

SUELOS
DISPERSIVOS
Parte 1 -
DIQUE DE
ALBERDI

José Pavón Mendoza





MECANISMOS DE FALLA

- **Suelos Dispersivos**
- Deslizamiento de Taludes

Suelos Dispersivos



Erosión interna
regresiva (piping)

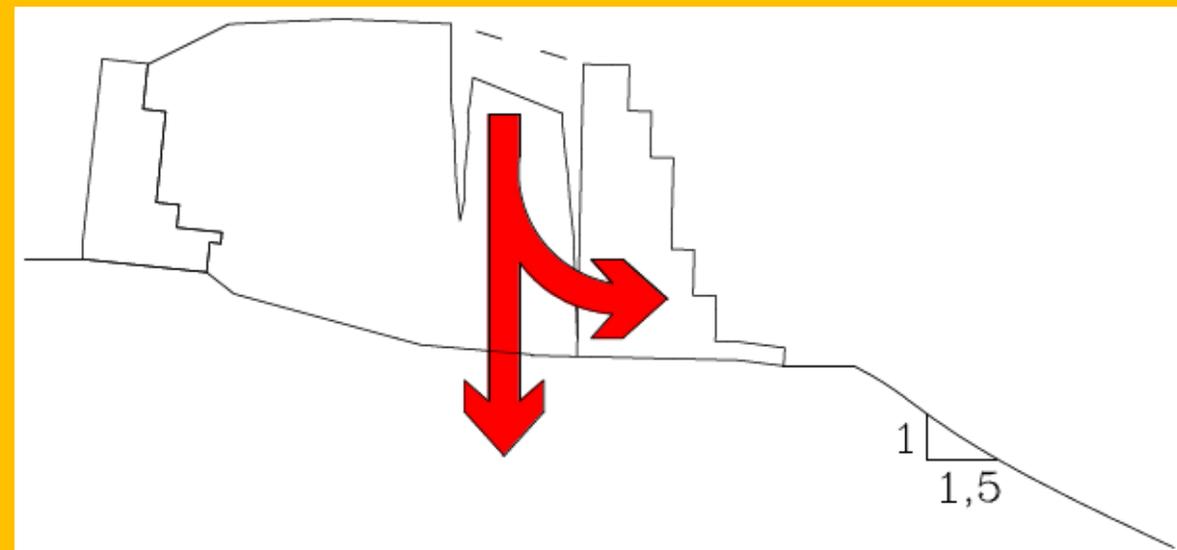
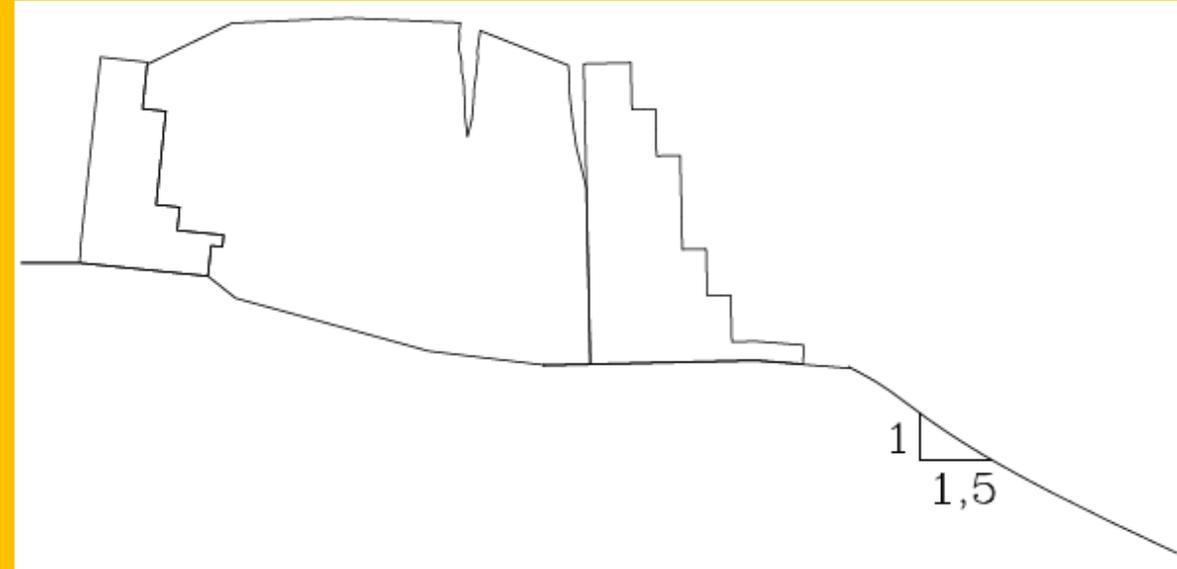


MECANISMOS DE FALLA

Erosión interna regresiva (piping)

El fenómeno se desarrolla por acción de las aguas de lluvia que actúan como dipolos, a través de los cationes de sodio que capturan los suelos finos y los arrastran en un proceso erosivo.

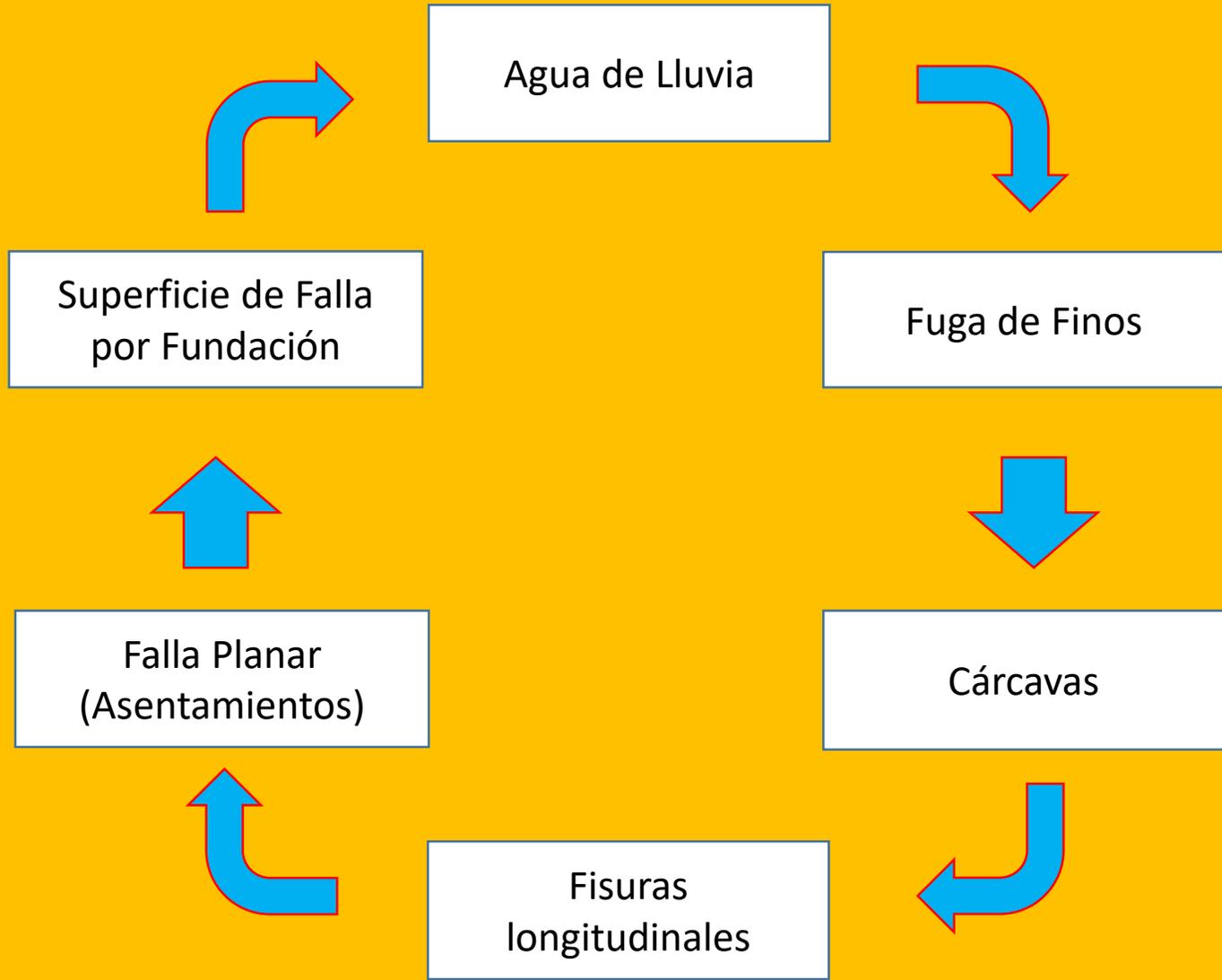
Este proceso se traduce en una tubificación al interior del terraplén y cárcavas al exterior en el talud.

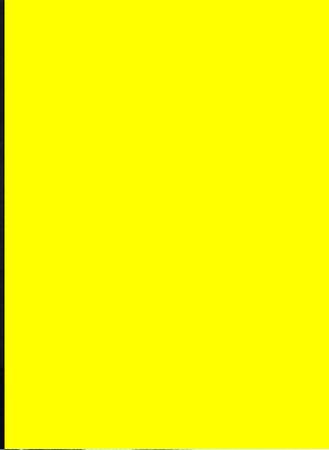
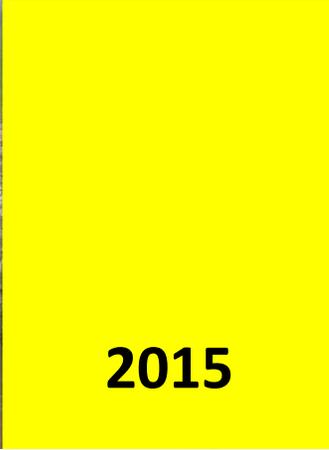




