

**ASOCIACION COSTARRICENSE DE RECURSOS HIDRICOS Y
SANEAMIENTO AMBIENTAL
X CONGRESO RECURSOS HIDRICOS Y SANEAMIENTO AMBIENTAL,
X COREHISA
SAN JOSÉ, COSTA RICA. SETIEMBRE 2010**

**FITORREMEDIACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS UTILIZANDO PASTO
VETIVER**

Dr. Paul Truong** and *Yorlene Cruz Chaves, MBA**

* Director, The Vetiver Network International (TVNI) and
Veticon Consulting, Brisbane, Queensland, Australia
email: truong@uqconnect.net

** TVNI's Coordinador for Costa Rica
Abonos de Occidente R.L, San Ramón, Alajuela, Costa Rica
Ofic.: + (506)2445-8383 +Cel.: + (506) 8991-9180
email: cruz.y@vetivercostarica.com

RESUMEN

El Sistema Vetiver (SV), el cual se basa en la aplicación del pasto vetiver (*Vetiveria zizanioides*, Nash L, reclasificado como *Chrysopogon zizanioides*, Roberty L), ha sido investigado y desarrollado por *The Vetiver Network International* (TVNI) como una herramienta de protección del medio ambiente. **La aplicación del SV para la protección del medio ambiente es una tecnología de fitorremediación nueva e innovadora.**

Amplia Investigación y Desarrollo (I&D) durante los últimos 20 años en Australia, China, Tailandia y recientemente en Venezuela ha establecido que el pasto **vetiver no es invasivo y que se desarrolla bajo las condiciones de suelo y climáticas más adversas.** El pasto Vetiver **es tolerante a elevados y algunas veces niveles tóxicos de salinidad, acidez, alcalinidad, sodicidad, así como también a una completa gama de metales pesados y agroquímicos.**

Es una tecnología verde y ambientalmente amigable para el tratamiento de las aguas residuales, así mismo es un método natural de reciclaje. El producto final tiene aplicaciones que van desde materia prima para la preparación de alimento para animales, artesanías y material para la agricultura orgánica.

Este documento se refiere específicamente a la fitorremediación de suelos contaminados:

- **Residuos de minería:** roca estéril y las escombreras de la bauxita, carbón, cobre, oro, plomo, platino y zinc han sido exitosamente estabilizadas y rehabilitados en Australia, Chile, China, Sudáfrica, Tailandia y Venezuela.
- **Residuos industriales:** Los desechos industriales contienen niveles muy altos de compuestos tanto orgánicos como inorgánicos y se han logrado estabilizar y tratar con éxito en Australia, China, Tailandia y Vietnam.

Palabras clave: Pasto Vetiver, relaves mineros, rehabilitación de minas, suelos contaminados,

metales pesados, control de la polución.

1.0 INTRODUCCION

Ha habido una creciente preocupación en Australia y en el resto del mundo sobre la contaminación del medio ambiente por los subproductos de las industrias rural, industrial y minera. La mayoría de estos contaminantes son altos niveles de metales pesados que pueden afectar a la flora, la fauna y los seres humanos que viven en cercanías o aguas abajo de los sitios contaminados.

La preocupación por la propagación de estos contaminantes se han traducido en el establecimiento de normas estrictas para evitar la creciente concentración de los contaminantes de metales pesados. En algunos casos, proyectos industriales y mineros se han detenido hasta que métodos apropiados de descontaminación o rehabilitación se hayan ejecutado en la fuente.

Los métodos utilizados en estas situaciones han sido tratar los contaminantes químicos, enterramiento o bien sacarlos del sitio. Estos métodos son caros y en ocasiones imposible llevar a cabo, debido a que el volumen de material contaminado es muy grande, ejemplos son desechos de la minería de oro y carbón. Si estos residuos no pueden ser económicamente tratados o eliminados, debe evitarse la contaminación fuera del sitio. La erosión por viento e hídrica y la lixiviación, a menudo, son las causas de la contaminación fuera de sitio. Un programa eficaz de control de erosión y sedimentos se puede utilizar para la rehabilitación de esos sitios. La Tabla 1 muestra los niveles máximos de metales pesados permitidos por las autoridades ambientales y de salud en Australia y Nueva Zelanda.

