

Este manual está dedicado a la memoria de

Diti Hengchaovanich

Ingeniero Geotécnico

de

Tailandia.

El fue pionero en el uso de vetiver a gran escala para la estabilización de autopistas y por muchos años un muy valioso contribuyente a The Vetiver Network International. Diti será recordado por muchos con gratitud.



*2^{da} Edición 2008
(color)*

Publicado por The Vetiver Network International

Carátula de Lily Grimshaw

APLICACIONES DEL SISTEMA VETIVER

MANUAL TÉCNICO DE REFERENCIA

PREFACIO

Pocas de las plantas existentes poseen los atributos únicos del pasto vetiver tales como: sus múltiples usos, ser ambientalmente amigable, y ser de uso fácil y efectivo. Igualmente, pocas de las plantas existentes que se conocen y que han sido utilizadas por siglos, han tenido tanta promoción como el pasto vetiver, y en consecuencia esta planta ha sido utilizada ampliamente en todo el mundo en los últimos 20 años. Y mucho menos han sido consideradas como “Pasto Milagroso”, “Pasto Maravilloso” capaz de crear una pared viva, una franja de filtración viva y un “pilote viviente” de refuerzo.

Se denomina Sistema Vetiver (SV) el uso de una planta tropical muy particular, el pasto vetiver recientemente reclasificado como *Chrysopogon zizanioides*, antes *Vetiveria zizanioides*. Esta planta puede desarrollarse en un amplio rango de condiciones climáticas, y si se siembra correctamente puede ser usada virtualmente en cualquier sitio de clima tropical, subtropical o mediterráneo. Posee características que en su totalidad son únicas para una especie particular. Cuando se siembra en forma de barreras estrechas autosostenibles exhibe características especiales que son intrínsecas a muchas de las diferentes aplicaciones que comprende el Sistema Vetiver.

La especie *Chrysopogon zizanioides*, que es promovida en cerca de 100 países para aplicaciones del SV, es originaria del sur de la India, es estéril, no invasora y tiene que ser propagada por divisiones de la macolla. El método preferido para la multiplicación de plantas en viveros es a raíz desnuda. La tasa de multiplicación promedio puede variar, pero en un vivero, es alrededor de 1:30 en tres meses. Las macollas de plantas madres se dividen en semilla vegetativa de 3 brotes cada una, y se siembran a 15 cm de distancia en hileras en contorno para formar, cuando maduren, una barrera de pasto firme que actúa como amortiguadora y difusora del agua que corre hacia abajo de una pendiente, y que filtra los sedimentos. Una buena barrera puede reducir la escorrentía de la lluvia en un 70% y la carga de sedimentos en un 90%. La barrera va a permanecer donde se plante y el sedimento que se acumula gradualmente detrás de ella va a formar una terraza de larga duración protegida por el vetiver. Es una tecnología de bajo costo, que requiere mano de obra intensiva (asociada con el costo de la mano de obra) con relaciones beneficio:costo muy altas. Cuando se utiliza en la protección de obras civiles su costo es alrededor de 1/20 de los sistemas y diseños de ingeniería tradicionales. Los ingenieros asemejan las raíces del vetiver con un “pilote viviente del suelo” que tiene un promedio de fuerza de tensión de 1/6 del acero blando.

El vetiver puede ser utilizado como un producto generador de ingresos en las fincas, o puede ser utilizado directamente en aplicaciones para proteger las cuencas hidrográficas y los cauces de los ríos para contrarrestar de daños ambientales, particularmente en lo referente a problemas ambientales puntuales como: 1. flujos de sedimentos y 2. excesos de nutrientes, metales pesados y biocidas en lixiviados de fuentes tóxicas. Estos dos usos principales están estrechamente relacionados.

Los resultados de numerosos ensayos y aplicaciones masivas del vetiver en los últimos veinte años han demostrado que este pasto es particularmente efectivo en la reducción de desastres naturales (inundaciones, deslizamientos, fallas de borde en carreteras, bancos de río, canales de irrigación y erosión costera, estructuras de retención de agua, etc.); protección ambiental (reducción de contaminación de suelos y agua, tratamiento de desechos sólidos y líquidos, mejoramiento de suelos etc.); y muchos otros usos. Todas estas

aplicaciones pueden impactar positivamente, directa o indirectamente la pobreza rural, ya sea a través de la protección o la rehabilitación de las tierras agrícolas, proveyendo una mayor retención de humedad y de mayores ingresos directos a la finca, o indirectamente protegiendo la infraestructura rural.

El Sistema Vetiver puede ser usado por la mayoría de los sectores involucrados en desarrollo rural y comunitario; su uso debe ser incorporado, cuando sea apropiado, en los planes de desarrollo para las comunidades, municipios o regiones. Si todos los sectores lo utilizan, se presentará una oportunidad para los productores del pasto vetiver, tanto pequeños como grandes, de utilizar el SV como una actividad generadora de ingresos, ya sea produciendo material para la siembra, como contratos a paisajistas para la estabilización de taludes y otras necesidades, o vendiendo productos derivados como artesanías, mulch, cobertura para techos, forraje y otros materiales. Es por tanto una tecnología que puede iniciar un paso que contribuye a alejar de la pobreza a un importante segmento de la comunidad. La tecnología es de dominio público y la información es gratis.

No obstante, el potencial de aplicación del vetiver permanece latente, y es necesario alentar y hacer disponible al público la necesidad de utilizarlo. Adicionalmente, existe cierto rechazo, preocupación, e incluso duda acerca del valor y de la efectividad del pasto vetiver. En la mayoría de los casos las fallas al usar el pasto vetiver se deben más al inapropiado conocimiento o a la aplicación incorrecta que al Sistema Vetiver en sí mismo.

Este manual es integral, detallado y práctico. El mismo se basa en trabajos que se están llevando a cabo en Vietnam y otros lugares del mundo. Sus observaciones y recomendaciones técnicas se basan en situaciones de la vida real, sus problemas y sus soluciones. Se espera que sea usado frecuentemente por aquellas personas que utilizan y promueven el Sistema Vetiver, y esperamos que sea traducido a muchas lenguas. Queremos agradecer a los autores por un trabajo bien realizado.

Este manual fue inicialmente compilado tanto en inglés como en vietnamita, pero la oportunidad de imprimirlo en vietnamita se presentó primero; ambas versiones están siendo publicadas en este momento. Existe el compromiso de traducir este manual al chino, francés y español en un futuro cercano.

Dick Grimshaw

Fundador y Directivo de The Vetiver Network International.

PRESENTACIÓN

Basados en la revisión de vastas cantidades de resultados de investigación y aplicación del pasto vetiver, los autores sintieron que ya era tiempo de compilar una nueva versión para remplazar el primer manual publicado por el Banco Mundial (1987), *pasto Vetiver-La barrera contra la erosión* (conocido comúnmente como el librito verde), escrito por John Greenfield. El nuevo manual cubre una mayor variedad de aplicaciones del pasto vetiver. Los autores han compartido esta idea y han recibido un apoyo entusiasta de ***The Vetiver Network International-TVNI. Las ediciones en inglés y vietnamita serán impresas primero.***

Este manual incluye aplicaciones del SV en estabilización de tierras y protección de infraestructura, tratamiento y disposición de desechos y aguas contaminadas y la rehabilitación y fitorremediación de tierras contaminadas. En forma similar al librito verde, este manual muestra los principios y métodos de varias

aplicaciones del SV en los usos mencionados arriba. Este manual también incluye los resultados más actualizados en investigación y desarrollo, y numerosos ejemplos de resultados muy exitosos alrededor del mundo. El objetivo principal de este manual es introducir el SV a planificadores e ingenieros de diseño y a otros usuarios potenciales, que a menudo no están en conocimiento de la efectividad de los métodos de la bioingeniería y la fitorremediación.

Paul Truong, Tran Tan Van y Elise Pinners,
Los autores.

AUTORES

Dr Paul Truong

Director, The Vetiver Network International, responsable de la región Asia y Pacífico, y Director de Veticon Consulting. El ha realizado una extensa actividad en investigación y desarrollo en los últimos 18 años y en aplicaciones del SV con fines de protección ambiental. Ha sido pionero en investigación sobre la tolerancia del pasto vetiver a condiciones adversas, tolerancia a metales pesados y en control de contaminación ha establecido los valores críticos en las aplicaciones del SV en desechos tóxicos, rehabilitación de minas y tratamiento de desechos, por los cuales ha merecido numerosas premiaciones del Banco Mundial y del Rey de Tailandia.

Dr Tran Tan Van

Coordinador de la Red del Vetiver en Vietnam (VNVN). Como Vice-Director del Instituto de Geociencias y Recursos Minerales (VIGMR) en Vietnam, ha estado a cargo de las recomendaciones para la mitigación de desastres naturales. Desde la introducción del Sistema Vetiver hace seis años, se ha convertido no solo en un excelente practicante del Sistema Vetiver, sino también en un líder estratégico, como coordinador de la Red del Vetiver en Vietnam (VNVN). En estos seis años ha contribuido enormemente en la amplia adopción del SV en Vietnam, ahora presente en cerca de 40 de las 64 provincias, promovido por diferentes ministerios, ONGs, y compañías. El comenzó la introducción del SV con la estabilización de dunas costeras, y en el presente incluye mitigación de daños por inundaciones en bancos de río y costas, diques marinos, diques anti-salinidad y diques de ríos, protección de taludes y bordes de carreteras contra la erosión y los deslizamientos, y aplicaciones para mitigar la contaminación de los suelos y el agua. Fue recompensado con el prestigioso premio Campeón Vetiver de The Vetiver Network International en el 2006 en la Cuarta Conferencia Internacional sobre Vetiver en Caracas, Venezuela.

Ir. Elise Pinners

Directora Asociada de The Vetiver Network International, quien comenzó trabajando con el Sistema Vetiver en Camerún al final de los noventa, en proyectos agrícolas y de vialidad rural. Desde su llegada a Vietnam en 2001, como asesora de VNVN ha contribuido al desarrollo y promoción de VNVN (Red del Vetiver en Vietnam) e internacionalmente, mediante asesoría organizacional, dando apoyo en la consecución de fondos, y por la introducción del SV a los mundialmente renombrados ingenieros de costas holandeses. Ella participó en la realización del primer proyecto de VNVN, auspiciado por la Real Embajada de Los Países Bajos, sobre estabilización de dunas y otras aplicaciones en Quang Binh y Da Nang. En el último año y medio ha trabajado para Agrifood Consulting International (ACI) en Hanoi. Se muda a Kenya en el verano de 2007, donde intenta continuar contribuyendo en la promoción y desarrollo del Sistema Vetiver.

Aunque los tres autores han contribuido en la redacción y edición de las cinco partes de este manual, su

participación fue:

- Parte 1, 2 y 4 - Paul Truong
- Parte 3 - Tran Tan Van y
- Parte 5 - Elise Pinners.

AGRADECIMIENTOS

La Red del Vetiver de Vietnam agradece a la Real Embajada de los Países Bajos por patrocinar la preparación y publicación de este manual. VNVN también agradece a la Universidad de Recursos del Agua de Hanoi por apoyar la publicación y promoción de la edición vietnamita.

La mayoría de los trabajos de investigación y desarrollo en Vietnam reportados en este manual recibieron apoyo financiero de la Donner Foundation, la Wallace Genetic Foundation en EEUU, de Ambertone Trust en el Reino Unido, el gobierno de Dinamarca, la Real Embajada de los Países Bajos, y de The Vetiver Network International. Estamos muy agradecidos por su apoyo y aliento.

VNVN agradece el gentil apoyo de la Universidad Can Tho, en particular al Profesor, Rector Le Quang Minh, Universidad de Agroforestería Ho Chi Minh, Ministerio de Recursos Naturales y Ambiente, y especialmente a la Unión Vietnamita de Asociaciones de Ciencia y Tecnología(VUSTA), quienes organizaron la evaluación de la versión vietnamita de este manual.

VNVN también aprecia el aliento y apoyo entusiasta de todos los usuarios del vetiver en las provincias.

Los materiales usados en este manual no solo fueron extraídos de trabajos de investigación y desarrollo de los autores, sino también de colegas que trabajan con vetiver alrededor del mundo, particularmente en Vietnam en los últimos años. Los autores agradecen las contribuciones de:

- Australia: Cameron Smeal, Ian Percy, Ralph Ash, Frank Mason, Barbara y Ron Hart, Errol Copley, Bruce Carey, Darryl Evans, Clive Knowles-Jackson, Bill Steentsma, Jim Klein y Peter Pearce
- China: Liyu Xu, Hanping Xia, Liao Xindi, Wensheng Shu
- Congo: (DRC) Dale Rachmeler, Alain Ndong
- India: P. Haridas
- Indonesia: David Booth
- Laos: Werner Stur
- Mali, Senegal and Morocco: Criss Juliard
- Los Países Bajos: Henk-Jan Verhagen
- Filipinas: Eddie Balbarino, Noah Manarang
- Sur África: Roley Nofke, Johnnie van den Berg
- Taiwan: Yue Wen Wang
- Thailand: Narong Chomchalow, Diti Hengchaovanich, Surapol Sanguankaeo, Suwanna Parisi, Reinhardt Howeler, Departamento de Desarrollo de Tierras, Oficina de Proyectos de Desarrollo Real
- The Vetiver Network International: Dick Grimshaw, John Greenfield, Dale Rachmeler, Criss Juliard, Mike Pease, Joan y Jim Smyle, Mark Dafforn, Bob Adams.

- Vietnam:
 - Centro de Extensión Agrícola, Departamento de Desarrollo Rural y Agrícola, Quang Ngai Provincia: Vo Thanh Thuy;
 - Universidad Can Tho: Le Viet Dung, Luu Thai Danh, Le Van Be, Nguyen Van Mi, Le Thanh Phong, Duong Minh, Le Van Hon;
 - Universidad de Agroforestería Ciudad Ho Chi Minh: Pham Hong Duc Phuoc, Le Van Du;
 - Kellogg Brown Root (KBR), principal contratista de la AusAID que financió el proyecto de mitigación de desastres naturales en Quang Ngai provincia: Ian Sobey;
 - Thien Sinh y Thien An Co. Ltd, principales contratistas para la plantación de vetiver a lo largo de la autopista Ho Chi Minh Highway: Tran Ngoc Lam y Nguyen Tuan An.

Los autores también desean agradecer a Mary Wilkowski (Hawaii VN), John Greenfield y Dick Grimshaw por la edición de la versión en inglés.

CONTENIDO

Este manual consta de cinco partes separadas. Es posible utilizar solamente una parte para un grupo específico de aplicaciones, pero se recomienda enfáticamente incluir siempre la Parte 1, ya que otras partes hacen con frecuencia referencia a las características del vetiver que son relevantes para las diferentes aplicaciones. En la mayoría de los casos es útil también incluir la Parte 2.

| | | |
|----------|---|----|
| Parte 1: | La planta de vetiver | 1 |
| Parte 2: | Métodos para propagar el vetiver | 9 |
| Parte 3: | El Sistema Vetiver para la mitigación de desastres y la protección de infraestructura | 17 |
| Parte 4: | El Sistema Vetiver para la prevención y tratamiento de tierras y aguas contaminadas | 48 |
| Parte 5: | El Sistema Vetiver para el control de erosión en tierras agrícolas y otros usos | 61 |
| INDICE | | 87 |

Para mayores detalles y actualizaciones en cualquiera de los temas en este manual, por favor revise en www.vetiver.org, en donde encontrará numerosos enlaces a todos los temas relevantes.

PARTE 1 - LA PLANTA DE VETIVER

CONTENIDO

| | | | |
|----|--|---|---|
| 1. | INTRODUCCIÓN | 1 | |
| 2. | CARACTERÍSTICAS ESPECIALES DE LA PLANTA DE VETIVER | | 2 |
| | 2.1 Características Morfológicas | 2 | |
| | 2.2 Características Fisiológicas | 2 | |
| | 2.3 Características Ecológicas | 2 | |
| | 2.4 Tolerancia al clima frío de la planta de vetiver | 3 | |
| | 2.5 Resumen del rango de adaptabilidad | 4 | |
| | 2.6 Características Genéticas | 5 | |
| | 2.7 Potencial invasor | 8 | |
| 3. | CONCLUSIONES | 8 | |
| 4. | REFERENCIAS | | 8 |

1. INTRODUCCIÓN

El Sistema Vetiver (VS), el cual se basa en la utilización del pasto vetiver (*Vetiveria zizanioides* L Nash, ahora reclasificado como *Chrysopogon zizanioides* L Roberty), fue inicialmente desarrollado por el Banco Mundial para la conservación de suelos y agua en la India a mediados de los años ochenta. Mientras esta aplicación todavía juega un papel vital en el manejo de las tierras agrícolas, la investigación y desarrollo-I&D llevada a cabo en los últimos veinte años ha demostrado claramente que, debido a la extraordinarias características del pasto vetiver, el SV puede ser usado como una técnica de bioingeniería para la estabilización de taludes inclinados, la disposición de aguas servidas, la fitoremediación de tierras y aguas contaminadas, y otras aplicaciones en protección ambiental.

¿Qué hace el Sistema vetiver y cómo trabaja?

El SV es un medio muy simple, práctico, económico, de bajo mantenimiento y muy efectivo para la conservación de suelos y agua, control de la sedimentación, estabilización y rehabilitación de tierras, y fitorremediación. Siendo una medida biológica, es también ambientalmente amigable. Cuando es plantado en hileras simples forma una barrera que es muy efectiva en atenuar y dispersar las aguas de escorrentía, reduciendo la erosión, conservando la humedad y atrapando sedimentos y agroquímicos en el sitio. Aunque cualquier barrera puede hacer eso, el pasto vetiver, debido a sus características morfológicas y fisiológicas únicas mencionadas abajo, lo puede hacer mejor que otros sistemas evaluados. Adicionalmente, el sistema de raíces extremadamente profundo, masivo y denso amarra el suelo y al mismo tiempo impide que sea separado por flujos de agua de alta velocidad. El sistema de raíces muy profundo y de rápido crecimiento hace también al vetiver muy tolerante a la sequía y muy apto para la estabilización de taludes inclinados.

