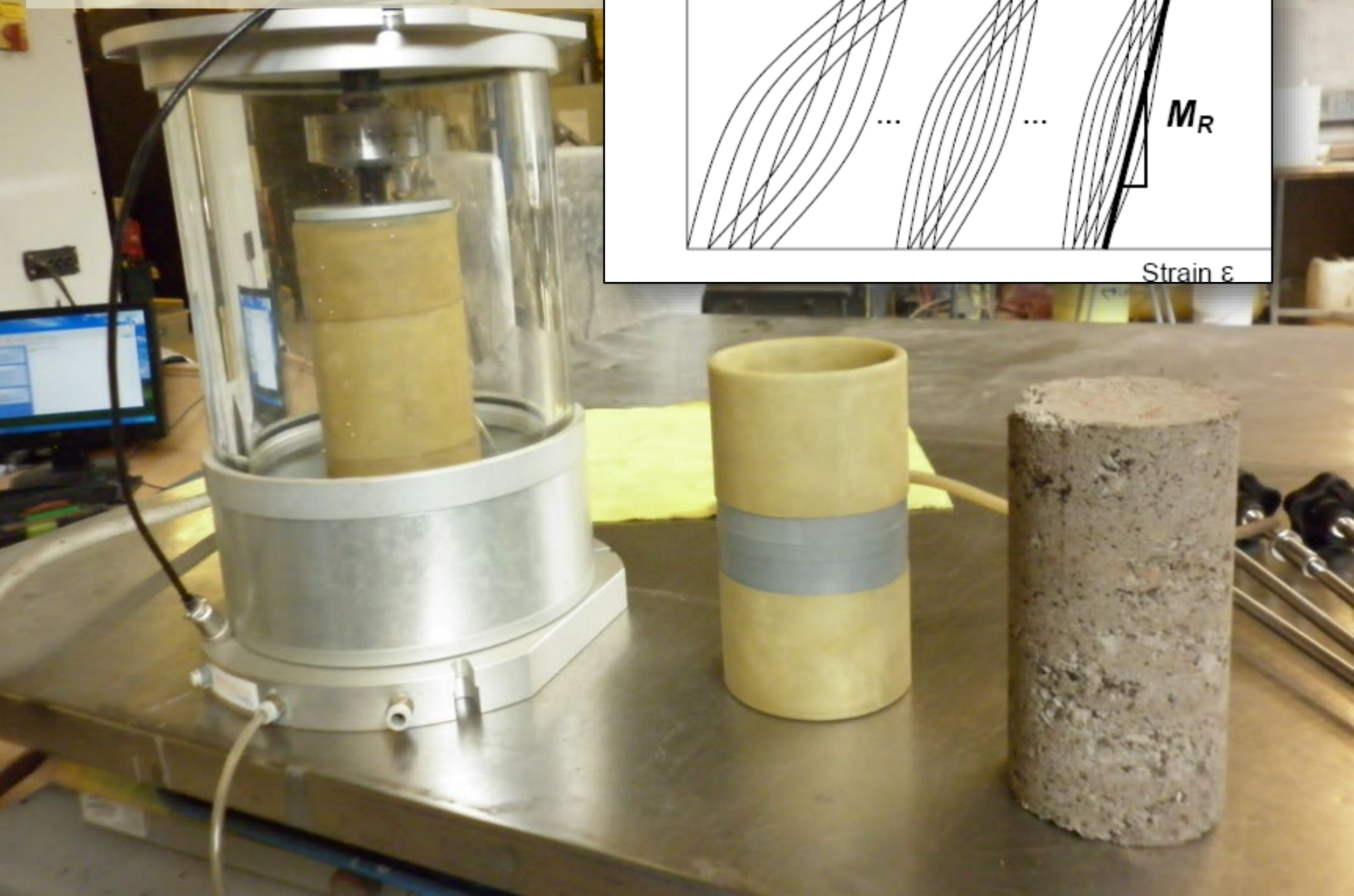
