

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE  
NÚCLEO BOLÍVAR  
ESCUELA DE CIENCIAS DE LA TIERRA  
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA DE MINAS**



**CARACTERIZACION DEL ALUMINIO MEDIANTE  
PROCESOS FISICOS Y METALURGICOS DESDE EL  
FRENTE DE EXPLOTACION HASTA SU  
INDUSTRIALIZACION.**

**TRABAJO DE GRADO PRESENTADO  
POR LOS BACHILLERES: DIAZ JOSE  
PARA OPTAR AL TÍTULO INGENIERO  
DE MINAS Y GUTIERREZ HERNAN,  
PARA OPTAR AL TÍTULO GEÓLOGO.**

**CIUDAD BOLÍVAR, DICIEMBRE DE 2013**



**UNIVERSIDAD DE ORIENTE  
NÚCLEO DE BOLÍVAR  
ESCUELA DE CIENCIAS DE LA TIERRA**

**HOJA DE APROBACIÓN**

Este Trabajo de Grado, titulado **“CARACTERIZACIÓN DEL ALUMINIO MEDIANTE PROCESOS FÍSICOS Y METALÚRGICO DESDE EL FRENTE DE EXPLOTACIÓN HASTA SU INDUSTRIALIZACIÓN.”** presentado por los bachilleres **DÍAZ JOSÉ** y **GUTIÉRREZ HERNÁN**; ha sido aprobado, de acuerdo a los reglamentos de la Universidad de Oriente, por el jurado integrado por los profesores:

Nombre:

Maria Sampol  
(Asesor)

Jorge Humberto Schreiner  
(Jurado)

Gisela Silva  
(Jurado)

Rosario Rivadulla  
Profesora Rosario Rivadulla  
Jefe del Departamento de Geología

Firma:

[Firma]

[Firma]

[Firma]

[Firma]

Victor Gonzalez  
Profesor Victor González  
Jefe del departamento de Ing. Minas

Ciudad Bolívar 10 de Diciembre 2013

## DEDICATORIA

Primeramente a mi Dios Todopoderoso y a mi padre Hernán Gutiérrez por haberme dado todo el amor de padre, el apoyo incondicional, la estabilidad emocional y económica; para poder alcanzar la más grande de mis metas. La cual constituye la herencia más valiosa que pude recibir, hasta al momento de su partida.

A mi mamá Ana Isabel De Gutiérrez que ha sido una mujer luchadora y que dentro de sus preocupaciones me dio la oportunidad de brillar por todo el amor que me tiene y por sus buenos consejos.

A mis hermanos Hernán y Ana Isabel por su ánimo, apoyo, alegría y su amor de hermano que me brindan, me fortalece para seguir adelante. A mis abuelos, tíos y mis primos por brindarme ese cariño a lo largo de mi vida y a mis bellos sobrinos Ariadna, Victor, Orianna y Andrea por llenarme de mucha alegría.

A mis amigos Uri Medina, Yusmairy Gonzalez, Euner García, Luis Weky, Roberto y Eduardo Manríquez, Eliezer Acosta, José Ignacio Gori, Francisco Dorta, Ixiosmar Aro, Jose Goudet; Gabriel Marcial, Cesar Morales, Juan Godoy, José Luis Campos, Jorge Bruschi, Miguel Granado; Rosa Rojas, Yessica Saíz, Juan Carlos Canelon, Staling Matos, Rifaat Chmait, Hesnel Mejías, Daniel Flores, Leonardo Berti y a todos aquellos que de una u otra manera fueron participe de mis día a día, gracias, la vida no me alcanzara para agradecer tanta ayuda y apoyo desinteresado.

*Hernán Gutiérrez*

## DEDICATORIA

Con disciplina, esfuerzo y tenacidad han sido unos de los principios fundamentales para alcanzar un sueño y haciendo realidad una meta más, formando las bases de un futuro próspero, que conlleva a una satisfacción e inmensa alegría, es por ende que dedico mi triunfo a:

A Dios Todopoderoso, Ser Supremo quien me guía e ilumina y me da las fuerzas para seguir.

A mis padres, que me han infundado los principios, valores y enseñanzas, para emprender todas las etapas que conlleva, forjar un futuro digno y ético.

A mi Esposa Anahis, por su apoyo incondicional en todo momento.

A mis hijas, por su amor y apoyo para lograr una meta soñada.

A mis hermanos, por su esfuerzo en ayudarme a cumplir parte de este proyecto de vida.

A todos mis amigos, compañeros y demás personas que de una u otra manera hicieron posible este logro. **A Todos Mil Gracias.**

**José Díaz**

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco primeramente a mi Dios Todopoderoso por haberme dado fuerza e inteligencia para enfrentar los retos del día a día. A mis padres y hermanos, por su comprensión y ayuda en momentos malos y menos malos.

A la Casa más Alta, Universidad de Oriente por brindarnos todos los conocimientos requeridos en manos de los mejores profesores, por permitirme crecer en todos los aspectos de mi persona, por ofrecerme todas las actividades que contribuyeron a mi educación y porque aquí he vivido la mejor etapa de mi vida.

A mi compañero de tesis José Díaz, por su amistad y con quien compartí la realización de este proyecto.

De manera muy especial a mi tutora la Profesora María Sampol por su disposición incondicional en aclarar mis dudas y sus importantes sugerencias en la redacción de este trabajo.

A la Profesora Iris Marcano por cedernos la oportunidad de exhibir parte de nuestro trabajo de grado en el Museo Geológico y Minero y al personal que labora en éste.

A mis amigos Uri Medina, Yusmairy Gonzalez, Euner García, Luis Weky, Roberto y Eduardo Manríquez, Eliezer Acosta, José Ignacio Gori, Francisco Dorta, Ixiosmar Aro, Jose Goudet; Gabriel Marcial, Cesar Morales, Juan Godoy, José Luis Campos, Jorge Bruschi, Miguel Granado, Rosa Rojas, Yessica Saíz, Juan Carlos

Canelon, Staling Matos, Rifaat Chmait, Hesnel Mejías, Daniel Flores, Leonardo Berti y a todos aquellos que de una u otra manera fueron participe de mis día a día, gracias, la vida no me alcanzara para agradecer tanta ayuda y apoyo desinteresado.

*Hernán Gutiérrez*

## AGRADECIMIENTOS

A Dios Todopoderoso. Padre eterno a él debemos la existencia, la luz y el camino por el que nos guiamos.

A mis padres, por su dedicación y apoyo incondicional en mi formación.

A la Universidad de Oriente, por su aceptación y formación académica.

Al museo geológico de la UDO Núcleo Bolívar, por permitirme realizar mi tesis en tan prestigiosa y multidisciplinaria Universidad; obteniendo el título de Ingeniero de Minas.

A mi Tutor Académico Profesor María Soledad Sampol, por instruirme académicamente y profesionalmente durante la realización de la carrera y gran ayuda incondicional en la elaboración de la tesis.

A la Profesora, Iris Marcano, por todo su apoyo y colaboración en el desarrollo de mi tesis.

A mis amigos Inkis, Rifa móvil, Paludismo, Gochita Melean, Mary Manso, Caldera Movil, Marialex, Goldy Tirateunpaso, Rosita Linda, José Malamen., Melix nolohagas, Quilin, Chino y nacho

A todas aquellas personas que de una u otra manera intervinieron en la culminación exitosa de este trabajo.

**José Díaz**

## RESUMEN

Esta investigación tiene por objeto, establecer una caracterización del aluminio mediante procesos físicos y metalúrgicos desde el frente de explotación hasta su industrialización, basados en información de la Mina de los Pijiguaos. Este trabajo posee una metodología descriptiva y basada en un diseño documental y descriptivo, mediante una recopilación bibliográfica de todos aquellos temas relacionados con el metal aluminio. La bauxita que se origina por un proceso de lixiviación a partir de los granitos Rapakivi de El Parguaza en climas tropicales lluviosos, al nivel de planeación de Imataca, Nuria, Cerro Bolívar. Se deposita en una serie de antiplanicies a un nivel entre 600 y 700 m.s.n.m, separadas por valles profundos, originando un yacimiento tipo meseta, que como otros depósitos se desarrolla sobre el basamento precámbrico del Escudo de Guayana durante la Era Terciaria, considerándose una formación primaria de bauxita autóctona, presentando texturas formadas exclusivamente durante la neomineralización. Se ha clasificado del tipo Gibsita; que a pesar de ser uno de los más abundantes de la corteza terrestre, se presenta en grandes cantidades en las regiones tropicales y subtropicales. Este yacimiento mineral de rendimiento económico contiene un porcentaje mayor igual a 45% de alúmina ( $Al_2O_3$ ), 3% y 5% de sílice total ( $Si_2O_4$ ) y un porcentaje menor o igual al 20% de hierro; basados en datos C.V.G Bauxilum Mina, Superintendencia de Geología y Planificación de Mina. Sin embargo, estas impurezas de cuarzo y óxido de titanio, dificultan el proceso de obtención de alúmina debido a la condición de formación. Los parámetros geométricos mineros comprenden un talud de altura de 4 metros, una berma de 8 y 12 metros y un ángulo de inclinación de  $75^\circ$ . Los métodos de explotación empleados son: Método de explotación en tiras o "*Stripping Mine*" y Método de explotación combinado "*Stripping Mine*" empleadas para minería a cielo abierto. Los equipos requeridos para su explotación cuentan con Palas Hidráulicas y Pailoders, camiones roqueros de 50 toneladas, tolvas receptoras de mineral, molino triturador que opera con un ritmo de 1600 TM/hora, tolva de alimentación principal, un transportador de placas, un triturador, tres correas transportadoras, un sistema de muestreo y una balanza electrónica. La evaluación del impacto ambiental ocasionado por la extracción del aluminio, evidencia 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, hasta canales relativamente grandes o cárcavas, cortando 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. Se aplicó la TSV en brocales de una vialidad de 1.200 m y fuerte pendiente, que conduce a "la aducción". Algunos sitios del brocal presentaban surcos profundos; como medida de prevención 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. 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 ubicado en áreas con presencia de sombra, el desarrollo de las plantas fue lento y disperso, sin embargo también detuvo la erosión.

## CONTENIDO

HOJA DE APROBACIÓN .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
DEDICATORIA.....	iii
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTOS .....	v
AGRADECIMIENTOS .....	vii
RESUMEN.....	ix
CONTENIDO.....	x
LISTA DE FIGURAS .....	xiv
LISTA DE TABLAS.....	xvi
LISTA DE APÉNDICES .....	xvii
INTRODUCCIÓN .....	I
CAPÍTULO I.....	3
SITUACIÓN A INVESTIGAR .....	3
1.1 Planteamiento del problema: .....	3
1.2 Objetivos de la investigación.....	4
1.2.1 Objetivo general.....	4
1.2.2 Objetivos específicos.....	4
1.3 Justificación de la investigación.....	5
1.4 Alcance de la investigación .....	6
1.5 Limitaciones .....	6
CAPÍTULO II .....	7
GENERALIDADES.....	7
2.1 Generalidades del yacimiento.....	7
2.1.1 Ubicación geográfica.....	7
2.1.2 Accesos y vías de comunicación.....	10
2.1.3 Fisiografía.....	11

2.1.4	Geomorfología .....	11
2.1.5	Clima .....	12
2.1.6	Vegetación.....	12
2.1.7	Hidrología.....	13
2.1.8	Población.....	13
2.1.9	Campamento y obras de infraestructura .....	14
2.2	Generalidades geológicas .....	15
2.2.1	Geología regional.....	16
2.2.2	Geología local .....	20
2.3	Generalidades de la empresa .....	21
2.3.1	Función de C.V.G. Bauxilum – Mina .....	21
2.3.2	Reseña histórica.....	22
2.3.3	Estructura organizativa de la empresa.....	24
2.3.4	Misión de la empresa.....	26
2.3.5	Visión de la empresa .....	26
2.3.6	Proceso productivo de la empresa.....	26
2.3.7	Operaciones mineras .....	26
2.3.8	Periodos de producción.....	29
CAPÍTULO III .....		31
MARCO TEÓRICO .....		31
3.1	El aluminio .....	31
3.1.1	Estructura atómica del aluminio.....	31
3.1.2	Características del aluminio .....	32
3.1.3	Aplicaciones y usos del aluminio.....	33
3.1.4	Producción del aluminio.....	35
3.2	La bauxita .....	36
3.2.1	Tipos de bauxita .....	37
3.3	Proceso de obtención del aluminio.....	37
3.4	Aleaciones .....	39

3.5	Extrusión.....	41
3.6	Temple de los perfiles .....	43
3.7	Fundición de piezas .....	43
3.8	Reciclaje de aluminio .....	45
3.9	Toxicidad .....	47
3.10	El aluminio y los suelos.....	48
CAPÍTULO IV .....		50
METODOLOGÍA DEL TRABAJO.....		50
4.1	Población de la investigación .....	50
4.2	Muestra de la investigación .....	50
4.3	Nivel de la investigación .....	51
4.4	Diseño de la investigación.....	51
4.5	Flujograma.....	51
4.5.1	Recopilación de información .....	53
4.5.2	Identificación del medio físico – natural del área de estudio .....	53
4.5.3	Determinación Propiedades físicas y químicas de la bauxita .....	54
4.5.4	Características mineralógicas de acuerdo a la génesis de la bauxita de Los Pijiguaos .....	55
4.5.5	Determinación de los parámetros geométricos del desarrollo minero del aluminio .....	58
4.5.6	Determinar los métodos de explotación empleados para la extracción del mineral de aluminio y los equipos requeridos para las operaciones mineras. ....	59
4.5.7	Evaluación del impacto ambiental ocasionado por la extracción de aluminio .....	63
4.5.8	Análisis de las innovaciones tecnológicas de la extracción de aluminio.....	69
4.5.9	¿Qué es la TSV? .....	70
CAPÍTULO V .....		71

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS .....	71
5.1 Identificación del medio geológico – natural donde se produce el aluminio.....	71
5.2 Identificación de las propiedades físicas y químicas del aluminio.....	72
5.3 Determinación de las características mineralógicas del aluminio de los yacimientos de bauxita de los Pijiguaos.....	74
5.4 Determinación de los parámetros geométricos del desarrollo minero del aluminio. ....	76
5.5 Determinación de los métodos de explotación empleados para la extracción del mineral de aluminio y los equipos requeridos para las operaciones mineras. ....	77
5.6 Evaluación del impacto ambiental ocasionado por la extracción de aluminio.....	84
5.7 Análisis de las innovaciones tecnológicas de la extracción de aluminio ....	89
5.7.1 Ejecución.....	90
5.7.2 Áreas de trabajos .....	90
5.7.3 Seguridad.....	91
5.7.4 Aplicación de Bioingeniería TSV y comentarios.....	91
5.7.5 Interfaz suelo-concreto .....	93
5.7.6 Estrategia de control.....	94
CONCLUSIONES .....	96
RECOMENDACIONES .....	98
REFERENCIAS .....	99
APÉNDICES .....	100

## LISTA DE FIGURAS

2.1 Ubicación geográfica del yacimiento. C.V.G. Bauxilum – Mina, Superintendencia de Geología y Planificación de Mina (2003).....	8
2.2 Ubicación geográfica del yacimiento. C.V.G. Bauxilum – Mina, Superintendencia de Geología y Planificación de Mina (op. cit).....	9
2.3 Vía de acceso al yacimiento asfaltada y engrazonada.....	10
2.4 División del Escudo de Guayana en 4 provincias geológicas. (Hernández, T. 2003). .....	17
2.5 Estructura organizacional de la empresa.....	25
2.6 Perforación geo-exploratoria.....	27
2.7 Niveles de navegabilidad del Río Orinoco. C.V.G. Bauxilum – Mina, Superintendencia de Geología y Planificación de Mina (2006).....	30
3.1 Proceso de obtención del aluminio.....	39
4.1 Flujo grama de actividades.....	52
4.2 Esquema estratigráfico de acuerdo a Mendoza (1974). Hernández (2003) .....	54
4.3 Perfil Laterítico de la Mina de Bauxita Los Pijiguaos. Nariño y Nandi (1998) en Plata (op. cit). .....	57
4.4. Estructura comunitaria de los mamíferos, distribución porcentual de especies (M.A.R.N.R-Bauxiven).....	69
5.1 Forma generalizada de un yacimiento de bauxita tipo plataforma y tipo talud. Valentón (1972) en Plata (2005). .....	71
5.2 Parámetros geométricos del desarrollo minero. ....	76
5.3. Método de explotación en tiras o “ <i>Stripping Mine</i> ”.....	77
5.4 Método de explotación combinado “ <i>Stripping Mine</i> ”,.....	78
5.5 Frente de explotación .....	79
5.6 Proceso productivo área de mina. C.V.G. Bauxilum – Mina, Superintendencia de Geología y Planificación de Mina (2003).....	79

