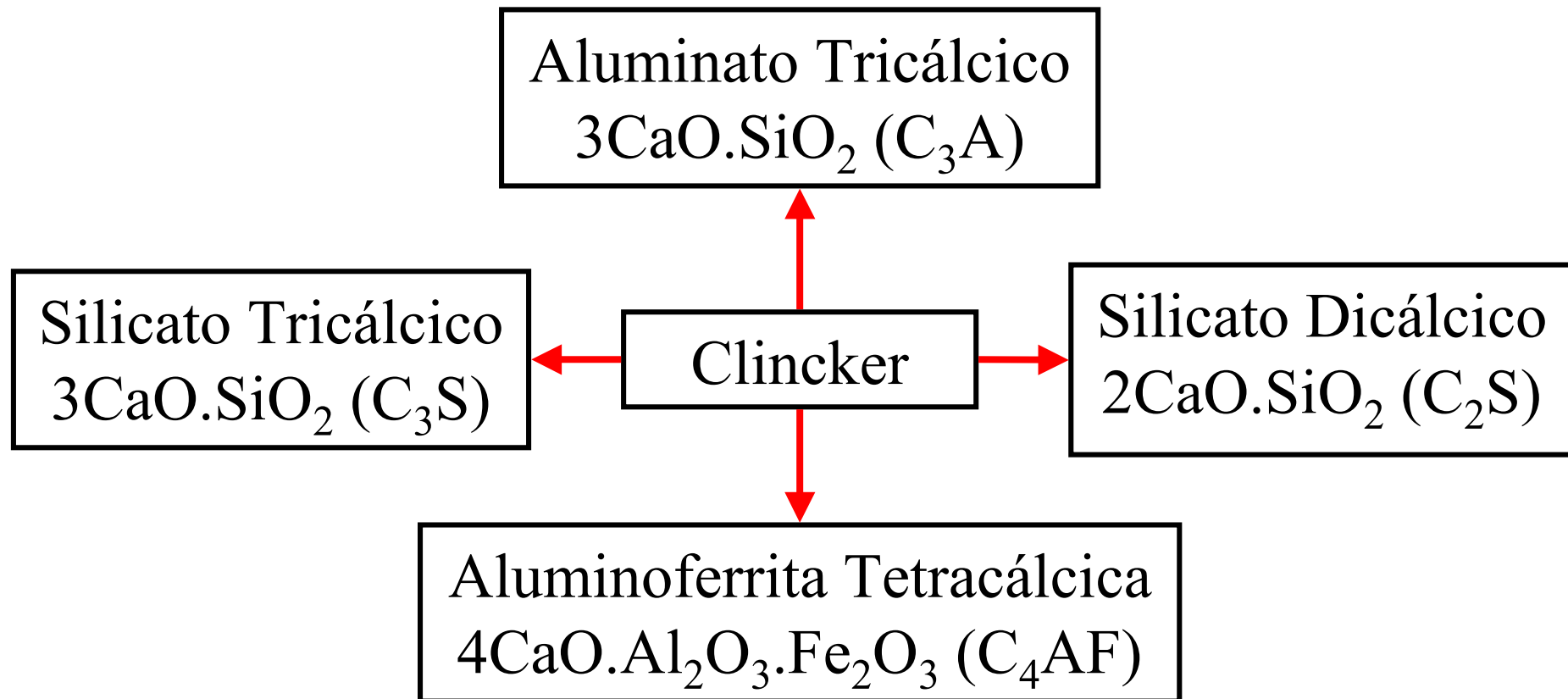


ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CEMENTO

Curso de Actualización Profesional
2019

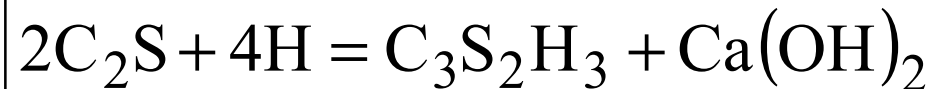
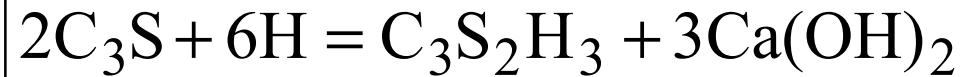
Cemento Portland

Material producido por mezcla de calizas calcinadas (calcio) y arcillas (sílice y alúmina) en hornos a 1300-1400°C



Reacciones Primarias

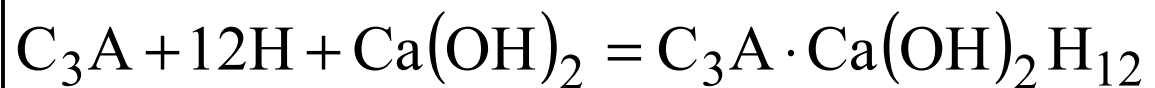
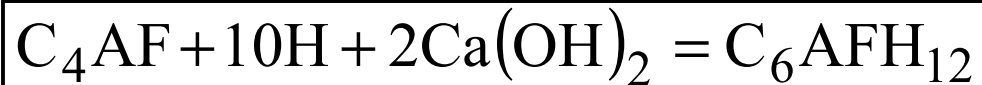
Hidratación



$C_3S_2H_3$ (CSH): Tobermorita

$Ca(OH)_2$: Cal

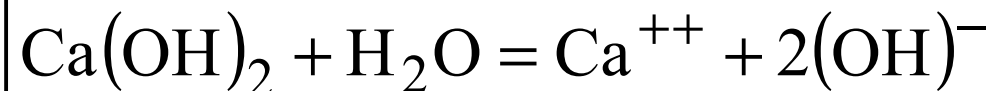
Reacciones de Cal con Fases Aluminato



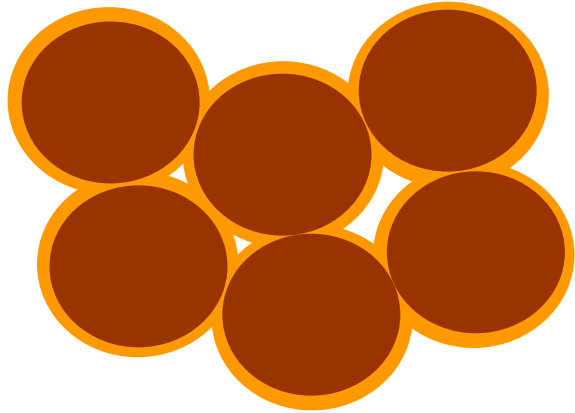
Aluminatos de Calcio

Hidratados (CAH)