MECANISMOS DE FALLA

- Suelos Dispersivos
- **Deslizamiento de Taludes**

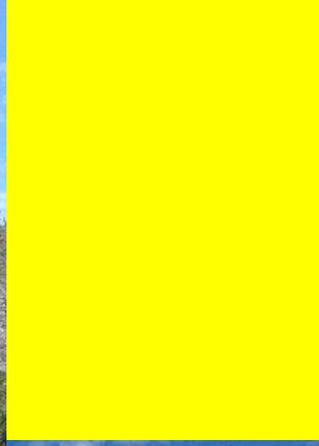


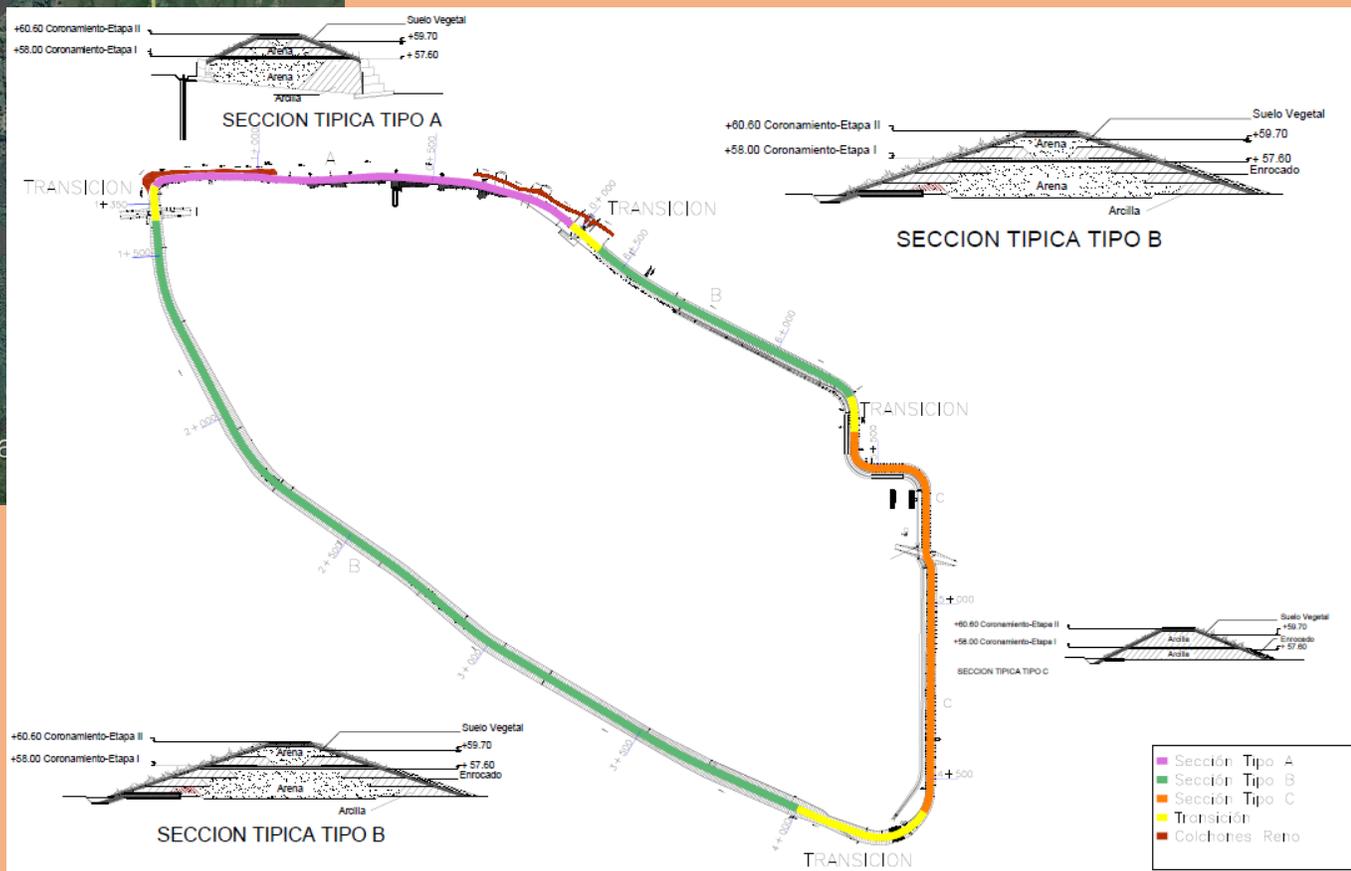
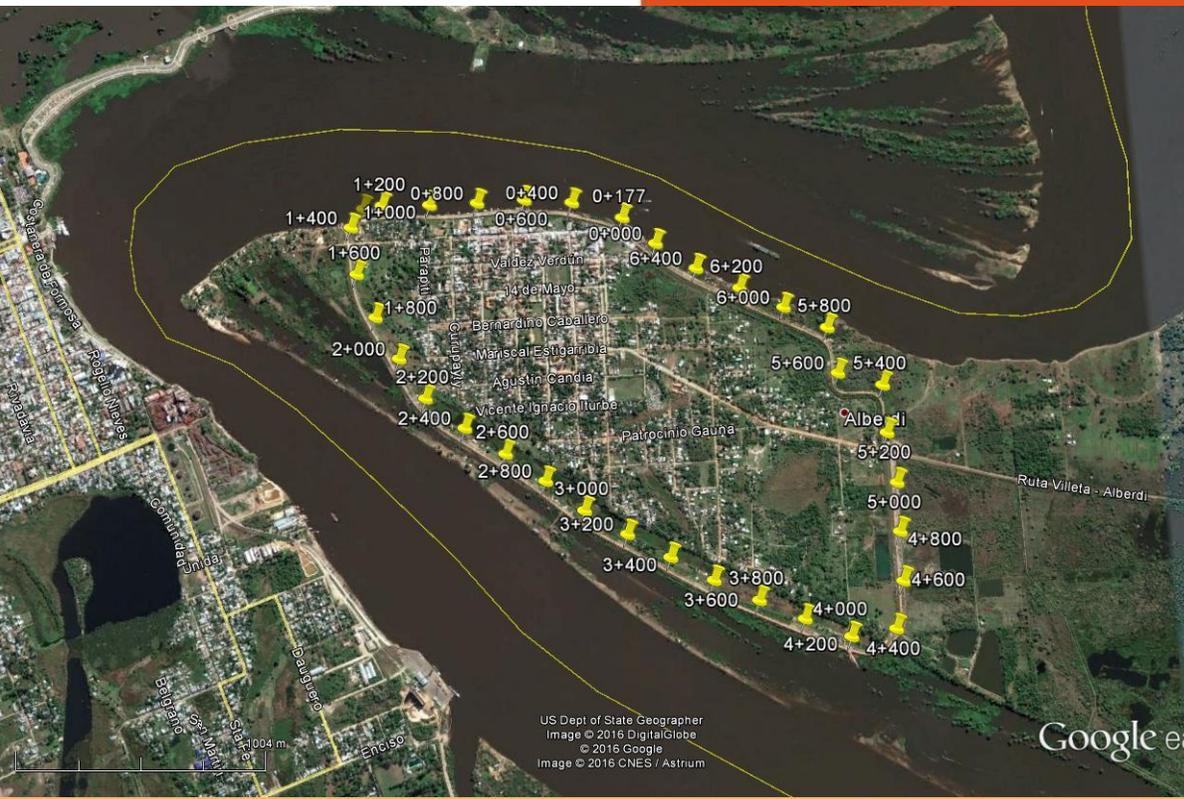






2015





CAMPAÑA DE ENSAYOS DE CAMPO

- 1) Fundación
- 2) Dique

- SPT Standard Penetration Test
- Calicatas: muestras inalteradas
- Densidad in situ



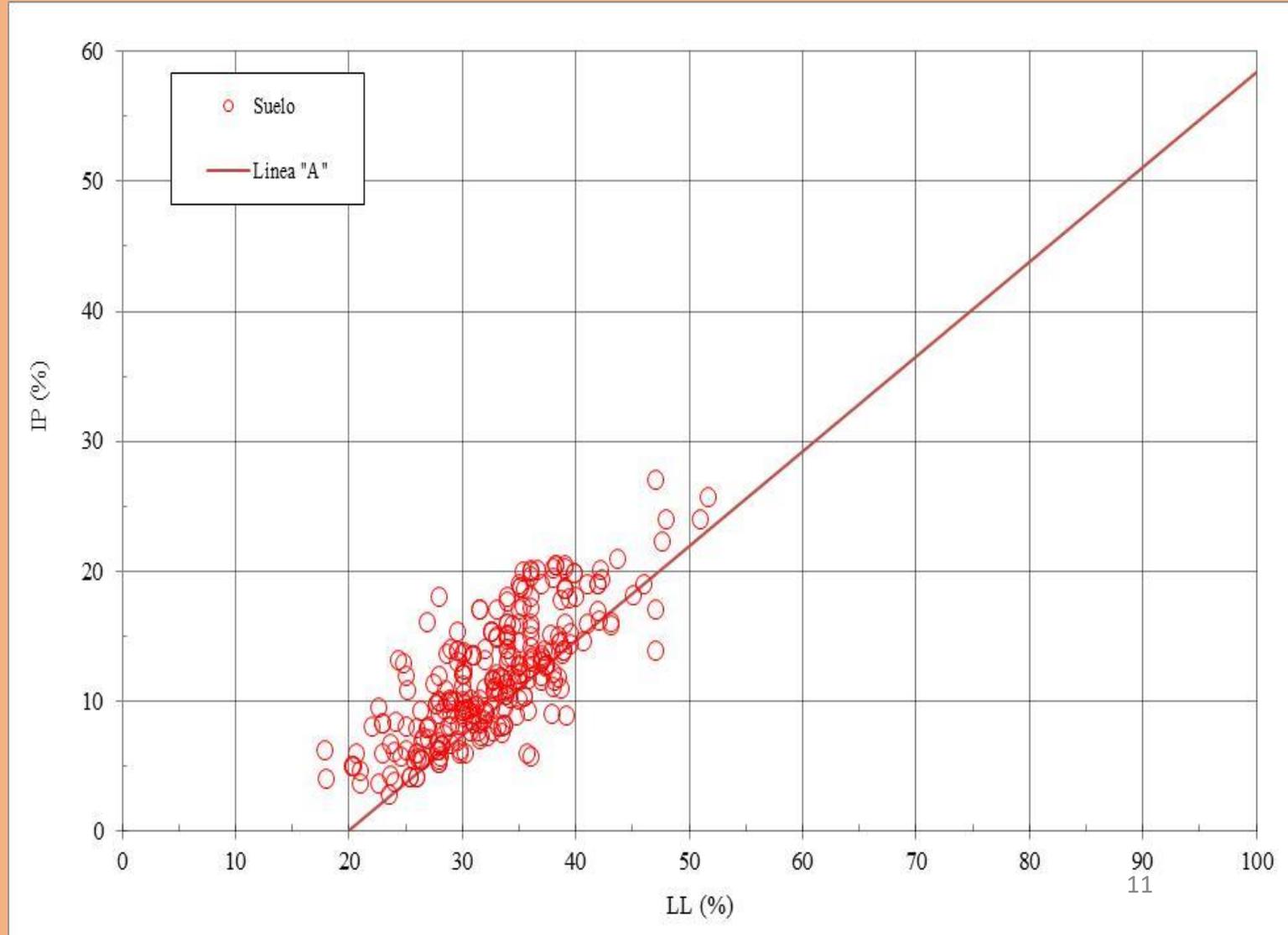


ENSAYOS DE LABORATORIO

- **Clasificación de Suelos**
- Permeabilidad
- Compresión Simple
- Corte Directo
- Triaxial UU
- Crumb Test
- Pinhole Test
- Contenido de Sales
- Suelo Cal

SISTEMA SUCS
ML – CL – CH

SISTEMA AASHTO
A-4
A-6
A-7-6





ENSAYOS DE LABORATORIO

- Clasificación de Suelos
- Permeabilidad
- Compresión Simple
- Corte Directo
- Triaxial UU
- **Crumb Test**
- **Pinhole Test**
- **Contenido de Sales**
- Suelo Cal

Total de Muestras Ensayadas: 16

- Grado 1: 8
- Grado 2: 6
- Grado 3: 2
- Grado 4: --

CRITERIOS DEL CRUMB TEST

Grado de Reacción	Interpretación
1	Sin reacción. No se enturbia el agua. Puede haber terrones de suelos disgregados pero el agua continua limpia sin partículas en suspensión.
2	Leve reacción. Coloides rodeando la superficie del suelo.
3	Reacción moderada. Los coloides son fácilmente reconocibles.
4	Fuerte reacción. Los coloides cubren todo el fondo del recipiente. En casos extremos toda el agua tiene coloides.