5.7 Corte esquemático de la estación de trituración. (Hernández, T. op. cit). ....	80
5.8 Patio de apilamiento del mineral (Pie de Cerro). ....	81
5.9 Correa transportadora del mineral de bauxita (correa de bajada). ....	81
5.10 Proceso productivo área Pie de Cerro. C.V.G. Bauxilum – Mina, Superintendencia de Geología y Planificación de Mina (op. cit). ....	82
5.11 Proceso productivo área El Jobal. C.V.G. Bauxilum Mina, Superintendencia de Geología y Planificación de Mina (op. cit). ....	83
5.12 Embarque de gabarras muelle El Jobal. ....	84
5.13 Superficie con grado de erosión en surcos. Caño Los Pijiguaos.....	87
5.14 Grado de erosión en cárcavas. ....	88
5.15 Socavación Lateral. Caño El Chorro. ....	88
5.16 Socavación de fondo. Caño El Chorro. ....	89
5.17 Plano de diseño (Fuente: C.V.G- BAUXILUM).....	90
5.18 Siembra de Vetiver en lagunas de sedimentación. ....	92
5.19 Tecnología sistema vetiver interfaz suelo- concreto. ....	94

## LISTA DE TABLAS

2.1 Reseña histórica de la bauxita en Venezuela. Hernández T (2003), Pérez S. (2003), Zambrano R. (2004), Zambrano L. (2005), C.V.G Bauxilum – Mina Gerencia de personal, División de Empleo (2003). .....	23
4.1 Plantas recolonizadoras y adventicias observadas en sitios intervenidos de la mina de bauxita en Los Pijiguaos (Huber y Guanchez, 1988). .....	66
4.2 Plantas recolonizadoras y adventicias encontradas en sitios intervenidos de la planicie coluvio-aluvial en los alrededores de Los Pijiguaos. ....	67
5.1 Propiedades físicas del aluminio .....	72
5.2 Composición química de la bauxita de Los Pijiguaos C.V.G Bauxilum – Mina, Superintendencia de Geología y Planificación de Mina (op. cit.) .....	73
5.3 Composición mineralógica de la bauxita de Los Pijiguaos C.V.G Bauxilum Mina, Superintendencia de Geología y Planificación de Mina (op. cit.) .....	74
5.4 Especificaciones de la bauxita de Los Pijiguaos para la planta de alúmina C.V.G Bauxilum Mina, Superintendencia de Geología y Planificación de Mina (op. cit.) .....	75
5.5 Especificaciones de la bauxita de Los Pijiguaos para exportación C.V.G Bauxilum Mina, Superintendencia de Geología y Planificación de Mina (op. cit.) .....	75
5.6 Especificaciones de la bauxita de Los Pijiguaos para producción C.V.G Bauxilum Mina, Superintendencia de Geología y Planificación de Mina (op. cit.) .....	76
5.7 Uso actual en áreas y porcentaje “Microcuencas Los Pijiguaos” (Rincón 2.011) .....	84
5.8 Uso actual en áreas y porcentaje “Microcuencas La Batea” (Rincón 2.011) .....	85

## LISTA DE APÉNDICES

APÉNDICES .....	100
APENDICE A .....	101
FOTOGRAFÍA QUE MUESTRA LA RESTAURACIÓN DEL ÁREA ASIGNADA. ....	101
A.1. Foto de visualización de la restauración del espacio asignado. ....	102
A.2. Foto de visualización de la restauración del espacio asignado. ....	103
A.3. Foto de visualización de la restauración del espacio asignado. ....	104
A.4. Foto de visualización de la restauración del espacio asignado. ....	105

## INTRODUCCIÓN

La bauxita utilizada por la industria del aluminio en Venezuela proviene del yacimiento Los Pijiguaos, localizado a unos 600 km de Ciudad Guayana y cuyas reservas probadas se estiman, según los estudios comprobados hasta la fecha, en 200 millones de toneladas métricas, suficientes para soportar el consumo nacional actual por más de 30 años. La bauxita extraída de este yacimiento por CVG Bauxilum, es del tipo gibsita trihidratada, presenta un contenido de alúmina de 50%, con un contenido de cuarzo del 8% y una sílice reactiva de 1.7%. (Chacón, M. 2008).

La mina de Los Pijiguaos se explota a cielo abierto, encontrándose la costra de bauxita a solo 0,5 m de la superficie. El material extraído, mediante palas mineras y cargadoras frontales, es acarreado hasta una estación de molienda de 1.600 t/h, utilizando camiones roqueros. En la estación de molienda la bauxita es transferida a través de un transportador de placas hasta el molino, que reduce el mineral a una granulometría menor a 100 mm, para su transporte y manejo apropiado.

Esta investigación está diseñada de la siguiente manera:

Capítulo I: se refiere a la situación a investigar; planteamiento del problema, objetivos generales y específicos, justificaciones y alcance de la investigación.  
Capítulo II: se refiere a las generalidades del marco investigativo; generalidades del yacimiento, ubicación geográfica, accesos y vías de comunicación, fisiografía, geomorfología, clima, vegetación, hidrología, población, campamento y obras de infraestructuras, además de las generalidades geológicas como la geología regional y geología local; generalidades de la empresa, función de C.V.G Bauxilum – mina, reseña histórica, estructura organizativa de la empresa, misión y visión de la empresa,

proceso productivo de la empresa, operaciones mineras. Capítulo III: envuelve el marco teórico o definiciones básicas de la investigación. Capítulo IV: comprende la descripción de la metodología de trabajo empleada; nivel y diseño de la investigación, recopilación de información, identificación del medio físico – natural del área de estudio, propiedades físicas y químicas, características mineralógicas, determinación de los parámetros geométricos del desarrollo minero del aluminio, determinación de los métodos de explotación empleados para la extracción del mineral de aluminio y los equipos requeridos para las operaciones mineras, evaluación del impacto ambiental por la extracción de aluminio y un análisis de las innovaciones tecnológicas de la extracción de aluminio. Capítulo V: representa los análisis de los resultados obtenidos en el desarrollo de la investigación documental. Las conclusiones, recomendaciones y referencias.

# CAPÍTULO I

## SITUACIÓN A INVESTIGAR

### 1.1 Planteamiento del problema:

Uno de los metales no ferrosos más importantes en el mundo es el Aluminio, que el hombre utiliza para fabricar innumerables productos de usos cotidiano y en sus más variadas formas. El aluminio es el elemento metálico más abundante en la corteza terrestre, pero no aparece nunca en forma metálica en la naturaleza; de modo que el aluminio debe ser producido industrialmente mediante un proceso de reducción electrolítica. (Chacón, M. 2008).

En Venezuela, desde 1967, se produce este noble metal, con la construcción y la puesta en operaciones de la primera planta reductora de Aluminio Primario, siendo el onceavo (11) productor de aluminio primario en el ámbito mundial, con una capacidad instalada que representa el 2,8 % y uno de los pocos productores totalmente integrados, es decir, explota la bauxita y la transforma en alúmina para producir aluminio. (Chacón, M. 2008).

El Estado Bolívar es reconocido por poseer un gran potencial en cuanto a minerales metálicos y no metálicos se refiere. Lo cual, se sitúa en una posición importante del desarrollo económico, colocándolo como alternativa económica no petrolera del país. (Chacón, M. 2008).

En esta investigación, se explicara más a fondo todos los elementos, procesos, etapas y demás factores que forman parte del proceso productivo del aluminio, así como también los aspectos básicos de dicho metal, como es el caso de su historia, propiedades y minerales, que lo hacen ser uno de los metales más utilizados después del acero.

De acuerdo a lo planteado, en el siguiente trabajo se tomara en cuenta una serie de factores significativos como: topografía, geología, explotación, extracción, procesamiento, comercialización, entre otros. y serán desglosados en este trabajo con la certeza de que la información que se va a promover sea lo más confiable posible, para su posterior utilización como base de investigaciones futuras.

## **1.2 Objetivos de la investigación**

### **1.2.1 Objetivo general**

Caracterizar los procesos físicos y metalúrgicos para la obtención de aluminio desde el frente de explotación hasta su industrialización.

### **1.2.2 Objetivos específicos**

1. Identificar el medio geológico – natural donde se produce el aluminio.
2. Determinar las propiedades físicas y químicas del aluminio.

3. Determinar las características mineralógicas del aluminio de acuerdo a la génesis de la bauxita de Los Pijiguaos.
4. Determinar los parámetros geométricos del desarrollo minero del aluminio.
5. Determinar los métodos de explotación empleados para la extracción del mineral de aluminio y los equipos requeridos para las operaciones mineras.
6. Evaluar los posibles impactos ambientales ocasionados por la extracción de aluminio.
7. Analizar las innovaciones tecnológicas en la extracción de aluminio.

### **1.3 Justificación de la investigación**

El aluminio es, tal vez, el metal más versátil que haya conocido el hombre hasta el momento. A 70 años de iniciarse su utilización industrial, solamente el hierro tiene una mayor importancia. Sus múltiples usos abarcan tantas áreas que es difícil no encontrar al aluminio en nuestra vida diaria. Se lo emplea en la fabricación de aleaciones para aviación, barcos y automóviles; como reductor en la industria química; como material de embalaje en la industria alimenticia formando el envase o como componente del mismo (Tetra-Pack); en el hogar lo encontramos en las aberturas (puertas y ventanas), utensilios de cocina, foil, entre otros. La versatilidad y cantidad de usos se deben a ciertas propiedades físicas y químicas que lo hacen particularmente atractivo respecto de otros metales. Por ende ha conseguido una importancia muy especial en muchos dominios de la industria, a causa de poseer una

serie de propiedades muy beneficiosas que le han convertido en uno de los materiales más idóneos y ventajosos, desde el punto de vista económico.

#### **1.4 Alcance de la investigación**

Este proyecto es una propuesta que permitirá suministrar información acerca del aluminio y sus propiedades en general, así como también las diferentes etapas que conforman su proceso productivo que va desde la geología hasta industrialización de este metal.

#### **1.5 Limitaciones**

Las causas mayores de limitantes que se pueden encontrar durante el desarrollo de la investigación, pueden ser la falta o dispersión de información y el tiempo requerido para profundizar este estudio investigativo.

## CAPÍTULO II

### GENERALIDADES

#### 2.1 Generalidades del yacimiento

##### 2.1.1 Ubicación geográfica

El yacimiento de bauxita del cerro Páez de Los Pijiguaos, se encuentra localizado en el extremo Norte de la Serranía Montañosa de Los Pijiguaos, al Suroeste del municipio autónomo Cedeño, del estado Bolívar. Este se ubica en un punto intermedio entre las poblaciones de Caicara del Orinoco y Puerto Ayacucho en el estado Amazonas, a unos 40 Km del río Orinoco y enmarcado entre los ríos Suapure y Parguaza; distando a unos 500 Km de la ciudad de Caracas y 520 Km al Suroeste de Ciudad Guayana. (Figura 2.1) (<http://es.wikipedia.org/wiki/aluminio>).

El área del yacimiento está comprendida entre las longitudes 66°40'30" W y 66°46'30" W, y las latitudes 6°26'30" N y 6°32'30" N. Su dimensión aproximada es de 16 Km<sup>2</sup> con una elevación máxima de 686 metros sobre el nivel del mar (Figura 2.2). Programa de inducción a pasantes y aprendices INCE, C.V.G Bauxilum-Mina, Gerencia de personal División de Empleo (2003). (<http://es.wikipedia.org/wiki/aluminio>).

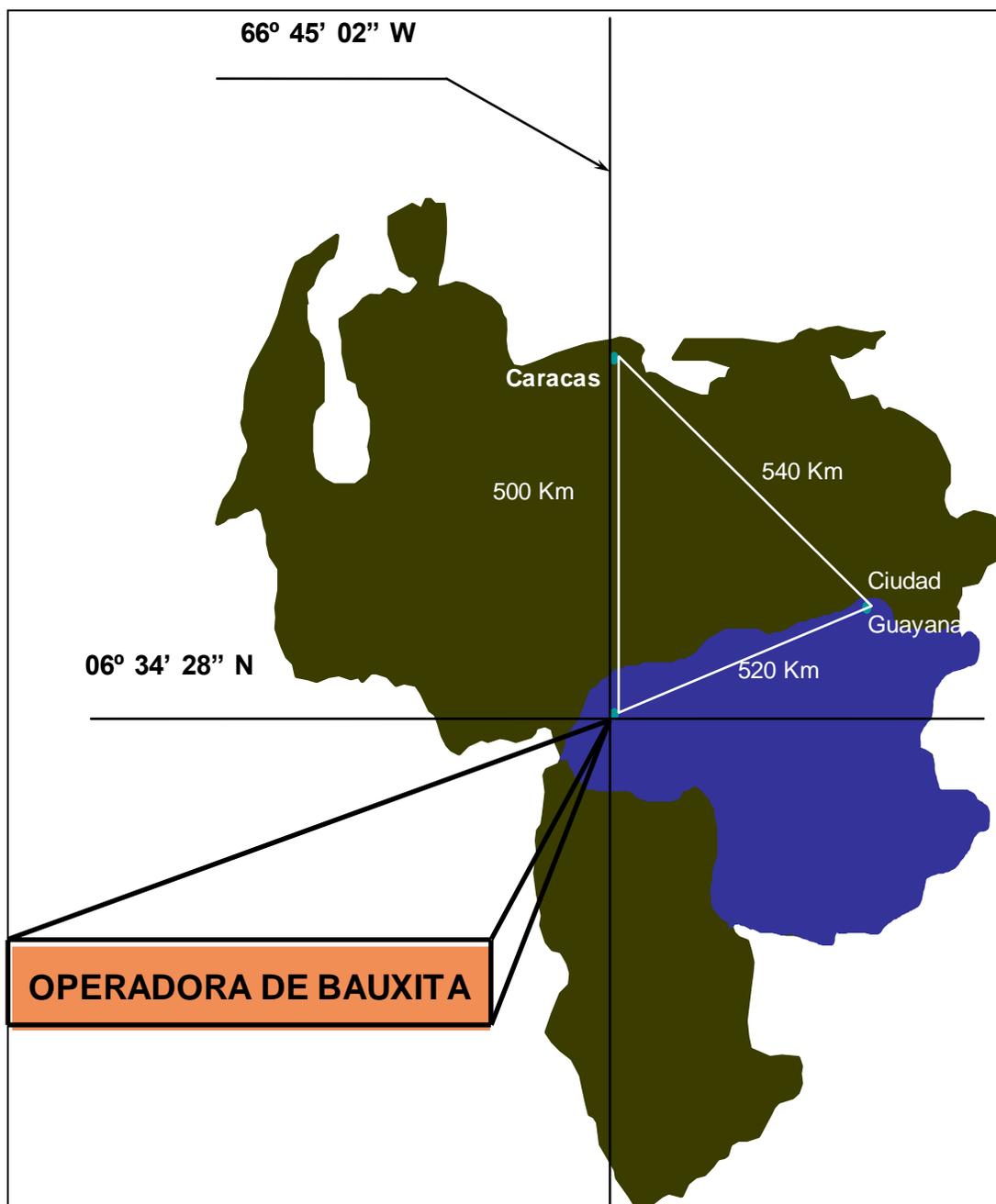


Figura 2.1 Ubicación geográfica del yacimiento. (C.V.G. Bauxilum – Mina, Superintendencia de Geología y Planificación de Mina, 2003).