Hidratación de la Cal



Efectos de Reacciones Primarias



Suelos Gruesos sin Fracción Arcilla
Cementación de granos en puntos de
contacto

Suelos de Granulometría Densa

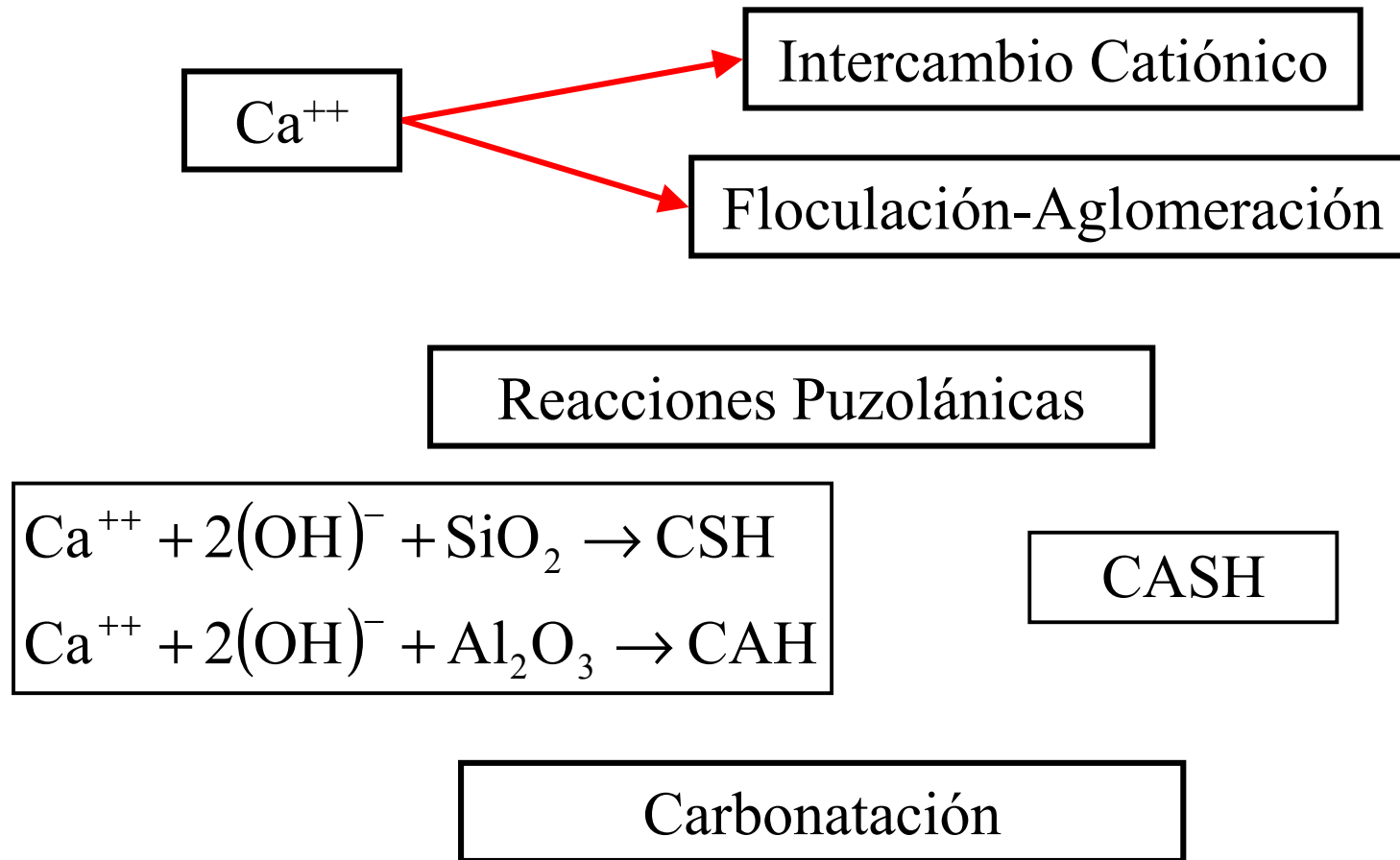
- Cementación es más efectiva

Suelos de Granulometría Uniforme

- Mayor consumo de cemento para obtener mismo efecto

Efectos de Reacciones Secundarias

Reacciones Alcalinas con Minerales Arcilla de Suelos



Factores que Afectan Reacciones

Materia Orgánica

- Retarda reacciones
- Reduce efectos de estabilización

Temperatura de Cura

- $T < 13^{\circ}\text{C}$ inhibe reacciones
- A mayor temperatura \rightarrow Reacciones más aceleradas

Sulfatos

- Minerales expansivos

Suelos Apropriados para Estabilización con Cemento

- Epps, Dunlap y Gallaway (1971)
 - Suelos con pasa #200 < 35% e IP < 20%
 - Suelos A-1, A-2 y A-3
- Suelos muy expansivos son difíciles de estabilizar (Croft, 1967)
- Arenas finas o de dunas exigen altos tenores de cemento (10 a 14%) (National Institute for Transport and Road Research de Sudáfrica, 1986)

Métodos de Dosificación

Método de la Portland Cement Association (PCA)

- RCI de probetas cilíndricas compactadas con diferentes contenidos de cemento a PUSM y HOC del Proctor con un período de curado de 7 días a temperatura ambiente
 - Resistencia mínima admisible: 2,1 MPa
 - Susceptibilidad al fisuramiento: Considerar comportamiento flexible de capa de suelo-cemento (prefisurado)

Métodos de Dosificación Austroads Guide to Pavement Technology

Categorías Según Comportamiento

- **Material Modificado:** Aquél con pequeña cantidad de cemento agregado para mejorar resistencia o corregir otras propiedades sin aumento significativo de RT. Para diseño de pavimentos se considera como material granular no ligado (comportamiento “flexible”).
- **Material Cementado (Estabilizado):** Aquél con cantidad de cemento suficiente para producir significativa RT y rigidez. Susceptible de fisurar (comportamiento rígido).
- Además se categorizan en Material Ligeramente Cementado y Material Fuertemente Cementado

Métodos de Dosificación

Austroroads Guide to Pavement Technology

RCI de probetas compactadas a PUSM y HOC del Proctor con 28 días en condiciones húmedas sin inmersión en agua

Categoría	Criterio
Modificado	$RCI < 1 \text{ MPa}$
Ligeramente Cementado	$1 \text{ MPa} \leq RCI \leq 2 \text{ MPa}$
Fuertemente Cementado	$RCI^* > 2 \text{ MPa}$ y/o Módulo Flexural y Resistencia a la Flexión

* Algunas agencias sumergen en agua

Modificado $< RT = 80 \text{ kPa} >$ Cementado

Métodos de Dosificación

Durabilidad

Humedecimiento y Secado
(ASTM D559; AASHTO T135)

Congelamiento y Deshielo
(ASTM D560; AASHTO T136)