ENSAYOS DE LABORATORIO

- Clasificación de Suelos
- Permeabilidad
- Compresión Simple
- Corte Directo
- Triaxial UU
- Crumb Test
- **Pinhole Test**
- Contenido de Sales
- Suelo Cal

Total de Muestras Ensayadas: 16

D1 – D2: --

ND3 – ND4: 5

ND1 – ND2: 11

CRITERIOS DEL PINHOLE TEST

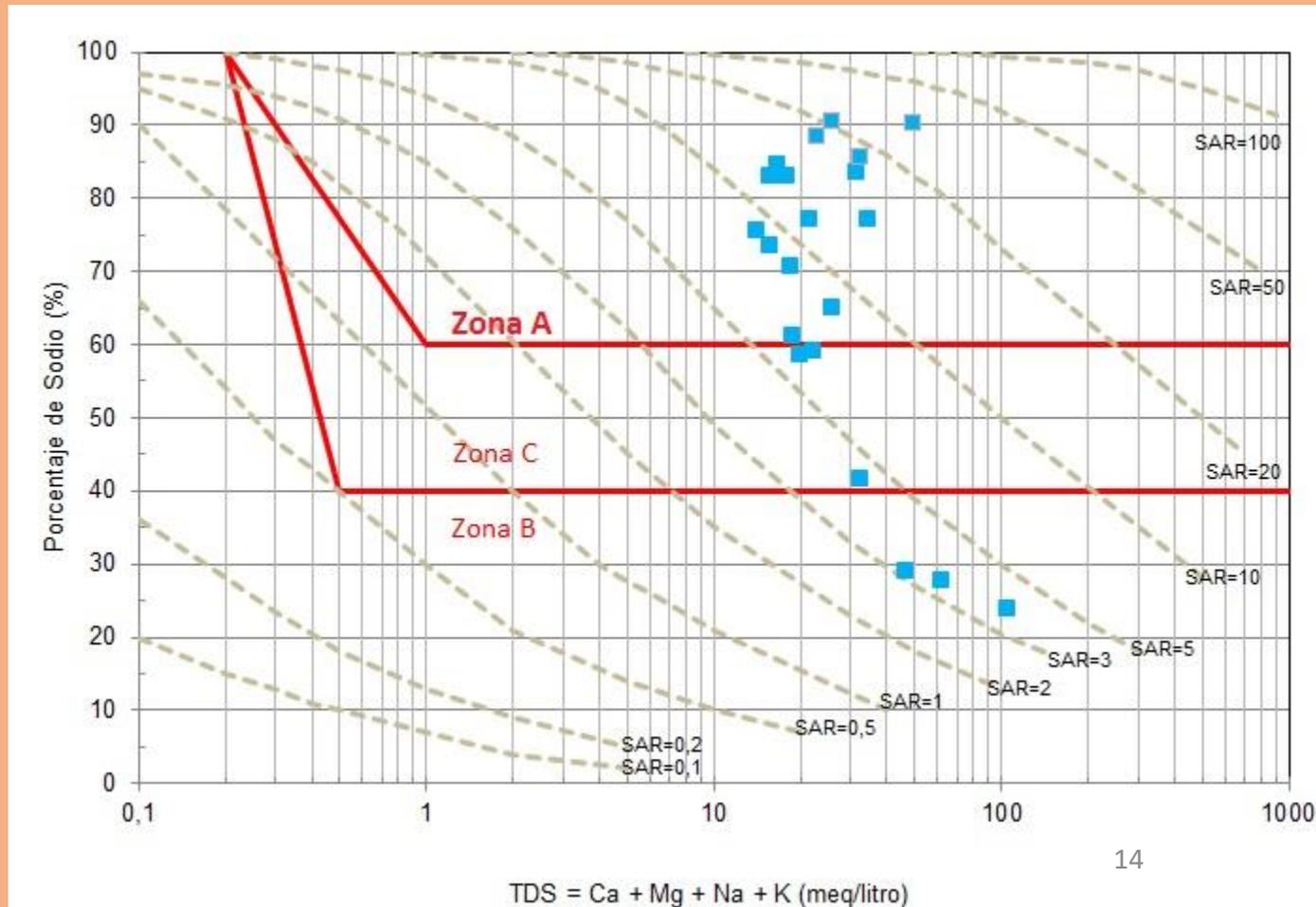
Calificación	Descripción
D1 - D2	Dispersivo
ND3 - ND4	Leve o moderadamente dispersivo.
ND1 - ND2	No dispersivo

ENSAYOS DE LABORATORIO

- Clasificación de Suelos
- Permeabilidad
- Compresión Simple
- Corte Directo
- Triaxial UU
- Crumb Test
- Pinhole Test
- **Contenido de Sales**
- Suelo Cal

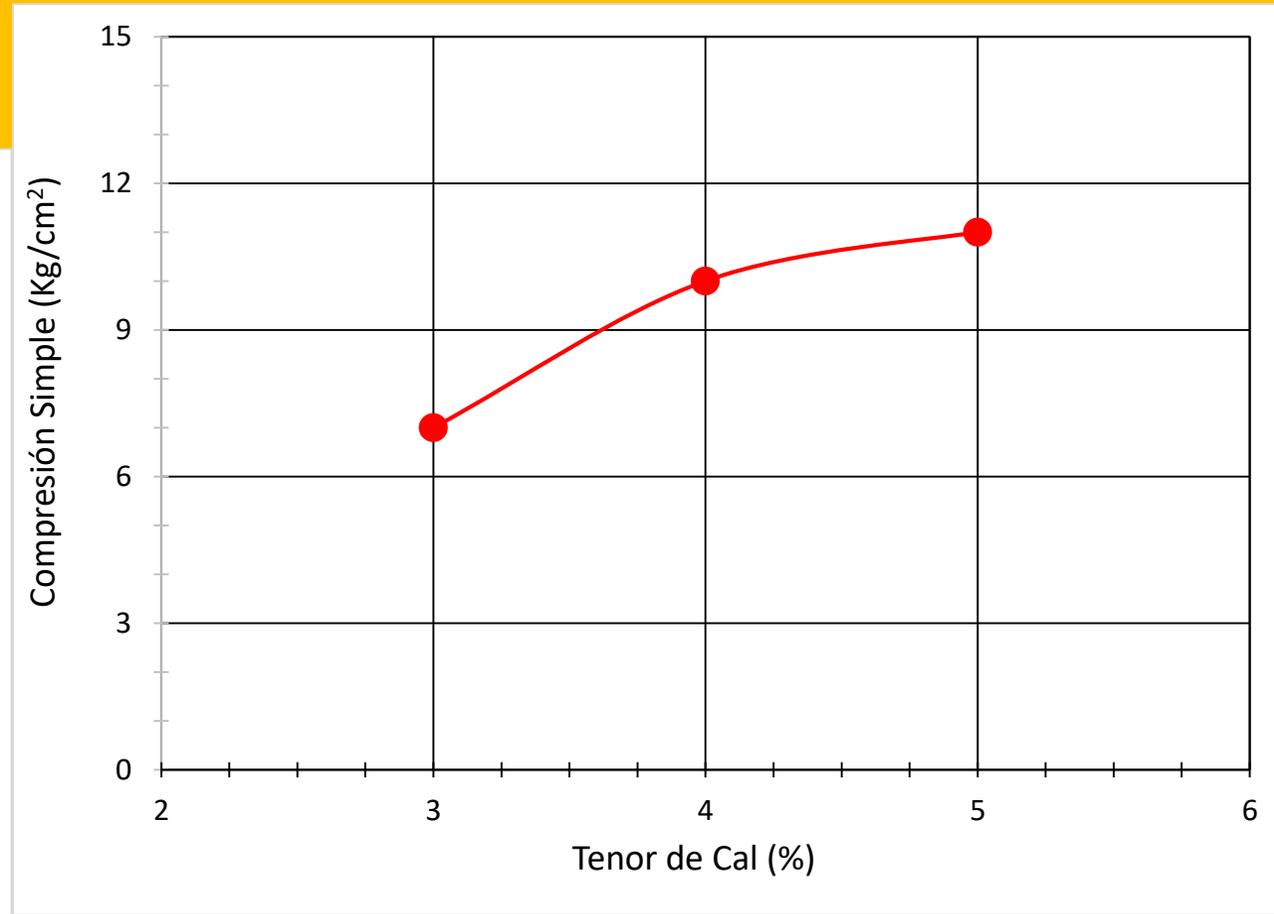
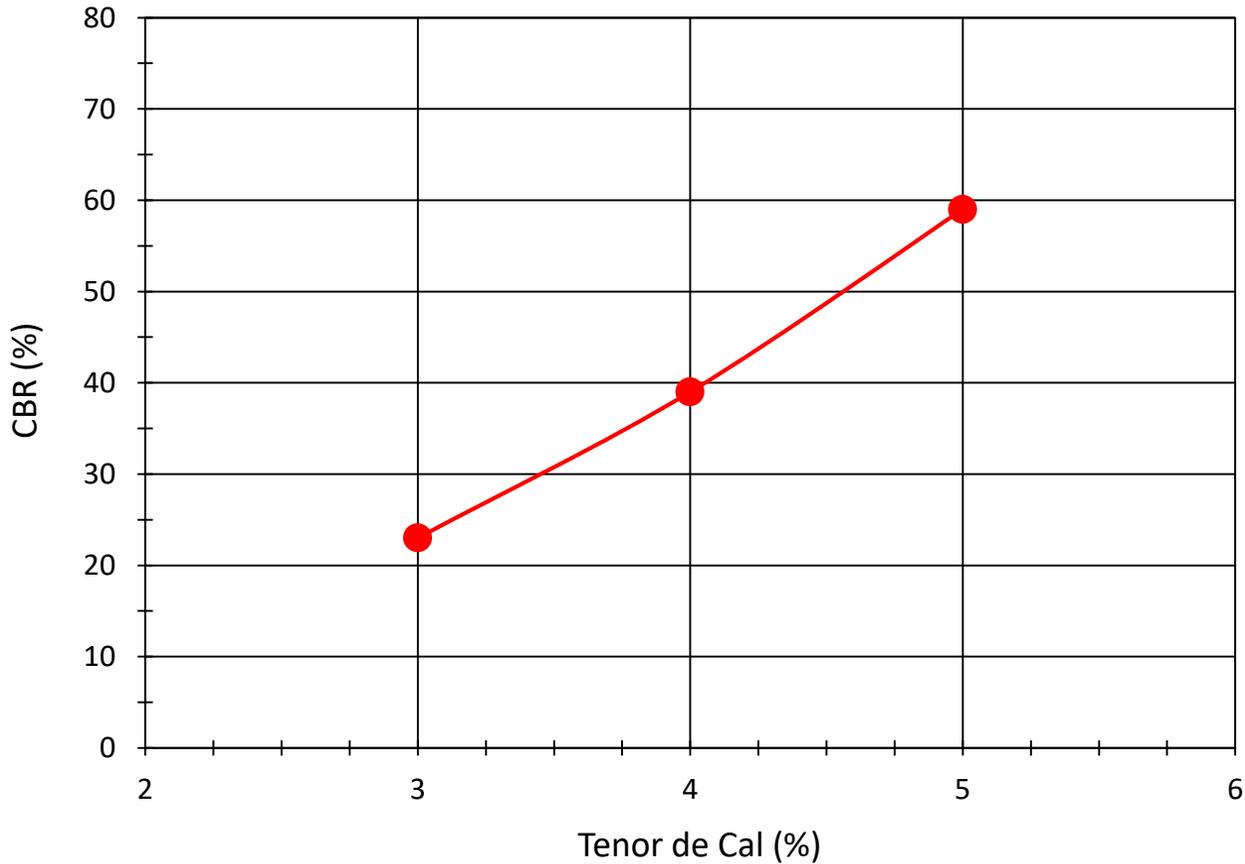
$$SAR = \frac{Na}{\sqrt{0.5(Ca + Mg)}}$$

GRAFICO DE SALES TOTALES EN EL AGUA DE POROS





SUELO CAL (CUV>60%)





El muro de contención de Alberdi tiene su coronamiento en 12 metros. Archivo Última Hora.

