

PROTECCIÓN DE TALUDES CON VEGETACIÓN

Ing. Carlos Corzo Bacallao¹

*1. Universidad de Matanzas “Camilo Cienfuegos”, Vía Blanca
Km.3, Matanzas, Cuba.*

Resumen.

El corrimiento de los taludes en condiciones naturales y de terraplenes constituye uno de los problemas más frecuentes en la preservación de las vías. En muchas ocasiones el colapso de las vías tienen como factor detonante los “fallos” que se producen en este sentido.

Se presentan un conjunto de medidas usualmente utilizadas para la protección de taludes. Dentro de las mismas se propone el empleo de la protección de taludes con vegetación, teniendo en cuenta nuestras condiciones idóneas de país tropical.

Se propone el estudio detallado de la especie “vetiver”, utilizada en la actualidad para la protección de cuencas hidrográficas como planta que ha probado su efectividad internacionalmente.

Se realiza un cálculo estimado del costo de mantenimiento y se concluye que pudiera ser altamente rentable ya que, entre otras cuestiones, puede interactuar con otras soluciones.

Aunque en nuestro entorno ya se utiliza, se recomienda profundizar en su generalización consultando el tema con los organismos rectores especializados en pastos y forrajes.

Una de las problemáticas existentes en la actualidad en el entorno de las ciudades, es la pérdida de superficie permeable como consecuencia de la urbanización que se realiza en las mismas. Esta urbanización conlleva la impermeabilización de zonas extensas que con anterioridad, y de forma natural, eran capaces de gestionar el agua de lluvia que recibían.

Se aborda la problemática tomando como base a la ciudad de Matanzas.

***Palabras claves:** Taludes; Erosión; Protección; Vetiver*

Introducción

La ciudad de Matanzas

Sin pretender hacer una historia del desarrollo urbanístico de la ciudad de Matanzas, no caben dudas que éste se ha producido sin tener en cuenta en muchas ocasiones este fenómeno.

Los deslaves y corrimientos de taludes constituyen hoy uno de los problemas serios que se deben enfrentar en el mantenimiento de las vías ya que la erosión de los mismos conllevan al deterioro progresivo de la infraestructura, existiendo zonas claves como pueden ser las áreas aledañas a las alcantarillas, puentes y otras obras de drenaje.

Por experiencia hemos observado que el deterioro de taludes comienza en ocasiones alejado de estas obras en áreas de pendientes pronunciadas y la destrucción por causas erosivas resulta progresiva destruyendo obras importantes.

Erosión en los taludes

La erosión en los taludes se produce tanto en áreas de cortes como de terraplenes.



(1) Erosión en taludes



(2) Erosión en terraplén



(3); (4) Deslave producido en talud frente a uno de los túneles del tramo ferroviario Caracas – Cúa en Venezuela.



5) Erosión del talud izquierdo (sin proteger) cuya afectación avanzará hacia el estribo del puente.



6) Talud a proteger. Drenaje "Villas de Yara". Barquisimeto, Venezuela.

