

“Estudio Exploratorio de la Siembra del Vetiver en un Área Degradada por el Lodo Rojo”.

Mario Lisena¹ – Carlos Tovar¹ – Luis Ruiz¹

**¹Superintendencia Protección de Recursos Naturales
CVG Bauxilum Los Pijiguaos.**

Abstract: In order to obtain alumina in the plant located in the “Matanzas” industrial area, Puerto Ordaz, Venezuela, a well known chemical process, “Bayer Process” is executed, which raw material is Bauxite. Throughout the entire productive process of the alumina from the refinement of the Bauxite, surpluses such as red mud, red sand and caustic liquids are generated, which are later on stored in special areas designated for this purpose, taking all the necessary provisions to minimize the environmental impact.

For the storage of these surpluses, CVG Bauxilum counts on a lagoon system, erected on old low depth lagoons of the Orinoco River with sub drainage and drainage return systems on the dock’s perimeter, which has allowed controlling any eventual leakage and protecting the environment.

Regarding the functionality works of the storage and evaporation lagoons, CVG Bauxilum has carried out a series of works (refurbishment and recovery) which allow us to guarantee an environmentally safe storage of the mud and sand surpluses.

The actions taken up to date in favor of the environmental conservation are, among others: the construction of canals to deviate the superficial drainage waters, elevation of docks in order to increase the surplus storage capability, constructions of the retrieving and pumping systems for possible leakages, monitoring and controlling of the plant outgoings towards the lagoons. It is this way how CVG Bauxilum has invested in the past ten years an amount superior to US\$ 37,000,000.00 in works such as the ones mentioned above, showing its marked interest in preventing the possible environmental impacts.

Parallel to this, research studies on the development and settlement of vegetal species on red mud samples have been, in order to plan the reforestation of the lagoons at the end of its useful period.

In this order, this report lists in detail the results of almost three (3) years of tests carried out with culture of vetiver cutting (***Vetiveria zizanioides***) on grounds originating from red mud samples by CVG Bauxilum Los Pijiguaos. The purpose of these tests was to determine the viability for the recovery of this specie, in the red mud deposit lots, highly alkaline surpluses resulting from the refining of the bauxite for alumina production.

The tests have shown the level of adaptation and development (behavior) on the specie’s behalf on a red mud sample (in normal conditions) on a highly alkaline environment.

The red mud’s Ph is about 11 or higher, this is why any accidental spill including those due to the excessive level increase of the lagoons by environmentally natural reasons (rain), is therefore toxic. On the other hand, when these lagoons have reached the desired level (thickness) mud unloading takes place on another lagoon deposit meanwhile the first lagoon dries and hardens. Later on and after a few months the unloading of the mud is carried out again on the first lagoon while the second lagoon dries and hardens and so on with the remaining lagoons. This process is repeated continuously until the lagoons reach their maximum storage capacity.

Palabra clave: Bauxita, Minería, Lodos Rojos, Lagunas, Adaptación.
mario.lisena@bauxilum.com.ve

Although it is true that up to date there is storage room available for this mud disposition and that the storage methods satisfy the total contention principle and a non existent unload to the environment. It is necessary to develop recovery environmental programs that allow us to re settle the altered environment by means of introduction of species resistant to this environment. It is evident, in the same way, the requirement on behalf of the Environmental Ministry regarding to the recovery of affected areas; once the requests are made (permisology) corresponding to the addressing of new areas for the deposit and storage of the material (red mud).

As we have already indicated, the chemical factors constituted mainly by a Ph that generally exceed a value of 11, constitutes one of the main limitations for the growth and development of vegetal species on red mud. Therefore it is considered generally as a biological sterile material.

Among the red mud physical limitations it is highlighted its low permeability and its apparent high density. On the other side, the irrigation causes the particles segregation and the concentration of the fine ones on the surface; which leads to the formation of a very low coefficient water infiltration material.

Since November, 1998, CVG Bauxilum Los Pijiguaos has been carrying out tests on trays, quarries and on ground to determine the recovery viability identifying and establishing the species most adequate to this environment and determining methods for its growing.