2016

SUELOS DEL CHACO Parte 2 – LINEAS DE INVESTIGACION

Alejandro Quiñónez
Samaniego





SUELOS DEL CHACO PARAGUAYO

- Suelos sedimentarios
- Considerable cantidad de limos y arcillas (suelos finos)
- Suelos dispersivos (Hasta ahora en norte y sur del chaco – Villa Hayes y Filadelfia)
- Suelos sulfatados (Hasta ahora en medio a norte -Filadelfia)
- Suelos de baja capacidad portante



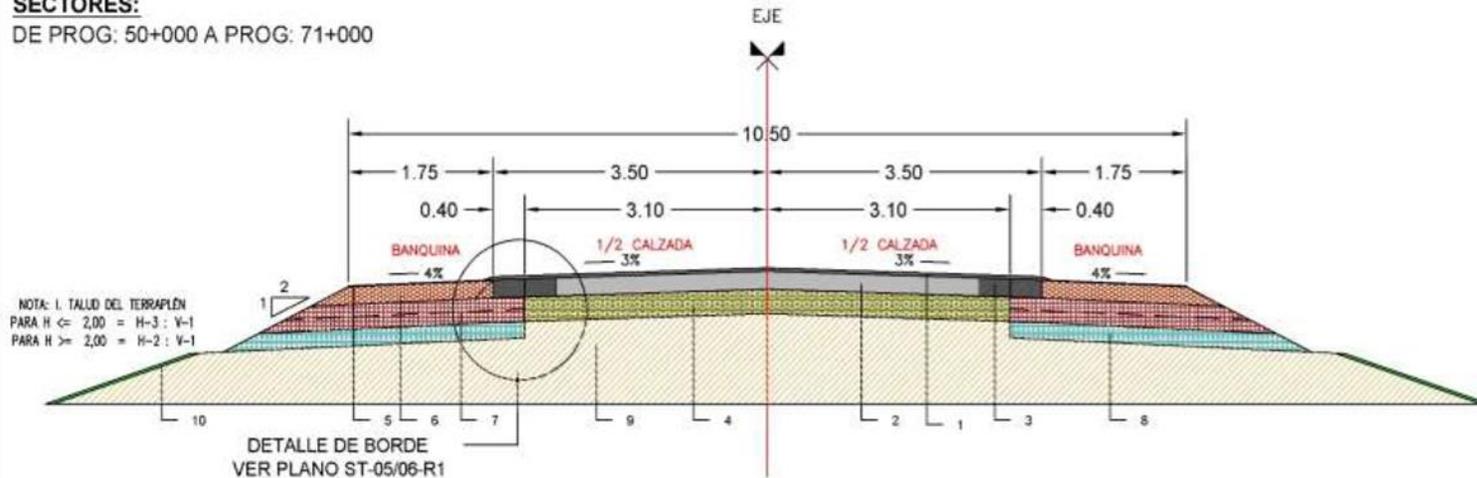
ESTRUCTURA EXISTENTE (SUR DEL CHACO)

INFORME FINAL

SUBTRAMO: PROG. 21+000 A PROG. 71+000
SECCIONES TIPO

SECTORES:

DE PROG: 50+000 A PROG: 71+000



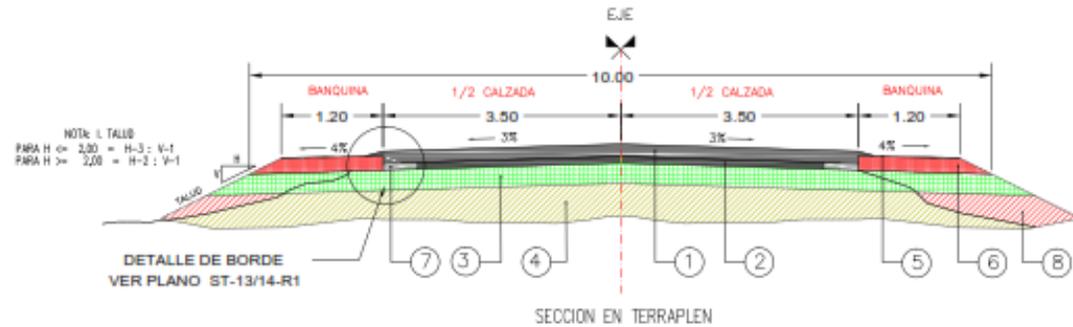
SECTOR: DE PROG. 50+000 A PROG. 71+000		
PAQUETE ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO EXISTENTE	ESP. (m)	ANCHO (m)
CAPA DE CONCRETO ASFÁLTICO	0.22	6.20
SUB BASE DE ARENISCA	Var. 0.28 a 0.31	6.60
TRATAMIENTO SUPERFICIAL SIMPLE EN BANQUINA	-	2.15
BASE DE SUELO RIPO EN BANQUINA	0.15	2.15
SUB RASANTE	-	-

REF.	PAQUETE ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO	ESP. (m)	ANCHO (m)
1	CARPETA DE CONCRETO ASFÁLTICO CON POLÍMERO	0.04	7.00
2	CAPA DE CONCRETO ASFÁLTICO (EXISTENTE)	0.22	6.20
3	CAPA DE CONCRETO ASFÁLTICO CON POLÍMERO EN ENSANCHO	0.22	0.65
4	SUB BASE DE ARENISCA (EXISTENTE)	Var. 0.28 a 0.31	6.60
5	TRATAMIENTO SUPERFICIAL SIMPLE EN BANQUINA	-	1.85
6	BASE GRANULAR EN BANQUINA CBR ≥ 100%	0.22	1.75
7	SUB BASE DE SUELO PIEDRA 30/70 EN BANQUINA CBR ≥ 60%	Var. 0.28 a 0.31	2.60
8	MEJORAMIENTO DE SUB RASANTE EN BANQUINA CBR ≥ 10%	0.20	3.20
9	SUB RASANTE EXISTENTE	-	-
10	PROTECCIÓN VEGETAL DE TALUDES	-	-

- ✓ Base de arenisca (en unos tramos)
- ✓ Base de suelo cal
- ✓ Base de suelo cemento
- ✓ Y carpeta de concreto asfáltico

ESTRUCTURA EXISTENTE (MEDIO A NORTE)

SUBTRAMO: KM 443 - KM 525
SECCIÓN TIPO



PAQUETE ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO EXISTENTE	ESP. (m)	ANCHO (m)
CAPA DE CONCRETO ASPÁLTICO (VER TABLA DE REFUERZOS)	Var.	6,00
BASE DE SUELO CAL CBR = 6%	0,19	10,00
SUB BASE DE SUELO CAL CBR = 6%	0,18	10,00
SUBRASANTE DE SUELO SELECCIONADO CBR = 6%	0,20	11,60
TERRAPLEN CBR = 10%	0,16	12,40

REF.	PAQUETE ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO	ESP. (m)	ANCHO (m)
1	CAPA DE CONCRETO ASPÁLTICO CON POLÍMERO (VER TABLA DE REFUERZOS)	VAR.	7,00
2	CAPA DE CONCRETO ASPÁLTICO (EXISTENTE) - VER TABLA DE REFUERZOS	VAR.	6,00
3	SUB RASANTE SUELO SELECCIONADO (EXISTENTE)	0,30	10,00
4	TERRAPLEN (EXISTENTE)	-	10,60
5	TRATAMIENTO SUPERFICIAL SIMPLE EN BANQUINA	-	1,20
6	BASE GRANULAR EN BANQUINA CBR ≥ 100%	VAR.	1,20
7	CAPA DE CONCRETO ASPÁLTICO CON POLÍMERO EN ENSANCHE	VAR.	0,80
8	TERRAPLEN (RECONSTRUCCIÓN PARCIAL)	VAR.	VAR.

TRAMOS	LONG. (Km)	TABLA DE REFUERZOS	
		ESPESOR DE CAPA DE C'A* EXISTENTE (m)	ESPESOR DE REFUERZO (m)
DESDE PROG. 443+000 A PROG 450+000	7,0	0,11	0,14 en 3 capas (0,05 + 0,05 + 0,04)
DESDE PROG. 450+000 A PROG 458+000	8,0	0,13	0,09 en 2 capas (0,05 + 0,04)
DESDE PROG. 458+000 A PROG 473+000	15,0	0,13	0,11 en 2 capas (0,06 + 0,05)
DESDE PROG. 473+000 A PROG 478+000	5,0	0,13	0,08 en 2 capas (0,04 + 0,04)
DESDE PROG. 478+000 A PROG 480+000	2,0	0,09	0,08 en 2 capas (0,04 + 0,04)
DESDE PROG. 480+000 A PROG 489+000	9,0	0,15	0,08 en 2 capas (0,04 + 0,04)
DESDE PROG. 489+000 A PROG 513+000	24,0	0,17	0,07 en 1 capa
DESDE PROG. 513+000 A PROG 525+000	12,0	0,16	0,07 en 1 capa



- ✓ Sub-rasante de suelo seleccionado
- ✓ Sub-base de suelo cal
- ✓ Base de suelo cal
- ✓ Carpeta de concreto asfáltico

“Se observaron siempre peores condiciones en esta zona de la Transchaco”



SUELOS DISPERSIVOS

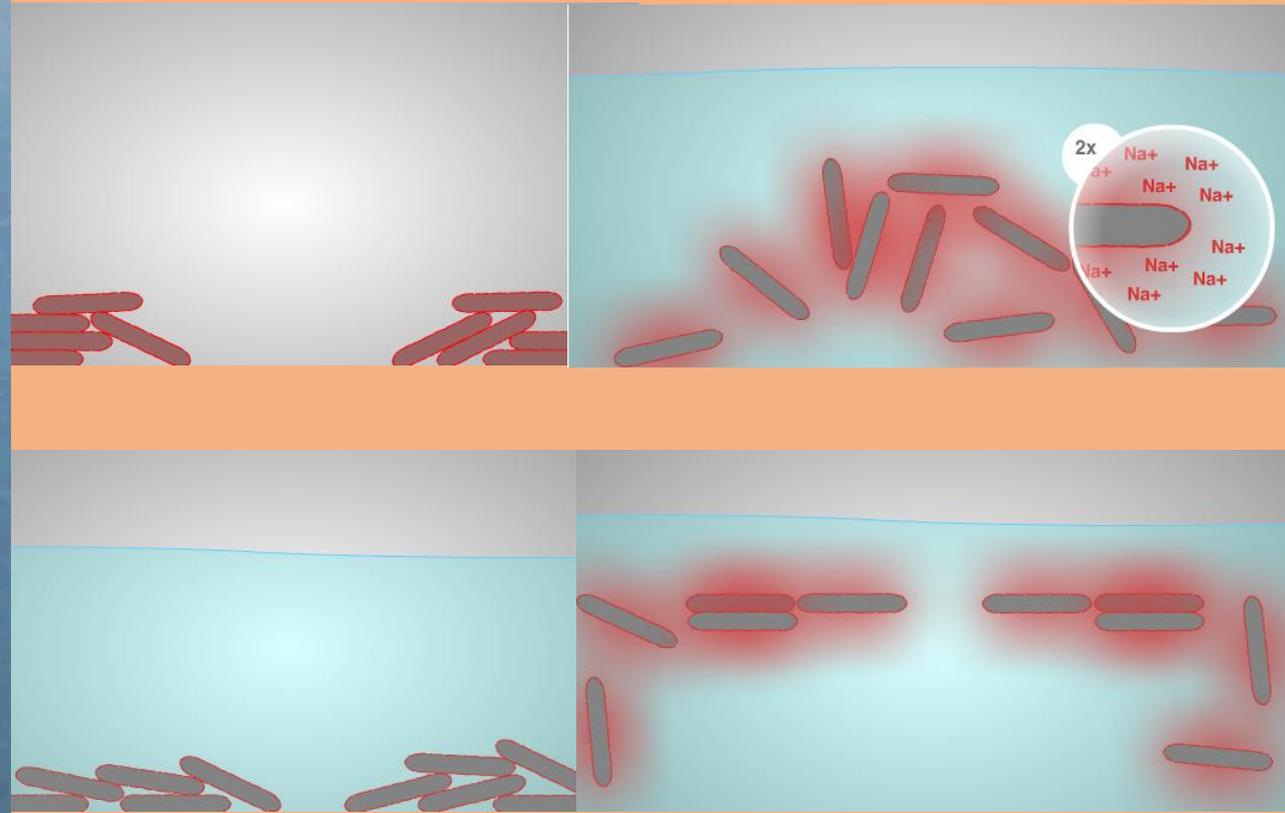
ARCILLAS DISPERSIVAS

Son aquellos suelos cuya concentración de sales de sodio (Na^+) en el agua intersticial pasa del 40% del total de sales disueltas, siendo susceptibles a la separación de partículas individuales y por lo tanto a la erosión de los mismos por la infiltración de agua.