Protecciones de los taludes

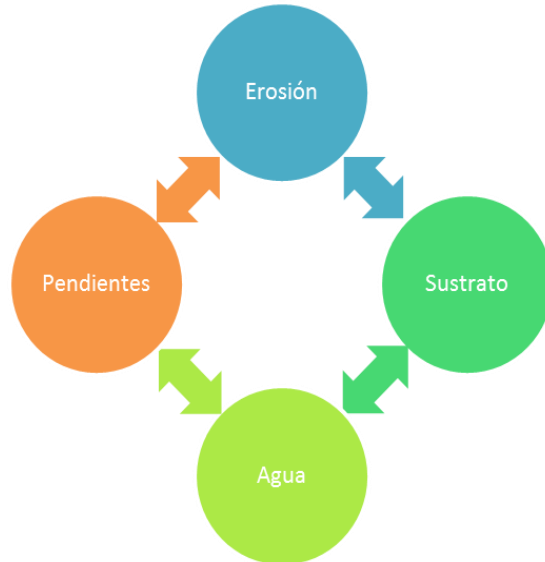


Fig. 1

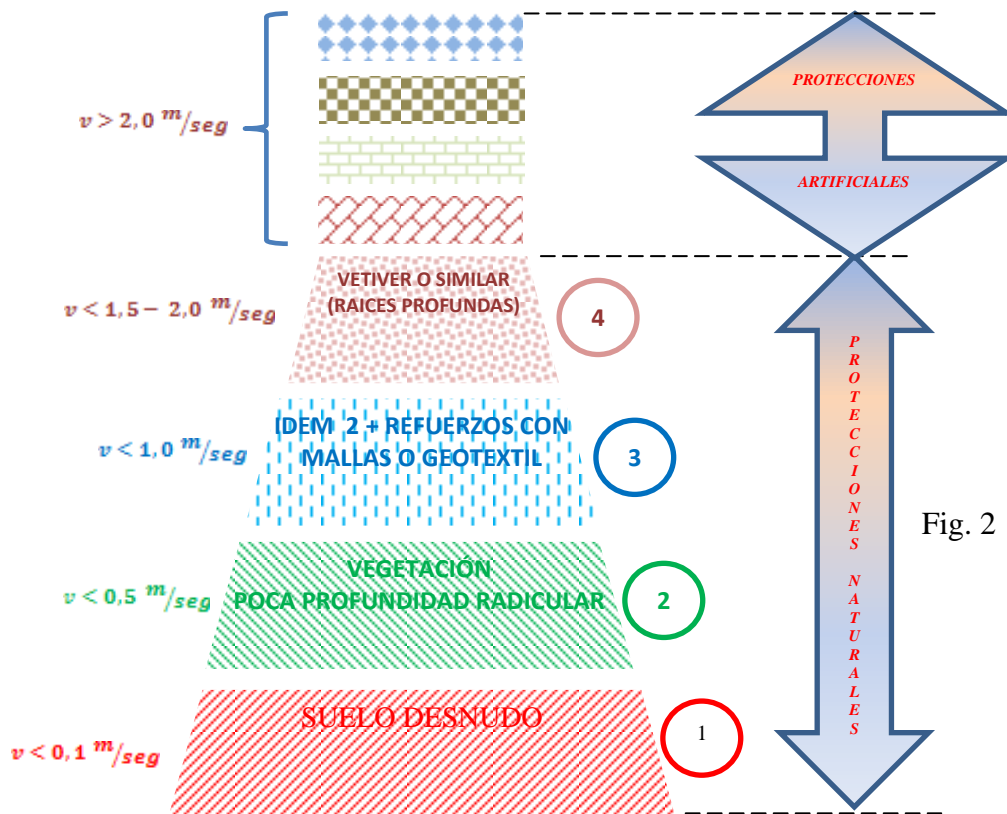


Fig. 2

Aunque la erosión de los taludes responde múltiples factores, entre los cuales se encuentran las características del sustrato, las pendientes de los taludes, etc.

A modo de simplificación podemos afirmar que en igualdad de condiciones de sustrato, las características e intensidad del proceso de erosión dependerán principalmente de la velocidad del agua y ésta tendrá a su vez una fuerte dependencia de las pendientes de los taludes.

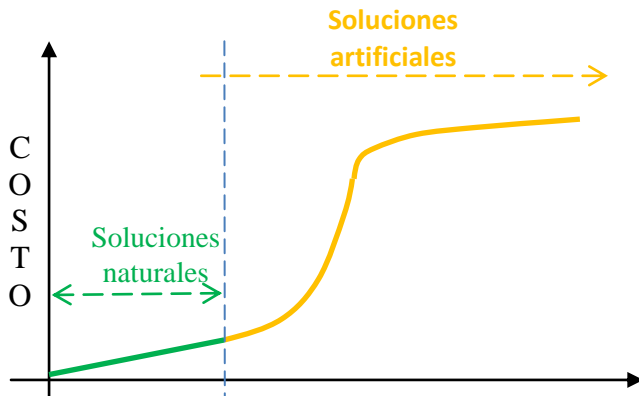


Fig. 3 El costo de la protección de los taludes, dependerá como es lógico de la tecnología a emplear.

Soluciones artificiales

A) Hormigón Proyectado (shotcrete)

Consiste en recubrir la superficie del talud:

- Con una capa de hormigón simple (repellado) y ocasionalmente provisto de una malla electrosoldada para evitar su agrietamiento, la cual se fija con pernos cortos.
- Con una capa de hormigón armado con malla de acero dispuesta en dos direcciones, fijadas al talud con bulones, cuya longitud se calcula teniendo en cuenta la posibilidad de una falla profunda.