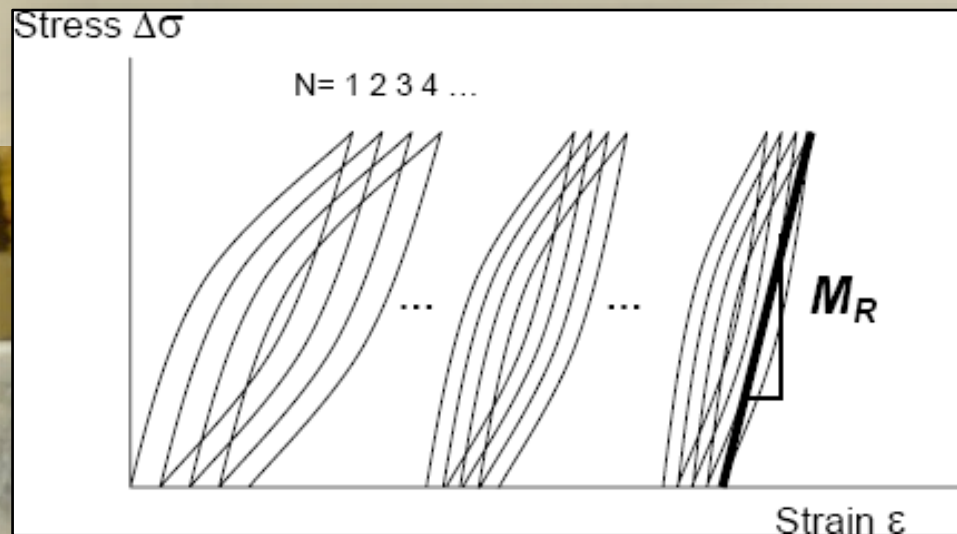
Resistencia: CBR