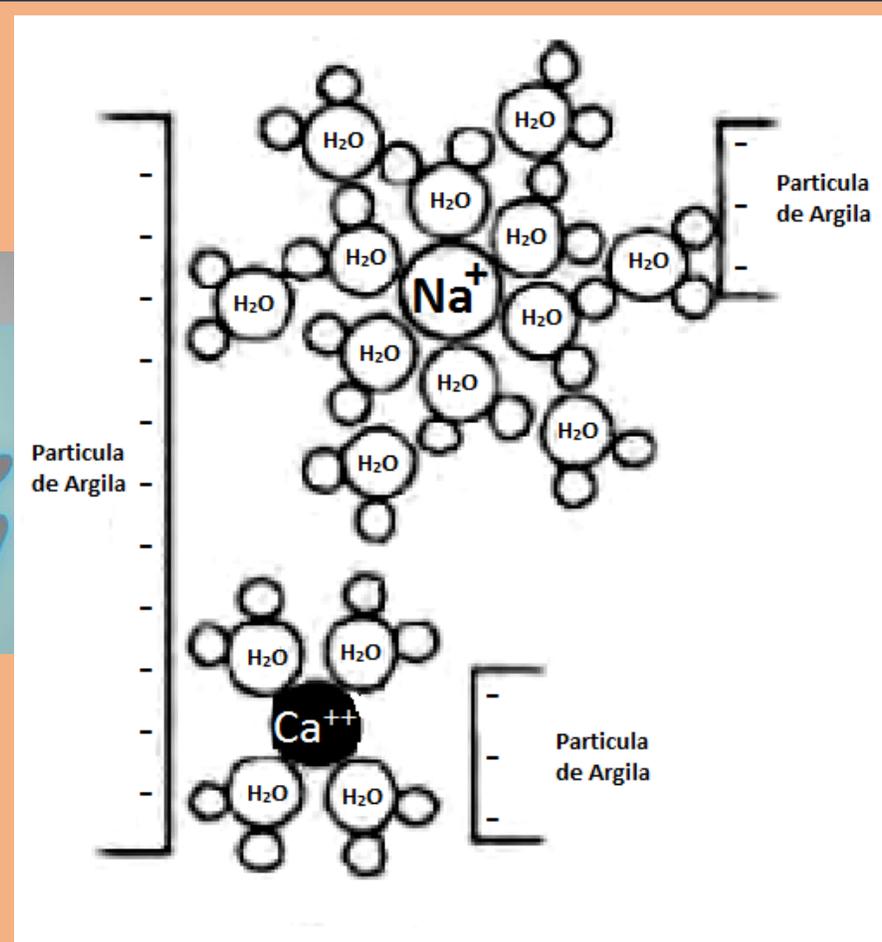
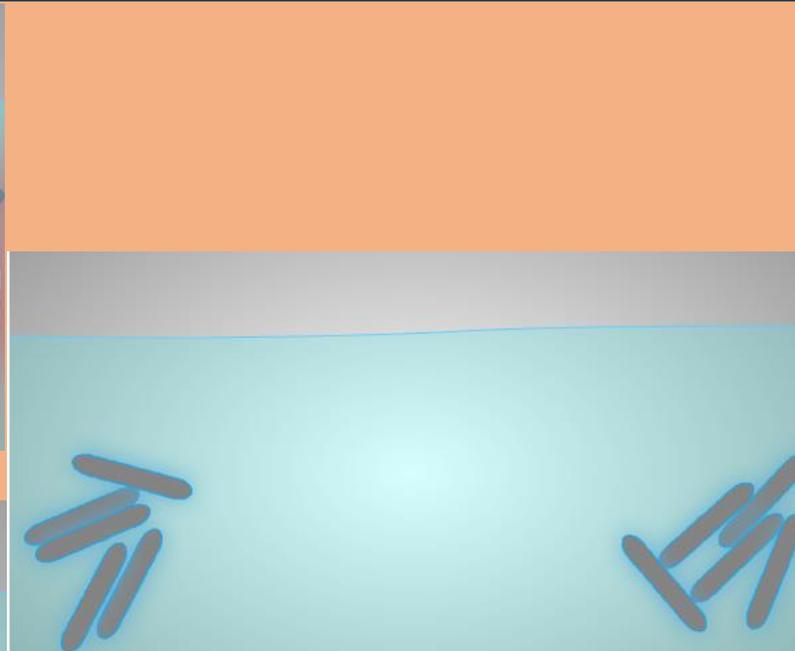
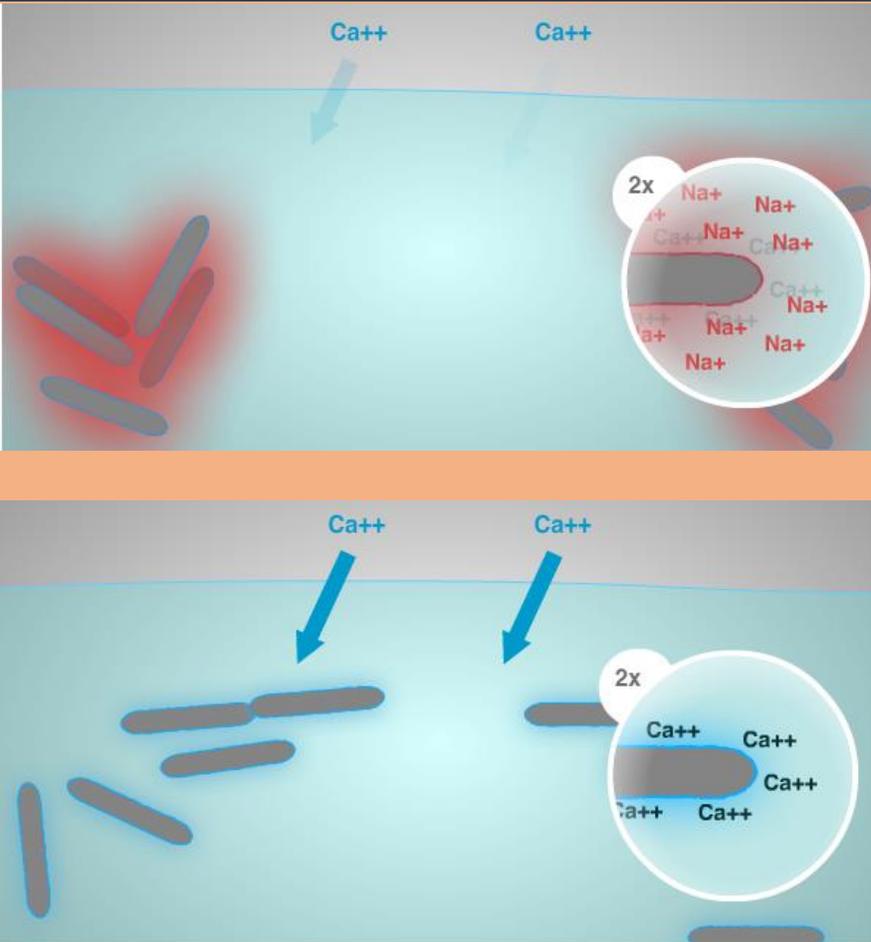




ARCILLAS DISPERSIVAS



ARCILLAS DISPERSIVAS





LA PRESENCIA DE SULFATOS

LA EXPERIENCIA EN TEXAS (USA)

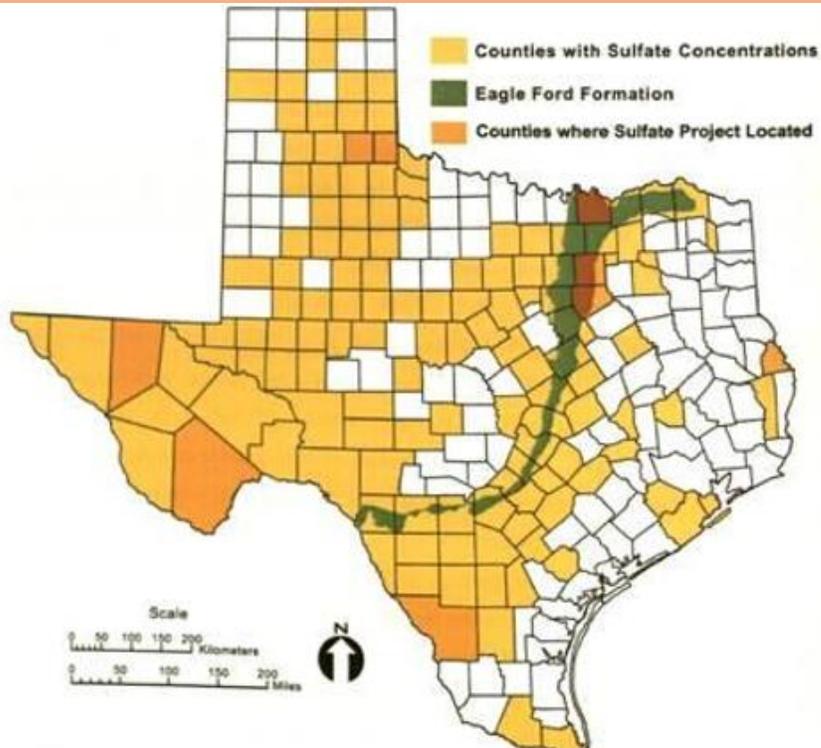


Figure 1.1 Location Map Showing Sulfate-bearing Soils in Texas
(Harris et al., 2004)

- Sulfatos de Calcio (Yeso)
- Sulfato de Sodio
- Sulfato de Magnesio

A fines de la década de los 80 Las Vegas, gastó el mismo costo de contrucción + 2,7 millones de dólares para reparar y mantener los pavimentos dañados por daños causados por presencia de sulfatos (Hunter, 1988).

El Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos reconstruyó una pista auxiliar de la base de la Fuerza Aérea Laughlin en Texas. Reconstrucción = Costo de Construcción + 1.5 millones de dólares.

Estos costos explican la gravedad del problema de la expansión en suelos sulfatados estabilizados (Perrin, 1992).

