

ESTUDIO DE LA EROSIÓN Y TUBIFICACIÓN EN TERRAPLENES CON SUELOS DISPERSIVOS.

RESUMEN

En el Chaco Paraguayo, y en las llanuras de la margen izquierda del río Paraguay, numerosas obras viales y diques de defensas contra inundaciones, presentan severos daños prematuros por erosión del terraplenado de sus taludes debida a escorrentías superficiales de aguas de lluvia, impactando enormemente en la calzada y consecuentemente en la vida útil de los mismos, generando sobrecostos no previstos en reparaciones y mantenimiento: Los suelos disponibles en estos sitios y utilizados en estos terraplenes son de naturaleza dispersiva.

Los suelos dispersivos son suelos arcillosos que se caracterizan por tener un alto contenido de sales totales disueltas en el agua de poros y una gran preponderancia de los cationes de sodio dentro de ellas. Se entiende por sales totales a la suma de los cationes de Calcio (Ca), Sodio (Na), Magnesio (Mn) y Potasio (K) presentes en el agua de poros. Esta naturaleza química hace que sean muy sensibles en presencia del agua con gran tendencia de las partículas de arcilla a separarse una de otra y por lo tanto a dispersarse, a diferencia de los suelos arcillosos comunes, donde existen predominancia de los cationes de calcio y magnesio, con buena resistencia a la erosión, los cuales constituyen la mayoría de los suelos en la región oriental del Paraguay.

El objetivo de este artículo es presentar algunos casos históricos, principalmente en obras viales, donde los daños se manifiestan en forma prematura, durante la construcción, impactando enormemente en el cronograma del contrato y en los costos previstos.

1- INTRODUCCIÓN

A partir de una serie de experiencias, desde el año 1996, como resultado de revisiones de proyectos y verificaciones “in situ” para el estudio de reparaciones y reconstrucción de obras de tierra y caminos severamente dañados por erosión, en el Nordeste Argentino y en el Paraguay, el autor ha realizado una investigación sobre la naturaleza de daños muy peculiares y característicos que se producen en los terraplenes, proceso que se inicia ya en la fase constructiva y se desarrolla rápidamente en forma prematura impactando en la eficiencia de uso y vida útil de la obra con los consecuentes inconvenientes y sobrecostos que significan reconstruir y reparar los daños.

Las erosiones son producidas por escorrentías superficiales de aguas de lluvia que escurren sobre los terraplenes (coronamiento y taludes) generando en primera instancia pequeñas tubificaciones y luego surcos muy profundos en forma de túneles hasta el pie del terraplén y retrocediendo progresivamente hacia su interior, agrandándose hasta convertirse en grandes cárcavas, dañando así a la calzada y consecuentemente a toda la estructura con fuerte impacto en la seguridad vial por la aparición en superficie de estas grandes cárcavas.

El mecanismo de erosión es muy característico y es el típico reportado por la literatura internacional cuando los suelos de los terraplenes son de naturaleza dispersiva. Los ensayos químicos y físicos realizados en los casos analizados por el autor lo han confirmado plenamente.

Se resalta que las normas internacionales de diseño en la práctica vial convencional no incluyen ni los ensayos ni los procedimientos constructivos a aplicar en casos similares.

En consecuencia, los mismos no son identificados generalmente en la fase de investigación, y si lo fuesen, en el proyecto no se incluye su tratamiento: Ni en el diseño de ingeniería ni en las especificaciones constructivas.

2- NATURALEZA DE LOS SUELOS DISPERSIVOS

Según Sherard (1976), ciertos suelos de grano fino existentes en la naturaleza son altamente sensibles a la erosión. Tienen alto contenido de sodio. Erosionan por un proceso en el cual las partículas coloidales individuales de arcilla están prácticamente en suspensión en aguas quietas, mientras que el proceso de erosión en las arcillas comunes es bastante diferente requiriéndose considerable velocidad del agua para que el mismo se produzca.

La diferencia entre suelos dispersivos y no dispersivos se halla en la naturaleza de los cationes presentes en el agua de poros. En los primeros existe una preponderancia de los cationes de sodio (Na) mientras que en los no dispersivos existe preponderancia de los cationes de calcio (Ca) y magnesio (Mg). El factor principal que determina (Sherard, 1976) si una arcilla es dispersiva o no es la cantidad de sodio presente en las sales disueltas en el agua de poros.

3- IDENTIFICACION DE LOS SUELOS DISPERSIVOS

La ICOLD (Comisión internacional de Grandes Presas) con sede en Paris, debido a la magnitud del problema, promulga en el año 1990 el Boletín N° 77 con el nombre de "Dispersive Soils in Embankment Dams" donde esta institución internacional fija los criterios generales para identificación, selección del material

para uso económico, procedimiento para el diseño y construcción de presas y terraplenes en presencia de suelos dispersivos. Este documento, actualmente, es de uso general en todo el mundo como guía para diseño y construcción de terraplenes con suelos de naturaleza dispersiva.

El mismo sugiere como ensayo rápido de aproximación el denominado Crumb Test que consiste en colocar una muestra de arcilla en un recipiente transparente con agua destilada. La tendencia de las partículas de arcilla a la suspensión coloidal es observada durante 5 a 10 minutos de inmersión. Si el suelo es dispersivo se genera una nube coloidal con partículas que precipitan rápidamente en el fondo del recipiente generalmente en una capa relativamente fina.

Otro ensayo consiste en ejecutar dos pruebas de hidrometría; uno de ellos usando dispersante químico, con agitación mecánica, y el otro sin defloculante y sin agitación mecánica. La relación entre el diámetro de la partícula para el tamaño de 0,005 mm en los dos ensayos es un indicador del potencial dispersivo. Figura 1.

El mismo documento reconoce, sin embargo, que tanto el Crumb Test como el de doble hidrométrica son tomados como una guía primaria de identificación del potencial dispersivo.

El ensayo físico adoptado por la práctica internacional (ICOLD; 1990) para el reconocimiento e identificación de los suelos dispersivos es el ensayo de Pinhole (Sherard, 1976) porque éste, efectivamente, reproduce en el laboratorio, el mecanismo de erosión esperado por la acción del flujo de agua en el terraplén y el “piping” o tubificación.

Para realizar este ensayo se prepara una probeta previamente compactada de 25,4 mm de diámetro y 50,8 mm de altura en el que se practica un agujero de 1,0 mm a través del cual se deja pasar un flujo de agua, inicialmente bajo una carga hidráulica de 50,8 mm.

Para las arcillas dispersivas el flujo emergente de la probeta esta visiblemente coloreado por una nube coloidal: se agranda rápidamente el agujero y es imposible mantener la carga. En cambio para arcillas no dispersivas el flujo emergente es completamente claro y la carga se mantiene constante sin que se produzca la falla.

En el ensayo de Pinhole se definen seis categorías de clasificación:

D1 y D2: Dispersivo

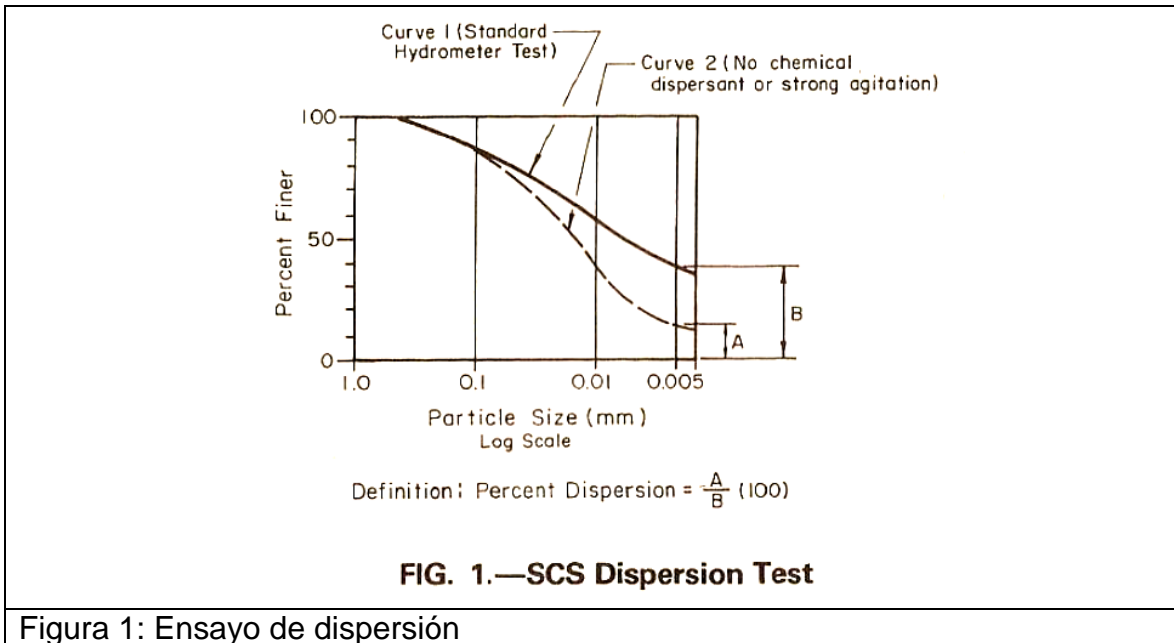
ND3 y ND4: Leve o moderadamente dispersivo

