

USO DEL VETIVER EN LA RECUPERACIÓN DE ÁREAS CRÍTICAS EN SUELOS DE MINAS DE BAUXITA EN VENEZUELA



CIUDAD GUAYANA, 2009

ESTRUCTURA DE CONTENIDO.

RESUMEN.

- 1. INTRODUCCIÓN.**
- 2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.**
- 3. JUSTIFICACIÓN.**
- 4. OBJETIVOS.**
 - 4.1. OBJETIVO GENERAL.**
 - 4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.**
- 5. ANTECEDENTES.**
- 6. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.**
 - 6.1. LOCALIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO**
 - 6.2. CARACTERÍSTICAS FÍSICO NATURAL DEL ÁREA.**
 - 6.3. CARACTERÍSTICAS DEL APROVECHAMIENTO MINERO.**
- 7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.**
 - 7.1. IDENTIFICACIÓN DE LAS ÁREAS CRÍTICAS.**
 - 7.2. INVENTARIO Y JERARQUIZACIÓN DE ÁREAS CRÍTICAS.**
 - 7.3. TECNOLOGÍA DE SISTEMA VETIVER.**
 - 7.4. INFORME TECNICO SOBRE TRATAMIENTOS DE LOS SITIOS CRÍTICOS.**
 - 7.4.1. RECUPERACIÓN AMBIENTAL CON TECNOLOGÍA DE SISTEMA VETIVER.**
 - 7.4.2. ESTRATEGIA DE CONTROL: MEDIDAS ESTRUCTURALES.**
- 8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.**
- 9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.**

RESUMEN

El presente trabajo muestra los resultados de la aplicación de un método para determinar las áreas críticas vinculadas al fenómeno de la dinámica torrencial, ubicado en suelos de mina de bauxita, actualmente llevada a cabo por la empresa C.V.G. BAUXILUM, operadora de bauxita, la cual es considerada como un “Proyecto de Interés Nacional” por su importancia: Su objetivo básico es garantizar, en breve plazo, la producción de bauxita que demanda la industria nacional del aluminio.

El trabajo enfatiza la recuperación de áreas críticas. Se empleó una metodología para el inventario y jerarquización de torrentes y cárcavas. El inventario arrojó un total de 6 torrentes y 15 focos erosivos entre cárcavas, deslizamientos y derrumbes, cuyo orden de prioridad resultó ser el siguiente: 1) El Chorro, 2) El Secreto (Puente Cuatro) y 3) Los Pijiguaos (Rincón, 2001).

La jerarquización realizada destaca como prioritario al torrente “El Chorro”, debido principalmente a su escasa cubierta vegetal, siendo el principal aportador de sedimentos al caño “La Batea”, y al torrente El Secreto (Tramo inferior) al cual afluye por su margen derecha (Rincón, 2001).

Después de la ocurrencia de fuertes lluvias, estas áreas críticas se sobrecargan de material sólido, proveniente de la erosión laminar y derrumbes, que aumentan el riesgo de crecidas y consecuentes inundaciones (Rincón, 2001).

Es por ello, que la empresa CVG-BAUXILUM, operadora de bauxita tiene especial interés en controlar esta situación. Para contrarrestar estos problemas se prevé, tratar las áreas críticas con métodos y medidas de corrección de torrentes, cuyo propósito es

reducir el volumen, intensidad y concentración con que se presentan cada uno de los procesos que intervienen y caracterizan la dinámica torrencial.

Se prevé la aplicación de Tecnología de Sistema Vetiver (TSV) como planta matriz para el control de erosión y estabilización de taludes. Así mismo, se propone la construcción de medidas estructurales como obras para evacuar las aguas de escorrentía, controlar la erosión de fondo, mediante torrenteras, entre otros.

1. INTRODUCCIÓN.

Al considerar los recursos suelo y agua en el ámbito de la recuperación de áreas críticas (erosión en surcos, cárcavas, movimientos en masa, etc.), su multifuncionalidad adquiere gran relevancia, sea cual fuere el nivel de detalle del estudio que se trate. Es por ello que el manejo de suelos de minas de bauxita a cielo abierto presenta un enfoque complejo, debido a que implica una integración de la racionalización de uso de la tierra, control de erosión y de torrentes, compatible con el eficiente manejo del recurso agua.

La dinámica de la actividad minera en todas sus facetas provoca cambios físicos obligatorios al medio donde se desarrolla; estos a su vez originan otros de índole biológicos y químicos, causando efectos heterogéneos en los elementos que lo conforman.

La empresa C.V.G. BAUXILUM, operadora de bauxita, la cual es considerada como un “Proyecto de Interés Nacional” por su importancia: Su objetivo básico es garantizar, en breve plazo, la producción de bauxita que demanda la industria nacional del aluminio. Como consecuencia de ello, ciertas áreas ubicadas en la vertiente izquierda (tramo superior) del sector hidrológico El Chorro (microcuenca La Batea) han sufrido perturbaciones producto de la extracción del material y construcción de

infraestructura; provocando la pérdida total de los suelos y por ende la vegetación existente, presentándose problemas por los efectos de la erosión hídrica (Rincón, 2001).

El sector hidrológico “El Chorro” posee las características naturales que facilitan la generación de crecidas torrenciales. En épocas de fuertes lluvias se producen fenómenos de erosión y socavación, con el consiguiente transporte y deposición de sedimentos, los cuales hacen prever daños a la infraestructura existente, así como a las viviendas ubicadas aguas abajo del torrente (microcuenca La Batea) (Rincón, 2001).

En el presente trabajo se realiza un análisis del uso del vetiver en la recuperación de áreas críticas sometidas a la actividad minera de bauxita de CVG-Bauxilum. Se realiza un diagnóstico integral del área, se desarrolla una estrategia de control y se proponen un conjunto de obras (aplicación de Tecnología de Sistema Vetiver y medidas estructurales) que permitan controlar la erosión hídrica producto de las aguas de escorrentía, tanto en cauce como en vertientes.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

El proceso de extracción de bauxita a cielo abierto conlleva una serie de actividades que de alguna manera causan problemas en cuanto a la alteración del medio ambiente se refiere. Entre los principales efectos causados se pueden mencionar los siguientes: deforestación, erosión, transporte de sedimentos, socavación, contaminación de cursos de agua, etc.; produciendo cambios importantes en el suelo que afectan a sus propiedades físicas, químicas y biológicas y que conducen a una grave degradación del mismo, en algunos ocasiones con consecuencias irreversibles (Rincón, 2001).

La empresa, CVG-BAUXILUM, operadora de bauxita, opera en una zona de gran biodiversidad y la ejecución del proyecto ha afectado el medio ambiente, el cual es

muy sensible como en las áreas de las microcuencas Los Pijiguaos y La Batea (área donde se

encuentra los diferentes bloques de explotación de bauxita de CVG-Bauxilum) aguas arriba de la población del mismo nombre, que están sujetas a fuerte actividad torrencial generadora de sedimentos, especialmente los torrentes El Chorro, El Secreto (Puente Cuatro) y Los Pijiguaos, debido a sus características litológicas, topográficas, climáticas y de uso de la tierra. En estos torrentes en época de lluvia se producen fenómenos intensos de erosión y socavación (lateral y de fondo) en términos de vertientes y cauce, los cuales pueden generar daños a la infraestructura existente (vía férrea, patio de apilamiento del mineral, etc., ubicadas en Pie de Cerro), así como también a las viviendas cercanas aguas abajo de los torrentes (Rincón, 2001).

Por lo anteriormente expuesto, urge la necesidad de contar con una clasificación de torrentes, así como de áreas críticas (procesos erosivos), que los caracterice en forma individual según criterios relevantes, que traten de reflejar una relación entre el comportamiento y la necesidad del control basados en los posibles daños y consecuencias que podrían desencadenarse. Así mismo, la ejecución de obras de tratamiento (incorporación de medidas vegetativas: Tecnología de Sistemas Vetiver (TSV), medidas estructurales (torrenceras), lagunas de sedimentación, reforestación con fines de bosques de protección, entre otros; que permitan controlar las fuentes productoras de sedimentos (áreas críticas).

3. JUSTIFICACIÓN.

Para mitigar el impacto ambiental ocasionado por la operación de extracción de mineral de bauxita, la Empresa C.V.G BAUXILUM, operadora de bauxita, dentro del marco de sus políticas ambientales, viene realizando en la explotación de este recurso natural esfuerzos permanentes basados en programas tales como: Rehabilitación de áreas

intervenidas, construcción de canales perimetrales y lagunas de sedimentación, protección de taludes, corrección de torrentes y aplicación como un proceso sistematizado, la remoción de la vegetación existente en los espacios previstos para la extracción de la bauxita y acopia la capa vegetal para su posterior uso (Lisena, 2003).

Concluida la fase de explotación del mineral, se realiza la recuperación del área colocando el material previamente reservado mediante el uso de maquinarias que lo distribuye, a la vez que realiza la escarificación profunda en el suelo. Posteriormente se procede a la siembra de especies que se adapten a la ecología de la zona (Ver Tabla N° 1). La empresa a fin de complementar su política de recuperación ambiental ha incorporado la Tecnología de Sistemas Vetiver (TSV) desde el año 2003, así como también una serie de medidas estructurales (torreteras, revestimientos de cunetas, etc.) (Lisena, 2003).

Las medidas estructurales deberán retener el material sólido en tránsito, evitar las socavaciones laterales y de fondo, elevar el fondo del canal de las cárcavas (áreas críticas), disminuir la erosión en las vertientes. Así mismo, conducir las aguas por su cauce natural para evitar riesgos de daños a personas, viviendas, vías y cultivos que se encuentran aguas abajo del área de influencia de la actividad minera de bauxita a cielo abierto (CVG-Bauxilum, operadora de bauxita). Estos programas están dirigidos a proteger el medio ambiente en las distintas áreas donde la empresa desarrolla sus operaciones o planifica sus futuras actividades. De esta forma se pretende disminuir el proceso de erosión hídrica, principal fuente productora de carga sólida, así como también, los problemas de contaminación de los cuerpos de agua cercanos o que pudieran ser afectados por la actividad minera (Rincón, 2001)

4. OBJETIVOS.

4.1. OBJETIVO GENERAL:

Estudiar la Tecnología de Sistema de Vetiver para la recuperación de las áreas críticas sometidas a la actividad minera de bauxita a cielo abierto de CVG-Bauxilum, Los Pijiguaos, estado Bolívar-Venezuela.

4.2. OBJETIVO ESPECÍFICOS:

- Analizar, cuantificar y evaluar las características físico naturales.
- Identificar las áreas propensas a procesos erosivos debido a movimientos en masa, cárcavas, socavación vertical y horizontal.
- Proponer las obras (Tecnología de Sistemas Vetiver (TSV) y medidas estructurales (torrenteras), entre otros) para controlar las fuentes productoras de sedimentos y para proteger contra inundaciones, conducir las aguas por su cauce natural para evitar riesgos de daños a personas, viviendas, vías y cultivos ubicados aguas debajo del proyecto minero.

5. ANTECEDENTES.

CVG BAUXILUM es la empresa resultante de la fusión entre Bauxiven (fundada en 1979) e Interalumina (fundada en 1977) en marzo de 1994. Está conformada por las operadoras de Bauxita y Alumina. La Operadora de Bauxita se encarga de la explotación de los yacimientos del mineral en la zona de Los Pijiguaos, correspondiente al municipio Cedeño del Estado Bolívar, tiene una capacidad instalada de 6 millones de TM al año.

La empresa inició oficialmente sus operaciones el 24 de abril de 1983, enviando las primeras gabarras con mineral de bauxita a través del río Orinoco, desde el puerto El Jobal hasta el muelle de la Operadora de Alúmina en Matanzas. Su capacidad instalada inicial fue de 1.300.000 TM al año y en 1992 mediante la implementación del plan de ampliación, fue aumentada su capacidad a 2 millones de TM al año. La bauxita y la alúmina constituyen la principal materia prima para la obtención de aluminio primario. Tanto las ventas de bauxita como de alúmina se dirigen fundamentalmente al mercado nacional, básicamente para alimentar a las empresas Alcasa y Venalum, productoras de Aluminio, destinándose un porcentaje de la producción al mercado internacional (www.bauxilum.com).

La información requerida para el desarrollo de los antecedentes de esta investigación se basó básicamente en tres trabajos realizados en la empresa CVG-BAUXILUM, operadora de bauxita (Ver Cuadro N° 1), cuyo propósito es dar al lector cierta información que le permita examinar acerca de las investigaciones hechas sobre el problema que se pretende abordar en este trabajo

CUADRO N° 1: RESUMEN DE ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN:

TÍTULO	AUTOR (ES)	AÑO	OBJETIVO GENERAL	METODOLOGÍA	CONCLUSIONES
Proyecto de recuperación de áreas críticas de las microcuencas Los Pijiguaos y La Batea; cuenca río Suapure, estado Bolívar-Venezuela.	Lenys Rincón	2001	Proponer el tratamiento de recuperación de las áreas críticas sometidas a la actividad minera en las microcuencas Los Pijiguaos y La Batea.	- Planificación Inicial (definición de términos de referencia: objetivos, localización, etc). - Revisión bibliográfica - Elaboración del mapa base a escala 1:25.000 para las microcuencas Los Pijiguaos y La Batea y 1:1000-1:2000 para las áreas específicas de tratamiento. - Reconocimiento de campo.	La presencia de fuertes pendientes, el tipo de material existente, la ocurrencia frecuente de precipitaciones de gran intensidad y corta duración, las aguas subsuperficiales provenientes de cunetas ubicadas al borde de la calzada de la vía de acarreo de acceso al bloque 1 y el modo en que se utiliza el área dentro de la misma, constituyen los principales factores responsables de la erosión y producción de sedimentos en las áreas críticas de las microcuencas o sectores hidrológicos seleccionados.

FUENTE: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA 2001-2006 DEL ÁREA DE ESTUDIO. ELABORACIÓN PROPIA.

**CONTINUACIÓN DEL CUADRO N° 1: RESUMEN DE ANTECEDENTES
 DE LA INVESTIGACIÓN:**

TÍTULO	AUTOR (ES)	AÑO	OBJETIVO GENERAL	METODOLOGÍA	CONCLUSIONES
Proyecto de recuperación de áreas críticas de las microcuencas Los Pijiguaos y La Batea; cuenca río Suapure, estado Bolívar-Venezuela.	Lenys Rincón	2001	Proponer el tratamiento de recuperación de las áreas críticas sometidas a la actividad minera en las microcuencas Los Pijiguaos y La Batea.	<ul style="list-style-type: none"> - Realización del análisis morfométrico de las microcuencas en estudio - Elaboración de mapas temáticos (mapas: pendiente, vegetación, diagnóstico físico natural, uso actual de la tierra, planos de sitios, otros). - Planificación y diseño para el inventario y jerarquización de áreas críticas. - Propuesta de tratamientos. 	<ul style="list-style-type: none"> - Los criterios utilizados para definir la priorización de tratamiento fueron: 1) Superficie deforestada (% del área). 2) Porcentaje del área con grado de erosión (laminar y en surcos, cárcavas, movimientos en masa, etc). 3) Cantidad de Sólidos Totales disueltos. 4) Índice de protección que la vegetación brinda al suelo, y 5) Daños a viviendas e infraestructuras existente. - La zona de mayor inestabilidad y producción de sedimentos se localiza en las vertientes de la cuenca de recepción de las microcuencas Los Pijiguaos y La Batea. - Del estudio de cárcavas y torrentes realizados, se obtuvo la siguiente prioridad de tratamiento: 1) El Chorro (sitio 1), 2) El Secreto (Puente Cuatro) y 3) Microcuenca Los Pijiguaos (sitio 3).
Estudio del proceso de recuperación de las tierras afectadas por la explotación de bauxita. Microcuencas Los Pijiguaos y La Batea. Cuenca río Suapure. Estado Bolívar. Venezuela	José Padilla	2003	Estudiar el proceso de recuperación de las tierras afectadas por la explotación de bauxita en las microcuencas Los Pijiguaos y La Batea con énfasis en el establecimiento del material edáfico y de la cobertura vegetal.	<ul style="list-style-type: none"> - Planificación Inicial (definición de términos de referencia: objetivos, localización, etc). - Revisión bibliográfica. - Evaluación en campo y en invernadero. - Estimación de riesgo por la erosión hídrica. - Seguimiento y evaluación de logros. 	La ciencia y la tecnología de la rehabilitación de tierras y la ecología restauradora han avanzado mucho, permitiendo alcanzar objetivos complejos y variados. La selección de objetivos debe hacerse teniendo en cuenta la compatibilidad con los usos de las tierras circundantes, los deseos de la población, la protección de la biodiversidad y las exigencias legales. La rehabilitación debe orientarse en función de los diferentes usos del terreno. Deben utilizarse técnicas avanzadas de preparación del terreno, acondicionamiento del suelo, tratamiento de semillas y propagación de plantas para restablecer el ecosistema forestal original.