El manual para extensionistas, o el librito verde

El versátil librito verde de bolsillo para extensionistas, publicado por primera vez por el Banco Mundial en 1987 Vetiver-La barrera contra la erosión, conocido como el librito verde de John Greenfield, es complementario de este manual técnico. El presente manual es bastante más técnico en sus descripciones del Sistema Vetiver y está dirigido a técnicos, académicos, planificadores, inversionistas y funcionarios de gobierno. Para los agricultores y los extensionistas en el campo, el pequeño libro verde de bolsillo es todavía el manual de campo ideal.

2. CARACTERÍSTICAS ESPECIALES DE LA PLANTA DE VETIVER

2.1 Características Morfológicas:

- La planta de vetiver no tiene estolones ni rizomas funcionales. Su sistema de raíces finas y compactas crece muy rápido, en algunas aplicaciones puede alcanzar entre 3 y 4 m de profundidad en el primer año. Este profundo sistema de raíces hace que la planta de vetiver sea extremadamente tolerante a las sequías y difícil de arrancar por fuertes corrientes.
- Tallos firmes y erguidos, que pueden soportar flujos de agua relativamente profundos. - Foto 1.
- Muy resistente a plagas, enfermedades y al fuego - Foto 2.
- forma una barrera densa cuando es plantado a corta distancia actuando como un filtro muy efectivo de los sedimentos y como un dispersor del agua de escorrentía.
- Nuevos brotes se forman desde la corona subterránea haciendo al vetiver resistente al fuego, heladas, tráfico y alta presión de pastoreo.
- Cuando es enterrado por los sedimentos atrapados, crecen nuevas raíces desde los nudos. El vetiver continuará creciendo hacia arriba con los sedimentos depositados formando eventualmente terrazas, si el sedimento atrapado no es removido.

Foto 1: Tallos erguidos y firmes forman una densa barrera cuando el vetiver es plantado a corta distancia.



2.2 Características Fisiológicas

- Tolerancia a variaciones climáticas extremas como sequía prolongada, inundaciones, sumersión y temperaturas extremas de -15°C a $+55^{\circ}\text{C}$.
- Habilidad para rebrotar rápidamente después de haber sido afectado por sequías, heladas, salinidad y otras condiciones adversas al mejorar las condiciones del tiempo o se añadan correctivos al suelo.
- Tolerancia a un amplio rango de pH desde 3.3 a 12.5 sin enmiendas del suelo.
- Alto nivel de tolerancia a herbicidas y plaguicidas.
- Alta eficiencia en absorber nutrientes tales como N y P y metales pesados en aguas contaminadas.
- Muy tolerante a medios de crecimiento altos en acidez, alcalinidad, salinidad, sodicidad y Mg.
- Alta tolerancia al Al, Mn y metales pesados tales como As, Cd, Cr, Ni, Pb, Hg, Se y Zn en los suelos.

2.3 Características ecológicas

Aunque el vetiver es muy tolerante a ciertas condiciones extremas de suelo y clima mencionadas arriba, como pasto tropical es muy intolerante a la sombra. La sombra reduce su crecimiento y en casos extremos, puede incluso eliminar el vetiver en el largo plazo. Por lo tanto el vetiver crece mejor en espacios abiertos y libres de malezas, siendo necesario el control de malezas en la etapa de establecimiento. En terrenos erosionables e inestables el vetiver primero reduce la erosión, estabiliza el terreno, luego debido a la conservación de humedad y nutrientes, mejora el microambiente y otras especies espontáneas o cultivadas, pueden establecerse. Debido a esto se considera al vetiver una planta nodriza en tierras degradadas.

Foto 2: El pasto vetiver sobrevive a los incendios forestales; a la derecha: dos meses después de la quema.



Foto 3: Dunas arenosas costeras en Quang Bình (izq.) y en suelos salinos en la provincia Gò Công (derecha).



Foto 4: En suelos sulfato ácidos en Tân An (izq.) y suelos alcalinos y sódicos en Ninh Thun (derecha).

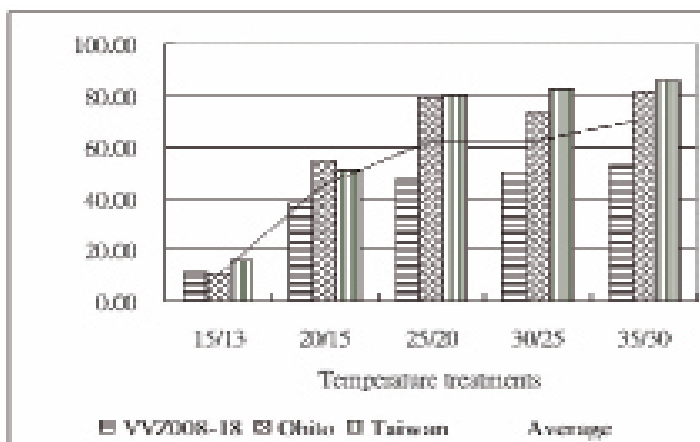


2.4 Tolerancia de la planta de vetiver al frío

Aunque el vetiver es una planta tropical, puede sobrevivir y desarrollarse en condiciones de frío extremo. Bajo condiciones de escarcha o helada su parte aérea muere o entra en latencia y se torna color púrpura pero sus puntos de crecimiento subterráneos sobreviven. En Australia, el vetiver no se afectó por una severa helada a -14°C y sobrevivió por un corto período a -22°C en el norte de China. En Georgia (EEUU), el vetiver sobrevivió a una temperatura del suelo de -10°C pero no resistió a -15°C . Recientes estudios demuestran que el crecimiento óptimo de raíces se presenta a temperaturas del suelo de 25°C , pero las raíces continúan creciendo hasta 13°C . Aunque un crecimiento muy pequeño ocurre a temperaturas del suelo en el rango entre 15°C (día) y 13°C el crecimiento de la raíz continúa a una velocidad de 12.6cm/día , indicando que el pasto vetiver no entra en latencia a esta temperatura y por extrapolación se estima que la latencia ocurre a 5°C (Fig.1).

Figura 1: Efecto de la temperatura del suelo sobre el crecimiento de la raíz del vetiver.

Genotipos: VVZ008-18, Ohito, y Taiwan, estos dos últimos son básicamente el mismo que Sunshine.



Tratamientos de temperatura: día 15°C /noche 13°C. (CP: Y.W .Wang).

2.5 Resumen del rango de adaptabilidad

Un resumen del rango de adaptabilidad de la planta de vetiver se muestra en el cuadro 1.

Cuadro 1: Rango de adaptabilidad de la planta de vetiver vetiver en Australia y en otros países.

Continuación próxima página.

| Característica ó Condición | Australia | Otros países |
|--|------------------------------|--|
| Condiciones de suelo adversas | | |
| Acidez (pH) | 3.3-9.5 | 4.2-12.5 (altos niveles de Al soluble) |
| Salinidad (50% reducción rendimientos) | 17.5 mScm ⁻¹ | |
| Salinidad (sobrevivió) | 47.5 mScm ⁻¹ | |
| Nivel de Aluminio (Al Sat. %) | Entre 68% - 87% | |
| Nivel de Manganeseo | > 578 mgkg ⁻¹ | |
| Sodicidad | 48% (Na intercambiable) | |
| Magnesianidad | 2400 mgkg ⁻¹ (Mg) | |
| Fertilizante | | |
| El vetiver se puede establecer en suelos de baja fertilidad debido a su fuerte asociación con micorrizas | N y P (300 kg/ha FDA) | N y P, estiércol de granja |

2.6 Características genéticas

| Característica o Condición | Australia | Otros países |
|------------------------------------|---|---|
| Metales pesados | | |
| Arsénico (As) | 100 - 250 mgkg ⁻¹ | |
| Cadmio (Cd) | 20 mgkg ⁻¹ | |
| Cobre (Cu) | 35 - 50 mgkg ⁻¹ | |
| Cromo (Cr) | 200 - 600 mgkg ⁻¹ | |
| Níquel (Ni) | 50 - 100 mgkg ⁻¹ | |
| Mercurio (Hg) | > 6 mgkg ⁻¹ | |
| Plomo (Pb) | > 1500 mgkg ⁻¹ | |
| Selenio (Se) | > 74 mgkg ⁻¹ | |
| Zinc (Zn) | >750 mgkg ⁻¹ | |
| Localidad | 15°S to 37°S | 41°N - 38°S |
| Clima | | |
| Precipitación anual (mm) | 450 - 4000 | 250 - 5000 |
| Heladas (temperatura del suelo.) | -11°C | -22°C |
| Olas de calor | 45°C | 55°C |
| Seqüía (precipitación no efectiva) | 15 meses | |
| Palatabilidad | Vacas lecheras, ganado, caballos, conejos, ovejas | Vacas, ganado, ovejas, cerdos, carpas |
| Valor nutricional | N = 1.1 % P = 0.17% K = 2.2% | Proteína cruda 3.3% Grasa cruda 0.4% Fibra cruda 7.1% |

Son utilizadas tres especies de vetiver con propósitos de protección ambiental.

2.6.1 *Vetiveria zizanioides* L reclasificada como *Chrysopogon zizanioides* L

Existen dos especies de vetiver que se originaron en el subcontinente de la India: *Chrysopogon zizanioides* y *Chrysopogon lawsonii*. *Chrysopogon zizanioides* posee muchas accesiones. Generalmente las provenientes del sur de India han sido cultivadas y tienen un sistema de raíces largo y fuerte. Estas accesiones tienden a la poliploidía y muestran un alto nivel de esterilidad y no se consideran invasoras. Las accesiones del norte de India, comunes en las cuencas de los ríos Ganges e Indu, son silvestres y tienen un sistema de raíces débil. Estas accesiones son diploides y son conocidas por ser malezas invasoras, aunque no necesariamente invasoras. Las accesiones del norte de la India NO se recomiendan bajo el sistema Vetiver. Debe resaltarse que la mayoría de la investigación con diferentes aplicaciones del vetiver y las experiencias de campo han sido realizadas con los cultivares del sur de la India y que están estrechamente relacionados (mismo genotipo) como lo son el Monto y el Sunshine. Estudios del ADN confirman que cerca del 60% del *Chrysopogon zizanioides* utilizado para bioingeniería y fitorremediación en países tropicales y subtropicales son del genotipo Monto/Sunshine.

2.6.2 *Chrysopogon nemoralis*

Estas especies nativas se distribuyen ampliamente en las tierras bien drenadas de Tailandia, Laos, y Vietnam y muy probablemente en Camboya y Myanmar. Es muy utilizado en Tailandia para hacer techados. Esta especie no es estéril, la principal diferencia entre *C. nemoralis* and *C. zizanioides*, es que esta última es más alta y tiene tallos más firmes y gruesos, *C. zizanioides* tiene un sistema de raíces más grueso y profundo y sus hojas

son más anchas y poseen un área verde claro a lo largo de las estrías de la hoja, como se muestra en las fotos abajo.- Fotos 5-8.

Foto 5: Hojas de Vetiver, izquierda: *C. zizanioides*, derecha: *C. nemoralis*.

Foto 6: Brotes de Vetiver, izquierda: *C. nemoralis*, derecha: *C. zizanioides*.



Foto 7: Diferencias entre las raíces de *C. zizanioides* (arriba) and *C. nemoralis* (abajo).



Aunque *C. nemoralis* no es tan efectivo como *C. zizanioides*, los agricultores han reconocido también la utili-



dad de *C. nemoralis* en la conservación de suelos; por tanto lo han usado en las planicies centrales así como en



provincias de la costa de Vietnam Central tales como Quang Ngai para estabilizar diques en campos de arroz

Foto 8: Raíces de Vetiver en el suelo (izquierda y centro) y en agua (derecha).
Foto 9: *C. nemoralis* en Quang Ngai (izquierda) y en las Planicies Centrales de Vietnam (derecha).

Foto 10: *Chrysopogon nigritana* en Mali, Africa del Oeste.

2.6.3 *Chrysopogon nigritana*

Esta especie es nativa del Sur y del Oeste de África, sus aplicaciones se restringen al subcontinente, y debido a que produce semillas viables debe circunscribirse a su lugar de origen (Foto 10).

2.7 *Potencial de enmalezamiento*

Los cultivares de Vetiver derivados de las accesiones del sur de la India no son agresivos; no producen estolones ni rizomas funcionales y tienen que ser reproducidos vegetativamente por subdivisiones de la raíz(corona). Es imperativo que cualquier planta usada para la bioingeniería no se convierta en maleza en el ambiente local; por lo tanto los cultivares estériles (como Monto, Sunshine, Karnataka, Fiji and Madupatty) del sur de la India son los ideales para esta aplicación. En Fiji, donde se introdujo el pasto vetiver para la elaboración de techos hace más de cien años, y donde se ha utilizado con fines de conservación de suelos y agua en la industria de la caña de azúcar por más de 50 años no ha demostrado ningún signo de ser invasor. El pasto Vetiver puede ser eliminado fácilmente ya sea mediante aspersión con glifosato (Roundup) o cortando la planta por debajo de la corona.

3. CONCLUSION

Debido al poco crecimiento de *C. nemoralis* y más importante, debido a su pequeño sistema de raíces, este no es apto para los trabajos de estabilización en taludes inclinados. Adicionalmente, no se han desarrollado investigaciones en esta especie sobre la disposición y el tratamiento de aguas residuales, o sobre su capacidad de fitorremediación por lo cual se recomienda utilizar solamente *C. zizanioides* para las aplicaciones y usos indicados en este manual.

4. REFERENCIAS

- Adams, R.P., Dafforn, M.R. (1997). DNA fingerprints (RAPDs) of the pantropical grass, *Vetiveria zizanioides* L, reveal a single clone, "Sunshine," is widely utilised for erosion control. Special Paper, The Vetiver Network, Leesburg Va, EEUU.
- Adams, R.P., M. Zhong, Y. Turuspekov, M.R. Dafforn, y J.F.Veldkamp. 1998. DNA fingerprinting reveals clonal nature of *Vetiveria zizanioides* (L.) Nash, Gramineae and sources of potential new germplasm. *Molecular Ecology* 7:813-818.
- Greenfield, J.C. (1989). *Vetiver Grass: The ideal plant for vegetative soil and moisture conservation*. ASTAG - The World Bank, Washington DC, EEUU.
- National Research Council. 1993. *Vetiver Grass: A Thin Green Line Against Erosion*. Washington, D.C.: National Academy Press. 171 pp.
- Purseglove, J.W. 1972. *Tropical Crops: Monocotyledons 1.*, New York: John Wiley & Sons.
- Truong, P.N. (1999). *Vetiver Grass Technology for land stabilisation, erosion and sediment control in the Asia Pacific region*. Proc. First Asia Pacific Conference on Ground and Water Bioengineering for Erosion Control and Slope Stabilisation. Manila, Filipinas, Abril 1999.
- Veldkamp, J.F. 1999. A revision of *Chrysopogon* Trin. including *Vetiveria Bory* (Poaceae) in Thailand and Melanesia with notes on some other species from Africa and Australia. *Austrobaileya* 5: 503-533.

PARTE 2 - MÉTODOS PARA PROPAGAR EL VETIVER

CONTENIDO

| | |
|--|----|
| 1. INTRODUCCIÓN | 9 |
| 2 VIVERO DE VETIVER | 9 |
| 3. MÉTODOS DE PROPAGACIÓN | 10 |
| 3.1 Separación de plantas para producir hijos a raíz desnuda | 10 |
| 3.2 Propagación del vetiver de partes de la planta | 10 |
| 3.3 Multiplicación de yemas o micropropagación | 13 |
| 3.4 Cultivo de tejido | 13 |
| 4. PREPARACIÓN DEL MATERIAL DE SIEMBRA | 13 |
| 4.1 Bolsas de polietileno y tubetes | 13 |
| 4.2 Plantación en banda | 14 |
| 5. VIVEROS EN VIETNAM | 15 |
| 6. REFERENCIAS | 16 |

1. INTRODUCCIÓN

Debido a que las principales aplicaciones requieren un gran número de plantas, la calidad del material de siembra es importante para una exitosa aplicación del sistema vetiver (SV). Para ello se requieren viveros capaces de producir grandes cantidades de plantas de alta calidad y de bajo precio. El uso exclusivo de cultivares estériles únicamente (*C. zizanioides*) evitará la aparición de plantas de vetiver estableciéndose en un ambiente nuevo. Pruebas de ADN han probado que los cultivares estériles usados alrededor del mundo son genéticamente similares a los cultivares Monto y Sunshine, ambos originados en el sur de la India. Debido a su esterilidad, estos deben propagarse vegetativamente.

2. VIVERO DE VETIVER

Los viveros proveen material para la propagación vegetativa o el cultivo de tejidos de plantas de vetiver. Los siguientes criterios deben facilitar el establecimiento de viveros productivos y fáciles de manejar:

- Tipo de suelo: Camas de propagación franco arenosas aseguran cosechas más fáciles y menores daños a las raíces y corona de las plantas. Franco arcillosas serían aceptables, pero arcillosas no.
- **Topografía:** Terrenos ligeramente inclinados evitan el encharcamiento en caso de excesos de agua. Sitios planos son aceptables pero debe controlarse el drenaje ya que el encharcamiento puede afectar a las plantas muy jóvenes aunque las adultas toleran las condiciones de saturación.
- **Sombra:** Se recomiendan espacios abiertos, ya que la sombra afecta el desarrollo del vetiver. La sombra parcial es aceptable. El vetiver es una planta C4 y requiere mucho sol.
- Trazado de la plantación: El Vetiver debe ser plantado en hileras largas y ordenadas en contorno para facilitar la cosecha.
- Método de cosecha: La cosecha de plantas maduras puede ser realizada manual o mecánicamente. Un implemento debe cortar las raíces de plantas maduras a 20-25cm (8-10") por debajo de la superficie. Para evitar daños a la corona usar arados de vertedera o de disco con ajustes especiales.
- Método de riego: El riego por aspersión distribuye el agua uniformemente en los primeros meses de la plantación. Las plantas más maduras pueden regarse por inundación.
- **Entrenamiento del personal de operaciones:** Personal entrenado es esencial para el éxito.
- **Plantación mecánica:** Una sembradora modificada o una transplantadora mecánica puede sembrar

- grandes cantidades de hijos en el vivero.
- Disponibilidad de maquinaria en el vivero: Se requiere de maquinaria agrícola básica para la preparación del terreno, las camas de siembra, control de malezas, corte y cosecha de las plantas.