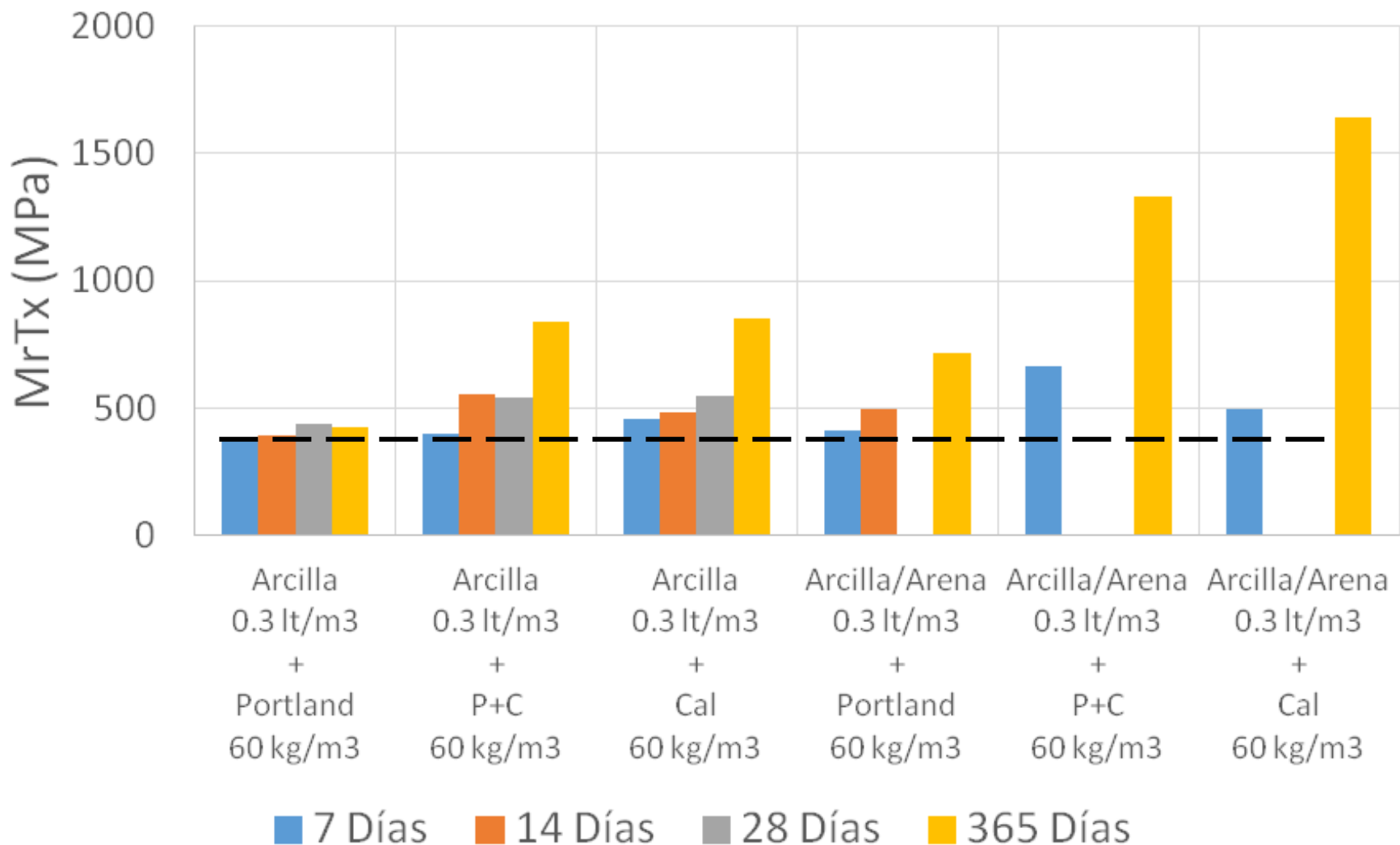
Resistencia: UCS



Módulo Triaxial



Módulo Triaxial