Durabilidad por pérdida de peso por cepillado de probetas curadas 7 días y sometidas a 12 ciclos de humedecimiento y secado o congelamiento y deshielo

Efectos de la Estabilización con Cemento

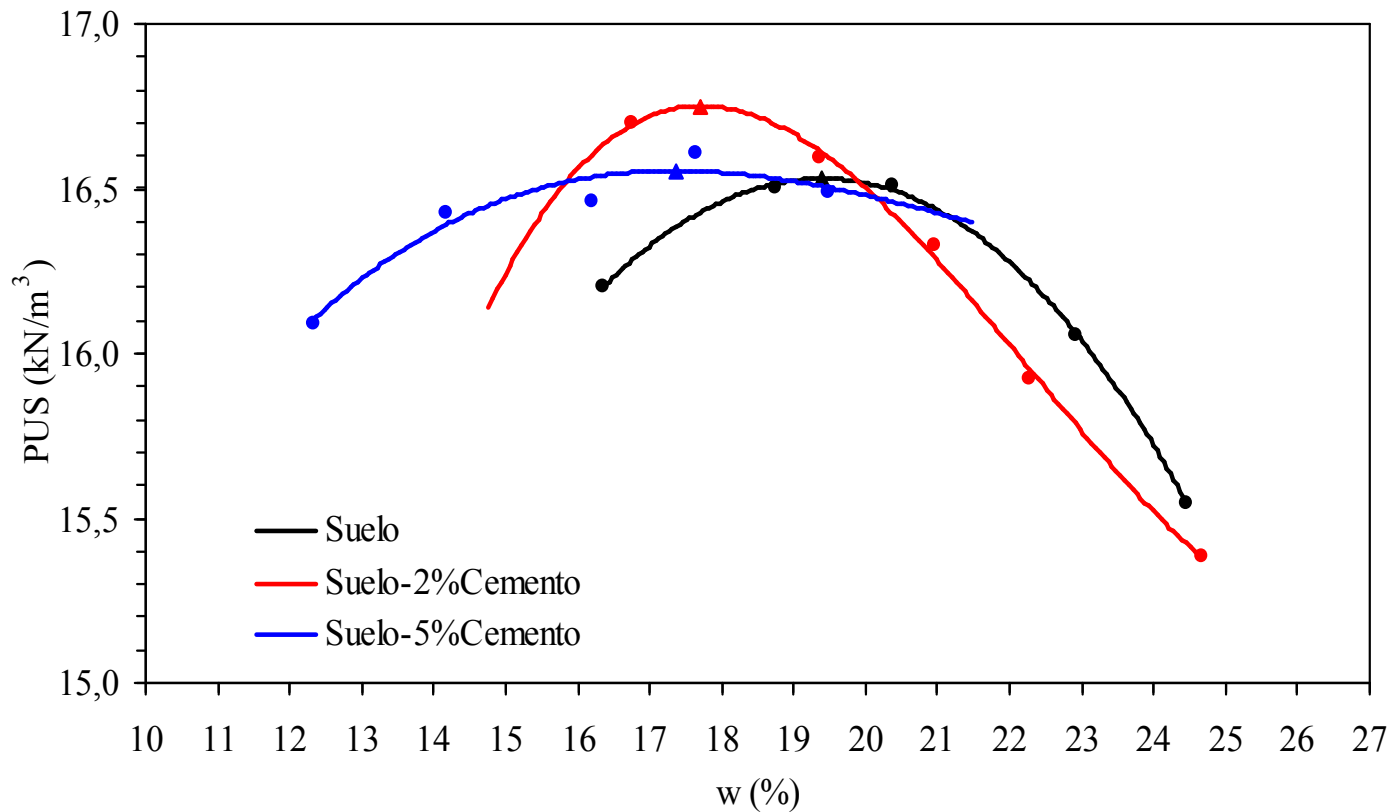
Compactación

Kezdi (1979)

- PUSM y HOC no varían mucho con adición de cemento
- PUSM aumenta en arenas, no se modifica en arcillas medias y livianas, aumenta ligeramente en arcillas gordas y disminuye levemente en limos
- Aumenta sensibilidad frente a humedad de compactación. Pequeñas variaciones producen aumento acentuado de PUS

Efectos de la Estabilización con Cemento Compactación

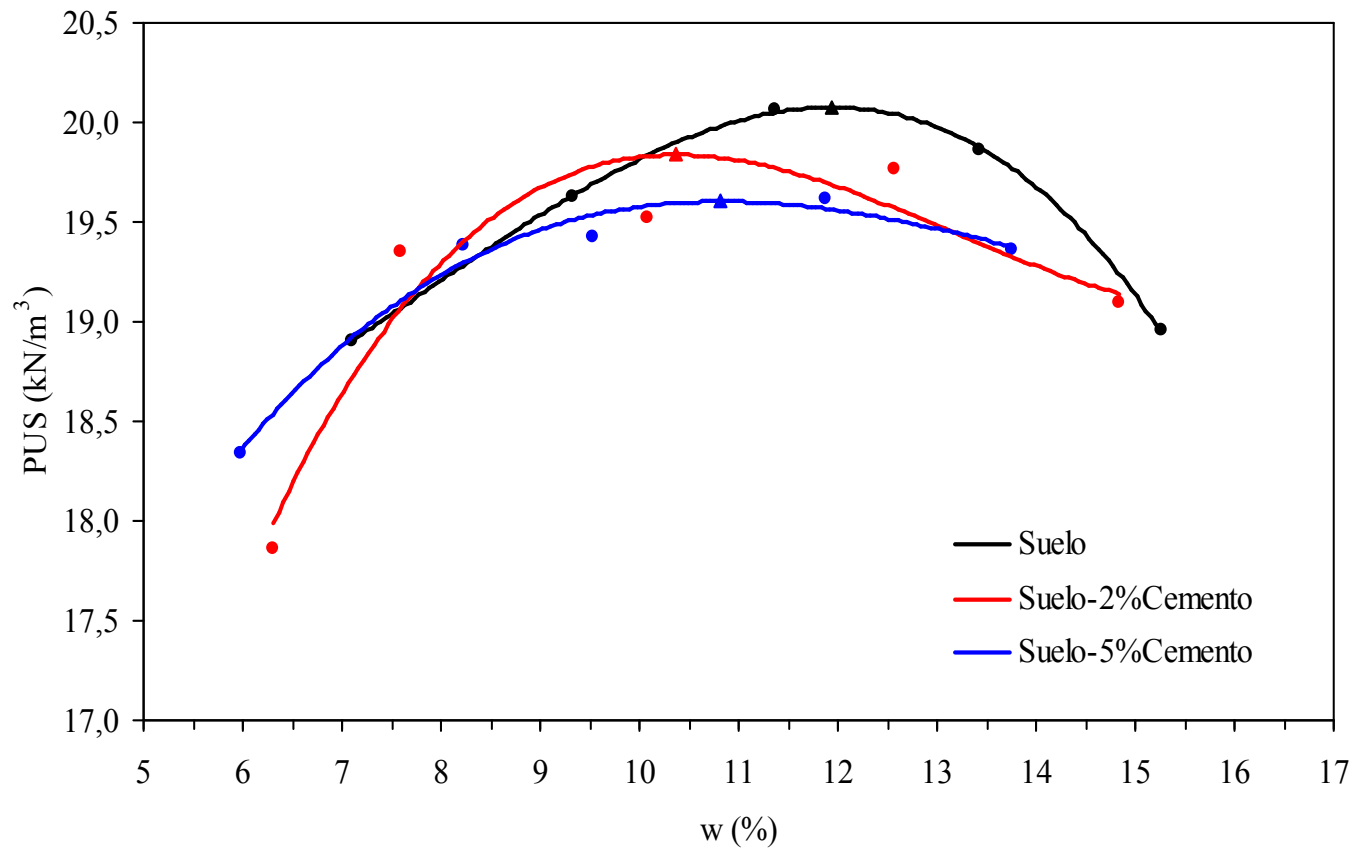
Ruta 30, Arroyo Yucutujá
Suelo Descompuesto de Fm Arapey (ML)