Foto 1: Izquierda: Siembra mecanizada; derecha: siembra manual.

3. MÉTODOS DE PROPAGACIÓN

Las cuatro maneras de propagar vetiver son:

- Separando brotes maduros de la macolla de vetiver o plantas madre, obteniendo hijos (“esquejes”) a raíz desnuda para ser plantados de forma inmediata en el campo o en contenedores.
- Usando varias partes de las plantas madre de vetiver
- Multiplicación de yemas o micropropagación in vitro para propagación a gran escala
- Cultivo de tejido, usando una pequeña parte de la planta para propagación a gran escala.

3.1 Separación de plantas para producir hijos (“esquejes”) a raíz desnuda

La separación de brotes de una macolla madre requiere cuidado, de manera que cada hijo incluya al menos dos a tres brotes y una parte de la corona. Después de la separación, los hijos deben ser cortados de 20 cm (8”) de largo (Figura 1). Los hijos (“esquejes”) resultantes pueden ser sumergidos en varios tratamientos, incluyendo hormonas de enraizamiento, estiércol líquido, lodo de arcilla, o simplemente en recipientes llenos con agua. Para acelerar el crecimiento mantener los hijos húmedos y a la luz hasta plantarlos- Foto 2.

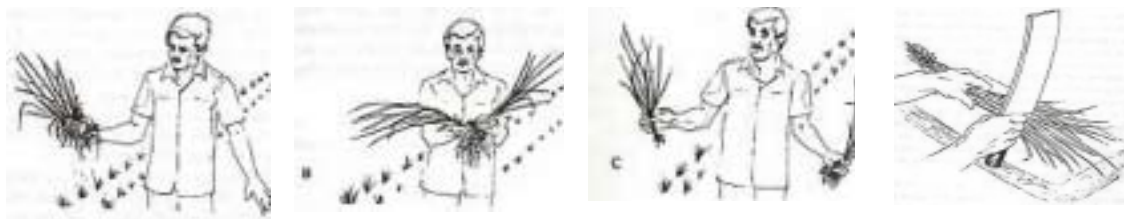


Figura 1: Como separar los hijos de vetiver.

3.2 Propagación del vetiver de partes de la planta

Para la propagación del vetiver son usadas tres partes de la planta- Fotos 3 & 4:

- Brotes o vástago.
- Corona (cormo), la parte dura de la planta entre las raíces y los brotes o vástago.
- Culmo, tallo o caña.



Foto 2: Hijos a raíz desnuda listos para plantar (izq.); sumergidos en barro de arcilla o licuado de estiércol (cow tea) (derecha).

El culmo es el tallo o caña de un pasto. El tallo del vetiver es sólido, duro y firme; presenta nudos prominentes con yemas laterales que pueden formar raíces y brotes cuando son expuestos al humedecimiento. Cortes de tallos o cañas, acostados o parados, bajo neblina o en arena húmeda, promoverá el rápido desarrollo de raíces y brotes en cada nudo. Le Van Du, de la Universidad de Agroforestería en la ciudad de Ho Chi Minh, desarrolló los siguientes cuatro pasos de propagación de esquejes:

- Preparar los esquejes de vetiver o cortes de tallos.
- Asperjar los esquejes con una solución al 10% de jacinto de agua.
- Usar bolsas de plástico para cubrir los esquejes completamente y dejar por 24 horas.
- Sumergir en barro de arcilla o estiércol líquido, y plantar en una cama de propagación adecuada.

3.2.1 Preparación de esquejes de vetiver



Foto 3: Brotes viejos (izq.) y brotes jóvenes (derecha).

Culmos o cañas de *Vetiver*.

Seleccionar cañas viejas, las cuales tienen más yemas y más nudos que las jóvenes. Hacer cortes de 30-50mm (1-2”) de largo, incluyendo 10-20mm (4-8”) debajo de los nudos, separando la cobertura de hojas viejas. Los nuevos brotes deben emerger una semana después de plantados.

Hijos de Vetiver (“esquejes”):

- Seleccionar hijos maduros con al menos tres a cuatro hojas bien desarrolladas.

- Separar los hijos cuidadosamente, y asegurarse de incluir la base y algunas raíces.

Corona o corno del Vetiver:

La corona (corno) es la base de las plantas maduras de vetiver de la cual emergen los nuevos brotes. Usar solo



la parte superior de la corona madura.

Foto 4: Corona de vetiver o cormos (izquierda) y segmentos de culmos o cañas con nudos (derecha).

3.2.2 Preparación de la solución de jacinto de agua

La solución de jacinto de agua contiene muchas hormonas y reguladores del crecimiento, incluyendo ácido giberélico y muchos componentes del ácido indolacético (AIA). Para preparar hormona de enraizamiento con jacinto de agua:

- Conseguir plantas de jacinto de agua en lagos y canales
- Poner las plantas en bolsas de plástico de 20 litros y cerrarlas amarrándolas.
- Dejar la bolsa por un mes hasta que el material vegetal se descomponga
- Deseche las partes sólidas y conserve solo la solución.
- Filtre la solución y manténgala en un lugar fresco hasta usarla.



3.2.3 Tratamiento y siembra

Foto 5: Asperjando esquejes con una solución de jacinto de agua al 10% (izquierda) y cubriendo esquejes completamente con bolsas de plástico dejándoles así por 24 horas (derecha).

3.2.4 Ventajas de usar hijos a raíz desnuda y esquejes

Ventajas:

- Una manera eficiente, económica y rápida de preparar material de propagación.
- Los menores volúmenes implican menores costos de transporte.



- Fácil de plantar a mano.
- Grandes cantidades pueden ser plantadas mecánicamente.

Foto 6: Plantación con estiércol, en una adecuada cama de siembra.

Desventajas:

- Vulnerable a la deshidratación y a las temperaturas extremas.
- Tiempo de almacenamiento limitado.
- Requiere ser plantado en suelo húmedo.
- Necesita de riego frecuente en las primeras semanas.
- Se recomienda en buenos sitios de vivero con acceso al agua de riego.

3.3 Multiplicación de yemas o micropropagación

El Dr. Le Van Be de la Universidad Can Tho, en la ciudad de Can Tho, Vietnam ha desarrollado un método sencillo y práctico para multiplicar yemas (Lê Van Bé et al, 2006). Su procedimiento consiste en cuatro etapas de micropropagación, todas en un medio líquido:

- Inducir el desarrollo de yemas laterales.
- Multiplicar los nuevos brotes.
- Promover el enraizamiento de los nuevos brotes.
- Promover el crecimiento en umbráculos o cobertores.

3.4 Cultivo de tejido

El cultivo de tejido es otra forma de propagar material de plantación de vetiver en cantidades, usando tejidos especiales (punta de la raíz, flores jóvenes de la inflorescencia, tejidos de yemas de los nudos) de la planta de vetiver. El procedimiento es usado con frecuencia por la industria hortícola internacional. Aunque los protocolos de laboratorios particulares varían, el cultivo de tejido involucra una pequeña porción de tejido en un medio especial bajo condiciones asépticas, y plantando las microplantas obtenidas en medios apropiados hasta que se desarrollen completamente en pequeñas plantas. Más detalles se pueden consultar en Truong (2006).

PREPARACIÓN DEL MATERIAL DE SIEMBRA

Para incrementar las tasas de establecimiento en condiciones adversas, cuando las plantas producidas por los métodos mencionados o los hijos a raíz desnuda están listos, se pueden preparar para plantar en los sitios o terrenos planeados mediante:

- bolsas de polietileno o tubetes.
- plantación en bandas.

4.1 Bolsas de polietileno o tubetes

Plántulas e hijos a raíz desnuda se plantan en pequeños pots o bolsas plásticas que contengan una mezcla mitad suelo y mitad compost o mezcla de substrato y se dejan en los contenedores entre tres y seis semanas,



dependiendo de las temperaturas. Cuando aparecen al menos tres brotes, las plantas están listas.

Foto 7: Hijos a raíz desnuda y material de contenedores (izquierda), colocando plantas en las bolsas de polietileno (centro) y plantas en bolsas de polietileno listas para ser plantadas (derecha).

4.2 Plantación en bandas

La plantación en bandas es una modificación de las plantas en bolsas. En vez de usar bolsas individuales, los hijos o esquejes se plantan muy cerca en surcos recubiertos con plástico especialmente alineados. Este método ahorra trabajo al plantar en sitios difíciles como taludes muy inclinados, y goza de una alta tasa de sobrevivencia ya que las raíces se mantienen juntas.



cia ya que las raíces se mantienen juntas.

Foto 8: Plantación en bandas (izq.) en contenedores y removidas de los contenedores (centro), y listas para la siembra (derecha).

4.2.1 Ventajas y desventajas de las bolsas de polietileno y de las plantas en bandas

Ventajas:

- Las plantas son fuertes y no son afectadas por la exposición a altas temperaturas y poca humedad.
- Menor frecuencia de riego después de plantadas.
- Establecimiento y desarrollo más rápido después de plantar.
- Las plantas pueden permanecer más tiempo en el sitio antes de sembrarse .
- Se recomiendan para condiciones adversas y hostiles.

Desventajas:

- Más costosas de producir.
- Se requiere un período de preparación más prolongado, de cuatro a cinco semanas o más.

- El transporte de grandes volúmenes y el mayor peso incrementa los costos.
- Incrementos en los costos de mantenimiento luego del despacho si no se plantan en una semana.

5. VIVEROS EN VIETNAM



Viveros de Vetiver han sido establecidos exitosamente en todas las áreas de Vietnam.



Foto 9: En el sur, izquierda: Universidad Can Tho; derecha: En la provincia Giang.



Foto 10: En el centro sur, en Quang Ngai (izquierda) y Binh Phuoc (derecha).

Foto 11: Izquierda: en el centro norte, Quang Binh; derecha: a lo largo de la autopista HCM.

Foto 12: En el norte, en Bac Ninh (izquierda) y Bac Giang (derecha).

6. REFERENCIAS

- Charanasri U., Sumanochitrapan S., y Topangteam S. (1996). Vetiver grass: Nursery development, field planting techniques, and hedge management. Trabajo no publicado presentado en las Memorias. First International Vetiver Conf., Tailandia, 4-8 Febrero 1996.
- Lê Văn Bé, Võ Thanh Tân, Nguyễn Thị Tố Uyên.(2006). Nhân Giống Co Vetiver (*Vetiveria zizanioides*). Regional Vetiver conference, Can Tho University, Can Tho, Vietnam.
- Lê Văn Bé, Võ Thanh Tân, Nguyễn Thị Tố Uyên (2006). Low cost micro-propagation of vetiver grass Memorias. Cuarta Conferencia Internacional sobre Vetiver, Caracas, Venezuela, Octubre 2006.
- Murashige T., y Skoog F. (1962) A revised medium for rapid growth and bio assays with tobacco tissue cultures. *Physiologia Plantarum* 15: 473-497.
- Namwongprom K., y Nanakorn M. (1992). Clonal propagation of vetiver in vitro. En: Proc. 30th Ann. Conf. on Agric., 29 Enero-1 Febrero 1992 (en Tailandia).
- Sukkasem A. y Chinnapan W. (1996). Tissue culture of vetiver grass. En: Abstracts of papers presented at Proc. First International Vetiver Conference (ICV-1), Chiang Rai, Tailandia, 4-8 Febrero 1996. p. 61, ORDPB, Bangkok.
- Truong, P. (2006). Vetiver Propagation: Nurseries and Large Scale Propagation. Workshop on Potential Application of the VS in the Arabian Gulf Region, Kuwait, Marzo, 2006.

PARTE - 3 EL SISTEMA VETIVER PARA LA REDUCCIÓN DE DESASTRES NATURALES Y LA PROTECCIÓN DE INFRAESTRUCTURA

CONTENIDO

| | |
|---|----|
| 1. TIPOS DE DESASTRES NATURALES QUE PUEDEN SER REDUCIDOS MEDIANTE EL USO DEL SISTEMA VETIVER (SV) | 17 |
| 2. PRINCIPIOS GENERALES DE ESTABILIDAD DE UNA PENDIENTE Y ESTABILIZACIÓN DE PENDIENTES | 19 |
| 2.1 Perfil de una pendiente | 19 |
| 2.2 Estabilidad de una pendiente | 19 |
| 2.3 Tipos de fallas en pendientes | 20 |
| 2.4 Impactos humanos en las fallas de una pendiente | 21 |
| 2.5 Mitigación de fallas en pendientes | 21 |
| 2.6 Estabilización vegetativa de pendientes | 22 |
| 3. ESTABILIZACIÓN DE PENDIENTES USANDO EL SISTEMA VETIVER | 24 |
| 3.1 Características del vetiver apropiadas para les estabilización de pendientes | 24 |
| 3.2 Características del vetiver adecuadas para la mitigación de desastres asociados con el agua | 26 |
| 3.3 Tensión y fuerza de corte de raíces de vetiver | 26 |
| 3.4 características hidráulicas | 28 |
| 3.5 Presión de agua en los poros | 29 |
| 3.6 Aplicaciones del Sistema Vetiver SV en la mitigación de desastres y en la protección de infraestructura | 30 |
| 3.7 Ventajas y desventajas del Sistema Vetiver | 30 |
| 3.8 Combinación con otros tipos de solución | 31 |
| 3.9 Modelaje computarizado | 31 |
| 4. DISEÑOS Y TÉCNICAS APROPIADAS | 32 |
| 4.1 Precauciones | 32 |
| 4.2 Momento de realizar la plantación | 33 |
| 4.3 Vivero | 33 |
| 4.4 Preparación para la siembra de vetiver | 33 |
| 4.5 Especificaciones del trazado | 34 |
| 4.6 Especificaciones de la siembra | 35 |
| 4.7 Mantenimiento | 35 |
| 5. APLICACIONES DEL SV PARA LA REDUCCIÓN DE DESASTRES Y LA PROTECCIÓN DE INFRAESTRUCTURA EN VIETNAM | 36 |
| 5.1 Aplicaciones del SV para la estabilización de dunas en Vietnam Central | 36 |
| 5.2 Aplicaciones del SV para el control de erosión de un banco de río | 39 |
| 5.3 Aplicaciones del SV para el control de erosión costera | 43 |
| 5.4 Aplicación del SV para estabilizar taludes de carreteras | 43 |
| 6. CONCLUSIONES | 46 |
| 7. REFERENCIAS | 46 |

1. TIPOS DE DESASTRES NATURALES QUE PUEDEN SER REDUCIDOS MEDIANTE LA APLICACIÓN DEL SISTEMA VETIVER (SV)

Además de la erosión, el Sistema Vetiver (SV) puede reducir e incluso eliminar muchos tipos de desastres naturales, incluyendo deslizamientos, coladas de barro, inestabilidad de taludes de carreteras, y erosión (banco de río, canales, líneas costeras, diques, represas con taludes de tierra).

Cuando las rocas y los suelos se saturan debido a lluvias de gran intensidad, en muchas zonas montañosas de Vietnam ocurren deslizamientos y derrumbes (movimientos en masa). Son ejemplos representativos los deslizamientos, derrumbes e inundaciones súbitas ocurridas en el distrito Muong Lay, provincia Dien Bien (1996), y los deslizamientos en Hai Van Pass (1999) que interrumpieron el tráfico Norte-Sur por más de dos semanas y costó más de un millón US \$ para remediarlo. Los mayores deslizamientos en Vietnam, aquellos mayores a un millón de metros cúbicos (entre ellos el de Thiet Dinh Lake, distrito Hoai Nhon, provincia Binh Dinh, en las comunas de An Nghiêp y de An Linh, distrito Tuy An, provincia Phu Yen), han causado pérdidas de vidas humanas y daños a las propiedades.

Fallas en los bancos de río, diques y la erosión de las costas ocurren frecuentemente en todo Vietnam. Ejemplos típicos incluyen: erosión de banco de río en Phu Tho, Hanoi, y en diversas provincias centrales de Vietnam (incluyendo Thua Thien Hue, Quang Nam, Quang Ngai y Binh Dinh); erosión costera en el distrito Hai Hau, provincia Nam Dinh, y; erosión de banco de río y costera en el delta del Mekong. Aunque estos eventos desastrosos de inundaciones/tormentas ocurren usualmente en la temporada de lluvias, algunas veces la erosión de banco de río ocurre en la época seca, cuando el agua desciende a su nivel más bajo. Esto ha ocurrido en la villa Hau Vien, distrito Cam Lo, en la provincia de Quang Tri.

Los derrumbes y deslizamientos son más comunes en aquellas áreas donde las actividades humanas desempeñan un papel decisivo. Casi el 20 por ciento o 200 km (124 millas) de más de 1000 km (621 millas) de la sección Ha Tinh - Kon Tum de la autopista Ho Chi Minh es muy susceptible a movimientos en masa e inestabilidad en los taludes, debido principalmente a prácticas de construcción inadecuadas y a un problema subyacente de desconocer las condiciones geológicas desfavorables. Los deslizamientos recientes en las ciudades de Yen Bai, Lao Cai, y Bac Kan fueron seguidos por decisiones municipales para expandir el urbanismo permitiendo cortes en taludes de mayor pendiente.

Los grandes terremotos también han generado movimientos en masa en Vietnam, incluyendo el deslizamiento de 1983 en el distrito Tuan Giao, y en 2001 en la vía que va de la ciudad Dien Bien al distrito Lai Chaut.

Desde un punto de vista estrictamente económico, el costo de resolver estos problemas es alto, y el presupuesto del Estado para estos trabajos nunca es suficiente. Por ejemplo, el revestimiento de bancos de río normalmente tiene un costo entre 200,000-300,000 US \$/km, y a veces puede llegar a tanto como 700,000-\$1 millones US \$/km. El terraplén Tan Chau en el delta del Mekong Delta es un caso extremo que costó cerca de \$7 millones US \$/km. La protección de bancos de río sólo en la provincia Quang Binh se estima que requiere una inversión de más de 20 millones US \$ pero el presupuesto anual es de solo 300,000 US \$.