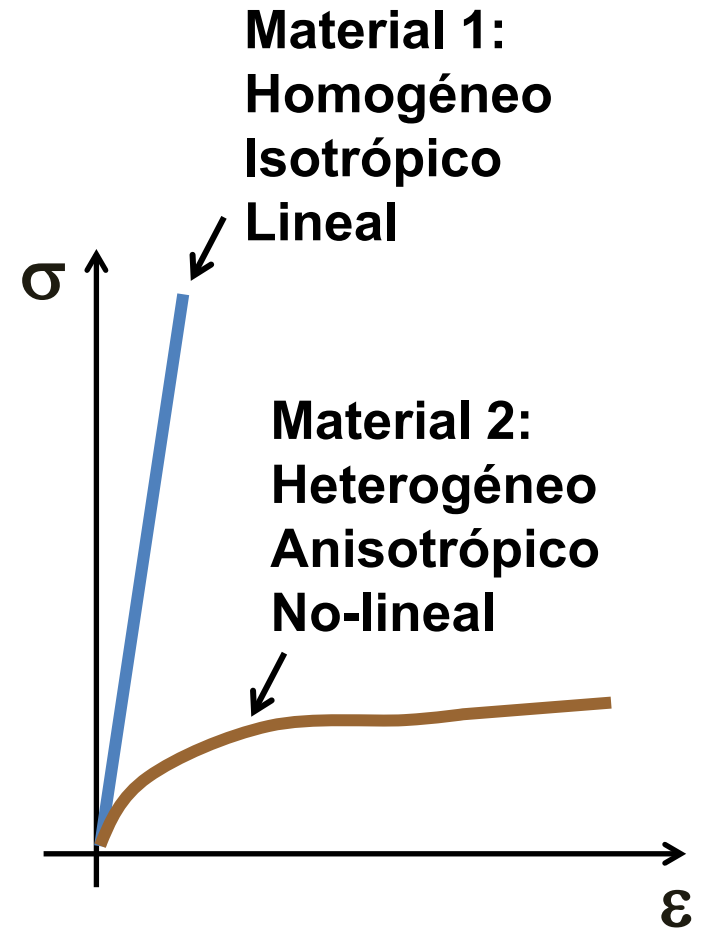
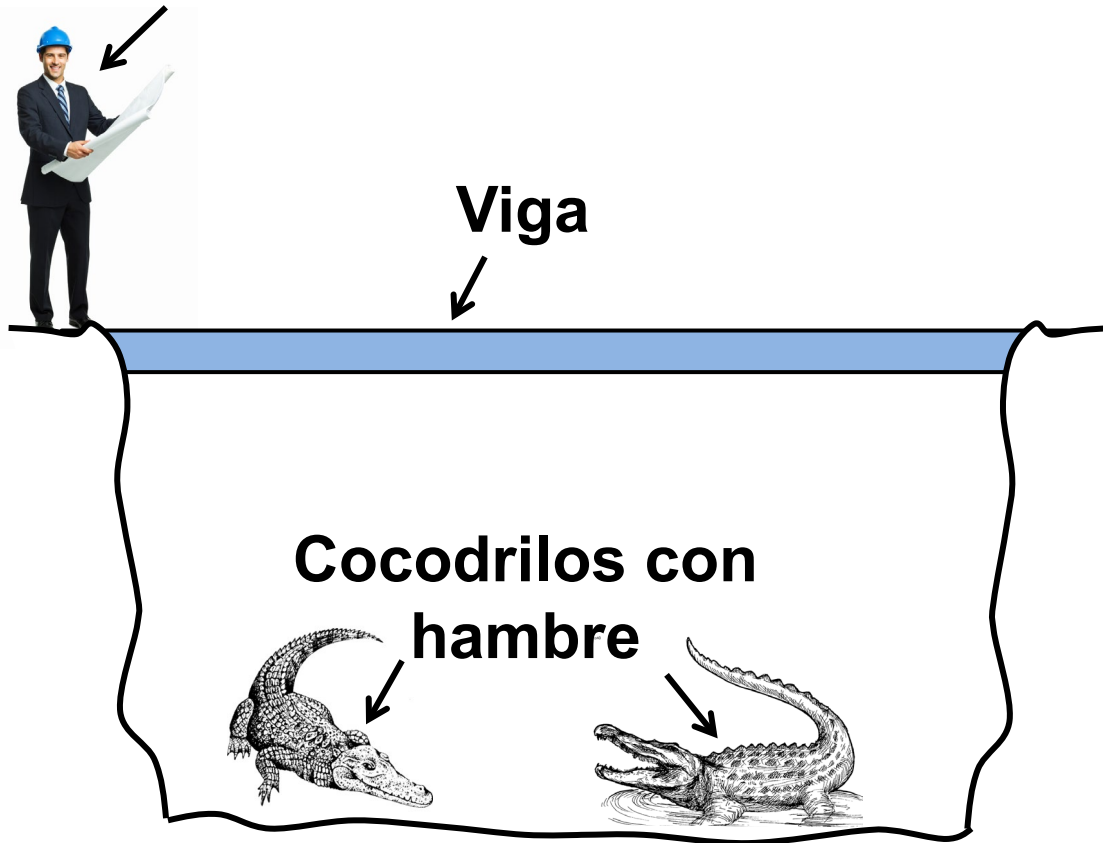
“Mejor” comportamiento que un
granular...