En el primero de los casos se prevé solamente erosiones superficiales y en el segundo posibles fallos profundos.



(7); (8)



(9); (10)



(11); (12)



(13)



(14)

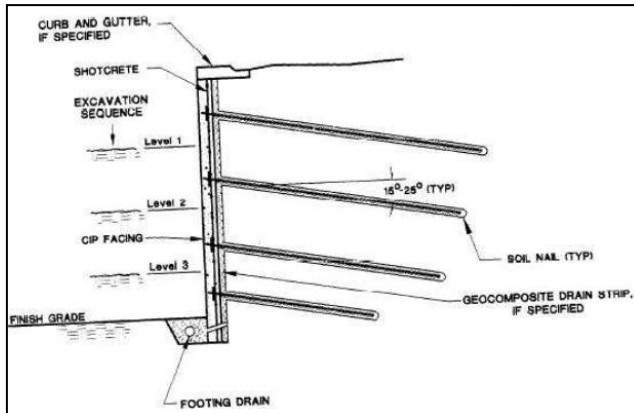


Fig. 4

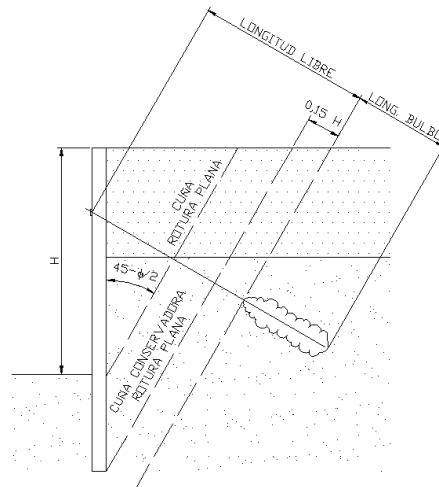


Fig. 5 Esquema de cálculo para bulones.

(6); (7): Protección de taludes con hormigón proyectado, atirantado y fijado con bulones.

(8): Proceso de proyección del hormigón.

(9): Malla de acero colocada previamente en dos direcciones que será fijada con bulones y recubierta con hormigón proyectado.

(6; 7; 8; 9): Cumplen la doble función de preservar al talud de los procesos erosivos superficiales y además la función estructural en cuanto a la estabilidad integral de los taludes.

(10): Proyección de hormigón.

(11): Malla de acero que tiene como objetivo evitar grietas por retracción. Se fija con pernos cortos.

(10 y 11): No cumplen función estructural.

(13): Proceso de perforación en los taludes para la colocación de los bulones.

(13): Bulones.

B) Geotextiles



16) Son tejidos y mantas generalmente biodegradables, utilizados para el control de los procesos erosivos y estabilización de taludes y laderas.



17) Geotextiles. Este tipo se utiliza principalmente para aplicaciones de refuerzo de terraplenes y de tierras reforzadas en presencia de suelos granulares (taludes con fuerte inclinación) no cohesivos.

a) Se aplana el terreno.

b) Se aplican fertilizantes y semillas.

c) Se extiende el tejido o manta.

d) Se efectúa la fijación a través de grapas (de acero o madera).

Es necesario uniformar el talud como tal para evitar protuberancias.

La función del tejido o manta (geotextil degradable en este caso) es la de evitar el arrastre de las semillas y fertilizantes que se aplican previamente. Para las fijaciones se utilizan pernos cortos.

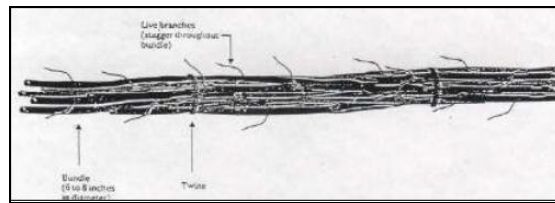


Fig. 6) Haz de tallos que se fijan transversalmente a la dirección del flujo en los taludes como solución provisional hasta que crezca la vegetación perenne. Hemos observado la fijación de “mazos” de varas rústicas fijadas al largo de los taludes en sustitución de geotextiles industriales en importantes avenidas de la ciudad de Caracas.

C) Gaviones



Fig. 7) Estructuras metálicas compuestas por mallas de alambre galvanizado de triple torsión formando paralelepípedos y rellenas con las piedras más cercanas a las obras.