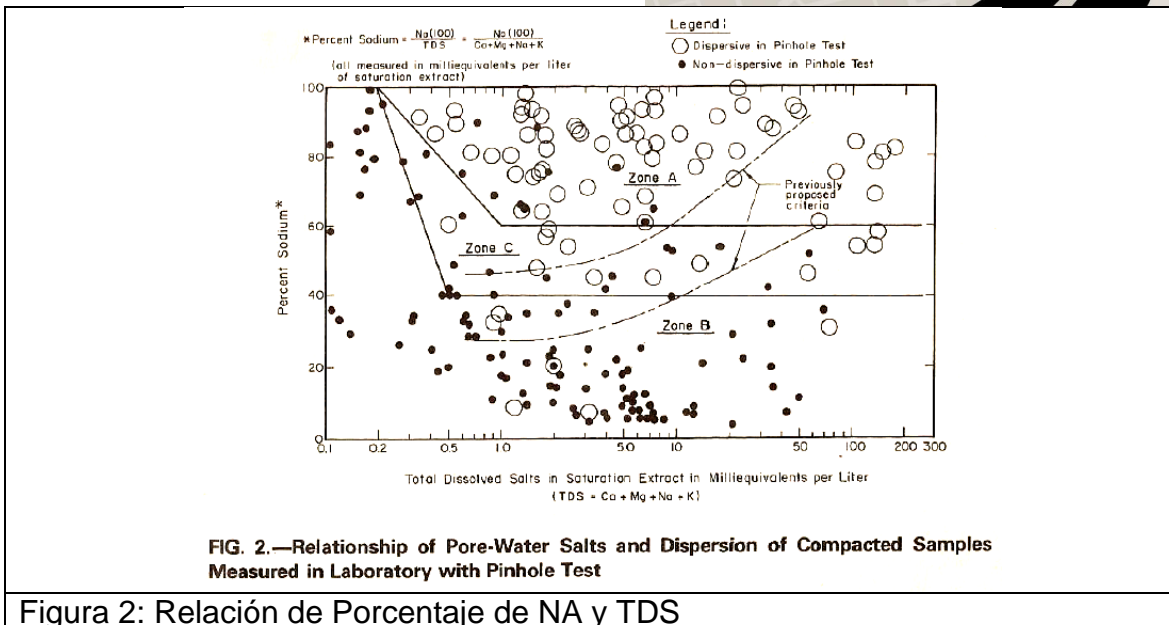
ND1y ND2: No dispersivo

Los ensayos químicos son indicadores importantes. Se determinan las sales totales disueltas en el agua de poros TDS y los cationes presentes en las sales: Ca calcio,

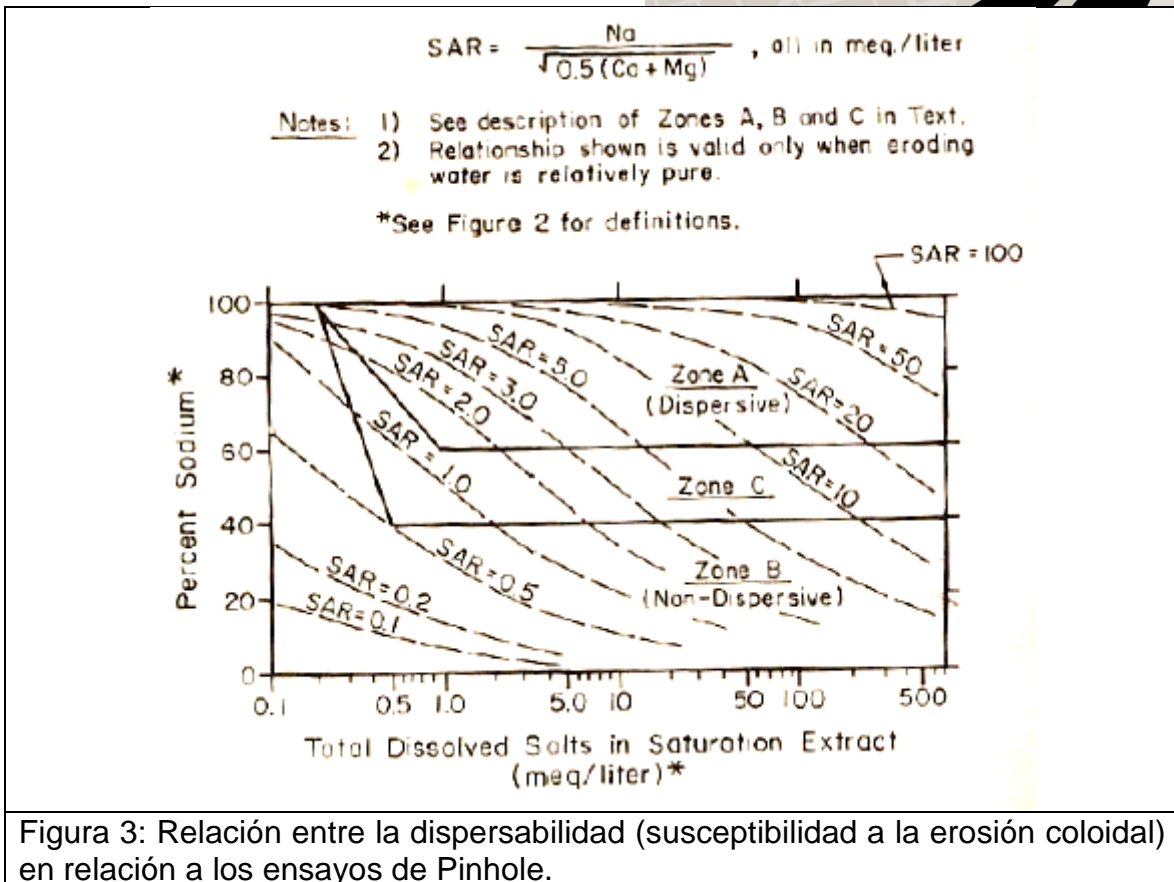
Mg magnesio, Na sodio y K potasio presentes. El porcentaje de sodio y la cantidad de sales determinan el potencial dispersivo.

De acuerdo a la experiencia americana, Sherard et.al 1976, cuando las sales totales TDS es mayor que 1 un miliequivalentes por litro (MEQ/L) y el porcentaje de Na es mayor a 60% en relación al TDS, el suelo es siempre dispersivo. Figura 2





El documento de ICOLD (Paris, 1990) hace referencia a los investigadores australianos, quienes postulan que los dos factores químicos que gobiernan la dispersión del suelo son: 1) el porcentaje de sodio intercambiable del suelo, relacionado con la Razón de Adsorción de Sodio (SAR) $SAR = Na / \sqrt{0.5 (Ca + Mg)}$, y 2) las sales totales disueltas en el agua de poros (TDS). La experiencia australiana indica que cuando la SAR es mayor a 1 a 2 el suelo es dispersivo en el ensayo de Pinhole. En las experiencias del autor de este trabajo, donde le cupo la revisión de varias obras donde los terraplenes estaban severamente dañados, el procedimiento australiano de reconocimiento se cumple ampliamente: Cuando la SAR es mayor a 2 en el ensayo de Pinhole el suelo es dispersivo y el terraplén se tubifica a las escorrentías. Igualmente ocurre cuando la SAR se ubica entre 1 y 2, el suelo es moderadamente dispersivo en el Pinhole y también se ha observado que suelos con estas características se tubifican. Figura 3.



4- CARACTERÍSTICAS Y MECANISMO DE DAÑOS EN OBRAS VIALES Y DE TIERRA. EXPERIENCIAS EN LA REGION.

En la Región Oriental de nuestro país puede observarse que terraplenes de obras viales, construidos principalmente con suelos lateríticos y otros suelos comunes, no erosionan de la manera espectacular como sucede con los suelos con alto contenido de sodio.

En todos los casos estudiados por el autor de este trabajo, donde el escurrimiento de lluvia causó los túneles profundos y cárcavas de erosión, el material arcilloso tenía un alto contenido de sodio y ensayado por el Pinhole se clasificaba como suelo dispersivo.

La diferencia de comportamiento entre las dos categorías de suelos: dispersivas y no dispersivas es que en estos últimos para que se produzca la erosión se requiere una velocidad mínima de umbral, por debajo de la cual las escorrentías no producen

efecto sobre el material: Las partículas de arcillas se atraen entre sí y sólo pueden desprenderse ante un flujo de agua con una cierta energía erosiva. En cambio, para la arcilla dispersiva no existe velocidad de umbral: las partículas de arcillas entran en suspensión con aguas quietas.

En los terraplenes de arcillas dispersivas, el daño por erosión comienza cuando empieza a fluir a través de la masa una muy pequeña cantidad de agua de lluvia con velocidades muy bajas, normalmente unos centímetros por segundo; el agua se pone barrosa y se desarrolla la erosión progresiva de las partículas de arcilla hasta convertirse en los túneles y cárcavas característicos. En los suelos no dispersivos se requiere por los menos unos 30 centímetros por segundo (Sherard, 1976) de velocidad de flujo para que alguna erosión se desarrolle: el agua fluye más claro y las partículas se derrumban dentro de los canales de erosión sin falla de la masa. Sherard reportó que en algunas pruebas de Pinhole por varias semanas el agua llegó a fluir a una velocidad de 33 cm/s (10 fps) sin aumento mensurable del tamaño del agujero.

El mecanismo de erosión en terraplenes de suelos dispersivos es muy característico: la retro-erosión está asociada a un intercambio de cationes de sodio en presencia del agua generando un desprendimiento progresivo de las partículas coloidales de arcilla de abajo hacia arriba, produciéndose las tubificaciones tan características que terminan en enormes cárcavas y pozos en los terraplenes.

La naturaleza de las lluvias también influye notablemente, en especial una lluvia torrencial después de un periodo seco en que las grietas superficiales existentes en los taludes de los terraplenes crean las condiciones favorables para la aceleración del proceso de la erosión retrógrada progresiva.