FUENTE: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA 2001-2006 DEL ÁREA DE ESTUDIO. ELABORACIÓN PROPIA.

**CONTINUACIÓN DEL CUADRO N° 1: RESUMEN DE ANTECEDENTES
 DE LA INVESTIGACIÓN:**

TÍTULO	AUTOR (ES)	AÑO	OBJETIVO GENERAL	METODOLOGÍA	CONCLUSIONES
Vetiver system for environmental protection of open cut bauxite mining at "Los Pijiguaos"-Venezuela.	Luque M., y Lisena M.	2003	Incorporar la Tecnología de Sistemas Vetiver (TSV) en la recuperación de áreas críticas en la empresa CVG-BAUXILUM, Operadora de bauxita.	a) Caracterización del área de estudio. b) Identificación y selección de las áreas críticas a tratar. c) DISEÑO: Diseño de las barreras d) EJECUCIÓN: Trabajos de campo	- La implementación de la TSV en esta mina de bauxita ha conducido a resultados tangibles humano del entorno. - Se logró establecer el Vetiver en un suelo carente de materia orgánica, con una características edafológicas particulares, que hace difícil la propagación de otras especies.

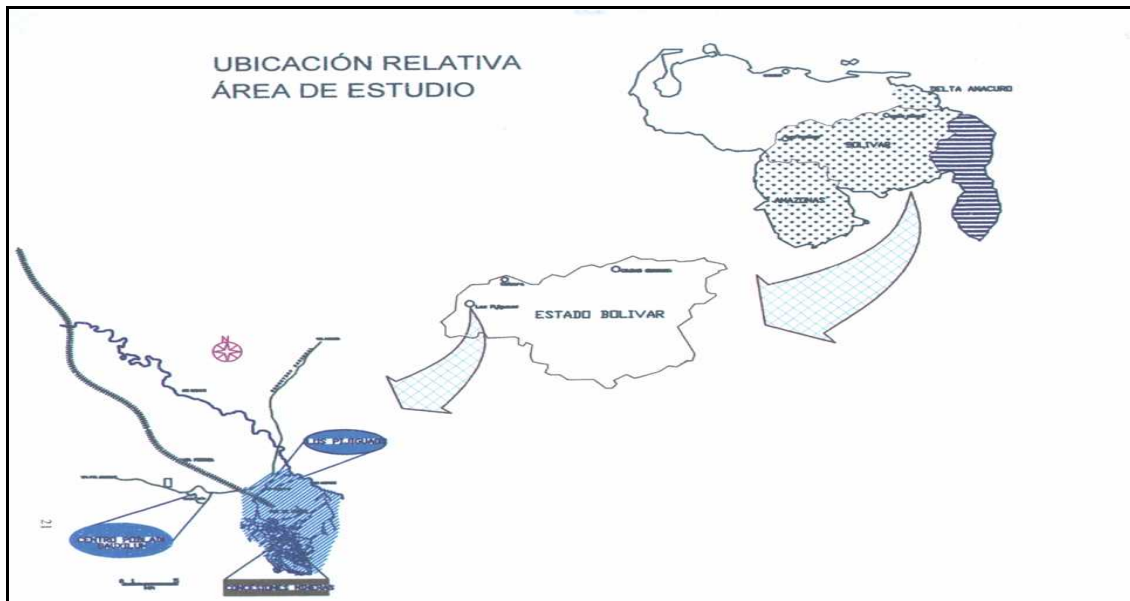
FUENTE: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA 2001-2006 DEL ÁREA DE ESTUDIO. ELABORACIÓN PROPIA.

6. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.

6.1. LOCALIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO:

La empresa CVG-BAUXILUM, C.A., operadora de bauxita, se encuentra ubicada aproximadamente entre las coordenadas geográficas Norte: 6° 31' 05" y Oeste: 66° 44' 52"; en el Municipio Autónomo Cedeño del estado Bolívar. Hidrológicamente se encuentra localizado en las microcuencas Los Pijiguaos y La Batea al Suroeste del río Suapure, desembocando en el río Orinoco por su margen derecha (Ver Figura N° 1).

FIRURA N° 1: UBICACIÓN RELATIVA DEL ÁREA EN ESTUDIO:



\\ FUENTE: PROYECTO DE RECUPERACIÓN DE ÁREAS CRÍTICAS DE LAS MICROCUENCAS LOS PIJIGUAOS Y LA BATEA; CUENCA RÍO SUAPURE, ESTADO BOLÍVAR-VENEZUELA, 2001.

6.2. CARACTERÍSTICAS FÍSICO NATURAL DEL ÁREA.

- CLIMA:

CLASIFICACIÓN BIOCLIMÁTICA:

El área de estudio según Holdridge (1957), se enmarca climatológicamente en la zona de vida del bosque húmedo tropical. Huber y Guanchez (1988), reporta cada una de las unidades geomorfológicas del área de Los Pijiguaos cubiertas por tipos de vegetación característica de la porción Noroccidental del Escudo Guayanés.

El clima está caracterizado por dos (2) estaciones, una seca desde Noviembre a Abril/Mayo y la de invierno de Abril/Mayo a finales de Octubre. Los datos meteorológicos se basan en los registros diarios de la estación meteorológica Los Pijiguaos instalada en el campamento de Trapichote.

- **PRECIPITACIÓN:**

En cuanto a la distribución de la precipitación mensual se observa que los meses de mayor precipitación son los comprendidos desde Abril hasta Noviembre y de menor precipitación los meses de Diciembre, Enero, Febrero y Marzo. Se pudo notar que el valor máximo corresponde al mes de agosto con 376,1 mm y el mínimo para Enero con 7,1 mm en el período de registro 1983 – 1991 y un valor máximo durante el mes de Julio con 492,8 mm y el mínimo para el mes de Enero con 3,4 mm , período de registro 1997 – 1999. De acuerdo con éstos datos la precipitación media anual es de 2033 mm.

- **TEMPERATURA:**

La temperatura promedio mensual de la zona de estudio es de 27,1°C, siendo los meses de Enero, Febrero, Marzo y Abril los más calurosos con valores que superan los 28°C (Marzo: 28,7°C). El mes de Julio es de menos temperatura con 25,4°C.

- **INSOLACIÓN:**

La insolación media anual de la zona es mayor entre los meses de Enero a Marzo, con mínimos entre Junio y Agosto.

- **EVAPORACIÓN:**

El mayor promedio mensual de evaporación se presenta durante el mes de Marzo (272,9 mm) y el mínimo en Junio (119,9 mm).

- **HUMEDAD RELATIVA:**

La humedad relativa media varía entre 56,0% y 85,5%, observándose la mayor humedad durante los meses de mayor pluviosidad y la menor durante la época de sequía.

- **VIENTOS:**

La velocidad media del viento es generalmente baja con promedios que varían de 2,9 a 6,6 Km/h, ocurriendo los mayores vientos en Febrero y Marzo con dirección predominante ENE.

- **GEOLOGÍA.**

Estratigráficamente el área de estudio está formada por el Grupo Cuchivero (Mendoza, 1972) constituido, de más antiguo a más joven, por la Formación Caicara, que es un conjunto de rocas volcánicas que incluye lavas tobáceas y brechas ácidas de color gris oscuro y grano fino, micro y macro-porfídicas, foliadas y falladas. Esta formación, a su vez, se halla intrusionada por: el granito de Santa Rosalía, el granito de San Pedro y el granito de Rapakivi de El Parguaza.



Foto 1. Granito de Rapakivi de El Parguaza

Aparte de los afloramientos graníticos que ocupan los relieves emergentes, el resto del área corresponde a depósitos aluviales cuaternarios intermontanos, depósitos coluviales al pié de los “inselbergs” y depósitos coluvio-aluviales que cubren las áreas de pedimentos y piedemontes. Estos sedimentos son de granulometría variables, desde clásticos gruesos, arenas gruesas y medias y posiblemente restos de corozas y capas de arcilla.

- GEOMORFOLOGÍA Y RELIEVE.

Los procesos geomorfológicos son los responsables de las formas características del relieve. El área de las microcuencas Los Pijiguaos y La Batea forma parte de la Provincia Fisiográfica del Escudo Guayanés, el cual se originó durante el Precámbrico; siendo por lo tanto, la estructura geológica más antigua y resistente del país, de donde proviene además el nombre de escudo. En ella se encuentra cuatro grandes formas de relieve cuyas características son distintas en cuanto a lo observado en el terreno. De los más elevados a los más bajos pueden ordenarse de la siguiente manera:

- 1- Relieves residuales en rocas precámbricas del granito de El Parguaza.**
- 2- Glacis cuaternarios coluviales.**
- 3- Planicies de desborde.**

- SUELOS:

Los suelos del área de estudio pueden ser de dos grandes tipos: los originados a partir de la roca madre subyacente (esencialmente granitos ácidos) y aquellos cuyo origen se relacionan a los aluviones del Río Orinoco y sus afluentes (Ríos Maniapure, Suapure y Parguaza).

Por otro lado, la descomposición de los cristales de feldespato, tan abundantes en el granito de El Parguaza, libera una moderada cantidad de nutrientes, que se incorpora a los oxisoles y ultisoles de la altiplanicie. Estos suelos son de extrema pobreza química, variables condiciones físicas, según la posición fisiográfica y en general, de una alta erodabilidad. Son suelos antiguos con extremo grado de meteorización y muy bajas reservas de bases.

En detalle, según el inventario de suelos realizados por C.V.G. TECMIN, C.A., 1994, dentro de los principales órdenes reportados se tienen los oxisoles y ultisoles, siendo este último los más comunes en el área de estudio, exhiben un avanzado desarrollo pedogenético, ocurren en diversos tipos de paisajes específicamente, montañas, lomerios, plateau, peniplanicie y planicie, se han desarrollado a partir de rocas de la provincia geológica de Cuchivero y sedimentos aluviales y coluviales, provenientes de la alteración de dichas rocas.

- Vegetación natural y uso actual:

Estos suelos sustentan, generalmente, una vegetación arbórea, del tipo bosque medio denso. En cuanto al uso, los que ocurren en los paisajes tipo Plateau de la zona denominada Pijiguaos (área de estudio), han sido normados, por la actividad que desarrolla C.V.G. BAUXILUM, operadora de bauxita, las otras áreas no exhiben signos de intervención antrópica, si no que se encuentran en su estado natural.

- VEGETACIÓN.

En líneas generales pueden reconocerse los siguientes grandes tipos de vegetación:

En el Área de la Mina:

- 1- **Bosque Ombrófilo Macrotérmico-Altiplanicie;** en la parte superior de la altiplanicie de la Sierra Los Pijiguaos, con varios (por lo menos tres) subtipos de composición florística distinta.
- 2- **Bosque Esclerófilo Macrotérmico-Altiplanicie;** de estatura más baja, sobre partes elevadas de la altiplanicie.
- 3- **Arbustal Esclerófilo Macrotérmico-Altiplanicie;** sobre cumbres y topes expuestos de la altiplanicie y con substrato rocoso aflorante.
- 4- **Bosque Tropófilo Macrotérmico-Ladera (montaña);** en ciertas laderas de la altiplanicie, donde presenta varios grados de caducifolia abarcando bosques medianos mayormente decíduos hasta bosque semidecíduos.
- 5- **Vegetación Herbáceo-Arbustiva sobre Lajas Graníticas o Vegetación de Afloramientos Graníticos-Ladera, “Inselbergs” (Lajas) en Piedemonte y Planicie;** que se presenta en algunos sectores de las laderas y del piedemonte de la altiplanicie.

En el Área Circundante de la Mina:

- 1- **Bosque Ribereño o Ripario;** de los Ríos Orinoco, Suapure y Parguaza; aquí se incluyen también bosques siempreverdes locales en depresiones de la planicie aluvial (“caraipales”, “morichales”).
- 2- **Bosque Tropófilo Macrotérmico;** de la planicie aluvial y de pequeñas colinas;
Sabana Arbolada; con chaparros, de la planicie aluvial;
Sabana Arbustiva; de la planicie aluvial;
Sabana Abierta; de la planicie aluvial.

- 3- **Vegetación Herbáceo-Arbustiva sobre Lajas Graníticas;** de la planicie coluvio-aluvial.
- 4- **Vegetación Secundaria;** (conucos abandonados, rastrojos y barbechos) en llanura aluvial y en el piedemonte de la altiplanicie (Ver Tabla N° 1 y 2) (Huber y Guanchez, 1988).

TABLA N° 1

PLANTAS RECOLONIZADORAS Y ADVENTICIAS OBSERVADAS EN SITIOS INTERVENIDOS DE LA MINA DE BAUXITA EN LOS PIJIGUAOS:

FAMILIA	
Género y especie	Hábito
<i>Arbustales y bosques bajos</i>	
APOCYNACEAE <i>Mandevilla scapra</i>	Trepadora
ASCLEPIADACEAE <i>Blepharodon nitidum</i>	Trepadora
CHRYSOBALANACEAE <i>Hirtella cf. racemosa</i>	Arbusto
DILLENiaceae <i>Doliocarpus brevipedicellatus</i> <i>Doliocarpus dentátus</i>	Trepadora Trepadora
EUPHORBIACEAE <i>Maprounea guianensis</i>	Arbusto
<i>Bosques ombrófilo macrotérmico</i>	
BIGNONIACEAE <i>Jacaranda copaia</i>	Árbol
CECROPIACEAE <i>Cecropia sp.</i>	Árbol
CONVOLVULACEAE <i>Ipomoea sp.</i>	Trepadora
EUPHORBIACEAE <i>Alchornea cordata</i> <i>Alchornea cf. schomburgkii</i> <i>Dalechampia dioscoreifolia</i> <i>Maprounea guianensis</i>	Árbol Arbusto Trepadora Arbusto
GRAMINEAE <i>Lasiacis procerrima</i> <i>Ichnanthus breviscrops</i>	Hierba Hierba

FUENTE: HUBER Y GUANCHEZ, 1988. ELABORACIÓN PROPIA.

TABLA N° 2
PLANTAS RECOLONIZADORAS Y ADVENTICIAS ENCONTRADAS EN
SITIOS INTERVENIDOS DE LA PLANICIE COLUVIO-ALUVIAL
EN LOS ALREDEDORES DE LOS PIJIGUAOS.

FAMILIA	Hábito
Género y especie	
BIXACEAE <i>Bixa urucurana</i>	Arbusto
COMPOSITAE <i>Calea sp.</i> <i>Eupatorium sp.</i>	Arbusto Hierba
CONVOLVULACEAE <i>Evolvulus sp.</i>	Trepadora
EUPHORBIACEAE <i>Onidoscolus urens</i> <i>Sebastiania sp.</i>	Hierba Hierba
LABIATAE <i>Hyptis sp.</i>	Arbusto
LEGUMINOSAE – CAESALPINIACEAE <i>Bauhinia sp.</i>	Arbusto
LEGUMINOSAE – MIMOSACEAE <i>Anadenanthera peregrinna</i> <i>Mimosa huberi</i> <i>Mimosa somnians</i> <i>Mimosa sp.</i>	Árbol Arbusto Arbusto Arbusto
LEGUMINOSAE – PAPILIONACEAE <i>Crotalaria sp.</i> <i>Tephrosia sessiliflora</i>	Arbusto Arbusto

FUENTE: HUBER Y GUANCHEZ, 1988. ELABORACIÓN PROPIA.

- FAUNA.

Fundándose en el inventario de fauna y de las especies realizado por el Ministerio del Ambiente y Los Recursos Naturales Renovables (MARNR) - Servicio Nacional de Fauna Silvestre, 1987; se determinó la estructura de las comunidades más complejas (mamíferos y aves)¹.

En el área de la mina se registraron 87 especies de mamíferos pertenecientes a 23 familias y ocho órdenes. La estructura comunitaria puede observarse en el gráfico N° 1. Los murciélagos constituyen más del 50% de las especies; por otra parte la diversidad es muy alta y corresponde a la de un bosque maduro.