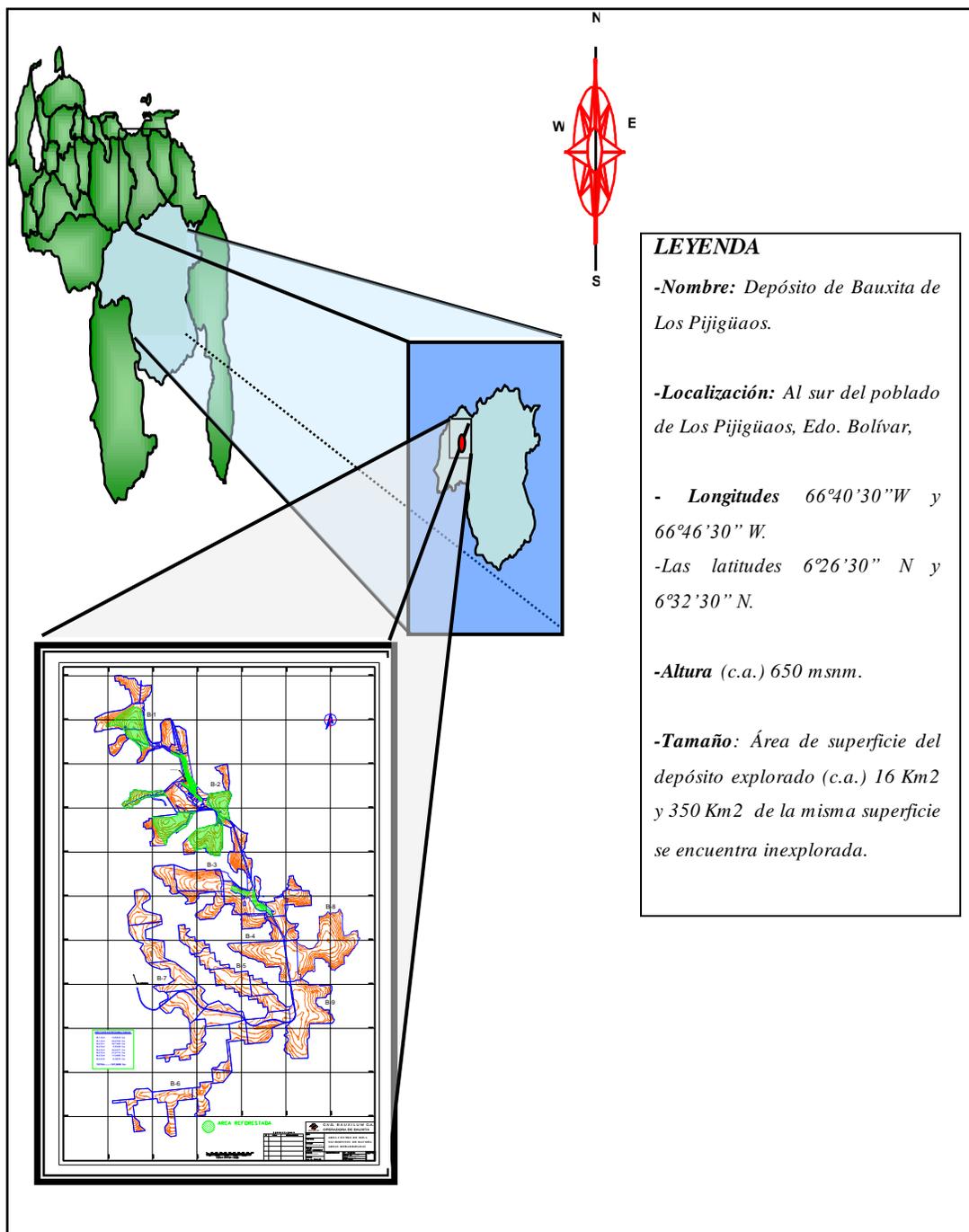


Figura 2.2 Ubicación geográfica del yacimiento. (C.V.G. Bauxilum – Mina, Superintendencia de Geología y Planificación de Mina op. cit).

### 2.1.2 Accesos y vías de comunicación

El acceso al yacimiento es por vía terrestre, a través de una carretera nacional asfaltada que parte desde Ciudad Bolívar (492 Km), pasa por la población de Caicara del Orinoco (162 Km) y culmina en la ciudad de Puerto Ayacucho, estado Amazonas (171 Km carretera en mal estado). (López, Jimeno. 1994).

Por vía aérea la empresa dispone de una pista de aterrizaje de 1.650 m de longitud, en condiciones óptimas de uso, donde pueden llegar aviones regulares, es decir que no sean de gran peso; este se ubica dentro del centro poblado o campamento Trapichote Bauxilum. (López, Jimeno. 1994).

Por vía fluvial se puede acceder a través de los ríos Orinoco y Suapure hasta la localidad de Bebederos, donde hay un desembarcadero, que dista 23 Km del campamento llegando por una carretera. (López, Jimeno. 1994).

El acceso a la mina se efectúa por medio de una carretera con una longitud de unos 28 Km, de los cuales 16 Km se encuentran asfaltado y unos 12 son en engrazonados debido a que forman parte de las vías de acarreo (Figura 2.3) (Hernández, T. 2001).



Figura 2.3 Vía de acceso al yacimiento asfaltada y engrazonada.

Finalmente desde trapichote podemos comunicarnos con todo el país mediante servicios telefónicos de CANTV, telefonía celular MOVILNET y satelital IRIDIUM. Allí se pueden captar diferentes señales de televisión (nacional e internacional) a través de servicios de cable y satélite, también pueden ser escuchadas diversas emisoras de radio. Para la comunicación interna dentro del campamento y la mina existe un sistema de redes telefónicas, Internet y radiocomunicaciones (Pérez, S. 2003).

### **2.1.3 Fisiografía**

Desde el punto de vista fisiográfico, el cerro Páez de Los Pijiguaos presenta cambios de nivel muy bruscos con laderas muy pronunciadas que sobrepasan los 100 m de altitud originando perfiles bastante accidentados. Estas ensenadas verticales generalmente alargadas, pueden haberse producido por la lixiviación o disolución de la sílice y otros elementos solubles que van percolándose a través de las fracturas y grietas de la corteza del mismo. Cabe destacar que estas inclinaciones se encuentran enmarcadas en los bordes del yacimiento (Zambrano, R. 2004).

### **2.1.4 Geomorfología**

El yacimiento de Los Pijiguaos se encuentra ubicado en los topes de una altiplanicie bisectada, a una altura de 600 a 700 m.s.n.m. Esta altiplanicie, denominada Serranía de Los Pijiguaos, presenta un drenaje dendrítico que está controlado por el patrón de fracturamiento y fallamiento local y regional. Los cursos de agua drenan hacia el cauce del río Suapure al Este y al caño Villacoa hacia el Oeste (Waldroph y Guerra. 2003).

Dentro de la altiplanicie existen unidades o dominios geomorfológicos bien definidos, tope, planos de plateaus, áreas de pendientes intermedias, valles en “v” y rabines. Toda esta configuración geomorfológica está asociada a un ciclo de erosión joven, probablemente relacionado a una tectónica vertical de bloques. La presencia de las terrazas escalonadas en los valles sugieren el registro de intervalos de tranquilidad y pulsos tectónicos sufridos por la región (Alusuisse y C.V.G. 1980).

### **2.1.5 Clima**

Se ha detectado en el área dos estaciones climáticas, la lluviosa (invierno) que se inicia en los primeros días del mes de abril y continúa hasta mediados de noviembre; y la seca (verano) la cual se inicia a mediados de noviembre y abarca los restantes meses del año (Diciembre-Marzo) (Zambrano, L. 2005).

La pluviosidad media oscila entre los 1.000 mm y 1.800 mm anuales, siendo la temperatura promedio de 30,5 °C y máximas y mínimas de 36 a 25 °C durante el día y 18 a 16°C durante la noche, ubicándose la humedad relativa en un promedio anual de 13% aproximadamente (C.V.G Bauxilum-Mina, Superintendencia de Geología y Planificación de Mina en Zambrano L. op. cit.).

### **2.1.6 Vegetación**

La vegetación es medianamente abundante cubierta por pastos y arbustos diseminados ubicados sobre menas de costras del yacimiento. Existiendo áreas boscosas especialmente a lo largo de los morichales, ríos y quebradas.

Los suelos lateríticos están cubiertos por hierbas sabaneras o vegetación tropical que contrasta claramente con la vegetación sobre la mena y marcan los contactos del yacimiento (Zambrano, R. op. cit).

La flora se distingue tanto en el terreno, como en las fotografías aéreas, constituyendo así una ayuda eficaz para las labores de prospección, permitiendo además hacer las siguientes descripciones de vegetación: vegetación herbáceas con arbustos pequeños y diseminados, distribuidos muy densamente y exuberante con gran vigor (Pérez, S. op. cit).

### **2.1.7 Hidrología**

Con el fin de generar una confiable reserva de agua para los centros poblados, planta generadora, mina de bauxita y terminal fluvial, C.V.G. Técmín realizó investigaciones sobre las condiciones hidrológicas de los ríos más importantes del área de los Pijiguaos, ejecutando mediciones de caudal de los caños Trapichote, Caripo y Los Pijiguaos así como datos del río Suapure. Estos caudales mínimos medios fueron obtenidos por C.V.G. Técmín sobre la base del caudal mínimo anual del río Suapure registrado durante un periodo de nueve años, y comparados con el posible consumo resultando que la disponibilidad de agua de las tres estaciones de tomas propuestas (mina, centro poblado, y planta generadora) excede el consumo entre 200 y 800 veces (Waldroph y Guerra. op. cit).

### **2.1.8 Población**

La población del área y sus alrededores es muy escasa y está constituida por comunidades criollas e indígenas, pertenecientes éstas últimas a las etnias Panare,

Guahibo, Piaroa, Mapollo. La población total se estima aproximadamente en 2.500 habitantes distribuidas en las sabanas al Suroeste del río Suapure. Las mayores concentraciones poblacionales se ubican en el caserío de Los Pijiguaos, El Guarrey, Morichalito, Trapichote y Guayabal, localizados en las adyacencias del campamento Trapichote en un radio de 8 Km. Pérez S. (op. cit.)

Otras concentraciones de interés se ubican en los caseríos El Potrero, Cachapal, y El Jobal. Ubicados en las proximidades de las vías férreas que conducen al puerto de El Jobal (Pérez, S. op. cit).

### **2.1.9 Campamento y obras de infraestructura**

Debido a que la empresa realiza sus operaciones en una zona muy remota debe contar con un tipo de infraestructura minera y urbana acorde con las necesidades de sus operaciones; que se encuentran distribuidas de la siguiente manera:

1. Centro poblado: para alojar al personal que opera, mantiene y administra la mina y sus operaciones, para tal fin la empresa cuenta con un campamento en la comunidad de Trapichote, cercano al yacimiento de bauxita.
2. Abastecimiento de energía eléctrica: la empresa cuenta con un sistema que permite permanentemente el suministro de energía eléctrica a todas las áreas del proyecto que se encuentra actualmente en desarrollo.

El sistema consta en su conjunto con un total aproximado 86,6 Km. de líneas de distribución, una subestación elevadora y dos subestaciones reductora las cuales alimentan al centro de operaciones de la mina, que es de 1.950 Kw.

Es importante señalar que el suministro de energía eléctrica en la estación de trituración es de aproximadamente unos 45.000 voltios, para el arranque y una vez puesto en funcionamiento todo el equipo se estandariza en aproximadamente 4.250 voltios, esto sirve de abastecimiento a la planta de trituración, el taller de mantenimiento mecánico y eléctrico, alumbrado y las edificaciones son alimentadas por el resto de la energía enviada al centro de la mina. (Hernández T. 2003).

3. Abastecimiento de agua: para el abastecimiento del vital líquido, se encuentra sobre el caño Trapichote un dique o toma de agua con el fin de abastecer el centro poblado, y una planta de tratamiento de aguas blancas, conjuntamente con un sistema de bombas que dispone de un estanque de donde luego se distribuye a los usuarios en los distintos centros poblados.

## **2.2 Generalidades geológicas**

En Suramérica, las rocas pertenecientes al sistema Precámbrico se encuentran primordialmente concentradas en los “Escudos Brasileño” y el “Escudo de Guayana”, separados entre sí por la cuenca del Amazonas; a través de una geofractura que se proyecta por más de 70 Km. en la corteza terrestre, la edad geológica es de aproximadamente 3.400 millones de años (Méndez 1995 en Plata 2005).

En geología los escudos son macizos formados por las rocas más antiguas del planeta, siendo estos caracterizados por tener una gran estabilidad y no estar sujetos a movimientos bruscos.

Son reconocidos como “Tierras Positivas” ya que a través del tiempo han contribuido a proporcionar grandes cantidades de sedimentos arenosos que han sido

depositados en las partes más bajas. Estas formaciones sedimentarias geológicamente son recientes y su espesor mínimo es de 300 m, encontrándose por debajo de ellas a unos 3.000 m de profundidad del basamento rocoso (Hernández, T. op. cit).

El Escudo de Guayana tiene forma oval y su expresión septentrional se encuentra en Venezuela al sur del río Orinoco, mientras que su parte meridional se encuentra en Colombia, Brasil, Guyana, Surinam y Guyana Francesa (Méndez 1995 en Plata. op. cit).

### **2.2.1 Geología regional**

En función de sus características petrológicas, litológicas, estructurales, metalogénicas y tectónicas, el escudo ha sido dividido en Venezuela en cuatro provincias geológicas (figura 2.4) Imataca, Pastora, Cuchivero y Roraima. La Serranía de Los Pijiguaos se ubica al sur de la provincia geológica de Cuchivero (Menéndez 1968 en Pérez, S. 2003).

#### **2.2.1.1 Provincia geológica de Imataca**

De acuerdo al Léxico Estratigráfico de Venezuela (1970) en Hernández (2003), la provincia de Imataca está situada en el extremo norte de la Guayana venezolana y ocupa una faja angosta entre el río Caura al Oeste y el estado Delta Amacuro, al Este. Petrológicamente pertenece al denominado cinturón granítico.

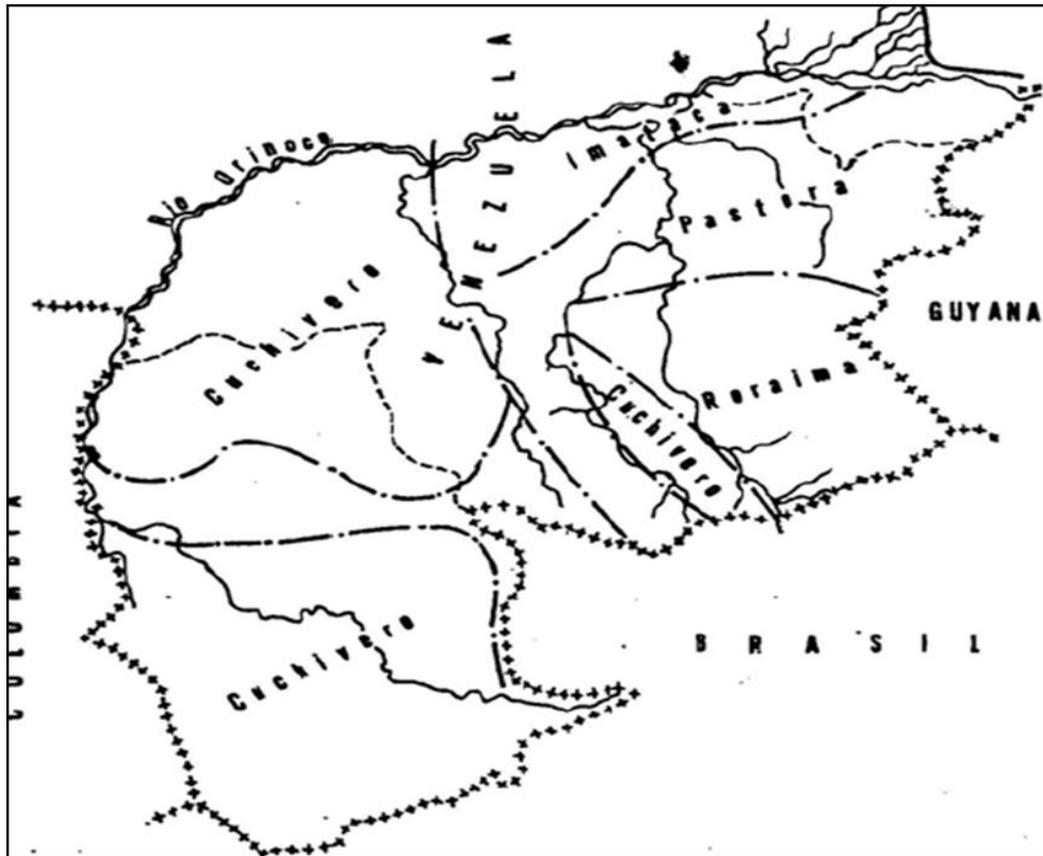


Figura 2.4 División del Escudo de Guayana en 4 provincias geológicas.  
(Hernández, T. 2003).

Comúnmente, se considera que la provincia está representada hoy en día por un conjunto de metasedimentos y gneises graníticos plegados en forma compleja, y posteriores intrusiones de granitos. Las edades más antiguas detectadas en las rocas de esta provincia alcanzan valores entre 3.500 y 3.600 millones de años, que pueden corresponder a la edad del protolito, es decir, a las rocas originales previas al metamorfismo. Las rocas incluidas dentro de la provincia de Imataca han sido denominadas Complejo de Imataca, y se consideran como un conjunto original de rocas silíceas de composición calco – alcalina, con algunos episodios máficos y asociaciones menores de sedimentarias e itabiritas o formaciones de hierro.