1. INTRODUCCIÓN

Adscrita al Ministerio de Industrias Básicas y Minería (MIBAM), y bajo la tutela de la Corporación Venezolana de Guayana (CVG), CVG Bauxilum, contribuye con el desarrollo sustentable de la nación al producir alúmina grado metalúrgico, para proveer a las plantas reductoras de aluminio nacional y exportar el excedente de producción.

Para obtener la alúmina en la planta asentada en la zona industrial Matanzas, Pto. Ordaz, Venezuela se ejecuta un proceso químico conocido como “Proceso Bayer”, cuya materia prima es la bauxita. Durante todo el proceso productivo de la alúmina a partir de la refinación de la bauxita se generan residuos como lodo rojo, arena roja y líquidos cáusticos, que son posteriormente almacenados en áreas habilitadas para tal fin, tomando las previsiones necesarias para minimizar el impacto ambiental.



Foto n°1 Laguna de lodos rojos CVG BAUXILUM Planta.

Para el almacenamiento de estos residuos, CVG Bauxilum cuenta con un sistema lagunar construido en antiguas lagunas rebalseras del río Orinoco, con sistemas de subdrenajes y de

retornos de filtraciones en el perímetro de los diques, lo que le ha permitido controlar las posibles filtraciones y proteger el ambiente.

En tal sentido, en relación a los trabajos de funcionalidad de las lagunas de almacenamiento y evaporación, CVG Bauxilum ha ejecutado una serie de obras (reacondicionamientos y recuperaciones) que nos permiten garantizar un almacenamiento ambientalmente seguro de los residuos de lodo y arena.

Las acciones ejecutadas hasta la fecha en pro de la conservación del ambiente son, entre otras: construcción de canales para desviar las aguas de escurrimiento superficial, elevación de diques para incrementar la capacidad de almacenamiento de residuos, construcción del sistema de captación y bombeo de posibles filtraciones, monitoreo y control de los efluentes de planta hacia las lagunas. Es así como CVG Bauxilum ha invertido en los últimos diez años, un monto superior a los 37 millones de dólares en acciones como las antes señaladas, dando muestras de su marcado interés por prevenir posibles impactos al ambiente.

Esta elevada conciencia ambiental que la empresa ha demostrado, será acentuada en este 2006, cuando la planta inicie inversiones superiores a 20 millones de dólares para la implantación de un sistema de almacenamiento de lodo en seco, mediante la asociación estratégica establecida con la empresa Alcan-Pechiney.

Paralelo a esto, se han realizado estudios de investigación sobre el desarrollo y establecimiento de especies vegetales en muestras de lodo rojo, con el propósito de planificar la revegetación de las lagunas al final de su vida útil.

En tal sentido, este informe detalla los resultados de casi tres (03) años de ensayos realizados con cultivos de esquejes de vetiver (**Vetiveria zizanioides**) en suelos procedentes de muestras de lodo rojo por CVG Bauxilum Los Pijiguaos. La finalidad de los ensayos fue determinar la viabilidad de recuperación con esta especie, en los depósitos de lodo rojo, residuos altamente alcalinos resultantes de la refinación de la bauxita para la producción de alúmina.

Los ensayos han demostrado el grado de adaptación y desarrollo (comportamiento) por parte de esta especie en una muestra de lodo rojo (en condiciones normales) en un medio altamente alcalino.

2. CARACTERÍSTICAS DEL LODO ROJO

Como su nombre lo indica, el lodo rojo es de color rojo herrumbre brillante, y contiene aproximadamente de 30% a 60% de óxidos de hierro. Los granos de este lodo son extremadamente pequeños, con un diámetro generalmente por debajo de un micrón. El lodo fresco contiene aproximadamente 60% de agua.

El pH del lodo rojo es alrededor de 11 o superior, de allí que cualquier derrame accidental



Foto n°2 Sistema lagunar de descarga y almacenamiento de los Lodos Rojos.

incluido el debido al crecimiento excesivo de los niveles de las lagunas por razones ambientales naturales (lluvias), es por lo tanto tóxico. Por la otra parte, cuando las lagunas han alcanzado el nivel deseado (espesor) el lodo se descarga en otra laguna de depósito mientras que en la primera se seca y endurece. Posteriormente y después de varios meses la descarga se realiza nuevamente en la primera laguna mientras la segunda laguna se seca, y así sucesivamente con el resto de las lagunas. Este proceso se repite continuamente hasta que las lagunas logren alcanzar su capacidad máxima de almacenamiento.