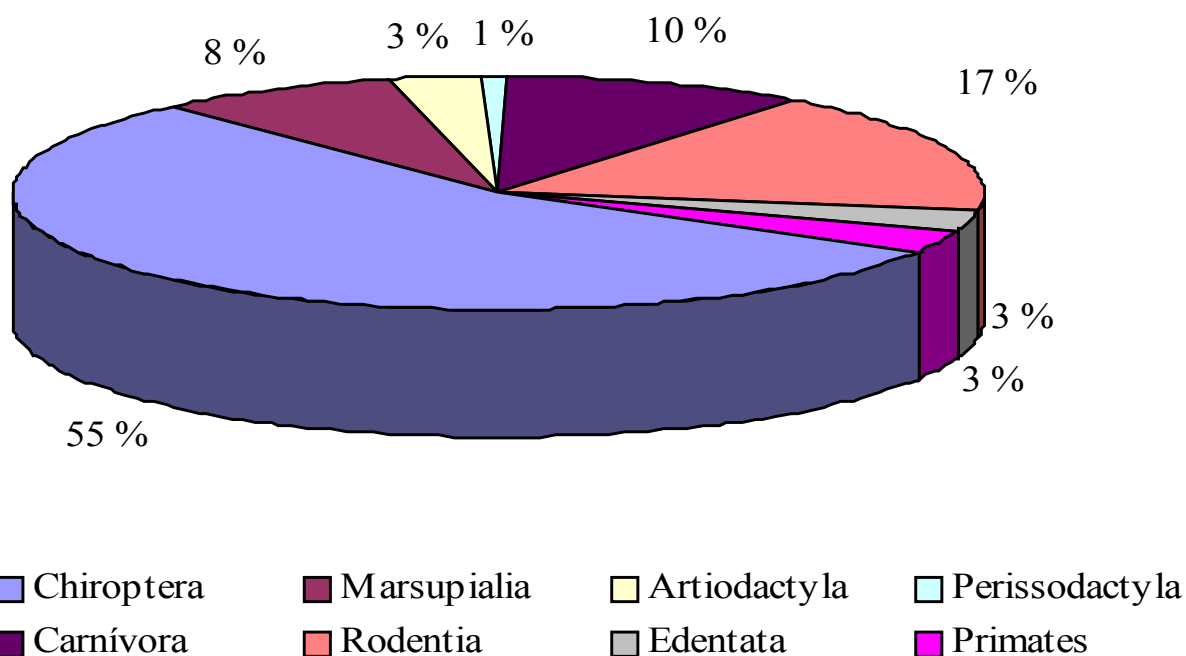
De las aves, se identificaron 208 especies pertenecientes a 42 familias y 15 órdenes. En tal sentido, las especies frugívoras pueden observarse con gran abundancia, en la zona de estudio.

El bosque siempreverde es el más rico en aves, con 151 especies. En el arbustal se encontraron 113 especies y en el bosque de transición, entre la sabana y la montaña, 77. Cuarenta y seis especies sólo habitan el bosque de transición; 21 especies son comunes a los tres hábitat y 87 son comunes a dos de los tres hábitats (M.A.R.N.R., 1987).

¹ El trabajo de base sobre la fauna, en la zona de montaña que está bajo la potencial de los trabajos necesarios para el desarrollo y operación del yacimiento de bauxita de Los Pijiguaos, ha sido realizado en el último trimestre de 1987 y es la base del presente resumen.

GRÁFICO N° 1

ESTRUCTURA COMUNITARIA DE LOS MAMÍFEROS, DISTRIBUCIÓN
PORCENTUAL DE ESPECIES.



FUENTE: M.A.R.N.R. – BAUXIVEN INVENTARIO DE LA FAUNA SILVESTRE EN LA MINA DE BAUXITA, SERRANIA DE LOS PIJIGUAOS, 1988.

- ASPECTOS SOCIOECONÓMICOS.

El área en estudio, representada por las microcuencas Los Pijiguaos y La Batea, se encuentra dentro del proyecto de explotación y aprovechamiento minero de bauxita, actualmente en ejecución a través de la empresa C.V.G. BAUXILUM, operadora

de bauxita, en la serranía Los Pijiguaos, Municipio Autónomo Cedeño, del Estado Bolívar.

Desde el punto de vista demográfico la densidad poblacional de las microcuencas Los Pijiguaos y La Batea puede dividirse de la siguiente manera: la parte alta ubicada a partir de la cota 600 m. aguas arriba, corresponde a la zona de centro de mina (zona minera). La tenencia de la tierra está representada por terrenos propiedad de BAUXILUM, operadora de bauxita. En relación a este punto, es importante señalar, que no existen asentamientos humanos dentro del área de influencia del desarrollo o proyecto minero; pues el mismo sólo se encuentra bajo la influencia de la empresa (Rincón, 2001).

En las edificaciones del centro de mina se integran los Departamentos de Ingeniería de Minas, Producción y Mantenimiento. El área de centro de mina incluye las siguientes dependencias: Taller de Mantenimiento, Laboratorio Físico – Químico, Oficinas de Mina, garaje y lavado y almacén.

Se ha hecho uso de una de las nacientes del caño Los Pijiguaos, ubicado en la vertiente izquierda a 500 m.s.n.m. (dique toma), para el suministro de agua al centro de mina y la estación de trituración. Así mismo, para el tratamiento de las aguas servidas se ha establecido una planta con proceso de aireación prolongada con capacidad para 20.000 l/día.



Foto 2 y 3. Dique toma “Centro de aducción” (caño Los Pijiguaos), para el suministro de agua al centro de mina y la estación de trituración.



Foto 4. Planta de potabilización ubicada en el km 5 vía a la mina, para el suministro de agua al campamento C.V.G. BAUXILUM.



Foto 5. Planta de tratamiento de aguas negras. Centro de mina.

Los desechos sólidos generados en el área de explotación minera, centro de mina y estación de trituración son incinerados en forma controlada dentro de tambores metálicos, para luego disponer en fosas la ceniza resultante. Esta zona se encuentra comunicada con el centro poblado campamento BAUXILUM y la carretera nacional Caicara – Puerto Ayacucho a través de una carretera tierra-asfalto. La principal actividad económica de la parte alta del área de estudio la constituye la actividad minera.

La parte baja de las microcuencas corresponde a una zona eminentemente rural, evidenciado por su escasa población con 1310 habitantes (CVG-BAUXILUM, 1997); de la cual, 1233 habitantes pertenecen al centro poblado Los Pijiguaos, el cual se encuentra localizado en la microcuenca del mismo nombre a 80 m. aguas abajo; con una superficie de aproximadamente 130 ha. que representan el 1,58% con respecto al área total en estudio; y con 77 habitantes la comunidad La Batea, la cual esta integrada por el grupo étnico Panare, localizado en la microcuenca La Batea en la cota 80 m aguas abajo, ocupando ésta una superficie de aproximadamente 16 ha. que representan el 0,19% del área total de estudio, con respecto a la misma. Estas zonas se encuentran comunicadas con la carretera nacional Caicara – Puerto Ayacucho a través de vías y carreteras de tierra. La etnia Panare constituye un grupo poco culturado, se caracteriza por el escaso conocimiento del español, por un proceso de sedentarización reciente, alto nivel de conciencia étnica y por la influencia de la misión nuevas tribus (Rincón, 2001)

En líneas generales, las actividades agrícolas se desarrollan en un marco de limitaciones estructurales para la generación de excedentes, lo que permite tipificarlas como explotaciones de subsistencia hasta semi-comerciales.

Por otra parte, se practica una agricultura vegetal, en pequeñas unidades que no sobrepasan los 250 ha, utilizando técnicas rudimentarias en la preparación de la tierra, la siembra y la cosecha, sin incorporar el uso de agroquímicos y semilla certificada; la falta de títulos de propiedad de la tierra limita la posibilidad de obtener financiamiento e introducir mejoras técnicas en la producción. El subsector pecuario está constituido básicamente por una ganadería bovina extensiva con pocas unidades especializadas en este rubro, pues por lo general, se asocia a la agricultura de subsistencia (Rincón, 2001).

- VIALIDAD.

La accesibilidad a las microcuencas Los Pijiguaos y La Batea (área de mina) es posible, básicamente, a través de la vía de acceso a la mina (el traslado se hace aproximadamente en 35 minutos). La cual está interconectada al sistema vial, que cruzando los bloques de explotación, comunica el área del centro de mina con la carretera nacional Caicara Puerto Ayacucho y con el centro poblado (Rincón, 2001).



Foto 6. Carretera asfaltada de acceso a la mina (casilla de vigilancia).

La vía se realizó en base a una velocidad de circulación promedio de 35 Km/h, con un radio de curvatura de 80 m, pendiente promedio del 5% y un ancho de 24 m, de

los cuales 17 m están designados al tráfico de vehículos pesados y los restantes a drenajes y muros de defensa.

La vialidad se encuentra pavimentada aproximadamente hasta los 12,500 Km, en donde los primeros 5 Km, corresponden al área de mayor pendiente.



Foto 7. Carretera de tierra de acceso a la mina.

Por otra parte, el acceso a los poblados cercanos al campamento de CVG-BAUXILUM, operadora de bauxita: Los Pijiguaos, La Batea, etc., se realiza principalmente por vía terrestre, a través de la carretera pavimentada Caicara Puerto Ayacucho, la carretera engrazonada Caicara San Juan de Manapiare y por varias vías y caminos que se intercomunican en éstas (Rincón, 2001).

El acceso a algunos sitios se realiza también por vía aérea; en Caicara del Orinoco hay un Aeropuerto Nacional y existen pistas de aterrizaje en Túriba, La Piña, Juan Castillo, Hato Las Piedras, Los Pijiguaos, Villacoa, Las Mangas, Sabana Cardona y Sabana Nueva. Por vía fluvial se utilizan los Ríos Orinoco, Parguaza y Suapure. Hay una vía ferroviaria desde Los Pijiguaos hasta el Puesto Gumillas (El Jobal), que se utiliza para

transportar la bauxita que se explota en la mina de Los Pijiguaos, fuente principal de recursos económicos de la región y el Estado Bolívar (Rincón, 2001).



Foto 8. Pista de aterrizaje Los Pijiguaos. (BAUXILUM)
Aeropuerto “Armando Swarck”

6.3. CARACTERÍSTICAS DEL APROVECHAMIENTO MINERO.

A mediados de la década de 1970 se confirma la existencia de un yacimiento extenso de bauxita en la Serranía de Los Pijiguaos a una altitud comprendida entre los 600 y 700 m.s.n.m. Luego, en 1979 se creó la empresa C.V.G. Bauxita Venezolana, C. A. (Bauxiven), con la misión de explotar el yacimiento de Los Pijiguaos, siendo sus principales accionistas la C.V.G. y Ferrominera Orinoco. Dicho proyecto comprendería una superficie de 1480,12 has. aproximadamente; las cuales se encuentran actualmente bajo título de concesión minera. Éstas a su vez dividida en diferentes bloques de explotación (Bloques de producción 1 al 9) y a su vez en diferentes sectores (ver cuadro N° 4); así mismo con una capacidad instalada anual de producción de 6 millones de toneladas métricas de bauxita, esta cantidad permitiría a BAUXIVEN satisfacer la demanda de INTERALÚMINA. Resultando entonces un área total bajo explotación

minera de aproximadamente 965,69 ha. (bloques de explotación) que representan el 11,76% del área total de estudio (Rincón, 2001).



Foto 9. Entrada al Campamento C.V.G. BAUXILUM, operadora de bauxita, Estado Bolívar. Área de recepción.

Por otra parte, como parte de una estrategia desarrollada por la Corporación Venezolana de Guayana para fortalecer el negocio del aluminio venezolano, afectado por factores exógenos, este organismo estatal se vio en la necesidad de promover la fusión de las empresas BAUXIVEN, INTERALÚMINA Y VENALUM, en una sola compañía llamada C.V.G. BAUXILUM.

El 23 de marzo de 1994, se fusionaron legalmente las empresas C.V.G. BAUXILUM y C.V.G. INTERALÚMINA, con el objetivo de integrar verticalmente la industria del aluminio, a fin de beneficiarse de la transferencia de precios desde la bauxita hasta el metal, así como de la drástica reducción de la estructura administrativa.

El proceso productivo comienza con la extracción de la Bauxita en la mina, el proceso de explotación de la bauxita se estructura de la siguiente forma: El yacimiento es

explotado por métodos convencionales a cielo abierto sin uso de voladura, después de removida y apilada la capa vegetal para su uso posterior dirigido a la reforestación, se hace a través de Palas Hidráulicas y Pailoders los cuales extraen el mineral de los diferentes bloques de yacimiento, estos dos equipos cargan el mineral en los camiones roqueros de 50 toneladas

para su transporte que la llevan desde la mina hasta unas tolvas receptoras de mineral, estas alimentan el molino triturador que opera con un ritmo de 1600 TM/hora, es aquí donde el mineral sufre la primera reducción de tamaño, esto se hace debido a que la bauxita es extraída en piedras y tierra, pero el mayor porcentaje es de grandes piedras, ésta primera reducción de tamaño lleva al mineral a una granulometría de tamaño no mayor de 10 cm., para su transporte y mejor manejo. Esto es el principal punto de partida del proceso.



Foto 10. Frente de explotación.



Foto 11. Molino triturador del mineral.



Foto 12 y 13. Remoción de la capa vegetal para la extracción del material de bauxita, a través de retroexcavadores.

Los molinos que procesan el mineral en INTERALÚMINA están diseñados para procesar el mineral con un tamaño no mayor de 10 cm. El sistema de trituración está constituido por una tolva de alimentación principal, un transportador de placas, un triturador, tres correas transportadoras, un sistema de muestreo y una balanza electrónica. Del molino triturador se traslada a una tolva de transferencia hacia la correa de bajada (cintas transportadoras con una longitud de 4,2 Km., su tecnología es de tipo teleférico o cable, con una capacidad de 1600 TM/hora) hasta la parte más baja del cerro de la mina, esta correa sigue una trayectoria descendente por la ladera de la Serranía de Los Pijiguaos, hasta las pilas de almacenamiento y carga del ferrocarril ubicadas en pie de cerro. Aquí es donde por primera vez se almacena y se apila el material en una forma de apilamiento que recibe el nombre de apilamiento tipo Chebrón. Todos los equipos de recopilación, trituración, traslado, son controlados por equipos y tarjetas electrónicas gobernadas por un computador central, aunque requiere de un operador que supervise el proceso, luego de ser apilado el mineral, es recuperado por equipos recopiladores controlados por otro computador central que se ubica en una sala de control donde se evalúa y controla todo el proceso, ésta es llamada sala de control central, donde se vigila todo el proceso de campo.



Foto 14. Patio de apilamiento del mineral (Pie de Cerro).

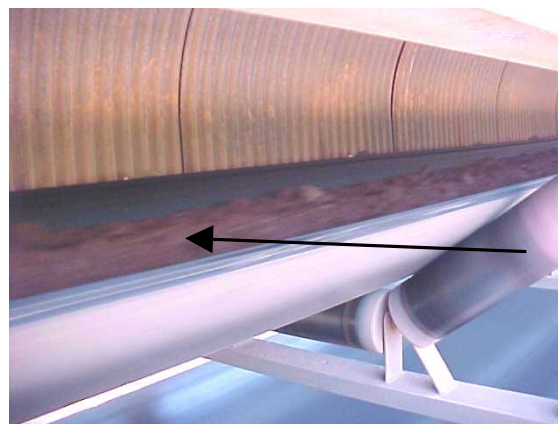


Foto 15 y 16. Correa transportadora del mineral de bauxita (correa de bajada).

El equipo recuperador en la zona llamada Pie de Cerro llena de mineral los vagones del tren, que es el segundo medio de transporte de mineral después de la correa de bajada por el que pasa la bauxita desde la mina en Pijiguaos hasta los patios de apilamiento en Puerto Ordaz; los trenes tienen de 20 a 25 vagones y realizan un recorrido de aproximadamente 55 minutos, en sí, el proceso de almacenamiento de bauxita, en los

patios de Pie de Cerro lo constituyen: La correa de bajada, 4 patios de apilamiento de 225000 TM c/u, 6 correas transportadoras, 2 máquinas apiladoras de 1600 TM/hora c/u, 2 recuperadores con capacidad de 3600 TM/hora c/u y un carro de transferencia para la cargada de los trenes. Los vagones en su destino, puerto de El Jobal, son vaciados en tolvas receptoras por la volcadora de vagones que están conectadas a cintas transportadoras que lo llevan a las gabarras.