Otras rocas como granulitas máficas y anfibolitas presentan asociaciones de tipo toleítico (Léxico Estratigráfico de Venezuela (1970) en Hernández, T. op. cit).

Imataca también es conocida como la provincia del Hierro, pues en ella abundan depósitos de hierro de grano grueso como los de El Pao, Las Grullas y Piacoa; grano medio como el del cerro María Luisa y grano fino como los de Cerro Bolívar, San Isidro, Los Barrancos, El Trueno, Altamira, Redondo, Toribio, Arimagua, etc (Ascanio 1985 en Pérez, S. 2003).

#### **2.2.1.2 Provincia geológica de Pastora**

Se encuentra al Sur de Imataca, separada de ésta en su parte oriental por la falla de Guri y en la parte occidental por la falla de Santa Bárbara. Al Sur está limitada por la provincia de Roraima. Esta provincia comprende edades que han sido estimadas entre 2.000 y 2.700 millones de años (Menéndez 1968 en Hernández, T. 2003).

A su vez Pastora es conocida como la provincia del Oro, debido esto en su mayoría a su crecimiento rápido y estabilización en la corteza continental. En ella se consiguen depósitos de oro en vetas de cuarzo y carbonato baja en sulfuros, diseminados y asociados a sulfuros masivos o a pórfidos, vetas tipo Stockworks con sulfuros masivos y ricas en carbonatos (Pérez, S. op. cit).

#### **2.2.1.3 Provincia geológica de Roraima**

Está situada al extremo Sur-Oriental de la Guayana venezolana. Es la provincia geológica más joven del escudo, con una edad entre 1.500 y 1.700 millones de años.

Se utilizó el nombre “capas de Roraima” para designar una secuencia de sedimentos que afloran en el cerro Roraima, en la región limítrofe entre Venezuela, Guyana y Brasil. El grupo Roraima cubre un área de afloramientos de aproximadamente 450.000 Km<sup>2</sup> (Léxico Estratigráfico de Venezuela. 1970 en Hernández, T. 2003).

El grupo Roraima aflora extensamente en el estado Amazonas, aunque a un no se ha encontrado una secuencia estratigráfica completa en toda la unidad. Está constituido fundamentalmente por areniscas, lutitas, filitas, limonitas, tobas vítreas (jaspe) y ortocuarcitas. En ella se encuentran minerales como oro y diamante en forma de placeres o aluviones, de gravas aluvionales y coluvionales y en lentes de conglomerados (Pérez, S. op. cit).

#### **2.2.1.4 Provincia geológica de Cuchivero:**

La provincia de Cuchivero ocupa la parte occidental del escudo guayanés venezolano y se extiende al Sureste de Guyana, Surinam y Guyana Francesa. En Venezuela tiene su mayor desarrollo hacia la parte Occidental del estado Bolívar, al Oeste del río Caura. Menéndez (1968) en Hernández (2003). Litológicamente, la Provincia está compuesta por grandes extensiones de rocas plutónicas de emplazamiento epizonal y epimesozonal además de rocas metavolcánicas y metasedimentarias, estas últimas en menor proporción. Dentro de las rocas plutónicas predominan los granitos alcalinos, granitos y cuarzomonzonitas con granodioritas y tonalitas menos frecuentes y escasas dioritas. La petroquímica de las rocas volcánicas y plutónicas indica que pertenecen a la serie shoshoníticas y calcoalcalinas con alto contenido de potasio y caracterizadas por promedios de rocas con alta concentración de SiO<sub>2</sub>, alto contenido de K<sub>2</sub>O, alta concentración de K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O. La provincia

estructural de Cuchivero representa un período de tiempo entre 1.400 y 1.900 millones de años y parece haberse desarrollado sobre una corteza continental preexistente (Mendoza, V. 2001).

### **2.2.2 Geología local**

Durante los trabajos exploratorios efectuados por la dirección de Geología del Ministerio de Energía y Minas en el año 1974, en la región Sur-Occidental del municipio Cedeño, fue localizado un importante distrito de bauxita. Los depósitos se ubican en la región de Los Pijiguaos a 130 Km. al Sur de Caicara del Orinoco y a 35 Km. al Este del río Orinoco, y genéticamente se asocian con el granito de Parguaza. (Hernández T. op. cit.)

El Léxico Estratigráfico Electrónico de Venezuela (1999) señala que la Serranía de Los Pijiguaos forma parte del Escudo Precámbrico de Guayana y pertenece a la zona del Súpergrupo Cedeño. Hernández T. (op. cit.). Mendoza (1974) en Plata (op. cit.) introdujo el nombre de Súpergrupo Cedeño para definir una unidad litoestratigráfica volcánico - plutónica ácida que incluye los grupos Cuchivero y Suapure, los cuales están separados entre sí por metabasitas.

#### **2.2.2.1 División del Súpergrupo Cedeño**

El súpergrupo se extiende en dirección Este - Oeste desde las inmediaciones del río Caura hasta Puerto Páez y en dirección Norte - Sur desde el río Orinoco hasta el río Ventuarí, es decir, aflora en casi todo el municipio Cedeño, estado Bolívar y parte Norte - Central del estado Amazonas, este puede llegar a alcanzar una extensión mayor de 1.000.000 de Km<sup>2</sup> (Mendoza. 1974 en Hernández, T. op. cit.).

El grupo Cuchivero fue definido por Ríos (1972) como compuesto de rocas volcánicas riolíticas de la Formación Caicara, de granito, comagmaticos con las volcánicas, biotíticos de Santa Rosalía, horbléndicos de Guaniamito y Mendoza (1974) añadió los granitos de alaskíticos de San Pedro (Mendoza, V. op. cit).

Martín (1968) en Hernández T. (2003) introdujo el nombre de Grupo Cuchivero para referirse a la misma unidad, excluyendo las rocas plutónicas, sin proponer formalmente dicha exclusión. De esa manera designó a una sección de conglomerados oligomixtos en diámetros de gujarros, de hasta 5 cm, flujos riolíticos con estructura vacuolar, tobas, ignimbritas, esquistos cuarzo sericíticos y cuarcitas micáceas que afloran en la región Aro-Paragua.

El Grupo Suapure fue definido por Mendoza (1974) como compuesto por el granito de Pijiguaos y el granito Rapakivi de El Parguaza en todas sus facies, excelentemente expuesto en los domos de Los Pijiguaos, a pocos kilómetros al oeste del río Suapure (Mendoza, V. op. cit).

## **2.3 Generalidades de la empresa**

### **2.3.1 Función de C.V.G. Bauxilum – Mina**

C.V.G. Bauxilum - Mina en Los Pijiguaos tiene como objetivo principal el aprovechamiento económico y racional del yacimiento de bauxita mediante la explotación minera y el adecuado manejo, para optimizar la mezcla y homogeneización de los materiales de los diferentes frentes de explotación, intercalando sus características físicas y químicas. Esto se logra a través de la aplicación de una minería selectiva por excelencia, para otorgar una materia prima a

la planta de alúmina bajo los parámetros de calidad que ésta exige. Todo ello está enmarcado en la contribución con el desarrollo del país y el fortalecimiento económico de la empresa. C.V.G. (Programa de inducción a pasantes y aprendices INCE, C.V.G Bauxilum-Mina, Gerencia de personal División de Empleo. 2003).

### **2.3.2 Reseña histórica**

El desarrollo minero del yacimiento de Los Pijiguaos, es el resultado del esfuerzo exploratorio realizado por el Estado venezolano, a través de la Corporación Venezolana de Guayana (C.V.G.) y otros organismos (Ministerio de Energía y Minas, Conquista del Sur, entre otros), para encontrar en Venezuela una fuente de bauxita capaz de proveer la materia prima básica de la industria del aluminio nacional, logrando así integrar verticalmente dicha industria y en consecuencia independizarla de suministros extranjeros. En la tabla 2.1 se expone un breve cronograma con la evolución histórica de la explotación de bauxita en Venezuela (Pérez, S. op. cit).

Tabla 2.1 Reseña histórica de la bauxita en Venezuela. Hernández T (2003), Pérez S. (2003), Zambrano R. (2004), Zambrano L. (2005), C.V.G Bauxilum – Mina Gerencia de personal, División de Empleo (2003).

<b>Reseña Histórica</b>	<b>Años</b>
Inició de la exploración en búsqueda de yacimientos de bauxita por parte del Servicio Técnico Geominero y Geología del Ministerio de Fomento en el Territorio Federal Delta Amacuro.	1944
Descubrimientos de bauxita en el área de Upatá. Se intensifican los esfuerzos para la búsqueda de bauxita en Guayana.	1944 - 1951
El geólogo Armando Schwarck Anglade, ex – jefe de la División de Geología del Ministerio de Minas e Hidrocarburos, en un estudio realizado por la Comisión del Desarrollo del Sur (CODESUR) identificó en la serranía de Los Pijiguaos municipio Cedeño del estado Bolívar, una coraza laterítica entre los ríos Suapure y Parguaza y la posible existencia de horizontes de bauxita.	1970
La Corporación Venezolana de Guayana, procedió a efectuar la evaluación del yacimiento.	1970 - 1976
Se determina que las reservas probadas alcanzan, no menos de 200 millones de toneladas métricas de bauxita y las probables, más de 500 millones de toneladas métricas con 50% $Al_2O_3$ y 40% de sílice total.	1978
Se funda la empresa C.V.G. Bauxita Venezolana (BAUXIVEN), con el fin de desarrollar, extraer y comercializar la bauxita de Los Pijiguaos.	1979
Se realizan estudios de factibilidad técnica, económica y financiera del proyecto. También se profundizó en la navegabilidad del río Orinoco y se inició la elaboración de un proyecto preliminar de canalización conjuntamente con la evaluación en detalle de las condiciones de los probables sitios de puerto de embarque del mineral. Se inicia a su vez la campaña de optimización en los datos haciéndose retículas de perforación de 100x100 m, para evaluar las reservas explotables en un área de 16 Km <sup>2</sup> , donde se extrajeron 1.000 TM de bauxita para pruebas.	1979 - 1982
Se realizó una reprogramación del proyecto a fin de coincidir estratégica y conceptualmente con el enfoque de la política de inversiones que adoptó el Estado venezolano para enfrentar y superar la coyuntura económica del proyecto.	1982 y 1984
Se realizaron los primeros pasos de la explotación temprana: puesta en marcha del terminal fluvial provisional y se envían las primeras 1.200 toneladas métricas de bauxita a INTERALÚMINA.	1986
Plan Expansión del Proyecto del Aluminio en Venezuela, reforma del Plan Maestro y el Plan de Inversiones para una capacidad instalada de 6 millones de toneladas métricas al año. Se inició el Plan de Explotación Temprana, habiéndose extraído 245.193 toneladas métricas de las cuales se enviaron a INTERALÚMINA 134.180 toneladas métricas.	1987
Se integran las empresas C.V.G. BAUXIVEN y C.V.G. INTERALUMINA, conformando la empresa C.V.G. BAUXILUM, faltando sólo VENALUM y la respuesta de sus accionistas japoneses. BAUXIVEN se transformó entonces C.V.G. BAUXILUM Operadora de Bauxita e INTERALÚMINA en C.V.G. BAUXILUM Operadora de Alúmina, para posteriormente (año 2002) transformarse en C.V.G. BAUXILUM-MINA y C.V.G. BAUXILUM-PLANTA.	1993-2002
Actualmente se cuenta con la inversión de capital extranjero a través de la participación de la empresa francesa ALUMINIUMPECHINEY, que realizó una inversión de 250 millones de dólares y así ampliar la producción de bauxita y alúmina a 7 millones de toneladas al año y a 2 millones de toneladas anuales, respectivamente.	2004-

### **2.3.3 Estructura organizativa de la empresa**

C.V.G. Bauxilum, presenta una estructura organizacional piramidal que tiene como objetivo primordial describir los niveles estructurales y jerárquicos de la empresa, en el se detallan claramente cada una de las gerencias que posee la compañía. Esta organización permite mantener la eficiencia en todos los procesos que desarrolla la misma, logrando obtener la certificación ISO 9001 2000 como aval de calidad en sus procesos y productos desarrollados. (Figura 2.5) ([www.bauxilum.com](http://www.bauxilum.com) 31/10/2003).

C.V.G. Bauxilum, presenta una estructura organizacional piramidal que tiene como objetivo primordial describir los niveles estructurales y jerárquicos de la empresa, en el se detallan claramente cada una de las gerencias que posee la compañía. Esta organización permite mantener la eficiencia en todos los procesos que desarrolla la misma, logrando obtener la certificación ISO 9001 2000 como aval de calidad en sus procesos y productos desarrollados. (Figura 2.5) , ([www.bauxilum.com](http://www.bauxilum.com) 31/10/2003).

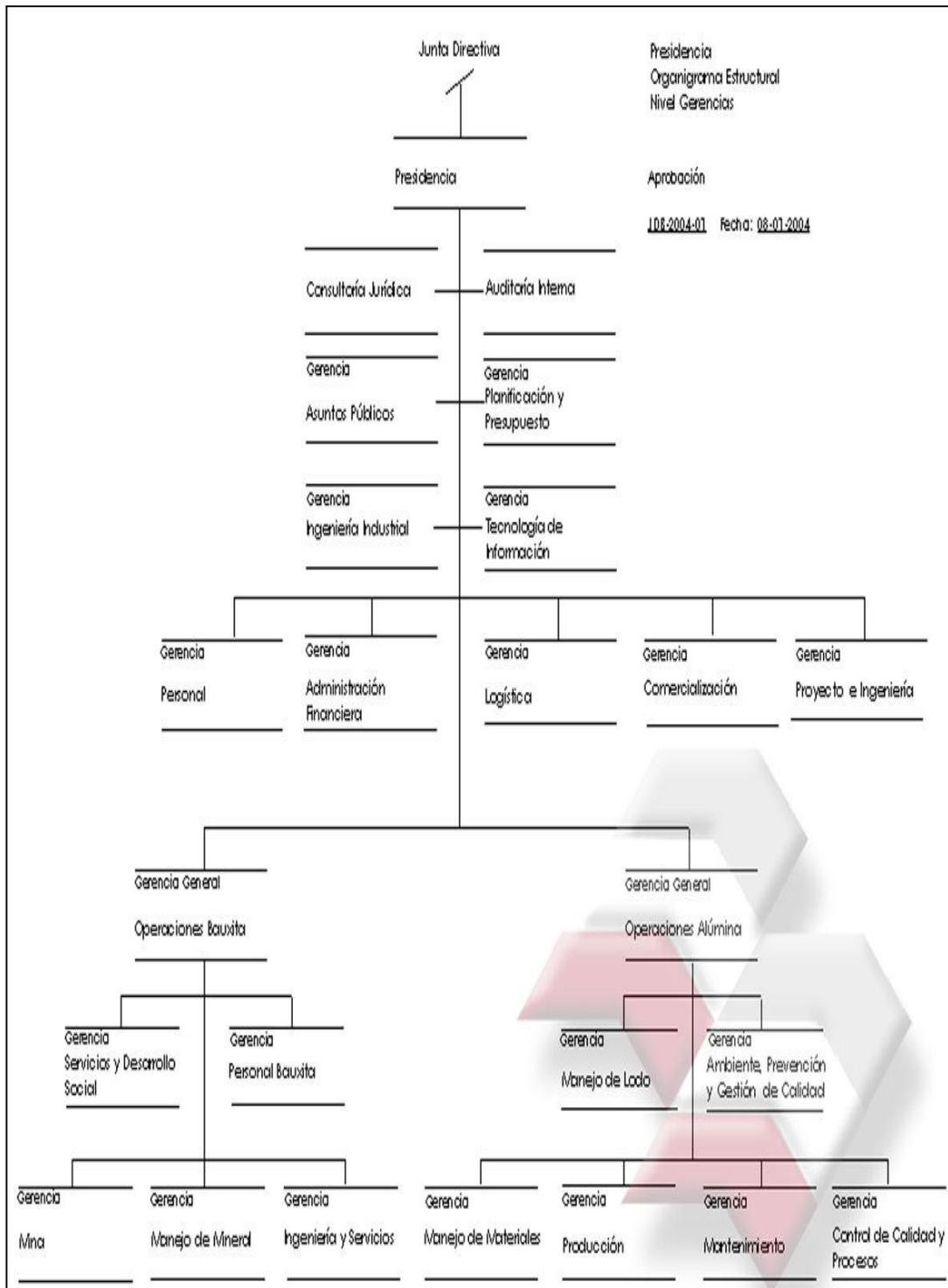


Figura 2.5 Estructura organizacional de la empresa. (Zambrano, L. 2005)

#### **2.3.4 Misión de la empresa**

“Impulsar el crecimiento sustentable de la industria nacional, satisfaciendo la demanda de bauxita y alúmina, promoviendo el desarrollo endógeno, como fuerza de transformación social y económica” (Moreno R. 2006).