Al ritmo establecido de producción deben eliminarse, según cálculos, el equivalente a 1.304.334 t/mes. Es decir, 1 tonelada métrica de bauxita produce en promedio: 0.38 toneladas de alúmina y 0.62 toneladas de lodo rojo.

Si bien es cierto de que a la fecha se dispone de capacidad en cuanto a la disposición de estos lodos y que este método de almacenamiento satisface el principio de contención total y una descarga nula al medio. Es necesario desarrollar programas de recuperación ambiental que permitan restablecer el medio ambiente alterado, mediante la introducción de especies resistentes al medio. De igual manera es evidente el requerimiento por parte del Ministerio del Ambiente en relación a la recuperación de las áreas afectadas; una vez sean realizadas las solicitudes (permisología) correspondientes a la asignación de nuevas áreas para depósito y almacenamiento del material (lodo rojo).

Como ya lo hemos indicado, los factores químicos constituidos principalmente por un pH que generalmente excede un valor de 11, constituye una de las principales limitaciones para el crecimiento y desarrollo de especies vegetales en el lodo rojo. Por lo que se considera generalmente como un material biológicamente estéril.

Entre las limitaciones físicas del lodo rojo resaltan su baja permeabilidad y su elevada densidad aparente. Por la otra parte, el riego causa la segregación de las partículas y la concentración de los finos en la superficie; lo que conduce a la formación de un material con coeficientes de infiltración de agua sumamente bajos.

Desde Noviembre de 1998, CVG Bauxilum Los Pijiguaos ha venido realizando ensayos en bandejas, canteros y sobre el terreno para determinar la viabilidad de recuperación identificando y estableciendo las especies más adecuadas a este medio y determinando los métodos para su plantación.

3. OBJETIVOS DEL ENSAYO

3.1 Objetivo general:

Determinar y establecer la adaptabilidad de la planta de Vetiver en condiciones extremas de pH contenido en el Lodo Rojo.

3.2 Objetivos específicos:

Determinar la resistencia (adaptabilidad) del vetiver en las condiciones extremas (pH) del Lodo Rojo.

Determinar el nivel de tolerancia del vetiver a un pH de 9.5.

Determinar el pH del Lodo Rojo al inicio y al final del ensayo para establecer su grado de lixiviación en condiciones normales.

Determinar si las raíces del Vetiver perforan la malla de Polipropileno para establecer contacto con el suelo original.

4. METODOLOGÍA

Determinación del sitio de la siembra.
Preparación del sitio de la siembra.
Colocación de una malla de Polipropileno en el suelo.
Dividir el cantero con madera.
Rellenar el cantero con Lodo Rojo.
Siembra del vetiver (esquejes) en el sitio previamente definido.

5. DESCRIPCIÓN DEL SITIO DE LA SIEMBRA

Superficie 5 mt².
Un pH de 9.5 (Alcalino).
Lugar: lecho de secado de la antigua planta de tratamiento de aguas residuales del centro poblado.

6. MEMORIA DESCRIPTIVA

Lugar: lecho de secado de la planta de tratamiento de aguas residuales del centro poblado.

Fecha de Siembra: inicio del ensayo, 15 / 07 / 2003.

Superficie: 5 mt².

Especie: Vetiver (esquejes).

N° de plantas sembradas: 30.

Distanciamiento: 0.15 mt * 0.15 mt.

Tiempo de siembra: 33 meses.

N° de plantas actuales (vivas): 19.

N° de plantas muertas: 11.

Índice de Supervivencia: 63.63%.

Índice de Mortalidad: 36.66%

No se aplicaron enmiendas en el ensayo.

La aplicación de riego fue de cada dos días.

Lodo Rojo (cantidad): 1 mt³.

pH Inicial del Lodo Rojo: (pH: 9,5) Fecha 15 / 07 / 2003.

pH Intermedio del Lodo Rojo: (pH: 9,5) Fecha 10 / 03 / 2004.

pH Final del Lodo Rojo: (pH: 8,5) Fecha 15 / 04 / 2006.