Cabe señalar que mientras más veces se apile y se recupere el mineral, éste adquiere mejores propiedades para el proceso.



Foto 17. Equipo de recopilación (Recuperadores)

El tercer medio de transporte de la bauxita es por medio de vía fluvial a través del Orinoco hasta la Ciudad de Puerto Ordaz donde es descargada en los patios de apilamiento de INTERALÚMINA. En este proceso intervienen dos compañías, una estadounidense y la otra nacional, la nacional puede transportar hasta 16 gabarras y las americanas 20 gabarras, en buen tiempo cuando el nivel del río es óptimo cada gabarra puede llevar 1.900 toneladas máximo, lo que da una capacidad de 3600 TM/h. En INTERALÚMINA existe un descargador continuo y dos grúas descargador tipo jaivas

los cuales trasladan el mineral a los patios de almacenamiento que son 3 patios, la dieta de alimentación de la planta la establece el departamento de control de calidad, los principales componentes de la bauxita son el óxido de hierro y la alúmina; el hierro para

este proceso es un elemento contaminante, para la obtención del aluminio este proceso de extracción es selectivo a través del proceso químico y una reacción química, llamada el PROCESO BAYER.

El Proceso Bayer, fue desarrollado en Austria por el Científico Karl Joseph Bayer en 1887, proceso químico utilizado normalmente para la obtención de la alúmina concentrada en el mineral de la bauxita. Es el proceso aplicado en C.V.G. BAUXILUM, operadora de bauxita, que permite la refinación de las menas de bauxita para producir alúmina de grado

metalúrgico, tiene los mismos principios con la introducción de las tecnologías más recientes dirigidas al aumento de la productividad. El proceso puede considerarse dividido en tres grandes áreas: manejo de materiales, el lodo rojo y el lodo blanco; la bauxita es un mineral completamente rojo y la alúmina que se obtiene al final del proceso es polvo fino totalmente blanco.

En detalle, el proceso comienza con una reducción de tamaño, a través de los molinos de bolas, que va desde 10 cm a 10 mm, éste último es lo máximo recomendable mientras más pequeño sea el mineral, más cantidad de éste estará en contacto con la soda cáustica vital para el proceso, esto se realiza en el área 32 (área de trituración y molienda). El mineral ligado con la soda cáustica entra al área 33 (área de digestión) aquí se encuentran los digestores, los cuales son grandes reactores en forma de tanques de unos 30 m. de altura ahí ocurre la reacción química a 140 °C y 5 Atm. de presión, a

través, de esta reacción química lo que pasa al estado líquido es alúmina aunque todavía tenga algunos contaminantes, esta suspensión, recibe el nombre de licor cáustico y es lo que pasará a las siguientes áreas. Área 34 desarenado esta área también es de proceso de separación física, las partículas que aquí llegan en su mayor parte son de cuarzo, el

cuarzo se envía a la laguna de desechos. Área 35 (área de sedimentación de lodo rojo) que está constituido por óxidos metálicos y óxidos de hierros, los cuales están presentes en pequeñas partículas en el licor cáustico que todavía se escapan al proceso anterior; el óxido de hierro es el que le da el color rojizo a la bauxita, esta separación se logra por un proceso llamado de decantación y gravedad lo cual sucede en grandes tanques donde el mineral se somete a tiempo de residencia, lo que sedimenta son óxidos metálicos y desperdicios, y el material que se suspende es la alúmina, la cual se envía hacia el área 38 que es el área de filtración de seguridad, en esta área es donde se le da el punto final de control de calidad. Lo que sale del área 38 se llama licor cáustico, que es donde finaliza el lodo rojo del proceso.

Manejo de materiales: Esta sección de la planta está conformada por una serie de equipos que permite el manejo de la bauxita, la soda cáustica y la exportación del producto final.

Cuenta además con silos de almacenamiento de bauxita con una capacidad de 1.800.000 toneladas y un silo de almacenamiento de alúmina con una capacidad de 150.000 toneladas.

Lodo Rojo: La sección está conformada por las unidades del proceso que permiten la reducción del tamaño de las partículas de mineral de bauxita, la extracción de la alúmina contenida en la bauxita por medio de la digestión en soda cáustica y la separación de los

minerales que acompañan a la alúmina en la bauxita para prevenir la contaminación del producto final. Ese conjunto de minerales, que conforman luego las impurezas separadas, se conoce como lodo rojo debido a la coloración que toman por la presencia de los óxidos de hierro.

Lodo Blanco: En términos generales, después de purificado el licor rico en alúmina, se somete a una fase de enfriamiento, que lo condiciona para la fase de precipitación, donde se obtienen los cristales de alúmina hidratada. Luego se clasifican por tamaño los cristales para obtener un corte grueso que se conoce como producto y dos cortes más finos que determinan las semillas finas y gruesa, las cuales se reciclan a la fase de precipitación. El producto se envía a una fase de filtración y lavado, donde se separa totalmente la soda cáustica.

La conclusión del proceso Bayer ocurre en los calcinadores, constituidos por grandes hornos que eliminan el agua de la alúmina hidratada, para obtener la alúmina de grado metalúrgico, producto final dispuesto para ser utilizado en las reductoras.

En términos específicos; área 39: área de enfriamiento por expansión instantánea, se hace referencia que en el lodo rojo se ha mantenido por formas de intercambio de calor una temperatura por encima de 100°C., ya que si la temperatura desciende, la alúmina puede precipitarse y ocurre el fenómeno de retrogradación o precipitación de alúmina la cual se iría a la laguna de desechos en este lodo blanco se enfría la suspensión hasta una temperatura cercana a los 90°C para precipitar la alúmina del licor cáustico y llevarla de nuevo a estado sólido. Área 42: área de precipitación inducida son tanques donde se le da tiempo de residencia, condiciones de temperatura y se le inyecta semilla de alúmina a los tanques para que pase al estado sólido la mayor cantidad de alúmina disuelta en el licor. Área 44: área de filtración donde se separa el licor pobre en alúmina, rico en cáustica los

cristales de alúmina sólido quedan sobre las telas de los filtros y la parte líquida se separa de la soda cáustica siendo ésta regresada de nuevo al proceso a cumplir su función, el licor de soda cáustica extrae la alúmina de la bauxita transporta la misma por todo el proceso productivo de la planta y luego que se obtienen la alúmina sólida se regresa de nuevo el licor al sistema. Lo ideal del proceso es que si no se pierde licor de soda cáustica a través del proceso no causaría gastos adicionales en inyección de la misma para el proceso, lo que se trata de hacer es mantener al mínimo las pérdidas de este licor, luego que se separa el licor a la alúmina ya precipitada estos cristales de alúmina entran a lo que se llama el área de calcinación donde estos cristales de alúmina se somete a una temperatura mayor de 960°C son calcinadores donde se les da tiempo de residencia y de aquí sale el producto final que es la alúmina calcinada con las condiciones requeridas para la producción de aluminio primario, la alúmina calcinada se envía al silo de alúmina o se envía a través de cintas transportadoras hacia VENALUM o ALCASA las dos están conectadas con la operadora de alúmina por cinta transportadoras para el suministro del producto final. ALCASA y VENALUM después de ser suministrados por INTERALÚMINA procede a procesar la alúmina calcinada a través de un proceso electrolítico y celdas electrolíticas más carbón transformando la alúmina en aluminio primario que es el producto final (C.V.G. BAUXILUM, operadora de bauxita, 2000).

7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

7.1. IDENTIFICACIÓN DE LAS ÁREAS CRÍTICAS.

A objeto de definir la estrategia para controlar fuentes productoras de sedimentos y disminuir la contaminación de los cursos de agua en los torrentes y cárcavas del área en estudio, es necesario realizar el diagnóstico de las áreas críticas en cuanto a la dinámica torrencial y características morfométricas en cada una de las unidades hidrológicas que conforman el área de trabajo.

Se presentan los resultados de un análisis integrado entre factores de precipitación, geológicos y geomorfológicos, de vegetación, uso actual de la tierra, áreas críticas de erosión, características morfométricas y calidad de agua para las unidades hidrológicas principales, etc.; con la finalidad de identificar, evaluar y jerarquizar las diferentes áreas críticas (erosión en cárcava, en surcos, derrumbes, etc) de mayor prioridad de tratamiento.

El Cuadro N° 2 y 3 muestra los resultados del uso actual en áreas y porcentajes. Se determinaron las diferentes formas de uso de la tierra y su distribución espacial en el área de influencia del proyecto de interés nacional por su importancia: su objetivo básico es garantizar, en breve plazo, la producción de bauxita que demanda la industria nacional del aluminio y que se encuentran localizados en las microcuencas Los Pijiguaos y La Batea.

**CUADRO N° 2: USO ACTUAL EN ÁREAS Y PORCENTAJE
“MICROCUEENCA LOS PIJIGUAOS”:**

USO ACTUAL	SUPERFICIE (Ha)	SUPERFICIE (%)
Forestal	2773,02	59,81
Sabana abierta con chaparros	1069,37	23,07
Vegetación sobre afloramiento graníticos (Afloramiento Rocoso)	382,75	8,26
Cultivos sin prácticas de conservación	16,68	0,36
Áreas rehabilitadas (Vegetación secundaria)	166,13	3,58
Áreas deforestadas (Terreno descubierto)	91,98	1,98
Infraestructura	136,24	2,94
Total	4636,17	100

FUENTE: MAPA DE USO ACTUAL DE LA TIERRA. RINCÓN, 2001. ELABORACIÓN PROPIA.

**CUADRO N° 3: USO ACTUAL EN ÁREAS Y PORCENTAJE
“MICROCUCENCA LA BATEA”:**

USO ACTUAL	SUPERFICIE (Ha)	SUPERFICIE (%)
Forestal	696,25	19,46
Sabana abierta con chaparros	1596,88	44,64
Vegetación sobre afloramiento graníticos (Afloramiento Rocoso)	770,97	21,55
Cultivos sin prácticas de conservación	379,16	10,60
Áreas rehabilitadas (Vegetación secundaria)	53,37	1,49
Áreas deforestadas (Terreno descubierto)	62,11	1,74
Infraestructura	18,50	0,52
Total	3577,24	100

FUENTE: MAPA DE USO ACTUAL DE LA TIERRA. RINCÓN, 2001. ELABORACIÓN PROPIA.

- DESCRIPCIÓN GENERAL DE ÁREAS CRÍTICAS DE EROSIÓN EN LAS MICROCUENCAS DEL TORRENTE “LOS PIJIGUAOS Y LA BATEA”:

A través de reconocimientos de campo, se han identificado áreas críticas (erosión, transporte, sedimentación, etc.), en los torrentes Los Pijiguaos y La Batea (área de ubicación: bloques de explotación de mina de bauxita).

La microcuenca del torrente Los Pijiguaos y La Batea tienen básicamente dos cubiertas vegetales naturales. El área de aguas arriba está cubierta de un bosque medio - denso, mientras el área de aguas abajo, particularmente alrededor de la confluencia con el

Río Suapure, posee sabana abierta con chaparros con presencia de cultivos en pequeñas proporciones. La explotación minera y la construcción de caminos, producen cambios importantes en el suelo que afectan a sus propiedades físicas, químicas y biológicas y que conducen a una grave degradación del mismo, en algunas ocasiones de consecuencias irreversibles, induciendo además, la posibilidad de arrastre y deposición de sedimentos en taludes, depresiones, vías de comunicación, etc.

En el sector hidrológico del torrente El Chorro, importante tributario del caño El Secreto, el cual afluye por su margen izquierda, en la microcuenca La Batea que ocupa una superficie de 417,07 ha se observó el variado comportamiento de la naturaleza que proporciona situaciones diferentes.

Hacia las vertientes de la cuenca de recepción se observa erosión laminar, en surcos y cárcavas y se acentúa esta situación entre terreno desprovistos de una capa vegetal. Esta fuente productora de carga sólida se encuentra ubicada en la parte alta (cabecera) de la vertiente izquierda del torrente, aproximadamente a 600 m.s.n.m. (mapa base). Parte de esta área se encuentra desprovista de vegetación y presenta pendientes moderadamente pronunciada (25 - 35%). Éste foco erosivo ha sido originado por la socavación lateral y de fondo a lo largo del cauce, producto de la concentración de las aguas de escorrentía. Dichos procesos constituyen una fuente de material sólido que es arrastrado durante los eventos de crecida de el torrente “El Chorro”.



Foto 18. Superficie con grado de erosión en surcos.
Caño Los Pijiguaos localizado en la vertiente derecha a aproximadamente 500 m.s.n.m (bloque 2, sector 8).

En lo que respecta al resto de la superficie, son evidentes otros procesos de erosión. Estos procesos erosivos van desde erosión laminar, erosión en surcos, como es el caso del caño Los Pijiguaos localizado en la vertiente derecha a aproximadamente 500 m.s.n.m (bloque 2, sector 8 “B2-8”) hasta canales relativamente grandes o cárcavas, cortados en el terreno por la concentración del escurrimiento superficial y que afecta y determinan la concentración de las aguas de escorrentía producto de las precipitaciones que se suceden en la zona.



Foto 19. Grado de erosión en cárcavas (Chorro 1).



Foto 20. Socavación lateral “longitud en (m) de canal con socavación lateral: 64 m (Caño El Chorro).



Foto 21. Socavación de fondo “longitud en (m) de canal con socavación de fondo: 17 m” (Caño El Chorro).

- CARACTERÍSTICAS MORFOMÉTRICAS DE LAS MICROCUENCAS Y SECTORES HIDROLÓGICOS PRINCIPALES EN DONDE SE ENCUENTRAN LAS ÁREAS CRÍTICAS (Rincón, 2001).

A objeto de comprender mejor el análisis morfométrico se presenta a continuación los cuadros N° 4, 5 y 6 en los cuales aparecen el resumen de las características morfométrica de cada microcuenca y sectores hidrológicos seleccionados. Estos valores son necesarios para aplicar la clasificación de inventario y jerarquización de torrentes.

CUADRO N° 4: RESUMEN DEL ANÁLISIS MORFOMÉTRICO DE LAS MICROCUENCAS LOS PIJIGUAOS Y LA BATEA:

Microcuenca	Área (Km ²)	Orientación de Cauce	Longitud del cauce principal (km)	Longitud total de cauce (Km)	N° de orden (según leyes de Horton y Strahler)	Perímetro (Km)	Índice de forma de Gravelius	Densidad de Drenaje (Km/Km ²)	Patrón de Drenaje	Pendiente media (%)	Diferencia de Elevación (m.s.n.m.)
Los Pijiguaos	46,36	Suroeste	18,73	56,75	4	41,78	1,72	1,22	Dendrítico	21,0	600
La Batea	35,77	Suroeste	10,58	42,90	3	27,95	1,31	1,20	Dendrítico	20,8	600

FUENTE: PROYECTO DE RECUPERACIÓN DE ÁREAS CRÍTICAS DE LAS MICROCUENCAS LOS PIJIGUAOS Y LA BATEA; CUENCA RÍO SUAPURE, ESTADO BOLÍVAR. VENEZUELA. 2001. ELABORACIÓN PROPIA

CUADRO N° 5: RESUMEN DEL ANÁLISIS MORFOMÉTRICO DE LOS SECTORES HIDROLÓGICOS SELECCIONADOS:

Sector Hidrológico	Área (Km ²)	Orientación de Cauce	Longitud del cauce principal (km)	Longitud total de cauce (Km)	N° de orden (según leyes de Horton y Strahler)	Perímetro (Km)	Índice de forma de Gravelius	Densidad de Drenaje (Km/Km ²)	Patrón de Drenaje	Pendiente media (%)	Diferencia de Elevación (m.s.n.m.)
El Secreto (Tramo Superior)	4,50	Suroeste	5,19	6,13	2	10,58	1,40	1,36	Dendrítico	32,9	510
El Secreto (Puente Cuatro)	3,89	Suroeste	3,90	4,64	2	8,94	1,27	1,19	Dendrítico	33,2	550
El Chorro	4,17	Suroeste	4,88	8,91	3	10,82	1,48	2,14	Dendrítico	25,0	600
La Batea (Tramo Medio Superior)	16,91	Suroeste	8,65	16,14	3	20,09	1,37	0,95	Dendrítico	21,5	600

FUENTE: PROYECTO DE RECUPERACIÓN DE ÁREAS CRÍTICAS DE LAS MICROCUENCAS LOS PIJIGUAOS Y LA BATEA; CUENCA RÍO SUAPURE, ESTADO BOLÍVAR. VENEZUELA. 2001. ELABORACIÓN PROPIA.