Efectos de la Estabilización con Cemento Compactación

Cantera Yucutujá

Suelo Desagregado de Fm Arapey (GP-GM)

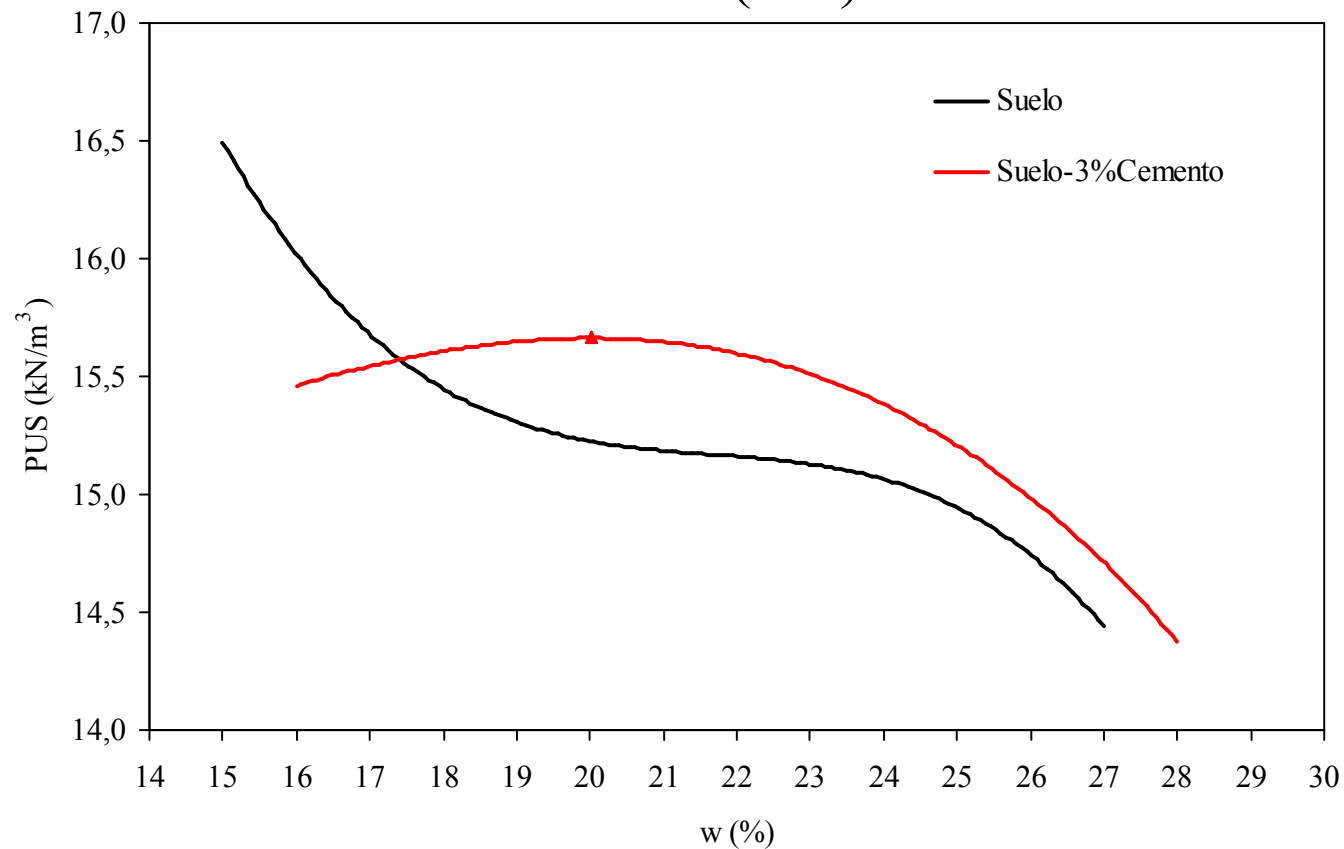


Efectos de la Estabilización con Cemento

Compactación

Ruta 1, 60K000

Arcilla (CH)