En el ensayo se utilizó una malla de Polipropileno que impidió el contacto de las raíces del Vetiver y el suelo original; así como también la lixiviación de las bases.

7. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Durante los primeros diez (10) meses del ensayo el índice de supervivencia se mantuvo en un 83%, mientras que el índice de mortalidad en un 17%; disminuyendo e incrementándose respectivamente los mismos, hasta el final del ensayo.

Una vez finalizado este periodo (10 meses), se eliminó el riego programado del ensayo (especies de vetiver) y se sustituyó por el riego establecido por las condiciones de precipitación normales presentes en la localidad.

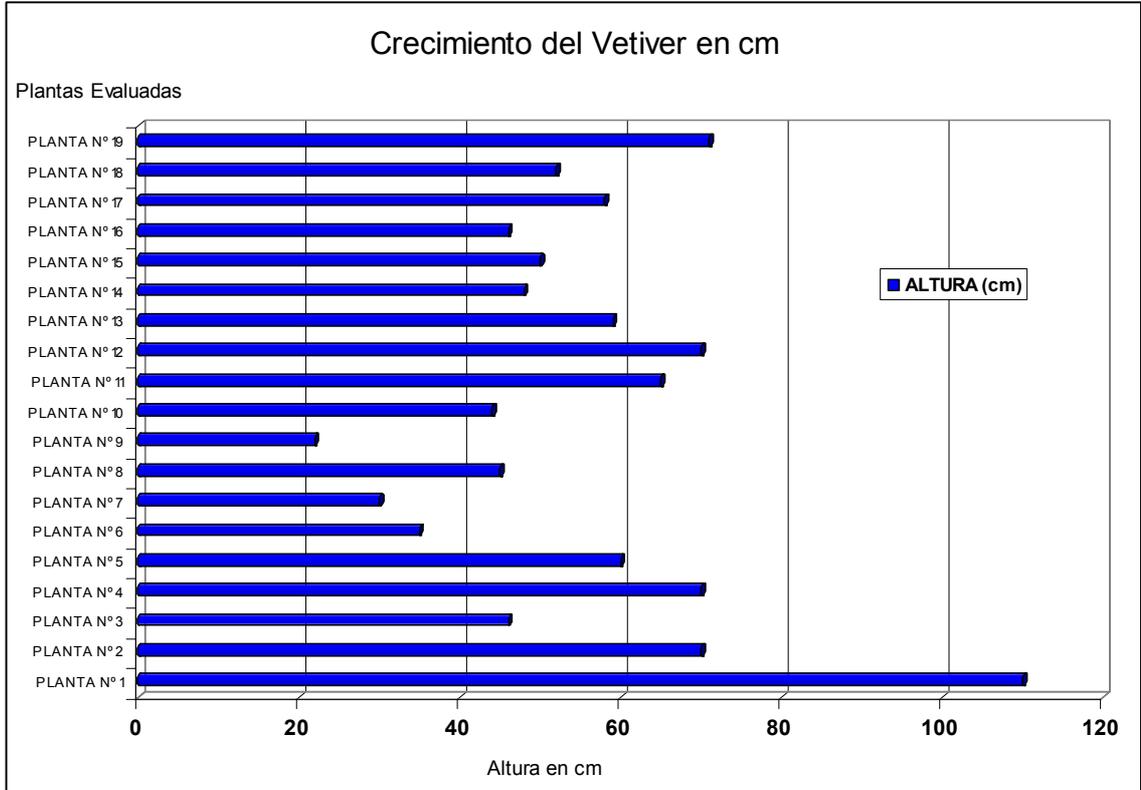
Los ensayos han demostrado el grado de adaptación y desarrollo por parte de esta especie en una muestra de lodo rojo en un medio altamente alcalino. Por la otra parte, es evidente la

importancia en la selección y la determinación de las especies adecuadas para la realización del ensayo y se evidencia la viabilidad para la recuperación de las lagunas de lodos rojos. Aún cuando fueron consideradas (durante el inicio del ensayo) las limitaciones físicas del lodo rojo, así como su alta densidad aparente, su baja permeabilidad, su falta de estructura como suelo verdadero y su tendencia a endurecerse y cuartearse; los sistemas de acondicionamiento y/o preparación físico-química del suelo fueron obviados con el propósito de determinar sus condiciones de adaptación y resistencia en condiciones extremas (desfavorables).

