



# Suelos Sulfatados Estabilizados con Cal

El posible problema de los pavimentos en el chaco medio

Eduardo Bittar



# Motivación

*“Yo no se si aca en Paraguay ustedes tienen tanto dinero que hacen sus experimentos a escala real, o no saben que primero hay que experimentar en el laboratorio”*

**Investigar!**

Prof. Ing. Guillermo Thenoux



# Motivación

## AGRESIVIDAD DE LOS SULFATOS DEL SUELO O AGUA EN LAS ESTABILIZACIONES CON CAL O CEMENTO

Dante Néstor Nardelli

### RESUMEN.

La mayoría de las especificaciones contemplan restricciones para utilizar, en la ejecución de pavimentos, suelos y aguas conteniendo sulfatos.

Así por ejemplo es usual limitar al 0,5 % el contenido de sulfatos en suelos y a 1 gramo por litro en el agua.

Estas limitaciones refieren, fundamentalmente, a la degradación que tales concentraciones de sulfatos pueden producir en las capas del pavimento, por el apreciable aumento de volumen que lleva implícita su cristalización o por el ataque al cemento, también con incremento de volumen, en el caso de estabilizaciones o estructuras.

La investigación realizada está encaminada a analizar el comportamiento de las estabilizaciones de suelos con cal o cemento, ante la presencia de sulfatos en tales suelos o en el agua, ya sea la empleada en la construcción o que pudiese acceder por capilaridad a dichas capas.

En tal sentido y partiendo de la premisa de no utilizar o descartar el empleo de suelos o aguas conteniendo tenores de sulfatos superiores a los topes indicados, la investigación se encaminó a estudiar el comportamiento de las estabilizaciones, con cal o cemento, de suelos con tenores de sulfatos tan bajos como el 0,02 % (25 veces inferior al mencionado límite).

Sales,

Agua salada,

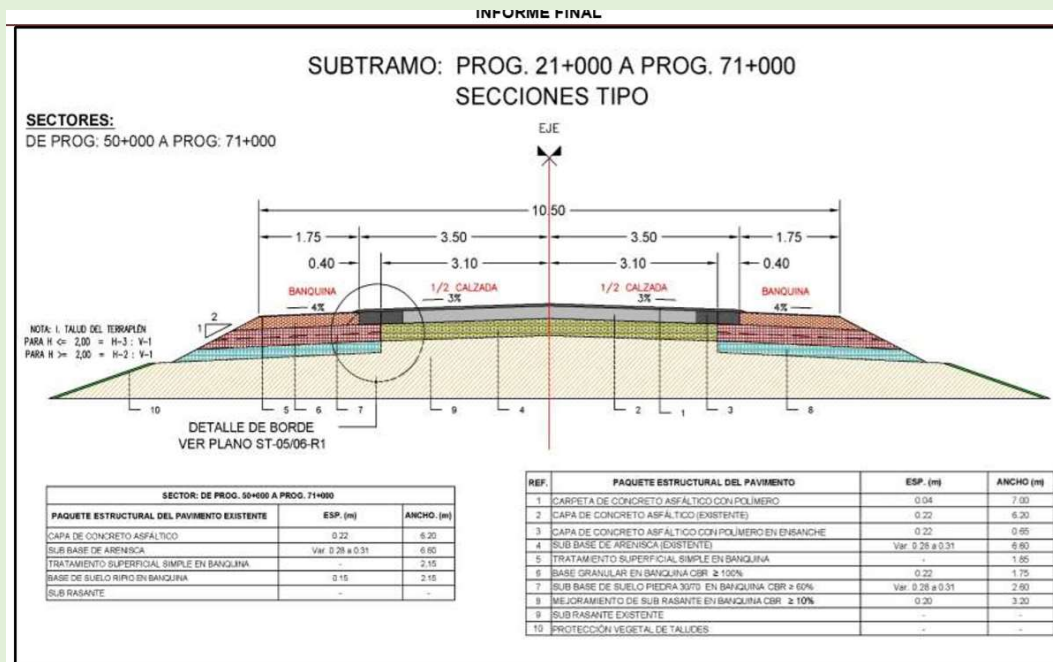
Sulfatos

Por ello se entiende que podría admitirse la utilización de suelos estabilizados con cemento, si no contienen sulfatos, aún empleando agua salobre en el proceso constructivo, siempre que los ensayos de durabilidad indiquen la inalterabilidad de las probetas, y que las resistencias remanentes sean iguales o superiores a las requeridas por el proyecto.

# Suelos del Chaco Paraguayo

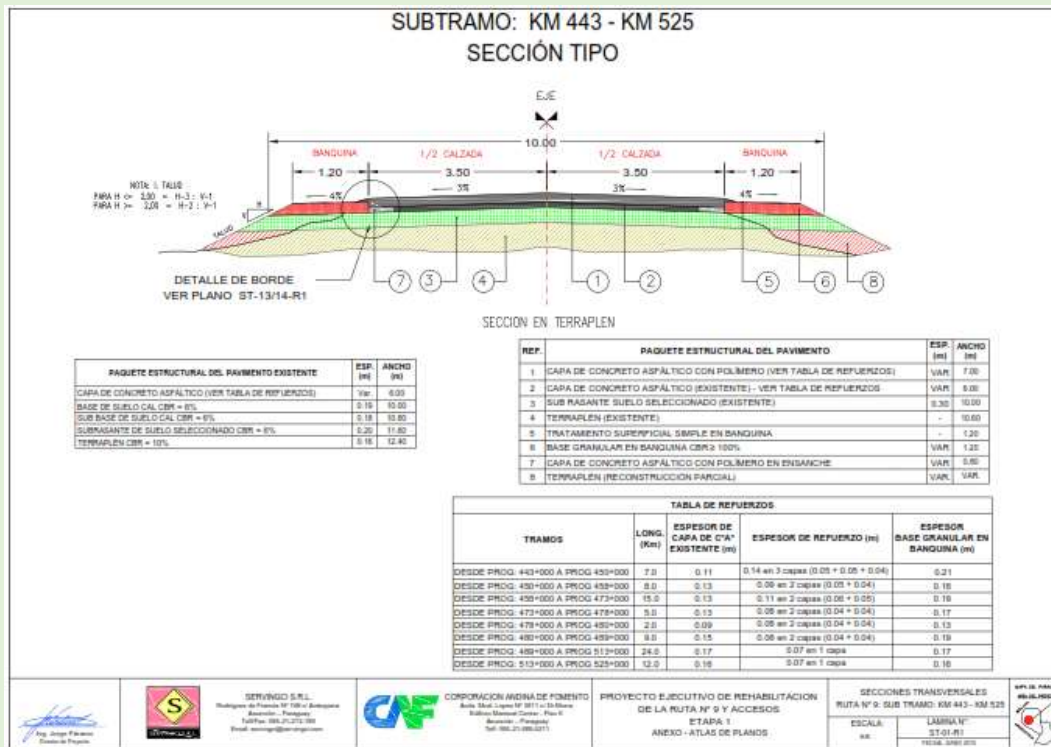
- Suelos sedimentarios
- Considerable cantidad de limos y arcillas (suelos finos)
- Suelos de baja capacidad portante
- Suelos dispersivos (Hasta ahora en norte y sur del chaco – Villa Hayes y Filadelfia)
- Suelos sulfatados (Hasta ahora en medio a norte - Filadelfia)