**CUADRO N° 6: RESUMEN DEL ANÁLISIS MORFOMÉTRICO DE SECTORES
 HIDROLÓGICOS SOBRE TRAMOS INFERIORES (incluye interfluvios):**

Sector Hidrológico	Área (Km ²)	Longitud del cauce principal (Km)	Longitud total de cauce (Km)	Densidad de Drenaje (Km/km ²)	Pendiente Media (%)
El Secreto (Tramo Inferior)	1,51	2,72	2,72	1,80	2,1
La Batea (Tramo Inferior)	4,79	1,78	3,91	0,82	0,9

FUENTE: PROYECTO DE RECUPERACIÓN DE ÁREAS CRÍTICAS DE LAS MICROCUENCAS LOS PIJIGUAOS Y LA BATEA; CUENCA RÍO SUAPURE. ESTADO BOLÍVAR. VENEZUELA. 2001. ELABORACIÓN PROPIA.

- Con respecto a los datos obtenidos en los cuadros N° 4 y 5 se pudo observar el variado comportamiento de las microcuencas y sectores hidrológicos (área de influencia de la mina) que proporcionan situaciones totalmente diferentes. Se obtuvo como resultado que la unidad hidrológica de mayor relevancia, desde el punto de vista hidrológico y de producción de sedimentos, es el sector “El Chorro”.

Por otro lado, las cuencas con densidad de drenaje baja (menores de 1,5), tienden a poseer suelos resistentes a la erosión, buena cubierta vegetal, alta porosidad y permeabilidad que conlleva a una rápida infiltración o evacuación de la precipitación caída sobre ella. Cuencas con densidad de drenaje alta (mayores de 1,5) reflejan generalmente áreas con suelos fácilmente erosionables, con pendientes fuertes, poco permeable y una escasa cubierta vegetal que favorecen la concentración del escurrimiento superficial generando un arrastre de sedimentos de elevada magnitud.

De lo expuesto anteriormente, para un valor de 33,2% la pendiente media es alta, cuya variable asociada con el tamaño (3,89 Km²) y forma (1,27) tiene mayor probabilidad a ser cubierta en su totalidad por una tormenta, concentrando rápidamente el escurrimiento. Sin embargo, la misma no presenta valores significativos desde el punto de vista de producción de sedimentos; ya que en comparación con el caño El Chorro las áreas que han sido rehabilitadas en parte proporcionan una protección al suelo.

En cuanto al valor de pendiente media dentro del sector El Chorro, se estimó un valor relativamente alto (25,0%). Presenta un desnivel desde su elevación máxima a mínima de 600 m.

- El cuadro N° 6, muestra la densidad de drenaje y la pendiente media de los sectores hidrológicos ubicados sobre los tramos inferiores del caño El Secreto y la microcuenca La Batea, incluyendo los interfluvios (mapa base).
- La densidad de drenaje para el sector hidrológico El Secreto, resultó ser de 1,80 Km/Km². A través de observaciones de campo se observó una alta producción de agua y sedimentos, los cuales son depositados aguas abajo.

El sector hidrológico El Secreto (tramo inferior), tiene una superficie de aproximadamente 151 ha. que representan el 1,84% con respecto al área total de estudio, de las cuales 99,84 ha. se encuentra cubierto con Sabana abierta con chaparros, que representan el 66,12% del total y 51,16 ha. se utiliza para la agricultura (cultivos sin prácticas de conservación) que representan el 33,88% del total.

En el sector hidrológico La Batea (tramo inferior) se obtuvo una densidad de drenaje baja, correspondiente a 0,82 Km/Km². Ocupa una superficie de 479 ha. aproximadamente que representan el 5,83% del área total de estudio, donde 32, 28 ha. pertenece a Bosque de galería que representan el 6,74% del total; 388,33 ha. Sabana abierta con chaparros lo que equivale al 81,07% del total; 40,62 ha. cultivos sin prácticas de conservación equivalente al 8,48% del total y 17,77 ha. lo que equivale al 3,71% del total; distribuidos en ambas márgenes y corresponden a la población La Batea (población indígena Panare) y carreteras de tierra (mapa de uso actual de la tierra). El rango de pendiente media varía entre 2,1% el cual corresponde al Secreto (tramo inferior) y 0,9% correspondiente al sector La Batea (tramo inferior).

En detalle, del análisis morfométrico resultaron 6 unidades hidrológicas significativas para efecto del inventario de torrentes; comenzando con la microcuenca del torrente Los Pijiguaos (4636,17 ha) y finalizando con el sector La Batea “Tramo medio superior” (1691,48 ha) (Rincón, 2001).

7.2. INVENTARIO Y JERARQUIZACIÓN DE ÁREAS CRÍTICAS.

- INVENTARIO DE LA MICROCUENCA DEL TORRENTE Y SECTORES HIDROLÓGICOS PRINCIPALES (VER CUADRO N° 7 Y 8).

CUADRO N° 7: INVENTARIO DE LAS MICROCUENCAS DE LOS TORRENTES-INFORMACIÓN BÁSICA:

Microcuenca del Torrente	Municipio	Área (Ha)	Longitud del cauce principal (Km)	Densidad de drenaje (Km/Km ²)	Pendiente e media (%)	Precipitación media (mm)	Geomorfología y Litología predominante	Vegetación predominante
Los Pijiguaos	Cedeño	4636,17	18,73	1,22	21,0	2033,4	-M -PeGP	Bmd
La Batea	Cedeño	3577,24	10,58	1,20	20,8	2033,4	-G -Qc	Sach

FUENTE: PROYECTO DE RECUPERACIÓN DE ÁREAS CRÍTICAS DE LAS MICROCUENCAS LOS PIJIGUAOS Y LA BATEA; CUENCA RÍO SUAPURE. ESTADO BOLÍVAR. VENEZUELA. 2001. ELABORACIÓN PROPIA..

CUADRO N° 8: INVENTARIO DE LOS SECTORES HIDROLÓGICOS PRINCIPALES – INFORMACIÓN BÁSICA:

Sector Hidrológico	Municipio	Área (Ha)	Longitud del cauce principal (Km)	Densidad de drenaje (Km/Km ²)	Pendiente media (%)	Precipitación media (mm)	Geomorfología y Litología Predominante	Vegetación predominante
El Secreto (Tramo Superior)	Cedeño	449,90	5,19	1,36	32,9	2033,4	-G -Qc	AR
El Secreto (Puente Cuatro)	Cedeño	388,79	3,90	1,19	33,2	2033,4	-M -PeGP	Bmd
El Chorro	Cedeño	417,07	4,88	2,14	25,0	2033,4	-M -PeGP	Bmd
La Batea (Tramo medio superior)	Cedeño	1691,48	8,65	0,95	21,5	2033,4	-G -Qc	Sach

FUENTE: PROYECTO DE RECUPERACIÓN DE ÁREAS CRÍTICAS DE LAS MICROCUENCAS LOS PIJIGUAOS Y LA BATEA; CUENCA RÍO SUAPURE, ESTADO BOLÍVAR. VENEZUELA. 2001. ELABORACIÓN PROPIA..

- Del inventario de las microcuencas de los torrentes y sectores hidrológicos principales resultaron 3 torrentes significativos con superficies que van desde 4636,17 ha. (torrente Los Pijiguaos), hasta 388,79 ha. (torrente El Secreto “Puente Cuatro”). El rango de pendiente media oscila entre 33,2% (Torrente El Secreto “Puente Cuatro”) y 21% (Los Pijiguaos).

La densidad de drenaje varia entre los 2,14 Km/km² para el torrente El Chorro y 1,19 Km/Km² para el torrente El Secreto (Puente Cuatro). La vegetación dominante en estos torrentes es la de Bosque medio-denso (Bmd). Con respecto a la litología y geomorfología dominante se presentan montañas sobre el granito de El Parguaza con un Bosque medio-denso sobre suelos desde medios hasta pesados, con fuertes pendientes y peligro de erosión (ver mapa de diagnóstico físico natural).

- INVENTARIO DE CÁRCAVAS Y MOVIMIENTOS EN MASA (VER CUADRO N° 9).

- SUPERFICIE TOTAL AFECTADA POR CÁRCAVAS Y MOVIMIENTOS EN MASA (VER CUADRO N° 10).

CUADRO N° 9: INVENTARIO DE CÁRCAVAS Y MOVIMIENTOS EN MASA (Deslizamiento, derrumbes, etc.):

Foco erosivo	Microcuenca o Sector Hidrológico	Forma	Ancho Medio (m)	Longitud (m)	Área (Ha)	% de la Microcuenca o Sector Hidrológico	Precipitación (mm)	Pendiente media (%)	Litología	Localización geomorfológica e hidrográfica
Cárcava “Chorro 1”	El Chorro	De margen	7,00	190,00	0,13	0,031	2033,4	25	PeGP	Cabecera, vertiente izquierda
Cárcava “Chorro 2”	El Chorro	De canal	3,20	17,00	0,01	0,002	2033,4	12	PeGP	Cabecera, vertiente izquierda
Cárcava “Chorro 3”	El Chorro	De canal	7,60	38,00	0,03	0,007	2033,4	12	PeGP	Cabecera, vertiente izquierda
Cárcava “Chorro 4”	El Chorro	De margen	2,00	225,00	0,05	0,012	2033,4	25	PeGP	Cabecera, vertiente izquierda
Cárcava “Chorro 5”	El Chorro	De canal	2,00	27,00	0,01	0,002	2033,4	12	PeGP	Cabecera, vertiente izquierda
Cárcava “Chorro 6”	El Chorro	De concha	10,10	40,00	0,04	0,010	2033,4	12	PeGP	Cabecera, vertiente izquierda
Cárcava “Chorro 7”	El Chorro	De canal	6,25	40,00	0,03	0,007	2033,4	12	PeGP	Cabecera, vertiente izquierda

FUENTE: PROYECTO DE RECUPERACIÓN DE ÁREAS CRÍTICAS DE LAS MICROCUENCAS LOS PIJIGUAOS Y LA BATEA; CUENCA RÍO SUAPURE, ESTADO BOLÍVAR, VENEZUELA. 2001. ELABORACIÓN PROPIA.

CONTINUACIÓN DEL CUADRO N° 9: INVENTARIO DE CÁRCAVAS Y
 MOVIMIENTOS EN MASA (Deslizamiento, derrumbes, etc.):

Foco erosivo	Microcuenca o Sector Hidrológico	Forma	Ancho Medio (m)	Longitud (m)	Área (Ha)	% de la Microcuenca o Sector Hidrológico	Precipitación (mm)	Pendiente media (%)	Litología	Localización geomorfológica e hidrográfica
Derrumbe “Chorro 1”	El Chorro		29,00	122,60	0,36	0,086	2033,4	25	PeGP	Cabecera, vertiente izquierda
Derrumbe “Chorro 2”	El Chorro		40,00	107,20	0,43	0,103	2033,4	25	PeGP	Cabecera, vertiente izquierda
Cárcava 1 “bloque 1, sector 4”	El Secreto (Puente Cuatro)	De margen	11,00	180,00	0,20	0,051	2033,4	25	PeGP	Cabecera, vertiente izquierda
Cárcava 2 “bloque 1, sector 4”	El Secreto (Puente Cuatro)	De margen	13,50	180,00	0,24	0,062	2033,4	25	PeGP	Cabecera, vertiente izquierda
Cárcava “centro de aducción”	Los Pijiguaos	De margen	3,00	10,00	0,003	0,0001	2033,4	12	PeGP	Tramo medio superior, vertiente derecha
Cárcava “bloque 2, sector 8”	Los Pijiguaos	De margen	12,40	273,00	0,34	0,007	2033,4	25	PeGP	Tramo medio superior, vertiente derecha
Derrumbe “centro de aducción”	Los Pijiguaos		15,00	15,10	0,02	0,0004	2033,4	20	PeGP	Tramo medio superior, vertiente derecha
Deslizamiento “La Curva”	Los Pijiguaos		104,10	30,00	0,31	0,007	2033,4	25	PeGP	Tramo medio superior, vertiente derecha

FUENTE: PROYECTO DE RECUPERACIÓN DE ÁREAS CRÍTICAS DE LAS MICROCUENCAS LOS PIJIGUAOS Y LA BATEA; CUENCA RÍO SUAPURE, ESTADO BOLÍVAR, VENEZUELA. 2001. ELABORACIÓN PROPIA..

CUADRO N° 10: SUPERFICIE TOTAL AFECTADA POR CÁRCAVAS Y
 MOVIMIENTOS EN MASA:

FOCO EROSIVO	MICROCUENCA O SECTOR HIDROLÓGICO	ÁREA (HA)	% DE LA MICROCUENCA O SECTOR HIDROLÓGICO	OBSERVACIONES
Cárcava	El Chorro	0,30	0,07	Incluye cárcava “Chorro 1”, hasta cárcava “Chorro 7”.
Derrumbe	El Chorro	0,79	0,19	Incluye derrumbe “Chorro 1 y 2”.
Cárcava	El Secreto (Puente Cuatro)	0,44	0,11	Incluye cárcava 1 y 2 “Bloque 1, sector 4”.
Cárcava	Los Pijiguaos	0,34	0,01	Incluye cárcava “centro de aducción” y “Bloque 2, sector 8”
Derrumbe	Los Pijiguaos	0,02	0,0004	Derrumbe “centro de aducción”
Deslizamiento	Los Pijiguaos	0,31	0,01	Deslizamiento “La Curva”

FUENTE: PROYECTO DE RECUPERACIÓN DE ÁREAS CRÍTICAS DE LAS MICROCUENCAS LOS PIJIGUAOS Y LA BATEA; CUENCA RÍO SUAPURE, ESTADO BOLÍVAR, VENEZUELA. 2001. ELABORACIÓN PROPIA..

- En el cuadro N° 9, se muestra el inventario de los principales focos erosivos existentes; resultando un total de 15 focos erosivos, donde once (11) corresponden a cárcavas, uno (1) a deslizamiento y el resto a derrumbes.
- A objeto de comprender y tener una visión en conjunto más detallado de la superficie afectada por cárcavas y movimientos en masa sobre sitios críticos véase cuadro N° 10; en el cual se puede observar al sector hidrológico El Chorro, como el torrente más significativo, considerando éste como un caño de características torrenciales con un área que van desde 1,09 ha., que representan el 0,26% del total entre cárcavas y derrumbes; para un valor de 0,44 ha., que representan el 0,11% del total, el cual corresponde al sector hidrológico El Secreto (Puente Cuatro) en cárcavas y 0,67 ha., equivalentes al 0,02% en cárcavas y movimientos en masa con respecto al área total de la microcuenca Los Pijiguaos.

En este mismo orden de ideas, del inventario de cárcavas, resultaron 3 cárcavas significativas para efecto de la jerarquización de cárcavas sobre sitios críticos, comenzando con El Chorro (sitio 1), con una superficie total de cárcavas de 0,30 ha. aproximadamente y finalizando con la microcuenca Los Pijiguaos (sitio 3) con un área total de 0,34 ha. (ver cuadro N° 12).



Foto 21. Cárcava “Chorro 1”.



Foto 21 y 22. Cárcava en el área de estudio.



Foto 23. Cárcava en el área de estudio.



Foto 24. Derrumbe “Chorro 1”.



Foto 25. Cárcava en el área de estudio.

- JERARQUIZACIÓN DE TORRENTES (VER CUADRO N° 11).

**CUADRO N° 11 :
 JERARQUIZACIÓN DE TORRENTES – RESULTADOS.**

PARÁMETROS	NOMBRE DEL TORRENTE		EL CHORRO	EL SECRETO (Puente Cuatro)	LOS PIJIGUAOS	TOTAL
	CRITERIOS					
DEFORESTACIÓN	Superficie Deforestada (% del área)		9,06	3,45	1,98	14,49
Grado de Erosión	Laminar y surco	Superficie con grado de erosión (laminar y surco) (% del área)	9,06	3,45	1,98	14,49
	Cárcavas	Superficie con grado de erosión (cárcavas) (% del área)	0,07	0,11	0,02	0,20
	Movimiento en masa (deslizamiento, derrumbes, etc.)	Superficie afectada por movimientos en masa (deslizamientos, derrumbes, etc.) (% del área)	0,19	0	0,01	0,20
	Socavación (de fondo, lateral)	Longitud (Km) de cauce con socavación (de fondo, lateral)	0	0	0	0
CONTAMINACIÓN DEL AGUA (Calidad de agua)	Sólidos Totales Disueltos (STD) (mg/L) Período 1998-2001		18,50	7,50	7,25	33,25
COBERTURA VEGETAL	Índice de protección hidrológica		0,41 (V4)	0,46 (V4)	0,66 (V3)	1,53
RIESGO DE DAÑO	Daños a viviendas (ubicadas en áreas adyacentes) (N° de viviendas)		3	3	5	11
	Daños a Infraestructuras existente (vialidad, puentes, plantaciones, etc.) (N° de infraestructura)		7	4	6	17
TOTAL			47,29	21,97	22,90	92,16

FUENTE: Elaboración propia.