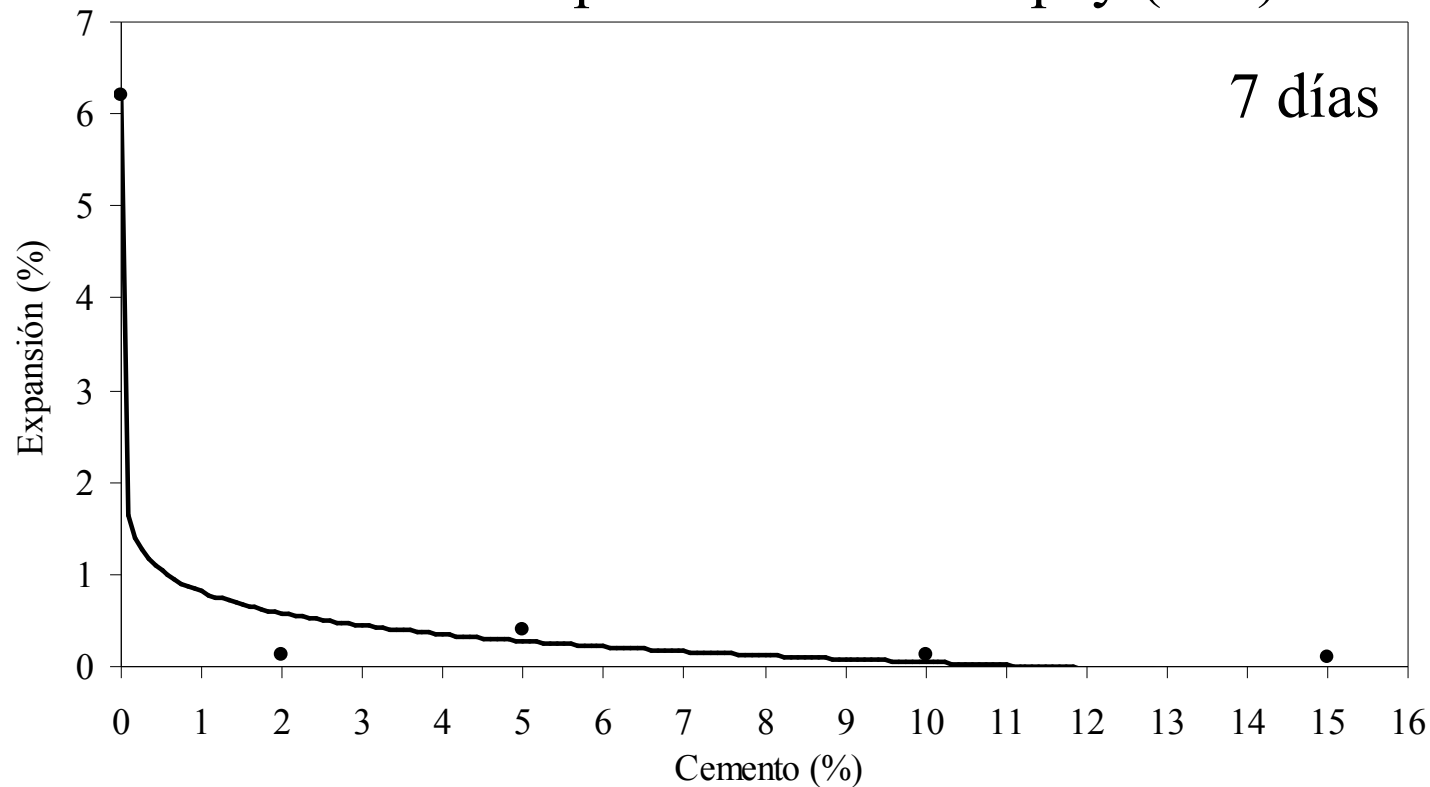


Efectos de la Estabilización con Cemento

Estabilidad Volumétrica

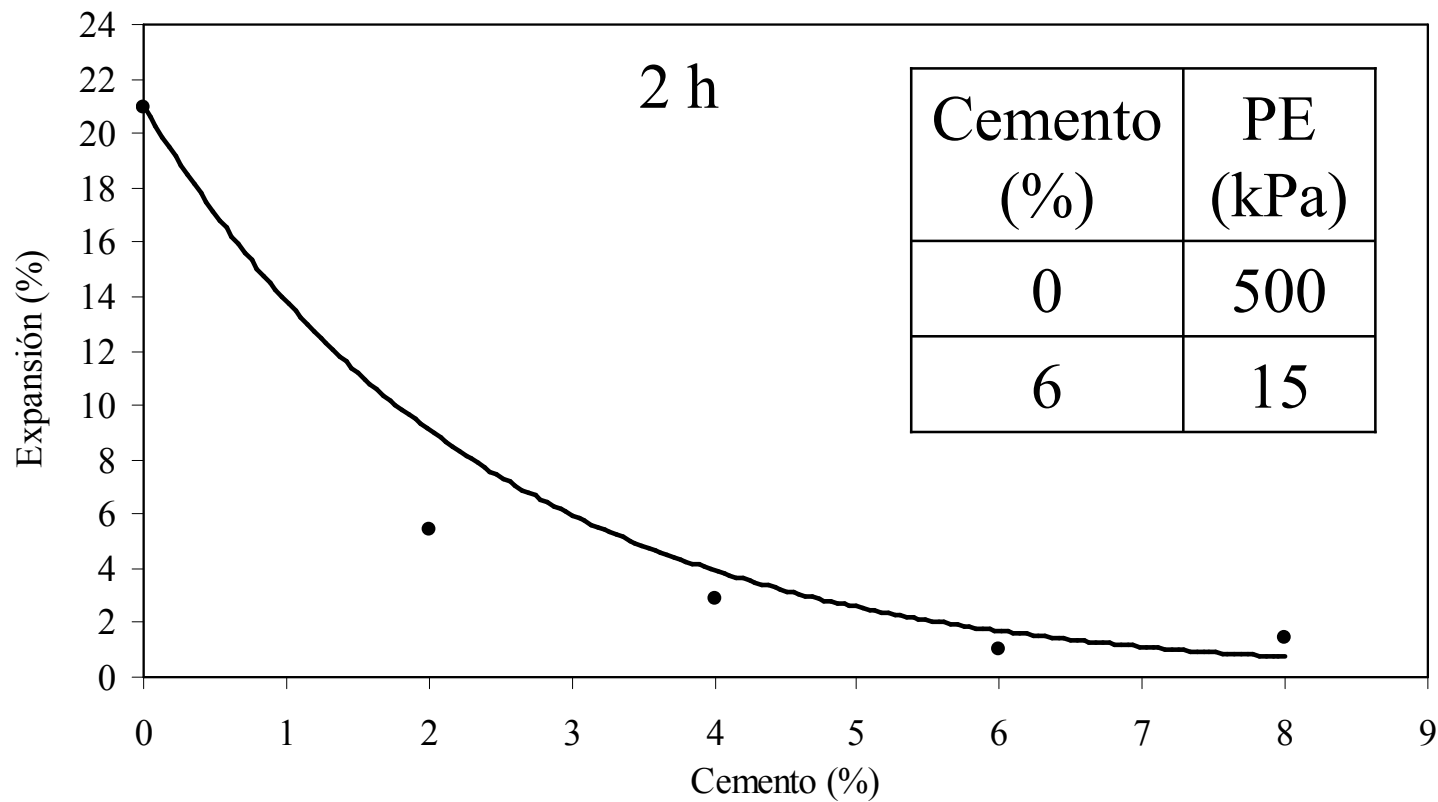
Ruta 30, Arroyo Yucutujá

Suelo Descompuesto de Fm Arapey (ML)



Efectos de la Estabilización con Cemento Estabilidad Volumétrica

Ruta 1, 60K000
Arcilla (CH)



Efectos de la Estabilización con Cemento

Estabilidad Volumétrica

Inconvenientes (Akpokodje, 1985)