5- EXPERIENCIA DE TRATAMIENTO DE TERRAPLENES CONSTRUIDOS CON SUELOS DISPERSIVO

Como antecedente muy valioso en cuanto al tratamiento de suelos dispersivos, se detalla en el citado documento de la ICOLD indicado anteriormente, p.p. 45, “Medidas de Diseños y Construcción”, entre otros, expresa: “Se debe tener sumo cuidado cuando se compactan suelos adyacentes a estructuras rígidas como conductos. En algunos casos la modificación con cal de las arcillas dispersivas es usada en estas fases. La modificación de arcillas dispersivas con el uso de la cal es necesaria para protección de taludes donde otras medidas tales como el uso de filtros adecuados y gravas (ripios) no son factibles económicamente”.

En el párrafo siguiente cita antecedentes bien documentados, expresando: “En situaciones donde terraplenes de presas construidas con arcillas dispersivas han fallado por tubificación (piping) y en donde las reconstrucciones y reparaciones fueron efectuadas con suelo tratado con cal, se utilizó el mismo procedimiento también en la reconstrucción de la protección de los taludes”.

Así mismo en el documento “Journal of the Geotechnical Engineering División”, “Identification and Nature of Dispersive Soils”, Sherard et.al, 1976, p.p. 299, bajo el subtítulo de “Lime Treated Dispersive Clay” dice lo siguiente: “Ensayos de pinhole fueron ejecutados en infinidad de diferentes arcillas dispersivas tratadas con pequeñas cantidades de hidróxido de calcio Ca(OH)_2 (de 1% al 4% en peso). Sin excepciones el material fue transformado a un estado no dispersivo mediante el tratamiento con cal”.

Otro documento importante de la literatura internacional, McDaniel et.al, 1979, expuesto en el “Journal of the Geotechnical Engineering División”, “Dispersive Soil Problem at Los Esteros Dam”, p.p. 1029, Conclusión, dice: “La adición del 4% (en peso seco del suelo) de cal hidratada, convierte estos suelos dispersivos a suelos no dispersivos y resistentes a la erosión”.

En nuestra experiencia, que se indica más adelante, con la adición de 4% de cal hidratada comercial disponible en el mercado, el suelo modifica su estructura química, pasando a suelo no dispersivo y resistente a la erosión. También una cobertura firme y uniforme de césped en los taludes, con una pendiente adecuada, siempre que se realice el mantenimiento periódico y oportuno, resulta eficaz en la protección de los taludes.

6- CASOS HISTÓRICOS

Ruta 4 San Ignacio Pilar:

En el año 1994 se inicia la pavimentación de la Ruta, con un trazado nuevo a partir de Mariquita a Pilar. La longitud total pavimentada fue de unos 102 km. En plena fase de ejecución del terraplenado, en el segundo semestre del año 1997 y primer semestre del año 1998, se manifiesta el fenómeno El Niño con fuertes y periódicas lluvias, que generan sus efectos devastadores en toda la obra ocasionando erosiones generalizadas en el terraplenado, produciendo serias dificultades

constructivas, paralizaciones sucesivas y consecuentes atrasos afectando el cronograma original previsto.

Se constaron daños generalizados en los terraplenes arcillosos con severas erosiones y grandes cárcavas en los taludes que han ido evolucionando como consecuencia de su excesiva exposición a las fuertes escorrentías superficiales de las precipitaciones pluviales agravadas por el fenómeno el Niño. Por las peculiares características del mecanismo de erosión observado se presumió que se trataba de suelos con gran potencial dispersivo. De igual manera, un tramo de 20 km pavimentado presentaba también severos daños en los terraplenes por erosión en sus taludes, los cuales solo estaban protegidos parcialmente con pasto en el medio metro superior. Asimismo, el tramo presentaba fisuras longitudinales generalizadas en las banquetas pavimentadas, como consecuencia de las erosiones previas que dejaban al terraplén sin sustentación lateral.

Cuando las muestras representativas de suelos fueron analizados químicamente en laboratorio para la determinación de sales totales TDS y porcentaje de sodio del agua de poros Na, se confirmaron plenamente sus características dispersivas, aspecto que no fue identificado en el diseño, antes de la construcción de las obras.

En la Figura 4 se presentan los resultados de TDS y Na, de muestras representativas obtenidas.

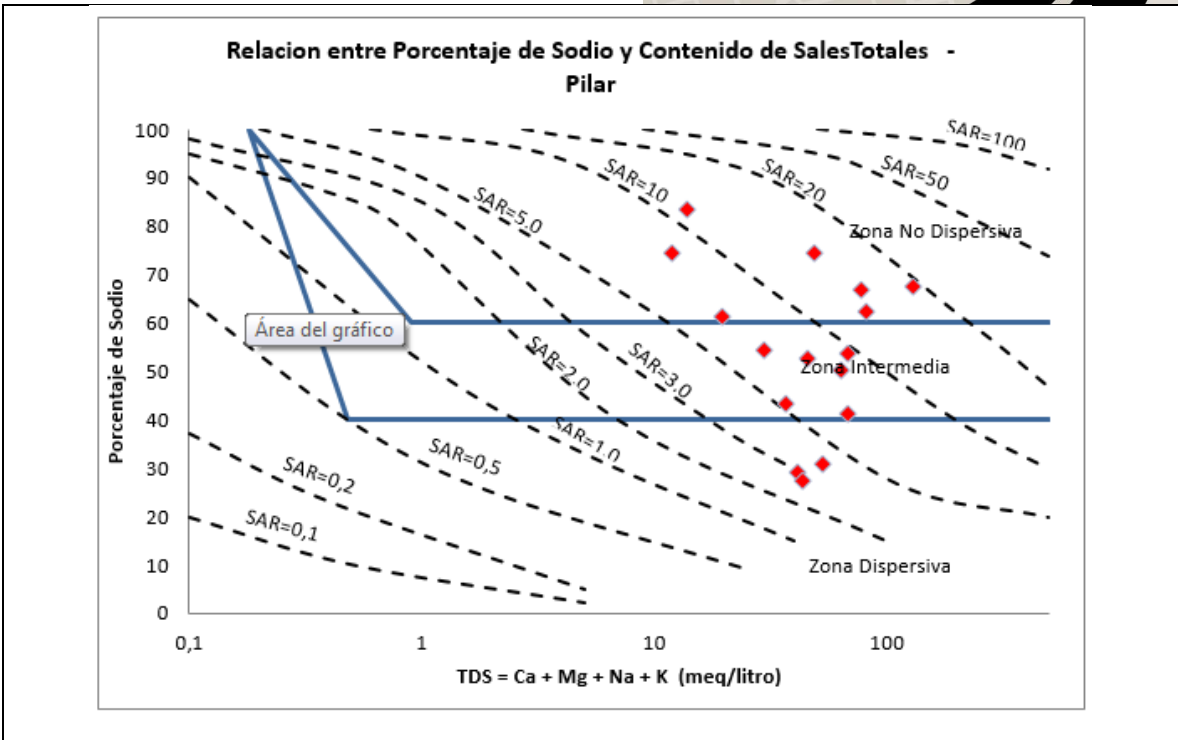


Figura 4. Resultados de TDS y Na. Pilar.



Fotografías de la Ruta 4 en fase de construcción. Se observan los daños.

Ruta Pozo Colorado- Concepción:

Esta obra ha sido objeto de reconstrucción por el MOPC, entre los años 2009 al 2012 en un tramo de 80 km. Ha sido reconstruida aplicando un reciclado de la superestructura de la calzada lográndose una buena performance de la superestructura del pavimento. Sin embargo, no ha sido identificado en el diseño el potencial dispersivo de las arcillas empleadas en la reconstrucción del terraplén y la banquina. En la fase de finalización, el Contratista ha identificado la aparición de tubificaciones y el inicio de la erosión retrógrada progresiva en la banquina y taludes de los terraplenes. Por pedido del mismo, el autor con un equipo técnico de la FIUNA, realiza en el año 2012 una verificación del estado de la obra en el sitio incluyendo la extracción de muestras de suelos para análisis químicos y ejecución de ensayos de Pinhole. Todas las muestras extraídas representativas del tramo indicaron las características dispersivas del suelo. El diseño no incluyó una protección adecuada de los taludes que hubiera sido importante realizar con una cobertura vegetal firme, uniforme y continua de los taludes, lo que hubiera mitigado el efecto devastador de las escorrentías. De no realizar esta cobertura en las actuales condiciones de la obra, la degradación prematura será inexorable hasta alcanzar la calzada.