#### **2.3.5 Visión de la empresa**

“Constituirnos en la palanca fundamental para el desarrollo sustentable de la industria nacional, a los fines de alcanzar la soberanía productiva, con un tejido industrial consolidado y desconcentrado, con nuevas redes de asociación fundamentadas en la cogestión y la inclusión social” (Moreno, R. 2006).

#### **2.3.6 Proceso productivo de la empresa**

El proceso productivo de la explotación de bauxita en C.V.G. Bauxilum - Mina se realiza en tres áreas de operación: Área de Mina, Área de Pie de Cerro y Área de Puerto El Jobal

#### **2.3.7 Operaciones mineras**

Las operaciones mineras que se realizan en Los Pijuguaos, es en forma subsecuente, lo da como consecuencia que se aproveche la ejecución de cada actividad

Perforación geoexploratoria: los sondeos son realizados utilizando el método de perforación de tornillo helicoidal o tornillo sin fin (Figura 2.6). En este proceso las muestras son tomadas cada metro, cuidando siempre de no contaminarlas, para garantizar así la calidad de las mismas. Una vez que las muestras son tomadas, se colocan dentro de bolsas de polietileno con su respectiva identificación, para luego ser enviadas al laboratorio de control de calidad y realizar los análisis respectivos (Hernández, T. 2001).



Figura 2.6 Perforación geo-exploratoria.

El área de la perforación se divide en mallados de 100 x 100 m para recursos inferidos y 25 x 25 para recursos probados o de explotación, teniendo que a medida que se explota se va perforando nuevas áreas, permitiendo así el mantenimiento de las reservas. (Hernández, T. 2001).

Deforestación: es en realidad la primera etapa del proceso de explotación, y consiste remoción de la capa vegetal o recubrimiento, este manto posee un promedio de 0,5 m de espesor. La capa es removida con tractores Caterpillar, apilada y luego

cargada en camiones roqueros para depositarla en sitios habilitados como depósitos temporales. Este material luego es usado con varios fines, tales como: reforestación de zonas una vez terminada la explotación; como defensa en las vías de acarreo y como contención para evitar que se contaminen las aguas (Hernández, T. op. cit).

#### **2.3.7.1 Arranque (explicación en forma breve)**

1. Carga
2. Acarreo

De acuerdo al tonelaje a remover de mena durante la vida del yacimiento se conocerán los equipos de carga, acarreo, perforación, transporte y de servicios necesarios para cumplir con la producción esto se logra comparando la producción de la mina contra la capacidad operativa del equipo. (Chacón, E. 1997).

#### **2.3.7.2 Servicios de mina**

Las actividades que sirven de apoyo a las operaciones mineras se basan primordialmente en el mantenimiento de las vías de acarreo, construcción de drenajes, lagunas de sedimentación, control del particulado atmosférico, entre otras. Para ello cuentan con los siguientes equipos: cisternas (ballenas), moto-niveladoras, tractor de ruedas, etc. (López, Jimeno. 1994)

### 2.3.8 Periodos de producción

De acuerdo con el plan de Producción y Despacho de Bauxita (2005), la producción se divide prácticamente en dos épocas temporada seca y temporada lluviosa, esta comprenden los meses de Enero-Abril y Mayo-Diciembre, se presenta de la siguiente manera:

1. Enero: parada de operaciones de transporte de mineral a Puerto Ordaz, debido al bajo nivel del río Orinoco, durante este periodo se realizan trabajos de mantenimiento general a los equipos de mina y labores de deforestación para nuevos frentes de explotación. Se labora con personal fijo 2 turnos (diurno-mixto).
2. Febrero-Abril: se labora aproximadamente en mina 68 días con 2 turnos (diurno-mixto), se realizan trabajos de producción de mineral con el fin de llenar los patios de almacenamiento de Pie de Cerro y El Jobal. No hay transporte de mineral a Puerto Ordaz por bajo nivel del río. Se realizan trabajos de mantenimiento secundarios de equipos.
3. Mayo: se realiza la segunda parada de producción mineral en el año, motivado a la falta de disponibilidad de patios de almacenamiento. Se hacen trabajos de mantenimiento general de equipos de mina. Se realizan deforestaciones y acondicionamiento de futuros frentes de explotación. Durante esta época tampoco se realiza transporte de mineral a Puerto Ordaz por bajo nivel del río.
4. Junio-Diciembre: en mina se trabajan los 3 turnos, con 4 grupos incluyendo los fines de semana y días feriados con personal fijo y temporal para la producción

de mineral, trituración y carga de gabarras en El Jobal. Se transporta bauxita a Puerto Ordaz. Niveles del río actos. (Figura 7)

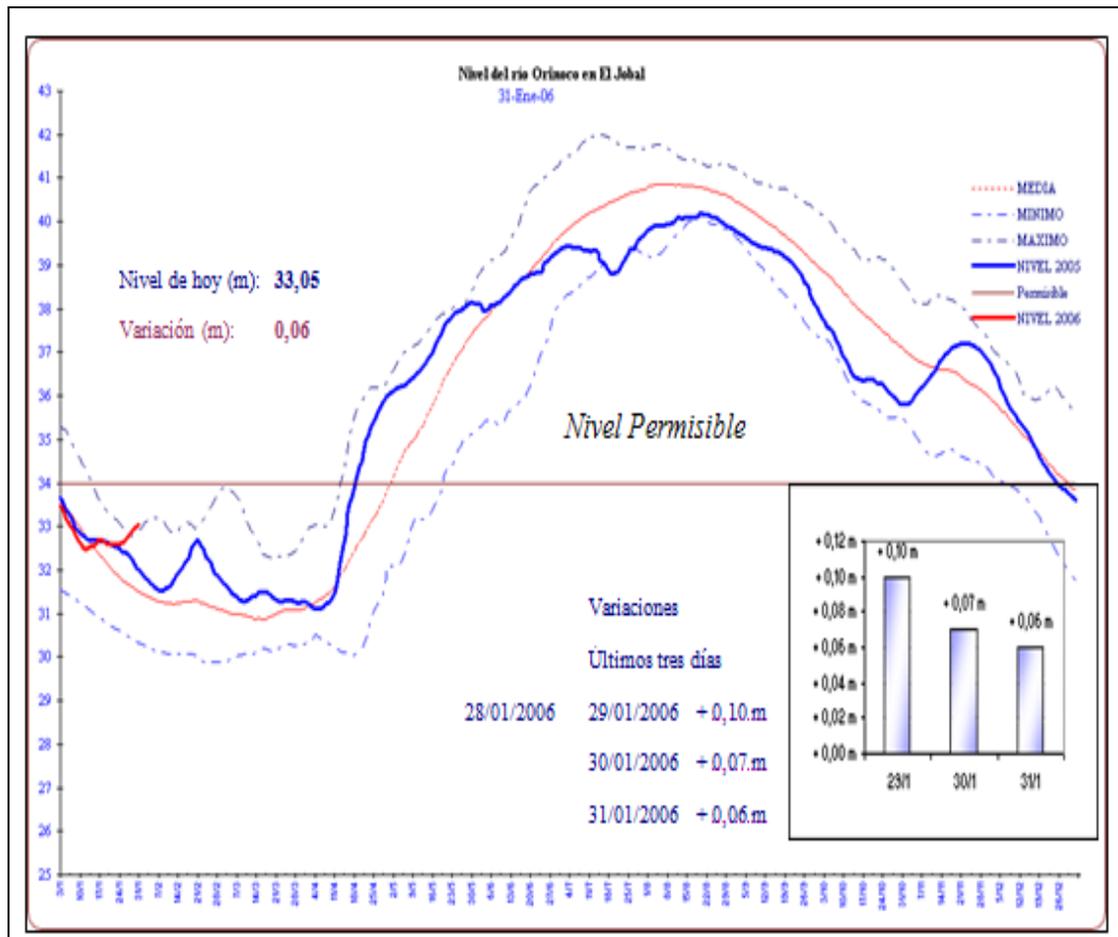


Figura 2.7 Niveles de navegabilidad del Río Orinoco. C.V.G. Bauxilum – Mina, Superintendencia de Geología y Planificación de Mina (2006).

## CAPÍTULO III

### MARCO TEÓRICO

#### 3.1 El aluminio

El aluminio es un elemento químico dúctil, no soluble en agua, y es el metal más abundante sobre la corteza terrestre, y el tercer elemento más abundante después del oxígeno y el silicio. Este se destaca por su capacidad de resistir la corrosión y por su baja densidad. Los componentes estructurales hechos de aluminio y sus aleaciones, son vitales en la industria aeroespacial y muy importante en otras áreas del transporte y construcción. (<http://es.wikipedia.org/wiki/aluminio>).

##### 3.1.1 Estructura atómica del aluminio

El aluminio tiene número atómico 13. Los 13 protones que forman el núcleo están rodeados de 13 electrones dispuestos en la forma:  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^1$ . (<http://es.wikipedia.org/wiki/aluminio>).

La valencia es 3 y las energías de ionización de los tres primeros electrones son, respectivamente: 577,5 kJ/mol, 1816,7 kJ/mol y 2744,8 kJ/mol. Existen en la naturaleza dos isótopos de este elemento, el  $^{27}\text{Al}$  y el  $^{26}\text{Al}$ . El primero de ellos es estable mientras que el segundo es radiactivo y su vida media es de  $7,2 \times 10^5$  años. Además de esto existen otros siete isótopos cuyo peso está comprendido entre 23 y 30 unidades de masa atómica. (<http://es.wikipedia.org/wiki/aluminio>).

El  $^{26}\text{Al}$  se produce a partir del argón a causa del bombardeo por la radiación altamente energética de los rayos cósmicos, que inciden en la atmósfera sobre los núcleos de este elemento. (<http://es.wikipedia.org/wiki/aluminio>).

Al igual que el  $^{14}\text{C}$ , la medida de las abundancias del  $^{26}\text{Al}$  es utilizada en técnicas de datación, por ejemplo en procesos orogénicos cuya escala es de millones de años o para determinar el momento del impacto de meteoritos. En el caso de estos últimos, la producción de aluminio radiactivo cesa cuando caen a la tierra, debido a que la atmósfera filtra a partir de ese momento los rayos cósmicos. (<http://es.wikipedia.org/wiki/aluminio>).

El aluminio posee tres radios iónicos en su estado de oxidación +3, dependiendo del número de coordinación del átomo. Dicho esto, tenemos que para un número de 4 el radio es 53,0 pm, para 5 es 62,0 pm y para 6 es 67,5 pm.<sup>6</sup>. (<http://es.wikipedia.org/wiki/aluminio>).

### **3.1.2 Características del aluminio**

#### **3.1.2.1 Características físicas**

El aluminio es un elemento muy abundante en la naturaleza, sólo aventajado por el silicio y el oxígeno. Se trata de un metal ligero, con una densidad de 2700 kg/m<sup>3</sup>, y con un bajo punto de fusión (660 C). Su color es blanco y refleja bien la radiación electromagnética del espectro visible y el térmico. Es buen conductor eléctrico (entre 34 y 38 m/ ( $\Omega$  mm<sup>2</sup>)) y térmico (80 a 230 W/ (m·K)). (<http://es.wikipedia.org/wiki/aluminio>).

### **3.1.2.2 Características mecánicas**

Mecánicamente es un material blando (Escala de Mohs: 2-3-4) y maleable. En estado puro tiene un límite de resistencia en tracción de 160-200 N/mm<sup>2</sup> (160-200 MPa). Todo ello le hace adecuado para la fabricación de cables eléctricos y láminas delgadas, pero no como elemento estructural. Para mejorar estas propiedades se alea con otros metales, lo que permite realizar sobre él operaciones de fundición y forja, así como la extrusión del material. También de esta forma se utiliza como soldadura. (<http://es.wikipedia.org/wiki/aluminio>).

### **3.1.3 Aplicaciones y usos del aluminio**

La utilización industrial del aluminio ha hecho de este metal uno de los más importantes, tanto en cantidad como en variedad de usos, siendo hoy un material polivalente que se aplica en ámbitos económicos muy diversos y que resulta estratégico en situaciones de conflicto. Hoy en día, tan sólo superado por el hierro/acero. El aluminio se usa en forma pura, aleado con otros metales o en compuestos no metálicos. En estado puro se aprovechan sus propiedades ópticas para fabricar espejos domésticos e industriales, como pueden ser los de los telescopios reflectores. Su uso más popular, sin embargo, es como papel aluminio, que consiste en láminas de material con un espesor tan pequeño que resulta fácilmente maleable y apto por tanto para embalaje alimentario. También se usa en la fabricación de latas y tetrabriks. (<http://es.wikipedia.org/wiki/aluminio>).

Por sus propiedades eléctricas es un buen conductor, capaz de competir en coste y prestaciones con el cobre tradicional. Dado que, a igual longitud y masa, el conductor de aluminio tiene más conductividad, resulta un componente útil para utilidades donde el exceso de peso no es importante. (Chacón, M. 2008).

Es el caso de la aeronáutica y de los tendidos eléctricos donde el menor peso implica en un caso menos gasto de combustible y mayor autonomía, y en el otro la posibilidad de separar las torres de alta tensión. (Chacón, M. 2008).

Además de eso, aleado con otros metales, se utiliza para la creación de estructuras portantes en la arquitectura y para fabricar piezas industriales de todo tipo de vehículos y calderería. También está presente en enseres domésticos tales como utensilios de cocina y herramientas. Se utiliza asimismo en la soldadura aluminotérmica y como combustible químico y explosivo por su alta reactividad. Como presenta un buen comportamiento a bajas temperaturas, se utiliza para fabricar contenedores criogénicos. (<http://es.wikipedia.org/wiki/aluminio>).

El uso del aluminio también se realiza a través de compuestos que forma. La misma alúmina, el óxido de aluminio que se obtiene de la bauxita, se usa tanto en forma cristalina como amorfa. En el primer caso forma el corindón, una gema utilizada en joyería que puede adquirir coloración roja o azul, llamándose entonces rubí o zafiro, respectivamente. Ambas formas se pueden fabricar artificialmente y se utilizan como el medio activo para producir la inversión de población en los láser. Asimismo, la dureza del corindón permite su uso como abrasivo para pulir metales. (<http://es.wikipedia.org/wiki/aluminio>).

Los medios arcillosos con los cuales se fabrican las cerámicas son ricos en aluminosilicatos. También los vidrios participan de estos compuestos. Su alta reactividad hace que los haluros, sulfatos, hidruros de aluminio y la forma hidróxida se utilicen en diversos procesos industriales tales como mordientes, catálisis, depuración de aguas, producción de papel o curtido de cueros. Otros compuestos del aluminio se utilizan en la fabricación de explosivos. (Chacón, M. 2008).

### 3.1.4 Producción del aluminio

El aluminio es uno de los elementos más abundantes de la corteza terrestre (8%) y uno de los metales más caros en obtener. La producción anual se cifra en unos 33,1 millones de toneladas, siendo China y Rusia los productores más destacados, con 8,7 y 3,7 millones respectivamente. Una parte muy importante de la producción mundial es producto del reciclaje. En 2005 suponía aproximadamente un 20% de la producción total. (<http://es.wikipedia.org/wiki/aluminio>).

La materia prima a partir de la cual se extrae el aluminio es la bauxita, que recibe su nombre de la localidad francesa de Les Baux, donde fue extraída por primera vez. Actualmente los principales yacimientos se encuentran en el Caribe, Australia, Brasil y África porque la bauxita extraída allí se disgrega con más facilidad. (<http://es.wikipedia.org/wiki/aluminio>).

Es un mineral rico en aluminio, entre un 20% y un 30% en masa, frente al 10% o 20% de los silicatos aluminicos existentes en arcillas y carbones. Es un aglomerado de diversos compuestos que contiene caolinita, cuarzo, óxidos de hierro y titania, y donde el aluminio se presenta en varias formas hidróxidas como la gibbsita  $\text{Al}(\text{OH})_3$ , la boehmita  $\text{AlOOH}$  y la diásporo  $\text{AlOOH}$ . (<http://es.wikipedia.org/wiki/aluminio>).

### 3.2 La bauxita

El término bauxita fue usado por primera vez por Berthier (1812), para identificar a un grupo de sedimentos ricos en alúmina de la región de Lex Baux, Francia (1892); extendiéndose el término a producto de alteración (ricos en gibsita) del basalto de Alemania. En la actualidad el concepto se ha generalizado a productos ricos en alúmina, pobres en sílice y elementos alcalinotérreos. Esta última tendencia liga a las bauxitas a procesos de meteorización y más específicamente a los procesos de laterización que ocurren en climas tropicales (Plata, op. cit).