LA EXPERIENCIA EN EL CHACO



- Sulfatos de Calcio (Yeso)
- Sulfato de Sodio
- Sulfato de Magnesio

Fuente: Bittar (2017)

Sales Solubles	Unidad	A-6	A-4
Sulfato de Calcio (CaSO₄)	ppm	5,372	5,235
Sulfato de Potasio (K ₂ SO ₄)	ppm	93	115
Sulfato de Magnesio (MgSO₄)	ppm	1,351	445
Sulfato de Sodio (Na₂SO₄)	ppm	7,576	3,595
Bicarbonato de Sodio (NaHCO ₃)	ppm	215	225
Cloruro de Sodio (NaCl)	ppm	7,396	355
Sales totales	ppm	22,003	9,970
Sales de sulfato totales (SO ₄)	ppm	14,299	9,275



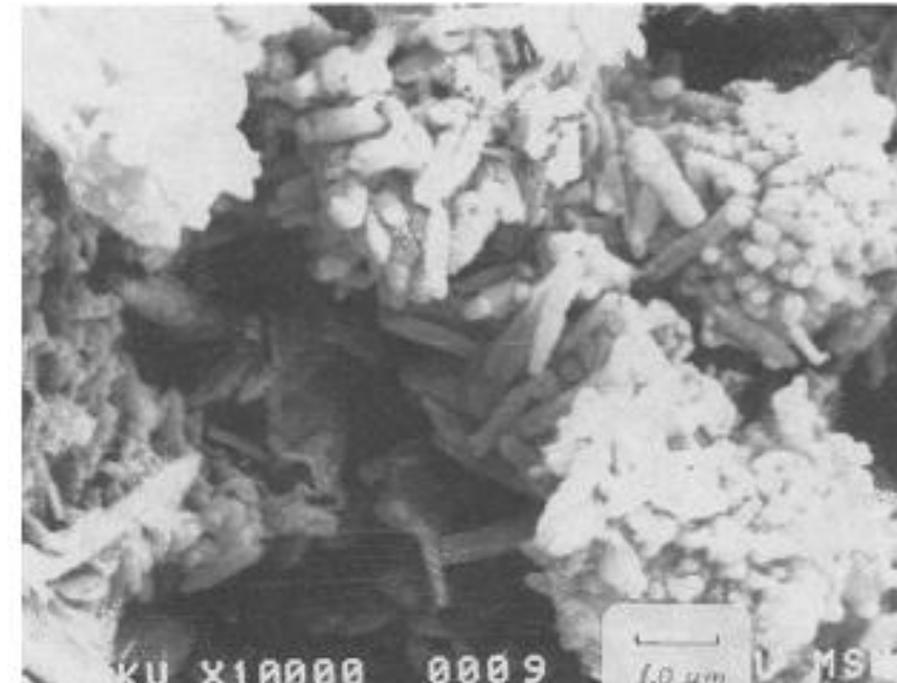
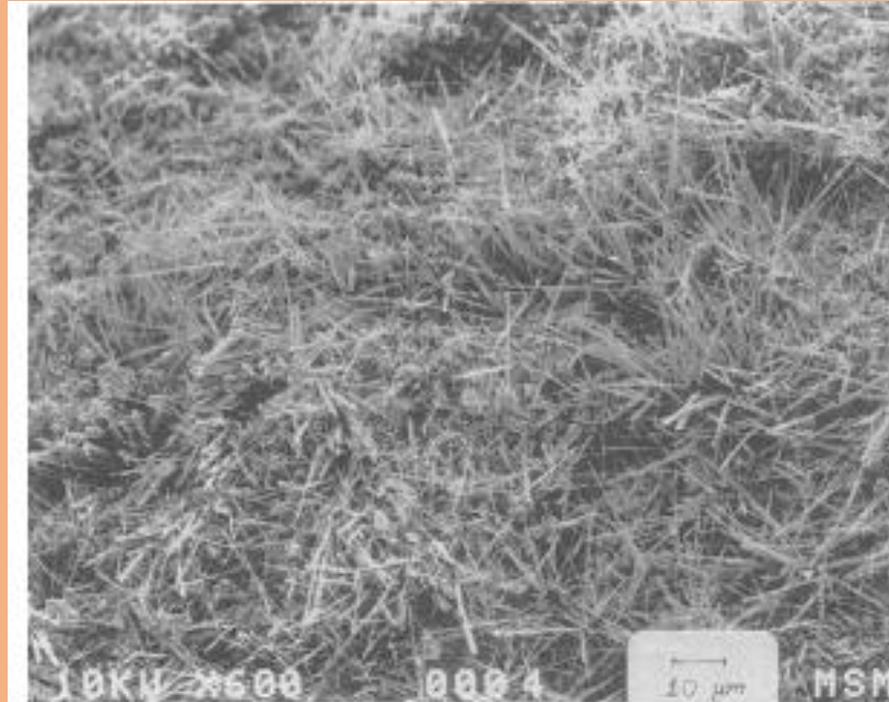
SUELOS SULFATADOS ESTABILIZADOS

Etringita en suelos sulfatados estabilizados en USA

Cuando el suelo y/o aguas subterráneas contienen sulfatos en solución, con presencia de cal que puede combinarse con la alúmina.

Etringita > 10-15°C

Taumasita < 15-10°C

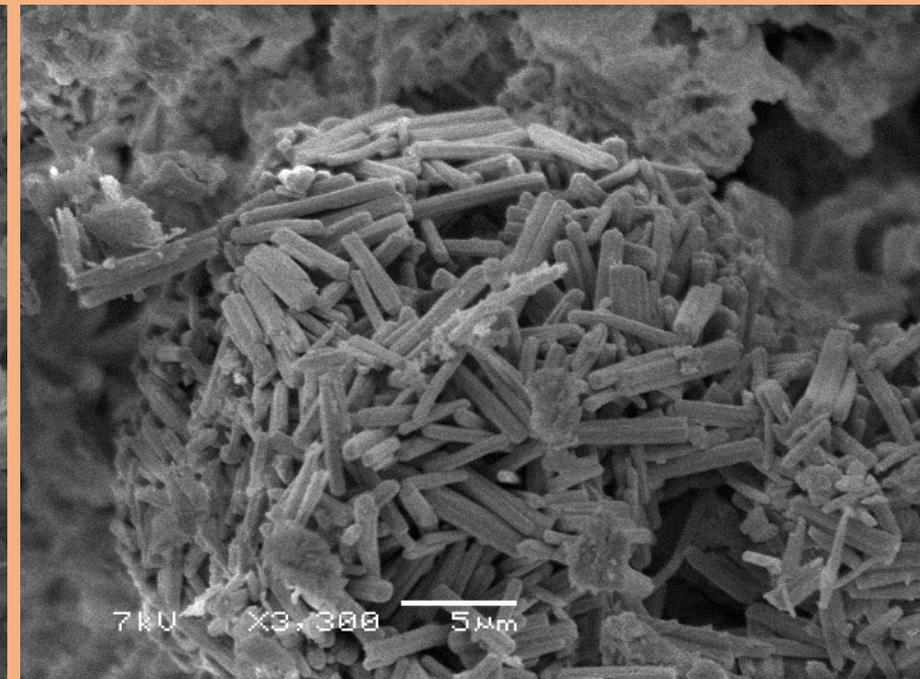
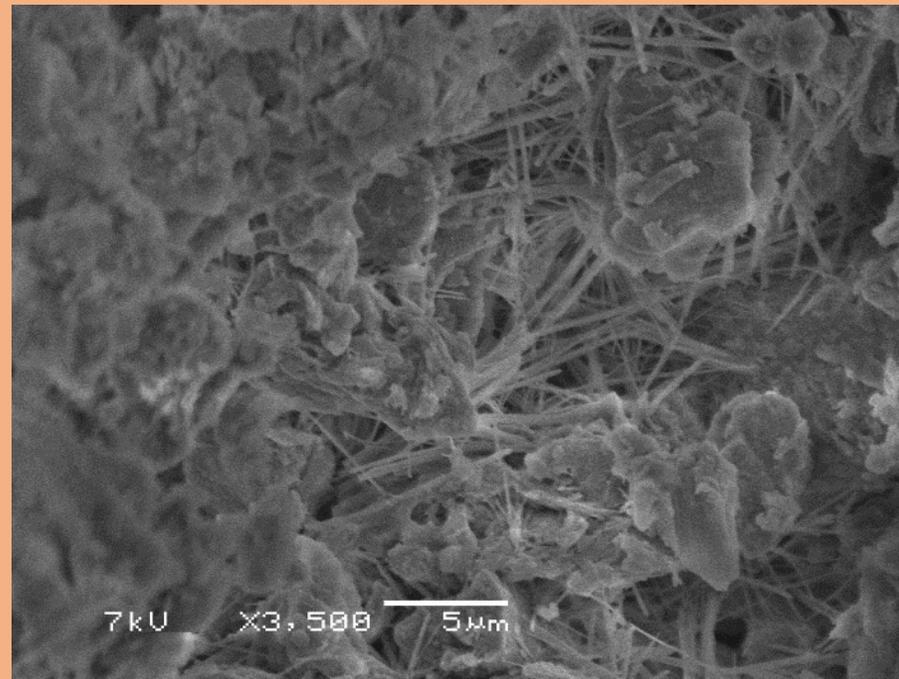


Etringita en suelos sulfatados estabilizados en el chaco

Cuando el suelo y/o aguas subterráneas contienen sulfatos en solución, con presencia de cal que puede combinarse con la alúmina.

