

CONTROL DE EROSION Y SEDIMENTOS CON SISTEMAS VETIVER EN MARGEN DE RIO, TALUDES, CARCAVAS Y MINERIA EN VENEZUELA.

R. Luque.

Vetiver Antierosión, C. A: Av. Circunvalación N° 129 Piñonal Maracay ZP: 2103 Venezuela
vetiver_vzla@yahoo.com

J G. Luque.

Vetiver Antierosión, C. A: Av. Circunvalación N° 129 Piñonal Maracay ZP: 2103 Venezuela
goyoluque@gmail.com

Palabras claves: Bioingeniería Vetiver, Estabilización de taludes, Control de erosión, Cárcavas

1- RESUMEN

Este documento presenta una recopilación de diversas situaciones abordadas en Venezuela por **Vetiver Antierosión, C.A.**, en 12 años dedicados al control de la erosión y la estabilización de suelos mediante el uso del vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) y la aplicación de la tecnología a él asociada en el diseño de las soluciones implementadas en sus proyectos.

En principio se efectúa, a manera introductoria, una breve reseña de las propiedades y características que hacen del vetiver, mediante la correcta aplicación de la tecnología denominada Sistemas Vetiver (SV), una valiosa herramienta para el control de los procesos erosivos del suelo y con ello, la mitigación de daños que ocasionan eventos atmosféricos excepcionales.

Más adelante se muestra como se logró detener y revertir procesos de erosión al margen de un río torrentoso para proteger una torre de transmisión eléctrica; así como estabilizar los taludes de las vías de acceso a dos puentes que cruzan ríos llaneros. Estas experiencias se consideran complementarias, en razón al disímil comportamiento de estos ríos ante las precipitaciones; pues mientras en uno las lluvias generan vertiginosas y breves variaciones de caudal, en los otros motivan un lento crecimiento y prolongados períodos de inundación de los predios cercanos.

Se expone también la recuperación ambiental efectuada en una mina de bauxita, mineral que es extraído a cielo abierto dejando vastas zonas desprovistas de vegetación y expuestas a la erosión hídrica del suelo y al arrastre de sedimentos. A través de este programa se efectuó la consolidación de taludes, cárcavas, diques y una falla de borde en la vialidad. Tras la implantación del vetiver se controlaron los procesos erosivos y disminuyó significativamente el aporte de sedimentos a los cursos de agua cercanos a la mina y en consecuencia la contaminación de los mismos. El vetiver ha funcionado además como planta pionera en el proceso de recuperación del bosque original.

Consecutivamente se presenta la estabilización de una gran cárcava formada en las inmediaciones de los manantiales de una empresa de agua mineral. Las precarias obras de drenaje de una vialidad rural, la constitución del suelo y la reciedumbre de las lluvias promovieron procesos erosivos que en apenas 3 años de monitoreo socavaron 4,4 m en el punto de descarga de las aguas de la vía, generando una cárcava de grandes dimensiones. La verticalidad de los taludes y la constitución física y química del suelo representaron un reto particular para la siembra y establecimiento de las plantas. En el diseño de la solución se incorporó un sistema de drenaje subterráneo con tanquillas receptoras y de disipación de energía. La propuesta fue seleccionada por ser mucho más económica y requerir menos tiempo de ejecución que las alternativas tradicionales.

Finalmente se muestra como se abordó el control de erosión y la estabilización de taludes en un lote de terrazas de un complejo industrial, seriamente afectados por procesos erosivos.

2- INTRODUCCIÓN

El vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) es una gramínea perenne de follaje prominente y raíces profundas. Su semilla no es fértil, esta planta asexual sólo se reproduce por esquejes; por lo que no es invasiva ni se convierte en maleza. El vetiver crece en condiciones adversas que pocas plantas pueden resistir. Sobrevive a la quema y puede permanecer inundado por más de 6 meses (Luque et al, 2006). Tolera temperaturas de -15 a 55 °C, suelos con valores extremos de pH y la presencia de metales pesados como cobre, plomo, zinc, mercurio y cadmio entre otros (Truong, P, 1999). Por ser una planta heliófita, la sombra limita su desarrollo.