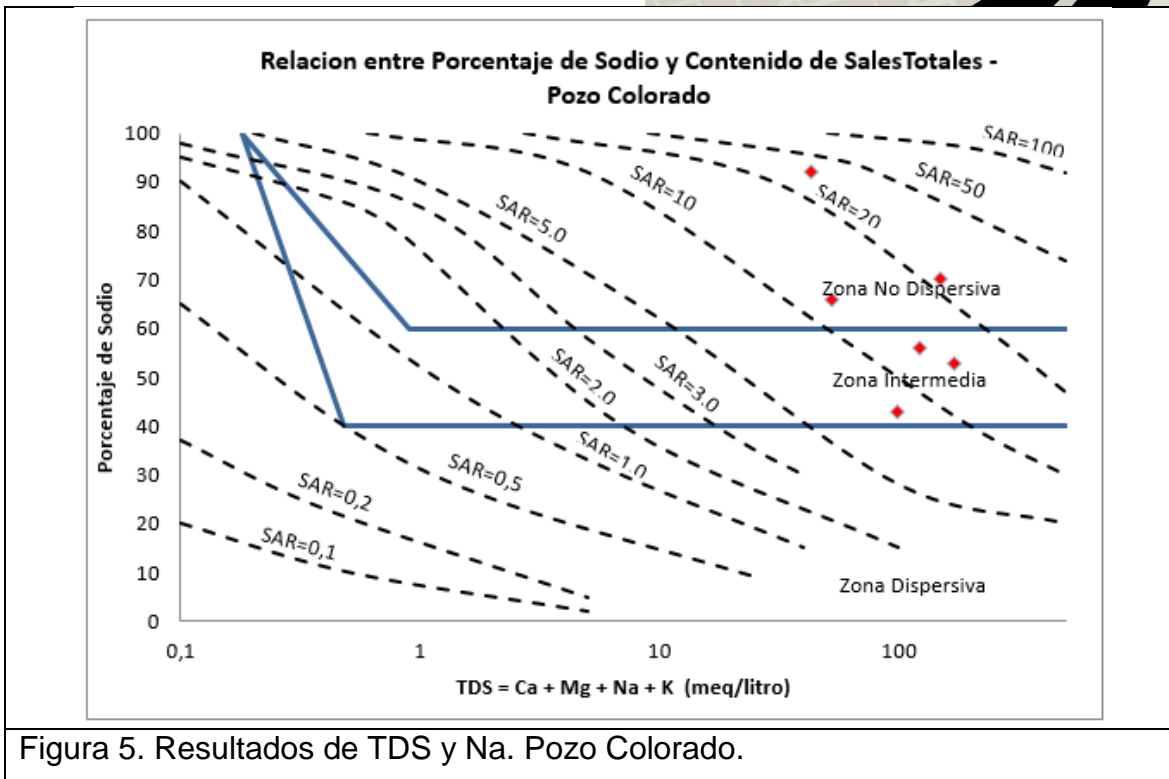


Figura 5. Resultados de TDS y Na. Pozo Colorado.

Ruta 3: Tramo entre Arroyos y Esteros y 25 de diciembre:

El día 24 de mayo de 2012, se ha verificado, en el tramo indicado, en varios sectores, la ocurrencia de serias erosiones en los taludes del terraplenado que llegan hasta la banquina, cuyo mecanismo peculiares en forma de tubificaciones y cárcavas retrógradas progresivas hacen presumir que los suelos de la estructura de tierra tienen muy baja a nula resistencia a las fuerzas tractivas del escurrimiento, muy característicos de los suelos dispersivos. En la actualidad, el Contratista a cargo de la Rehabilitación por el sistema de mantenimiento por gestión, está realizando la reconstrucción de la banquina.

Ruta Valle mi – Concepción:

Aquí, cabe citar un ejemplo concreto de daños prematuros ocurridos en el terraplenado del tercer tramo de la obra vial Valle mi – Concepción, desde el Km 121 al km 169, entre el año 2012 y 2013. A partir de estos daños aparecidos en los terraplenes durante la ejecución de las obras, se idéntico que todo el terraplenado ha sido construido con suelos arcillosos de naturaleza dispersiva. Los daños identificados proceden de tubificaciones iniciales en los taludes de los terraplenes por efectos de las escorrentías superficiales de aguas de lluvia, que luego van tomando forma de erosiones profundas para terminar en cárcavas que afectan sensiblemente la estructura de borde del terraplenado. Se estudiaron varias

alternativas de tratamiento del terraplén con suelo cal, encontrándose que con una mezcla del 4%, el suelo pierde totalmente su sensibilidad a la erosión, además de una cobertura firme y uniforme de los taludes con suelo vegetal y pasto de 0,15 de espesor.

A continuación se muestra en las fotografías tomadas las distintas manifestaciones de esos daños:

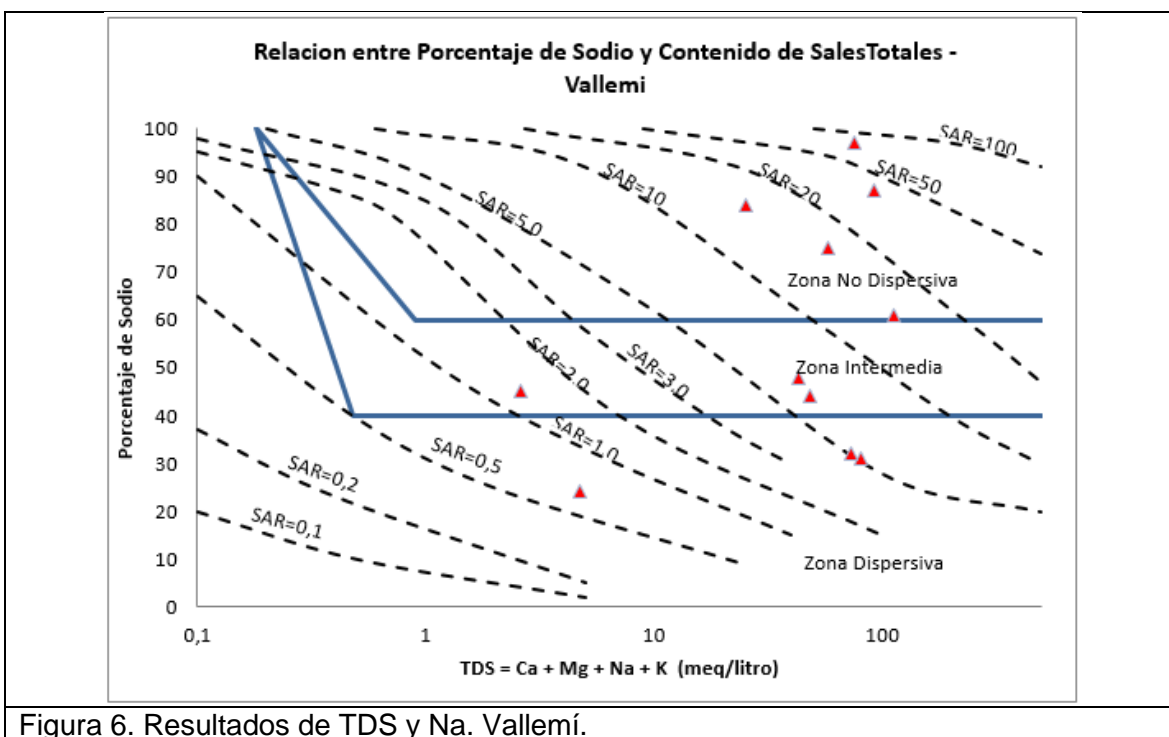


Figura 6. Resultados de TDS y Na. Vallemi.

Autopista Ñu Guazú:

Se identificó en pleno proceso de esta obra, en su primer tramo, en febrero de 2013, la naturaleza dispersiva de los suelos empleados en la construcción de los terraplenes.

Inmediatamente se realiza el retiro del material erosionado de los taludes y se lo reemplaza por sucesivas capas compactadas de suelo cal al 4% en un ancho de 2,40 m desde el terreno natural hasta el coronamiento del terraplén. Luego del tratamiento y colocada la cobertura vegetal, no se ha producido la retro-erosión en los taludes tratados.

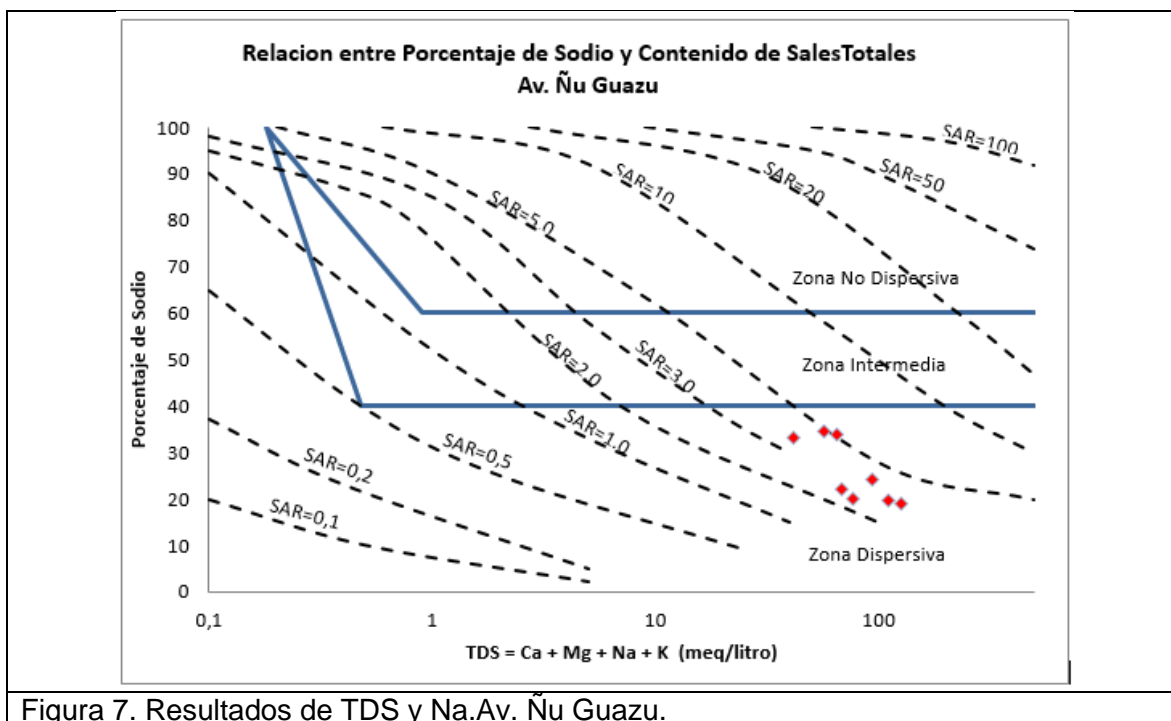


Figura 7. Resultados de TDS y Na. Av. Ñu Guazú.