La construcción de diques marinos cuesta entre 700,000-1 millones US \$/km, pero las secciones más costosas pueden tener costos superiores de 2.5 millones US \$/km, y no son poco comunes. Después de la tormenta No. 7 en Septiembre de 2005 muchas secciones de dique mejoradas fueron arrastradas, por lo que algunos gestores de diques concluyeron que incluso aquellas secciones protegidas con obras de ingeniería para soportar tormentas de nivel 9 eran demasiado débiles, y comenzaron a considerar seriamente la cons-

trucción de diques capaces de soportar tormentas de nivel 12 que costarían entre 7-10 millones US \$/km.

Las limitaciones presupuestarias siempre existen, lo que reduce las medidas de protección con estructuras rígidas a las secciones más críticas, nunca a todo lo largo del banco de río o de toda la línea costera. Este enfoque por bandas compensa los problemas.

Cada uno de estos eventos representa una falla en un talud o un movimiento en masa, siendo que el desplazamiento cuesta abajo de los detritos de roca y de los suelos es una respuesta a las fuerzas gravitacionales. Estos movimientos pueden ser muy lentos, casi imperceptibles, o devastadoramente rápidos y ocurrir en minutos. Son muchos los factores que afectan los desastres naturales de tipo climático, por lo que debemos entender las causas así como los principios básicos de la estabilización de pendientes o taludes. Esta información nos va a permitir emplear efectivamente los métodos de bioingeniería para reducir su impacto.

2. PRINCIPIOS GENERALES DE ESTABILIDAD DE UNA PENDIENTE Y ESTABILIZACIÓN DE PENDIENTES

2.1 Perfil de la pendiente

Algunas pendientes son gradualmente curvas, y otras son extremadamente inclinadas. El perfil de una pendiente erosionada de forma natural depende principalmente del tipo de roca y suelo, el ángulo natural de reposo del suelo y del clima. Para las rocas/suelos resistentes al deslizamiento, especialmente en zonas áridas, la meteorización química es muy lenta comparada con la física. La cresta de la pendiente es ligeramente convexa a angular, la cara del escarpe es casi vertical, y se presenta una pendiente de detritos con un ángulo de reposo de 30-35° en la cual el material suelto de un tipo específico de suelo es estable. Las rocas/suelos no resistentes, especialmente en zonas húmedas, se meteorizan rápidamente y se erosionan fácilmente. La pendiente resultante posee una capa gruesa de suelo. La cresta es convexa y la base es cóncava.

2.2 Estabilidad de la pendiente

2.2.1 Pendientes naturales, taludes de corte, taludes de carretera, etc.

La estabilidad de tales pendientes se basa en el equilibrio entre dos fuerzas, las fuerzas motoras y las fuerzas de resistencia. Las fuerzas motoras promueven los movimientos pendiente abajo y las fuerzas de resistencia lo impiden. Cuando las fuerzas motoras superan las fuerzas de resistencia, la pendiente se hace inestable.

2.2.2 Erosión de banco de río, de línea costera e inestabilidad de estructuras que retienen agua

Algunos ingenieros hidráulicos pueden argumentar que la erosión de banco de río y la inestabilidad de estructuras que retienen agua deben ser tratadas separadamente de otros tipos de fallas en pendientes ya que sus cargas respectivas son diferentes. En nuestra opinión, sin embargo, ambas están sujetas a la interacción entre “fuerzas motoras” y “fuerzas de resistencia”. Las fallas ocurren cuando las primeras superan a las segundas.

Sin embargo, la erosión de banco de río y la inestabilidad de estructuras que retienen agua son algo más complicadas; estas son el resultado de la interacción entre fuerzas hidráulicas que actúan en la base y el lecho y las fuerzas gravitacionales que afectan el material in-situ del banco. Las fallas ocurren cuando la erosión de la base del banco y del lecho del canal adyacente al banco incrementan la altura y el ángulo del banco al punto en que las fuerzas gravitacionales exceden las fuerzas de resistencia del material del banco. Después de la falla, el material originado del banco puede ser transportado al lecho del canal, dispersado como sedimento en suspensión, o ser depositado en la base del banco como un bloque intacto, o como material disgregado.

Los procesos de entalle del banco controlados fluvialmente tienen dos partes. El cizallamiento por erosión

fluvial de los materiales que conforman el banco resulta en un progresivo retiro del mismo. Adicionalmente, se produce un incremento en la altura del banco debido al deterioro del lecho inmediato del canal y/o un incremento en la inclinación del talud debido a la erosión fluvial en la parte inferior, lo que disminuye la estabilidad del canal con respecto a una falla. Dependiendo de las limitaciones en las propiedades del material y la geometría del perfil, un banco puede fallar como resultado de cualquiera de muchos mecanismos posibles, incluyendo fallas de tipo plano o traslacional, rotacional y fracturas.

Los mecanismos no fluviales controladores del entallamiento del banco incluyen los efectos de lavado de las olas, pisoteo, socavación, tunelización, asociados con bancos estratificados y condiciones de aguas subterráneas adversas.

2.2.3 Fuerzas motoras

Aunque la gravedad es la principal fuerza motora, esta no actúa sola. El ángulo de la pendiente, el ángulo de reposo del suelo particular, el clima, el material de la pendiente, y especialmente el agua, contribuyen en su efecto:

- Las fallas ocurren más frecuentemente en pendientes muy inclinadas que en las menos inclinadas.
- El agua ejerce un papel clave en producir una falla a las pendientes, en particular en la base:
 - En forma de ríos o por acción de las olas, el agua erosiona la base de las pendientes, removiendo el apoyo, lo que incrementa las fuerzas motoras.
 - El agua también incrementa las fuerzas motoras por carga, es decir, llenando los poros previamente vacíos y las fracturas, lo que añade a la masa total sujeta a las fuerzas de la gravedad.
 - La presencia del agua implica presión en los poros, lo que reduce las fuerzas de corte o de resistencia del material del talud. Muy importante, los cambios abruptos (incrementos y decrementos) en la presión de los poros pueden tener un papel decisivo en la ocurrencia de una falla.
 - La interacción con la superficie de la roca y el suelo (meteorización química) lentamente debilita el material de la pendiente, reduciendo la resistencia al corte. Esta interacción reduce las fuerzas de resistencia.

2.2.4 Fuerzas de resistencia

Las principales fuerzas de resistencia son la resistencia al corte de los materiales, una función de la cohesión (capacidad de las partículas de atraerse y mantenerse juntas unas con otras) y de la fricción interna (fricción entre los granos de un material) que se oponen a las fuerzas motoras. La relación entre las fuerzas de resistencia y las fuerzas motoras es el factor de seguridad (FS). Si el $FS > 1$ la pendiente es estable. Si no, se considera inestable. Comúnmente, un FS de 1.2-1.3 es marginalmente aceptable. Dependiendo de la importancia de la pendiente y el potencial de pérdidas asociadas con la falla, se debe garantizar un mayor FS. En resumen, la estabilidad de la pendiente es una función de: tipo de roca/suelo y su resistencia, geometría de la pendiente (altura y ángulo), clima, vegetación y el tiempo. Cada uno de estos factores puede tener un papel significativo en controlar las fuerzas motoras o de resistencia.

2.3 Tipos de fallas en pendientes

Dependiendo del tipo de movimiento y la naturaleza del material involucrado, pueden producirse diferentes tipos de fallas en las pendientes:

Cuadro 1: Tipos de fallas en pendientes.

| <i>Tipo de movimiento</i> | | <i>Material involucrado</i> | |
|---------------------------|--|-----------------------------|-------------------------------------|
| | | <i>Roca</i> | <i>Suelo</i> |
| <i>Desprendimientos</i> | | -Desprendimientos de roca | Desprendimiento de suelo |
| <i>Deslizamientos</i> | Rotacional | -Caída de bloque de roca | -Caída de bloque de suelo |
| | Traslacional | -Deslizamientos de roca | -Deslizamiento de detritos |
| <i>Flujos</i> | Lento | -Flujo de roca | -Soliflucción |
| | | | -material saturado y no consolidado |
| | | | -flujos de tierra |
| | | | - colada de barro (hasta 30% agua) |
| | Rápido | | -Flujos de detritos |
| | | | -Avalancha de detritos |
| <i>Complejo</i> | Combinación de dos o más tipos de movimiento | | |

Los desprendimientos y deslizamientos traslacionales en roca (involucrando uno o más planos de debilidad) ocurren. Debido a que los suelos son más homogéneos y carecen de un plano de debilidad visible, son más frecuentes los deslizamientos rotacionales y los flujos. En general, los movimientos en masa involucran más de un tipo de movimiento, por ejemplo un desprendimiento superior y un flujo en la parte basal, o un deslizamiento de suelo en la parte superior y un deslizamiento de roca en la parte inferior.

2.4 Impactos humanos en las fallas de una pendiente

Los deslizamientos son fenómenos naturales conocidos como erosión geológica. Los movimientos en masa o las fallas en las pendientes ocurren independientemente de la presencia del ser humano. Sin embargo, en los procesos que ocurren en las pendientes, las prácticas de uso de la tierra derivadas de las actividades humanas, desempeñan un papel primordial. La combinación de eventos naturales incontrolables (terremotos, tormentas intensas, etc.) y la alteración artificial de las tierras (excavaciones en pendientes, deforestación, urbanismo, etc.) puede generar fallas desastrosas de las pendientes.

2.5 Mitigación de fallas en pendientes

Minimizar las fallas en las pendientes requiere de tres pasos: la identificación de áreas potencialmente inestables, la prevención de fallas en las pendientes y, la implementación de medidas correctivas en el caso de fallas en las pendientes. Una comprensión a fondo de las condiciones geológicas es crítica para decidir acerca de la mejor práctica de mitigación.

2.5.1 Identificación

Los técnicos entrenados identifican fallas potenciales en pendientes estudiando fotografías aéreas para localizar sitios donde ocurrieron movimientos en masa o se presentan actualmente, y llevando a cabo investigaciones de campo de pendientes potencialmente inestables. Las áreas con mayor potencial para la ocurrencia de movimientos en masa se pueden identificar por la ocurrencia de altas pendientes, planos de inclinación orientados en dirección a la base de los valles, topografía irregular y de superficies sinuosas cubiertas de árboles jóvenes, filtraciones de agua, y áreas donde previamente han ocurrido estos procesos. Esta información es usada para generar mapas de riesgo las áreas con predisposición a la ocurrencia de movimientos en masa.

2.5.2 Prevención

La prevención de los movimientos en masa y de la inestabilidad de las pendientes es mucho más eficiente en costos que su corrección. Los métodos de prevención incluyen el control de los drenajes, reducción del ángulo de la pendiente y su altura, el establecimiento de cobertura vegetal, paredes de retención, pernos anclados en roca, concreto pulverizado de rápida solidificación. Éstos métodos de soporte deben ser aplicados correcta y apropiadamente asegurándose primero de que la pendiente es estable internamente y estructuralmente. Esto requiere de una buena comprensión de las condiciones geológicas.

2.5.3 Corrección

Algunos movimientos en masa pueden ser corregidos mediante la instalación de un sistema de drenaje para reducir la presión del agua en la pendiente, y prevenir movimientos futuros. La inestabilidad de las pendientes que bordean las carreteras y otros sitios importantes generalmente requiere de tratamientos muy costosos. Realizados a tiempo y apropiadamente, los drenajes superficiales y subsuperficiales son muy efectivos. Sin embargo, debido a que este tipo de acciones de mantenimiento son frecuentemente postergadas o ignoradas, medidas más rigurosas y costosas deben aplicarse cuando ocurran los problemas.

En Vietnam, los métodos de protección estructurales (revestimiento con roca de bancos de río, muros de retención, rompeolas, etc.) son usados comúnmente para estabilizar pendientes y bancos de río, y para controlar la erosión en las costas. Sin embargo, a pesar de su uso continuo por décadas, las pendientes siguen fallando la erosión empeora y los costos de mantenimiento de incrementan. ¿ Cuáles son las debilidades de estas metodologías? Desde un punto de vista estrictamente económico, las medidas estructurales son muy costosas, y los presupuestos de los estados y municipios para estos proyectos son insuficientes. Un Análisis técnico y económico trae a colación los siguientes asuntos:

- La extracción de minerales de las rocas / minas se produce en cualquier lugar, donde, sin duda, causa estragos en el medio ambiente;
- Las estructuras rígidas localizadas no absorben la energía de los flujos o de las olas. Debido a que este tipo de estructuras rígidas no logran adaptarse asentándose localmente, éstas causan fuertes gradientes. Los fuertes gradientes generan turbulencias adicionales, las cuales ocasionan más erosión. Además, debido a que los dispositivos son localizados, terminan de manera abrupta frecuentemente, no transitan gradualmente y suavemente hasta el banco o talud natural. De esa forma, la erosión simplemente se transfiere a otro lugar, generalmente hacia el lado opuesto o aguas abajo, lo que puede agravar los desastres, más que reducirlos tomando en cuenta el río como un todo. Ejemplos de esta situación abundan en muchas provincias de Vietnam Central;
- Las estructuras rígidas introducen cantidades considerables de piedra, arena y cemento en el sistema del río, desplazando y disponiendo grandes cantidades de suelo del banco en el río. En la medida que el cauce se sedimenta, cambia su dinámica, su lecho se eleva, y las inundaciones y erosión

se incrementan. Este problema es particularmente muy grave en Vietnam, donde los trabajadores lanzan los desechos de suelo directamente en el río en la medida en que conforman el banco del río. A menudo lanzan piedras hacia el río para estabilizar la base del banco que es inestable, o tratan de colocar piedras en el lecho, lo que reduce la profundidad del flujo en el canal considerablemente. Cuando finalmente el banco colapsa, pedazos de gavión, muros, etc. se mantienen dispersos en el agua causando agradación del lecho del río por causas antrópicas.

- Las estructuras rígidas no son naturales y son incompatibles con el suave piso de suelos erosionados o erosionables. En la medida en que el terreno se consolida y/o se erosiona y es lavado del sitio, se socava y se queda sin asiento la capa rígida superior. Un ejemplo es el banco inmediato aguas abajo de la presa Thach Nham (provincia Quang Ngai que se quebró y colapsó. Los ingenieros que sustituyeron las placas de concreto dejaron sin resolver el problema de erosión subsuperficial. A lo largo del dique marino Hai Hau, toda la sección de enrocado colapsó ya que el suelo debajo de la base fue lavado del sitio.
- Las estructuras rígidas solo resuelven temporalmente el problema de erosión. Ellas no pueden ayudar a estabilizar el talud cuando ocurren deslizamientos con planos de falla profundos;
- Los muros de concreto o de piedra son los métodos de ingeniería más comunes empleados para estabilizar taludes de carreteras en Vietnam. La mayoría de estos muros son pasivos, solo a la espera de que ocurra una falla en el talud,. Cuando ocurren fallas en la pendiente, los muros también fallan, tal como se observa a lo largo de la autopista Ho Chi Minh. Estas estructuras también son destruidas por los terremotos.

Las estructuras rígidas como los terraplenes recubiertos de roca obviamente no son aptas para determinadas aplicaciones, tales como la estabilización de dunas; son construidos todavía como puede observarse en la nueva carretera en Vietnam central.

2.6 Estabilización vegetativa de pendientes

La vegetación ha sido utilizada por siglos como una herramienta natural en bioingeniería para la rehabilitación y saneamiento de tierras, control de erosión y estabilización de taludes, y su popularidad se ha incrementado marcadamente debido parcialmente al hecho de que hay más información disponible para los ingenieros sobre la vegetación, y también parcialmente debido a que su relación costo./efectividad y ser amigable al ambiente considerándose un enfoque de ingeniería “ligera”.

Considerando los impactos de los diversos factores presentados anteriormente, una pendiente se hace inestable debido a: (a) erosión superficial o “erosión laminar”; y (b) debilidad estructural interna. La erosión laminar cuando no es controlada, a menudo se convierte en erosión en surcos y cárcavas, que en el tiempo, desestabilizarán la pendiente; la debilidad estructural causará finalmente movimientos en masa como deslizamientos. Debido a que la erosión laminar también puede causar fallas en las pendientes, la protección de la superficie debe ser considerada tan importante como otras medidas estructurales de refuerzo, pero su importancia es a menudo ignorada. La protección de las pendientes es una medida preventiva efectiva, económica y esencial. En muchos casos, la aplicación de algunas medidas preventivas va a asegurar la estabilidad permanente de la pendiente, y siempre van a costar mucho menos que las medidas correctivas.

La cobertura vegetativa que provee la siembra de hierbas, la hidrosiembra o el hidromulch, son por lo general efectivas contra la erosión laminar, y las plantas con raíces profundas como árboles y arbustos pueden proveer cierto reforzamiento estructural al terreno. Sin embargo, en taludes recién construidos, las capas superficiales no están bien compactadas, por lo que incluso en superficies bien vegetadas no es posible pre-

venir la formación de surcos y cárcavas. En estos casos, los ingenieros resaltan la ineficiencia de la cobertura vegetal e instalan refuerzos estructurales inmediatamente después de la construcción. En resumen, la protección tradicional provista por vegetación herbácea y leñosa local no puede, en muchos casos, asegurar la estabilidad necesaria.