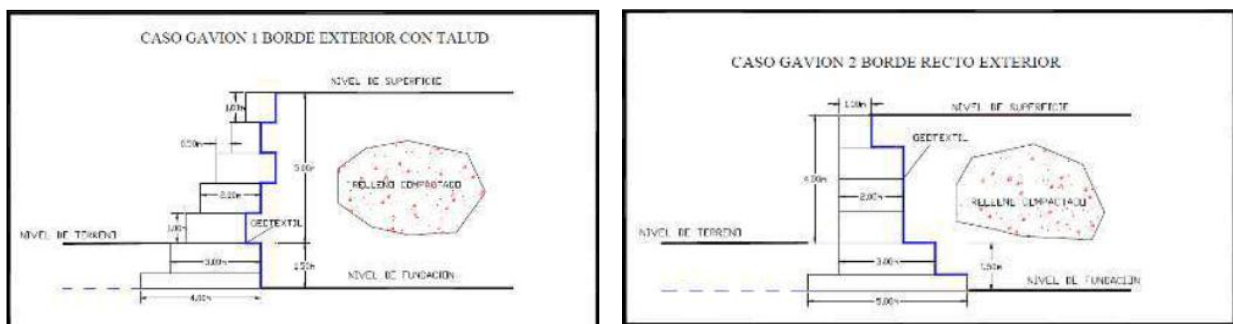


Fig. 8; 9) Esquemas de cálculo de los gaviones.

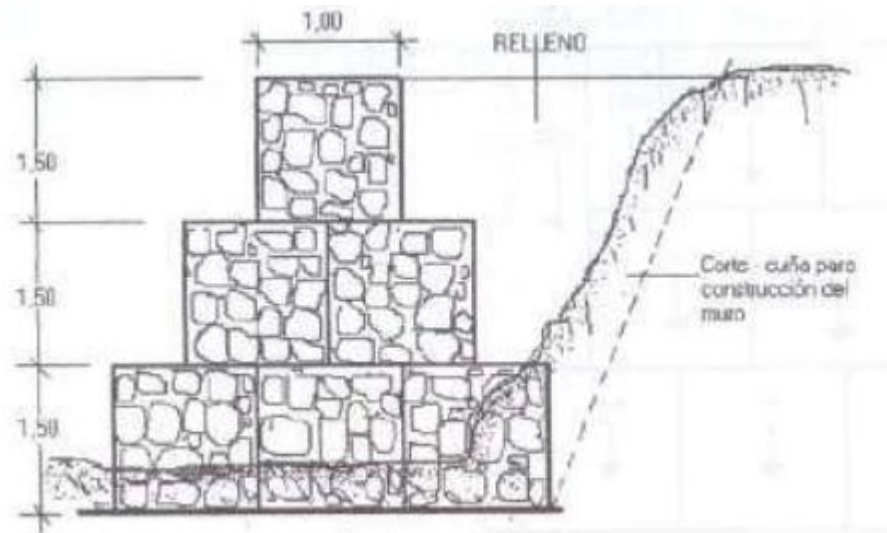


Fig. 10) Esquema de montaje de los gaviones (II)

El cálculo de los mismos no difiere de los métodos tradicionales (gravedad) teniendo en cuenta la resistencia del sustrato y la fricción inter – piezas.



18) Gaviones que cumplen además una función ornamental (diseño arquitectónico)

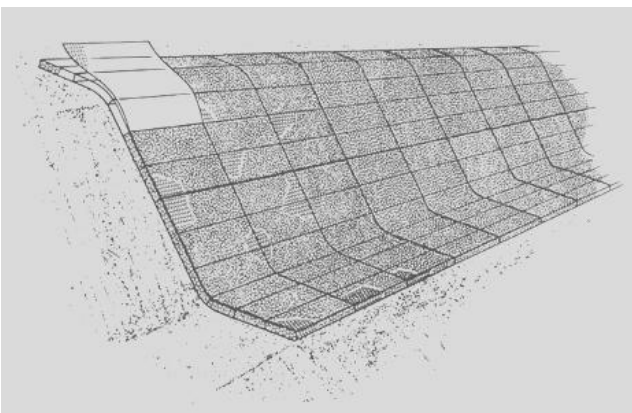


Fig. 11) Gaviones tipo “colchón”. El espesor puede variar desde 17 a 30 cm y resulta muy flexible. Solución relativamente económica.