Sub-estación de Villa Hayes

Consiste en una plataforma de 26 Ha, de 2,5 m de altura construido por medio de terraplenes compactados de acuerdo a la técnica vial, ubicada en Villa Hayes, en el Chaco, margen derecha del río Paraguay.

La misma alberga todo el equipamiento electromecánico de la sub-estación transformadora de la línea de 500 KV proveniente de Itaipú.

En el inicio de la provisión del equipamiento electromecánico, en octubre de 2011, por el Contratista ABB-CIE, aparecieron las tubificaciones, cárcavas y retroerosiones en los taludes, oportunidad en que fue identificada la naturaleza dispersiva del suelo empleado. Se realizaron los estudios correspondientes y se toman las medidas de mitigación en todo el perímetro de la plataforma. La solución, consistió en realizar una trinchera perimetral de 2,5 m de ancho y 2,5 m de profundidad en el borde de la plataforma y rellenar la misma con suelo tratado al 5% de cal, avanzando en módulos de 100 m. Este tratamiento se realizó de abril a agosto de 2012. El porcentaje de cal aplicado fue el resultado de estudios en laboratorio de mezclas en distintos porcentajes, en que se corroboró que con el 4% de adición ya no se produjo la dispersión en el ensayo de Pinhole y la máxima resistencia a la compresión simple se logró con 5%.

Las instalaciones electromecánicas ya han sido completadas totalmente y no se ha reportado la aparición de erosiones en los taludes.

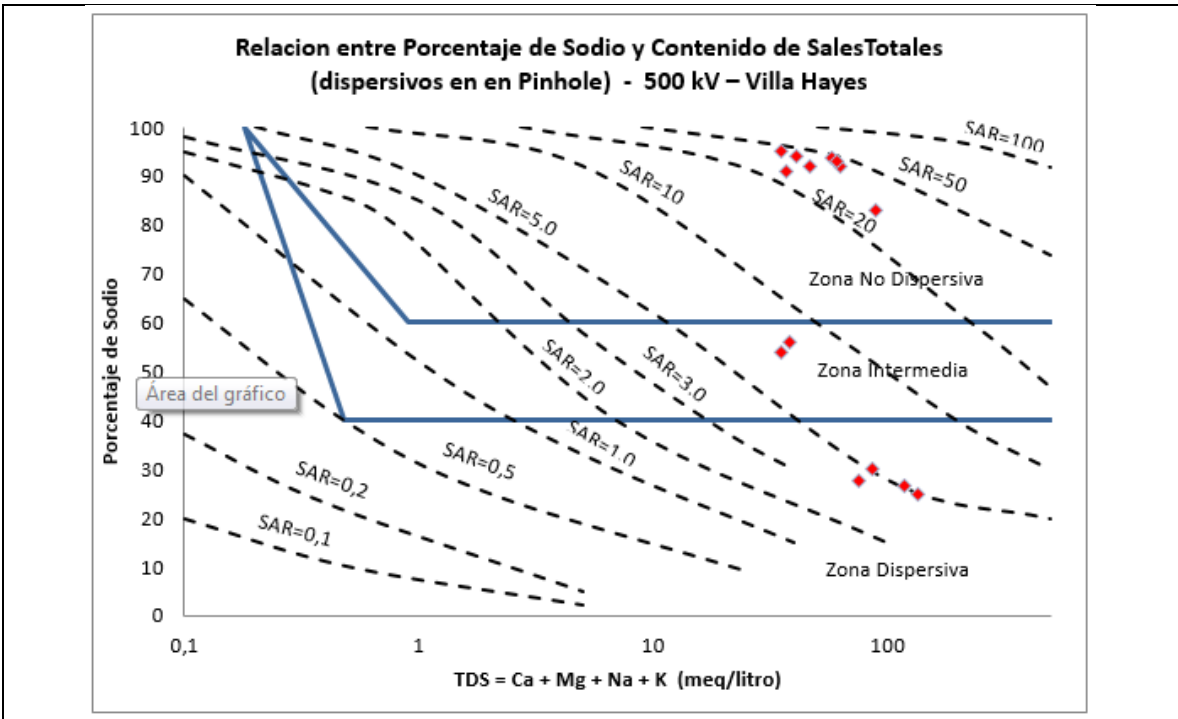
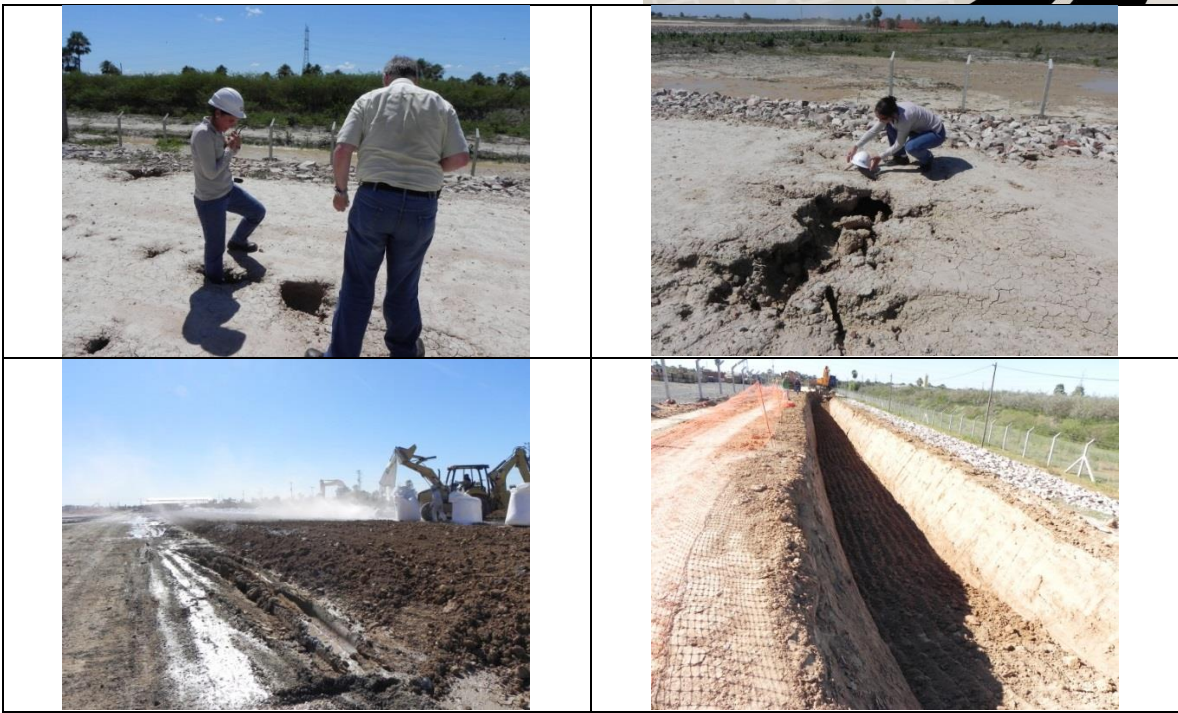


Figura 8. Resultados de TDS y Na.Av. Villa Hayes.

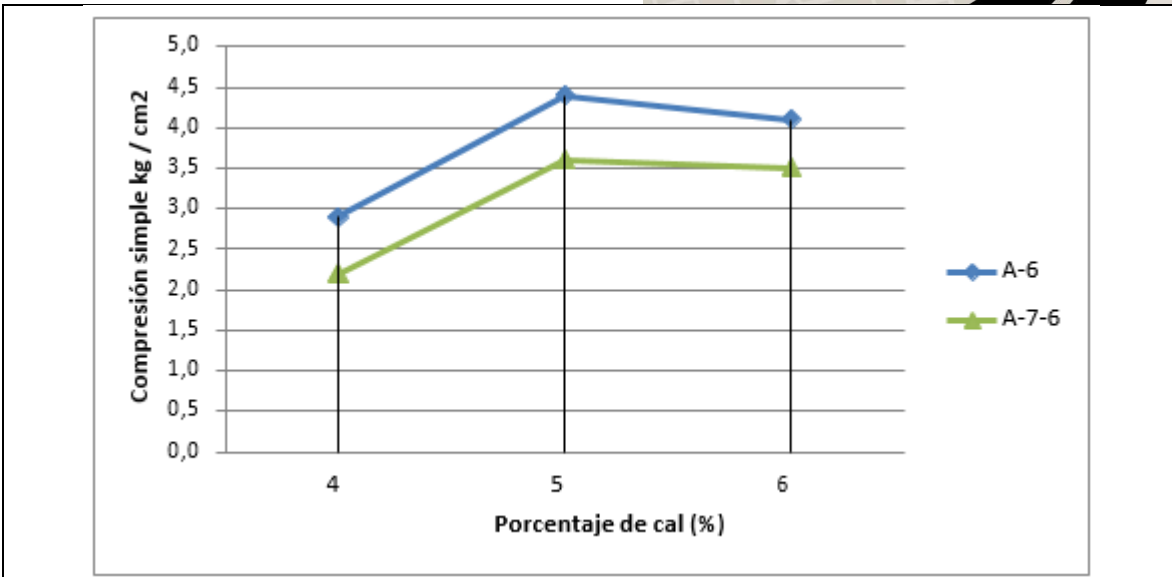


Figura 9 – Resistencia a la compresión simple vs % de cal

Ruta 9 Transchaco desde Puente Remanso hasta Infante Rivarola:

Actualmente el MOPC, proyecta la rehabilitación en todo el tramo. Por la evaluación realizada de los daños de los taludes donde el mecanismo de erosión detectado, en particular desde Puente Remanso hasta Mcal Estigarribia, los suelos del terraplenado son de características dispersivas.