2.6.1 Pros, contras y limitaciones de recubrir con vegetación una pendiente

Cuadro 2: Efectos generales de la vegetación en la estabilidad de una pendiente.

| Efecto | Características Físicas |
|--|---|
| Benéficos | |
| Refuerzo de las raíces, , arqueado del suelo, soporte, anclaje, detención de rocas sueltas que ruedan entre los árboles | Aireación de las raíces, distribución y morfología; fuerza de resistencia o tensión de las raíces; espaciamiento, diámetro y empotramiento de los árboles, grosor e inclinación del estrato que cede; propiedades de la fuerza de corte del suelo |
| Abatimiento de la humedad en el suelo e incremento de la succión por la absorción de las raíces y la transpiración | Contenido de humedad del suelo; Nivel del agua freática; presión de poros/succión del suelo |
| Intercepción de la lluvia por el dosel incluyendo las pérdidas por evaporación | Precipitación neta en la pendiente |
| Incremento de la resistencia hidráulica en los canales de riego y drenaje | Coeficiente de Manning |
| Adversos | |
| Empuje por las raíces de piedras y rocas cercanas a la superficies y remoción por desarraigo en tifones | Relación de superficie de las raíces, distribución y morfología |
| Sobrecarga de la pendiente por árboles grandes y pesados (algunas veces beneficiosos dependiendo de la situación específica) | Peso promedio de la vegetación |
| Carga por viento | Velocidad de diseño del viento según período de retorno; altura de árboles maduros por grupos de árboles |
| Mantenimiento de la capacidad de infiltración | Variación del contenido de humedad en profundidad |

Cuadro 3: Limitaciones por ángulo de la pendiente en el establecimiento de vegetación.

| Ángulo de la pendiente (grados) | Tipo de Vegetación | |
|---------------------------------|---|---|
| | Hierbas/Pastos | Arbustos/Árboles |
| 0 - 30 | Pocas dificultades; pueden ser usadas técnicas de plantación de rutina | Pocas dificultades; pueden ser usadas técnicas de plantación de rutina |
| 30 - 45 | Dificultades progresivas para colocar estolones y panelas; aplicación rutinaria de hidrosiembra | Dificultad progresiva para plantar. |
| > 45 | Se requieren consideraciones especiales | La plantación debe ser realizada por lo general en terrazas de banco o individuales |

2.6.2 Estabilización vegetativa de pendientes en Vietnam

Las soluciones vegetativas o blandas han sido empleadas en Vietnam en menor grado. El método de bioingeniería más popular para controlar la erosión de banco de río es probablemente la siembra de bambú (la cual, dependiendo del caso, es una de las peores medidas que se pueden tomar. Cuando las macollas de bambú son llevadas por una inundación río abajo estas pueden arrastrar puentes y todo lo que se les atraviese. Estas tienen una fuerza de tensión tan grande que no se rompen). Para controlar erosión costera, se emplea el mangle, las casuarinas, las piñas silvestres y la palma nipa. Sin embargo, estas plantas poseen algunas deficiencias importantes, por ejemplo:

- Aún cuando crece formando macollas, el bambú es de raíces superficiales y no forma barreras densas. Por ello, las corrientes de agua se concentran en los huecos entre las macollas, lo que incrementa su poder destructivo y causa más erosión;
- El bambú es bastante pesado. Su sistema de raíces superficial (1-1.5 m profundidad) no llega a balancear el dosel alto y pesado. Por tanto, las macollas de bambú le suman estrés a un banco de río sin contribuir a su estabilidad;
- Con frecuencia, el montón del sistema de raíces del bambú desestabiliza el suelo debajo de él, promoviendo la erosión y creando las condiciones para deslizamientos mayores. Muchas provincias en Vietnam Central presentan ejemplos de fallas de bancos luego de la instalación de extensas franjas de bambú;
- Los árboles de Mangle, donde estos pueden crecer, forman un área amortiguadora “buffer” que reduce el poder de las olas, y en consecuencia, reduce la erosión costera. Sin embargo, establecer mangle es difícil y lento y los ratones se comen las plántulas. De cientos de hectáreas plantadas, normalmente solo un pequeño porcentaje sobrevive hasta formar un bosque. Esto ha sido reportado recientemente en la provincia Ha Tinh;
- Los árboles de Casuarinas han sido plantados en miles de hectáreas en las dunas de arena en Vietnam Central. Las piñas silvestres son plantadas también a lo largo de bancos de río, quebradas y otros canales, y a lo largo de las líneas de contorno de las pendientes de las dunas. Aunque estas reducen el poder de los vientos y minimizan las tormentas de arena, estas plantas no pueden detener el flujo de la arena ya que poseen sistemas de raíces superficiales y no forman una barrera cerrada y densa. A pesar de que las siembras de casuarinas y piñas silvestres detienen los diques de arena, los dedos de arena continúan invadiendo terrenos agrícolas como sucede en la provincia de Quang Binh. Además, ambas plantas son sensibles al clima; las plántulas de casuarinas difícilmente sobreviven a inviernos esporádicos extremos (menos de -15°C/5°F), y la piña silvestre no puede sobrevivir los abrasadores veranos en el norte de Vietnam

Afortunadamente, el vetiver crece rápido, se establece en condiciones hostiles, y su sistema de raíces profundo y ramificado provee estabilidad estructural en un período corto de tiempo. Es por ello que el vetiver puede ser una alternativa apropiada en comparación a la vegetación tradicional, siempre y cuando se aprendan las técnicas de uso que se dan a continuación y se sigan cuidadosamente.

3. ESTABILIZACIÓN DE PENDIENTES USANDO EL SISTEMA VETIVER

3.1 Características del vetiver apropiadas para la estabilización de taludes

Los atributos únicos del Vetiver' han sido investigados, evaluados, y desarrollados en el mundo tropical, confirmando que realmente el vetiver es una herramienta muy efectiva en la bioingeniería:

- Aunque técnicamente es un pasto, las plantas de vetiver usadas en la estabilización de terrenos se comportan más bien como árboles o arbustos de rápido crecimiento. Las raíces del vetiver son, por unidad de área, más fuertes y profundas que las raíces de los árboles.
- El sistema de raíces del vetiver es extremadamente profundo y forma una masa finamente estructurada que se extiende hacia abajo dos a tres metros (seis a nueve pies) en el primer año. En pendientes de relleno, muchos experimentos muestran que este pasto puede alcanzar 3.6m (12 pies) en 12 meses. (Nótese que el vetiver no penetra profundamente en la mesa de agua freática. por lo tanto, en sitios con mesa de agua alta, su sistema de raíces no se extiende tan largamente como en los suelos secos). El sistema de raíces grueso y extenso, amarra el suelo y lo hace muy difícil de remover, y también extremadamente tolerante a la sequía.
- Las raíces del vetiver, tan fuertes o más fuertes que las de muchas especies leñosas, tienen una fuerza de tensión alta, lo que ha demostrado ser positivo para el reforzamiento por las raíces de pendientes inclinadas.
- Estas raíces tienen una fuerza de tensión promedio probada de alrededor de 75 Mega Pascales (MPa), que es equivalente a 1/6 del reforzamiento con acero blando y un incremento de la resistencia al corte de 39% a una profundidad de 0.5m (1.5 pies).
- Las raíces del Vetiver pueden penetrar un perfil de suelo compactado como un "hardpan" o una capa de arcilla blocosa dura, muy comunes en suelos tropicales, proporcionando un buen anclaje para rellenos y material de suelo superficial.
- Cuando se plantan juntas y muy cercanas, las plantas de vetiver forman una barrera densa que reduce la velocidad del flujo superficial, y desvía la escorrentía, conformando un filtro muy eficiente que controla la erosión. Las barreras detienen el flujo y lo dispersan, permitiendo un mayor tiempo para que infiltre en el terreno.
- Al actuar como un filtro muy efectivo, las barreras de vetiver reducen la turbidez del escurrimiento superficial. Debido a que brotan nuevas raíces de los nudos que quedan enterrados en el sedimento, el vetiver se adapta continuamente al nuevo nivel del terreno. Se van formando terrazas en la cara superior de la barrera, este sedimento no debe ser removido nunca. El sedimento fértil usualmente contiene semillas de plantas locales, lo que facilita su restablecimiento.
- El Vetiver tolera variaciones climáticas y ambientales extremas, incluyendo sequías prolongadas, inundaciones y sumersión, y temperaturas extremas en un rango que va desde -14°C a 55°C (7° F a 131°F) (Truong et al, 1996).
- Este pasto rebrota muy rápido después de la sequía, helada, sales y otras condiciones de suelo adversas cuando los efectos adversos son eliminados.
- El Vetiver presenta un alto nivel de tolerancia a la acidez del suelo, salinidad, sodicidad y condiciones sulfato ácidas (Le van Du y Truong, 2003).

El Vetiver es muy efectivo cuando se planta junto a corta distancia sobre hileras en contorno en las pendientes. Las líneas de contorno con vetiver pueden estabilizar pendientes naturales, pendientes de corte y de relleno, y terraplenes de relleno. Su sistema de raíces profundo y vigoroso puede estabilizar estructuralmente las pendientes y al mismo tiempo su vástago dispersa la escorrentía superficial, reduce la erosión, y atrapa sedimentos que facilitan el crecimiento de especies nativas - foto 1.



Foto 1: El Vetiver forma un biofiltro grueso y efectivo (izquierda) y debajo de la superficie (derecha).

Hengchaovanich (1998) también observó que el vetiver puede crecer verticalmente en pendientes con inclinaciones mayores a 150% (~56°). Su crecimiento rápido y reforzamiento sobresaliente lo hacen un mejor candidato para la estabilización de pendientes que otras plantas. Otra característica menos obvia que lo coloca aparte de la raíz de otros árboles es su capacidad de penetración. Su fuerza y vigor le permiten penetrar suelos difíciles, capas endurecidas, y capas rocosas con puntos débiles. Puede atravesar incluso pavimentos de asfalto y concreto. El mismo autor caracteriza las raíces de vetiver como “pilotes vivos” de 2-3m (6-9 pies) usados comúnmente en “enfoces duros” en trabajos de estabilización de pendientes. Combinado con su capacidad de establecerse rápidamente en condiciones de suelo difíciles, todas estas características hacen al vetiver una planta más apropiada para la estabilización de taludes en comparación con otras.



Figura 1: Izquierda: Principios de estabilización de pendientes con el vetiver; derecha: Las raíces de Vetiver refuerzan esta pared de dique protegiéndola de ser arrastrada por las crecidas e inundaciones.

3.2 Características del vetiver adecuadas para la mitigación de desastres asociados con el agua

Para reducir el impacto de desastres asociados con el agua tales como las inundaciones, erosión de banco de río y costera, inestabilidad de diques y represas, el vetiver se siembra en hileras ya sea paralelas a o cruzando la dirección del flujo del agua o de las olas. Sus características adicionales únicas son muy útiles:

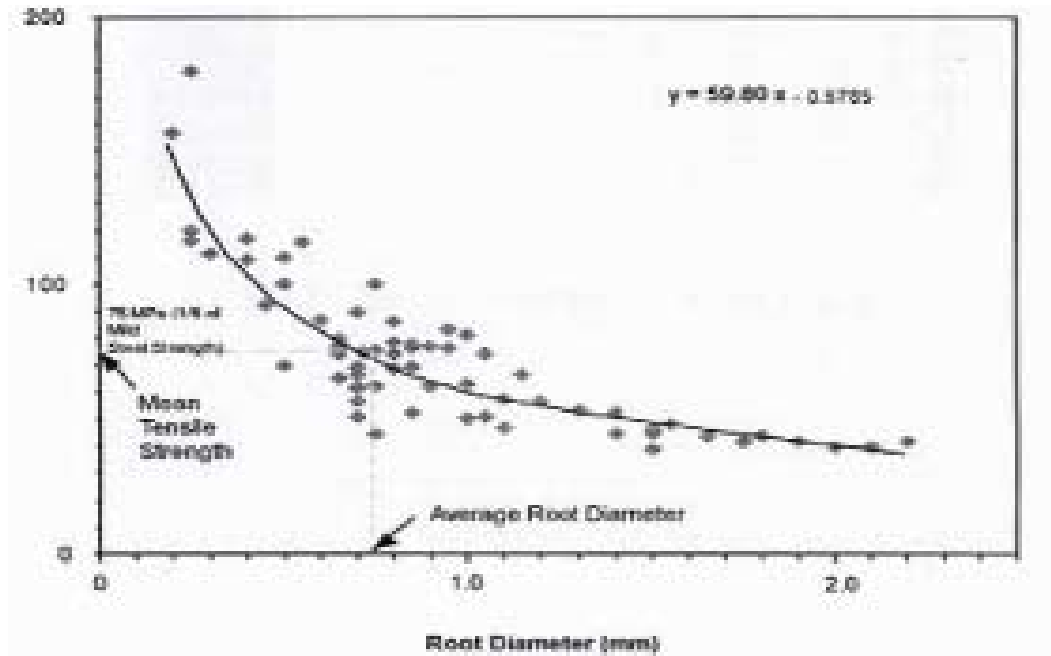
- Dada la extraordinaria profundidad y fortaleza de sus raíces, el vetiver maduro es extremadamente resistente a ser arrastrado por flujos de alta velocidad. El vetiver plantado en el norte de Queensland (Australia) ha soportado velocidades de flujos superiores a 3,5m/s (10'/s) en ríos bajo situaciones de inundación y, en el sur de Queensland, hasta de 5m/s (15'/s) en un canal de drenaje inundado.
- En situaciones de flujos superficiales o de baja velocidad, los tallos erguidos y firmes del vetiver actúan como una barrera que reduce la velocidad del flujo (i.e. incrementando la resistencia hidráulica) y atrapa el sedimento erosionado. De hecho, el puede mantener su follaje erecto en un flujo con profundidades de 0.6-0.8m (24-31").
- Las hojas del vetiver se desprenden con flujos más profundos y veloces, suministrando una protección extra a la superficie del suelo y a la vez reduciendo la velocidad del flujo.
- Cuando se planta en estructuras que retienen agua como diques y represas, las barreras de vetiver ayudan a reducir la velocidad del flujo, disminuye el nivel máximo de las olas y la erosión que éstas causan, y reducen el volumen de agua cuando ésta sobrepasa la estructura o la que pudiese entrar en las áreas protegidas por la misma. Estas barreras también ayudan a reducir la erosión regresiva que ocurre a menudo cuando el flujo del agua o el de las olas se retira, luego de haber subido sobre la estructura .
- Como planta de pantanos, el vetiver resiste sumersión prolongada. Experiencias en China demuestran que el vetiver sobrevivió más de dos meses bajo aguas claras.

3.3 Tensión y fuerzas de corte de las raíces de vetiver

Hengchaovanich y Nilaweera (1996) encontraron que la fuerza de tensión de las raíces de vetiver se incrementa con una reducción en el diámetro de las raíces, lo que implica que las raíces finas, más fuertes, suministran mayor resistencia que las raíces gruesas. La fuerza de tensión de las raíces del vetiver varía entre 40-180 MPa en un rango de diámetro de raíces entre 0.2-2.2 mm (.008-.08"). La fuerza de tensión promedio de diseño es de 75 MPa para diámetros de raíz de 0.7-0.8 mm (.03"), que es el tamaño más común de raíces de vetiver, y es equivalente aproximadamente a un sexto del acero blando. Por lo tanto, las raíces de vetiver son tan fuertes o más fuertes que las de muchas especies leñosas que han sido probadas positivamente para el refuerzo de pendientes - Figura 2 y Cuadro 4.

En una prueba de resistencia al corte en un bloque de suelo, Hengchaovanich y Nilaweera (1996) también encontraron que la penetración de raíces de una barrera de vetiver de dos años de establecida con una separación entre plantas de 15cm (6") se puede aumentar la resistencia al corte del suelo en los 50 cm (20") de la anchura de la franja adyacente en un 90% a 0.25 m (10") de profundidad. El incremento fue del 39% a 0.50 m (1.5') de profundidad y gradualmente se redujo a 12.5% a un metro (3') de profundidad. Además, el sistema de raíces denso y masivo del vetiver ofrece un mayor incremento de la resistencia al corte por unidad de concentración de fibra (6-10 kPa/kg de raíz por metro cúbico de suelo) en comparación con 3.2-3.7 kPa/kg de raíz de árboles (Fig.3). Los autores explican esto cuando las raíces de las plantas atraviesan el plano de una superficie potencial de corte en un perfil de suelo, cuando esto ocurre se presenta una distorsión de la zona de corte desarrollándose una tensión en las raíces; el componente de esta tensión tangencial a la zona de corte resiste directamente al corte, mientras que el componente de la normal incrementa la presión de confinamiento en el plano de corte.

Figura 2: Distribución del diámetro de las raíces



Cuadro 4: Fuerza de tensión de la raíz de algunas plantas

| Nombre botánico | Nombre común | Fuerza de tensión (MPa) |
|---------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------|
| <i>Salix</i> spp | Sauce | 9-36 |
| <i>Populus</i> spp | Poplars | 5-38 |
| <i>Alnus</i> spp | Alisos | 4-74 |
| <i>Pseudotsuga</i> spp | Abeto de Douglas | 19-61 |
| <i>Acer sacharinum</i> | Arce plateado ó Arce del azúcar | 15-30 |
| <i>Tsuga heterophylla</i> | Hemlock occidental o Tsuga Hemlock | 27 |
| <i>Vaccinum</i> spp | Arándano | 16 |
| <i>Hordeum vulgare</i> | Cebada | 15-31 |
| | Pastos, Hierbas | 2-20 |
| | Musgos | 2-7 kPa |
| <i>Chrysopogon zizanioides</i> | Pasto Vetiver | 40-120 (promedio 75) |

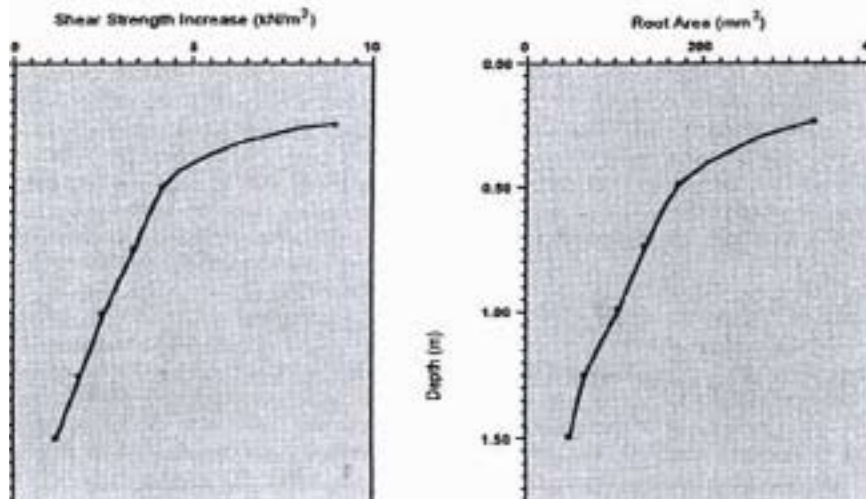


Figura 3. Fuerzas de resistencia al corte de la raíz del vetiver

Cheng et al (2003) complementaron las investigaciones sobre resistencia de la raíz realizadas por Diti Hengchaovanich conduciendo ensayos posteriores en otros pastos - Cuadro 5. Aunque el vetiver tiene las raíces más finas en segundo lugar, su fuerza de tensión es casi tres veces mayor que la del resto de las plantas evaluadas.