8. CONCLUSIONES

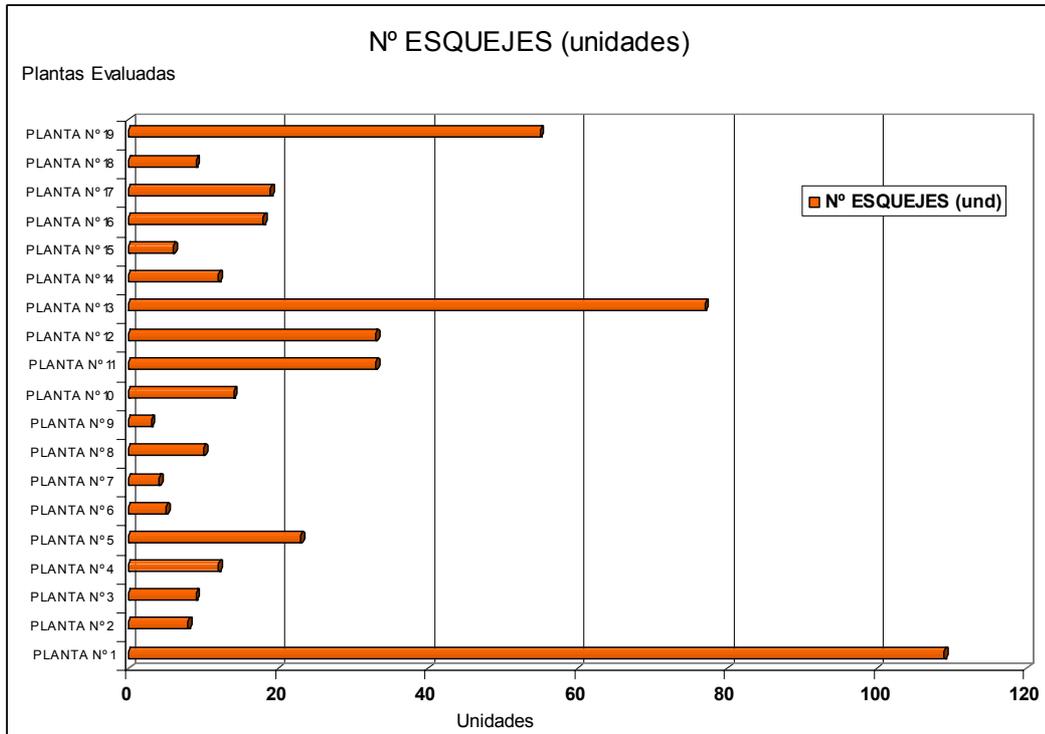
1. Casi tres (03) años de ensayos han demostrado convincentemente que es viable la recuperación de lagunas con depósitos de lodo rojo y que las mismas pueden ser revegetadas mediante el establecimiento de la especie vetiver.
2. Se puede afirmar que la especie Vetiver tolera un amplio rango de Alcalinidad presente en el Lodo Rojo; es decir, que es resistente a un pH de 9,5.
3. En el área de estudio y al final del mismo se pudo observar que la especie Vetiver tiene un índice de mortalidad de un 36%, y un índice de supervivencia de 64%. Por la otra parte, los esquejes establecidos durante el ensayo presentaban buenas condiciones fitosanitarias.
4. A lo largo del experimento en el área de siembra no se realizó la aplicación de abonos (fertilizantes químicos y sintéticos), con el propósito de determinar condiciones extremas para su adaptabilidad en contraposición a las condiciones favorables para su desarrollo. Las condiciones de riego fueron las normales dadas las precipitaciones presentes establecidas por el sistema climático de la localidad.
5. Se pudo constatar que el Vetiver presenta un grado de desarrollo poco proporcionado y lento tanto de las raíces como de los esquejes (en relación a su desarrollo en otro tipo de suelos); dadas las condiciones limitantes del pH.
6. La siembra de barreras de Vetiver; se puede considerar como una técnica de recuperación de áreas degradadas a bajo costo con relación a técnicas convencionales y permiten a la vez el control por la erosión del viento en el área de las referidas lagunas.
7. Se pudo verificar que otras especies de plantas sembradas en el área de estudio no tuvieron adaptación, desarrollo y resistencia a diferencia del Vetiver.
8. En la investigación se determinó que existió una ligera lixiviación del lodo rojo durante el ensayo, debido a que luego de 33 meses el pH disminuyó su valor; de 9.5 (pH inicial) a 8.5 (pH final).
9. Durante el ensayo se pudo constatar que la especie Vetiver desarrolla sus raíces de forma de horizontal, debido a las limitaciones establecidas por la malla de Polipropileno ubicada entre el suelo y el Lodo Rojo. Lo que evidentemente impidió el contacto de las raíces de la planta con el suelo original.
10. Además del vetiver, se pudo observar el desarrollo de un tipo de musgo identificado dentro de la familia POTTIACEAE y perteneciente al género *Didymodon* sp. Este género es indicador de pH sumamente alcalino bajo cielo abierto.