NOTA: ES importante aclarar, que la suma de los valores asignados en cada parámetro a cada torrente, a nivel de columnas (columnas 3,4, 5 y 6), para este caso en específico se consideró aceptable para efecto de priorización de los torrentes y/o cárcavas principales.

- JERARQUIZACIÓN DE CÁRCAVAS SOBRE SITIOS CRÍTICOS (VER CUADRO N° 12.

**CUADRO N° 12:
 JERARQUIZACIÓN DE CÁRCAVAS SOBRE SITIOS CRÍTICOS – RESULTADOS.**

PARÁMETROS	NOMBRE DE LA CÁRCAVA		EL CHORRO (Sitio 1)	EL SECRETO “Puente Cuatro” (Sitio 2)	LOS PIJUAOS “Centro de Aducción” (Sitio 3)	TOTAL
	CRITERIOS					
DEFORESTACIÓN	Superficie deforestada (ha)		10,49	3,92	0	14,41
Grado de Erosión	Cárcavas	Superficie con grado de erosión (cárcavas) (ha)	0,30	0,44	0,34	1,08
	Socavación (de fondo, lateral)	Longitud (Km) de cauce con socavación (de fondo, lateral)	0,08	0	0	0,08
CONTAMINACIÓN DEL AGUA (Calidad de agua)	Sólidos Totales Disueltos (STD) (mg/L) Período 1998-2001		18,50	7,50	7,25	33,25
COBERTURA VEGETAL	Índice de protección hidrológica		0 (V7)	0 (V7)	0 (V7)	0
RIESGO DE DAÑO	Daños a viviendas (ubicadas en áreas adyacentes) (N° de viviendas)		3	3	5	11
	Daños a Infraestructuras existente (vialidad, puentes, plantaciones, etc.) (N° de infraestructura)		7	4	6	17
TOTAL			39,37	18,86	18,59	76,82

FUENTE: Elaboración propia.

NOTA: ES importante aclarar, que la suma de los valores asignados en cada parámetro a cada torrente, a nivel de columnas (columnas 3,4, 5 y 6), para este caso en específico se consideró aceptable para efecto de priorización de los torrentes y/o cárcavas principales.

- Los resultados de la jerarquización de torrentes se encuentran en el cuadro N° 11. Allí se puede observar que el torrente más prioritario es El Chorro, lo que indica que debe ser atendido en primer lugar.

Este torrente resultó prioritario por la combinación de los siguientes criterios: Por su superficie deforestada (9,06 % del total); presencia de erosión laminar y en surcos (9,06 % del total); erosión en cárcavas (0,07 % del total); movimientos en masa

“derrumbe” (0,19% del total). En cuanto a la cantidad de Sólidos Totales Disueltos para período de tiempo comprendido entre: 1998 – 2001, resultó ser de 18,50 mg/L. El índice de protección que la vegetación brinda al suelo (V4) resultó ser bajo (0,41).

- Con respecto a los resultados obtenidos en el cuadro N° 12, el cual considera la superficie total afectada por cárcavas sobre sitios, abarcando un área total de 0,30 ha. aproximadamente para El Chorro (sitio 1); 0,44 ha. del total para El Secreto “Puente Cuatro” (sitio 2) y 0,34 ha. del total para Los Pijiguaos (sitio 3); resultando entonces como principal foco erosivo la cárcava El Chorro (sitio 1), tanto por su aporte de sedimentos como por ser uno de los principales torrentes con problemas de contaminantes en el agua.

La fuente productora de carga sólida del torrente El Chorro se encuentra ubicada en la parte alta (cabecera) en su vertiente izquierda, aproximadamente a 600 ms.n.m. Este foco erosivo es originado por la socavación lateral y de fondo a lo largo del cauce, producto de la concentración de las aguas de escorrentía.

7.3. TÉCNOLOGÍA DE SISTEMA VETIVER -LUQUE, M Y LISENA, M., 2003

¿QUÉ ES EL VETIVER?

El vetiver (*Vetiveria zizanioides*) es una gramínea perenne que posee un sistema radicular masivo, profundo (2 a 3 m de crecimiento en un año); fuerte, su resistencia a la tracción es de 75 MPa, equivalente a 1/6 del acero blando (Hengchaovanich, D. 1.996), ello amarra el suelo. Su follaje es erecto, alto, abundante e igualmente fuerte; siendo capaz, cuando se establecen barreras con él, de soportar láminas de agua de inundación de hasta 80 cm. y reducir su velocidad casi a cero; (RLAV, 1.999) a la vez que retiene los sedimentos. Es una planta asexual, es decir, sus semillas no son fértiles, y por ende no

hay riesgo de que se convierta en maleza. Una vez establecido tolera condiciones extremas de: sequías; inundaciones; quema (rebrot a la semana); temperaturas (-14° C a 46° C); altitudes (0 m hasta 2800 msnm); pH (3 a 12.5); se adapta a suelos con presencia de aluminio, arsénico, cadmio, cobre, cromo, plomo, manganeso, mercurio, níquel, selenio y zinc; suelos sódicos, salinos, alcalinos, (Truong, P. 1999). Su presencia en el país se remota a unos cien años atrás (Mirabal, CT) en que era utilizada en algunas regiones del sur del país para techar viviendas (Decanio, 2004).

¿QUÉ ES LA TSV?

La Tecnología de Sistemas Vetiver (TSV) es originada por la Bioingeniería, una conjunción de varias disciplinas de la biología y las ingenierías agronómica y civil, que interactúan para el diseño, instalación y mantenimiento de barreras vivas, usando al vetiver como planta matriz para el control de erosión, estabilización de taludes, filtro de sedimentos, recuperación de cuencas, control de flujos y de inundaciones, tratamiento de aguas servidas y biorremediación de suelos contaminados. La experiencia internacional sobre protección de infraestructuras, que data de 1.908 en Malasia, (RLAV. op. cit.), así como en otras aplicaciones de la Bioingeniería es amplia y está abundantemente registrada a través de las diferentes redes regionales del vetiver, y muy particularmente, por la red mundial (www.vetiver.org).

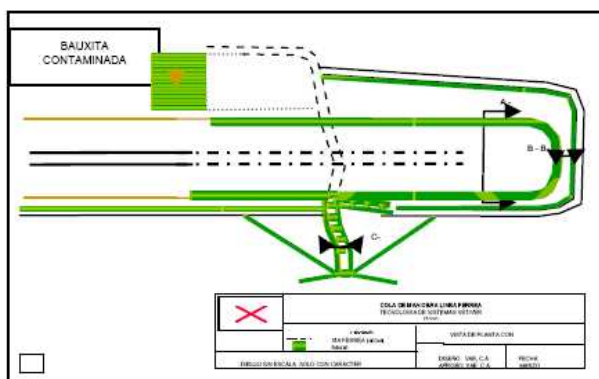
7.4. INFORME TÉCNICO SOBRE TRATAMIENTOS DE LOS SITIOS CRÍTICOS.

- **Metodología:**

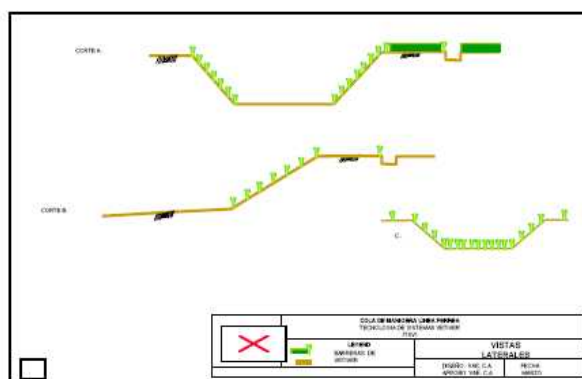
➤ **Diseño:**

Tras hacer una evaluación de los sitios a recuperar, se toman muestras de suelo para su análisis; se observan factores como presencia de cursos de agua en el área de la zona a tratar, estabilidad del suelo, pendientes del terreno y se indaga sobre cual será el uso de la barrera; con toda esta información se determina el Intervalo Vertical (IV) a aplicar, el cual generalmente se ubica entre 0.80 m y 1.00 m. Posteriormente se procede a diseñar las barreras (Ver Figuras N° 2 y 3).

FIGURA N° 2 Y 3: PLANO DE DISEÑO:



FUENTE: CVG-BAUXILUM, OPERADORA DE BAUXITA, 2004.



FUENTE: CVG-BAUXILUM, OPERADORA DE BAUXITA, 2004.

➤ **Ejecución:**

Los trabajos en campo se inician con el trazado de las curvas de nivel. En ocasiones, cuando el terreno es muy irregular, se hace una conformación previa; luego se abren zanjas de aprox. 20 x 20 cms a todo lo largo del trazado, se aplica fertilizante de una formula NP con alto contenido de fósforo (generalmente DAP) en el fondo del suelo, a continuación se cubre con una capa de tierra y se procede a colocar encima una capa de abono orgánico; si el suelo está seco se irriga el canal y se procede a sembrar las plantas

de vetiver a razón de 7 u 8/mts. Las cantidades de abono y fertilizante a aplicar en cada caso se determinan con los resultados de los análisis de suelo.

- **Áreas de trabajos:**

Los trabajos se realizan en las áreas de la mina donde trafican permanentemente maquinarias pesadas. Está ubicada en una zona selvática. Las pendientes de los terrenos son variables en cada área a proteger y éstas van desde unos 5° (cunetas) hasta 80° (cárcavas).

Cuando la pendiente es muy inclinada se trabaja con técnicas similares al rappel, es decir, amarrados desde arriba con un mecate atado a un tronco enterrado profundamente, atando éste a un segundo apoyo.

- **Seguridad:**

Además de la charla obligatoria sobre seguridad industrial dictada por CVG Bauxilum; antes de iniciar cada trabajo se le da una inducción a nuestro personal sobre los riesgos de los trabajos y las medidas de seguridad que hay que adoptar permanentemente, tanto en la carretera como en el sitio de trabajo. Se le entrega a cada trabajador normas de estricto cumplimiento. Se entrena a los inexpertos en la aplicación de la TSV. También se les induce sobre la necesidad de proteger al medio ambiente, particularmente a la fauna de la región.

Cuando se labora en pendientes muy pronunciadas, el trabajador que está en la pared es asistido por otro quien vigila permanentemente al que realiza el trabajo, así como a los aperos y el entorno. Esta política se ha reflejado en la inexistencia de incidentes (tipo de accidente de menor nivel) durante los tres años que tenemos laborando en esa mina.

- **Aplicación de Bioingeniería TSV y comentarios:**

- **Lagunas de sedimentación: (Años 2.003 al 2.005)**

Se construyen por excavación en, o cercanas a, drenajes. Su propósito es minimizar el transporte de sedimentos hacia los cursos naturales de agua (caños, ríos); están ubicadas en terrenos de poca pendiente. Los taludes que se levantan son muy erodables, por esta razón se forman surcos que ocasionalmente confluyen en ambas caras causando debilitamiento al dique y origina su ruptura cuando la laguna se rebasa.

Con la siembra de vetiver (foto 26) se ha controlado el fenómeno de erosión en los taludes, logrando además reforzar la estructura del dique a través del mallado que forman las raíces que amarran al suelo. Las barreras le brindan además una sobre elevación ya que se comportan como una pared porosa (foto 27) que le permite a la laguna liberar agua por la cresta cuando ocurren lluvias de grandes dimensiones; a la vez que atrapa los sedimentos suspendidos en las aguas que pasan a través de ellas. Se ha observado que las barreras ubicadas en la cara interior de las lagunas con frecuencia quedan inundadas durante 2 meses sin que el vetiver sea afectado por ello.



Foto 26 y 27. Siembra de Vetiver en Lagunas de sedimentación.

➤ **Interfaz suelo-concreto (Año 2003):**

Uno de los problemas que comúnmente se presentan en ingeniería es la erosión de las áreas de transición entre el concreto y el suelo; muy particularmente en las zonas por donde drenan las aguas de lluvias (foto 28 y 29).

Se aplicó la TSV en brocales de una vialidad de 1.200 m y fuerte pendiente, que conduce a “la aducción”. Aunque la obra estaba en su primer año, en algunos sitios el brocal presentaba surcos profundos pese a que, como medida de prevención, le habían aplicado un manto de concreto pobre; sin embargo la acción de las aguas continuó erosionando y persistía el daño en la referida zona antes de realizar la siembra.

Inicialmente en las áreas de mayor pendiente hubo dificultades con un lote de plantas, las cuales eran arrastradas por las corrientes durante las lluvias; el problema se solventó colocando barreras provisionales con sacos de arena, capaces de desviar el agua hacia la carretera.

El vetiver creció rápido y fuerte a lo largo de 1.050 m; en los 150 m restantes, ubicados en áreas con presencia de sombra, el desarrollo de las plantas fue lento y disperso, sin embargo también detuvo la erosión.



Foto 28 y 29. Tecnología Sistema Vetiver Interfaz Suelo-Concreto.

➤ **Talud “La Aducción” (Año 2.003).**

Está formado por un talud a tres pendientes, dos naturales -una longitudinal y otra transversal-, mientras la tercera, también transversal, es de corte; con una inclinación esta última de unos 60°. Durante la evaluación previa, en Abril 2.003 (verano), estaba recién construido y su conformación era homogénea. En Octubre 2.003, cuando se inició la siembra (finales de lluvias) se habían formado surcos de importante tamaño en las tres pendientes y comenzaban a aparecer algunas cárcavas (foto 30). El terreno se conformó manualmente. Se hizo necesario trabajar amarrado, tipo rappel (foto 31). Posterior a la siembra, el crecimiento de las plantas fue relativamente rápido.



Foto 30 y 31. Tecnología Sistema Vetiver Talud “La Aducción”.

El talud está estable y las barreras bien desarrolladas (fotos 32 y 33). Además se ha observado en él la presencia de especies vegetales pioneras para la recuperación del bosque originario.



Foto 32 y 33. Tecnología Sistema Vetiver en recuperación de Taludes.

➤ **Cárcava “chorro de agua” (Año 2.003).**

Se trataba de una cárcava de 95 metros de longitud, (foto 34) formada por paredes verticales con desniveles de hasta -5,00 m, que alcanzó anchos de hasta 15.90 m. Había sido reparada en diversas ocasiones pero igualmente continuó fallando; posteriormente se construyó una torrentera de concreto paralela a ella para conducir las aguas, sin embargo, la contaminación visual y el riesgo de que las aguas buscaran su curso anterior continuaba.



Foto 34. Tecnología Sistema Vetiver en recuperación de Taludes.

Para la aplicación de la TSV se hizo una conformación a máquina del terreno, previa a la siembra del vetiver (foto 35). La siembra se hizo al final del ciclo de lluvias y ello limitó la formación de las barreras en su totalidad. Pese a que no se realizaron labores de riego, y al fuerte verano en la región; las plantas de vetiver se mantuvieron en un estado de latencia hasta el reinicio de las lluvias, cinco meses después. En el 2.004 se efectuó una resiembra en algunos puntos fallados; en esa ocasión todas las matas crecieron vigorosas.



Foto 35. Tecnología Sistema Vetiver-Resiembra en puntos fallados.

Cabe referir que un año después de sembrado el Vetiver, una tanquilla aledaña que recoge un volumen importante de agua colapsó; sin embargo, este evento afectó parcialmente a una sola barrera. En la actualidad se encuentra en franca recuperación por vía natural.

➤ **Otras cárcavas (Años 2.003 y 2.004).**

Se han estabilizado otras cárcavas, entre ellas las más relevantes son:

- Una de 15 m de profundidad con una inclinación de 80°. Se formó a causa de la ruptura del dique en una laguna de sedimentación que fue construida cerca de una depresión, según criterios usados anteriormente que hoy están descartados. Se requirió sembrar por puntos, es decir, no se pudo abrir zanjas debido a lo inestable del terreno. Durante la fase de arraigo de las matas ocurrieron tres deslizamientos localizados, causados por las lluvias. Estos fueron resembrados en cada ocasión. Actualmente la recuperación es total.