Los métodos vegetales son los más prácticos y económicos; sin embargo, el restablecimiento de la vegetación de estos sitios es a menudo difícil y lenta debido a las condiciones hostiles de crecimiento, que incluyen los niveles tóxicos de metales pesados.

El Sistema Vetiver (SV), el cual se basa en la aplicación del pasto vetiver (*Crypsopogon zizanioides*, Roberty L), fue primeramente desarrollado por el Banco Mundial para la conservación del suelo y el agua en la India durante los 1980s. La investigación y desarrollo (I&D) llevada a cabo por *The Vetiver Network International* (TVNI) en los últimos 20 años ha demostrado que el SV es una innovadora tecnología fitorremediadora con fines de protección medioambientales.

Amplia I&D en Australia, China, Tailandia y recientemente en Venezuela ha establecido que el pasto vetiver es no invasivo y tiene una gran capacidad de absorción de agua y nutrientes y que se desarrolla bajo las condiciones de suelo y climáticas más adversas. El pasto Vetiver es tolerante a elevados y algunas veces niveles tóxicos de salinidad, acidez, alcalinidad, sodicidad, así como también a una completa gama de metales pesados y agroquímicos.

Es una tecnología verde y ambientalmente amigable para el tratamiento de las aguas residuales, así mismo es un método natural de reciclaje. El producto final tiene aplicaciones que van desde materia prima para la preparación de alimento para animales, artesanías y material para la agricultura orgánica.

El SV está siendo utilizado en más de 100 países tropicales y subtropicales en Australia, Asia, África y América Latina para el tratamiento y la rehabilitación de tierras contaminadas, especialmente en explotaciones mineras y tierras contaminadas industriales.

Este documento destaca los resultados de investigaciones que demuestran la amplia tolerancia de vetiver a condiciones adversas y toxicidad de metales pesados. Todas la investigación y aplicaciones reportados en este documento se realizaron con el genotipo registrado en Australia

como vetiver Monto, pero las pruebas de ADN ha demostrado que Monto es genéticamente idéntica a la mayoría de los genotipos no fértiles como Sunshine (EE.UU.), Vallonia (Sudáfrica) y Guiyang (China) (Adams and Dafforn, 1997). Por lo tanto los siguientes resultados se pueden aplicar con confianza cuando estos cultivares se utilizan para la rehabilitación de minas.

Tabla 1: Niveles límite investigados para contaminación en suelos (ANZ, 1992)

Metales Pesados	Niveles límite (mgkg⁻¹)	
	Ambiente *	Salud *
Antimonio (Sb)	20	-
Arsénico (As)	20	100
Cadmio (Cd)	3	20
Cromo (Cr)	50	-
Cobre (Cu)	60	-
Plomo (Pb)	300	300
Manganeso (Mn)	500	-
Mercurio (Hg)	1	-
Níquel (Ni)	60	-
Estaño (Sn)	50	-
Zinc (Zn)	200	-

*Máximos niveles permitidos, por arriba de los cuales investigación es requerida.

2.0 CARACTERÍSTICAS ESPECIALES DE PASTO VETIVER, ESPECIALMENTE ADECUADAS PARA DESECHOS DE LA MINERÍA Y REHABILITACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS

Los avances más importantes en los últimos 20 años de investigación sobre el SV son, en primer lugar, la investigación que condujo al establecimiento de los niveles de tolerancia de referencia del pasto vetiver a las condiciones adversas del suelo y por otra, su tolerancia a la toxicidad de metales. Estos han abierto un nuevo campo de aplicación para la rehabilitación de tierras contaminadas y tóxicas (Truong et al. 2008; Danh et al. 2009).

Además de los atributos generales importantes que indican Truong y Cruz (2010), las siguientes son algunas características únicas de pasto vetiver que le hacen especialmente adecuado para la rehabilitación de tierras contaminadas:

- Tolerancia a condiciones muy adversas: ácidos y alcalinos (pH del suelo entre 3.5 a 10.5), toxicidad sódica, magnésica, aluminio y manganeso, y suelos salinos.
- Tolerancia a niveles muy altos de metales pesados como el As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Se y Zn en el suelo.
- La mayoría de los metales pesados absorbidos se mantiene en la raíz, por lo que puede ser utilizado como forraje.
- Capacidad para rebrotar rápidamente después de haber sido afectado por la sequía, heladas, incendios, salinidad y otras condiciones adversas cuando las condiciones mejoran.