11. El crecimiento promedio del sistema radicular en proyección horizontal fue de 63.5 cm.

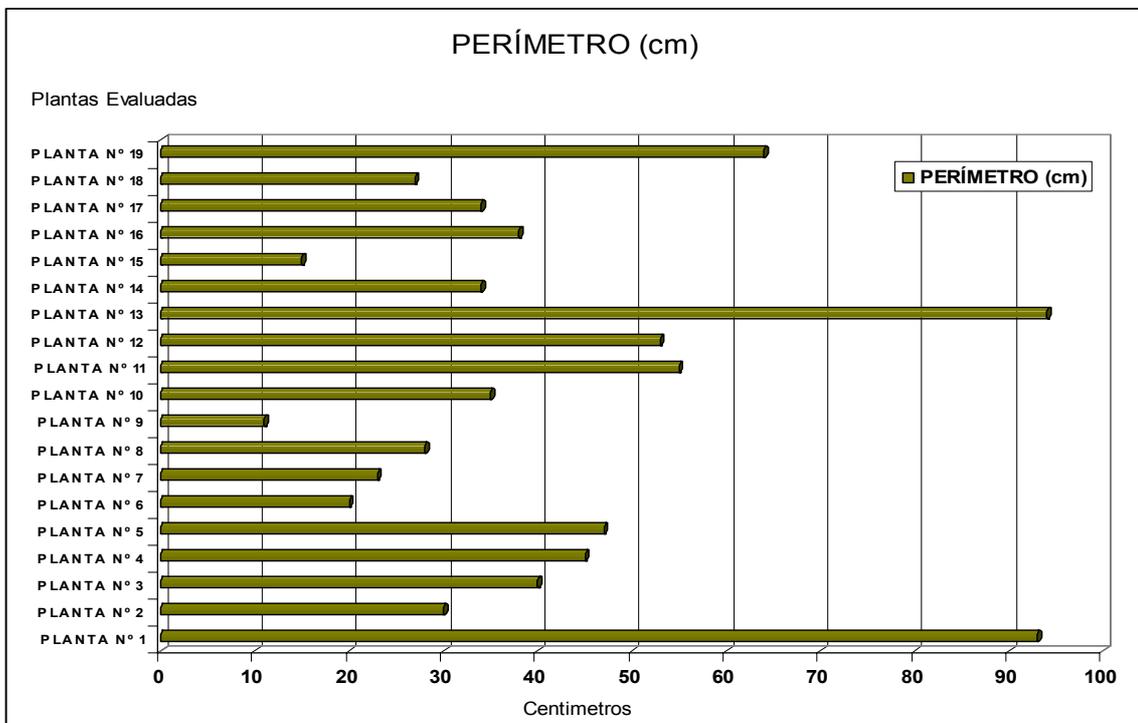


12. Resulta completamente evidente que es posible mejorar los porcentajes de sobrevivencia; así como el grado de adaptación y desarrollo de la especie vetiver (durante los ensayos definitivos en sitio) si consideramos la aplicación de enmiendas (fertilizantes) y mejoras en la estructura del suelo.
13. Los sacos de polipropileno impidieron la penetración de las raíces de las plantas al suelo original; pero permitieron a su vez, el proceso de lixiviación de las bases (manteniéndose este proceso de moderado a bajo).
14. Dado a que el número de plantas que perecieron se concentro mayoritariamente sobre la fila central del cantero. Se procedió a realizar varias determinaciones de pH en toda el área del mismo.