# Paquete Estructural (Sur del Chaco)



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

# Paquete Estructural (Chaco Medio a Norte)



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

# Suelos del Chaco



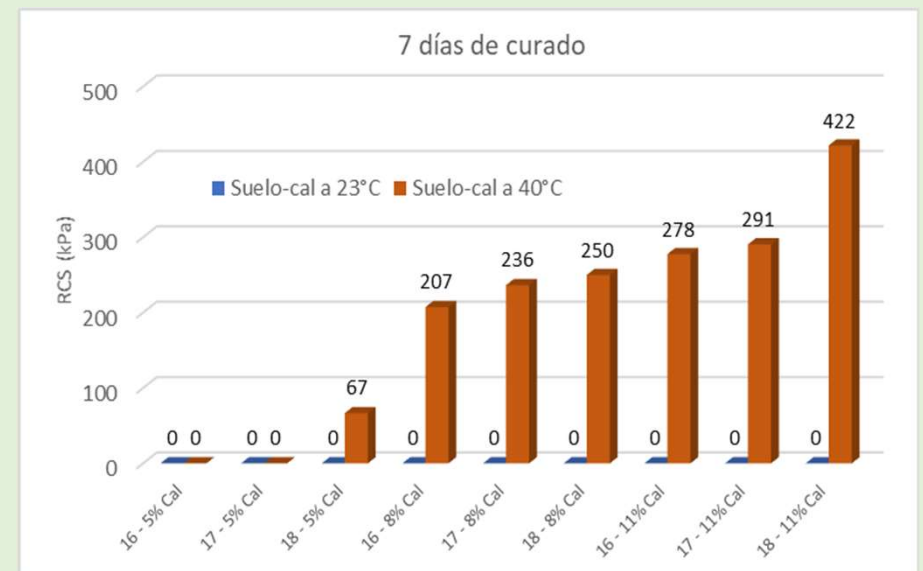
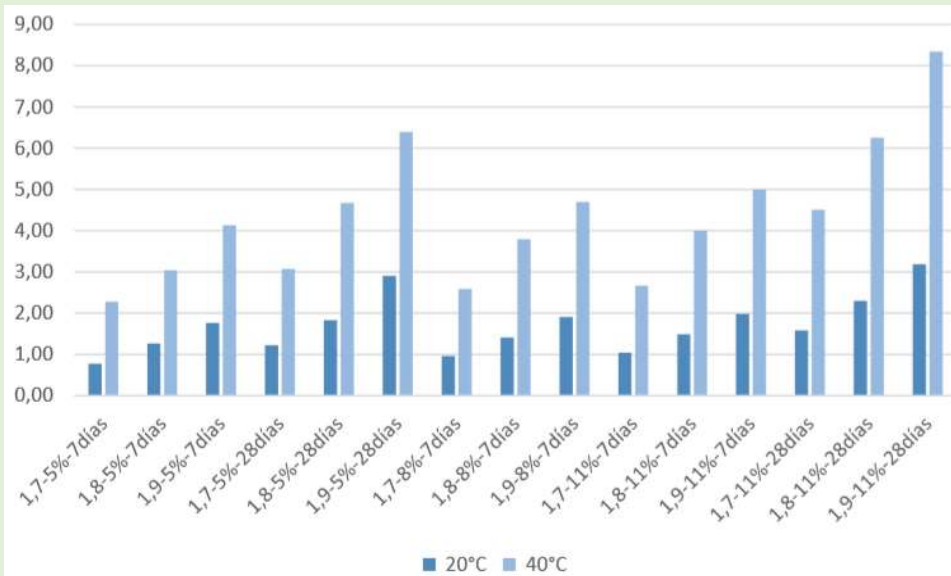
Eduardo Bittar

Suelos CL (A-6), comportamiento dispersivo, contenido de sulfatos (en su mayoría  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  e  $\text{CaSO}_4$ )  
Bittar, 2017

Suelos CL (A-6), comportamiento dispersivo (alto contenido de  $\text{Na}^+$ )  
Quiñonez;  
Kanazawa, 2015



# Analisis Especiales (Nuestra Experiencia)



Suelos dispersivos de la zona de Villa Hayes estabilizados con cal presentan resistencias desde **800 KPa hasta 3000 Kpa** a los 7 días 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) Eduardo Bittar

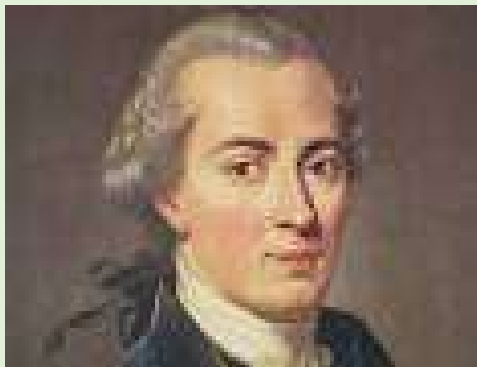


# Teoría y Práctica

---

*“La práctica sin teoría es ciega, y la teoría sin práctica es estéril”*

*(Kant, 1793)*



# Rutas del Chaco

LA NACIÓN

DOMINGO  
21  
AGOSTO 2016

ASUNCIÓN  
16 °C  
PARCIALMENTE  
NUBLADO

DÓLAR AMERICANO  
COMPRA G. 5.465 VENTA G. 5.495

PESO ARGENTINO  
COMPRA G. 330 VENTA G. 350

REAL  
COMPRA G. 1.645 VENTA G. 1.685

EURO  
COMPRA G. 6.000 VENTA G. 6.300

POLÍTICA NEGOCIOS DEPORTES PAÍS MUNDO VOCES IMPRESO VOS FOCO MÁS



Edición Impresa Política Política - Edición Impresa

## Ruta intransitable, eterno problema en el Chaco paraguayo

© 27 May 2016

Eduardo Bittar

### ÚLTIMAS NOTICIAS



Derlys Ayala llegó a la meta y cumplió el sueño olímpico

21 Ago 2016



Intermedia: El Inde superó 4-2 a Sport Colombia

21 Ago 2016



Realizan la corrida Dequeni en la Costanera

21 Ago 2016



De vaso de plástico a asteroide: nueva misión de la Nasa

21 Ago 2016



Asalto en CDE: Sospechan complicidad de "crackeros"

21 Ago 2016

# Breve Explicación de Reacciones Suelo-Cal/Cemento

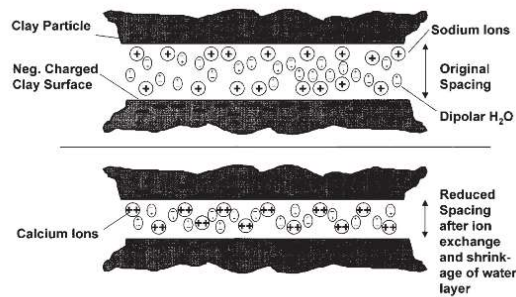


FIGURE 1 Cation exchange.