1• La otra tenía una depresión de aprox. 40 m de profundidad y una inclinación de unos 60°. De origen similar a la anterior, fue modificada por la acción de trabajos realizados en la laguna que la produjo. El volcamiento del material formó un talud muy inestable a causa del relleno sin compactar; a ello se agregó la filtración de la laguna por la parte inferior del talud; todos estos elementos se conjugaron para que ocurriera un deslizamiento después de haber sembrado. Los trabajos de reparación se acometieron al año siguiente. Hoy está estable e igualmente hay presencia de otras especies vegetales pioneras. En la ejecución de ambos casos, los trabajadores se amarran usando técnicas similares al rappel (foto 36 y 37).



Foto 36. Tecnología Sistema Vetiver en recuperación de otras cárcavas.



Foto 37. Trabajadores se amarran usando técnicas similares al rappel.

➤ **Deslizamiento en vialidad por falla de borde (Año 2.004).**

A la altura del Km 4 de la vialidad que conduce a la mina se produjo un deslave que deterioró considerablemente un muro de gavión que se encontraba en el área, dejando además sin apoyo a un tramo de tubería que conduce agua potable hasta el campamento. El departamento de seguridad de Bauxilum declaró emergencia ante la posible ruptura de ésta última lo cual representaba un doble riesgo:

- 1• Que colapsara la vialidad, lo que posiblemente cerraría el acceso al área de minas.
- 2• Dejar sin agua potable al campamento residencial.

Se plantearon dos opciones para resolver esta situación, la primera fue construir una pantalla atirantada. La otra en cambio, fue edificar terrazas con muros de suelo-cemento y anclarlos con barreras de vetiver. Se adoptó esta última y el proyecto requirió sólo de un mes para su ejecución. El otro diseño propuesto como solución de ingeniería fue desechado por lento y costoso.

Los trabajos citados fueron realizados en Marzo y fue necesario usar riego durante dos meses, hasta que se iniciaron las lluvias. Al año siguiente ocurrió un incendio de vegetación en la zona, quemándose las barreras en su totalidad. Sin embargo, a la semana siguiente el vetiver había reverdecido, antes de que la vegetación circundante mostrase signos de recuperación. Las pérdidas de vetiver fueron mínimas.

➤ **Talud en vialidad (Año 2.004).**

En el Km 10 de la vía a la mina se produjeron dos deslizamientos en taludes de corte con una altura de 25 m y 15 m respectivamente, y una inclinación de 75°. Los taludes están ubicados en la cara Este de la montaña; del otro lado (Oeste) existe una vegetación frondosa; esta situación restringe la incidencia de luz en la zona a pocas horas del día. Durante la inspección se determinó la presencia de pequeños cursos de agua que escurrían en la zona. Se realizó una limpieza en la parte superior y se canalizaron las aguas hasta otras vertientes. Las plantas se sembraron abriendo huecos individuales; se trabajó con técnicas de rappel. El crecimiento y desarrollo de las plantas fue muy pobre debido a la escasa incidencia de luz solar, al punto de que a la fecha, dos años después, apenas se nota la presencia de ellas. Sin embargo el talud se mantiene estable; tal vez por la ausencia de las aguas que fueron desviadas a otra vertiente.

➤ **Filtro de sedimentos: (Años 2.003 al 2.005).**

Las cunetas en suelo desnudo, que conducen grandes volúmenes de agua producto de las lluvias o del rebalse de las lagunas, son proclives a la formación de cárcavas, pese a su continuo mantenimiento. Debido a las fuertes corrientes que se desplazan por esos drenajes, en ocasiones se requiere instalar barreras provisionales con sacos, rocas o madera, previo a la siembra del vetiver para evitar que las plantas sean arrastradas antes de que se arraiguen en el suelo. En otros casos se ha trabajado con barreras preformadas en el vivero anclándolas con el uso de cabillas de acero y amarrándolas fuertemente.

El establecimiento de barreras de vetiver como filtro de sedimentos no sólo ha cumplido con ese propósito sino que, también ha revertido el proceso de erosión al rellenar y formar terrazas en las áreas ubicadas aguas arriba.

- **Ensayos de Absorción de Aluminio.**

A objeto de determinar los niveles de absorción de aluminio por las plantas de vetiver en el área de recuperación ambiental de la mina, se realizaron ensayos a 15 muestras de suelos tomadas en sitios en donde se han instalado barreras. Como referencia se tomó una muestra al suelo en plantas sembradas dentro del centro poblado (PTAR), con características diferentes al de la mina; con los resultados se seleccionaron plantas en B2S8a y en B1CCA y se analizó la cantidad de aluminio en sus hojas.

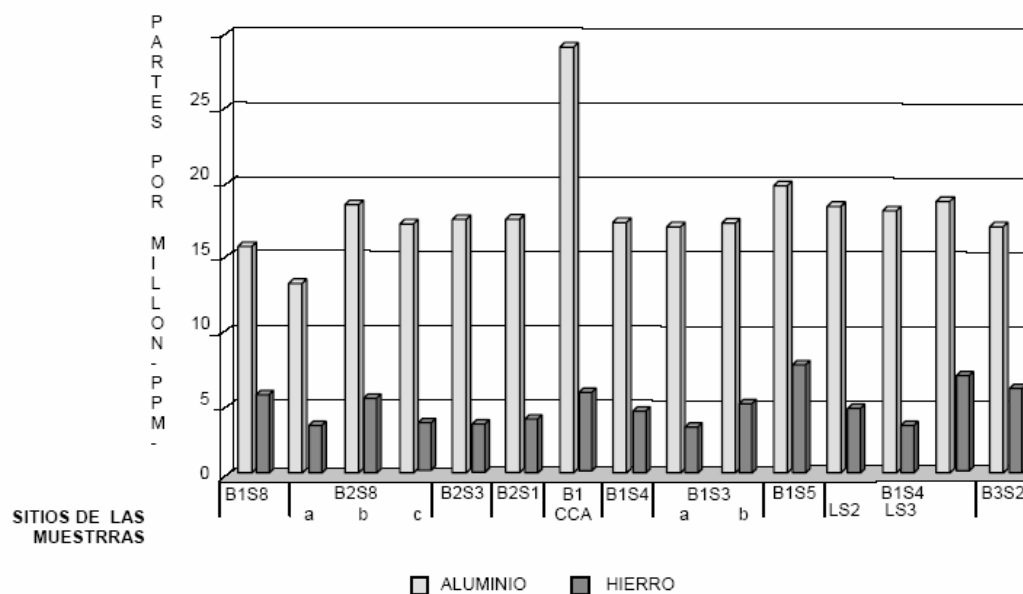
El Cuadro N° 13 recoge los valores obtenidos en las muestras de suelo; mientras que el Gráfico N° 2 establece la comparación gráfica de estos resultados.

CUADRO N° 13: ANÁLISIS DE MUESTRAS DE SUELO:

Origen de la Muestra	Número de la Muestra	Cantidad de la muestra (ppm)	pH del Suelo (Bauxita) Analizado	Contenido de Aluminio (ppm)	Contenido de Hierro (ppm.)
Centro Poblado	0	300.000	6,23
B1S8	1	250	7,9	14,976	4,764
B2S8a	2	249,8	5,85	12,594	3,094
B2S8b	3	250,4	6,14	17,939	4,84
B2S8c	4	250	6,85	16,628	3,252
B2S3	5	249,9	6,06	16,92	3,109
B2S1	6	250	5,93	15,964	3,504
B1 CCA	7	250,1	5,59	28,47	5,317
B1S4	8	250,3	6,11	16,735	3,963
B1S3a	9	250,3	6,28	16,44	2,968
B1S3b	10	249,8	6,14	16,773	4,543
B1S5	11	250	5,66	19,204	7,064
B1S4LS2	12	249,9	5,57	17,959	4,217
B1S4LS3	13	249,8	5,96	17,566	3,014
B1S4LS4	14	250,1	6,59	18,1	6,449
B3S2	15	250,3	6,00	16,41	5,549

GRÁFICO N° 2: ANÁLISIS DE MUESTRAS DE SUELO:

HIERRO Y ALUMINIO PRESENTES EN EL SUELO



FUENTE: CVG-BAUXILUM, 2004.

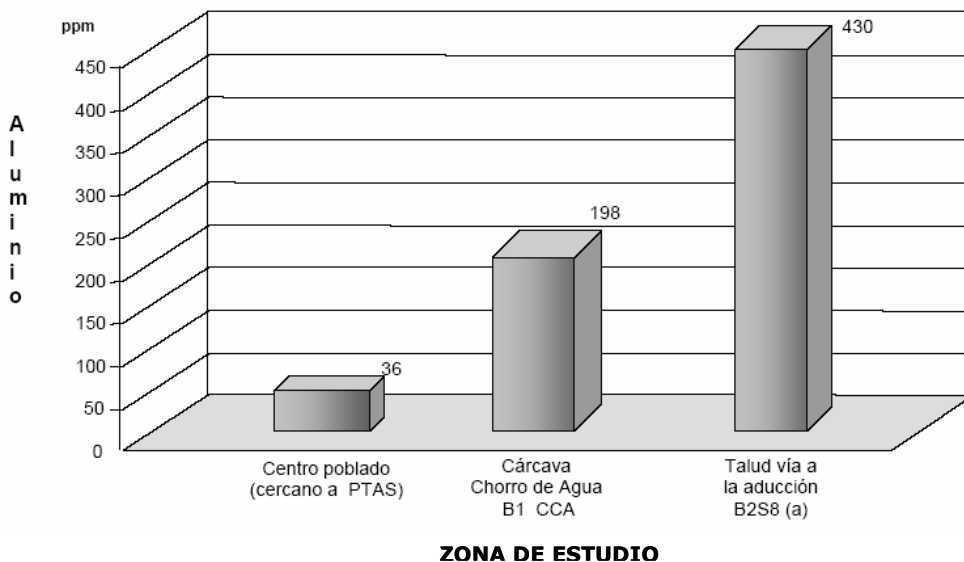
Por su parte, el Cuadro N° 14 muestra los niveles de aluminio contenidos en las hojas de las plantas muestreadas (Ver Gráfico N° 3).

CUADRO N° 14:

ABSORCION DE ALUMINIO EN PLANTAS DE VETIVER (HOJAS)

	Centro Poblado. (cercano a PTAS)	carcava del Caño Chorro de Agua. (B1 CCA)	Talud vía a la Aducción (B2S8)
Tiempo (meses)	36	26	34
ppm	36	198	430

GRÁFICO N° 3: NIVELES DE ALUMINIO EN LAS PLANTAS:



FUENTE: CVG-BAUXILUM, 2004.

De las muestras obtenidas para determinar el contenido de aluminio presente en la planta, se obtuvieron los mayores resultados (valores) en las plantas establecidas en el talud de la vía a la aducción mina (B2S8), presentando 430 ppm de aluminio acumulado en 34 meses de siembra. Seguidamente, se presentan valores de 198 ppm en las plantas establecidas en la cárcava del Caño Chorro de Agua (B1 CCA), con un tiempo de siembra de 26 meses. Ambos grupos de plantas establecidas en las áreas en proceso de recuperación. Los valores más bajos de 36 ppm se corresponden con las especies establecidas en las adyacencias de la Planta de Trubican en las instalaciones del Centro Poblado; y que por consiguiente no están asociadas al proceso de explotación del mineral de bauxita, así como tampoco a suelos derivados de este tipo de mineral. A pesar de que los valores de pH asociados a los suelos donde se establecieron las especies de Vetiver presentan valores que debe alcanzar un 10%. Resulta muy probable que los mismos hayan estado asociados a bajos valores de pH establecidos al inicio del proceso de siembra, a través de la aplicación de gran cantidad de material orgánico como enmienda.

7.4.2. ESTRATEGIA DE CONTROL: MEDIDAS ESTRUCTURALES.

- TIPOS DE OBRAS. DESCRIPCIÓN (Rincón, 2001).

Para establecer el tratamiento del canal de las cárcavas “Chorro 1, 2 y 3” (Ver inventario de cárcavas), están contempladas las siguientes obras de ingeniería.

➤ Cárcava “Chorro 1” comprende 5 acciones principales:

1. Una escollera de protección sobre una placa de concreto armado.
2. Construcción de dos (2) muros laterales paralelo al cauce, sobre una base de concreto armado con bolsacreto.
3. Dos (2) traviesas, ubicadas entre los muros laterales y a lo largo del cauce.
4. Revestimiento del cauce con piedras (escollera).

5. Construcción de un (1) dique bajo de retención sobre una base de concreto armado con bolsacreto.

1. Una escollera de protección sobre una placa de concreto armado.

Se considera necesario construir una escollera de protección, con el fin de evitar la socavación de fondo, aumentar la rugosidad del cauce y disminuir la velocidad del agua, la cual fue diseñada para ser construida utilizando piedras con un diámetro de 30 cm (revestimiento de piedras en el cauce); ubicada en la cabecera de la cárcava a 50 cm aguas abajo después de la traviesa N° 1, entre las progresivas 0+ 190,36 m a 0+ 194,36 m de sección trapezoidal.

Se dispondrá de un revestimiento de piedra gruesa, colocándose con un espesor de un 1,00 m; 5,00 m a lo largo del canal y 4,00 m de ancho, sobre una placa de concreto armado (20 m²) de 1,00 m de profundidad de excavación, procurando que queden muy pocos espacios libres entre ellas, que permita el drenaje, evitando que sean desplazadas de su posición y protección de la obra. Se considera necesario la colocación de una malla de Trucson sobre la placa de concreto, con la finalidad de proporcionar más estabilidad a la obra.

Cabe destacar, que el tipo de construcción dependerá del tipo de material que se encuentra en la zona, para minimizar los costos y permitir un aprovechamiento integral de los recursos con que se cuenta. Para este caso específico, aproximadamente 80 km de la mina hasta Puesto Gumillas (El Jobal), existe la presencia de material.

2. *Construcción de dos (2) muros laterales paralelo al cauce, sobre una base de concreto armado con bolsacreto.*

Construcción de dos (2) muros laterales sobre una base de concreto armado con bolsacreto, uno en cada margen de la cárcava, entre las progresivas 0+ 190,36 m a 0+ 194,36 m, cuya función es, estabilizar los taludes, proteger el revestimiento de piedras en el cauce. Tendrá una altura total de 4,40 m y 5,00 m de largo, adyacente a la escollera; con paramento exterior recto e interior inclinado. Los detalles de esta estructura se presentan en el plano N° 4. Profundidad del fundamento 1,00 m y un espesor de corona de 0,50 m; 1,00 m de base y una inclinación del paramento de 2 % .

3. *Dos (2) traviesas.*

Estas traviesas estarán ubicadas al inicio y final de la escollera; 6,00 m de largo, 2,00 m de altura y 0,50 m de ancho con una profundidad de excavación de 1,00 m y 1,00 m de espesor; tendrán un diseño de forma rectangular. Su función es fijar el perfil longitudinal, impedir la socavación del fondo y aumentar la estabilidad de los muros laterales y escollera. Cada traviesa actúa como un punto de control, de forma que establece un control en el perfil del lecho. Ubicación de las traviesas (perfil longitudinal N° 1 y plano 4): Traviesa N° 1, en las progresivas 0+ 194,36 m a 0+ 194,86 m en la cabecera de la cárcava (cota 605 m.s.n.m.). Traviesa N° 2, en las progresivas 0+ 189,86 a 0+ 190,36; a 4,50 m aguas abajo de la cárcava (cota 603,9 m.s.n.m.). Se empleará concreto armado como material de construcción.

4. *Revestimiento del cauce con piedras (escollera).*

Se considera necesario el revestimiento del cauce con piedras después de la traviesa número dos (2), con el propósito de evitar la socavación de fondo y/o erosión al pie de las estructuras, con un espesor de 1,00 m; 3 m de ancho y 3 m de largo, utilizando piedras de 30 cm de diámetro. Esta escollera estará ubicada entre las progresivas 0+ 186,86 m a 0+ 189,86 m.