Cuadro 5: Diámetro y fuerza de tensión de la raíz de varias hierbas.

3.4 Características hidráulicas

| Pasto, grama o hierba | Diámetro promedio de la raíz (mm) | Fuerza de tensión promedio(MPa) |
|--|-----------------------------------|---------------------------------|
| Juncia (Juncellus serotinus) | 0.38±0.43 | 24.50±4.2 |
| Pasto miel, grama de agua (Paspalum dilatatum) | 0.92±0.28 | 19.74±3.00 |
| Trébol blanco (Trifolium repens) | 0.91±0.11 | 24.64±3.36 |
| Vetiver | 0.66±0.32 | 85.10±31.2 |
| Gramma cienpiés (Eremochioa ophiuroides) | 0.66±0.05 | 27.30±1.74 |
| Pasto Bahía (Paspalum notatum) | 0.73±0.07 | 19.23±3.59 |
| Gramma de Manila (Zoysia) | 0.77±0.67 | 17.55±2.85 |
| Pasto Bermuda (Cynodon dactylon) | 0.99±0.17 | 13.45±2.18 |

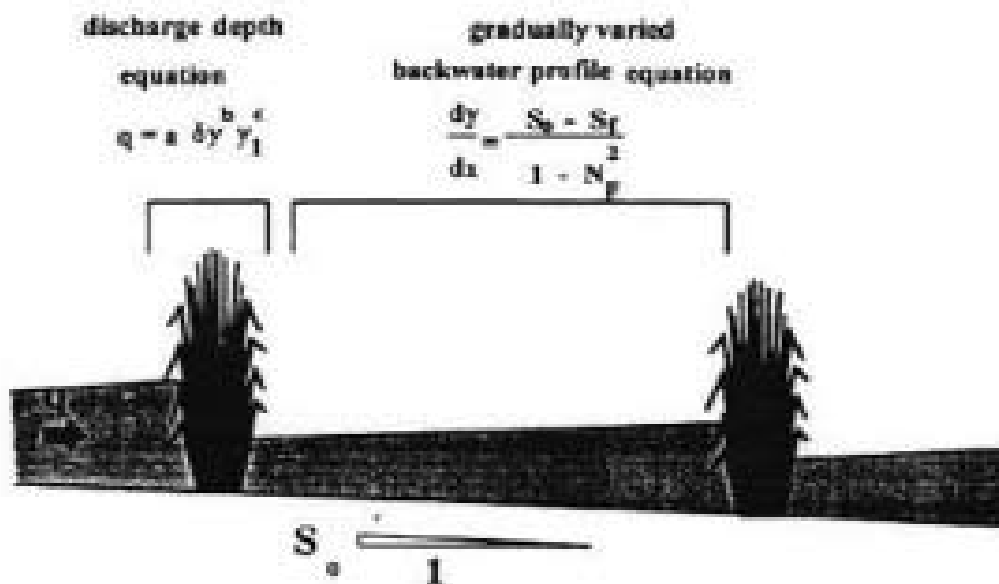
Al sembrarse en hileras, las plantas de vetiver forman barreras densas; sus tallos firmes permiten que estas den-

Las barreras se mantienen paradas por encima de los 0.6-0.8m (2-2.6') al menos, formando una barrera viva que hace más lenta la escorrentía y la dispersa. Cuando se planifica apropiadamente, estas barreras son estructuras muy efectivas que dispersan y derivan el agua de escorrentía hacia áreas estables o drenajes apropiados para una descarga segura.

Ensayos con canales de flujo conducidos en la Universidad del Sur de Queensland para estudiar el diseño y la incorporación del vetiver en un trazado entre franjas de cultivo para la mitigación de inundaciones, confirmaron las características hidráulicas de las barreras de vetiver en flujos profundos. Figura 4. Las barreras redujeron sucesivamente la velocidad de las inundaciones y limitaron el movimiento del suelo; las franjas en barbecho sufrieron muy poca erosión, y un cultivo de sorgo joven fue protegido completamente del daño de la inundación (Dalton et al, 1996).

Figura 4: Modelo hidráulico de una inundación atravesando barreras de vetiver.

Donde:



q = descarga por unidad de ancho

y = profundidad del flujo y_1 = profundidad aguas arriba

S_0 = pendiente del terreno S_f = energía de la pendiente N_F = el número Froude del flujo

3.5 Presión de agua en los poros

La cobertura vegetal en las tierras en pendientes incrementa la infiltración del agua. Existe la preocupación de que el excedente de agua incrementa la presión de agua en los poros del suelo y promueve la inestabilidad de la pendiente. Sin embargo, observaciones de campo muestran en realidad una mejora. Primero, al plantar en líneas en contorno o líneas de patrones modificados que atrapan y dispersan el agua de escorrentía en la pendiente, el sistema de raíces del vetiver y el efecto de flujo de paso distribuye el agua excedente más uniformemente y de manera gradual, ayudando a prevenir acumulaciones locales.

Segundo, el probable incremento de la infiltración es compensado por una tasa de agotamiento mayor y más gradual del agua del suelo por el pasto. Investigaciones sobre la competencia por el agua en el suelo

en cultivos en Australia (Dalton et al, 1996) muestran que, bajo unas condiciones de poca precipitación, el agotamiento de la humedad del suelo puede alcanzar hasta 1.5m (4.5') desde las barreras. Esto incrementa la infiltración de agua en esa zona, promoviendo la reducción del agua de escorrentía y las tasas de erosión. Desde una perspectiva geotécnica, estas condiciones ayudan a mantener la estabilidad de la pendiente. En pendientes muy inclinadas (30-60°), el espacio vertical entre barreras de 1m (3') IV (Intervalo Vertical) es muy corto. Por lo tanto, el agotamiento de la humedad será mayor y mejorará aun más el proceso de estabilización de la pendiente. Sin embargo, para reducir los efectos potencialmente dañinos en pendientes inclinadas en zonas de alta precipitación, las barreras de vetiver deben ser plantadas con un gradiente de 0,5% como se hace con las terrazas de drenaje para desviar el agua excedente hacia drenajes de salida estables (Hengchaovanich, 1998).

3.6 Aplicaciones del SV en la mitigación de desastres naturales y protección de infraestructura

Debido a sus características únicas, el vetiver es generalmente muy útil en controlar la erosión en taludes de corte y relleno y en otras pendientes asociadas con la construcción de carreteras, y particularmente efectivo en suelos altamente erosionables y separables, tales como los sódicos, alcalinos, ácidos y sulfato ácidos.

Las siembras de Vetiver han sido muy efectivas en el control de la erosión o estabilización en las siguientes condiciones:

- Estabilización de pendientes a lo largo de autopistas y vías férreas. Especialmente efectivo en trayectos montañosos de carreteras rurales, donde las comunidades carecen de suficientes fondos para la estabilización de las carreteras y donde frecuentemente ésta toma parte en la construcción de la vía.
- La estabilización de taludes en diques y represas, la reducción de la erosión en bancos de río, canales y líneas costeras y la protección de estructuras rígidas propiamente (e.g. enrocados, muros de contención de concreto, gaviones, etc.).
- Pendientes sobre la entrada y la salida de las alcantarillas (cunetas, alcantarillas, y sus bases).
- La interface entre estructuras de cemento y roca y superficies de suelo erosionables.
- Como franja filtrante en la entrada de alcantarillas.
- Para reducir la energía en la salida de las alcantarillas.
- Para estabilización de la erosión de cabecera en cárcavas, sembrando las barreras de vetiver en contorno sobre la cabecera de la cátedra.
- Para eliminar la erosión causada por la acción de las olas, plantando unas pocas hileras de vetiver en el borde de la línea o cota de agua más alta en taludes de grandes diques en tierras agrícolas y en bancos de río.
- En plantaciones forestales, para estabilizar los hombros de las carreteras de acceso en pendientes muy inclinadas así como las cárcavas (senderos/caminos) que se desarrollan después de las cosechas.

Debido a sus características únicas, el vetiver controla efectivamente desastres asociados con el agua como inundaciones, erosión de banco de río y de líneas costeras, erosión de diques y represas, y en general la inestabilidad. También protege puentes, bases de alcantarillas y la interface entre estructuras de cemento /roca y el suelo. El Vetiver es particularmente efectivo en áreas dónde el relleno del terraplén es altamente erosionable y separable, como en el caso de suelos sódicos, alcalinos, y ácidos (incluyendo los suelos sulfato ácidos).

3.7 Ventajas y desventajas del Sistema Vetiver

Ventajas:

- La mayor ventaja del SV sobre medidas convencionales de ingeniería es su bajo costo y larga duración. Para la estabilización de taludes en China, por ejemplo, el ahorro está por el orden de 85-90% (Xie, 1997 y Xia et al, 1999). En Australia, la ventaja en costos del SV sobre los métodos de ingeniería convencionales está en el rango de 64% a 72%, dependiendo del método usado (Braken y Truong 2001). En resumen, sus máximos costos son sólo 30% de los costos de las medidas tradicionales. Adicionalmente, los costos anuales de mantenimiento son reducidos significativamente una vez que las barreras de vetiver se han establecido.
- Como en otras tecnologías de la bioingeniería, el SV es una manera natural, ambientalmente amigable de controlar erosión y estabilizar los terrenos que suaviza la apariencia dura de medidas de ingeniería convencionales como las estructuras de concreto y de roca. Esto es muy importante en zonas urbanas y semi rurales dónde las comunidades locales rechazan la apariencia desagradable de las obras de infraestructura.
- Los costos de mantenimiento a largo plazo son bajos. En contraste con las obras de ingeniería convencionales, la tecnología verde mejora en la medida que madura la cobertura vegetal. El SV requiere un sistema de mantenimiento en los primeros dos años; sin embargo, una vez establecido, será virtualmente libre de mantenimiento. Por lo tanto, el uso del vetiver es particularmente apropiado para áreas remotas dónde los costos de mantenimiento son altos y las condiciones difíciles.
- El vetiver es muy efectivo en suelos pobres y muy erosionables y separables.
- El SV es muy apropiado en áreas dónde la mano de obra es de bajo costo.
- Las barreras de vetiver son naturales, una técnica de bioingeniería suave, y eco-amigable en comparación con estructuras rígidas y duras.

Desventajas:

- La principal desventaja de las aplicaciones del SV es su intolerancia a condiciones de sombra, específicamente en la etapa de establecimiento. La sombra parcial afecta su crecimiento; la sombra severa puede eliminar el vetiver al reducir su capacidad de competir con otras especies más tolerantes a la sombra. Sin embargo, esta debilidad puede ser deseable en situaciones dónde la estabilización inicial requiere de plantas pioneras que creen un micro ambiente que hospede la introducción espontánea o planeada de especies nativas endémicas.
- El Sistema Vetiver es efectivo sólo cuando las plantas están bien establecidas. Una planificación efectiva debe considerar un período de establecimiento de 2-3 meses en clima cálido y 4-6 meses en tiempos de clima frío. Para evitar retrasos la siembra puede hacerse plantando con antelación, en la época seca si se dispone de riego.
- Las barreras de Vetiver son efectivas plenamente sólo cuando forman una barrera densa. Los huecos entre plantas deben ser replantados a tiempo..
- Es difícil plantar y regar vegetación en pendientes muy inclinadas y altas.
- El vetiver requiere protección del ganado durante sus fases de establecimiento.

Basado en estas consideraciones, las ventajas de usar el SV como una herramienta en bioingeniería superan las desventajas, en especial cuando el vetiver es usado como una planta pionera.

Hay evidencia a nivel mundial que sustenta el uso del SV para estabilizar taludes. El vetiver ha sido usado exitosamente para estabilizar bordes de carreteras, entre otros, en Australia, Brasil, América Central, China, Etiopía, Fiji, India, Italia, Madagascar, Malasia, Filipinas, Sur África, Sri Lanka, Venezuela, Vietnam, y las Indias Orientales. Usado en conjunto con otras aplicaciones geotécnicas, el vetiver ha sido utilizado para estabilizar taludes en Nepal y Sur África.

3.8 Combinación con otros tipos de remediación

El vetiver es efectivo por sí mismo y combinado con otros sistemas tradicionales. Por ejemplo, en una sección dada de un banco de río o de un dique, una cobertura con rocas o concreto puede reforzar la parte que va sumergida, y el vetiver puede reforzar la parte superior. Esta aplicación en paralelo crea un factor de estabilidad y seguridad (que no siempre son ciertas y/o necesarias). El vetiver también puede ser plantado con bambú, una planta usada tradicionalmente para proteger los bancos de río. Las experiencias han demostrado que usar sólo bambú tiene muchos inconvenientes que se pueden superar al añadir el vetiver. Como se dijo anteriormente, cuando el bambú es arrastrado puede crear serios problemas en los ríos con puentes que presentan un nivel bajo.

3.9 Modelaje computarizado

Los programas (software) desarrollados por Prati Amati, Srl (2006) en colaboración con la Universidad de Milán determinan el porcentaje o cantidad de las fuerzas de resistencia al corte que las raíces del vetiver añaden a varios suelos con barreras de vetiver. El programa ayuda a evaluar la contribución para estabilizar taludes inclinados, particularmente diques de tierra. En condiciones promedio de pendiente y suelo, la instalación de las barreras de vetiver incrementa la estabilidad de la pendiente en un 40%.

La utilización del programa requiere que el operador introduzca los siguientes parámetros geotécnicos relacionados con un sitio particular:

- Tipo de suelo.
- Grado de la pendiente.
- Máximo contenido de humedad
- Cohesión del suelo como mínimo.

El programa indica el número de plantas por metro cuadrado requeridas así como el distanciamiento entre hileras, considerando el grado de la pendiente. Por ejemplo:

- una pendiente de 30° requiere seis plantas por metro cuadrado (i.e. 7-10 plantas por metro lineal) y una distancia entre hileras alrededor de 1,7 m (5,7').
- una pendiente de 45° requiere 10 plantas por metro cuadrado (i.e. 7-10 plantas por metro lineal) y una distancia entre hileras cercana a 1 m (3').

4. DISEÑO Y TÉCNICAS APROPIADAS

4.1 Precauciones

EL SV es una tecnología nueva. Como una tecnología nueva, sus principios deben ser estudiados y aplicados apropiadamente para obtener los mejores resultados. No seguir los fundamentos básicos puede acarrear frustraciones, y peor aún, resultados adversos. Como una técnica de conservación de suelos, y más recientemente, como una herramienta en bioingeniería, la aplicación efectiva del SV requiere un conocimiento de la biología, ciencias del suelo, hidráulica, hidrología, y principios geotécnicos. Por lo tanto, para proyectos de mediana a gran escala, que involucran diseños y construcciones de ingeniería significativos, el SV es mejor que sea aplicado por especialistas con experiencia más que por los lugareños. Sin embargo, el conocimiento de enfoques participativos y de manejo apoyado en las comunidades locales es también muy importante. Por ello, la tecnología debe ser diseñada e implementada por expertos en el uso del vetiver, en asociación con un agrónomo y un ingeniero geotécnico, y con la asistencia de los campesinos y agricultores locales.

Además, aunque es un pasto, el vetiver se comporta más como un árbol, debido a su extenso y profundo sistema de raíces. Para añadir más a la confusión, el SV puede explotar y aprovechar diferentes características del vetiver para diferentes aplicaciones. Por ejemplo, sus raíces profundas estabilizan el terreno, su denso follaje atrapa sedimentos y dispersa el agua, y su extraordinaria tolerancia a condiciones hostiles le permite rehabilitar suelos y agua contaminados.

Las fallas del SV pueden, en la mayoría de los casos, ser atribuidas a malas aplicaciones más que a la planta en sí misma o a la tecnología recomendada. Por ejemplo, en un caso, el vetiver fue utilizado en Filipinas para estabilizar taludes en una autopista nueva. Los resultados fueron muy decepcionantes y ocurrieron fallas. Luego se supo que los ingenieros que especificaron el SV, el vivero que suministró las plantas, y los supervisores de campo y obreros que ejecutaron la siembra, carecían de experiencia o entrenamiento previo en el uso del SV para la estabilización de pendientes inclinadas.

La experiencia en Vietnam demuestra que el vetiver ha sido empleado muy exitosamente cuando este es aplicado correctamente. No es de sorprenderse, que aplicaciones incorrectas puedan fallar. Trabajos en las Tierras Altas Centrales de Vietnam demuestran que el vetiver ha protegido efectivamente taludes de carreteras. Sin embargo, entre las masivas aplicaciones en pendientes muy altas e inclinadas sin terraceamiento, a lo largo de la autopista Ho Chi Minh, han producido algunas fallas. En resumen, para asegurar el éxito, los políticos, diseñadores e ingenieros que planean el uso del Sistema Vetiver para la protección de infraestructura deben considerar las siguientes precauciones:

Precauciones técnicas:

- Para asegurar el éxito, el diseño debe ser realizado o supervisado por personas entrenadas.
- Al menos por los primeros meses, mientras las plantas se establecen, el sitio debe ser estable internamente en contraposición a la ocurrencia de fallas. El vetiver manifiesta sus plenas capacidades cuando madura, y las pendientes pueden fallar durante el período de establecimiento.
- El SV es aplicable sólo a pendientes de tierra con inclinaciones que no deben nunca exceder 45-50°
- El vetiver crece muy pobremente en la sombra, por lo que plantarlo directamente debajo de un puente u otro tipo de estructura que cause sombra debe ser evitado.