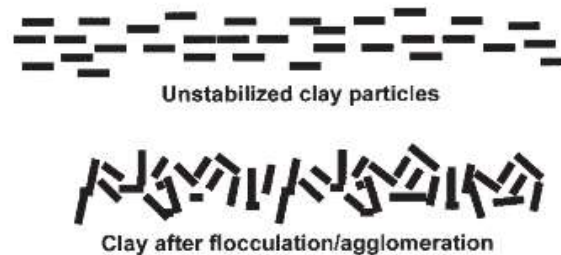
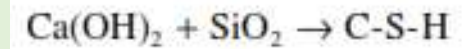


FIGURE 2 Flocculation and agglomeration.



**Floculación** (Intercambio catiónico, disminución espacion entre camadas de arcilla.

**Reacciones Pozzolánicas** (Elevación del pH, aumento de la solubilidad de SiO<sub>2</sub> y Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> provenientes de arcillominerales o cemento, reacciones)

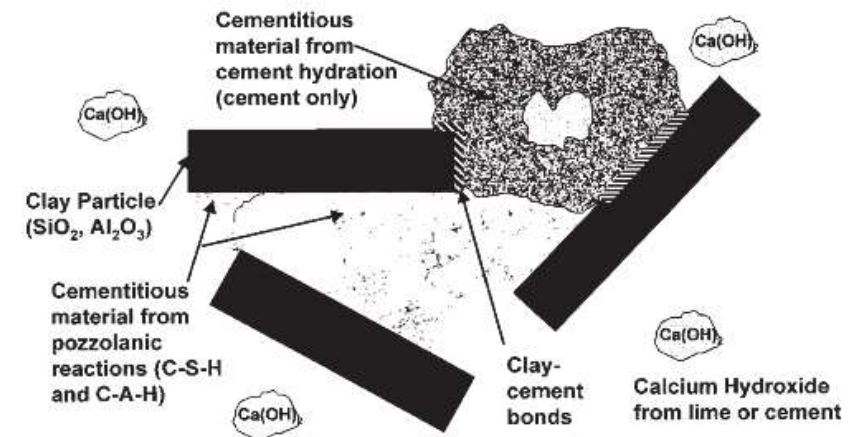


FIGURE 4 Pozzolanic reaction.

# Los errores

---

*“El hombre inteligente aprende de sus propios errores, el sabio aprende de los errores de los demás”*



*Otto von Bismarck*

# La Teoría

Google Scholar

heave in sulfate soils

Articles

About 6,540 results (0.07 sec)

Any time

Since 2019

Since 2018

Since 2015

Custom range...

Sort by relevance

Sort by date

include patents

include citations

Create alert

Studies on **sulfate**-resistant cement stabilization methods to address **sulfate**-induced **soil heave**

[AJ Puppala](#), [JA Griffin](#), [LR Hoyos...](#) - Journal of geotechnical ..., 2004 - ascelibrary.org

Performance of pavements has been affected by **heave** distress problems caused by **sulfate** rich **soils** treated with calcium-based stabilizers. A research study was conducted to address the effectiveness of **sulfate** resistant cement stabilizers Types I/II and V, for providing better ...

☆ ⓘ Cited by 109 Related articles All 5 versions

Lime-induced **heave** in **sulfate**-bearing clay **soils**

[D Hunter](#) - Journal of geotechnical engineering, 1988 - ascelibrary.org

Expansive reactions between lime and **sulfate**-bearing clay **soils** have attracted little attention until relatively recently. Lime treatment of Stewart Avenue in Las Vegas, Nevada, has induced **heave** in excess of 12 in. **Heaved** areas are found to contain abundant ...

☆ ⓘ Cited by 347 Related articles All 5 versions

Clay **soil heave** caused by lime-**sulfate** reactions

[JK Mitchell](#), [D Dermatas](#) - Innovations and uses for lime, 1992 - astm.org

Reactions between lime, alumina released from clay during pozzolanic reactions, and **sulfates** present in some **soils** (causing the formation of the highly expansive crystalline mineral ettringite) have been responsible for the deterioration and ultimate failure, by ...

☆ ⓘ Cited by 184 Related articles All 2 versions

Addressing **sulfate**-induced **heave** in lime treated **soils**

[DN Little](#), [S Nair](#), [B Herbert](#) - Journal of geotechnical and ..., 2009 - ascelibrary.org

Civil engineers are at times required to stabilize **sulfate**-bearing clay **soils** with calcium-based stabilizers. Deleterious **heaving** in these stabilized **soils** may result over time. This paper addresses critical questions regarding the consequences of treating **sulfate** laden ...

☆ ⓘ Cited by 80 Related articles All 3 versions

Eduardo Bittar

# Los errores de los demás (USA)

Reference and Year	Location	Lime/Cement Percent	Sulfate Content (ppm)	Heave Appearance (months)
Mitchell, 1986	Parking Lots, Kansas, Southern California	NA	NA	NA
Hunter, 1988	Stewart Avenue, Las Vegas, NV	4.5% (L)	43,500	6
Perrin, 1992	Roads in Lloyd Park, Joe Pool Lake, Dallas, TX	5% (L)	2,000-9,000	Immediately
Perrin, 1992	Auxiliary Runway, Laughlin AFB, Spofford, TX	6% (L)	14,000-25,000	2
Perrin, 1992 & Petry, 1994	Cedar Hill State Park, Joe Pool Lake, Dallas, TX	6-8% (L)	21,200	2
McCallister and Tidwell, 1994	Runways in Denver International Airport, Denver, CO	NA (L)	2775	NA
Kota et al., 1996	SH-118, Alpine & SH-161, Dallas, TX	4% (C) 6-7% (L)	>12,000	6-18

Burkart and Others, 1999	Pavements in Dallas Fort Worth Region, TX	6-8% (L)	233-18,000	Varies
Puppala et al, 1999	Taxiway and Roads in DFW Airport, Irving, TX	5% (L)	320-13,000	3
Rolling et al, 1999	Bush Road in Chatham, GA	5-6% (C)	NA	5
Lawrence, 2000	Pavements in Frisco, Arlington, TX	6-8% (L)	500-5000	1
Gaspard, 2000	Pavements Near Shreveport, LA (S)	NA	NA	NA
Rolling et al, 2003	Pavements and Building Foundations in Holloman Air Force Base, NM (S)	Recycled Crushed Concrete Aggregates	NA	Several Years

# Los errores de los demás (USA)

## Steward Avenue

De 400 ppm a 43.000 ppm de sulfatos solubles

*After the investigation, some parts of the road were found on bedded gypsum deposits (Dinger, 1977). The local soils mainly consist of clay minerals (Hunter, 1988). Later, the road was reconstructed and widened from two to four lanes in 1976.*

(Wattanasanticharoen, 2004)

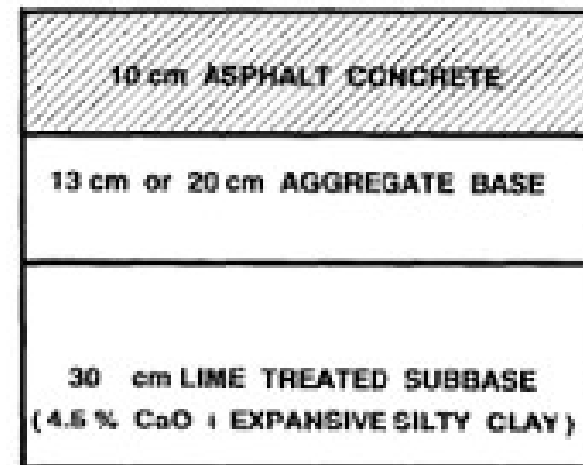


Figure 2.6 Schematic Diagram of the Stewart Avenue (Mitchell and Dermatas, 1992).