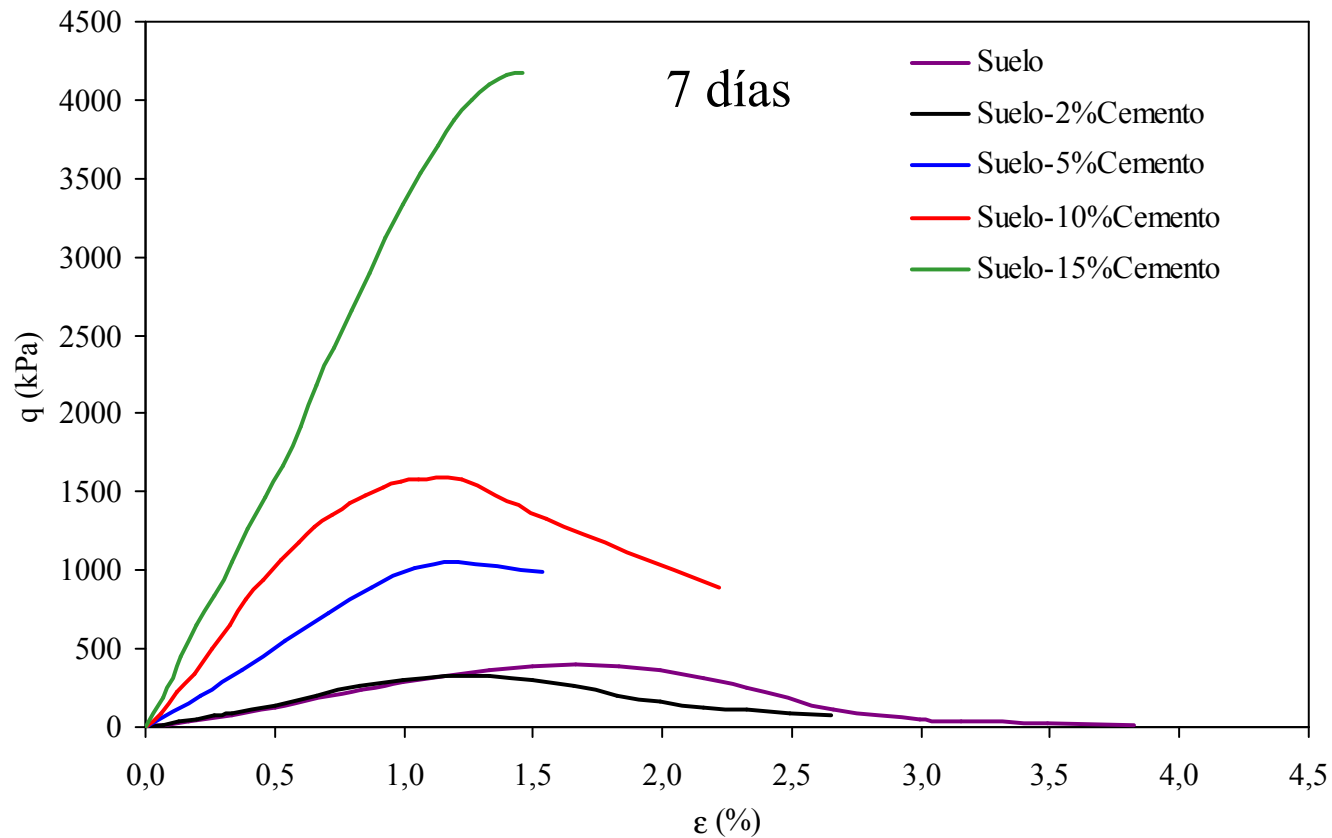
- Fisuras ocurrentes al inicio del curado
- Contracción $>$ Expansión debido a susceptibilidad de hidratación de cemento durante secado, mientras que no expande necesariamente cuando se humedece

Efectos de la Estabilización con Cemento

Comportamiento Tensión-Deformación

Cantera Yucutujá

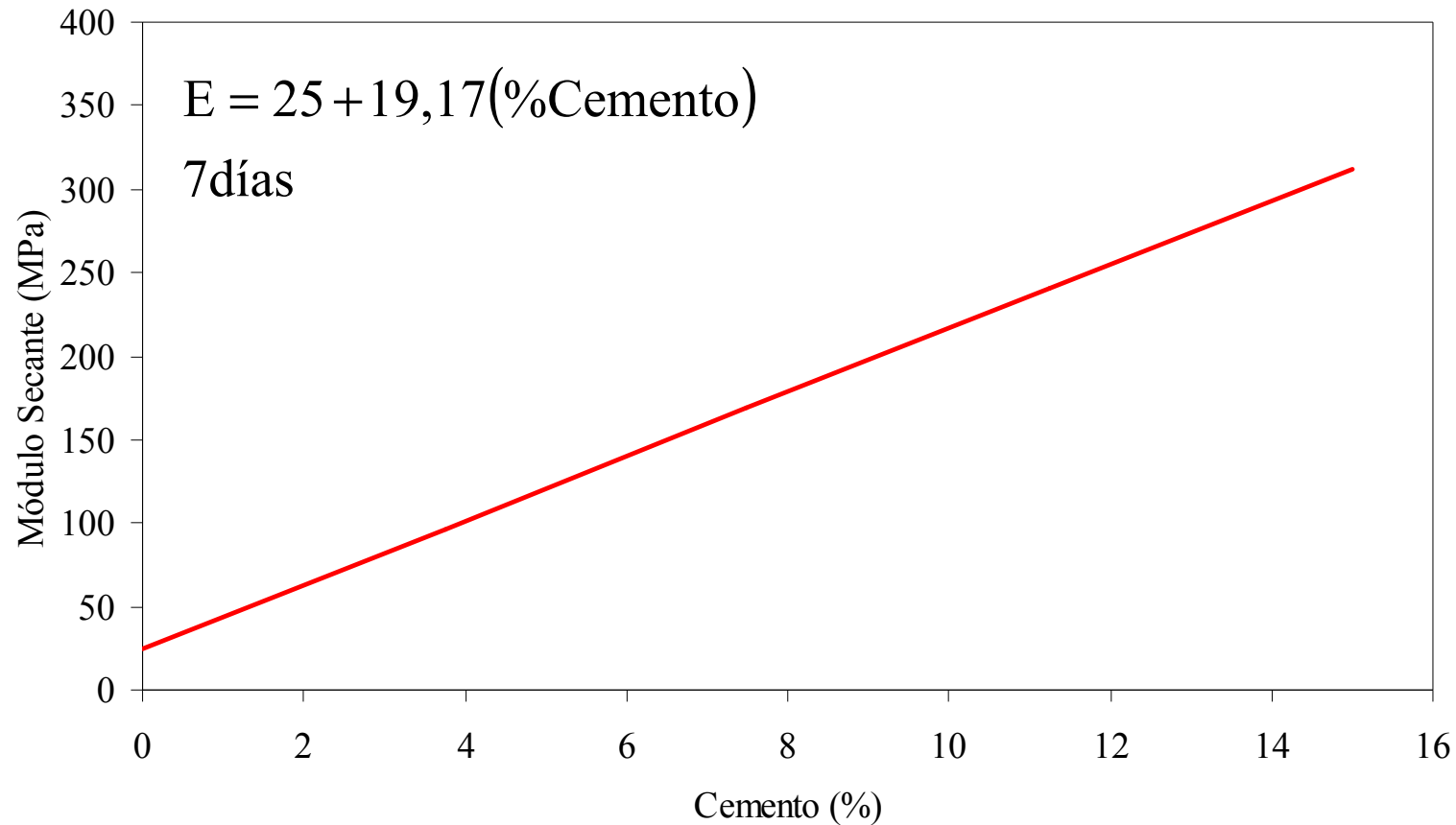
Suelo Desagregado de Fm Arapey (GP-GM)