Etringita > 10-15°C

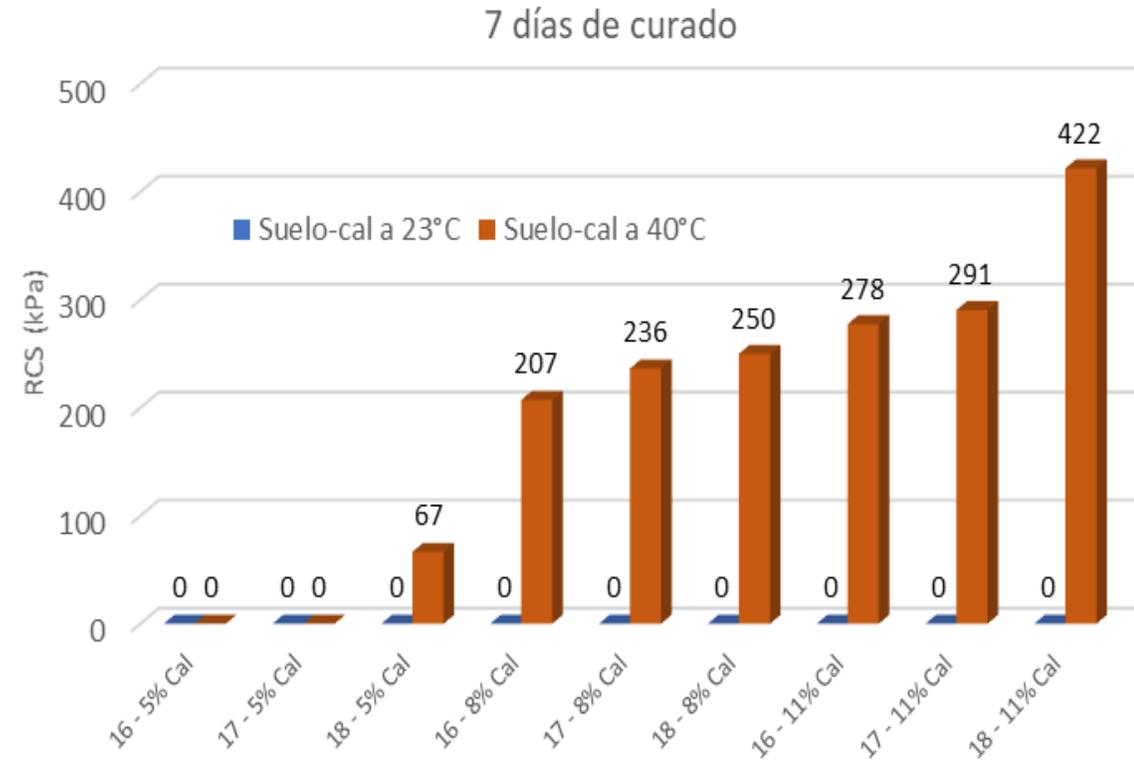
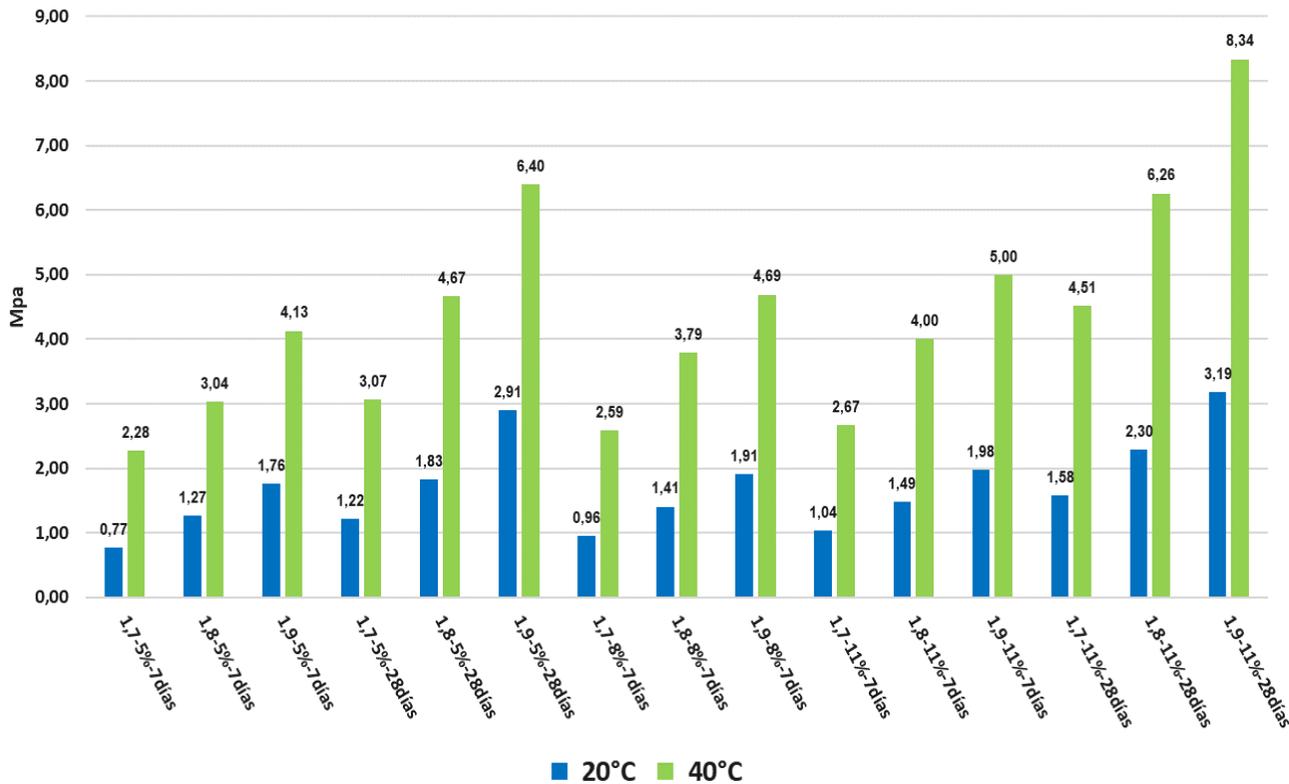
Taumasita < 15-10°C





ESTUDIOS REALIZADOS EN SUELOS SULFATADOS DEL CHACO

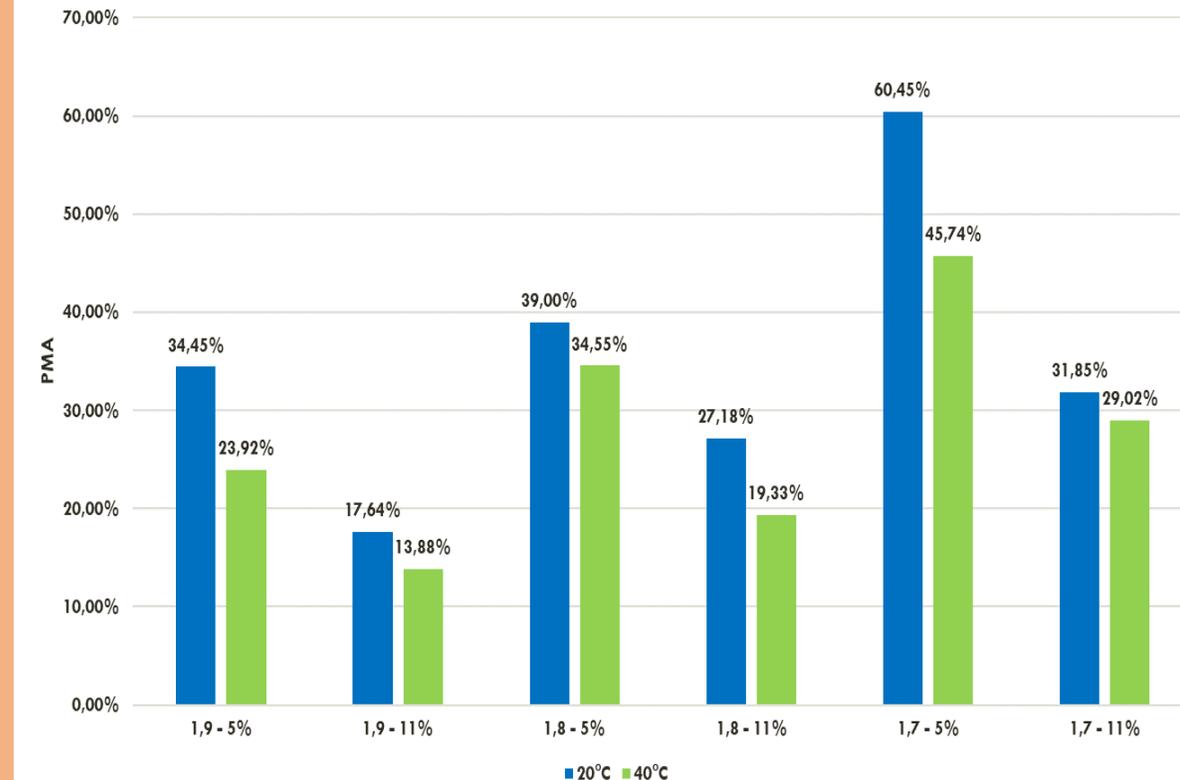
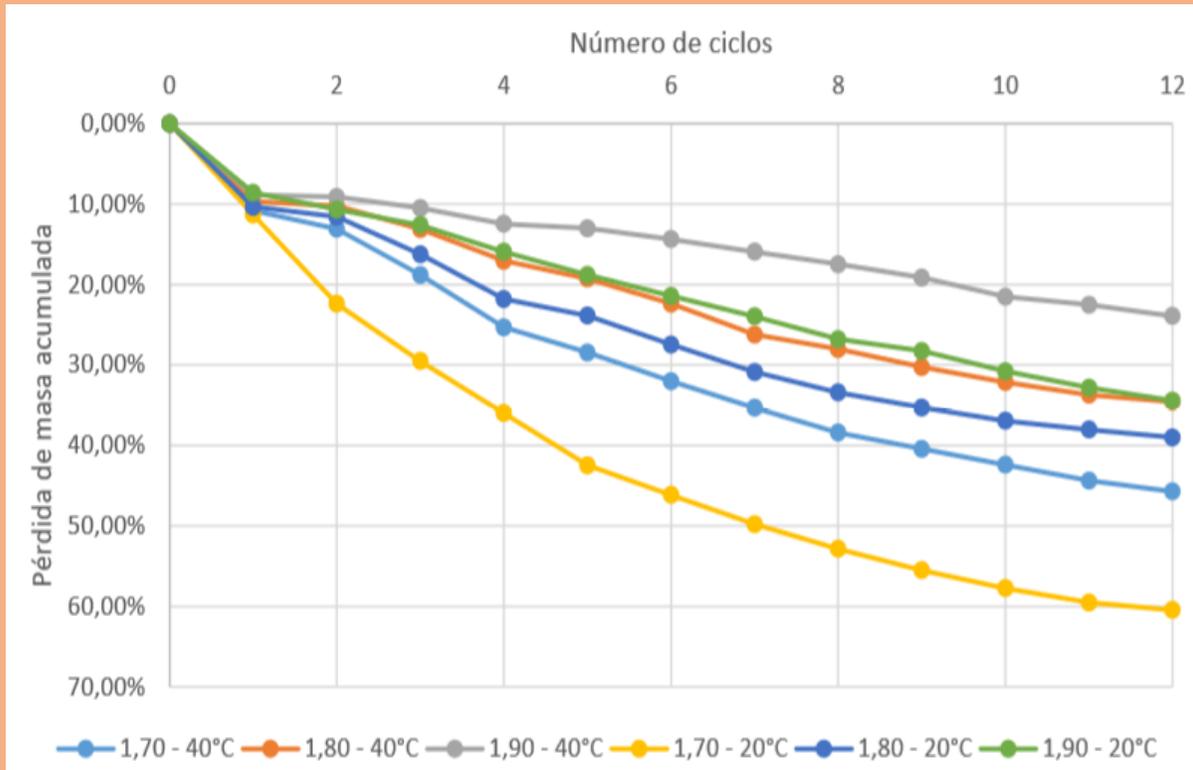
ESTUDIOS REALIZADOS EN SUELOS DEL CHACO



Suelos dispersivos de la zona de Villa Hayes estabilizados con cal presentan resistencias desde **800 kPa hasta 3000 kPa** mientras que suelos de la zona de Filadelfia con **20.000 ppm** de sulfatos estabilizados con cal tienen **resistencia nula** (no resistieron proceso de inmersión antes de la rotura) y resistencias bajas con temperatura de curado de 40°C