15. El número de esquejes promedio por planta 24.16.



16. El perímetro promedio desarrollado por planta 41.37 cm.



9. RECOMENDACIONES

Iniciar un programa de investigación completa sobre la influencia del Lodo Rojo sobre la especie Vetiver.

Aplicación de riego en plantaciones experimentales de forma continúa.

Una vez que ha sido comprobada la adaptabilidad de la especie Vetiver en una muestra de Lodo Rojo (en condiciones extremas) se recomienda realizar ensayos definitivos en sitios de disposición final (taludes de diques de retención de Lodos Rojos, terrazas de Lodo Rojo, etc).

Se recomienda realizar estudios de adaptabilidad y cobertura de la especie Vetiver en suelos definitivos aplicando enmiendas que permitan mejorar las condiciones presentes en el sustrato (Sulfato de Aluminio, Sulfato de Amonio, fertilizante del tipo N-P-K, etc).

Resumen Curricular de Mario Lisena

Ingeniero Forestal – Especialista Manejo de Cuencas, Universidad de Los Andes (ULA) Mérida, Venezuela. Especialista Mining and The Environment Sep-2000, University Luleå – Sweden Especialista en Control y Gestión Ambiental, Instituto Universitario Tecnológico de Valencia, Valencia, Venezuela.

Premio Excelencia de Gestión Ambiental por su Trabajo “Compatibilidad entre Las Técnicas de Aprovechamiento Minero y el Entorno Ambiental en CVG Bauxilum” - Organismo Latinoamericano de Minería – Olami – Mayo 2000 Cepal – Santiago de Chile.

Premio Excelencia de Gestión Ambiental por su Trabajo “Integración de los Elementos Físicos en el Plan de Protección Ambiental y Control de la Exposición a la Erosión Eólica” Organismo Latinoamericano de Minería – Olami – Mayo 2002 Cepal – Santiago de Chile.

Premio Excelencia de Gestión Ambiental por su Trabajo “Conjunto de Actividades Específicas de Carácter Ambiental y Recuperación”– Organismo Latinoamericano de Minería – Olami – Mayo 2004 – Cartagena de Indias. Colombia.

ANEXO

Preparación y acondicionamiento del lecho, conformado por 1 m³ de lodo rojo contaminado con soda cáustica. Para evitar la lixiviación se colocó en el fondo del lecho un material impermeable (sacos de polietileno). El pH inicial es 9.5 (14/07/2003)



Siembra del vetiver 15/07/2003, se establecieron un total de 30 esquejes en una superficie de 5 m², con una separación de 0.15 m x 0.15 m. La flecha verde indica otra especie plantada mango (*mangifera indica*). El pH inicial es 9.5.



Desarrollo del Vetiver 9 meses después, el pH continúa en 9.5. Se observan los diferentes grados de adaptación de la especie.



Procedimiento para verificar el grado de desarrollo de las raíces del vetiver, el pH continúa en 9.5 a los nueve meses. Se observa que las raíces no han logrado perforar el material impermeable, es decir que la planta se encuentra confinada en el lodo rojo.



Desarrollo y adaptación del Vetiver a los 33 meses. El pH es 8.5.



Desarrollo y adaptación del Vetiver a los 33 meses. Procedimiento para verificar el crecimiento de raíces, esquejes y determinar si las raíces continúan confinadas en el material impermeable (pH del lodo rojo 8.5).



Desarrollo y adaptación del Vetiver a los 33 meses. Procedimiento para verificar el crecimiento de raíces, esquejes y determinar si las raíces continúan confinadas en el material impermeable (pH del lodo rojo 8.5).



Procedimiento para verificar el crecimiento radicular. Se procedió a la remoción del lodo para apreciar el grado de formación de raíces del Vetiver. El pH es 8.5 a los 33 meses.



Perfil del sustrato y procedimiento para verificar el crecimiento radicular en proyección horizontal o vertical. El pH es 8.5 a los 33 meses.



Se constató que el desarrollo radicular presentó proyección horizontal debido a que el manto impermeable evitó el crecimiento en profundidad (Geotropismo + de la raíz). El pH es 8.5 a los 33 meses.