Las características excepcionales de esta planta la convierten en una extraordinaria alternativa para estabilizar suelos y controlar la erosión. Instituciones como el Banco Mundial, y la Academia de Ciencias de Los Estados Unidos y el Reino de Tailandia han promovido el uso del vetiver como barrera contra la erosión. Desde 1994 la Red Internacional del Vetiver (TVNI, por sus siglas en inglés, www.vetiver.org), una organización no gubernamental sin fines de lucro, ha promovido y difundido el uso del Sistema Vetiver (SV) alrededor del planeta, como una tecnología ecológica que resulta particularmente eficiente en el cuidado y la recuperación del suelo y el agua.

El vetiver desarrolla un sistema radicular masivo y profundo que crece verticalmente y llega a alcanzar 3 m de profundidad en el primer año, lo que favorece la infiltración de agua al suelo. La masa radicular de esta planta refuerza la estructura del suelo, al aumentar la resistencia al corte de éste a valores que van de 6 a 10 KPa/Kg de raíz/m³ (D. Hengchaovanich et al, 1998, op.cit.). Sus raíces poseen en promedio una resistencia a la fuerza de tracción de 75 Mpa (Hengchaovanich, D et al, 1988) y contienen aceites esenciales ampliamente usados en perfumería, cosmetología, aromaterapia y en el control de plagas.

El follaje del vetiver (figura 1) se despliega erecto y fuerte. Una planta adulta alcanza alturas que van de 0,5 a 2 m y diámetros que oscilan entre 0,3 y 0,6 m; según las características del suelo, las condiciones climáticas del sitio y el tratamiento dado durante la siembra. Su follaje es tan denso que cuando se siembra adecuadamente es capaz de retener flujos de agua de 80 cm y disminuir su velocidad casi a cero (Metcalfé, O et al, op.cit.); por lo cual además de reducir la velocidad de escorrentía, atrapa los sedimentos y los acumula en terrazas.

El uso de la metodología y las técnicas de Bioingeniería vinculadas al Sistema Vetiver (SV) es un factor vital de éxito. En la aplicación de esta planta se deben respetar las curvas de nivel y definir la separación entre barreras de acuerdo al Intervalo Vertical (IV) apropiado; el cual se establece según las características del suelo, el régimen pluviométrico de la zona y la inclinación del talud, entre otros.

El vetiver es una planta de tipo C4, su anatomía foliar le permite incrementar la captura de CO₂ atmosférico, lograr altas tasas fotosintéticas y una alta eficiencia en el uso del agua. Actualmente se investiga el potencial de su follaje, tradicionalmente empleado para techar viviendas y elaborar artesanías, en la producción de biomasa y la elaboración de biocombustibles.

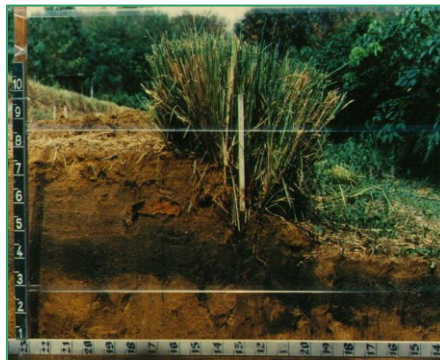


Figura 1.- Terraza Formada por una Barrera de Vetiver (Foto cortesía de TVNI)

3.- ESTABILIZACIÓN EN MARGEN DE RÍO (2.001)

La erosión que ocasiona el impacto de las aguas de los ríos sobre sus orillas, puede llegar a poner en riesgo las obras cercanas a sus márgenes. Este fue el caso de la Torre 265 de la línea 230KV La Arenosa - Cabudare, perteneciente a la empresa CADAPE. Esta torre está ubicada a orillas del río Turbio, en las inmediaciones de la población de Yaritagua, en el Estado Yaracuy y se encuentra situada junto a un meandro del río.

El suelo de la zona es típico de la posición geomorfológica conocida como albardón de orilla o banco, clasificado de acuerdo al Soil Taxonomy USDA (1975) como un Fluvent, de textura superficial franca y es altamente susceptible a la erosión hídrica.