3.0 TOLERANCIA A CONDICIONES ADVERSAS DEL SUELO (Danh et al. 2009)

3.1 Tolerancia a la alta acidez y toxicidad del manganeso.

Los resultados experimentales de los estudios en invernadero muestran que cuando hay un adecuado abastecimiento de fertilizantes de nitrógeno y fósforo, el vetiver puede crecer en suelos con acidez extremadamente alta y manganeso. El crecimiento del Vetiver no fue afectado y no fueron observados síntomas obvios cuando el manganeso extraíble en el suelo alcanzó 578 mgKg^{-1} , el pH del suelo fue tan bajo como el 3.3 y el manganeso en la planta fue tan alto como 890 mgKg^{-1} . Pasto Bermuda (*Cynodon dactylon*) que ha sido recomendado como una especie adecuada para la rehabilitación de minas ácidas, tiene 314 mgKg^{-1} de manganeso en la planta cuando crece en despojos mineros que contienen 106 mgKg^{-1} de manganeso (Taylor *et al*, 1989). Por lo tanto vetiver que tolera mucho más altas concentraciones tanto de manganeso en el suelo y en la planta se puede utilizar para la rehabilitación de tierras altamente contaminadas con el mismo.

3.2 Tolerancia a la alta acidez y toxicidad de aluminio.

Los resultados de experimentos en los que se indujo una elevada acidez del suelo con ácido sulfúrico muestran que con un adecuado abastecimiento de nitrógeno y fósforo, el vetiver produjo un crecimiento excelente incluso en condiciones de acidez extremas (pH = 3,8) y en niveles muy elevados de porcentaje de saturación de aluminio en el suelo (68 %). El Vetiver no sobrevivió a un nivel de saturación de aluminio del 90% con un pH del suelo = 2,0; aunque un nivel de aluminio crítico no se pudo establecer en este ensayo, la observación durante el mismo indicó que el nivel tóxico para el vetiver estaría entre el 68% y el 90% (Truong, 1996; Truong and Baker, 1996). Estos resultados son confirmados por trabajos recientes en Vanuatu en donde el vetiver se ha observado que prospera en suelos altamente ácidos con un porcentaje de saturación de aluminio de hasta el 87% (Miller pers.com.).

3.3 Tolerancia a metales pesados

3.3.1 Niveles de tolerancia y contenido inducido de metales pesados.

Una serie de ensayos en invernadero se llevó a cabo para determinar la tolerancia del vetiver a los niveles de alta concentración de metales pesados. Investigación literaria indicó que la mayoría de las plantas vasculares es altamente sensible a la toxicidad de metales pesados y la mayoría de las plantas también mostraron tener límites umbrales muy bajos para el arsénico, el cadmio, el cromo, el cobre y el níquel en el suelo. Los resultados mostrados en la Tabla 2 muestran que el vetiver es altamente tolerante a los metales pesados. Para el arsénico, el contenido tóxico para la mayoría de las plantas está entre 1 y 10 mgKg^{-1} , para el vetiver el nivel de umbral se sitúa entre 21 y 72 mgKg^{-1} . Del mismo modo para el cadmio, el umbral tóxico para vetiver es 45 mgkg^{-1} y para otras plantas entre 5 y 20 mgkg^{-1} . Un hallazgo impresionante fue que, si bien los umbrales tóxicos de vetiver para el cromo es entre 5 y 18 mgkg^{-1} que para el níquel es 347 mgKg^{-1} , el crecimiento de la mayoría de las plantas se ve afectada por el contenido entre 0,02 y $0,20 \text{ mgKg}^{-1}$ para el cromo y entre 10 y 30 mgKg^{-1} para el níquel. Vetiver presentó una tolerancia similar al cobre como las otras plantas de 15 mgKg^{-1} (Kabata and Pendias, 1984; Lepp, 1981).