... pero menor resistencia y módulo
que un suelo cemento...

Reflexión...

(Thenoux, 2016)

Ingeniero/a



¿Qué material elegiría usted para cruzar?

Reflexión...

(Thenoux, 2016)

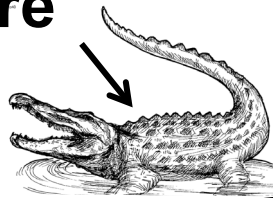
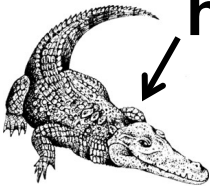
Ingeniero/a



Viga



**Cocodrilos con
hambre**



Material 1



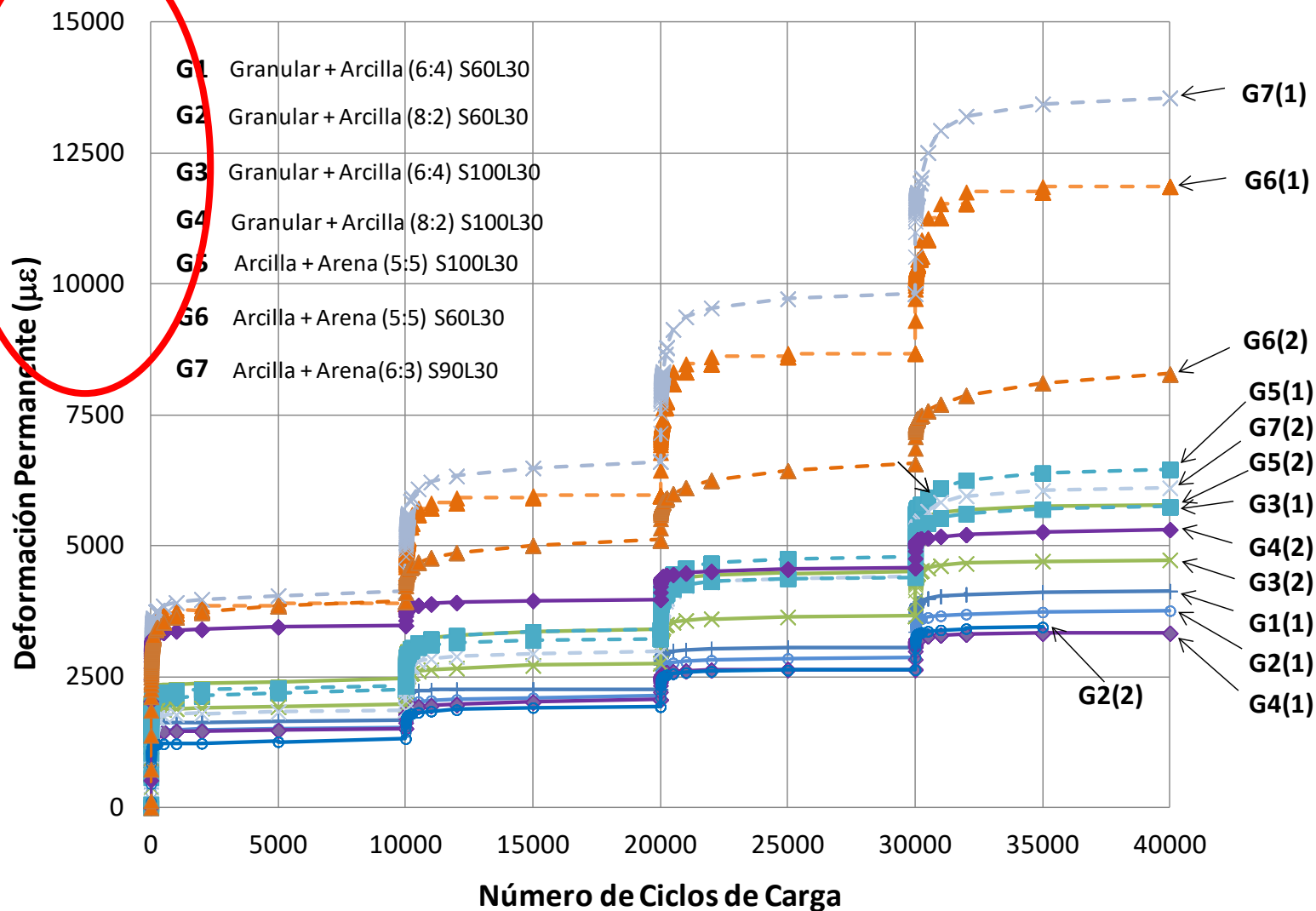
Material 2



¿Qué material elegiría usted para cruzar?