El río Turbio es de origen montañoso, por lo que presenta frecuentes cambios de nivel y de caudal que generan desprendimientos del suelo de sus orillas. Su caudal promedio es de $0,4 \text{ m}^3/\text{s}$ en la época de verano y de $2 \text{ a } 3 \text{ m}^3/\text{s}$ en época de lluvias, con una tirante en la zona involucrada de 2,50 m. El proceso erosivo observado en él comienza con el socavamiento del talud a nivel de las aguas. Paulatinamente la fricción de las aguas va creando una zanja en la base del barranco que deja importantes masas de tierra sin sustento alguno; éstos, por su propio peso, se desprenden en grandes bloques cuando el río aumenta su caudal. En el caso en estudio esta situación reducía periódicamente la distancia entre el río y la estructura. La operadora eléctrica evaluó la posibilidad de reubicar la torre por el riesgo latente de su caída. Ante este problema propusimos estabilizar el margen del río aplicando el Sistema Vetiver (SV), y fue aceptado.

Dada la verticalidad del barranco del río, el caso se abordó formando terrazas y estableciendo en ellas barreras de vetiver. El terraceo del barranco perseguía acortar la distancia entre la base de las plantas y el nivel del río a objeto que las raíces amarraran al suelo en el área donde surgía el problema. Esto buscaba también que follaje amortiguara el impacto del río sobre las paredes de todas las terrazas.

El SV fue instaurado en febrero del 2001, en plena época seca. A dos meses de sembrar las plantas se presentó una fuerte lluvia en la zona que provocó un abrupto crecimiento del río. El vetiver resistió sin problemas el embate de las aguas; sólo un pequeño porcentaje de plantas fue arrastrado, particularmente las que se encontraban junto a una quebrada que desemboca en el río al inicio de la zona intervenida.

A seis meses de la siembra, el vetiver tenía en promedio 1,5 m de altura y las raíces habían estabilizado el terreno. En diciembre, a 10 meses post-siembra, ocurrió una de las más fuertes crecidas durante años que desbordó el cauce del río en toda su trayectoria y originó serios daños en su ribera. Al retirarse las aguas se observó que la creciente no sólo no había afectado la zona protegida, sino que había aportado una cantidad considerable de sedimentos, dejando en su lecho un banco de arena de 3 m de ancho por 20 m de largo en la zona que otrora erosionaba y, que a futuro modificaría la dinámica del río en ese sector.



Figura 2.- Acumulación de Sedimentos en la orilla que antes erosionaba
Río Turbio, cerca de Yaritagua, Edo. Yaracuy.

4.- CONTROL DE EROSIÓN Y SEDIMENTOS EN MINA (2.003 / 2.007)

Al sur del río Orinoco se encuentra la formación geológica más antigua del planeta, el Macizo Guayanés. En Los Pijiguaos, locación del Edo. Bolívar ubicada en la Selva Amazónica, se encuentra un yacimiento de Bauxita que es explotado bajo la modalidad de cielo abierto. Las grandes áreas de suelo que quedan al descubierto con este sistema de extracción de minerales lo exponen a severos procesos erosivos que arrastran grandes volúmenes de sedimentos a los cuerpos de agua; con la subsecuente contaminación de estos. CVG BAUXILUM, la empresa explotadora de la mina, construye vialidades en el área con sus taludes o cortes, y sus drenajes. Como parte de su política ambiental, construye además lagunas para atrapar sedimentos. La acción de las lluvias (entre 2.400 y 2.900 mm/año) erosiona esas obras; por lo que eventualmente se forman de cárcavas de dimensiones importantes.

En aras de mitigar el impacto ambiental ocasionado por los trabajos de minería, se implementó el uso del SV como parte del programa de recuperación ambiental. Simultáneamente el vetiver fue empleado para afrontar la responsabilidad social de la empresa con los pobladores de la zona. Aprovechando otras bondades de la planta, se dictaron talleres de capacitación para la formación de artesanos en catorce (14) comunidades criollas e indígenas aledañas a la mina.

A continuación comentaremos como con la aplicación de esta tecnología se logró:

1. Estabilizar taludes y cárcavas de diversas pendientes y estados de erosión
2. Promover la formación del bosque original en zonas donde se perseguía dicho propósito
3. Reparar y detener una falla de borde en la vialidad que conduce a la mina
4. Fortalecer diques de lagunas y optimizar su respuesta ante sobrevertidos (*overtoppings*)
5. Detener la formación de cárcavas en cunetas de drenaje abiertas en el suelo
6. Filtrar sedimentos contenidos en las aguas de escorrentía
7. Estabilizar la interfaz suelo-cemento en brocales, cunetas y torrenteras
8. Capacitar artesanos en el uso de las hojas de vetiver provenientes de las podas