Precauciones para los políticos, planificadores y organizaciones:

- Tiempo: la planificación debe considerar las estaciones o temporadas y el tiempo que le toma crecer a los materiales plantados.
- Mantenimiento y reparación: en etapas tempranas, hay un período durante el cual todavía el vetiver no es efectivo. La planificación y el presupuesto deben anticipar el remplazo de algunas plantas.
- Suministros: Todos los insumos pueden y deben ser suministrados localmente (mano de obra, estiércol, material de plantación, contratos de mantenimiento). Las oportunidades de empleo dan un incentivo a las comunidades locales para proteger las plantas durante su infancia y adolescencia, y para mantener la calidad y sustentabilidad de los trabajos.
- Participación de la Comunidad: tanto como sea posible, las comunidades locales deben ser incluidas en el diseño, mantenimiento, suministro de materiales, y etapas de mantenimiento. Los contratos con personas de la localidad deben ser definidos, señalando viveros, especificaciones de calidad/cantidad, y mantenimiento/protección.
- Oportunidad: Los que toman las decisiones deben estar listos para innovar y considerar el SV en la planificación y el presupuesto. Para ello, se necesitan incentivos para incluir esos métodos eficientes en los costos de sus planes, tal como se tienen incentivos, justificables o no, para adoptar métodos convencionales más costosos.
- Integración: Los políticos deben recomendar el Sistema Vetiver como parte de un enfoque integral de la protección de infraestructuras, aplicado a una escala de suficiente tamaño que asegure un incremento tangible en experticia y un efecto gradual de diseminación. El vetiver no debe ser considerado meramente como un estabilizador para sitios localmente comprometidos, a pesar de su habilidad de generar un efecto conciso e inmediato.

4.2 Momento de realizar la plantación

La instalación de las plantas de vetiver es crítica para el éxito y el costo del proyecto. Plantar en la época seca requiere de riego abundante y costoso. La experiencia en Vietnam Central demuestra que se requiere un riego diario o dos veces al día para establecer vetiver en las condiciones extremadamente difíciles de las dunas de arena. El crecimiento se retrasa en la ausencia de agua. Debido a que es difícil seleccionar el mejor momento para plantar grandes cantidades de plantas en taludes de corte a lo largo de la autopista Ho Chi Minh, por ejemplo, el riego mecánico es necesario diariamente durante los primeros meses.

El vetiver generalmente necesita de 3-4 meses para llegar a establecerse, algunas veces hasta 5-6 meses en condiciones adversas. Debido a que el vetiver es efectivo plenamente a la edad de 9-10 meses, las plantaciones masivas deben ocurrir al principio de la estación lluviosa por tanto el desarrollo y producción de plantas en el vivero debe planificarse para satisfacer el cronograma de plantación masivo.

En el Norte de Vietnam en particular, es posible plantar durante el período de invierno-primavera. Cuando las temperaturas descienden por debajo de 10°C (50°F) en el Norte de Vietnam, el pasto no crece. Sin embargo, en este período, las plantas pueden sobrevivir al clima frío y reactivar el crecimiento inmediatamente cuando las lluvias de invierno comienzan y el clima se calienta.

En Vietnam central, donde la temperatura del aire normalmente está sobre los 15°C (59°F), la plantación masiva de vetiver se efectúa al principio de la primavera. Los viveros requieren más cuidado para asegurar un buen crecimiento y multiplicación de los esquejes o hijos.

4.3 Vivero

El éxito de cualquier proyecto depende de la buena calidad y suficiente número de hijos de vetiver. Los detalles del vivero y la propagación del vetiver se discuten en la Parte 2. Los grandes viveros generalmente no son requeridos para suministrar suficiente material para la siembra. En su lugar, los agricultores individuales pueden instalar y supervisar pequeños viveros (unos pocos cientos de metros cuadrados cada uno). Los mismos serán contratados y pagados por el proyecto de acuerdo al número de hijos que puedan proveer de acuerdo a los pedidos.

4.4 Preparación para la siembra de vetiver

En aquellos casos en que las siembras masivas de vetiver involucren la participación de los lugareños, una campaña de siembra efectiva debe incluir las siguientes etapas:

- Etapa 1: Los expertos visitan los sitios, y llevan a cabo un inventario para identificar los problemas y diseñar las aplicaciones de la tecnología;
- Etapa 2: Discutir los problemas y las soluciones alternativas con la comunidad local;
- Etapa 3: Utilizar talleres y cursos de entrenamiento para introducir la nueva tecnología;
- Etapa 4: Organizar ensayos demostrativos, mediante el establecimiento de viveros, realizar los contratos de compra de plantas, mantenimientos, etc.;
- Etapa 5: Hacer seguimiento a la ejecución;
- Etapa 6: Discutir los resultados de las pruebas, talleres de seguimiento, visitas de intercambio en campo, etc.;
- Etapa 7: Organizar la siembra en masa.

En aquellos casos en que las siembras en masa son realizadas por compañías especializadas, se recomiendan las etapas 1, 4, 5. Sin embargo, la participación local es todavía recomendable para aumentar la conciencia,

evitar el vandalismo y asegurar que los hijos o “esquejes” de vetiver sean protegidos de los animales.

4.5 Especificaciones del trazado

4.5.1 Pendientes naturales, pendientes de corte, taludes de carreteras, etc.

Para estabilizar pendientes naturales, pendientes de corte y taludes de carretera, aplican las siguientes especificaciones:

- Los taludes de la pendiente no deben exceder 1(H) [horizontal]:1(V) [vertical] o 45°, se recomienda un gradiente de 1,5:1. Gradientes menores son deseables siempre que sean posibles, especialmente en suelos erosionables y/o en zonas de alta precipitación.
- El vetiver debe ser plantado en sentido contrario a la pendiente en líneas de contorno aproximadas con un intervalo vertical (IV) entre 1.0-2.0m (3-6’), medido pendiente abajo. El espaciamiento de 1.0m (3’) debe ser utilizado en suelos muy erosionables, que puede incrementarse hasta 1,5-2,0m (4,5-6’) en suelos más estables.
- La primera hilera debe sembrarse en el borde superior del talud. Esta barrera debe colocarse en todos los taludes que tienen alturas mayores a 1.5m (4.5’).
- La hilera de abajo debe sembrarse en el fondo al pie del talud y en taludes de corte a lo largo de la cuneta de drenaje.
- Entre estas hileras, el vetiver debe sembrarse como se especificó arriba.
- El banqueo o terraceo de 1-3 m (3-9’) de ancho por cada 5-8 m (15-24’) IV se recomienda para pendientes que son más altas de los 10 m (30’).

4.5.2 Bancos de río, erosión costera, y estructuras de retención de agua inestables

Para la mitigación de desastres y la protección de las costas, bancos de río y diques/terraplenes, se recomiendan las siguientes especificaciones de trazado:

- La máxima pendiente del banco no debe exceder 1.5(H):1(V). La pendiente recomendada para el banco es de 2.5:1. Nota: los sistemas de diques marinos en Hai Hau (Nam Dinh) están contruidos con una pendiente del banco de 3:1 a 4:1.
- El vetiver debe plantarse en dos direcciones:
 - Para la estabilización de bancos, el vetiver debe sembrarse en hileras paralelas a la dirección del flujo (horizontal), en líneas de contorno aproximadas 0.8-1.0m (2.5-3’) de separación (medido en dirección de la pendiente). Un trazado reciente en el sistema de diques de Hai Hau (Nam Dinh) incluyó especificaciones que redujeron el espaciamiento a 0,25 m (0,8’).
 - Para reducir la velocidad del flujo, el vetiver debe sembrarse en hileras normales (ángulo recto) al flujo y espaciadas 2.0m (6’) en suelos erosionables y 4.0m (12’) en suelos estables. Como protección suplementaria, las hileras normales se siembran 1.0m (3’) separadas del dique del río en Quang Ngai.
- La primera línea horizontal debe sembrarse en la cresta del banco y la última hilera debe plantarse en la línea más baja del nivel del agua del banco. Nota: ya que el nivel del agua en algunas localidades cambia por temporadas, el vetiver puede sembrarse más abajo en el banco cuando el momento es propicio.
- El vetiver debe plantarse en contorno a lo largo de la longitud del banco entre las hileras superior e inferior a la distancia especificada arriba.
- Debido a los altos niveles del agua, las hileras de abajo pueden establecerse más lentamente que las de arriba. En esos casos, las hileras inferiores deben sembrarse cuando el suelo está más seco. Algunas aplicaciones del SV protegen diques anti salinidad; en esos casos, el agua puede encontrarse más salada en ciertas épocas del año, lo que puede afectar el crecimiento del vetiver. Las experiencias en Quang Ngai muestran que el vetiver puede ser remplazado por algunas especies locales tolerantes a la salinidad, incluyendo el helecho mangle.

- Para todas las aplicaciones, el SV puede ser usado en combinación con otras medidas estructurales tradicionales tales como recubrimientos con roca o concreto, y muros de retención. Por ejemplo, la parte inferior del dique /terraplén puede ser cubierta por una combinación de roca y concreto y geotextiles mientras la mitad superior es protegida con barreras de vetiver.

4.6 Especificaciones de siembra

- Cavar zanjas que sean de 15-20cm (6-8”) de ancho y profundidad.
- Localice plantas bien enraizadas (con 2-3 brotes) en el centro de cada hilera a intervalos de 100-120mm (4-5”) en suelos erosionables, y a 150mm (6”) para suelos normales.
- Debido a que los suelos en las pendientes, taludes de carreteras y rellenos en diques/terraplenes no son fértiles, se recomienda que se usen plantas producidas en contenedores en siembras de gran escala para lograr un establecimiento rápido. Añadir un poco de buena mezcla de suelo-estiércol es aún mejor. Para proteger los bancos de río donde el suelo es usualmente fértil y donde el agua de riego es de fácil acceso, las plantas a raíz desnuda son suficientes.
- Cubra las raíces con 20-40mm (1-2”) de suelo y compáctelo firmemente.
- Fertilice con Nitrógeno y fósforo como el FDA (Fosfato Di Amónico) ó NPK (nótese que por experiencia el vetiver no responde significativamente a las aplicaciones de potasio) a 100g (3.5oz) por metro lineal de hilera. La misma cantidad de cal puede ser necesaria cuando se planta en suelos sulfato ácidos.
- Riegue el mismo día de la siembra.
- Para reducir el control de malezas durante la etapa de establecimiento, un herbicida pre-emergente como la Atrazina puede utilizarse.

4.7 Mantenimiento

Riego

- En clima seco, riegue diariamente durante las dos primeras semanas después de la siembra y luego un día de por medio.
- Riegue dos veces por semana hasta que las plantas se establezcan completamente.
- Las plantas adultas no requieren más riego.

Resiembra

- Durante el primer mes después de la siembra, reponga todas las plantas que fallen en su establecimiento o hayan sido arrastradas.
- Continúe las inspecciones hasta que las plantas se hayan establecido apropiadamente.

Control de malezas

- Controle las malezas, especialmente las trepadoras, durante el primer año.
- NO USE el herbicida Round Up (glifosato). El vetiver es muy sensible al glifosato, por lo que este no debe ser usado para controlar las malezas entre las hileras.

Fertilización

En suelos infértiles, FDA o fertilizante NPK debe aplicarse al principio de la segunda temporada de lluvias.

Poda

Después de cinco meses, las podas regulares son muy importantes. Las barreras deben ser cortadas a unos 15-20 cm (6-8”) sobre el nivel del terreno. Esta técnica simple promueve el desarrollo de nuevos brotes desde la base y reduce el volumen de hojas secas que de otra manera pueden sombrear los brotes jóvenes. La poda es también

importante para mejorar la apariencia de las barreras secas y para disminuir el riesgo de incendios.

Las hojas frescas cortadas pueden ser usadas como forraje para el ganado, para artesanías, e incluso para hacer techos. Por favor, note que el uso del vetiver para reducir desastres naturales no debe ser sobreutilizado para otros fines secundarios.

Se pueden realizar podas sucesivas dos a tres veces al año. Se debe tener cuidado de que la planta tenga largas hojas durante la temporada de tifones. El vetiver puede ser podado inmediatamente después que termine la temporada de tifones. Otra época apropiada para la poda podría ser unos tres meses antes del inicio de la temporada de tifones.

Cercado y cuidados

Durante los meses del período de establecimiento, puede ser necesario cercar y cuidar el vetiver para protegerlo del vandalismo y del ganado. Los viejos tallos del vetiver maduro son suficientemente duros para desalentar al ganado. Cuando sea necesario, se recomienda cercar el área para proteger el vetiver durante los meses iniciales después de la siembra.

5. APLICACIONES DEL SV PARA LA REDUCCIÓN DE DESASTRES NATURALES Y LA PROTECCIÓN DE INFRAESTRUCTURA EN VIETNAM

5.1 Aplicación del SV para la protección de dunas en Vietnam Central

Una vasta zona, de más de 70,000 ha (175,000 acres), a lo largo de la línea costera de Vietnam Central está cubierta por dunas de arena dónde las condiciones climáticas y de suelos son muy severas. Las tormentas de arena ocurren cuando las dunas migran bajo la acción de los vientos. El flujo de las arenas también toma lugar debido a la acción de numerosos cauces permanentes y temporales. Los vientos y las aguas transportan grandes cantidades de arena de tierra adentro hacia la estrecha planicie costera. A lo largo de la línea costera de Vietnam Central, lenguas de arena gigantes llegan a la planicie día tras día. El gobierno ha implementado desde hace un tiempo programas de reforestación usando variedades como las casuarinas, la piña silvestre, eucaliptos, y acacias. Sin embargo, cuando están completamente bien establecidas, solo pueden ayudar a reducir el movimiento de arenas por el viento. Hasta ahora, no ha habido forma de reducir el flujo de arenas (los árboles no pueden estabilizar las dunas de arena, especialmente en su fase de deslizamiento, esto se intentó a un alto costo en África del Norte por la FAO y fracasó).

Foto 2: Flujo de arena en Le Thuy (Quang Binh) en 1999. Izquierda: Las bases de una estación de bombeo; derecha: Las fundaciones de una vivienda de tres habitaciones de una mujer socavadas por la arena en movimiento.

5.1.1 Ensayo de aplicación y promoción del SV para la estabilización de dunas de arena en la provincia



costera de Quang Binh

En Febrero del 2002, con el apoyo financiero de un pequeño programa de la Embajada Holandesa y apoyo

técnico de Elise Pinners y Pham Hong Duc Phuoc, Tran Tan Van de RIGMR inició un experimento para estabilizar dunas de arena a lo largo de la línea costera de Vietnam Central. Una duna de arena se encontraba muy erosionada por un cauce que servía de lindero natural entre los agricultores y una empresa forestal. La erosión había ocurrido por muchos años, generando un conflicto creciente entre los dos grupos. El vetiver fue sembrado en líneas de contorno en la duna de arena. Después de cuatro meses se formaron barreras densas y se estabilizó la duna. La empresa forestal estaba tan sorprendida que decidió realizar de manera masiva siembras de vetiver en otras dunas de arena e incluso para proteger las bases de un puente. Más adelante, el vetiver también sorprendió a la comunidad local al sobrevivir el invierno más frío en diez años, en el cual la temperatura descendió por debajo de 10°C (50°F), forzando a los agricultores a resembrar en dos oportunidades su arroz de inundación y casuarinas. Después de dos años, las especies locales (principalmente las casuarinas y las piña silvestre) se restablecieron. El pasto vetiver se desvaneció bajo la sombra de los árboles, habiendo cumplido su misión . El proyecto probó de nuevo que, con los cuidados adecuados, el vetiver pudo sobrevivir las hostiles condiciones climáticas y de suelo - foto 2.

De acuerdo con Henk Jan Verhagen de la Universidad de Tecnología de Delft (com. pers.), el vetiver puede ser igualmente efectivo en reducir el movimiento de la arena por el viento. Para este propósito, el pasto debe sembrarse en sentido perpendicular a la dirección del viento, especialmente en las zonas bajas entre las dunas, dónde la velocidad del viento normalmente se incrementa. En la isla Pintang en China, costa adentro de la provincia de Fujian, las barreras de vetiver reducen eficientemente la velocidad del viento y la arena arrastrada por este.

A partir del éxito de este proyecto, se realizó un taller a principios del 2003. Más de 40 representantes de departamentos de gobiernos locales, diversas ONG, la Universidad de Vietnam Central, y de las provincias costeras participaron. El taller ayudó a los autores de este libro y a otros participantes a compilar y sintetizar las prácticas locales, particularmente aquellas que tienen que ver con la época de siembra, riego y fertilización. Luego del evento, la organización World Vision Vietnam decidió en el 2003 patrocinar otro proyecto en los distritos de Vinh Linh y Trieu Phong en la provincia Quang Tri y emplear vetiver para la estabilización de dunas - fotos 3-7.

Las siguientes fotografías resumen el ensayo para la estabilización de dunas de arena.

Foto 3: Izquierda: panorámica del sitio; derecha: comienzos de Abril 2002, un mes de realizada la siembra.

Foto 7: Izquierda: mediados de Febrero 2003, Gira de campo post-taller; Nota: El vetiver sobrevive al invierno más frío de los últimos diez años; derecha: Junio 2003, los agricultores de la provincia Quang Tri visitan un vivero local



durante una gira de campo patrocinada por World Vision Vietnam.

Foto 8: Izquierda: Marzo 2002: Ensayo con el SV en el borde de una laguna de camarones, donde un canal de



Foto 4: Izquierda: principio de Julio 2002, cuatro meses después de la siembra; derecha: Noviembre 2002, se han establecido hileras densas de pasto.

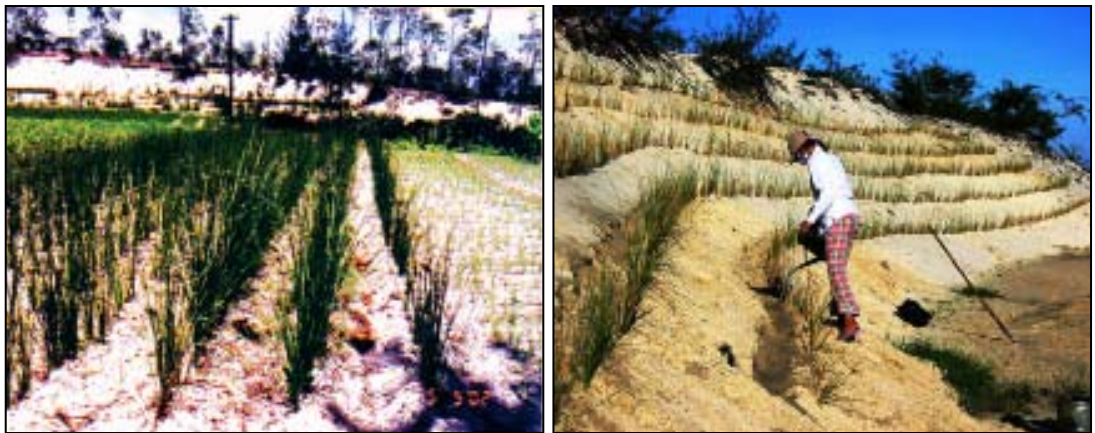


Foto 5: Izquierda: Vivero de vetiver; derecha: Noviembre 2002, siembra generalizada.