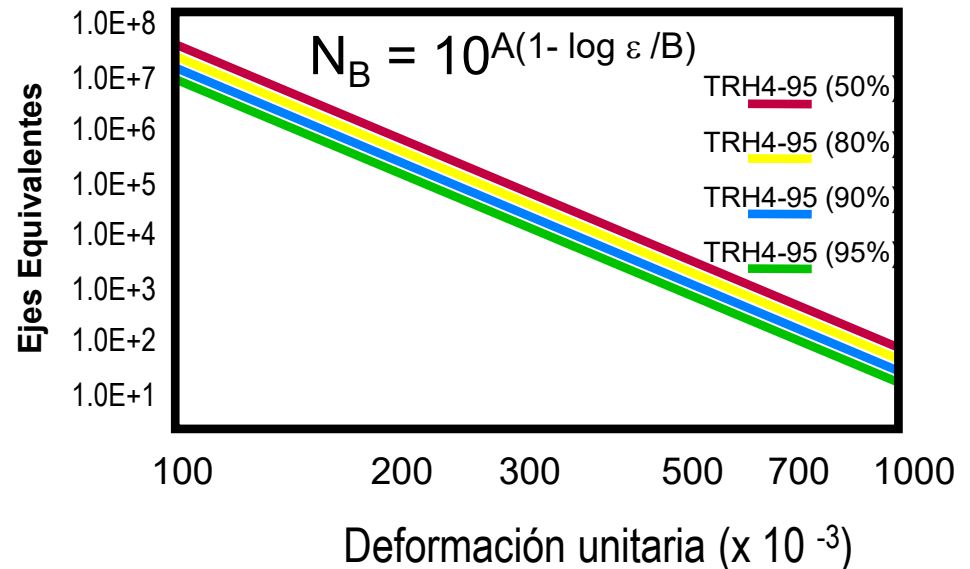
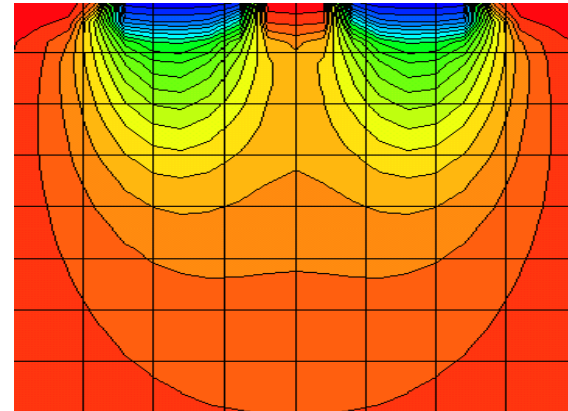
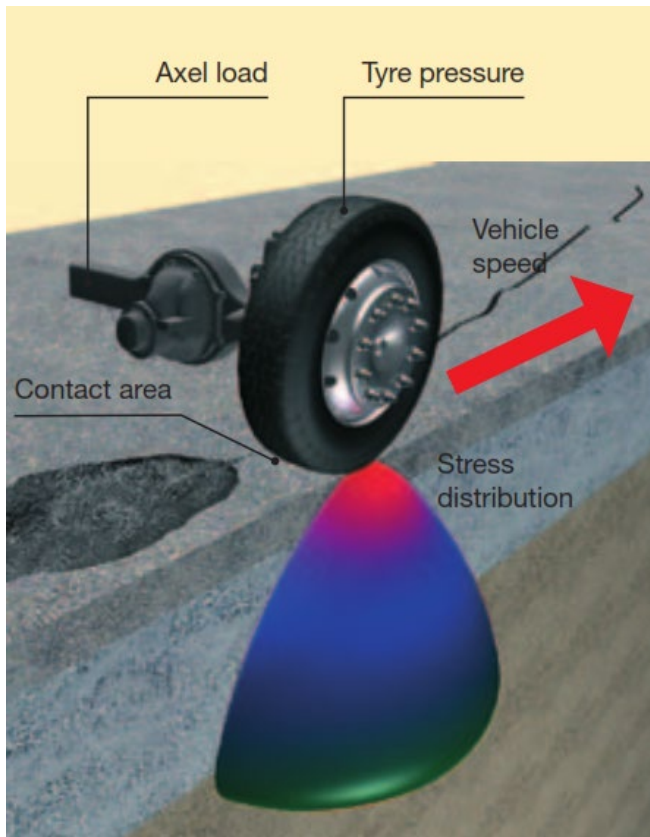
Ensayo Deformación Triaxial