4.1.- Taludes y Cárcavas: 8.600 m sembrados

Mediante la siembra de vetiver en curvas de nivel, se conformaron barreras que estabilizaron taludes de corte con pendientes que van desde los 30° hasta los 80° de inclinación. Las imágenes muestran un talud de pendientes múltiples estabilizado en el 2.004, antes y el después de la aplicación del SV. Además de controlar la erosión, la siembra del vetiver tuvo aquí como propósito propiciar la recuperación del bosque originario. A la fecha se observa se han propagado en el talud unas 12 especies diferentes sin participación antrópica. A medida que el bosque reaparece la sombra de las nuevas plantas limita el crecimiento del vetiver, en razón de lo cual este desaparece progresivamente para dar paso a la flora silvestre. La estabilización del sitio es total tras 7 años de la intervención.



Figura 4.- Talud antes del tratamiento con vetiver (Oct 2.003)



Figura 5 Talud ya estabilizado con vetiver (Jun 2.004)

De manera análoga se sembró vetiver para estabilizar cárcavas de variadas pendientes que en ocasiones se aproximaban a la verticalidad total. En dichos casos la siembra se efectuó aplicando técnicas de rappel y medidas de seguridad cónsonas con los riesgos asociados. Los objetivos buscados y alcanzados son similares a los descritos para el caso de los taludes.

4.2- Falla de Borde en Vialidad: 700 m sembrados

En el Km 4 de la vialidad que conduce a la mina ocurrió un deslave causado por la acumulación de aguas. El punto de falla estaba ubicado al borde de la vía y el potencial incremento de su área por la acción de las lluvias representaba un importante riesgo para la operadora de la mina, por ser esta la única vía de acceso al área de explotación del mineral.

Esta situación se atendió en Abril del 2.004 mediante terrazas escalonadas. Para su construcción se levantaron paredes de saco-creto con una altura de 1 m, con una longitud promedio de 3 m. Las fosas fueron rellenas con arcilla y compactadas. Posteriormente se sembró vetiver en la base y en la cima de cada terraza a objeto de anclarlas y reforzar todo el conjunto de la estructura.

Luego de seis años todo el sistema permanece estable y la carretera carece de grietas en la zona aledaña al sitio reparado.

4.3.- Lagunas de Sedimentación: 23.000 m sembrados

A objeto de minimizar el arrastre de sedimentos a los cuerpos de agua, la empresa operadora de la mina construye lagunas para captar las turbias aguas de escorrentía. Los sedimentos transportados por las aguas se depositan en su fondo, éstas se evaporan o infiltran y los sedimentos captados son extraídos anualmente, durante la época de verano.

La alta pluviosidad de la región hace que las aguas rebasen con frecuencia la capacidad del vaso de las lagunas, por lo que estas se derraman (*overtoppings*). Estos eventos erosionan los diques y, en ocasiones, motivan la falla de su estructura y el agua contenida en las lagunas se libera formando grandes cárcavas a su paso y trasladando sedimentos contaminantes hacia los cuerpos de agua.

El diseño elaborado contempló la siembra del vetiver en ambas caras del dique, con curvas de nivel bien trazadas a un IV que osciló entre 0,5 y 0,85 m.

El éxito obtenido con la aplicación del SV en las lagunas, llevo a la empresa operadora a implementar como norma el uso del vetiver para la protección de las nuevas lagunas.



Figura 6.- Laguna de sedimentación antes de ser sembrada



Figura 7.- Laguna protegida con vetiver (Jun 2.005)

4.4.- Filtro de sedimentos (4.800 m sembrados)

Las lagunas referidas en la sección anterior son alimentadas a través por cunetas que recolectan y canalizan, a suelo desnudo, las aguas que lavan el suelo de la mina. A causa de la velocidad de

escorrentía, las cunetas evolucionaban hacia surcos grandes y posteriormente a cárcavas que en ocasiones conllevaban a la reubicación de la vía afectada.

Tras la siembra de vetiver y la posterior formación de las barreras el proceso erosivo se revirtió. Las cunetas intervenidas con el SV ahora se rellenan con los sedimentos atrapados y periódicamente se efectúa un mantenimiento retirándolos empleando con un mini shower.