19) Protección de estribo de puente con gaviones tipo colchón y caja. Solución relativamente económica y segura. Solamente habría que agregar que parecería más adecuado proteger además el talud desnudo lateral con gaviones “colchón”

D) Otros sistemas

Tierra armada



20) Tensores que son fijados a elementos especiales que son fijados por el propio relleno en la medida que avanza en altura. Normalmente se combina con geotextiles y se emplea además sistemas de drenajes y sub drenajes.



(22) Muros “cribas”. Ampliamente utilizados en los estribos de puentes.

Geoceldas



(23) Para protección de taludes y canalizaciones confina, refuerza y retiene masas de tierras vegetales o rellenos de piedras, controlando el movimiento descendente causado por fuerzas hidrodinámicas y gravitacionales. Al rellenar las celdas con hormigón, el sistema se transforma en una placa de hormigón flexible con juntas de expansión integradas.

E) Uso de vegetación

Consiste en la colocación de vegetación sobre el talud. Se han usado pastos locales, plantas rastreras, arbustos, en ocasiones fijadas con estacas o entramados.

El uso de la vegetación para la protección de los taludes data de mucho tiempo. Resulta una práctica prácticamente instintiva y no es posible fijar por tanto sus inicios. Realmente el estudio sistemático de sus efectos y características es mucho más reciente. Con este propósito se ha utilizado muchas plantas con mayor o menor resultado. Es de señalar que por lo general su empleo está dirigido a la estabilización de taludes de forma superficial tipo erosivo, sin pretender resultar un método para evitar la movilización profunda de grandes masas de terreno, aunque de forma indirecta coadyuve al logro de estos fines.

A continuación se exponen algunos tipos de hierbas más utilizadas en el ámbito internacional.

En el presente trabajo haremos referencia a una planta conocida por nosotros en Venezuela, (*Vetiveria zizanioides* L, también conocida como *Chrysopogon zizanioides*), popularmente conocida como “vetiver”, ampliamente extendida en la protección de taludes y laderas por los diferentes Consorcios que ejecutan el Sistema Ferroviario de este país.

La misma planta se le conoce en Puerto Rico como “pacholí”.

Realizando una amplia revisión de información, que incluyen monografías, libros, reportes de utilización, etc., se puede constatar que en todos los casos los resultados han cubierto satisfactoriamente las expectativas.

Mis observaciones personales coinciden con las informaciones obtenidas y en este sentido recomendé su utilización obteniendo en todos los casos buenos resultados (p.e. tratamiento de diferentes deslaves en el tramo Puerto Cabello – Morón en Barquisimeto, Venezuela)

El Sistema Vetiver (VS en inglés), el cual se base en la aplicación de la hierba vetiver, fue originalmente desarrollado en los años 80s por el Banco Mundial para la conservación de tierra y agua en India. Además de su importante aplicación en el campo de la agricultura, Investigación y Desarrollo (I&D) realizada en los últimos 20 años ha demostrado que la hierba vetiver es muy efectiva también para la rehabilitación de sitios mineros y el tratamiento de residuos líquidos. Esto se debe, primeramente, a sus altos niveles de tolerancia en condiciones adversas, su alta tolerancia a la toxicidad de metales pesados y otros contaminantes, y en segundo lugar, a su capacidad de tolerar y absorber grandes cantidades de nutrientes en la tierra o agua.

Además de su utilización como control de los procesos erosivos en taludes y laderas se afirma que la misma es útil en los siguientes aspectos:

Tratamiento de Aguas residuales.

En países como Australia, Venezuela, Costa Rica y otros, se han desarrollado la técnica de tratamiento de aguas residuales con vetiver, para que absorba elementos indeseables como N, P, Mg, Pd, Hg, Cd, etc.

Protección del Medio Ambiente.

Es idóneo para efectos de protección del medio ambiente en zonas de bio reparación, filtración y rehabilitación. En Cuba se ha utilizado en la protección de cuencas hidrográficas.

Manejo Artesanal.

Prácticamente es el valor agregado que la planta le puede proporcionar al agricultor, con el aprovechamiento de las hojas para la fabricación de artesanías, bolsos, sombreros, sandalias, carteras.