Tabla 2: Niveles límite de metales pesados en el crecimiento del vetiver

Metales pesados	Umbral de crecimiento de las plantas (mgKg ⁻¹)		Umbral de crecimiento del Vetiver (mgKg ⁻¹)	
	Niveles Hidropónicos (a)	Niveles del suelo (b)	Niveles del suelo	Niveles en el tallo
Arsénico	0.02-7.5	2.0	100-250	21-72
Cadmio	0.2-9.0	1.5	20-60	45-48
Cobre	0.5-8.0	NA	50-100	13-15
Cromo	0.5-10.0	NA	200-600	5-18
Plomo	NA	NA	>1 500	>78
Mercurio	NA	NA	>6	>0.12
Níquel	0.5-2.0	7-10	100	347
Selenio	NA	2-14	>74	>11
Zinc	NA	NA	>750	>880

(a) Bowen,1979

(b) Baker and Eldershaw,1992

NA No disponible

3.3.2 Distribución de metales pesados en la planta Vetiver

I&D en Australia encontró que la distribución de metales pesados en la planta de vetiver se puede dividir en tres grupos:

- Muy poca absorción de arsénico, cadmio, cromo y mercurio se transloca a los brotes (follaje) (1% to 5%),
- Una proporción moderada de cobre, plomo, níquel y selenio fue translocada (16% to 33%) y
- El zinc es distribuido casi por igual entre el follaje y la raíz (40%).

Las implicaciones importantes de estos resultados son que cuando el vetiver se utiliza para la rehabilitación de los sitios contaminados con niveles de arsénico, cadmio, cromo y mercurio, sus brotes pueden ser pastados con seguridad por los animales o recogidos para cobertura vegetal ya que muy poco de estos metales pesados se desplaza al follaje. En cuanto al cobre, plomo, níquel, selenio y zinc sus usos para esos propósitos, se limitan a los umbrales establecidos por los organismos del medio ambiente y la tolerancia del animal en cuestión.

Además, aunque el vetiver no es un hiper-acumuladores se puede utilizar para eliminar los metales pesados de algunos sitios contaminados y ser desechado de forma segura en otro lugar, y así gradualmente reducir los niveles de contaminación. Por ejemplo las raíces de vetiver y los brotes pueden acumular 5 veces más el cromo y los niveles de zinc en el suelo.

3.4 Tolerancia a la alta salinidad del suelo

Resultados de los ensayos del umbral salino mostraron que los niveles de salinidad del suelo superiores a $EC_{se} = 8 \text{ dSm}^{-1}$ podrían afectar negativamente el crecimiento del vetiver mientras que valores en el suelo de $EC_{se} = 10$ y 20 dSm^{-1} podrían reducir los rendimientos en un 10% y 50% respectivamente. Estos resultados indican pasto vetiver se compara favorablemente con algunas de los cultivos más tolerantes a la salinidad y especies de pastos cultivadas en Australia.

3.5 Tolerancia a condiciones alcalinas y sódicas fuertes del suelo

Una muestra de la sobrecarga de la mina de carbón usada en este ensayo era extremadamente sódica, con PCS (porcentaje cambiante del sodio) del 33%. Suelo con PCS superiores al 15 se consideran muy sódicos. Por otra parte, el grado de sodificación de esta sobrecarga se ve agravada por el elevado nivel de magnesio (2400 mgKg^{-1}) en comparación con el calcio (1200 mgKg^{-1}).

Los resultados de enmiendas de suelo agregadas demuestran que mientras que el yeso no tenía ningún efecto sobre el crecimiento del vetiver, los fertilizantes nitrógeno y fósforo aumentaron considerablemente su producción. DPA (di fosfato de amonio) aplicado solo al 100 kg ha^{-1} incrementó 9 veces la producción de materia seca. Tasas más altas de yeso y DPA no mejoraron el crecimiento del vetiver más. Estos resultados fueron fuertemente apoyados por los resultados de campo.

4.0 VETIVER GRASS FOR MINE SITE TREATMENT AND REHABILITATION

Con las extraordinarias características morfológicas y fisiológicas anteriores, el vetiver ha sido utilizado con éxito para la estabilización de taludes en ladera escarpada de vertederos y fitorremediación de escombreras de minas en Australia y otros países (Truong, 2004).