# Los errores de los demás (USA)

## Steward Avenue

De 400 ppm a 43.000 ppm de sulfatos solubles

*Within a period of six months after the completion of this construction project, the pavement started exhibiting heaving distress related cracks and major pavement rehabilitation was required within two years after the construction*

(Wattanasanticharoen, 2004)

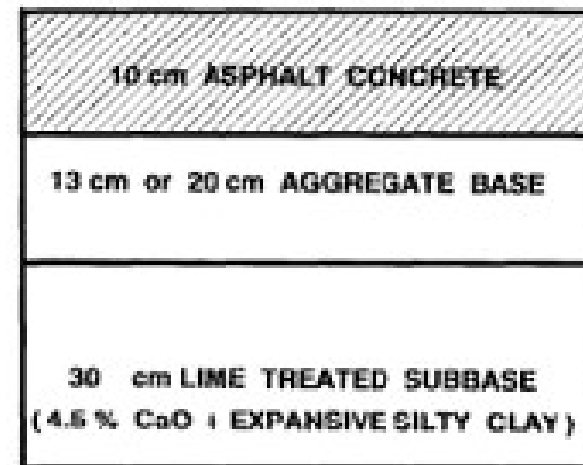


Figure 2.6 Schematic Diagram of the Steward Avenue (Mitchell and Dermatas, 1992).



# Los errores de los demás (Texas-USA)

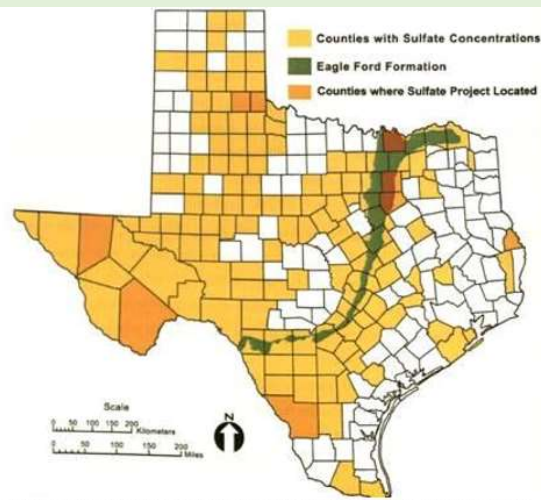


Figure 1.1 Location Map Showing Sulfate-bearing Soils in Texas  
(Harris et al., 2004)

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

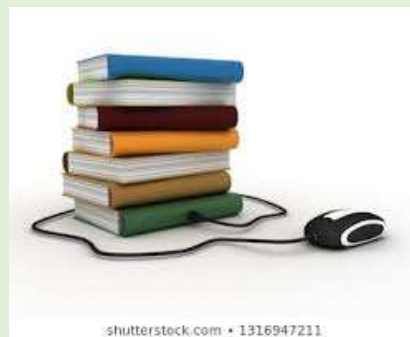
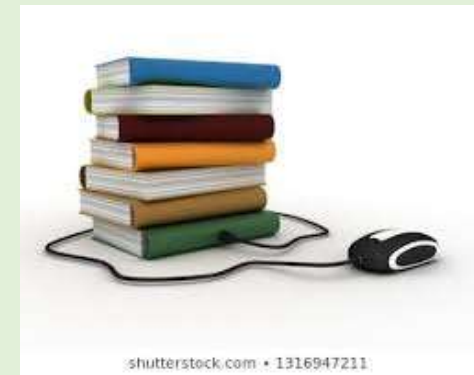
(Puppala, 2003)

A fines de la década de los 80 Las Vegas, gastó casi **2,7 millones de dólares** para reparar y mantener los pavimentos dañados por presencia de sulfatos en Steward Avenue (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 a un costo de más de **1.5 millones de dólares**.

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

# Analogía



Eduardo Bittar



# Analisis Básicos

Properties	Values	Standards	Observations
Liquid Limit (LL)	33	ASTM D4318-10	
Plasticity Limit (LP)	17	ASTM D4318-10	
Plasticity Index (IP)	16	ASTM D4318-10	
Especific gravity (G)	26,91 kN/m <sup>3</sup>	ASTM D854-14	
% Pass Sieve #200	92%	ASTM D6913-10	With Deflocculant
Specific Surface pass #200	26,17 m <sup>2</sup> /g	Método BET	LACER - UFRGS
% Organic Matter	1,24%	ASTM D2974-10	Agronomía - UNA
pH	9,24	ASTM D4972-01	
Dispersion (Pinhole)	D2	ASTM D4647-13	Dispersive
Dispersion (SAR)	Área Dispersiva	Sherard et al. (1976)	
Soluble Sulfates	14.299 ppm	ASTM C1580-10 / SMEWW	
Cationic Interchange Capacity (CTC)	12 cmol/kg		Agronomía - UNA
Classification SUCS	CL	ASTM D2487-11	
Classification AASHTO	A6	ASTM D3282-15	

# Analisis Básicos



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

(Bittar, 2017)



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



Google Scholar

heave in sulfate soils

Articles

About 6,540 results (0.07 sec)

Any time

Since 2019

Since 2018

Since 2015

Custom range...

Sort by relevance

Sort by date

include patents

include citations

Create alert

Studies on **sulfate**-resistant cement stabilization methods to address **sulfate**-induced **soil heave**

[AJ Puppala](#), [JA Griffin](#), [LR Hoyos...](#) - Journal of geotechnical ..., 2004 - ascelibrary.org

Performance of pavements has been affected by **heave** distress problems caused by **sulfate** rich **soils** treated with calcium-based stabilizers. A research study was conducted to address the effectiveness of **sulfate** resistant cement stabilizers Types I/II and V, for providing better ...

☆ ⓘ Cited by 109 Related articles All 5 versions

Lime-induced **heave** in **sulfate**-bearing clay **soils**

[D Hunter](#) - Journal of geotechnical engineering, 1988 - ascelibrary.org

Expansive reactions between lime and **sulfate**-bearing clay **soils** have attracted little attention until relatively recently. Lime treatment of Stewart Avenue in Las Vegas, Nevada, has induced **heave** in excess of 12 in. **Heaved** areas are found to contain abundant ...