Se está haciendo más común la práctica de sembrar pacholí (*Vetiveria zizanioides*). Esta planta ha estado en Puerto Rico por más de 100 años y son muchas las personas que cuentan sus múltiples usos.

Debido a su vigor, el pacholí tiene la versatilidad de adaptarse a suelos húmedos o secos, temperaturas altas o bajas, suelos llanos o con mucha inclinación, fértiles o pobres, profundos o poco profundos. Es una planta de fácil manejo y se siembra mediante plántulas que son separadas de una cepa madura. Una vez establecida, su mantenimiento es mínimo y de fácil control, lo cual hace al pacholí excelente para el control de sedimentos. Las partículas de suelo, que de otro modo pasarían al fondo de quebradas, lagos o al mar, van formando terrazas cuando ésta se siembra en hileras al contorno. El pacholí puede utilizarse en una gran variedad de situaciones, incluyendo: resiembra para reparar taludes de

carreteras, en cortes y rellenos, depósitos de dragados, bancos de ríos y quebradas, llanuras aluviales, represas, cárcavas, zonas costeras, deslizamientos de terreno y en riberas de cuerpos de agua. Estos sistemas pueden adaptarse o instalarse en áreas mineras, canteras, áreas recreativas, silvicultura, áreas industriales, agrícolas, como hábitat para la vida silvestre y humedales.

Para controlar la erosión en predios bajo cultivo, a orillas de las carreteras, bordes de charcas, pendientes cercanas a puentes, a las orillas de canales de riego, represas o como ornamental.

La bioingeniería de suelos es una ciencia que combina conceptos de mecánica, biología y ecología con el propósito de crear una estructura “viva” para estabilizar el terreno.

Es una tecnología diferente que ofrece varias alternativas para el control de erosión y sedimentación y mejora la calidad del agua.

Además, de utilizarse como un sistema independiente, trabaja muy bien en combinación con las estructuras clásicas de ingeniería utilizadas para el control de erosión.

Se ha demostrado que da muy buenos resultados aún en lugares donde las prácticas de ingeniería convencionales resultan muy costosas e inapropiadas.

Estas medidas no solo ayudan a controlar la erosión sino que también contribuyen al control de inundaciones. En Puerto Rico hay dos agencias designadas a trabajar con el control de inundaciones, estas son: el Cuerpo de Ingenieros (US Army Corps of Engineers) responsable por el control de inundaciones a lo largo de los ríos de mayor afluencia, y el Servicio de Conservación de Recursos Naturales Federales (USDA-NRCS) responsable por el control de inundaciones en cuenca hidrográficas pequeñas.

Reportes de fallos de taludes protegidos con cobertura vegetal y hormigón proyectado

Table 1 - Overall Failure Rates of Vegetated and Shotcreted LPM Cut Slopes

Slope Cover	Total Slopes	Major Failures (%)	Minor Failures (%)	Total Failures (%)
Vegetation	250	1 (0.40%)	12 (4.80%)	13 (5.20%)
Shotcrete	646	2 (0.31%)	6 (0.93%)	8 (1.24%)
Bare	5	0	0	0
Hybrid	214	1 (0.47%)	6 (2.80%)	7 (3.27%)
Unclassified	79	2 (2.53%)	5 (6.33%)	7 (8.86%)
TOTAL	1194	6 (0.4%)	29 (2.3%)	35 (2.8%)
Notes: (1) Failure percentages for bare slopes not considered statistically significant due to small sample size. (2) Failures are those recorded after LPM works completed. (3) “Vegetated slope” = more than 70% vegetated surface, “Shotcreted slope” = more than 70% shotcreted surface.				