4.5.- Interfaz suelo-concreto (600 m sembrados)

En el área de la mina existen algunas cunetas de concreto instaladas en vías de tierra, vías pavimentadas que cuentan con cunetas y brocales de concreto y algunas torrenteras. La erosión que se origina en el interfaz suelo-concreto es un viejo problema de ingeniería, originado por los diferentes grados de resistencia de ambos materiales. En ocasiones el agua que corre por la interfaz socava el suelo sobre el que se asienta el concreto de las estructuras y ello conduce al colapso de las mismas. Como parte del programa desarrollado en la mina, se sembró vetiver en la interfaz de las estructuras señaladas para prevenir la erosión. A la fecha en ninguno de los sitios tratados bajo esta modalidad se han presentado problemas de erosión.

4.6.- Formación de artesanos:

El vetiver produce una biomasa de follaje importante, una vez que la planta llega a su adultez (de 6 meses a 1 año). Es capaz de crecer a razón de tres centímetros diarios luego de ser podado. Por su parte la textura y rigidez de las hojas la hacen aptas para otros usos, entre ellos, la elaboración de artesanías de fina presentación y buena calidad.

Como parte del compromiso social, la operadora promovió la capacitación de 50 personas provenientes de 14 comunidades aledañas, conformadas por pobladores criollos e indígenas de 6 etnias, en la elaboración de piezas decorativas y/o utilitarias a partir de las hojas de la planta. El programa contempló además de lo referente al vetiver, cursos de agricultura familiar, talleres de autoestima, control de calidad, y mercadeo del producto elaborado a fin de integrar a los participantes en la autogestión. También contempló el suministro de plantas de vetiver para que cada participante la propagara en los patios de sus casas a modo de hacer la actividad autosustentable.

Hoy en día, los artesanos que se han dedicado a esa actividad, han hecho de ella un medio de vida que ha mejorado su nivel socioeconómico.

5.- PROTECCIÓN DE TALUDES EN PUENTES (2.007 / 2.008)

La vialidad que comunica al estado Apure con Amazonas atraviesa los ríos Capanaparo y Cinaruco, tributarios del Orinoco. Los puentes construidos para su cruce presentaban erosión en fases 2 (surcos) y 3 (cárcavas) en sus estribos y accesos.

5.1.- Río Capanaparo. (2.007)

Tras la construcción del terraplén asentado a ambos márgenes del río Capanaparo, sus taludes quedaron expuestos a dos temporadas de lluvias (1500 mm/año). A causa de ello sufrieron procesos erosivos que devinieron en la formación de abundantes surcos y cárcavas (figura 3). A objeto de controlar esos eventos y consolidar la estabilidad de los taludes de la vía de acceso al puente, se aplicó la Bioingeniería del Sistema Vetiver (SV).

Los trabajos se iniciaron al comienzo del ciclo de verano vertiendo sobre los surcos y cárcavas arcilla sin compactar y sembrando esquejes múltiples de vetiver en curvas de nivel a un IV de 0,85 m. Se obvió la compactación de las áreas afectadas, por considerar que la masa radicular de las plantas aportaría un volumen importante de fibras que amarraría al suelo y fortalecería su estructura. El diseño de la solución con SV consideró además la sustitución de la cuneta corona por una barrera de vetiver; por lo que el drenaje de la vialidad se hizo a través del sistema de barreras implementado.

El fuerte verano de la zona afectó el crecimiento inicial de las plantas y la formación de las barreras. Ante la escasez del pasto silvestre durante la temporada seca, diversas especies de ganado pastaron en el vetiver; al que hubo que irrigar durante el período seco; pese a ello el vetiver sobrevivió.

En el mes de mayo, tras la llegada de las primeras lluvias, el crecimiento del follaje de las plantas dio inicio al cierre de las barreras. Se constató además la aparición de abundantes raíces, con la consecuente formación de una malla permanente. El vetiver sin embargo no presentaba el desarrollo esperado para entonces, a causa del verano y los animales que pastaron; por esta causa, al arribo de las lluvias, reaparecieron algunas cárcavas en los sitios más críticos debido al poco desarrollo de las barreras. Éstas fueron reparadas colocando barreras temporales al agua y resembrando vetiver en las áreas afectadas.

En inspección realizada en el mes de junio, pudimos observar que la conjunción de las lluvias y la fertilización realizada el mes anterior había promovido el rápido desarrollo de las barreras. Verificamos además la consolidación de las reparaciones y la adaptación de las plantas recién sembradas (figura 4).