Efectos de la Estabilización con Cemento Comportamiento Tensión-Deformación

Cantera Yucutujá

Suelo Desagregado de Fm Arapey (GP-GM)

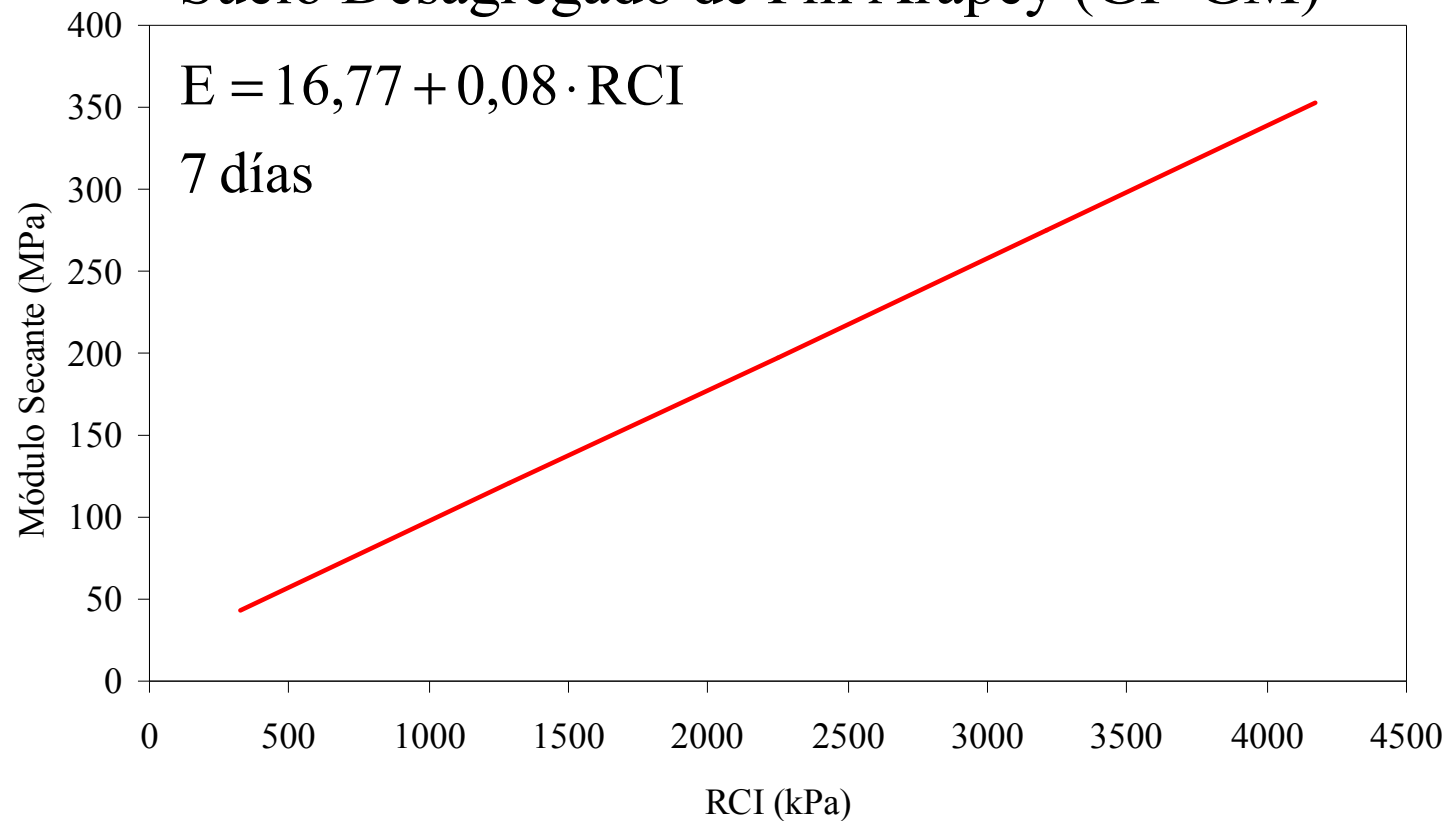


Efectos de la Estabilización con Cemento

Comportamiento Tensión-Deformación

Cantera Yucutujá

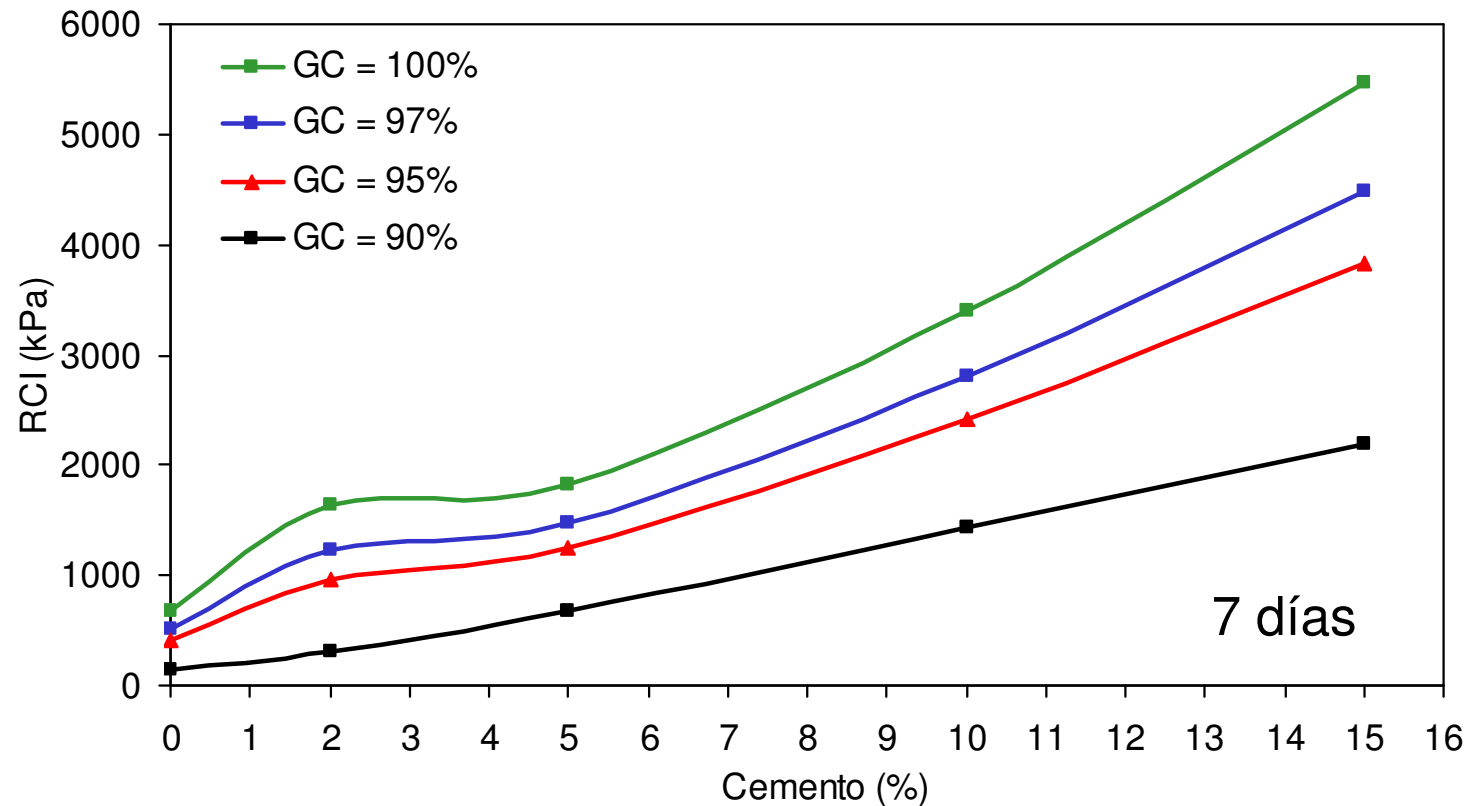
Suelo Desagregado de Fm Arapey (GP-GM)