4.1 Minería en Australia

4.1.1 Relaves de Carbón: El sustrato de 23ha, 3,5 millones de metros cúbicos de relaves de carbón resultaron muy salinos, altamente sódicos y de muy bajo contenido de nitrógeno y fósforo. El sustrato contenía altos niveles solubles de azufre, magnesio y calcio. La disponibilidad de cobre, zinc, magnesio y hierro también era muy alta. Se utilizaron cinco especies tolerantes a la sal: vetiver, pasto marino (*Sporobolus virginicus*), pasto rojo común (*Phragmites australis*), cumbungi (*Typha domingensis*) y del género *Sarcocornia*. Se registró completa mortalidad después de 210 días para todas las especies excepto vetiver y pasto marino. La supervivencia del Vetiver fue significativamente aumentada por la utilización de cobertura vegetal (Mulch) pero la aplicación de fertilizantes por sí misma no tuvo ningún efecto. La utilización de cobertura vegetal y fertilizantes juntos incrementaron el crecimiento del Vetiver en 2 tha^{-1} , lo cual fue casi 10 veces más que el del pasto marino. (Truong, 2004).

4.1.2 Relaves frescos de Oro: Los relaves frescos son normalmente alcalinos ($\text{pH} = 8-9$), bajos en nutrientes para las plantas y muy altos en sulfatos libres (830 mgKg^{-1}), sodio y azufre total (1-4%). El Vetiver se estableció y creció muy bien en estos relaves sin fertilizantes, pero el crecimiento se mejoró con la aplicación de 500 Kg ha^{-1} de DAP. El Vetiver ha sido utilizado con éxito en un ensayo a gran escala para controlar el movimiento de polvo y la erosión del viento sobre una represa de relaves de 300ha. Cuando se planta en hileras espaciadas de 10m a 20m, las barreras de vetiver reducen la velocidad del viento y promueven el establecimiento de Pasto Rhodes.

4.1.3 Relaves antiguos de Oro: Debido al alto contenido de azufre, los viejos desechos de la minería de oro a menudo son extremadamente ácidos ($\text{pH} 2.5-3.5$), con altos contenidos de metales pesados y bajos en nutrientes para las plantas. **El restablecimiento de la vegetación en estos relaves es muy difícil, a menudo muy costoso, y la superficie de suelo desnudo es altamente erosionable.** Los ensayos de campo se llevaron a cabo en dos viejas (8 años) áreas de relave. Una exhibe una superficie blanda y la otra una capa dura. El sitio con la superficie blanda tenía un pH de 3.6, sulfato al 0.37% y el azufre total en 1.31%. El sitio con la superficie dura tenía un pH de 2.7, sulfato al 0.85% y el azufre total en 3.75%. Ambos lugares tenían un muy bajo nivel de nutrientes para las plantas. Sin embargo, con adecuado suministro de nitrógeno y fósforo (300 Kg ha^{-1} del DAP), el

vetiver tuvo un crecimiento excelente en el sitio con la superficie blanda (pH = 3,6) sin ningún tipo de liming (proceso que se aplica a los suelos ácidos donde el nivel de pH es elevado mediante la aplicación de calcio- y manganesio- materiales ricos, en varias formas: marga, tiza, caliza, o cal hidratada). Sin embargo, la adición de 5tha-1 de cal agrícola significativamente mejoró el crecimiento del Vetiver. En el sitio de superficie dura (pH = 2,7), aunque el vetiver sobrevivió sin liming, la adición de cal (20tha-1) y fertilizante (500kgha-1 del DAP) mejoró en gran medida el crecimiento del vetiver. (Tabla 3)

Tabla 3: Contenido de metales pesados de los relaves representativos de la minería de oro en Australia.

Metales pesados	Contenido Total (mgKg⁻¹)	Niveles umbral (mgKg⁻¹)
Arsénico	1 120	20
Cromo	55	50
Cobre	156	60
Manganeso	2 000	500
Plomo	353	300
Estroncio	335	NA
Zinc	283	200

NA No disponible

4.1.4 Relaves de Bentonita

Relaves de minas de Bentonita (residuos) es muy erosionables, ya que son altamente sódico con porcentajes de sodio intercambiable (PSI) cuyos valores van del 35% al 48%, alto en sulfato y extremadamente bajas en nutrientes para las plantas. El restablecimiento de la vegetación en las escombreras ha sido muy difícil, ya que las especies sembradas se lavan a menudo por la primera lluvia y lo que queda no puede prosperar en estas condiciones adversas. Con el suministro adecuado de fertilizantes nitrogenados y de fósforo el vetiver se estableció rápidamente en estos relaves, los setos proveyeron control de erosión y sedimentos, conservó la humedad del suelo y mejoró las condiciones para el establecimiento de especies autóctonas.