☆ ⓘ Cited by 347 Related articles All 5 versions

Clay **soil heave** caused by lime-**sulfate** reactions

[JK Mitchell](#), [D Dermatas](#) - Innovations and uses for lime, 1992 - astm.org

Reactions between lime, alumina released from clay during pozzolanic reactions, and **sulfates** present in some **soils** (causing the formation of the highly expansive crystalline mineral ettringite) have been responsible for the deterioration and ultimate failure, by ...

☆ ⓘ Cited by 184 Related articles All 2 versions

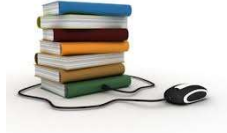
Addressing **sulfate**-induced **heave** in lime treated **soils**

[DN Little](#), [S Nair](#), [B Herbert](#) - Journal of geotechnical and ..., 2009 - ascelibrary.org

Civil engineers are at times required to stabilize **sulfate**-bearing clay **soils** with calcium-based stabilizers. Deleterious **heaving** in these stabilized **soils** may result over time. This paper addresses critical questions regarding the consequences of treating **sulfate** laden ...

☆ ⓘ Cited by 80 Related articles All 3 versions

Eduardo Bittar



# La Teoría



Cal /  
Cemento

Arcillo-  
mineral

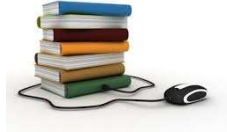
Agua de  
mezcla/  
infiltrada

Sulfatos  
en  
suelo /  
agua

Agua de  
mezcla/  
infiltrada

**ETRINGITA**

Temperaturas menores a 15°C,  
taumasita puede formarse en  
presencia de oxido de silice y  
carbonatos



# La Teoría

## Dos fenómenos negativos para el mejoramiento de suelos

Utilización de elementos de reacción puzolánica para la formación de ETRINGITA, disminuyendo este el pH de la mezcla suelo-estabilizador-agua.

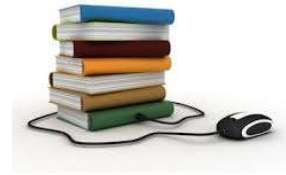


Disminuye la **Resistencia**  
Disminuye la **Durabilidad**

Formación de ETRINGITA  
En los vacíos del  
geomaterial

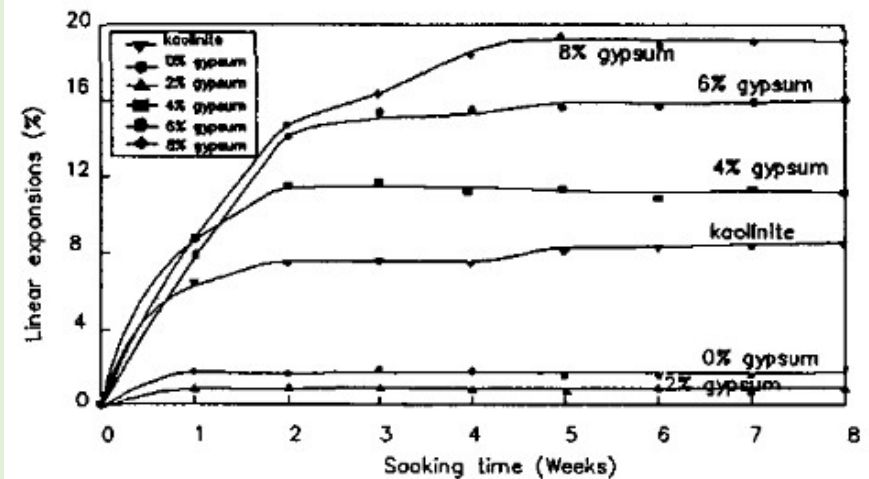
→ **Expansión (250%)** →

Disminuye la **Resistencia**  
Disminuye la **Durabilidad**  
Daño del geomaterial

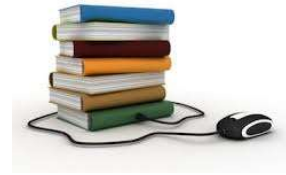


# Experiencia Internacional

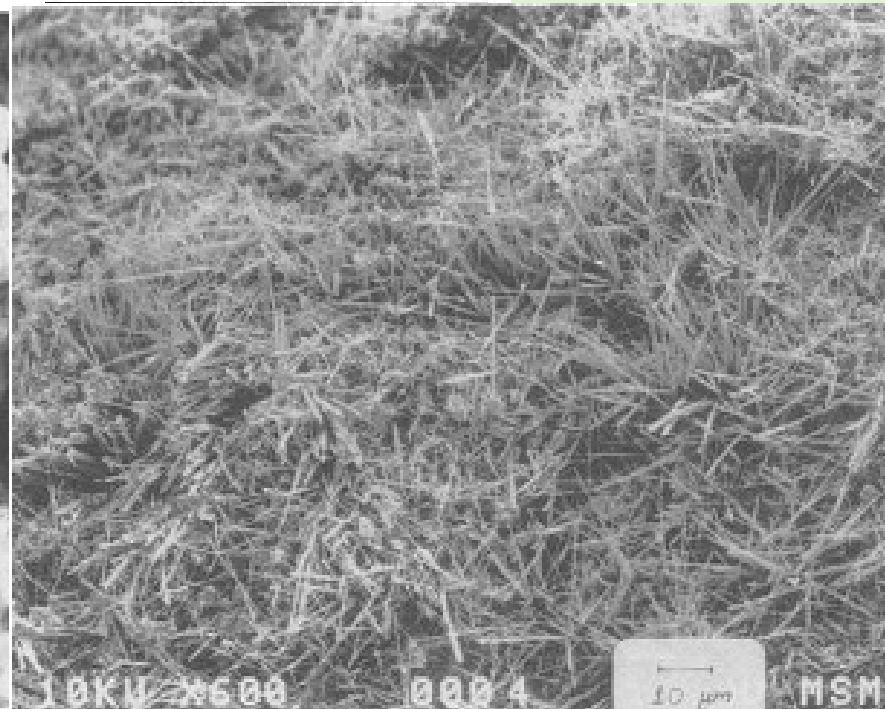
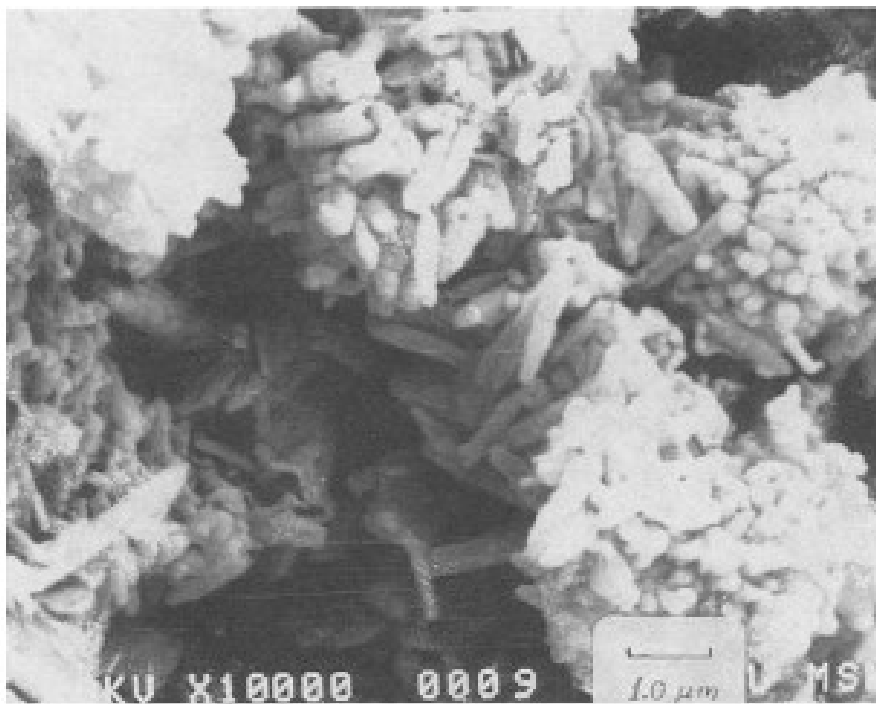
Suelos especiales como aquellos que contienen sulfatos presentan complicaciones en su estabilización con cal o cemento, mostrando alteraciones negativas en cuanto a su resistencia, durabilidad y estabilidad volumétrica. (HUNTER,1988; KOTA; HAZLETT; PERRIN, 1996a; MITCHELL, 1986; MITCHELL; DERMATAS, 1992; PETRY; LITTLE, 1992; PUPPALA et al., 2010; ROLLINGS; BURKES; ROLLINGS, 1999).