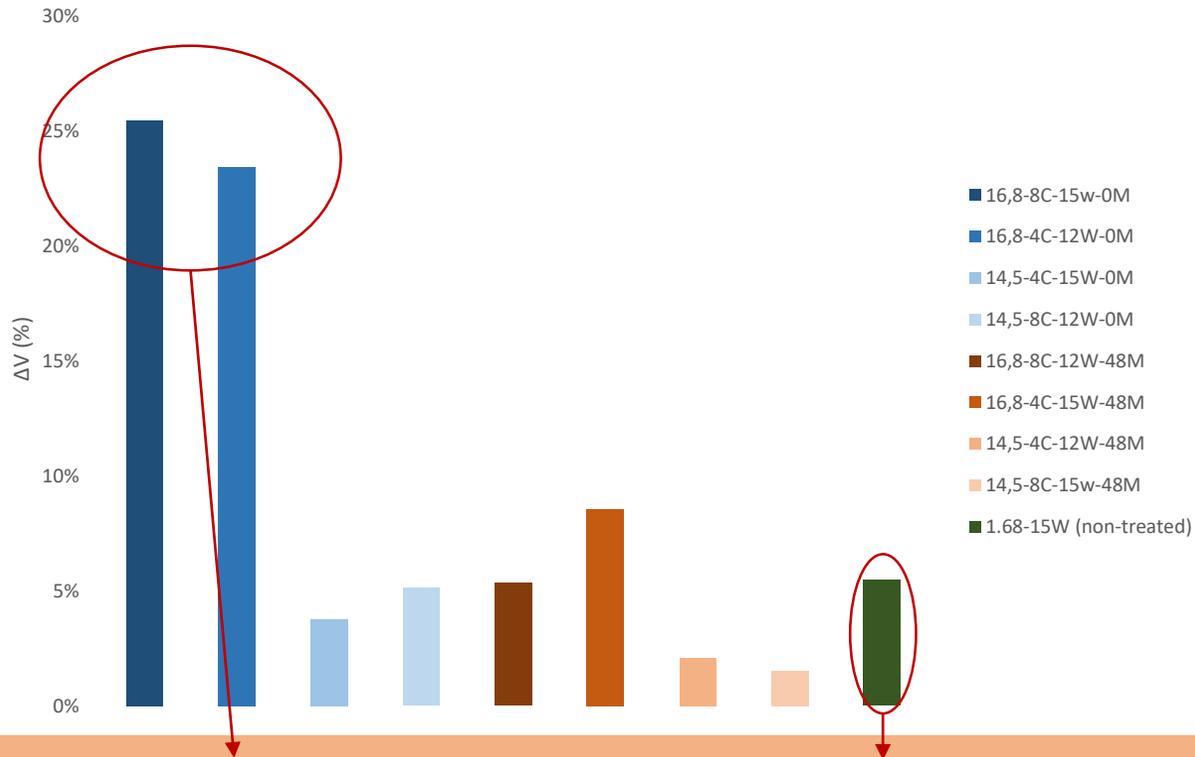
ESTUDIOS REALIZADOS EN SUELOS DEL CHACO



Suelos dispersivos de la zona de **Villa Hayes** estabilizados con cal presentan pérdida de masa desde **35% hasta 60%** después de 12 ciclos en términos de durabilidad, mientras que suelos de la zona de **Filadelfia con 20.000 ppm** de sulfatos estabilizados con cal presentan **durabilidad nula** (no resistieron al primer ciclo)

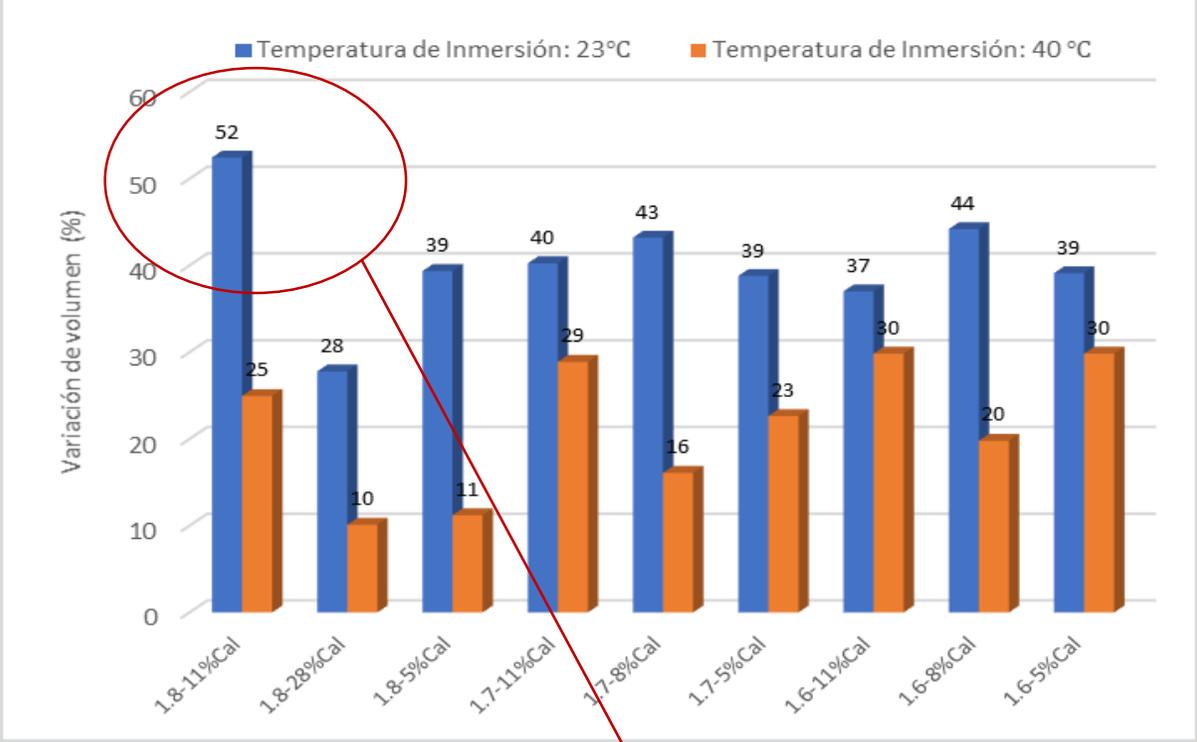


ESTUDIOS REALIZADOS EN SUELOS SULFATADOS DEL CHACO



Hasta 25% de expansión en suelo cal con 14.000 ppm de sulfatos

El suelo no tratado presenta una expansión del 5%



Hasta 50% de expansión en suelo cal con 20.000 ppm de sulfatos



PRACTICAS RECOMENDADAS INTERNACIONALMENTE



PRACTICAS RECOMENDADAS INTERNACIONALMENTE

Table 1. Level of risk associated with lime stabilization in sulfate-bearing clays.

Risk Involved	Soluble Sulfate Concentrations	
	Parts Per Million	Percent dry weight
Low Risk	Below 3,000 ppm.	Below 0.3%
Moderate Risk	Between 3,000 and 5,000 ppm	Between 0.3% and 0.5%
Moderate to High Risk	Between 5,000 and 8,000 ppm	Between 0.5% and 0.8%
High to Unacceptable Risk	Greater than 8,000 ppm	Greater than 0.8%
Unacceptable Risk	Greater than 10,000 ppm	Greater than 1.0%

Recommended practice for stabilization of sulfate soils (NCHRP , 2009)



PRACTICAS RECOMENDADAS INTERNACIONALMENTE

- Dos diferentes suelos en Filadelfia

ESTABILIZACION CON CAL?

Sales Solubles	Unidad	A-6	A-4
Sulfato de Calcio (CaSO ₄)	ppm	5.372	5.235
Sulfato de Potasio (K ₂ SO ₄)	ppm	93	115
Sulfato de Magnesio (MgSO ₄)	ppm	1.351	445
Sulfato de Sodio (Na ₂ SO ₄)	ppm	7.576	3.595
Bicarbonato de Sodio (NaHCO ₃)	ppm	215	225
Cloruro de Sodio (NaCl)	ppm	7.396	355
Sales totales	ppm	22.003	9.970
Sales de sulfato totales (SO₄)	ppm	14.299	9.275

“Alto contenido de sulfatos, en la zona de riesgo inaceptable”



PRACTICAS RECOMENDADAS INTERNACIONALMENTE

Métodos de tratamiento que tienen el potencial de estabilizar efectivamente suelos sulfatados, como:

- Compactación tardía del suelo tratado, conocido como Mellowing
- Cementos resistentes a sulfatos
- Cenizas Volantes Clase F
- Escorias granuladas de alto horno

Estos métodos mostraron estabilizar suelos con **hasta 8.000 ppm de sulfatos tanto en condiciones de laboratorio como en las de campo** (Kota et al.1996; Puppala et al. 2007; Wild et al.1999).



PRACTICAS RECOMENDADAS INTERNACIONALMENTE

A partir de 8.000 ppm de sulfatos tanto en condiciones de laboratorio como en las de campo

- En suelos altamente sulfatados (mas de 8.000 ppm) las recomendaciones se limitan a el reemplazo en lo posible de parte del suelo sulfatado.
- En el caso de estos suelos, un adecuado estudio para seleccionar el mejor método de estabilización es lo recomendado.



PRACTICAS RECOMENDADAS INTERNACIONALMENTE

A partir de 8.000 ppm de sulfatos tanto en condiciones de laboratorio como en las de campo

- En suelos altamente sulfatados (mas de 8.000 ppm) las recomendaciones se limitan a el reemplazo en lo posible de parte del suelo sulfatado.
- En el caso de estos suelos, un adecuado estudio para seleccionar el mejor método de estabilización es lo recomendado.



ESTUDIOS REALIZANDOSE EN LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE ASUNCIÓN



ESTUDIOS REALIZANDOSE EN LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE ASUNCIÓN

- Suelo cal en suelos con altos contenidos de sulfatos
- Suelo cemento en suelos con altos contenidos de sulfatos
- Utilización de cenizas de cascara de arroz con cal
- Efecto de la temperatura de curado
- Utilización de fibras de polipropileno para disminuir la expansión
- Mellowing
- Diferentes técnicas de medición de sulfatos



ESTUDIOS REALIZANDOSE EN LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE ASUNCIÓN

Algunas conclusiones preliminares

- La estabilización de suelos sulfatados del chaco **con cal** muestran tener un comportamiento **altamente expansivo, así como muy baja durabilidad y resistencia.**
- **La temperatura de curado** mostró tener un efecto importante en el mejoramiento de estos suelos estabilizados.
- La utilización de **cenizas de cáscara de arroz** demostraron disminuir la expansión, mejorar la resistencia y aumentar la durabilidad de estos suelos al ser utilizado con cal.
- **Los sulfatos de sodio son muy solubles y transportables.** (La cantidad de sulfatos en una zona puede variar con lluvias)



ESTUDIOS REALIZANDOSE EN LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE ASUNCIÓN

Algunas conclusiones preliminares

- La estabilización de suelos sulfatados del chaco **con cal** muestran tener un comportamiento **altamente expansivo, así como muy baja durabilidad y resistencia.**
- **La temperatura de curado** mostró tener un efecto importante en el mejoramiento de estos suelos estabilizados.
- La utilización de **cenizas de cáscara de arroz** demostraron disminuir la expansión, mejorar la resistencia y aumentar la durabilidad de estos suelos al ser utilizado con cal.
- **Los sulfatos de sodio son muy solubles y transportables.** (La cantidad de sulfatos en una zona puede variar con lluvias)



CONCLUSIONES



CONCLUSIONES

- **Ensayos químicos de determinación de sulfatos deben ser obligatorios en suelos y aguas** que serán utilizados para la conformación de suelos estabilizados en el chaco paraguayo.
- Una campaña de **investigación** y un diseño completo de laboratorio son necesarios **a la hora de seleccionar los estabilizadores apropiados** y sus dosis para tratar con eficacia estos suelos.



CONCLUSIONES

- Realizar un mapeamiento de los suelos que contienen sulfatos.
- Realizar calicatas en la estructura existente para evidenciar expansiones en capas de suelos estabilizados.
- Realizar pruebas en pistas experimentales utilizando strain gauges y pressure cells.
- **Estandarizar el método de determinación de sulfatos a utilizar.**
- **Invertir para investigar y experimentar en laboratorio y pistas experimentales, NO experimentar en escala real.**



AGRADECIMIENTOS

Universidad Nacional de Asunción
Universidad Federal do Rio Grande do Sul
Consortio Concretmix S.A. 8A S.A.

Grupo de Investigación:

M.Sc. Eduardo Bittar Marín
M.Sc. Alejandro Quiñónez Samaniego
PhD. Nilo Cesar Consoli
Alumnos de Grado y Post-Grado de la FIUNA y UFRGS

E-mail Contacto: rquinonez@ing.una.py