Tabla 1

Location	Failure Date	Build Date	Age at Failure	Geology	Slope Height	Backslope Height	Slope as % of Total Slope	Failure Volume	Failure Depth	Soil Nails?	LPM Slope?	Previous Instability?	Rainfall Extremes at Failure	Ref
Route Twisk (a)	6/01	5/00	13 months	CDV	10 m	800 m	1%	2	< 0.5 m	Yes	Yes	No	1 hr 78 mm 24 hr 187 mm	GEO (2002)
Route Twisk (b)		6/00	12 months	Colluvium/CDV	13 m	40 m	25%	3	< 0.5 m	Yes	Yes	No		
Route Twisk (c)				CDV				2	< 0.5 m					
Route Twisk (d)		2/00	16 months	CDG	18 m	600 m	3%	3	< 0.5 m	Yes	Yes	No		
Clearwater Bay Road	7/94	10/92	21 months	CDG	20 m	80 m	20%	500	3 m	No	Yes	No	N/A	N/A
Shing Mun Tunnel Road	7/97	12/89	7 1/2 years	CDG	70 m	270 m	21%	?	Deep	No	No	Yes (deep)	2 hr, 38 yrs 31 days, 34 yrs	GEO (1998a)
Hok Tsuen Road, Sai Kung	7/97	1978	9 years	CDV	17 m	12 m	59%	250	2.4 m	No	No	No	31 days, 40 yrs	GEO (1998b)
Tai Po Road, near Chak On Estate	6/98	12/97	6	CDG	14 m	0	100%	1400	4 m	No	No	Yes	12 hr, 10 yrs 24 hr, 10 yrs	GEO (1999a)
Yue Sun Garden, Wo Mei (a)	6/98	N/A	> 37 years	CDV	15 m	14 m	51%	200	2	No	No	Yes	12 hr, 30 yrs 24 hr, 32 yrs	GEO (1999b)
Yue Sun Garden, Wo Mei (b)								1100	3					
Yue Sun Garden, Wo Mei (c)								50	1					
Tsing Yi Road, Tsing Yi	8/99	1980	19 years	CDG (with dyke)	40 m	30 m	57%	300	2 m	No	No	Yes	48 hr, 50 yrs 4 days, 20 yrs	GEO (2000)

Tabla 2

Se reporta un total de 13 fallos vs un total de 250 pendientes analizadas para el 5,2 %. No obstante en la referencia no se especifica la naturaleza del fallo.

Se especifica que 12 de los 13 fallos se catalogaron como menores. De todas formas, el reporte, aunque contribuye al conocimiento no es realmente conclusivo.

En el caso del hormigón proyectado se reporta el 1,42 % de fallos. En este caso se supone que debían considerar fallos o deslizamientos profundos.

Vetiver



24) Vetiver

- ✓ No tiene estolones, tiene rizomas muy cortos (2-3 mm) y un sistema radicular masivo finamente estructurado que puede crecer muy rápidamente.
- ✓ Posee tallos rígidos y enhiestos, que pueden mantenerse firmes hasta en un flujo de agua relativamente profundo.
- ✓ Forma densas barreras cuando se siembran las plantas en proximidad entre si y constituye un eficaz dispersor de agua, una barrera de desvío y un filtro de sedimentos.

Foto 1. Raíz de Vetiver de 5 años

- ✓ Desarrolla nuevas raíces a partir de nodos cuando está enterrado en sedimentos atrapados.

Es una planta gramínea, originaria de la india, perenne, con vida útil de más de cien años, de rápido crecimiento y muy resistente a propagación de plagas, extremadamente resistente a sequías, anegamiento permanente, a la contaminación y a la salinidad. Soporta altas temperaturas y tolerante a diferentes niveles de PH, no se propaga con semillas, por tanto no se vuelve maleza, y sus raíces pueden llegar a crecer hasta 5 metros de profundidad, lo cual hace que formen un muro de contención al ser sembradas con técnica como contención de golpes de agua protegiendo la capa vegetal en laderas, taludes; y dando estabilidad en obras de infraestructura como caminos, puentes, represas, ríos y canales.



25) Proceso de siembra del vetiver



26) Una vez establecido



27)



28)

(27): Talud en un terraplén (infraestructura ferroviaria en Venezuela) protegido con geotextil y “vetiver”

(28): Solución mixta (pantalla atirantada + protección con vetiver) en un “portal” de un túnel.