# Experiencia Internacional



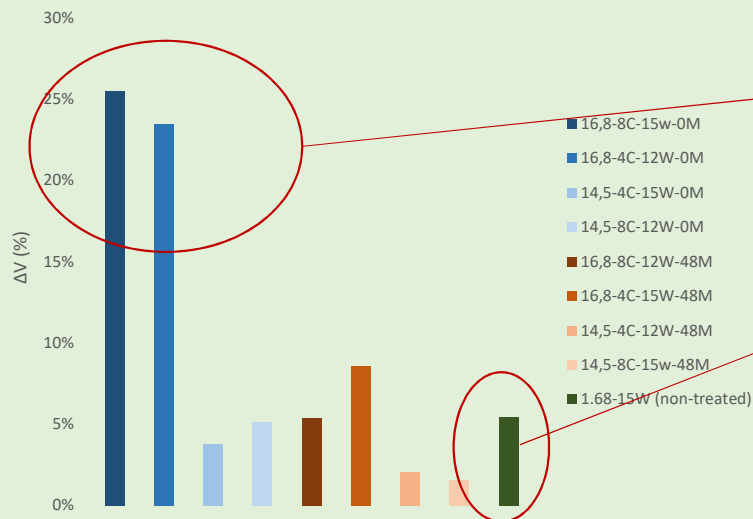
**Etringita** en suelos sulfatados estabilizados en USA

Eduardo Bittar

Mitchell y Dermatas (1992)

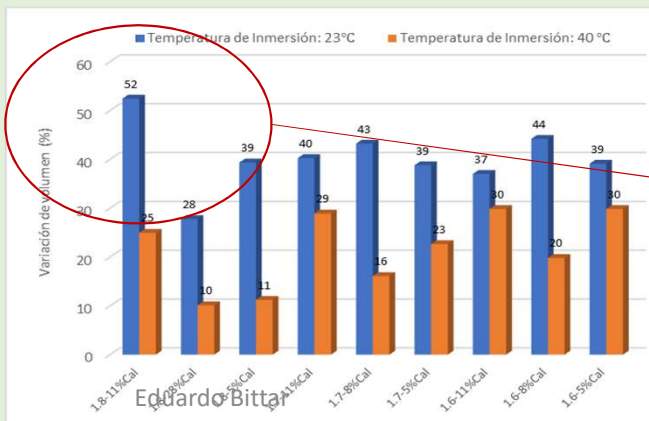


# Analisis Especiales (Nuestra Experiencia)



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

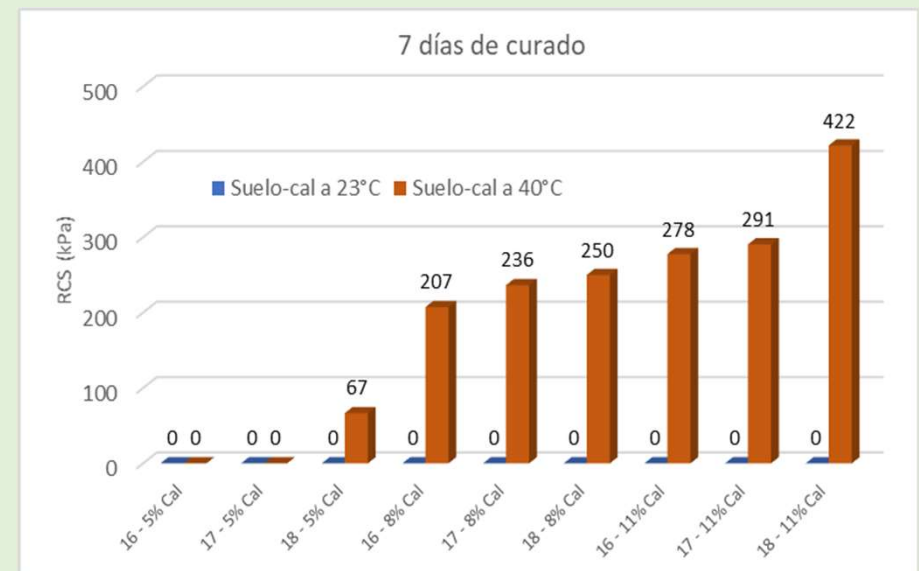
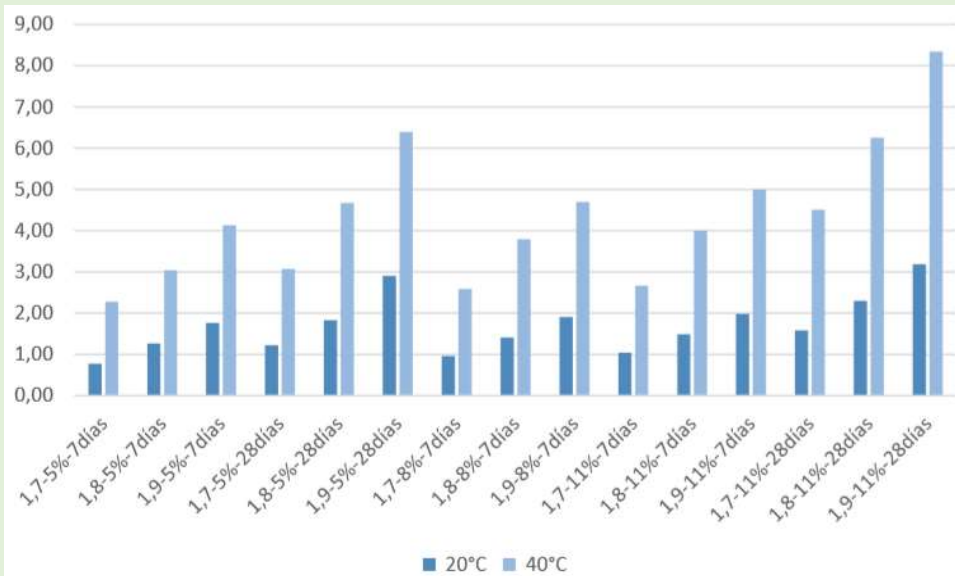
El suelo no tratado presenta una expansión del 5%