4.2 Mina de Bauxita en Venezuela

La mina de bauxita, CVG BAUXILUM, localizada en Los Pijiguaos, en el Estado de Bolívar, Venezuela incorporó el SV en su política general para mitigar el impacto de las actividades mineras en la comunidad local con el objetivo de prestar asistencia social y desarrollo económico a la población de la región. El sistema de vetiver se ha utilizado en este proyecto, para la estabilización de varios taludes, en interfaces suelo-cemento para proteger la infraestructura en el sitio de la mina, en la estabilización de cárcavas y los bordes de desagües, en refuerzo de los diques de la laguna, como bio-filtro en barrancos y cerca de lagunas. Para el control de la erosión un total de 26 300 metros de barreras de vetiver se plantaron, desde junio del 2003 a junio de 2006. Ahora CVG BAUXILUM está planeando plantar otros 7 400 metros de barreras de Vetiver. Con base en los resultados anteriores, durante los últimos tres años, CVG BAUXILUM ha adoptado con éxito el Sistema Vetiver para la rehabilitación de tierras y protección ambiental para restaurar esta mina a cielo abierto de bauxita en Venezuela, logrando niveles amigables con el medio ambiente. (Luque et al. 2006; Lisenia et al. 2006)

4.3 Minas de cobre en Chile

El principal ingreso económico de Chile se origina en la industria minera, principalmente de la minería del cobre. Por esta razón la Fundación Chile está llevando a cabo una serie de estudios piloto que utilizan el Sistema Vetiver para remediar los residuos producidos por la industria minera, que representa una importante fuente de contaminantes para el medio ambiente - agua, suelo y aire. Pruebas demostrativas se llevaron a cabo en un número de minas de cobre en la región central para:

- Determinar si el vetiver puede crecer sobre rocas altamente contaminadas de residuos y relaves de cobre.
- Averiguar si el vetiver puede crecer en estas condiciones climáticas extremas: a gran altitud, invierno frío y húmedo, y muy caliente y seco verano.
- Cerciorarse de que el vetiver es eficaz en la estabilización de los bordes de los estanques de relave (construidos con material de relaves de cobre solamente) y vertederos de residuos de roca para combatir erosión hídrica y por viento.
- Determinar si el vetiver es eficaz en la prevención de erosión eólica e hídrica en los estanques de relave recientes y antiguos.

Un año después de la siembra, los resultados hasta la fecha son muy alentadores; el vetiver se pudo establecer en los relaves de cobre altamente contaminados y residuos de vertedero de roca, donde creció 1,5 m en 6 meses. Un crecimiento razonable también se observó en un predio de 3 500 metros de altitud y, aunque cubierto por 50 cm de nieve durante un mes, ha sobrevivido el invierno en este sitio (Fonseca et al, 2006).

4.4 Minas en Sudáfrica

Ensayos de rehabilitación llevados a cabo por De Beers tanto en vertederos de residuos y presas fangosas en varios lugares, han demostrado que el vetiver posee los atributos necesarios para el crecimiento auto sostenible en desechos de Kimberlita. En Premier (800mm de precipitación anual) y Koffiefonteine (300mm precipitación) minas de diamantes, donde la temperatura superficial de Kimberlita negra a menudo excede los 55 °C, a esta temperatura la mayoría de las semillas no pueden germinar. El Vetiver plantado a 2 m de intervalo vertical, provee sombra que enfría la superficie y permite la germinación de otras semillas de hierba. El Vetiver creció vigorosamente, deteniendo el escurrimiento, la erosión y creando un microclima ideal para el establecimiento de especies de gramíneas nativas (Knoll, 1997).

4.5 Minas en China

I & D en China ha demostrado que *C. zizanioides* es una de las mejores opciones para la revegetación de residuos mineros de Pb, Zn debido a su alta tolerancia al metal, por otra parte, esta planta puede también ser utilizado para fito-extracción, debido a su gran biomasa. Investigación reciente también sugiere que el vetiver tiene mayor tolerancia al drenaje ácido minero (AMD) de minas de Pb / Zn, y los humedales plantados con este pasto pueden efectivamente ajustar el pH y eliminar SO₄²⁻, Cu, Cd, Pb, Zn y Mn de AMD. Por ejemplo, la biomasa producida por el vetiver es más del doble comparado tanto con especies locales e introducidas utilizadas en la rehabilitación de la mina de Pb y Zn Lechang, donde los relaves contienen niveles muy altos de metales pesados (Pb en 3 231 mgKg⁻¹, Zn al 3 418 mgKg⁻¹, Cu al 174 mgKg⁻¹ y Cd al 22 mgKg⁻¹) (Shu, 2003 and Xia *et al*, 2003).