Deformación Permanente Triaxial



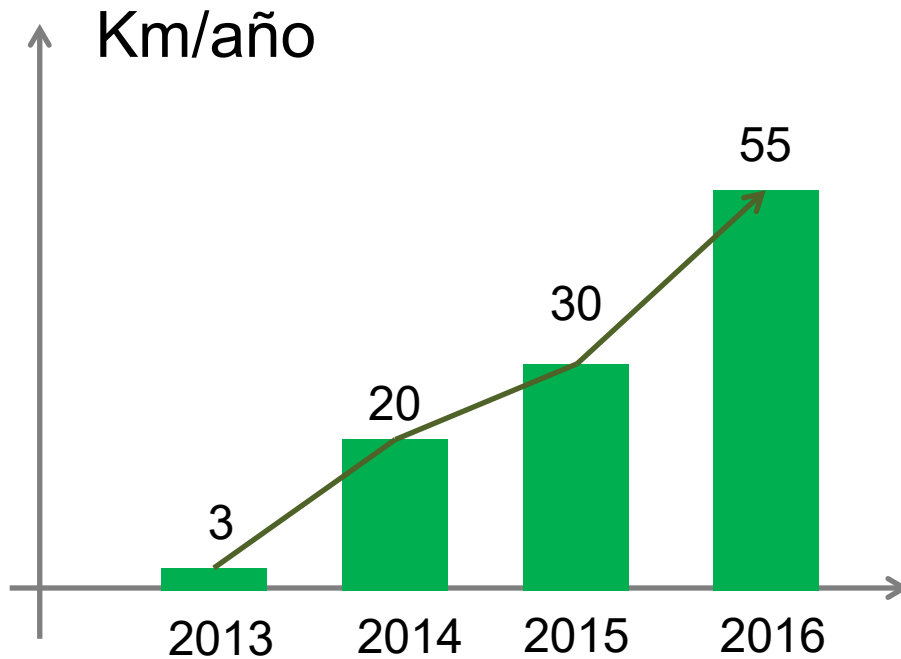
Diseño Estructural de Caminos

Los parámetros estructurales obtenidos permiten diseñar con mayor confiabilidad caminos forestales



Kilómetros Estabilizados/Año

Sector Forestal



Proyecto Perú



- 700 km de caminos construidos año 2013.
- Auscultación de 10 km de camino con LWD coeficiente estructural 0.20.
- En el 2016 se construirán 150 km adicionales.

Resumen y Conclusiones

- Industria forestal: alto consumo y costo de granulares en caminos.
- Investigación indica que suelos arcillosos estabilizados tienen comportamiento al menos equivalente a áridos o granulares.
- El desempeño de los caminos estabilizados ha sido satisfactorio, a pesar de las condiciones de trabajo.
- La investigación aumenta la confiabilidad en el diseño, y el uso de la técnica.

Colaboradores... (área vial)



Tesista UDD



Tesista UDD



Tesista USM



Tesista USM

+ 10



Tesista UDD



Tesista UCA

CIMAT
**Investigación
de Materiales UDD**



Técnico UDD



Tesista UDD



Artículos Internacionales 2013- (vial)

González A., Aitken D. (2017) *Reduction of water consumption in surface mining roads using a by-product dust suppressant and a road management system. Submitted for publication to Water Resources and Industry.*

Norambuena J., Serpell R., Valdés G., **González A.**, Schlangen E. (2016) *Effect of fibres addition on the mechanical properties of self-healing asphalt mixtures.* Accepted for publication in Construction and Building Materials.

González A., Thenoux G., Paniagua F., López C. (2016) *Evaluation of additional laboratory tests for the design of foamed bitumen mixtures.* Accepted for publication in the Transportation Research Record, Transportation Research Board, Washington DC.

González A., Paniagua F., Chamorro A. (2015) *Skid resistance of hexahydrated magnesium chloride roads* Transportation Research Record 2473, Transportation Research Board, Washington DC, pp. 155-163.

González A., Jameson G., De Carteret R. and Yeo, R. (2013), *Laboratory fatigue life of cemented materials in Australia*, Road Materials and Pavement Design, Volume 14, Issue 3, 2013, pp. 518-536.

Halles F., Thenoux G., **González A.**, (2013) *Stiffness evolution of granular materials stabilized with foamed bitumen and cement*, Transportation Research Record 2363, Transportation Research Board, Washington DC, pp. 105-112.

Rodríguez M., Thenoux G., **González A.**, (2013) *Evolución probabilística del agrietamiento de pavimentos asfálticos en carreteras de Chile*, Revista de la Construcción, Volumen 12 N°2 2013.

¡GRACIAS!

Evaluación Estructural de Terreno y Laboratorio para Suelos Arcillosos Estabilizados Químicamente

**Álvaro González, Ing. Civil, MSc, PhD
Profesor Investigador, Facultad de Ingeniería
Universidad del Desarrollo, Santiago, Chile**

2^{do} Congreso Paraguayo de Vialidad y Tránsito
6 y 7 de octubre 2016, Encarnación, Paraguay