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



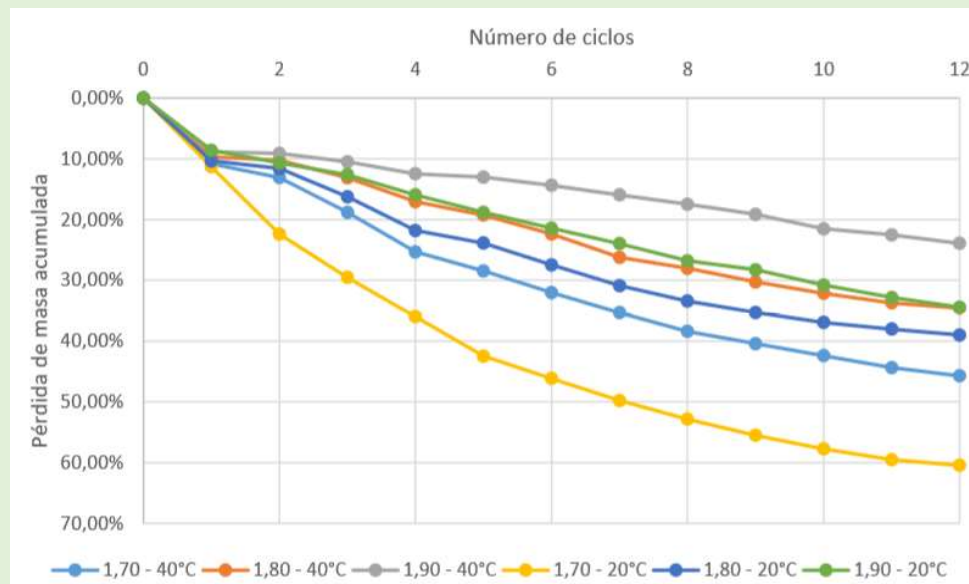
# Analisis Especiales (Nuestra Experiencia)



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)



# Analisis Especiales (Nuestra Experiencia)



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)

# Analisis Especiales (Nuestra Experiencia)



Eduardo Bitar



# Analisis Especiales (Nuestra Experiencia)

(g)



(h)



(i)



(j)



(k)



(l)



(m)

(n)

(o)

Eduardo Bittar

# Analisis Especiales (Nuestra Experiencia)



Pista experimental  
en 2017

Eduardo Bittar

# Analisis Especiales (Nuestra Experiencia)



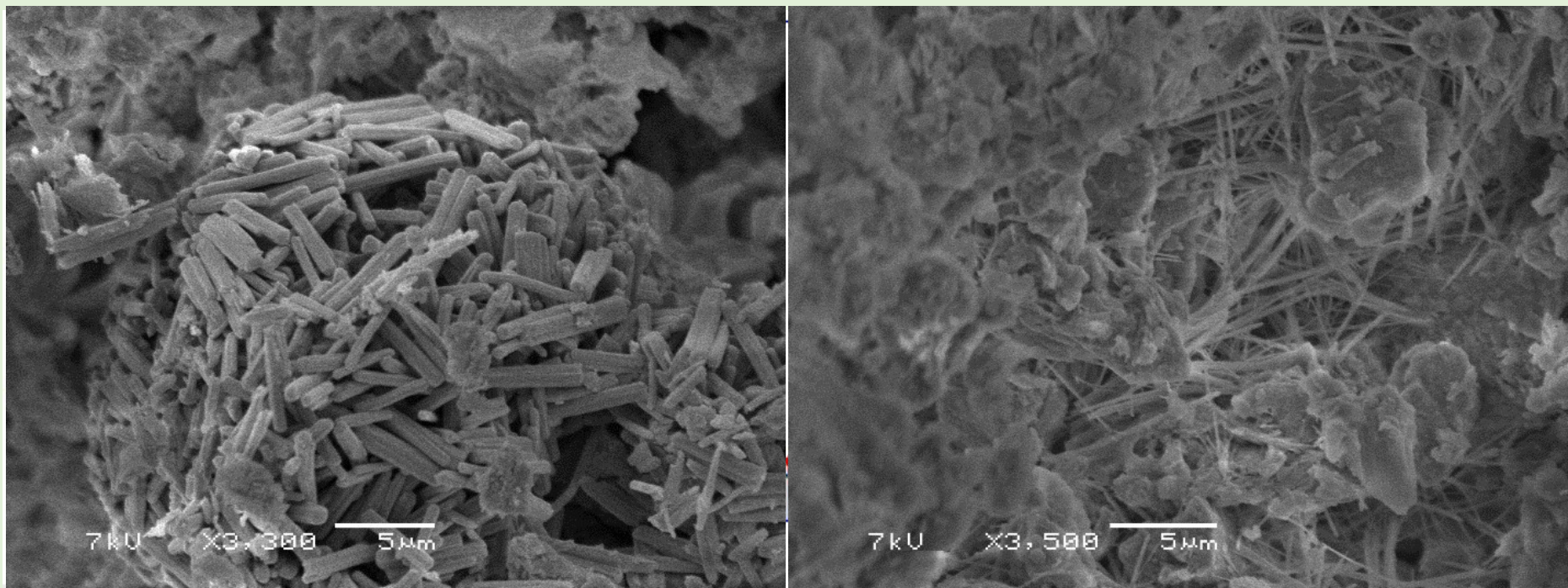
Resto de la pista  
experimental en 2019

Eduardo Bittar





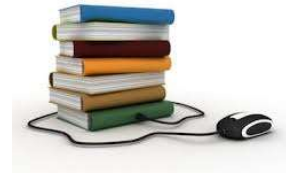
# Analisis Especiales (Nuestra Experiencia)