4.6 Minas en Tailandia

Relaves mineros de hierro que normalmente contienen niveles altos de metales pesados con un total de Fe, Zn, Mn y Cu de 63.920, 190, 3.220 y 190 mgKg⁻¹ respectivamente y bajo contenido de nutrientes primarios y materia orgánica. I & D se llevó a cabo para evaluar los efectos del acondicionamiento del suelo sobre el crecimiento, el rendimiento y la acumulación de nutrientes primarios, así como Fe, Zn, Mn y Cu en el vetiver. Los resultados indicaron que la combinación de materiales de acondicionamiento del suelo, especialmente DTPA y el compost, fue más eficaz que solo quelantes y exclusivamente compost para mejorar el crecimiento del vetiver, de nutrientes y la absorción de metales y nutrientes. Los acondicionadores del suelo utilizados en este estudio no afectaron la translocación Fe y Zn desde las raíces a los brotes del vetiver. Sin embargo, el agente acondicionador quelante podría aumentar la translocación del Cu, especialmente en combinación con el compost, mientras que disminuyó ligeramente la translocación de Mn. Estos resultados indican que el vetiver es una planta potencial de fitoestabilización y rehabilitación de las zonas de mineras de hierro. (Roongtanakia et al., 2008).

5.0 VETIVER PARA LA REHABILITACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS

Los desechos industriales que contienen niveles muy altos de compuestos tanto orgánicos como inorgánicos han sido tratados con éxito en Australia, China, India, Tailandia y Vietnam. **In Australia**, El Vetiver se utilizó con éxito para rehabilitar un viejo vertedero de residuos de una gran fábrica de abonos contaminados con N, como se muestra a continuación:

- Superficie 2 150 m²
Profundidad promedio: 3.25m
- Volumen de suelo contaminado: Aprox. 6 990m³
- Volumen total de suelo contaminado: 71 120 m³
- Niveles de amoníaco del suelo, que van desde 20-1 220mg/kg, promedio 620mg/kg
- Nivel de N, que va desde 31-5 380mg/kg, promedio 2 700mg/kg
- Nivel de amoníaco en el agua, que va desde 235-1 150mg/L, con una muestra en 12 500mg/L

Con base en los anteriores niveles promedio de NH₃ y total de N, el contenido del gran total de N de la capa superior del suelo (20cm profundidad) es 0.66kgN/m², lo que equivale a 6 600kgN /ha. La investigación ha demostrado que el Vetiver bajo un flujo óptimo de humedad pueden ser cultivadas en suelos con hasta el 8 000kgN/ha (Wagner *et al* 2003). Por lo tanto, se prevé que la mayor parte del N en el relleno será retirado por el vetiver en menos de 4 años bajo condiciones atmosféricas favorables y un máximo de 6 años en condiciones atmosféricas normales. En los últimos años, el crecimiento vigoroso produjo alta biomasa con un alto contenido de N que indica que esta proyección está en curso.

En Vietnam, Residuos sólidos y suelos contaminados por fábricas cercanas de abono y papel, y una central de energía con carbón se estabilizó y rehabilito con éxito y rehabilitado ya que el vetiver facilito la re introducción de vegetación nativa

6.0 VENTAJAS GENERALES DE LA APLICACIÓN DEL SISTEMA VETIVER

- **Simplicidad:** La aplicación del Sistema Vetiver es bastante simple comparado con otros métodos convencionales.

- **Bajo costo:** La aplicación del Sistema Vetiver en tratamiento de aguas residuales cuesta una fracción del costo de los métodos convencionales, como los químicos o de tratamiento mecánico.
- **Mantenimiento mínimo:** Cuando está debidamente establecido, el SV no requiere prácticamente ningún mantenimiento para que siga funcionando.