La bauxita es un mineral que se forma de la descomposición de casi cualquier tipo de roca, por efecto de la acción de agentes meteorológicos a través de millones de años. Bajo ciertas condiciones favorables de temperatura, pluviosidad y descomposición, suceden reacciones químicas que disuelven y lavan ciertos elementos, dejando como residuos una gran concentración de óxidos hidratados de aluminio (Zambrano, R. op. cit).

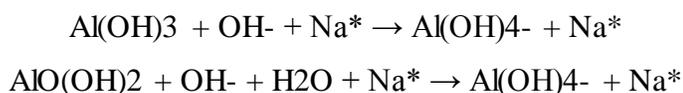
Una definición más rigurosa de bauxita establecida, desde el punto de vista del yacimiento mineral de rendimiento económico, es que la bauxita debe contener un porcentaje mayor o igual a 45 % de Alúmina ( $Al_2O_3$ ), un porcentaje comprendido entre 3 % y 5 % de sílice total ( $SiO_2$ ) y un porcentaje menor o igual al 20 % de hierro (Hernández, T. op. cit).

### 3.2.1 Tipos de bauxita

Dependiendo del compuesto hidratado predominante podrá clasificarse en tres tipos: Gibbsita, Bohemita y Diáspora. La bauxita de Los Pijiguaos se ha clasificado del tipo Gibbsita; este material a pesar de ser uno de los más abundantes en la corteza terrestre, solo se presenta en grandes cantidades en las regiones tropicales y subtropicales (Plata, op. cit).

### 3.3 Proceso de obtención del aluminio

La obtención del aluminio se realiza en dos fases: la extracción de la alúmina a partir de la bauxita (proceso Bayer) y la extracción del aluminio a partir de esta última mediante electrolisis. Cuatro toneladas de bauxita producen dos toneladas de alúmina y, finalmente, una de aluminio. El proceso Bayer comienza con el triturado de la bauxita y su lavado con una solución caliente de hidróxido de sodio a alta presión y temperatura. La sosa disuelve los compuestos del aluminio, que al encontrarse en un medio fuertemente básico, se hidratan: (Chacón, M. 2008).



Los materiales no aluminicos se separan por decantación. La solución cáustica del aluminio se enfría luego para recristalizar el hidróxido y separarlo de la sosa, que se recupera para su ulterior uso. Finalmente, se calcina el hidróxido de aluminio a temperaturas cercanas a 1000 °C, para formar la alúmina. (Chacón, M. 2008).



El óxido de aluminio así obtenido tiene un punto de fusión muy alto (2000 °C) que hace imposible someterlo a un proceso de electrolisis. Para salvar este escollo se disuelve en un baño de criolita, obteniendo una mezcla eutéctica con un punto de fusión de 900 °C. (<http://es.wikipedia.org/wiki/aluminio>).

A continuación se procede a la electrólisis, que se realiza sumergiendo en la cuba unos electrodos de carbono (tanto el ánodo como el cátodo), dispuestos en horizontal. Cada tonelada de aluminio requiere entre 17 y 20 MWh de energía para su obtención, y consume en el proceso 460 kg de carbono, lo que supone entre un 25% y un 30% del precio final del producto, convirtiendo al aluminio en uno de los metales más caros de obtener. De hecho, se están buscando procesos alternativos menos costosos que el proceso electrolítico. El aluminio obtenido tiene un pureza del 99,5% al 99,9%, siendo las impurezas de hierro y silicio principalmente. De las cubas pasa al horno donde es purificado mediante la adición de un fundente o se alea con otros metales con objeto de obtener materiales con propiedades específicas. Después se vierte en moldes o se hacen lingotes o chapas. (Chacón, M. 2008).

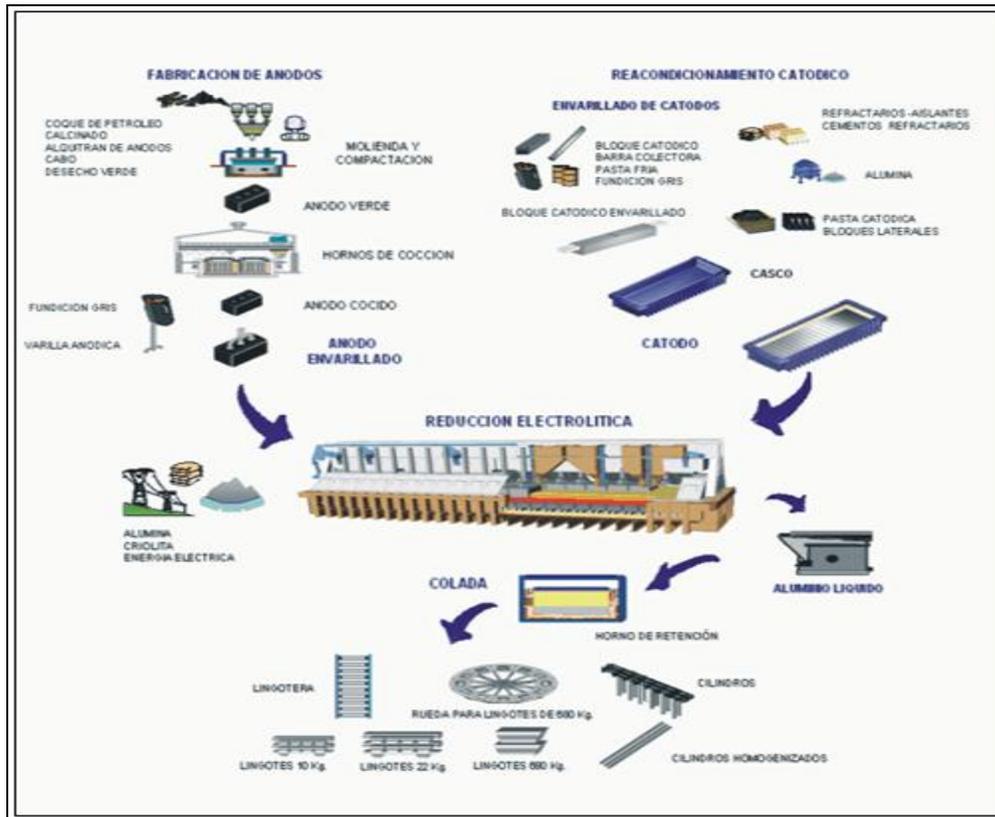


Figura 3.1 Proceso de obtención del aluminio. (Chacón, M. 2008)

### 3.4 Aleaciones

El aluminio puro es un material blando y poco resistente a la tracción. Para mejorar estas propiedades mecánicas se alea con otros elementos, principalmente magnesio, manganeso, cobre, zinc y silicio, a veces se añade también titanio y cromo. (Chacón, M. 2008).

La primera aleación de aluminio, el popular duraluminio fue descubierta casualmente por el metalúrgico alemán Alfred Wilm y su principal aleante era el cobre. Las series 2000, 6000 y 7000 son tratadas térmicamente para mejorar sus

propiedades. El nivel de tratamiento se denota mediante la letra T seguida de varias cifras, de las cuales la primera define la naturaleza del tratamiento. Así T3 es una solución tratada térmicamente y trabajada en frío. (Chacón, M. 2008).

1. Serie 1000: realmente no se trata de aleaciones sino de aluminio con presencia de impurezas de hierro o aluminio, o también pequeñas cantidades de cobre, que se utiliza para laminación en frío.
2. Serie 2000: el principal aleante de esta serie es el cobre, como el duraluminio o el avional. Con un tratamiento T6 adquieren una resistencia a la tracción de 442 MPa, que lo hace apto para su uso en estructuras de aviones.
3. Serie 3000: el principal aleante es el manganeso, que refuerza el aluminio y le da una resistencia a la tracción de 110 MPa. Se utiliza para fabricar componentes con buena mecanibilidad, es decir, con un buen comportamiento frente al mecanizado.
4. Serie 4000: el principal aleante es el silicio.
5. Serie 5000: el principal aleante es el magnesio que alcanza una resistencia de 193 MPa después del recocido.
6. Serie 6000: se utilizan el silicio y el magnesio. Con un tratamiento T6 alcanza una resistencia de 290 MPa, apta para perfiles y estructuras.
7. Serie 7000: el principal aleante es el zinc. Sometido a un tratamiento T6 adquiere una resistencia de 504 MPa, apto para la fabricación de aviones.

### 3.5 Extrusión

La extrusión es un proceso tecnológico que consiste en dar forma o moldear una masa haciéndola salir por una abertura especialmente dispuesta para conseguir perfiles de diseño complicado. (Chacón, M. 2008).

Se consigue mediante la utilización de un flujo continuo de la materia prima, generalmente productos metalúrgicos o plásticos. Las materias primas se someten a fusión, transporte, presión y deformación a través de un molde según sea el perfil que se quiera obtener. (Chacón, M. 2008).

El aluminio debido a sus propiedades es uno de los metales que más se utiliza para producir variados y complicados tipos de perfiles que se usan principalmente en las construcciones de carpintería metálica. Se puede extruir tanto aluminio primario como secundario obtenido mediante reciclado. (Chacón, M. 2008).

Para realizar la extrusión, la materia prima, se suministra en lingotes cilíndricos también llamados “tochos”. El proceso de extrusión consiste en aplicar una presión al cilindro de aluminio (tocho) haciéndolo pasar por un molde (matriz), para conseguir la forma deseada. Cada tipo de perfil, posee un “molde” llamado matriz adecuado, que es el que determinará su forma. (Chacón, M. 2008).

El tocho es calentado (aproximadamente a 500°C, temperatura en que el aluminio alcanza un estado plástico) para facilitar su paso por la matriz, y es introducido en la prensa. Luego, la base del tocho es sometida a una llama de combustión incompleta, para generar una capa fina de carbono. Esta capa evita que el émbolo de la prensa quede pegado al mismo. La prensa se cierra, y un émbolo

comienza a empujar el tocho a la presión necesaria, de acuerdo con las dimensiones del perfil, obligándolo a salir por la boca de la matriz. La gran presión a la que se ve sometido el aluminio hace que este eleve su temperatura ganando en maleabilidad. (Chacón, M. 2008).

Los componentes principales de una instalación de extrusión son: el contenedor donde se coloca el tocho para extrusión bajo presión, el cilindro principal con pistón que prensa el material a través del contenedor, la matriz y el porta matriz. (Chacón, M. 2008).

Del proceso de extrusión y temple, dependen gran parte de las características mecánicas de los perfiles, así como la calidad en los acabados, sobre todo en los anodizados. El temple, en una aleación de aluminio, se produce por efecto mecánico o térmico, creando estructuras y propiedades mecánicas características. (Chacón, M. 2008).

A medida que los perfiles extrusionados van saliendo de la prensa a través de la matriz, se deslizan sobre una bancada donde se les enfría con aire o agua, en función de su tamaño y forma, así como las características de la aleación involucrada y las propiedades requeridas. Para obtener perfiles de aluminio rectos y eliminar cualquier tensión en el material, se les estira. Luego, se cortan en longitudes adecuadas y se envejecen artificialmente para lograr la resistencia apropiada. El envejecimiento se realiza en hornos a unos 200 °C y están en el horno durante un periodo que varía entre 4 a 8 horas. Todo este proceso se realiza de forma automatizada. (Chacón, M. 2008).

### **3.6 Temple de los perfiles**

Los procesos térmicos que aumentan la resistencia del aluminio. Hay dos procesos de temple que son el tratamiento térmico en solución, y el envejecimiento. El temple T5 se consigue mediante envejecimiento de los perfiles que pasan a los hornos de maduración, los cuales mantienen una determinada temperatura durante un tiempo dado. Normalmente 185°C durante 240 minutos para las aleaciones de la familia 6060, de esta forma se consigue la precipitación del silicio con el magnesio en forma de siliciuro de magnesio ( $\text{SiMg}_2$ ) dentro de las dendritas de aluminio, produciéndose así el temple del material. La temperatura de salida de extrusión superior a 510 C para las aleaciones 6060 más el correcto enfriamiento de los perfiles a 250°C en menos de cuatro minutos, es fundamental para que el material adquiera sus propiedades, a este material se le considera de temple 4 o T4 o también conocido como sin temple. (Chacón, M. 2008).

El temple es medido por Durómetros, con la unidad de medida llamada Webster o grados Websters.

### **3.7 Fundición de piezas**

La fundición de piezas consiste fundamentalmente en llenar un molde con la cantidad de metal fundido requerido por las dimensiones de la pieza a fundir, para, después de la solidificación, obtener la pieza que tiene el tamaño y la forma del molde. (Chacón, M. 2008).

Existen tres tipos de procesos de fundición diferenciados aplicados al aluminio:

1. Fundición en molde de arena
2. Fundición en molde metálico
3. Fundición por presión o inyección.

En el proceso de fundición con molde de arena se hace el molde en arena consolidada por una apisonadora manual o mecánico alrededor de un molde, el cual es extraído antes de recibir el metal fundido. A continuación se vierte la colada y cuando solidifica se destruye el molde y se granalla la pieza. Este método de fundición es normalmente elegido para la producción de: piezas estructurales fundidas de gran tamaño. (Chacón, M. 2008).

La fundición en molde metálico permanente llamados coquillas, sirve para obtener mayores producciones. En este método se vierte la colada del metal fundido en un molde metálico permanente bajo gravedad y bajo presión centrífuga. Puede resultar caro, difícil o imposible fundirlas por moldeo. (Chacón, M. 2008).

En el método de fundición por inyección a presión se funden piezas idénticas al máximo ritmo de producción forzando el metal fundido bajo grandes presiones en los moldes metálicos. (Chacón, M. 2008).

Mediante el sistema de fundición adecuado se pueden fundir piezas que puede variar desde pequeñas piezas de prótesis dental, con peso de gramos, hasta los grandes bastidores de máquinas de varias toneladas, de forma variada, sencilla o

complicada, que son imposibles de fabricar por otros procedimientos convencionales, como forja, laminación, etc. (Chacón, M. 2008).

El proceso de fundición se puede esquematizar de la siguiente manera:

1. Diseño del modelo original de la pieza a fundir
2. Elaboración del tipo de modelo diseñado
3. Fusión del material a fundir
4. Inserción de la colada en el molde
5. Solidificación de la pieza
6. Limpieza de la superficie con procesos vibratorio o de granallado.

### **3.8 Reciclaje de aluminio**

El aluminio es 100% reciclable sin merma de sus cualidades físicas, y su recuperación por medio del reciclaje se ha convertido en una faceta importante de la industria del aluminio. El proceso de reciclaje del aluminio necesita poca energía. El proceso de refundido requiere sólo un 5% de la energía necesaria para producir el metal primario inicial. (Chacón, M. 2008).

El reciclaje del aluminio fue una actividad de bajo perfil hasta finales de los años sesenta, cuando el uso creciente del aluminio para la fabricación de latas de refrescos trajo el tema al conocimiento de la opinión pública. (Chacón, M. 2008).

Al aluminio reciclado se le conoce como aluminio secundario, pero mantiene las mismas propiedades que el aluminio primario. La fundición de aluminio secundario implica su producción a partir de productos usados de dicho metal, los que son procesados para recuperar metales por pre-tratamiento, fundición y refinado. (Chacón, M. 2008).

Se utilizan combustibles, fundentes y aleaciones, mientras que la remoción del magnesio se practica mediante la adición de cloro, cloruro de aluminio o compuestos orgánicos clorados. Las mejores técnicas disponibles incluyen: (Chacón, M. 2008).

1. Hornos de alta temperatura muy avanzados.
2. Alimentación libre de aceites y cloro.
3. Cámara de combustión secundaria con enfriamiento brusco.
4. Adsorción con carbón activado.
5. Chatarra de Aluminio comprimida en la instalación de Central European Waste Management (Wels, Austria).

Durante el año 2002 se produjeron en España 243.000 toneladas de aluminio reciclado y en el conjunto de Europa occidental esta cifra ascendió a 3,6 millones de toneladas. (Chacón, M. 2008).

Para proceder al reciclaje del aluminio primero hay que realizar una revisión y selección de la chatarra según su análisis y metal recuperable para poder conseguir la aleación deseada. La chatarra preferiblemente se compactará, generalmente en cubos o briquetas o se fragmentará, lo cual facilita su almacenamiento y transporte. La preparación de la chatarra descartando los elementos metálicos no deseados o los inertes, llevarán a que se consiga la aleación en el horno de manera más rápida y económica. (Chacón, M. 2008).