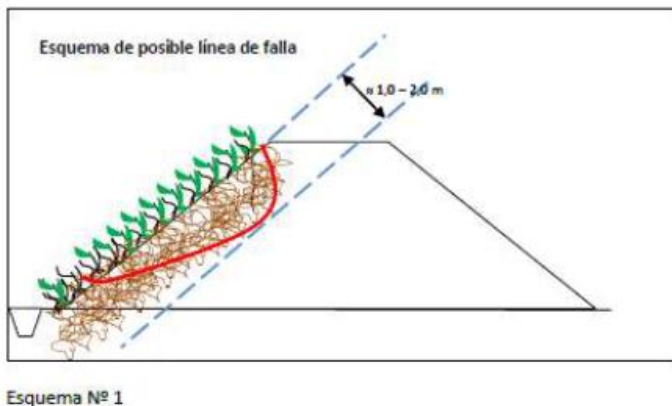


Fig. 12 Esquema de posible línea de falla. Como se aprecia la protección se encuentra limitada a la proyección en la vertical perpendicular al talud, que se estima en 1 – 2 metros. Más allá consideramos que no es posible esperar una protección efectiva. No obstante, se puede esperar buena protección vs. corrimientos superficiales los cuales en

ocasiones resultan el elemento “detonante” que inicia afectaciones profundas mucho más serias.

El vetiver en Cuba

En Cuba esta planta se le conoce como tal (vetiver) y es ampliamente utilizada en proyectos de “Conservación y Protección de Suelos” con excelentes resultados.

Recomendaciones para su siembra y mantenimiento.

Siembra: Se recomienda su siembra en curvas de nivel (con una equidistancia entre 0,50 y 1,00 m en dependencia de la pendiente) y espaciadas cada 0,50 m. Aunque resiste todo tipo de suelo se aconseja el riego y la fertilización a base de compuestos nitrogenados partiendo de la base de que es una gramínea.

Riesgos

Posible introducción de una especie exótica.

La planta ya existe en nuestro país y es utilizada ampliamente en la protección de cuencas hidrográficas y conservación de suelos.

Posible contaminación de áreas vecinas

Evidentemente, por su rusticidad y resistencia se le pudiera catalogar a los efectos agrícolas como de “de alta rusticidad” por lo que, aunque su reproducción NO es por semillas sino a través de sus tallos que enraízan una vez que son cubiertos por sedimentos, lo que trae como consecuencia su fácil control, es conveniente profundizar en el tema con los organismos especializados (Por ejemplo con CITMA. Estación de Pastos y Forrajes “Indio Hatuey” en Matanzas, Cuba)

Difícil mantenimiento.

Acudiendo al Sistema Presupuestario Uniforme de la Construcción de Cuba (SPUC) se estima que se deben invertir por cada m² de plantación 0,0254 horas – hombre, estimando un cumplimiento de las normas del 75 %. Si se estima que se deben podar dos veces al año daría como resultado 0,051 horas – hombre al año por cada m², lo que implicaría alrededor de 10 centavos al año como costo de salario directo por cada m², según los salarios actuales.

Aunque aparentemente el mantenimiento de este sistema de protección es sumamente rentable, es necesario profundizar en esta actividad ya que concurren en la misma otros factores igualmente importantes como es la disponibilidad de los operarios por las condiciones nómadas del trabajo, rusticidad, etc.

Conclusiones

- A. El presente trabajo es una primera aproximación a una solución de protección de taludes artificiales y laderas naturales que puede interactuar con otros sistemas y métodos de protección y ofrece muy buenas perspectivas de utilización y generalización.
- B. La introducción de este método puede influir positivamente en el mantenimiento, seguridad y durabilidad y por lo tanto en la confiabilidad de nuestras vías en sentido general a muy bajo costo.
- C. Es evidente que resulta importante incrementar “la cultura” de esta tecnología, ampliamente utilizada en varios países y continentes con buenos resultados (incluso en nuestro propio país en el caso de la protección de suelos)

Bibliografía.

Ven Te Chow. 2004. Hidráulica de Canales Abiertos.

Diti Hengchaovanich. 2008. Vetiver System for Slope Stabilization Reviewer. APT Consult Co., Ltd, Bangkok, Thailand

Preparado por Carmen González Toro, Carmen. 2006. Especialista en Ambiente. Recinto Universitario de Mayagüez. Puerto Rico. Colegio de Ciencias Agrícolas

N.C. Evans & J.S. Lam. 2011. Soil Moisture Conditions in Vegetated Cut Slopes and Possible Implications for Stability. Geo Report No. 140.

Autor: José Aldemar, García Rojas, Daza Jiménez, Claudio Rubén (Área de Investigación y Desarrollo), BIOMACOL & CONSULTORES S.A.S. Tolima, Colombia

MSc. Ibis Villasuso. 2010. CITMA. Consulta sobre la utilización del vetiver en Protección de Cuencas en Cuba. Matanzas, Cuba.