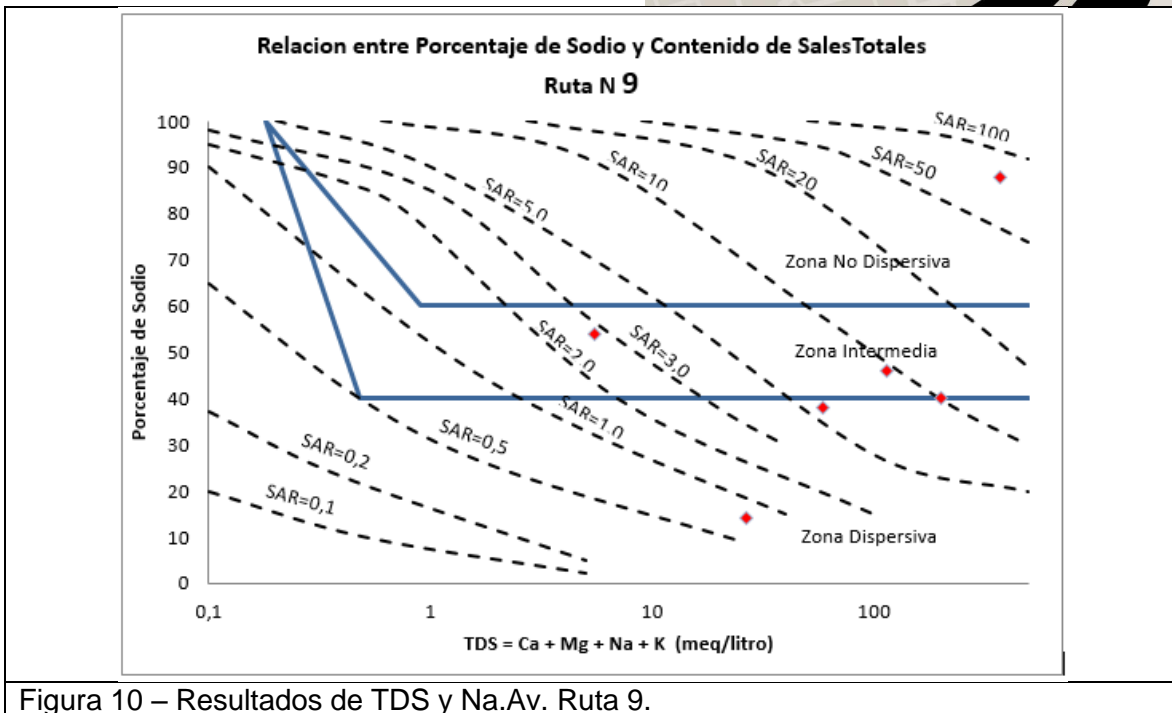


Figura 10 – Resultados de TDS y Na.Av. Ruta 9.

Diques o Muros de Defensa contra Inundaciones de Pilar:

Los diques de defensa contra inundaciones de la ciudad de Pilar fueron completados en el año 2001, en general hasta las cotas 10 y 11.

En el año 2005 los daños en el terraplenado eran generalizados, principalmente en los taludes, por tubificaciones, retroerosiones y cárcavas, muy característicos en suelos de naturaleza dispersiva.

Realizada la evaluación correspondiente en octubre de 2006, se identificó plenamente que el terraplenado había sido construido con suelos dispersivos.

A finales de 2007 se completó la reconstrucción de los taludes con la incorporación de una cobertura de suelo vegetal y pasto de la variedad brachiaria decumbens, similar a la empleada en la protección de los taludes de la presa de Yacyretá. Hacia el pie del talud se colocaron bolsas de suelo cemento al 5%, bien trabajada entre sí.

El sistema empleado presenta buen comportamiento hasta la fecha (diciembre de 2013). Por tanto constituye un buen antecedente de protección vegetal de taludes.



Fotografías de daños y remediación del dique de defensa de Pilar

7- MEDIDAS DE MITIGACIÓN RECOMENDADAS EN OBRAS VIALES

De acuerdo a las experiencias del autor, en la mayoría de las obras viales en el Chaco y en la llanura de la margen izquierda del Río Paraguay, donde existe predominancia de la formación chaqueña del cuaternario, el material económicamente disponible y utilizado en la construcción de los terraplenes y subrasante mejorada, en general, se encuentra en el estrato superficial hasta profundidades de unos 3 m y son de naturaleza dispersiva. En la Figura 12 se ha tratado de integrar los resultados de los ensayos químicos de las obras enumeradas anteriormente. En todos los casos donde el suelo es dispersivo o moderadamente dispersivo, la Razón de Adsorción de Sodio SAR es mayor a 1 y 2: valores idénticos a los formulados por los investigadores australianos.

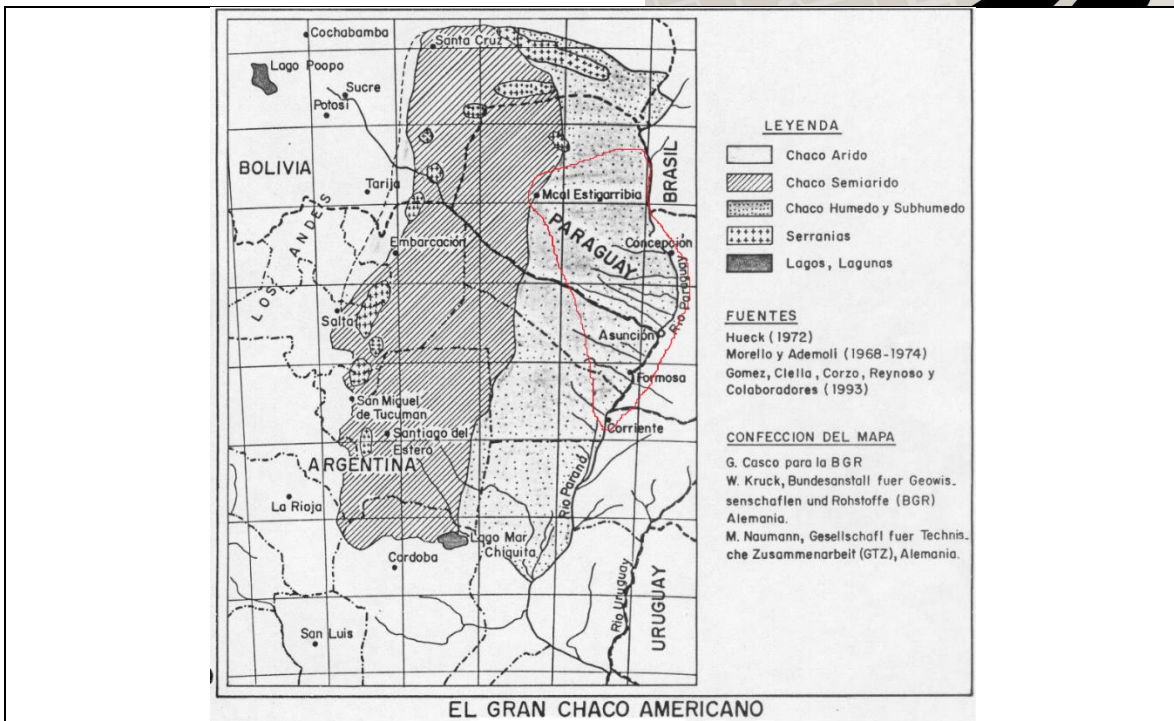


Figura 11 – Área de verificación de daños en terraplenes de suelos dispersivos.