El residuo de aluminio es fácil de manejar porque es ligero, no arde y no se oxida y también es fácil de transportar. El aluminio reciclado es un material cotizado y rentable. El reciclaje de aluminio produce beneficios ya que proporciona ocupación y una fuente de ingresos para mano de obra no cualificada. (Chacón, M. 2008).

### **3.9 Toxicidad**

Este metal fue considerado durante muchos años como inocuo para los seres humanos. Debido a esta suposición se fabricaron de forma masiva utensilios de aluminio para cocinar alimentos, envases para alimentos, y papel de aluminio para el embalaje de alimentos frescos. (Chacón, M. 2008).

Sin embargo, su impacto sobre los sistemas biológicos ha sido objeto de mucha controversia en las décadas pasadas y una profusa investigación ha demostrado que puede producir efectos adversos en plantas, animales acuáticos y seres humanos. (Chacón, M. 2008).

La exposición al aluminio por lo general no es dañina, pero la exposición a altos niveles puede causar serios problemas para la salud. La exposición al aluminio se produce principalmente cuando: (Chacón, M. 2008).

1. Se consumen medicamentos que contengan altos niveles de aluminio.
2. Se inhala polvo de aluminio que esté en la zona de trabajo.
3. Se vive donde se extrae o procesa aluminio.
4. Se colocan vacunas que contengan aluminio.
5. Se ingieren alimentos cítricos preparados sobre una superficie de aluminio.

Cualquier persona puede intoxicarse con aluminio o sus derivados, pero algunas personas son más propensas a desarrollar toxicidad por aluminio.

### **3.10 El aluminio y los suelos**

En algunos suelos del planeta el aluminio tiende a concentrarse en algunos de los horizontes del perfil, otorgándole características muy particulares. De los 11 órdenes de suelos que se reconocen según la clasificación del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, dos de ellos presentan una alta concentración de aluminio: los oxisoles, que se desarrollan en latitudes tropicales y subtropicales y los podosoles, que se hallan en climas fríos y bajo vegetación de coníferas. En este tipo de suelos el contenido en nutrientes disponibles para las plantas es bajo, sólo el

magnesio puede ser abundante en algunos casos; además su elevado contenido en aluminio agrava el problema por su toxicidad para las plantas. (Chacón, M. 2008).

En las regiones tropicales y subtropicales en las que se presentan estos suelos lo habitual es que se cultiven plantas con bajas necesidades nutritivas y con fuerte resistencia al aluminio, tales como el té, el caucho y la palma de aceite. (Chacón, M. 2008).

## **CAPÍTULO IV**

### **METODOLOGÍA DEL TRABAJO**

#### **4.1 Población de la investigación**

La población se puede definir como un conjunto de elementos o personas que forman parte de una investigación. “La población es el conjunto finito o infinito de unidades de análisis, individuos, objetos o elementos que se someten a estudio; pertenecen a la investigación y son la base fundamental para obtener la información”, (Arias, F. 2006).

La población en el área de estudio está representada por todos los sedimentos que se encuentran a lo largo del cauce del río.

#### **4.2 Muestra de la investigación**

“Una parte más o menos grande pero representativa de un conjunto o población, cuyas características deben reproducirse lo más aproximado posible.” (Hernández, B. 2001).

Las muestras de sedimentos tomadas a lo largo del río, ya sean muestra mojadas.

### **4.3 Nivel de la investigación**

La investigación que se realizó es de tipo documental y analítica, basado en el desarrollo detallado de las actividades y/o etapas del procesamiento del mineral de aluminio, donde se tomara como base, para esta investigación el marco teórico, que facilita la recopilación de datos confiables, completos y oportunos; permitiendo soluciones al problema planteado y alternativas que hagan factible su ejecución. Posteriormente ser utilizados en otros trabajos de investigación.

### **4.4 Diseño de la investigación**

El diseño de investigación es documental y analítica. El diseño documental se estableció a través de en un proceso de investigación, búsqueda, recuperación, análisis, evaluación e interpretación de datos secundarios, es decir, en fuentes documentales: impresas o digitales, los diferentes valores que se requieren en la elaboración del proyecto de investigación del aluminio, se adquirieron de documentos y proyectos existentes. Y diseño descriptivo, porque se explicaran aspectos, cualidades y características relacionados con las actividades productivas, para analizar posteriormente su importancia y generar alternativas para nuevos proyectos de microempresas que procesen la materia prima del aluminio y sus derivados.

### **4.5 Flujograma**

Las Fases de la investigación están representadas en la figura 4.1

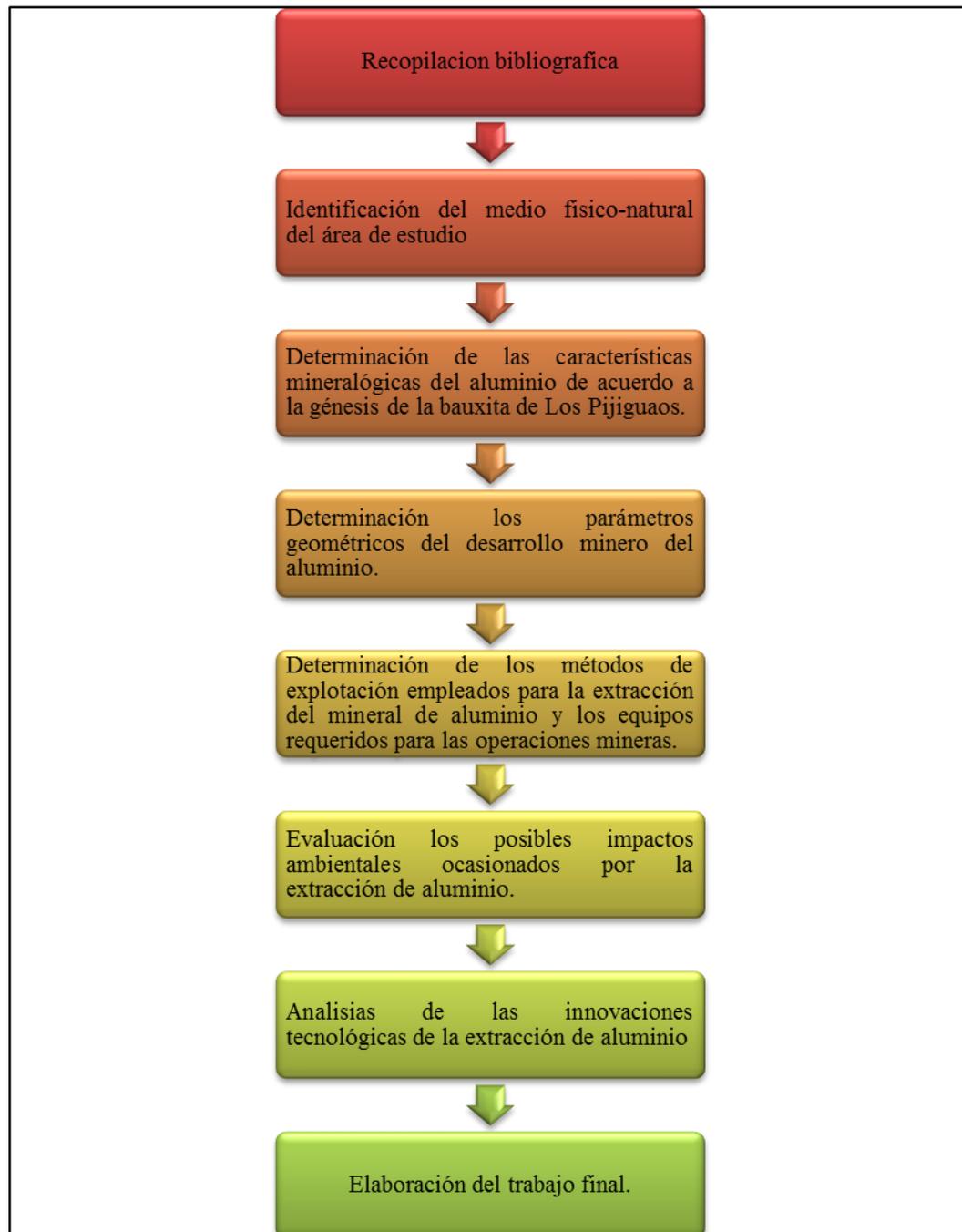


Figura 4.1 Flujograma de actividades

#### **4.5.1 Recopilación de información**

Se ejecutó una investigación a fondo donde se recopiló toda la información técnica y operativa del yacimiento bauxítico, teniendo en cuenta todos los aspectos geológicos, topográficos, geomorfológicos, fisicoquímicos, climáticos, mineros, económicos de inversión o de costos, ambientales, entre otros. Esta información puede ser cartográfica, bibliográfica, registros técnicos que posea la empresa, otros planes de explotación desarrollados anteriormente, etc.

#### **4.5.2 Identificación del medio físico – natural del área de estudio**

Se realizó el reconocimiento para describir las características geológicas y ambientales del área, ubicar el afloramiento desde el punto de vista geográfico y observar los rasgos estructurales más visibles que lo caracterizan. Es importante acentuar el difícil acceso en ciertas zonas por la lejanía y la extensa cobertura boscosa presente en la misma, para contrarrestar esto se abrieron secciones de picas con el fin llegar al punto de muestreo.

De acuerdo a Mendoza (1974) en Hernández T. (op. cit.), se estableció el esquema estratigráfico que se muestra en la figura 4.2 para explicar el contexto geológico de la región estudiada.

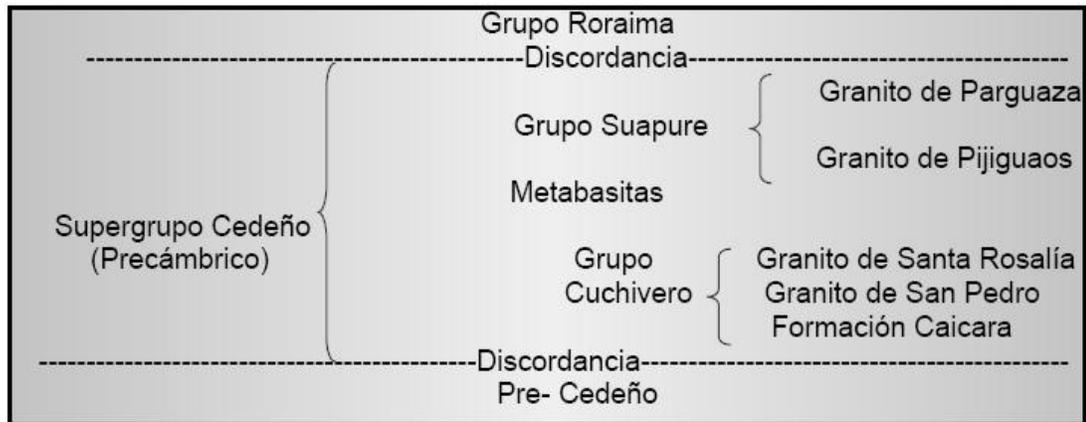


Figura 4.2 Esquema estratigráfico de acuerdo a Mendoza (1974). Hernández (2003)

El área estudio para esta investigación, está ubicada en la parte Oeste de la Provincia Geológica de Cuchivero, que se caracteriza por grandes intrusiones graníticas (Granito de Santa Rosalía y de San Pedro) en rocas volcánicas riolíticas (Formación Caicara). El granito Rapakivi de Parguaza intrusiona en las formaciones anteriores y se extiende cientos de kilómetros desde el río Suapure hasta el río Ventuarí. (<http://www.pymesfuturo.com/procesodelaluminio.htm,08>).

#### 4.5.3 Determinación Propiedades físicas y químicas de la bauxita

La bauxita es un mineral que se forma de la descomposición de casi cualquier tipo de roca, por efecto de la acción de agentes meteorológicos a través de millones de años. Bajo ciertas condiciones favorables de temperatura, pluviosidad y descomposición, suceden reacciones químicas que disuelven y lavan ciertos elementos, dejando como residuos una gran concentración de óxidos hidratados de aluminio. (<http://www.pymesfuturo.com/procesodelaluminio.htm,08>).

#### **4.5.3.1 Los Tipos de bauxita**

Dependen del compuesto hidratado predominante podrá clasificarse en tres tipos: Gibbsita, Bohemita y Diáspora.

Desde el punto de vista geoquímico la bauxita, se caracteriza por contenidos altos de  $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $TiO_2$ ,  $K_2O$ ,  $CaO$ , Rb, Sr, Zr, Ni y Co y valores bajos a moderados de  $Na_2O$ , MgO y K/Rb, y su importancia económica radica en el hecho de que constituye la roca madre del yacimiento de bauxita de Los Pijiguaos, siendo además muy probable la existencia de depósitos similares en otras áreas donde aflora la unidad. Es también fuente probable de estaño, tantalita - columbita, niobio, molibdeno, circonio, torio y uranio. Los depósitos de bauxita se desarrollaron sobre mesetas de unos 600 metros de altura, separadas cada una por valles profundos. Los estudios realizados en detalle por la Corporación Venezolana de Guayana sólo abarcaron una pequeña parte ubicada al norte de las zonas bauxíticas.

#### **4.5.4 Características mineralógicas de acuerdo a la génesis de la bauxita de Los Pijiguaos**

La bauxita es de origen supergénico, corrientemente se origina en condiciones tropicales o subtropicales por una meteorización prolongada de rocas alumínicas. Pueden derivarse también por meteorización de calizas que contienen arcillas. Aparecen como derivado directo de la roca original por transporte y depósitos subsiguientes en una formación sedimentaria. También en ciertos depósitos conocidos como lateritas, formando principalmente por hidróxido alumínico y óxidos de hierro formados en los suelos residuales. (<http://es.wikipedia.org/wiki/bauxita>.).

Con relación a cómo se forma una bauxita, el problema de su génesis es básicamente el establecimiento de condiciones determinantes para que ocurran los mecanismos de separación de las especies químicas Al, Fe y Si, tres elementos relativamente insolubles en el ambiente superficial de la corteza terrestre. El proceso geológico de mayor influencia en la génesis de las bauxitas, es el levantamiento tectónico del tipo epirogénico y las subsecuentes variaciones en el nivel de las aguas freáticas, de manera de restablecer las variables principales desde el punto de vista de la meteorización química. (Chacón, M. 2008).

Lateritas y formación de bauxita están estrechamente relacionadas a procesos, en los cuales, difieren sólo en la intensidad de las condiciones de meteorización que es controlada por un drenaje eficiente y la posterior remoción de solutos. La remoción de suelos bauxíticos está comprendida por una remoción de los constituyentes menos estables como los álcalis, quedando de estos procesos el óxido de hierro y aluminio, debido a la desilificación del material parental, es decir, que el aluminio se enriquecen en el perfil. (Chacón, M. 2008).

#### **4.5.4.1 Perfil laterítico del yacimiento de bauxita de Los Pijiguaos**

El perfil laterítico consiste de tres zonas bien diferenciadas, que se presentan a continuación en orden descendente:

1. Zona de Acumulación
2. Zona de Lavado
3. Zona de Roca.

- Zona de acumulación: En esta zona se encuentra una capa orgánica de 30 a 50 cm de espesor e inmediatamente por debajo de esta, aparece primeramente la bauxita como una costra dura rica en alúmina, de 2 a 3 m de espesor, seguido de una zona pseudo-pisolítica de 3 a 5 m de espesor, donde ocasionalmente aparecen capas duras ricas en gibbsita y bolsones de material arcilloso.
- Zona de lavado: Esta zona se caracteriza por la presencia de una zona moteada, rica en sílice reactivo y cuarzo, presentando una textura pseudos-Rapakivi infrayacente se encuentra una zona saprolítica donde el grado de meteorización varía en concordancia con la profundidad, hasta encontrar el granito fresco.
- Zona de roca: Esta zona se encuentra en la base de la columna, y representa el granito Rapakivi fresco o roca madre, tal como se muestra en la figura 4.3.