5. *Construcción de un (1) dique bajo de retención sobre una base de concreto armado con bolsacreto (Dique N° 1).*

Para controlar el aporte de sedimento producto de la cárcava “Chorro 1”, de los deslizamientos, de las socavaciones laterales y de fondo, minimizar el riesgo de daños que pudiera ocasionar esta cárcava, se propone la construcción de un dique bajo de retención sobre una base de concreto armado, con bolsacreto, con una resistencia de 200 kg/cm²; que tendrá la función de controlar el aporte de sedimentos transportado al caño “El Chorro”, modificar la pendiente del cauce, orientar la dirección del flujo de la corriente y elevar el fondo del cauce; así se consolidará el cauce.

Este dique tendrá un fundamento de 1,50 m de concreto armado; debe tener la capacidad de soportar las cargas que se transmiten al fondo, así mismo, se insertarán bolsas de costal, llenos a base de una mezcla de tierra y cemento en una proporción determinada, colocándose unos encima de otros, preferiblemente estacados (mortero) para darle mayor resistencia y seguridad. Su sección de flujo será trapezoidal, con el paramento interior recto (aguas arriba) y paramento exterior inclinado (aguas abajo); su localización será aproximadamente a 72,60 m (cota 593 m.s.n.m.) aguas abajo de la confluencia de la cárcava “Chorro 3” entre las progresivas 0+ 115,26 m a 0+ 122,26 m.

➤ **Cárcava “Chorro 2”.**

Para el tratamiento del canal y vertientes de la cárcava “Chorro 2”, están contempladas las siguientes acciones principales:

- Construcción de un (1) dique bajo de retención sobre una base de concreto armado con bolsacreto (Dique N° 2): Para controlar el aporte de sedimento producto de la cárcava “Chorro 2” se propone la construcción de un (1) dique bajo de retención sobre una base de concreto armado con bolsacreto, con una resistencia de 200 kg/cm², a aproximadamente 9 metros aguas abajo de la cárcava; de sección trapezoidal, paramento interior recto y paramento exterior inclinado.
- Relleno manual (9 m³).
- Peinado de los taludes, con el fin de remover el material inestable y suavizar las pendientes de los mismos.

Canal de drenaje: Con el propósito de interceptar el agua de escurrimiento en la zona alta e impedir que llegue corriente de agua a la cárcava “Chorro 2” y al mismo tiempo evitar que lleguen sedimentos aguas abajo, se considera necesario la construcción de un canal de drenaje de tierra; deberá colocarse con un revestimiento de grama, cuyo espesor mínimo debe ser de unos 10 cm; conduciéndola hacia la cárcava “Chorro 1” que la llevará hacia la zona de desagüe (caño El Chorro).

Este canal debe localizarse a una distancia prudencial de la cabeza o extremo superior de la cárcava, de manera que quede construido sobre terreno firme. La estructura debe quedar a una distancia superior a tres veces la profundidad de la cárcava; procurando que el canal quede con una cierta pendiente a fin de evitar erosión. Su sección deberá ser trapezoidal, debido, a su fácil conformación y estabilidad en el terreno. El mantenimiento de este canal es de vital importancia, ya que es la obra principal que

protegerá el sistema de terrazas (absorción e individuales) y por consiguiente a la siembra de arbustos establecidos en ellas o entre ellas.

Es importante realizar chequeos periódicos de la pendiente longitudinal y corregir cualquier variación, las dimensiones deben estar acordes con la cantidad de agua que se estime canalizar.

Construcción de un sistema de terrazas de absorción: En el área de recepción de la cárcava y en la vertiente derecha se requiere la construcción de un sistema de terrazas de absorción o infiltración tipo canal, construidas a nivel, para detener el agua en el canal; de 2,5 m de ancho aproximadamente (el ancho dependerá del aparato con que se construya la terraza) y con una contra pendiente de 2%.

Se recomienda construir con un borde lateral y con bordes en los extremos para asegurar así mayor oportunidad de infiltración. El bordo es más importante que el canal. El desnivel debe ser cero. En su construcción debe considerarse factores como: separación entre terrazas (2 m) y la capacidad para retener o evacuar el agua de escorrentía.

Preparación del terreno para la construcción de un sistema de terrazas individuales que tendrán los objetivos: Para ayudar al mejor y rápido desarrollo de los arbustos, reducir la velocidad del agua de escorrentía y permitir una mayor infiltración del agua en la zona en donde crecen las raíces de los arbustos. Se deben construir en época en que el suelo contenga un nivel alto de humedad para así facilitar la compactación de los taludes. La forma es circular y que el árbol quede en el centro. Los taludes tendrán una inclinación de 1:1 y deben estar protegidas con especies arbustivas de alta capacidad de regeneración.

El diámetro de la terraza, lo mismo que la profundidad de los cortes, dependerá de la pendiente del terreno. Para este caso específico, la pendiente media del terreno es de 25%, por lo tanto, se recomienda un diámetro total de la terraza de 1,80 m a 2,00 m; un diámetro de corte comprendido entre 0,90 m – 1,00 m; diámetro del terraplén 0,90 – 1,00 m y una profundidad de corte entre 30 cm hasta 36 cm.

Implantación de vegetación arbustiva: Una vez construidos los pequeños terraplens circulares, se procede a hacer el corte vertical hasta que todo el fondo de la terraza esté al mismo nivel del punto donde estará la planta, desplazando la tierra hacia el talud inferior. Esta tierra deberá acomodarse con cuidado, procurando quede bien compactada. Luego se excava el desnivel del fondo del plato (5%) contrario a la pendiente del terreno y, por último, se excava el talud. Se recomienda la siembra de arbustos, utilizando especies recomendadas por el área, con alta capacidad de regeneración (especies que hayan tenido éxito en los programas de rehabilitación). Su distribución en el terreno debe ser en contorno y ordenarlas al tresbolillo. En todo estos tratamientos se debe realizar el mantenimiento respectivo.

➤ **Cárcava “Chorro 3”.**

Para el control de la cárcava “Chorro 3”, se propone las siguientes acciones:

Para el tratamiento del canal:

Construcción de un (1) dique bajo de retención sobre una base de concreto armado con bolsacreto (Dique N° 3); ubicado aproximadamente a 15 metros aguas abajo de la cárcava.

Para el tratamiento en las vertientes:

Se propone la construcción de un sistema de terrazas de absorción y terrazas individuales; con siembra de arbustos, utilizando preferiblemente especies que hayan tenido éxito en los programas de rehabilitación.

Cabe destacar, que los detalles sobre estos y otros aspectos deberán estar precisados en un proyecto definitivo, procurando que los lineamientos generales expuestos aquí sean debidamente considerados.

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

CONCLUSIONES.

➤ La presencia de fuertes pendientes, el tipo de material existente, la ocurrencia frecuente de precipitaciones de gran intensidad y corta duraci3n, las aguas subsuperficiales provenientes de cunetas ubicadas al borde de la calzada de la vfa de acarreo de acceso al bloque 1 y el modo en que se utiliza el 1rea dentro de la misma, constituyen los principales factores responsables de la erosi3n y producci3n de sedimentos en las 1reas crficas de las microcuencas o sectores hidrol3gicos seleccionados.

➤ Los criterios utilizados para definir la priorizaci3n de tratamiento fueron:

- ✓ Superficie deforestada (% del 1rea).
- ✓ Porcentaje del 1rea con grado de erosi3n (laminar y en surcos, c1rcavas, movimientos en masa, etc).
- ✓ Cantidad de S3lidos Totales disueltos.
- ✓ 1ndice de protecci3n que la vegetaci3n brinda al suelo.
- ✓ Daos a viviendas e infraestructuras existente.

➤ La zona de mayor inestabilidad y producci3n de sedimentos se localiza en las vertientes de la cuenca de recepci3n de las microcuencas Los Pijiguaos y La Batea (1rea de influencia de la mina de bauxita).

➤ Del estudio de cárcavas y torrentes realizados, se obtuvo la siguiente prioridad de tratamiento: 1) El Chorro (sitio 1), 2) El Secreto (Puente Cuatro) y 3) Microcuenca Los Pijiguaos (sitio 3).

➤ El torrente El Chorro resultó prioritario por la presencia de las siguientes características:

- ✓ Superficie deforestada (9.06% del total).
- ✓ Erosión en cárcavas (0.07% del total).
- ✓ Movimiento en masa “Derrumbes” (0.19% del total).
- ✓ El índice de protección que la vegetación brinda al suelo (0.41).

➤ La implementación de la Tecnología Sistema Vetiver (TSV) en la mina de bauxita que opera CVG-BAUXILUM, ha conducido a resultados tangibles y beneficiosos con respecto a la recuperación del medio ambiente se refiere. Dentro de este lineamiento podemos mencionar, entre otras, las más relevantes tales como:

- **RESULTADOS DIRECTOS:**

- El TSV se logró establecer en un suelo carente de materia orgánica, con unas características edafológicas particulares, que hace difícil la propagación de otras especies.
- Se controló la erosión en: taludes, cárcavas, fallas de borde e interfaz suelo-concreto y cunetas localizados en un suelo muy erodable y en zona de alta pluviosidad.
- Las barreras instaladas en las cunetas revirtieron el proceso de erosión, atrapando sedimentos y formando terrazas.

- Disminución de los aportes de sedimentos a los cursos naturales de aguas más cercanos.
- El Vetiver propicia el establecimiento de otras especies vegetales autóctonas entre las barreras.
- El contenido de aluminio acumulado en las hojas de las plantas, se encuentran íntimamente relacionado con las altas concentraciones de aluminio encontradas en los suelos subyacentes.

- **RESULTADOS INDIRECTOS:**

- CVG-BAUXILUM, incorporó al Vetiver dentro de su política de recuperación del medio ambiente y mejora del entorno social.
- Se logró la colaboración protagónica y participativa de las comunidades aledañas (Los Pijiguaos, etc.) en el programa de recuperación.

RECOMENDACIONES.

- Se recomienda no utilizar como material de construcción de los torrenteras, diques y escolleras propuestos, el material rocoso que se encuentra en los lechos de los cauces, a fin de no debilitar el revestimiento natural de los mismos.
- Deben tenerse en cuenta los métodos de mejoramiento de suelos, tales como encalado, adición de materia orgánica así como el uso de especies que hayan tenido éxito en los programas de rehabilitación, cuando se emprenda la recuperación de las áreas. Las medidas vegetativas deben ser ejecutadas al inicio de la época de lluvia (meses abril – mayo).

-
- Se deben controlar las aguas de escorrentía ubicadas fuera de las áreas críticas determinadas, a fin de evitar la proliferación de nuevos focos erosivos.
 - Para la ejecución de estas obras estructurales se deberá determinar el perfil longitudinal y hacer un reconocimiento detallado para determinar la ubicación de los mismos y poder identificar los sitios más propicios para su establecimiento.
 - Se recomienda dar continuidad a la ejecución de ensayos posteriores que permitan determinar la incidencia directa del aluminio contenido en el suelo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- Aristeguieta, L. 1973. Familias y géneros de los árboles de Venezuela. Facultad de Ciencias. Escuela de Biología. Universidad Central de Venezuela. Caracas, Venezuela.
- BAUXIVEN. 1992. Selección de especies vegetales autóctonas con fines de Rehabilitación de las áreas intervenidas por la explotación de bauxita, en el yacimiento Cerro Páez, Los Pijiguaos. Bolívar, Venezuela.
- Claverie, C. 1965. Proyecto de corrección de un torrente, Instituto de Geografía y Conservación de Recursos Naturales. Universidad de los Andes. Mérida, Venezuela.
- C.T.I. 1988. Evaluación del impacto ambiental del Proyecto " Los Pijiguaos". Bolívar, Venezuela.
- C.T.G. 1987. Estudio geomorfológico de Los Pijiguaos y su área de influencia (Análisis de sensibilidad geomorfológico). MARNR – BAUXIVEN. Bolívar, Venezuela. 7,15,16,28,31,36 p.
- C.V.G. TECMIN. 1994. Informe de avance NB- 19-4 y NB- 19-8 clima, geología, geomorfología, suelos y vegetación. Gerencia de proyectos especiales. Proyecto inventario de los recursos naturales de la región Guayana. Bolívar, Venezuela.

- C.V.G BAUXIVEN. 1986. Proyecto de la carretera Maniapure – La Urbana. Puente sobre el Ca3n3n Pav3n; estudio de hidrologia e hidraulica. Bolivar, Venezuela. 2,3,4,5p.
- Freitas, E.1995. Diagnostico y analisis de alternativas para la recuperaci3n de areas criticas en centro de mina. Efectos causados por la actividad minera en el medio ambiente circundante. BAUXIVEN. Bolivar, Venezuela.
- Hattinger,H.1979. Algunos aspectos sobre correcci3n de torrentes con fines de conservaci3n. Universidad de los Andes. Merida, Venezuela.
- Hattinger, H. 1991. Correcci3n de torrentes. Universidad de los Andes. Merida, Venezuela.
- I.C.I. y M.A.R.N.R – BAUXIVEN. 1998. Inventario de la fauna silvestre de la mina de bauxita. Serrania de Los Pijiguaos. Bolivar, Venezuela. 5,9 p.
- Lisena, M. 1999. Compatibilidad entre las tecnicas de aprovechamiento minero y el entorno ambiental. C.V.G. BAUXILUM, operadora de bauxita. Bolivar, Venezuela.
- Luque M. y Lisena M., 2003. Vetiver System for environmental Protection of open cut Bauxita Mining At "Los Pijiguaos"- Venezuela. C.V.G. BAUXILUM, operadora de bauxita. Bolivar, Venezuela. 1-16 p.

-
- MARNR – BAUXIVEN.1987. Flora y Vegetaci3n del area de Los Pijiguaos. Bolivar, Venezuela. 1,2,3,9,11,12,13,15,18,19,22,28,29,31,36,37 p.
 - M.O.P. 1967. "Manual de Drenaje". Direcci3n de vialidad. Caracas, Venezuela.
 - Ochoa, J. 1987. Estudio hidr3ulico. Carretera Caicara. El Burro tramo Trapichote- Parguaza. Pte. Sobre el Rio Parguaza. Caracas – Venezuela.
 - Ovalles, Y. Y Orozco, M. 1984. Proyecto de control del torrente La Colorada. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad de Los Andes. M3rida, Venezuela.
 - Padilla, J. 2003. Estudio del Proceso de recuperaci3n de las tierras afectadas por la explotaci3n de Bauxita. Microcuencas Los Pijiguaos y La Batea. Cuenca r3o Suapure. Estado Bol3var. Venezuela. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad de Los Andes. Merida, Venezuela.
 - Peaa, E. 1990. Control del torrente El Zanj3n microcuenca El Rinc3n. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad de los Andes. M3rida, Venezuela.
 - Ram3rez, D. Y Vivas, G. 1994. Control del torrente El Zanj3n " la Calera". Lagunillas. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad de los Andes. M3rida, Venezuela.
 - Rinc3n L. 2001. Proyecto de Recuperaci3n de 3reas cr3ticas de las microcuencas Los Pijiguaos y La Batea. Cuenca del r3o Suapure. Estado Bol3var. Venezuela. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad de Los Andes. M3rida, Venezuela.

-
- Rojas S, D. 1977. Conservaci3n de suelos y aguas. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad de los Andes. M3rida, Venezuela.
 - Rond3n. W., Paredes J. Y Ram3rez. J. 1987. Inventario forestal, Sector Los Pijiguaos. MARNR- BAUXIVEN. Bolivar, Venezuela.
 - Salcedo, A. 2.000. Asesoría y servicio a la Secci3n de Rehabilitaci3n Ambiental para evaluar los indicadores de Gestion Ambiental y mejorar el sistema de informaci3n hidrometeorol3gico. Bolivar, Venezuela.
14,15,16,17,18,19,20,21,39,40,45,46,47 p.
 - Sanchez, L. Y Rossi, B. 1989. Evaluaci3n de la calidad del agua de los r3os y ca3os relacionados con el area de explotaci3n de la mina de bauxita en la zona Los Pijiguaos. Fundaci3n La Salle de Ciencias Naturales. Bolivar, Venezuela. 2,3,11,18,19 p.
 - Tarazona, A. Y Rodr3guez, Z. 1988. Informe sobre la Inspecci3n realizada a los drenajes de la v3a de acceso a la mina y de las condiciones generales de dicha vialidades y de los bloques de explotaci3n. MARNR – BAUXIVEN. Bolivar, Venezuela. 1,16,17,18,19,20 p.
 - UFORGA – ULA. 1999. "Obras de control de torrentes y estabilizaci3n de c3rcavas y taludes en el 3rea del conjunto residencial Chama- M3rida, Municipio Sucre". Universidad de los Andes. M3rida, Venezuela.