Efectos de la Estabilización en la Resistencia Dependencia con Contenido de Cemento

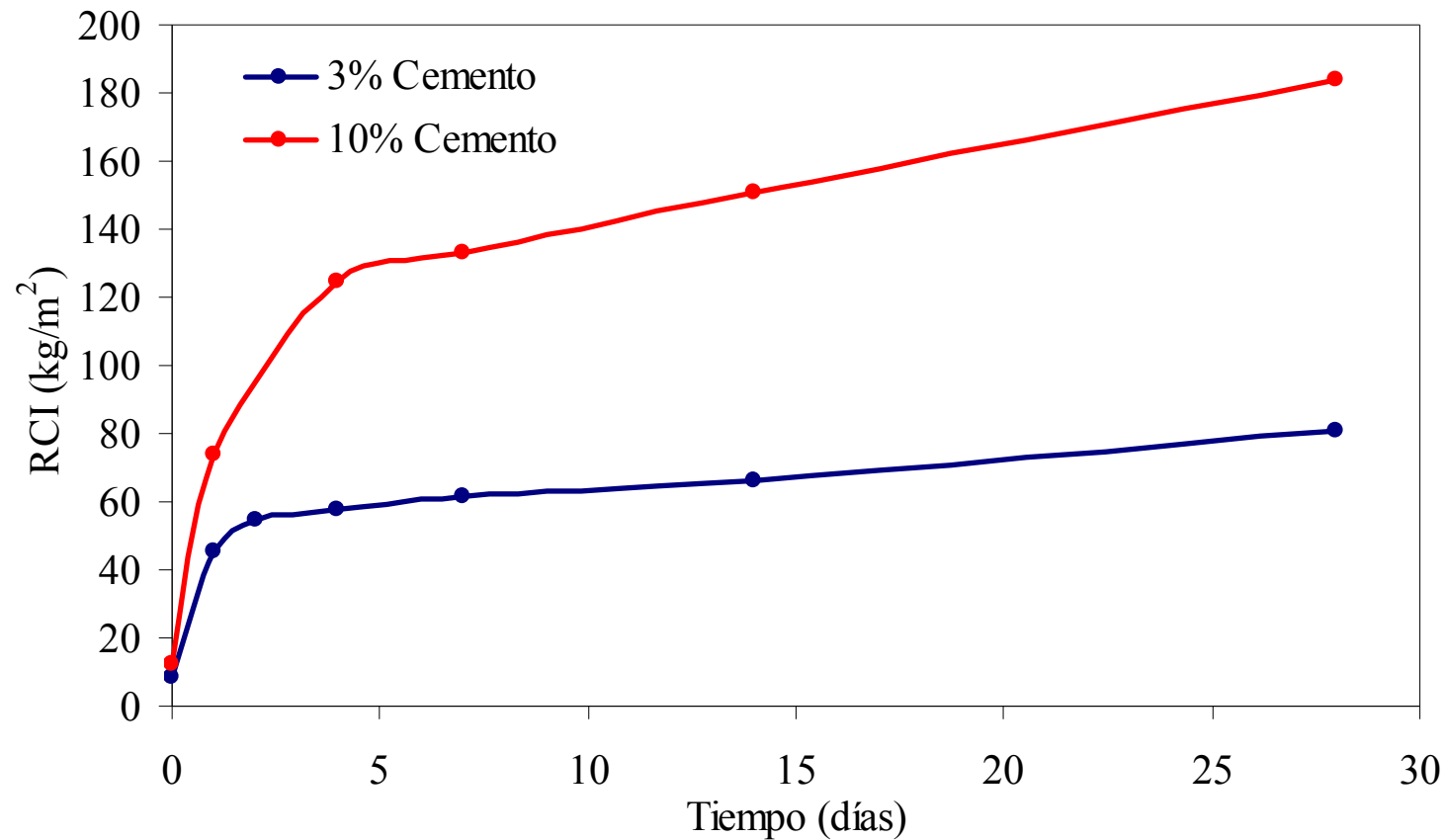
Cantera Yucutujá

Suelo Desagregado de Fm Arapey (GP-GM)



Efectos de la Estabilización en la Resistencia Dependencia con Contenido de Cemento y Tiempo

Grava – Arena (Hveem y Zube, 1963)



Efectos de la Estabilización en la Resistencia Efecto del Retardo de Compactación

Hveem y Zuba (1963)