A comienzos de agosto, mes en que las lluvias son más fuertes en la región, los taludes del terraplén carecían de surcos y cárcavas; el Sistema Vetiver ya los había estabilizado.



Figura 3.- Talud Sur del Puente Capanaparo antes de la siembra (Diciembre 2007)



Figura 4.- mismo talud estabilizado con Vetiver (Junio 2008)

5.2.- Río Cinaruco (2.008)

El sistema constructivo empleado en los puentes del Capanaparo y el Cinaruco es de tablero lanzado, en el cual el tablero del puente es armado sobre el terraplén de acceso en uno de los márgenes, para su posterior lanzamiento.

Mientras que los trabajos del SV en Capanaparo se ejecutaron luego de que el puente estaba basado sobre sus fundaciones, el del río Cinaruco estaba ensamblado sobre el terraplén. A fin de evadir la ocurrencia de eventos similares al de los taludes del Capanaparo, que generó costos extras por el riego durante el verano; se decidió realizar los trabajos del Sistema Vetiver durante el ciclo de lluvias.

La primera se inició, estando el terraplén de acceso a una cota inferior a la de diseño (-3 m en los estribos). La segunda etapa se realizó seis meses después, tras el lanzamiento del tablero y la elevación del terraplén a su cota definitiva. Al momento de acometer esta etapa, las barreras de vetiver habían crecido suficientemente y estabilizado la porción de los taludes sembrada en la primera etapa.

A pesar del volumen del material rodado durante la elevación del terraplén, las barreras de vetiver sembradas inicialmente en los taludes no resultaron afectadas; pues el follaje de las plantas retuvo sedimentos, incluyendo rocas; permaneció erguido y no llegó a ser tapiado.

6.- ESTABILIZACIÓN DE CÁRCAVA PROFUNDA (2.009 / 2.010)

En una ladera adyacente a una vialidad rural del Estado Miranda, en terrenos cercanos a los manantiales de una empresa embotelladora de agua mineral, se encuentra una gran cárcava cuya alta tasa de erosión atacaba severamente al suelo, conllevando a la pérdida progresiva del mismo y poniendo en riesgo a la propia vialidad.



Figura 8.- Vista derecha de la Cárcava (Enero 2.009)



Figura 9.- Vista izquierda de la cárcava (Enero 2.009)*

Las precarias obras de drenaje de la vía, reconducen hacia el punto en que estas son vertidas sobre la ladera grandes volúmenes de agua. El agua reconducida, la constitución del suelo y la reciedumbre de las lluvias iniciaron procesos de erosión que, en 3 años de registro, llevaron la profundidad del punto de descarga de 5,8 a 10,2 m. Esto motivó la formación de una cárcava de grandes dimensiones.

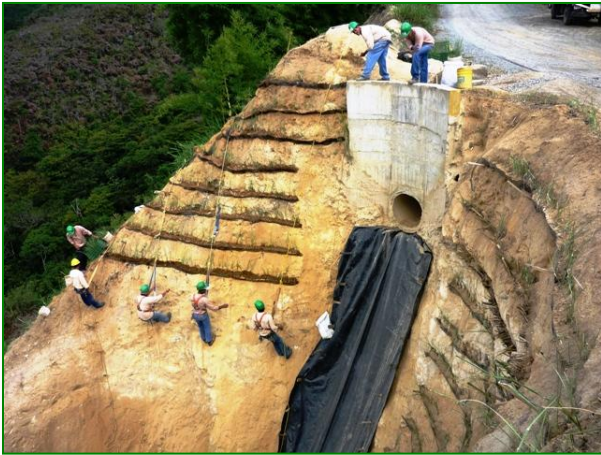
Para la aplicación del SV se empleó un IV de 0,65 m. El diseño adoptado conjugó el uso del SV con la instalación de un sistema temporal de drenaje subterráneo, que incluyó una tanquilla receptora de las aguas de escorrentía y dos tanquillas de disipación de energía, interconectadas entre sí por una batería de mangueras. En la ingeniería concebida para atender este caso se consideró al drenaje subterráneo como un sistema temporal, por considerar que una vez el SV se consolidara, las aguas vertidas sobre la cárcava podrán fluir en su totalidad por su superficie; de modo que una eventual obstrucción del drenaje no afectará la zona tratada.