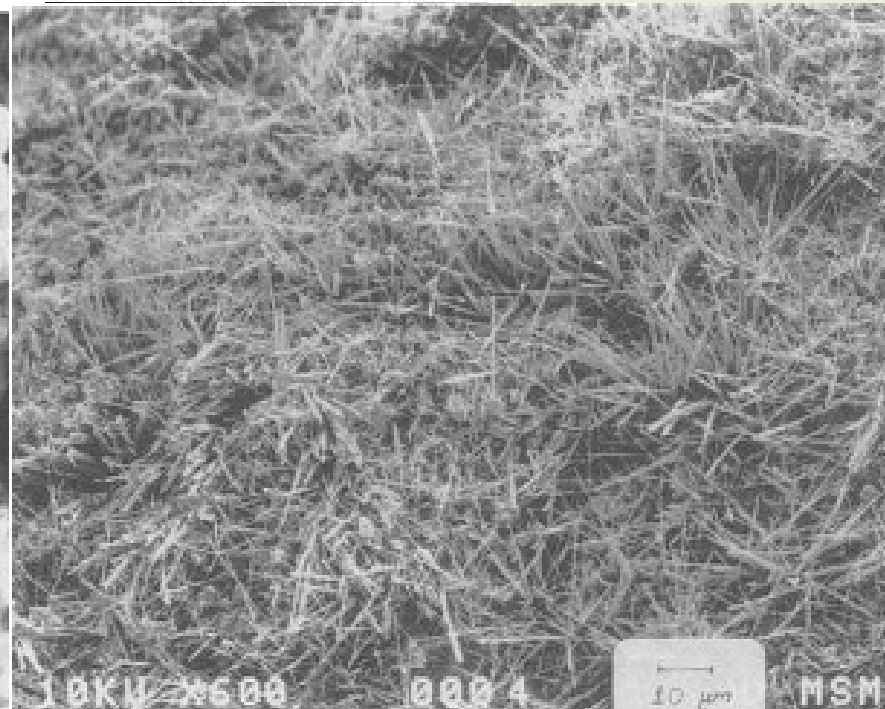
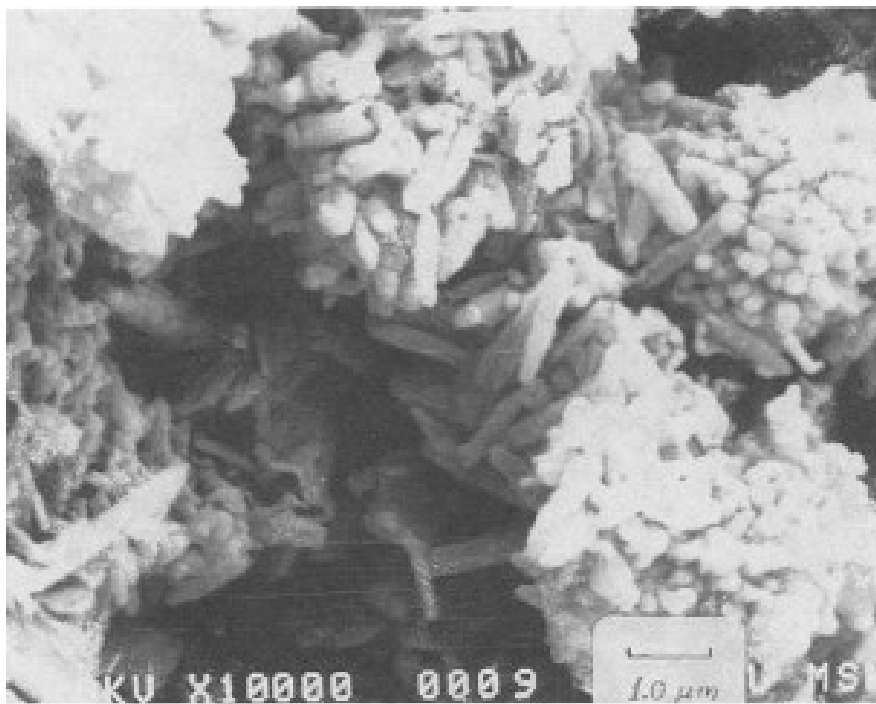
**Etringita** en suelos sulfatados estabilizados con cal en el chaco paraguayo

Eduardo Bittar

Bittar (2017)



# Experiencia Internacional



**Etringita** en suelos sulfatados estabilizados en USA

Eduardo Bittar

Mitchell y Dermatas (1992)



# Diagnóstico

Múltiples casos de expansiones y daños severos fueron reportados cuando suelos que contienen sulfatos son tratados con estabilizadores tradicionales a base de calcio (cal / cemento) (Sherwood, 1962; Mehta and Klein, 1966; Mehta and Wang, 1982; Mitchell, 1986; Hunter, 1988; Petry and Little, 1992; Consoli 2018; Puppala et al. 1999, 2003, 2012, 2019;)

**“ESTABILIZAR CON CAL O CEMENTO SUELOS QUE CONTIENEN SULFATOS PUEDE GENERAR UN NUEVO PROBLEMA EN VEZ DE MITIGARLO!!!!!”**

# Tratamiento



Eduardo Bittar

# Recomendaciones

---

“El agua es crítica en estos suelos estabilizados, una especial atención a los sistemas de drenaje con el fin de evitar que el agua accede a la capa estabilizada del pavimento es esencial”

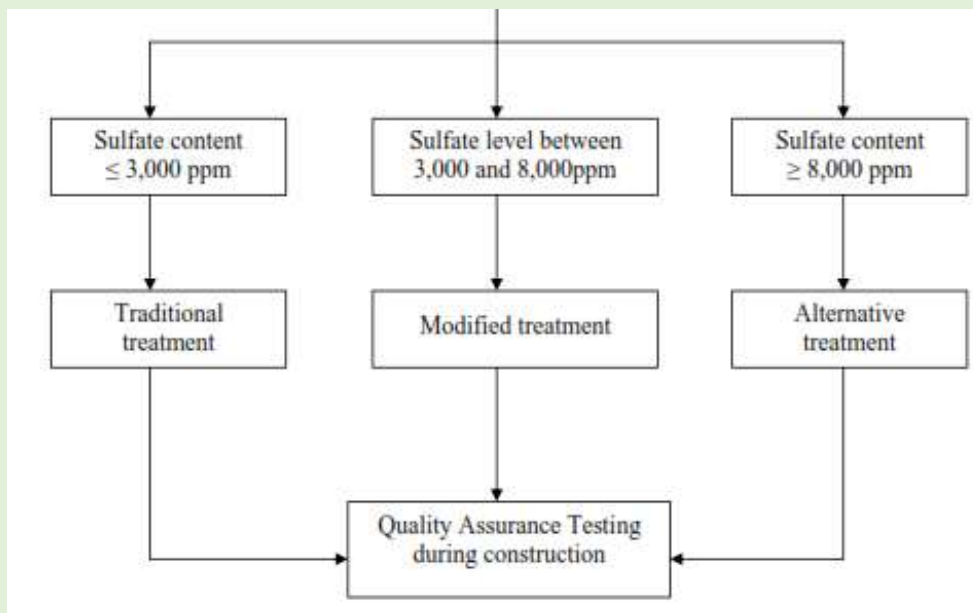
# Recomendaciones

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

<b>Risk Involved</b>	<b>Soluble Sulfate Concentrations</b>	
	<b>Parts Per Million</b>	<b>Percent dry weight</b>
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 (NCHRP , 2009)

# Recomendaciones



Recommended Practice for Stabilization of Sulfate (NCHRP , 2009)

## Modified:

Mellowing (compactación tardía)

## Alternative:

Reemplazo de suelo

Cementos resistentes a sulfatos

Cenizas Volantes Clase F

Escorias granuladas de alto horno

Otros

**Un adecuado estudio para seleccionar el mejor método de estabilización es lo recomendado.**

# 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.



# Recomendaciones Finales

---

- 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
- Consorcio Concretmix S.A. 8A S.A.
- Ingeniero Fernando Molinas
- Ingeniero Carlos Guillen