Foto 6: Izquierda: El vetiver protege las bases de un Puente en la Autopista Nacional Número 1; derecha: Diciembre 2004, las especies locales han remplazado el vetiver.



drenaje descarga aguas al Río Vinh Dien; derecha: Noviembre 2002: plantaciones generalizadas combinadas con recubrimientos de roca para proteger el banco a lo largo del río Vinh Dien.



5.2 Aplicación del SV para controlar la erosión de bancos de río

5.2.1 Aplicación del SV para controlar la erosión de un banco de río en Vietnam Central

Dentro del marco del mismo proyecto de la Embajada Holandesa mencionado anteriormente, se sembró vetiver para detener la erosión en un banco de río, en el banco de una laguna de camarones, y en un terraplén de carretera en la ciudad de Da Nang. En Octubre del 2002, el Departamento local de diques también realizó una siembra masiva del pasto en secciones de bancos de varios ríos. A partir de entonces, la autoridad de la ciudad decidió subvencionar un proyecto de estabilización de taludes de corte instalando vetiver a lo largo de la carretera de montaña que se dirige a un proyecto bananero en Da Nang, lo que ilustra el ritmo de adopción - fotos 8-10

5.2.2 Ensayo del SV para la protección de banco de río en Quang Ngai

Como otro resultado de este proyecto piloto, se recomendó usar vetiver en otro proyecto de reducción de desastres naturales en la provincia de Quang Ngai, auspiciado por AusAid (Agencia para el Desarrollo Australiana). Con el apoyo técnico de Tran Tan Van en Julio de 2003, Vo Thanh Thuy y sus colaboradores del Centro de Extensión Agrícola provincial sembraron el pasto en cuatro localidades, en canales de riego de diversos distritos y en unos diques de protección del agua del mar. El vetiver se adaptó en las cuatro localidades y, a pesar de su corta edad, sobrevivió una inundación el mismo año - fotos 11-14.

En respuesta a estos exitosos ensayos, el proyecto decidió plantar de manera generalizada vetiver en otras secciones del dique en otros tres distritos, en combinación con recubrimientos con roca. Se introdujeron algunas modificaciones en el diseño para que el vetiver se adapte mejor, sembrando helecho mangle y otros pastos tolerantes a la salinidad en la hilera inferior para resistir mejor la salinidad y proteger eficientemente



Foto 9: Izquierda: Diciembre 2004: El vetiver, combinado con recubrimiento de roca, floreció después de dos temporadas de inundación (Da Nang); derecha: sembrado por los agricultores locales, el vetiver protege las lagunas de



camarones.

Foto 10: Izquierda: Vetiver y recubrimiento de roca (arriba) y placa de concreto (abajo) protegiendo un banco; derecha:



cha: una curva del banco del río en Hue.

Foto 11: Izquierda: Vetiver sembrado en el dique del río Tra Bong; derecha: cubriendo los lados del dique de un estuario anti salinidad a lo largo del mismo río.

la parte inferior del terraplén. De manera alentadora, las comunidades locales están más ganadas a proteger sus propios terrenos con vetiver.

Foto 12: Sección del dique anti salinidad aguas arriba con recubrimiento de concreto tradicional en la cara que limita con el río (Izquierda) y a lo largo de una sección de un canal de irrigación, donde la erosión superficial afecta un lado del banco que ha quedado expuesto (derecha).

Foto 13: Izquierda: Banco severamente erosionado del río Tra Khuc, en la comuna Binh Thoi; derecha: Protección primitiva



con sacos de arena.

Foto 14: Izquierda: Miembros de la comunidad siembran vetiver; derecha: Noviembre 2005: el banco permanece intacto después de la temporada de inundación.



5.2.3 Aplicación del SV para controlar la erosión de banco de río en el Delta del Mekong

Con el apoyo financiero de Donner Foundation y la ayuda técnica de Paul Truong, Le Viet Dung y sus cole-



gas en la Universidad de Can Tho se iniciaron proyectos para controlar la erosión de banco de río en el Delta del Mekong. El área experimenta largos períodos de inundación (hasta cinco meses) durante la temporada de

inundaciones, con diferencias significativas en el nivel del agua, de hasta 5m (15'), entre la época seca y la de inundaciones, con poderosos flujos de agua durante las inundaciones. Además, los bancos de río están compuestos de material aluvial limoso a franco, que son muy erosionables al humedecerse. Debido a las mejoras en la economía en los años recientes, los botes que navegan en los ríos y canales son a motor, algunos con máquinas muy potentes, que agravan los problemas de erosión de banco de río al generar un fuerte oleaje. No obstante, el vetiver sostiene el terreno, protegiendo de la erosión grandes superficies de tierras agrícolas de gran valor - fotos 15 y 16.

Un programa integral de vetiver se ha establecido en la provincia de An Giang, dónde las inundaciones anuales alcanzan profundidades de 6 m (18'). El sistema de canales más largo de la provincia, 4932 km (3065 millas), requiere de mantenimiento y reparaciones cada año. Una red de diques, 4600 km de largo, protegen 209,957 ha (525,000 acres) de tierra agrícola de primera de las inundaciones. La erosión en estos diques es de alrededor de 3.75 Mm³/año y requieren 1.3 M US \$ para su reparación.

El área también incluye 181 grupos de reasentamientos de comunidades construidas sobre materiales de dragado que también requieren control de erosión y protección de las inundaciones. Dependiendo de las localidades y la profundidad del agua, el vetiver se ha usado con éxito solo, o conjuntamente con otra vegetación para estabilizar estas áreas. Como resultado, el vetiver se alinea en un riguroso sistema de diques de mar y de ríos, así como en bancos de río y de canales en el delta del Mekong. Casi dos millones de plantas de vetiver en bolsas de polietileno, un total de 61km (38 millas) lineales, fueron instaladas para proteger los diques entre 2002 y 2005 - Fotos 15-16.

Foto 15: En An Giang el vetiver estabiliza un dique de río (Izquierda), y un banco de río natural (derecha).

Se prevé, que entre 2006 y 2010, los 11 distritos de la provincial de An Giang siembren 2025 km (1258 millas) de barreras de vetiver en 3100 ha (7660 acres) de superficie en los diques. Se dejan desprotegidos, 3750 Mm³



de suelo que probablemente se erosionará y 5 Mm³ tendrán que ser dragados de los canales. Basándose en los costos del 2006, el mantenimiento total sobre este período podría exceder los 15.5 M US \$ solo en esta provincia. Aplicando el Sistema Vetiver en esta zona rural se obtendrá un ingreso extra para la gente: los hombres sembrando, y las mujeres y niños preparando las bolsas de polietileno.

Foto 16: Izquierda: Vetiver bordeando el límite de centros de reasentamiento por inundaciones; derecha: las marcas rojas delimitan cerca de 5 m (15') de la tierra seca protegida por el vetiver.



5.3 Aplicación del SV para el control de erosión costera

Bajo los auspicios de la Donner Foundation y con el apoyo técnico de Paul Truong, Le Van Du de la Universidad de Agroforestería de la ciudad de Ho Chi Minh, se iniciaron en el 2001 trabajos en suelos sulfato ácidos para estabilizar canales, canales de riego y el sistema de diques marinos en la provincia de Go Cong. El vetiver creció vigorosamente en los terraplenes en unos pocos meses, a pesar del suelo pobre. Ahora está protegiendo el dique marino, previniendo la erosión superficial, y facilitando el establecimiento de especies endémicas - fotos 17 y 18.

Foto 17: Sembrado detrás de mangle natural en un suelo sulfato ácido de un dique en la provincia de Go Cong, el vetiver reduce la erosión superficial y promueve el restablecimiento de pastos locales.

En base a las recomendaciones de Tran Tan Van, la Cruz Roja Danesa en el 2004 subvencionó un proyecto



piloto usando vetiver para proteger diques marinos en el distrito Hai Haut, provincia Nam Dinh - foto 18. Los planificadores se sorprendieron gratamente y se deleitaron al descubrir que el vetiver ya se había instalado; sembrado unos dos años antes, el vetiver estaba protegiendo varios kilómetros del lado interno del dique marino. Aunque el diseño no era convencional, la plantación estaba trabajando, y, más importante, había convencido a la comunidad local de que el vetiver era efectivo. Después de que el tifón No. 7 en Septiembre del 2005 destruyó la sección protegida previamente con recubrimiento de roca, la efectividad del vetiver no se cuestionó. Los agricultores locales solicitaron la siembra masiva de vetiver.

Foto 18: En Vietnam del Norte; izquierda: el vetiver sembrado en el lado externo de un dique marino recién construido en la provincia Nam Dinh; derecha: en el lado interno del dique, sembrado por el Departamento de Diques local.



5.4 Aplicación del SV para estabilizar taludes de carretera

En respuesta al éxito de los ensayos de Pham Hong Duc Phuoc (Universidad de Agroforestería de la ciudad de Ho Chi Minh) y de Thien Sinh Co. al usar vetiver para estabilizar taludes de corte en Vietnam Central, en el 2003 el Ministerio de Transporte autorizó el uso generalizado del vetiver para estabilizar los taludes a lo largo de los cientos de kilómetros de la nueva autopista de Ho Chi Minh y otras carreteras nacionales y provinciales en las provincias de Quang Ninh, Da Nang, y Khanh Hoa - Foto 19. *Foto 19: Izquierda: El vetiver estabiliza taludes de corte a lo largo de la autopista Ho Chi Minh; derecha: ambos, solo o en combinación con medidas tradicionales.*



Este proyecto es ciertamente una de las aplicaciones más grandes del SV en el mundo. Toda la autopista de Ho Chi Minh tiene más de 3000 km (1864 miles) de largo. Esta siendo y será protegida por siembras de vetiver en una variedad de suelos y climas: desde suelos esqueléticos de montaña e inviernos fríos en el Norte, a suelos extremadamente sulfato ácidos y clima caliente y húmedo en el Sur. El uso generalizado del vetiver para estabilizar cortes de carretera funciona, por ejemplo:

- Aplicado principalmente como una medida de protección contra la erosión superficial, se reduce la escorrentía que genera erosión, y que de otra manera produciría estragos aguas abajo - fotos 20 y 21;
- Previendo fallas superficiales, se estabilizan aún más los taludes de corte, lo que reduce mucho el número de fallas profundas;
- En algunos casos en que ocurren fallas profundas, el vetiver todavía realiza un buen trabajo al frenar las fallas y reducir la masa fallada, y;

- Se mantiene el aspecto rural y eco amigable de la carretera.

Foto 20: Izquierda; Si no se protege correctamente este relleno de escombros de suelo/roca se lavará lejos aguas abajo Derecha: Impactando una villa aguas abajo en el distrito A Luoi provincia, Thua Tien.



Foto 21: Da Deo Pass, Quang Binh: Izquierda: La cobertura de la vegetation ha sido destruída, revelando terribles y continuas fallas de taludes de corte cover; derecha: Hileras de vetiver sobre la parte superior de un talud que se mueve lentamente, redu-



ciendo considerablemente la masa fallada.

En una carretera hacia la autopista de Ho Chi Minh el investigador Pham Hong Duc Phuoc demostró claramente como debe ser aplicado el SV, así como su efectividad y sustentabilidad - foto 22.

El monitoreó cuidadosamente el desarrollo del vetiver en el momento de su: establecimiento (65-100%), crecimiento a los seis meses (68-85 cm (27-34’’)), crecimiento después de los seis meses (70-180cm(28-71’’)), la tasa de producción de hijos (18-30 hijos por planta), y profundidad de las raíces en el talud – Cuadro 6.

Cuadro 6: Profundidad de las raíces de vetiver en taludes de la carretera de Hon Ba.

| | Posición en el talud | profundidad de la raíz (cm/pulgadas) | | | |
|---|-------------------------|--------------------------------------|----------|----------|--------|
| | | 6 meses | 12 meses | 1.5 años | 2 años |
| | <i>Talud de corte</i> | | | | |
| 1 | Base | 70/28 | 120/47 | 120/47 | 120/47 |
| 2 | Parte media | 72/28 | 110/43 | 100/39 | 145/57 |
| 3 | Parte superior | 72/28 | 105/41 | 105/41 | 187/74 |
| | <i>Talud de relleno</i> | | | | |
| 4 | Base | 82/32 | 95/37 | 95/37 | 180/71 |
| 5 | Parte media | 85/33 | 115/45 | 115/45 | 180/71 |
| 6 | Parte superior | 68/27 | 70/28 | 75/30 | 130/51 |

Foto 22: Pham Hong Duc Phuoc, un proyecto de protección de carretera en la provincia de Khanh Hoa, vía a Hon Ba: las dos



fotos de la izquierda: erosión severa en un talud recién construido que se presenta después de unas pocas lluvias; las dos fotos de la derecha: ocho meses después de sembrado el vetiver: el vetiver estabilizó este talud, previniendo y deteniendo completamente la erosión futura en la próxima estación lluviosa.

Los éxitos y fracasos usando el vetiver para proteger los taludes de corte a lo largo de la autopista Ho Chi Minh

son didácticos:

- La pendiente debe ser internamente estable. Debido a que el vetiver es de mayor ayuda cuando es adulto, las pendientes pueden fallar en el ínterin. El vetiver comienza a estabilizar una pendiente a los tres o cuatro meses, como mínimo. Por lo tanto, el momento de sembrar es también muy importante si se quiere evitar la falla de la pendiente durante el período de lluvias;
- Un ángulo de pendiente apropiado no debe exceder 45-50°, y;
- La poda regular asegura un crecimiento continuo y la producción de hijos del pasto, y así asegura una barrera densa y efectiva.

6. CONCLUSIONES

Luego de una investigación considerable y el éxito de las muchas aplicaciones presentadas en esta Parte, nosotros ahora poseemos suficientes evidencias de que el vetiver, con sus muchas ventajas y muy pocas desventajas, es una herramienta para la bioingeniería muy efectiva, económica, basada en la comunidad y ambientalmente amigable y sustentable que protege la infraestructura y mitiga los desastres naturales, y, una vez establecido, las plantas de vetiver duran por décadas con muy poco o ningún mantenimiento. El SV ha sido usado exitosamente en muchos países en el mundo, incluyendo Australia, Brasil, América Central, China, Etiopía, India, Italia, Malasia, Nepal, Filipinas, Sur África, Sri Lanka, Tailandia, Venezuela, y Vietnam. Sin embargo, se debe enfatizar, que las claves del éxito más importante son un material de siembra de buena calidad, un correcto diseño y técnicas de siembra apropiadas.

7. REFERENCIAS

- Bracken, N. y Truong, P.N. (2000). Application of Vetiver Grass Technology in the stabilization of road infrastructure in the wet tropical region of Australia. Proc. Second International Vetiver Conf. Tailandia, Enero 2000.**
- Cheng Hong, Xiaojie Yang, Aiping Liu, Hengsheng Fu, Ming Wan (2003). A Study on the Performance and Mechanism of Soil-reinforcement by Herb Root System. Proc. Third International Vetiver Conf. China, Octubre 2003.**
- Dalton, P. A., Smith, R. J. y Truong, P. N. V. (1996). Vetiver grass hedges for erosion control on a cropped floodplain, hedge hydraulics. Agric. Water Management: 31(1, 2) pp 91-104.**
- Hengchaovanich, D. (1998). Vetiver grass for slope stabilization and erosion control, with particular reference to engineering applications. Boletín Técnico No. 1998/2. Pacific Rim Vetiver Network. Office of the Royal Development Project Board, Bangkok, Tailandia.**
- Hengchaovanich, D. y Nilaweera, N. S. (1996). An assessment of strength properties of vetiver grass roots in relation to slope stabilisation. Proc. First International Vetiver Conf. Tailandia pp. 153-8.**
- Jaspers-Focks, D.J y A. Algra (2006). Vetiver Grass for River Bank Protection. Proc. Fourth Vetiver International Conf. Venezuela, Octubre 2006.**
- Le Van Du, y Truong, P. (2003). Vetiver System for Erosion Control on Drainage and Irrigation Channels on Severe Acid Sulfate Soil in Southern Vietnam. Proc. Third International Vetiver Conf. China, Octubre 2003.**
- Prati Amati, Srl (2006). Shear strength model. "PRATI ARMATI Srl" info@pratiarmati.it .**
- Truong, P. N. (1998). Vetiver Grass Technology as a bio-engineering tool for infrastructure protection. Proceedings North Region Symposium. Queensland Department of Main Roads, Cairns Agosto, 1998.**

- Truong, P., Gordon, I. y Baker, D. (1996). Tolerance of vetiver grass to some adverse soil conditions. Proc. First International Vetiver Conf. Tailandia, Octubre 2003.**
- Truong, P. N. (1998). Vetiver Grass Technology as a bio-engineering tool for infrastructure protection. Proceedings North Region Symposium. Queensland Department of Main Roads, Cairns Agosto, 1998.**
- Truong, P., Gordon, I. y Baker, D. (1996). Tolerance of vetiver grass to some adverse soil conditions. Proc. First International Vetiver Conf. Tailandia, Octubre 2003.**
- Xia, H. P. Ao, H. X. Liu, S. Z. y He, D. Q. (1999). Application of the vetiver grass bio-engineering technology for the prevention of highway slippage in southern China. International Vetiver Workshop, Fuzhou, China, Octubre 1997.**
- Xie, F.X. (1997). Vetiver for highway stabilization in Jian Yang County: Demonstration and Extension. Proceedings abstracts. International Vetiver Workshop, Fuzhou, China, Octubre 1997.**