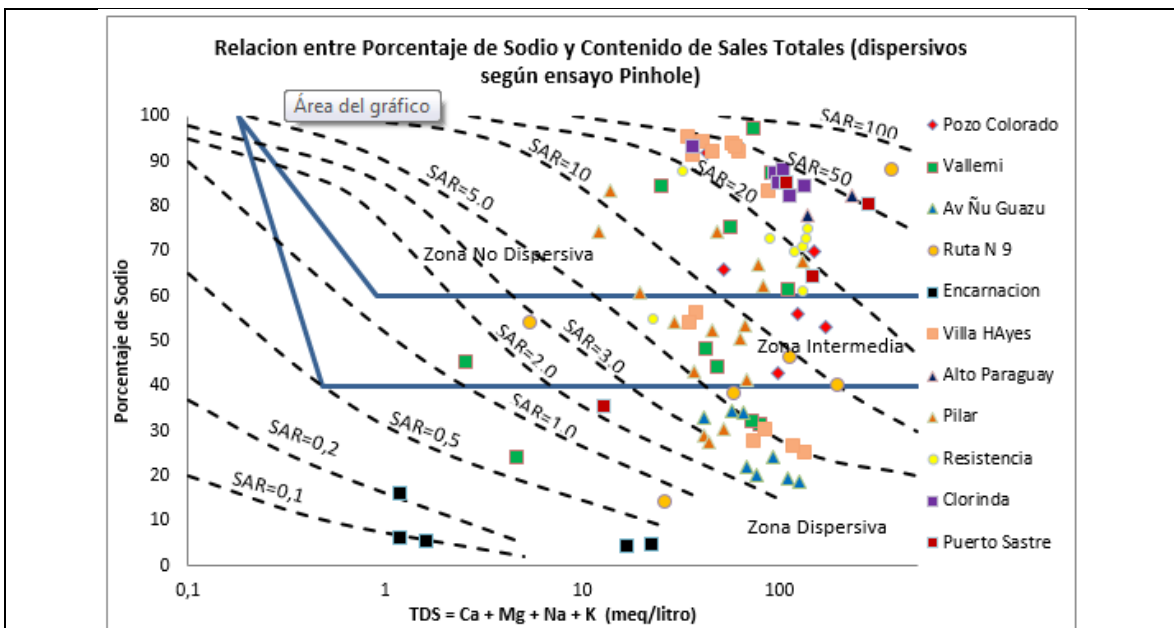
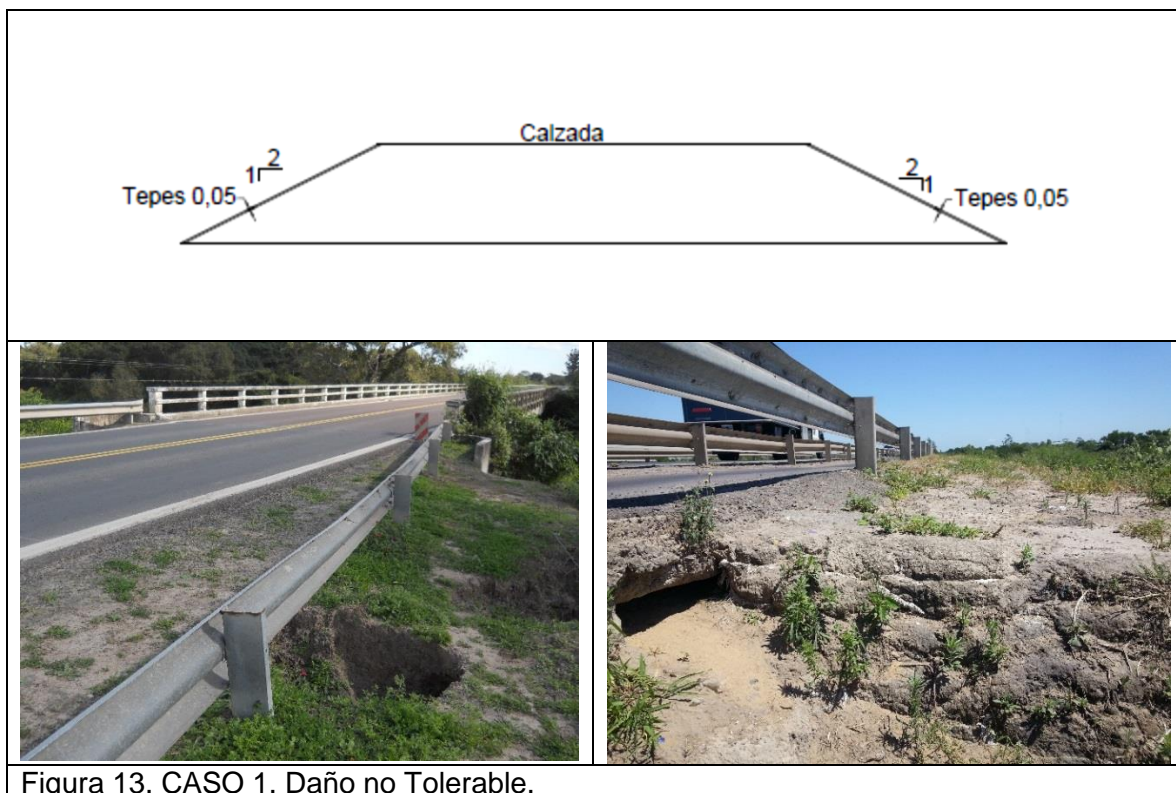


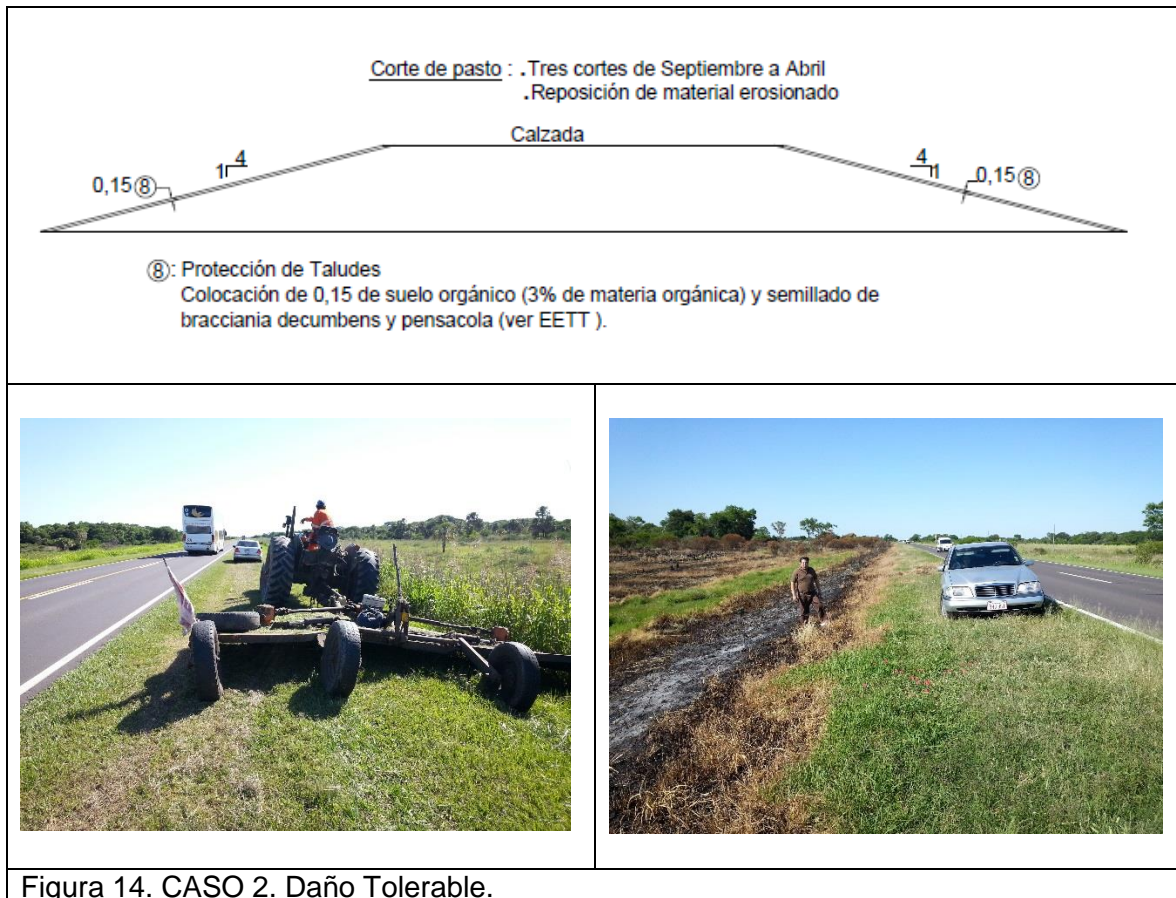
Figura 12 – Integración de los resultados de los ensayos químicos de las obras enumeradas anteriormente.

En opinión del autor, en los casos de terraplenes severamente dañados, para mitigar los efectos causados por la erosión en el corto, mediano y largo plazo, se debe revisar el diseño de la obra para reconstruir correctamente los taludes dañados e implementar una cobertura adecuada de los mismos y establecer procedimientos constructivos específicos y prácticos para reducir sustancialmente el riesgo de daños por erosión. La paralización de las obras en proceso de construcción debe evitarse y la reconstrucción debe ser inmediata. De lo contrario, si se prosigue con la construcción de la calzada en estas condiciones, la falla prematura de toda la superestructura es inexorable en breve plazo.

En obras terminadas se ha observado que cuando el terraplén tiene una altura mayor que 1,5 m y una cobertura vegetal muy simple de tepes de 0,05 de espesor en sus taludes, se produce la tubificación y los daños serían no tolerables para mantener la integridad de toda la estructura de la calzada. Figura 13.



Se ha observado también que cuando el talud del terraplén es suave, en torno a 3H: 1V y 4H: 1V, y si el mismo posee una cobertura vegetal firme y uniforme, de por lo menos 0,15 m de espesor, con mantenimiento periódico y oportuno, no se produce la tubificación, y si se produjera, el daño es mínimo y las acciones de mantenimiento permiten reponer el suelo erosionado sin afectar la integridad de la calzada. Figura 14.



En los casos donde por una u otra razón se deba mantener un talud de 2H: 1V con daño nulo, es imprescindible realizar un tratamiento del talud con suelo cal al 4% y luego colocar la cobertura vegetal firme y uniforme de 0,15 m. Ver Caso 3.