Inicialmente se proyectó la instalación de una pantalla difusora en la losa del canal de descarga del drenaje; pero un movimiento sísmico provocó el colapso de dicha losa, por lo que la pantalla fue sustituida por un canal de hierro galvanizado y corrugado tipo alcantarilla abierto.

El suelo de la zona en la que se localiza la cárcava es franco-arenoso, altamente erodable. Los análisis efectuados a las muestras determinaron que físicamente lo conforma un 65 % de arena, 29 % de limo y 6 % de arcilla; en cuanto a la composición química, su valor de pH es de 5.5, por lo que el suelo se considera moderadamente ácido y los valores de sus macronutrientes primarios son Nitrógeno: 0,02% Fósforo: 7 ppm, Potasio: 45 ppm

Dada la constitución geológica, la composición físico-química del suelo y la verticalidad del talud; el diseño contempló la instalación de fajinas de malla plástica, a objeto de sostener el sustrato empleado para incorporar nutrientes al suelo (estiércol de caballeriza mezclado con aserrín).

Los trabajos realizados para estabilizar la cárcava y conducir las aguas consistieron en reperfilear a mano los taludes de fuertes pendientes, instalar un sistema de drenaje subterráneo y sembrar el vetiver en curvas de nivel bien trazadas. Para la ejecución de la primera y la última de las actividades señaladas, fue necesario el uso de equipos y técnicas de rappel (Figuras 10 y 11).



Figuras 10.- Trabajadores en faenas de siembra (Oct 2.009)



Figura 11.- Un talud terminado y el otro en proceso (Oct 2.009)

Esta obra fue ejecutada a finales del 2009, por lo que las plantas atravesaron su período de adaptación en plena temporada seca del año 2010. Durante dicho período, el bajo nivel de los embalses y la presencia del fenómeno de *el niño* motivaron los mayores racionamientos de agua y electricidad que ha enfrentado el país en las últimas décadas; por lo que la frecuencia de los riegos fue significativamente inferior a la prevista. En razón de ello, además de las enmiendas químicas de rigor se aplicaron hormonas y esteroides para promover el crecimiento de las plantas.

A pesar del escaso desarrollo que presentaban las plantas al inicio de las lluvias, en buena parte de las líneas de siembra se iniciaba para entonces la formación de barreras; no obstante la alta tasa de mortalidad triplicó los requerimientos de plantas al efectuar resiembras por mantenimiento.

En inspección realizada ocho meses después de culminar la siembra, se constató la total adaptación de las plantas y el inicio de la estabilización de una cárcava que, conforme a los registros efectuados antes de la implantación del SV, podría haber añadido 1 m de profundidad en el punto de descarga de las aguas de escorrentía para el momento de la presentación del presente trabajo de no haberse tomado acciones correctivas y cuya estabilización mediante la aplicación de la Bioingeniería asociada al SV, tuvo un costo muy inferior al de las alternativas tradicionales y se mantiene en armonía con el medio ambiente.



Figuras 12 y 13.- Cárcava en vías de estabilización, vistas izquierda y derecha (May 2.010)



Figuras 14 y 15.- Cárcava completamente estabilizada, vistas izquierda y derecha (Dic 2.010)

7.- ESTABILIZACION Y CONTROL DE EROSION EN TERRAZAS (2.010/2.011)

En Jurisdicción de Caicara del Orinoco, Edo Bolívar, EPS SERLACA erige un complejo industrial en 83 Has para laminar grandes volúmenes del aluminio primario producido en Guayana. La infraestructura se levanta sobre una serie de terrazas de relleno con un diseño carente de drenaje de aguas de escorrentía en una región con precipitaciones de 1.600 mm/año. Esto incidió sobre los taludes de las terrazas generando procesos erosivos grados 2 y 3, con grandes pérdidas de suelo en algunas terrazas. La constructora inició la corrección del problema colocando losas de concreto con piedras, que finalmente abortó por el alto costo y largo período de ejecución; posteriormente optó por el SV.

Nuestra inspección a los daños determinó un problema similar al de los puentes Capanaparo y Cinaruco antes descritos, por lo que formulamos un propuesta similar; es decir, rellenar los taludes, sin realizar compactación; ello no fue aceptado, pese a los resultados obtenidos en aquella ocasión; con lo que el proyecto asumió un costo adicional por el reperfilado y compactación a máquina de los taludes.