Procedimiento para determinar la altura de la planta y el grado de desarrollo de las raíces, a los 33 meses.



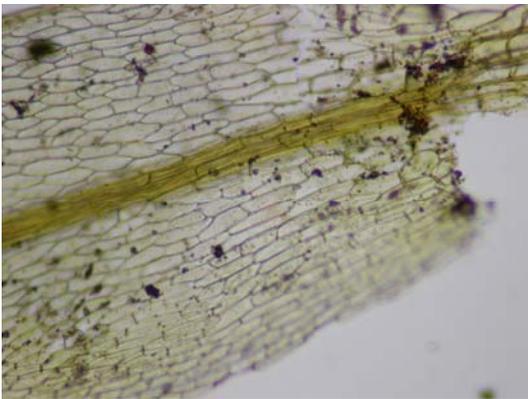
Procedimiento para determinar la altura, número de esquejes formados y perímetro que desarrolló la planta a los 33 meses.



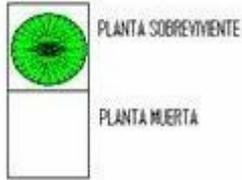
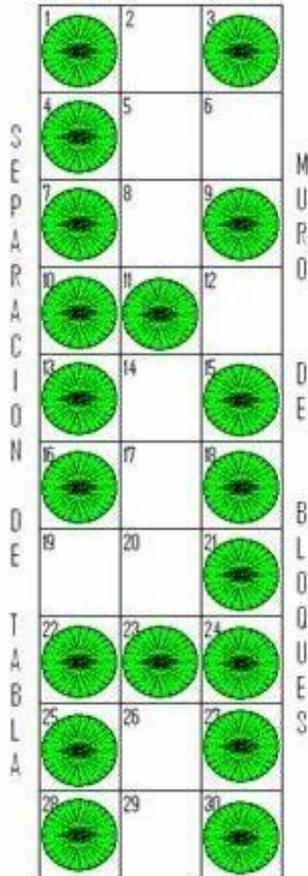
Adaptación del Vetiver en el lodo rojo. Se puede observar como una especie de musgo se estableció durante el ensayo.



Musgo de la familia POTTIACEAE y perteneciente al género *Didymodon* sp.



RESULTADOS DE LOS ENSAYOS



COMPORTAMIENTO DEL PH

PH INICIAL = 9.5 (15/07/03)

PH INTERMEDIO = 9.5 (10/03/04)

PH FINAL = 8.5 (15/04/06)

| PLANTA Nº | LONG TOTAL | NRO DE ESQUEJES | LONG PERIMETRO | Crecim raíces |
|-----------|------------|-----------------|----------------|---------------|
| 1 | 110 cm | 109 | 93 cm | 80 cm |
| 2 | — | — | — | — |
| 3 | 70 cm | 08 | 30 cm | — |
| 4 | 46 cm | 09 | 40 cm | — |
| 5 | — | — | — | — |
| 6 | — | — | — | — |
| 7 | 70 cm | 12 | 45 cm | — |
| 8 | — | — | — | — |
| 9 | 60 cm | 23 | 47 cm | — |
| 10 | 35 cm | 05 | 20 cm | — |
| 11 | 30 cm | 04 | 23 cm | — |
| 12 | — | — | — | — |
| 13 | 45 cm | 10 | 28 cm | 47 cm |
| 14 | — | — | — | — |
| 15 | 22 cm | 03 | 11 cm | — |
| 16 | 44 cm | 14 | 35 cm | — |
| 17 | — | — | — | — |
| 18 | 65 cm | 33 | 55 cm | — |
| 19 | — | — | — | — |
| 20 | — | — | — | — |
| 21 | 70 cm | 33 | 53 cm | — |
| 22 | 59 cm | 77 | 94 cm | — |
| 23 | 48 cm | 12 | 34 cm | — |
| 24 | 50 cm | 06 | 15 cm | — |
| 25 | 46 cm | 18 | 38 cm | — |
| 26 | — | — | — | — |
| 27 | 58 cm | 19 | 34 cm | — |
| 28 | 52 cm | 09 | 27 cm | — |
| 29 | — | — | — | — |
| 30 | 71 cm | 55 | 64 cm | — |