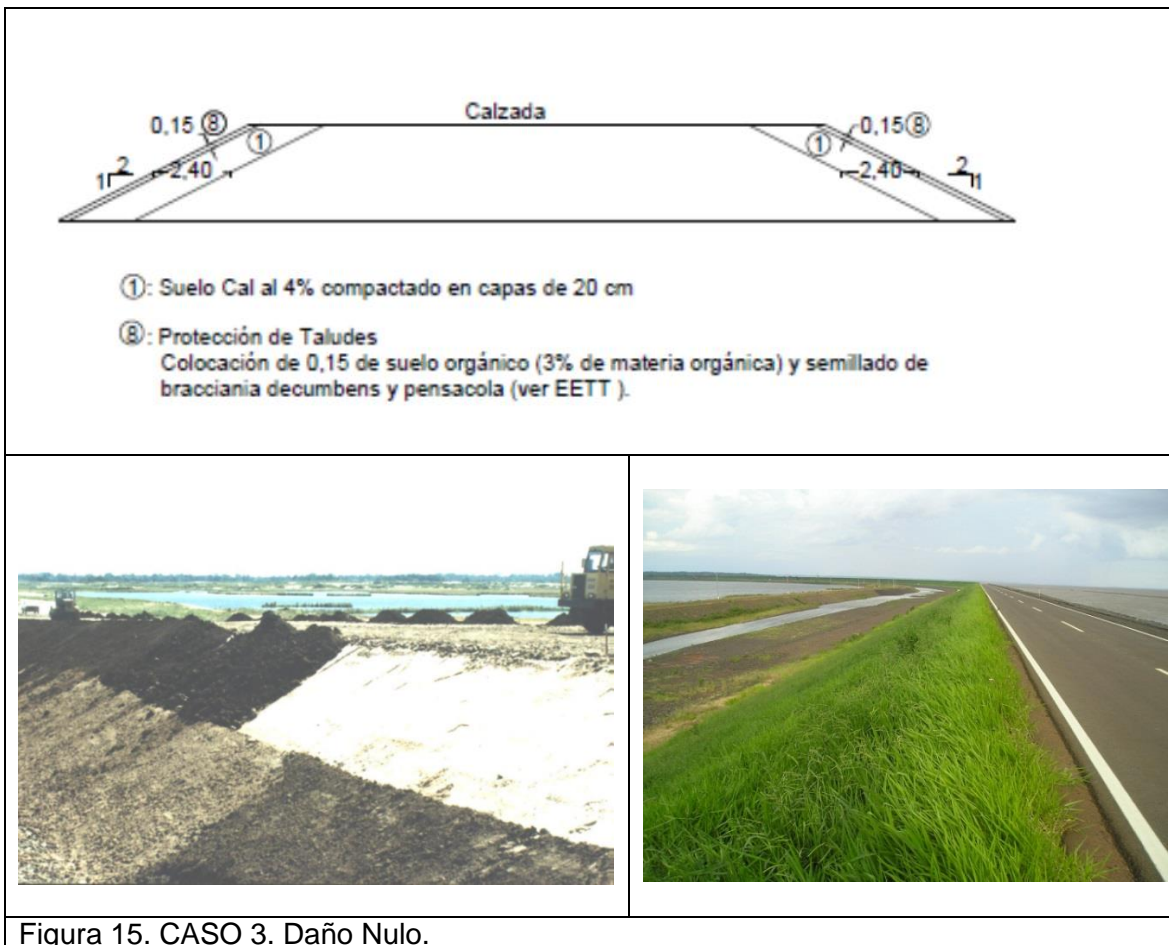


Figura 15. CASO 3. Daño Nulo.

El proceso constructivo recomendado para los terraplenes ejecutados con suelos de naturaleza dispersiva, incluye la protección de los taludes a medida que el terraplén avanza en altura y en longitud. Se debe terminar la obra del terraplenado en tramos tan cortos como sea posible, por ejemplo no, mayores a 2 km, con toda la cobertura de protección, evitando así la exposición de los terraplenes a las escorrentías superficiales sin protección adecuada.

Si el terraplén sufre daños por escorrentías superficiales durante el proceso constructivo, toda la zona dañada en el proceso constructivo debe ser retirada y reconstruido el terraplén.

8- CONCLUSIONES

- 1- La presencia de suelos dispersivos abarca una gran superficie territorial, en el Chaco y en la llanura de la margen izquierda del Rio Paraguay.
- 2- En general, son los únicos materiales disponibles en superficie para construcción de terraplenes viales.
- 3- Incluir los ensayos de identificación en la fase de investigación técnica del proyecto: Crumb, Pinhole y Químicos.
- 4- Adoptar en el diseño las medidas de mitigación: Suelo Cal; Taludes suaves y cobertura del talud con una capa firme y densa de pasto.
- 5- Incluir en las especificaciones técnicas los procedimientos constructivos para evitar los daños durante la construcción.
- 6- Realizar el mantenimiento periódico y oportuno de la cobertura vegetal. Reposición inmediata del material erosionado.

9- REFERENCIAS

1. SAMPAT A. GAVANDE-Física de Suelos-México-1972-89/95 y 245/241.
2. D. W. THORNE y H.B. PETERSON-Inigoted Soils-Their Fertility and Management-1963-101/127; 145 y 234/241.
3. J. SHERARD-V Congreso Panamericano de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Fundaciones-Buenos Aires-1975.
4. J. SHERARD-"Pinhole-Test for Identfyng Dispersive Soils"-Journal of the Geotechnical Division - Vol. 102 N°. GT1 - Junio 1976 - ASCE - 69/85.
5. J. SHERARD et.al - "Identification and Nature o Dispersive Soils" - Journal of the Geothermal Engineering Division - Vol. 102 N° GT4 - Abril 1976 - ASCE - 287/301.
6. HANS W. FASSBENDER - Química de suelos (con énfasis en suelos de América Latina) - Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas - Costa Rica - 1975 - 121/157, 199/214.
7. HD FOTH - L.M. IARDI - Fundamentos de la Ciencia del Suelo (Título original: Fundamentals of Soil Science) - Agencia para el Desarrollo

- Internacional (Dpto. de Estado EE.UU) - México 1975 - Capítulo 8: 211/236; Capítulo 15: 452/463.
8. H. de OLIVEIRA - H. NAKAO - F. NAZARIO - S. SHAYANI - Sobradinho Dam on Sao Francisco River: Design and Construction of Earth and Rockfill Embankments. V Congreso Panamericano de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Fundaciones - Buenos Aires, Argentina - 1975.
 9. G. BOURDEAUX - H. NAKAO - H. IMAIZUMI, "Estudios Tecnológicos e de Projeto para a Barragem de terra de Sobradinho considerando as características dispersivas dos solos argilosos".
 10. MITCHELL, J. K, 1981 - Soil improvement - State of the Art, Proc. 10th ICSMFE, Stockholm - 1981.
 11. THOMAS N. McDANIEL et.al - "Dispersive Soil Problem at Los Esteros Dam" - Journal of the Geotechnical Engineering Division - Vol 105 N°GT9 - Setiembre 1979 - ASCE - 1017/1029.
 12. RAYMONG N. YOUNG et.al - "Interparticle Silicon and Rheology of Dispersive Clays" - Journal of the Geotechnical Engineering Division - Vol. 105 N° GT10 - Octubre 1979 - ASCE - 1193/1209.
 13. ENGINEERING AND CONSTRUCTION IN TROPICAL AND RESIDUAL SOILS - Proceeding of the ASCE Geotechnical Engineering Division Specialty Conference - Published by the ASCE - 1982.
 14. C. DOUGLAS C.G. ACCIARDI - "Failure of Pore - Water Analyses for Dispersion" - Vol. 110 N° 4 - Abril 1984 - ASCE - 459/472.
 15. WELSH, J. P, 1987 - Soil improvement - A 10 year Update - Proceeding of a symposium, ASCE.
 16. ICOLD - Dispersive soils in embankment dams - Bulletin 77, 1990.
 17. MITCHELL, J. K - Fundamentals of Soil Behavior - New York - 1993 - 437.
 18. GODOY V., EUGENIO - Recursos hídricos del Chaco Paraguayo 1er Simposio sobre Aguas Subterráneas y Perforación de Pozos en el Paraguay - Asunción, Paraguay - Julio 1991.
 19. SOTELO R - POPOLIZIO E - Influencia de las propiedades químicas de los suelos en sus características dispersivas - I COPAINGE - Asunción, Paraguay - Noviembre 1997.
 20. RAMÍREZ F - Daños en Pavimentos Asfálticos por erosión de arcillas dispersivas utilizadas en los terraplenes - 9° Congreso Ibero Latinoamericano del Asfalto - Asunción, Paraguay - Noviembre 1997.
 21. RAMÍREZ F - CARPINELLI P - Protección Vegetal de Taludes. Una

- alternativa para sistematizar la protección de terraplenes de gran extensión
terraplenes - 9° Congreso Ibero Latinoamericano del Asfalto - Asunción,
Paraguay - Noviembre 1997.
22. LOPEZ GOROSTIAGA Y OTROS - “Mapa de Reconocimiento de Suelos
de la región Oriental - Ministerio de Agricultura y Ganadería - Dirección de
Ordenamiento Ambiental - Asunción, Paraguay - Año 1995.
23. MAG - BGR - Ministerio de Agricultura y Ganadería - Instituto Federal de
Geociencias y Recursos (Alemania) - Proyecto Ambiental del Chaco -
Asunción, Paraguay, 1988.
24. ARMAS NOVOA R. - ECHEMENDIA MARTINEZ - GARCIA D. - Causa de
Falla por sifonamiento de la Presa Las Cabrerías: Caso Histórico - XI
Congreso Panamericano de Mecánica de Suelos e Ingeniería Geotécnica
- Foz de Iguazú, Brazil, 1999 pp 1077/1083.
25. F. Ramírez. “El impacto de los suelos dispersivos en las obras de tierra”.
COPAINGE. Noviembre 2003, Asunción.

Felipe R. Ramírez Cantero (paraguayo)

Ing. En Construcciones e Ing. Civil, UNNE Argentina

Consultor de Ingeniería Civil

Ex Presidente del Comité Paraguayo de Presas, 2003 - 2007

**Ex Jefe de Ingeniería Civil y Director General Adjunto del Consultor Harza Y
Consortiados CIDY, Proyecto Yacyretá, 1992 – 2004**

Correo Electrónico: framirezcantero@gmail.com