7.0 REFERENCIAS

- Adams, R.P. and Dafforn, M.R.(1997). DNA fingertyping (RAPDS) of the pantropical grass vetiver (*Vetiveria zizanioides* L.) reveals a single clone “sunshine” is widely utilised for erosion control. The Vetiver Network Newsletter, no.18. Leesburg, Virginia USA.
- ANZ (1992). Australian and New Zealand Guidelines for the Assessment and Management of Contaminated Sites. Australian and New Zealand Environment and Conservation Council, and National Health and Medical Research Council, January 1992 .
- Baker, D.E. and Eldershaw, V.J. (1993). Interpreting soil analyses for agricultural land use in Queensland. Project Report Series Q093014, QDPI, Brisbane, Australia.
- Bowen, H.J.M. (1979). Plants and the Chemical Elements. (Ed.). Academic Press, London.
- Fonseca,R, Diaz, C, Castillo. M., Candia, J and P. Truong, P. (2006). Preliminary results of pilot studies on the use of vetiver grass for mine rehabilitation in Chile. Proc. ICV4, Caracas, Venezuela.
- Danh, L. T, Truong, P., Mammucari, R., Tran, T. and Foster, N. (2009). Vetiver grass, *Vetiveria zizanioides*: A Choice Plant for Phytoremediation of Heavy Metals and Organic Wastes. International Journal of Phytoremediation, **11**:8,664-691
- Kabata, A. and Pendias, H. (1984). Trace Elements in Soils and Plants. CRC Press, Florida.
- Knoll.C.(1997). Rehabilitation with vetiver. African Mining, Vol2 (2)
- Lepp, N.W. (1981). Effects of heavy metal pollution on plants. Vol.1: Effects of trace elements on plant functions. (Ed.) Applied Science Publication. London.
- Lisena, M., Tovar, C., Ruiz, L,(2006). Estudio Exploratorio de la Siembra del Vetiver en un Área Degradada por el Lodo Rojo”. Proc. ICV4, Caracas, Venezuela.
- Luque, R., Lisena, M. and Luque, O. (2006) Vetiver System For Environmental Protection Of Open Cut Bauxite Mining At “Los Pijiguaos” –Venezuela.
- Roongtanakiat, L., Osotsapar, Y., and Yindiram,C. (2008). Effects of soil amendment on growth and heavy metals content in vetiver grown on iron . Kasetsart J. (Nat. Sci.) 42 : 397 - 406
- Radloff, B., Walsh, K., Melzer, A. (1995). Direct Revegetation of Coal Tailings at BHP. Saraji Mine. Aust. Mining Council Envir. Workshop, Darwin, Australia.
- Taylor, K.W., Ibabuchi, I.O. and Sulford (1989). Growth and accumulation of forage grasses at various clipping dates on acid mine spoils. J. Environ. Sci. and Health A24: 195-204.
- Truong, P.N. (1996). Vetiver grass for land rehabilitation. Proc. First Intern. Vetiver Conf. Thailand (pp 49-56).
- Truong, P.N. and Baker, D. (1996). Vetiver grass for the stabilisation and rehabilitation of acid sulfate soils. Proc. Second National Conf. Acid Sulfate Soils, Coffs Harbour, Australia pp. 196-198.
- Truong, P.N.V. (2004). Vetiver Grass Technology for mine tailings rehabilitation. Ground and Water Bioengineering for Erosion Control and Slope Stabilisation. Editors: D. Barker, A.

Watson, S. Sompatpanit, B. Northcut and A. Maglinao. Published by Science Publishers Inc. NH, USA.

Truong, P., Tran Tan Van and Elise Pinnars (2008). *Vetiver System Applications: A Technical Reference Manual*. The Vetiver Network International, February 2008.

Truong, P and Cruz, Y. (2010). *Vetiver System: A Low Cost and Natural Solution for the Prevention and Treatment of Contaminated Water*. Proc. X Congress Water Resources and Environmental Health, Barcelo, Costa Rica.

Shu Wensheng (2003). *Exploring the Potential Utilization of Vetiver in Treating Acid Mine Drainage (AMD)*. Proc. Third International Vetiver Conference, Guangzhou, China, October 2003.

Xia Hanping, Honghua Ke, Zhaoping Deng and Peng Tan. (2003). *Ecological effectiveness of vetiver constructed wetlands in treating oil refined wastewater*. Proc. Third International Vetiver Conference, Guangzhou, China, October 2003.