Una innovación en nuestra ejecución de la obra fue instalar un vivero en el sitio para propagar más de 105.000 plantas en un corto tiempo (3 meses), dado que los trabajos se iniciaron a mediados de Septiembre (finales del ciclo de lluvias) y era perentorio el arraigo de las plantas durante ese período, a objeto de minimizar los riegos post-siembra, y con ellos su incidencia en el costo del proyecto.

La ejecución de la obra como tal no requirió de mayores aplicaciones técnicas, pero si de una coordinación logística bien supervisada dado lo distante de nuestra base (600 Kms) y la magnitud y corto plazo para su realización. La referencia de este trabajo propende a que los usuarios del SV puedan comparar ambos resultados (puentes Vs terrazas) y tomen sus propias decisiones.



Figura 16.- Talud de una terraza afectada por la erosión (Ago 2.010)



Figura 17 Terrazas y drenajes, luego de aplicado el SV (May 2.011)

8.- CONCLUSIONES

La respuesta positiva al amplio rango de problemas abordados por Vetiver Antierosión durante sus 12 años en la aplicación de la Bioingeniería asociada al Sistema Vetiver, reafirma las bondades del vetiver y de la tecnología a él asociada para resolver los problemas de erosión; aun cuando la magnitud de las situaciones a atender han representado un verdadero desafío.

Es importante destacar que en la Bioingeniería asociada a la planta se conjugan prácticas, leyes y convenciones de la ingeniería civil, de la ingeniería agronómica y de las ciencias biológicas y que de su adecuada aplicación depende su éxito.

Extrapolar al vetiver tecnologías aplicadas para otros pastos dará resultados diferentes a los esperados por cuanto, como ya dijimos, el vetiver no se propaga por semillas ni estolones y en consecuencia él no llega a crecer más allá de una macolla frondosa y mucho menos a cubrir toda el área intervenida. El vetiver, empleado con un buen diseño, puede ser útil tanto para captar aguas en las cuencas y nutrir los acuíferos o para secar lodazales; de allí la importancia del buen manejo de esta tecnología.

Los resultados en este campo serán acordes a la adecuada aplicación de la tecnología asociada a la planta, por cuanto cada diseño debe buscar soluciones acordes a la situación a enfrentar y al cumplimiento de criterios y leyes biológicas y de ingeniería

El vetiver ha demostrado ser una alternativa ecológica eficiente en el control de los procesos erosivos que estabiliza el suelo y captura los sedimentos arrojados por dichos procesos.

9.- REFERENCIAS

Hengchaovanich, D. and Nilaweera, N S (1998). An assessment of strength properties of Vetiver grass roots in relation to slope stabilization, Proc. First Int. Conf. on Vetiver, Chiang Rai, Thailand, pp 153-158.

Luque, O et al, (2.006) Experiencias de supervivencia del vetiver en condiciones de inundación en la finca Carmen Teresa, Venezuela. 4ta. Conferencia Internacional sobre Vetiver (ICV-4). Caracas, Venezuela

Luque, R. et al, (2.006) Experiencias en protección ambiental en la mina de bauxita Los Pijiguaos, Venezuela. 4ta. Conferencia Internacional sobre Vetiver (ICV-4). Caracas, Venezuela

Metcalf, O et al : Hidraulics characteristics of Vetiver hedges in deeps flows

Tangtumnyom, N et al: A Test Of Planting Vetiver Grass At Different Vertical Intervals Of Soil And Water Conservation On Sloping Land.

Truong, Paul: Curso Corto sobre Tecnología del Pasto Vetiver; Conferencia y Exhibición Asia-Pacífico sobre Bioingeniería de la Tierra y el Agua, abril 1999.

10.- EL AUTOR

Rafael Luque es Presidente fundador de Vetiver Antierosión, C.A. Trabajó durante treinta años en construcción de líneas y sub-estaciones de alto voltaje; allí aprendió técnicas que luego extrapola al Sistema Vetiver. Bajo la asesoría de dos hermanos, expertos en edafología y geotecnia se hace autodidacta en Bioingeniería Vetiver.

TVNI le otorgó el certificado de *Excelencia Técnica en Bioingeniería Vetiver* por su trabajo en la mina de bauxita. Dirigió personalmente los proyectos y construcción de las obras referidas en esta publicación. Conferencista en diversas instituciones, universidades y congresos sobre vetiver a nivel nacional e internacional. Es asesor en Bioingeniería Vetiver.