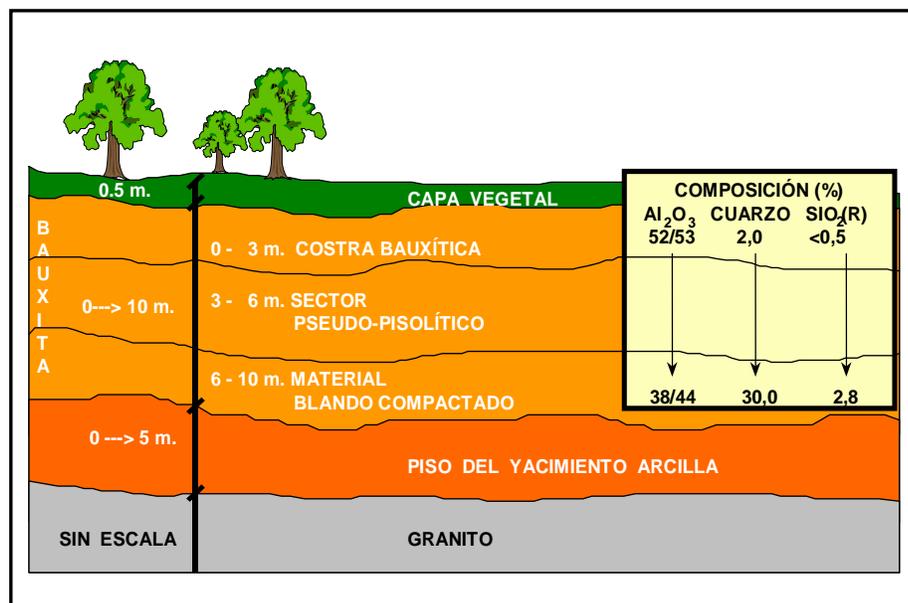


Figura 4.3 Perfil Laterítico de la Mina de Bauxita Los Pijiguaos.

Nariño y Nandi (1998) en Plata (op. cit).

## **4.5.5 Determinación de los parámetros geométricos del desarrollo minero del aluminio**

### **4.5.5.1 Altura de talud**

El criterio utilizado para definir la altura de talud, está ligado estrechamente con la sarta de perforación la cual en sus diferentes modalidades tiene un alcance de perforación máximo de 4 metros. Por otra parte, tiene una inclinación vertical de  $90^\circ$  debido a los parámetros geomecánicas del mineral y a los fines que se destinará el mismo. (Chacón, E. 1997).

### **4.5.5.2 Berma**

El criterio utilizado para determinar el ancho de la Berma se realizó en base a los equipos requeridos para las labores mineras, por lo cual se utilizará una berma con un ancho entre 8 y 12 metros. (Chacón, E. 1997).

### **4.5.5.3 Ángulo del talud**

De acuerdo a los criterios utilizados para determinar el ángulo del talud en la mina en cuestión el mismo resultado ser que el más conveniente es de  $75^\circ$ . (Chacón, E. 1997).

#### **4.5.6 Determinar los métodos de explotación empleados para la extracción del mineral de aluminio y los equipos requeridos para las operaciones mineras.**

Se describirá el método más adecuado para la extracción de bauxita, dicho método se conoce como arranque directo que de acuerdo a las propiedades propias del mineral es el más idóneo para obtenerlo

El sistema de explotación aplicado en la mina de bauxita de Los Pijiguaos, es a Cielo Abierto, mediante técnicas convencionales de extracción o arranque directo, es decir, sin el empleo de explosivos, y trabajando mayormente con el método de *Stripping Mine* o explotación en tiras, el cual se adapta a las condiciones propias del yacimiento que es del tipo meseta o tope plano y por ende se encuentran en capas o vetas horizontales, generalmente continuas. Sin embargo el depósito bauxítico presenta una gran cantidad de zonas en laderas con pendientes que llegan incluso a sobre pasar los cien metros de altura, por lo que se ha visto en la necesidad de aplicar un sistema combinado entre *Stripping Mine* y *Open Cup* o explotación a tajo abierto, es decir en forma de terrazas, esto con el fin de mantener el perfil bauxítico promedio.

##### **4.5.6.1 Selección del equipo de arranque, carga y acarreo**

De acuerdo al tonelaje a remover de mena durante la vida del yacimiento se conocerán los equipos de carga, acarreo, perforación, transporte y de servicios necesarios para cumplir con la producción esto se logra comparando la producción de la mina contra la capacidad operativa del equipo.

El arranque viene dado por la remoción de la capa vegetal se procede a la extracción de la bauxita mediante arranque mecánico. Para ello se cuenta con tractores que escarifican el material bauxítico en los frentes de explotación, donde el espesor es menor a 10 m. Estos mismos tractores crean rampas de acceso en los sitios donde se dificulta el paso de los otros equipos de corte o carga de material. En los frentes donde el espesor es mayor a 10 m se emplean palas hidráulicas para las labores de extracción.

La carga del mineral se realiza con cargadores frontales, y palas hidráulicas Caterpillar. Los cargadores frontales se utilizan en combinación con los tractores, los cuales una vez que escarifican el material proceden a apilarlo para luego ser cargado.

El acarreo del mineral se realiza a través de camiones roqueros de 45, 90 y 100 toneladas. Se cuenta con una flota de 14 camiones roqueros, los cuales transportan el mineral de los diferentes bloques de explotación hasta la estación de trituración.

#### **4.5.6.2 Manejo de mineral, área de “Pie de Cerro”**

Una vez acarreado el mineral hasta la estación de trituración, el todo en uno (mezcla mineral de todos los frentes de producción) es vaciado en la tolva de alimentación principal, la cual consta de una parrilla de barras que permite la separación de materiales finos y gruesos antes de la trituración primaria. Luego, la bauxita es llevada a través de un transportador de placas o alimentador hasta un martillo de impacto de 1.600 TM/h de capacidad, que tiene como función triturar el mineral a una granulometría menor o igual a 10 cm. para facilitar su transporte y manejo. Esta instalación también cuenta con un sistema de muestreo y una balanza

electrónica, además de tres correas transportadoras con capacidades de 1.600 TM/h cada una.

Después de triturar el mineral, éste se traslada a una tolva de transferencia hacia la correa de bajada hasta el área de operación conocida como “Pie de Cerro”. La cinta transportadora tiene una longitud de 4,2 Km con una trayectoria descendente por la ladera norte de la Serranía de Los Pijiguaos, hasta llegar a las pilas de almacenamiento desde donde se cargan los vagones del ferrocarril que transporta el mineral hasta el puerto El Jobal.

Esta cinta transportadora (Correa de Bajada) es de tipo teleférico o cable, y tiene una capacidad de 1.600 TM/h, con un sistema regenerativo que requiere sólo el suministro inicial de energía para el arranque de la correa, pero el resto de la energía que mantiene en funcionamiento la misma es auto-generada a partir de la energía potencial originada por el peso del mineral.

Una vez que la bauxita es transportada hasta “Pie de Cerro”, el mineral es almacenado, mediante dos apiladores de 1.600 TM/h cada uno, en cuatro patios de almacén con una capacidad total instalada de 900.000 toneladas. La forma de la pila es del tipo Chevrón, lo cual combinado con su alto número de capas longitudinales de mineral, permite una buena homogeneización del mismo. Luego el material es extraído por medio de dos recuperadores de cangilones con capacidad instalada de 3.600 TM/h cada uno y llevado mediante correas transportadoras hasta el sistema de carga de vagones. El mineral se almacena previamente en una tolva principal de 360 toneladas de capacidad que alimenta a dos tolvas dosificadoras que son las que cargan la bauxita en cada vagón. Este proceso de carga se hace en forma automática con la ayuda de dos locomotoras robot que desplazan y posicionan cada vagón.

Cada tren consta de 28 vagones de 90 toneladas de capacidad cada uno, con las siguientes especificaciones: a) Peso bruto máximo: 119.000 Kg, b) Carga: 24.700 Kg, c) Carga máxima: 94.600 Kg d) Volumen: 68 m<sup>3</sup>. Estos vagones son remolcados por una locomotora a través de 54 Km de vía férrea hasta llegar a Puerto Gumilla a orillas del río Orinoco en la zona denominada “El Jobal”.

#### **4.5.6.3 Área de El Jobal**

En esta área se cuenta con una estación volcadora de vagones que recibe el mineral por medio de un sistema hidráulico de tipo rotativo y su manejo es realizado a través de correas transportadoras que pueden cumplir dos funciones:

1. Enviar el mineral hacia las pilas de almacenamiento: El patio de almacenamiento cuenta con cuatro pilas tipo Chevrón, cada una con una capacidad instalada de 125.000 toneladas, para un total de 500.000 toneladas.
2. Enviar el mineral desde la estación volcadora de vagones hasta el terminal de carga de gabarras.

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 muelle de “El Jobal” es una plataforma de concreto rectangular de 10 m de ancho por 260 m de largo, de los cuales 220 m corresponden al frente de carga que domina el cargador y el resto de la extensión al puente de carga general. El cargador mecánico de las gabarras lo constituye una máquina que se desplaza por rieles de 204 m de longitud y está dispuesto para cargar en sucesión los grupos de gabarras que son atracados a lo largo del muelle.

La capacidad efectiva del equipo de carga es de 3.600 TM/h, siendo alimentado desde el patio de almacenamiento por un sistema de bandas transportadoras, usando el recuperador de cangilones del patio o directamente desde la volcadora de vagones.

#### **4.5.7 Evaluación del impacto ambiental ocasionado por la extracción de aluminio**

Antes de comenzar todo proyecto minero es necesario determinar cuáles son los daños que este ocasionará, con que intensidad y establecer sus medidas correctivas, de acuerdo con la legislación ambiental vigente. Esto se llevó a cabo a través de los siguientes pasos:

1. Mediante una descripción de la influencia del proyecto sobre el medio ambiente, es decir, a través de la identificación de impactos.
2. A través de la propuesta de planes para contrarrestar los efectos adversos producidos por las actividades mineras, de manera que se expusieron medidas correctivas, preventivas y mitigantes.

#### **4.5.7.1 Vegetación**

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

##### EN EL ÁREA DE LA MINA:

- 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.
- Bosque Esclerófilo Macrotérmico-Altiplanicie: De estatura más baja, sobre partes elevadas de la altiplanicie.
- Arbustal Esclerófilo Macrotérmico-Altiplanicie: Sobre cumbres y topes expuestos de la altiplanicie y con substrato rocoso aflorante.

- 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.
- 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:

- Bosque Ribereño o Ripario; de los Ríos Orinoco, Suapure y Parguaza: Aquí se incluyen también bosques siempre verdes locales en depresiones de la planicie aluvial (“caraipales”, “morichales”).
- 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.
- Vegetación Herbáceo-Arbustiva sobre Lajas Graníticas de la planicie coluvioaluvial.
- Vegetación Secundaria; (conucos abandonados, rastrojos y barbechos) en llanura aluvial y en el piedemonte de la altiplanicie (Ver Tabla 4.1 y 4.2) (Huber y Guanchez, 1988).

Tabla 4.1 Plantas recolonizadoras y adventicias observadas en sitios intervenidos de la mina de bauxita en Los Pijiguaos (Huber y Guanchez, 1988).

Familia Género y especie	Hábito
<b>Arbustales y bosques bajos</b>	
APOCYNACEAE <i>Mandevilla scapra</i> ASCLEPIADACEAE <i>Blepharodon nitidum</i> CHRYSOBALANACEAE <i>Hirtella cf. Racemosa</i> DILLENiaceae <i>Doliocarpus brevipedicellatus</i> <i>Doliocarpus brevipedicellatus</i> EUPHORBIACEAE <i>Maprounea guianensis</i>	Trepadora  Trepadora  Arbusto  Trepadora Trepadora  Arbusto
<b>Bosques ombrófilo macrotérmico</b>	
BIGNONIACEAE <i>Jacaranda copaia</i> CECROPIACEAE <i>Cecropia sp.</i> CONVULVULACEAE <i>Ipomoea sp.</i> EUPHORBIACEAE <i>Alchornea cordata</i>	Árbol  Árbol  Trepadora  Árbol

<i>Alchornea cf. Schomburgkii</i>	Arbusto
<i>Dalechampia dioscoreifolia</i>	Trepadora
<i>Maprounea guianensis</i>	Arbusto
GRAMINEAE	
<i>Lasiacis procerrima</i>	Hierba
<i>Ichnanthus breviscrops</i>	Hierba

Tabla 4.2 Plantas recolonizadoras y adventicias encontradas en sitios intervenidos de la planicie coluvio-aluvial en los alrededores de Los Pijiguaos.

<b>Familia</b> <b>Género y especie</b>	<b>Hábito</b>
BIXACEAE	
<i>Bixa curucurana</i>	Arbusto
COMPOSITAE	
<i>Calea sp.</i>	Arbusto
<i>Eupatorium sp.</i>	Hierba
CONVOLVULACEAE	
<i>Evolvulus sp.</i>	Trepadora
EUPHORBIACEAE	
<i>Onidoscolus urens</i>	Hierba
<i>Sebastiania sp.</i>	Hierba
LABIATAE	
<i>Hyptis sp.</i>	Arbusto
LEGUMINOSAE- CAESALPINIACEAE	
<i>Bauhinia sp.</i>	Arbusto
LEGUMINOSAE- MINOSACEAE	
<i>Anadenanthera peregrinna</i>	Árbol
<i>Mimosa huberi</i>	Arbusto

Mimosa somnians	Arbusto
Mimosa sp.	Arbusto
LEGUMINOSAE- PAPELONACEAE	
Crotalaria sp.	Arbusto
Tephrosia sessiliflora	Arbusto

#### 4.5.7.2 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)

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 siempre verde 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).

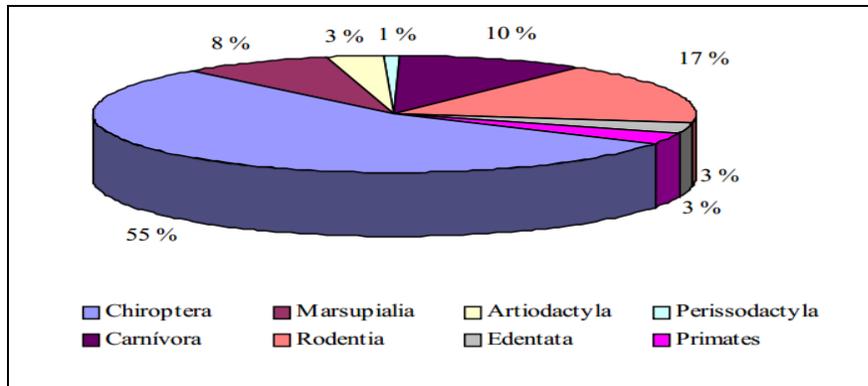


Figura 6.1. Estructura comunitaria de los mamíferos, distribución porcentual de especies (M.A.R.N.R.-Bauxiven).

#### 4.5.8 Análisis de las innovaciones tecnológicas de la extracción de aluminio

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. 1996), 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, 1999) 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, (Troung, 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).

#### **4.5.9 ¿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](http://www.vetiver.org)).

## CAPÍTULO V

### ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

#### 5.1 Identificación del medio geológico – natural donde se produce el aluminio

El aluminio se origina de la bauxita, donde se depositó en una serie de altiplanicies a un nivel de entre 600 y 700 m.s.n.m., separadas cada una por valles profundos, dando origen a un yacimiento tipo meseta, que como otros depósitos que se desarrollaron sobre el basamento precámbrico del Escudo de Guayana, se formaron posiblemente durante comienzos de la Era Terciaria, considerándose como una formación primaria de bauxita autóctona que presenta texturas formadas exclusivamente durante la neomineralización (Ver figura 5.1)

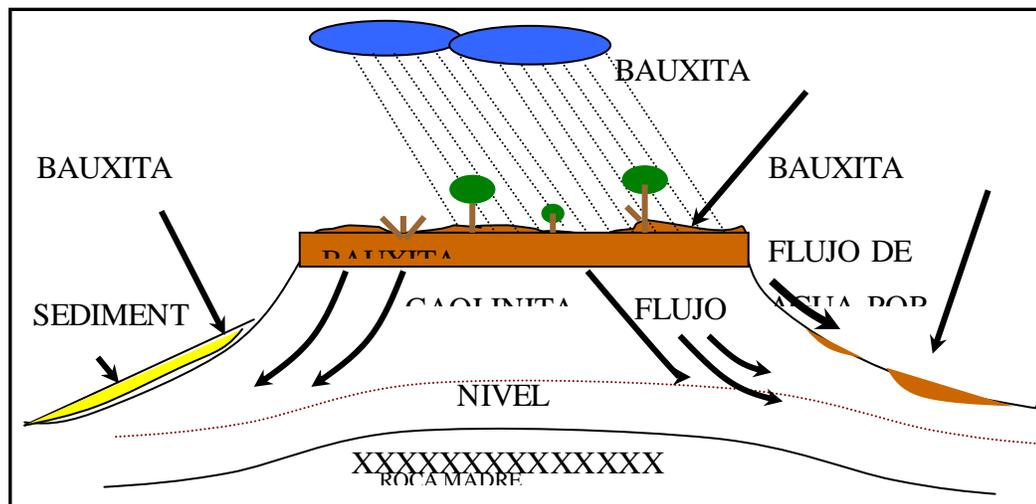


Figura 5.1 Forma generalizada de un yacimiento de bauxita tipo plataforma y tipo talud. Valentón (1972) en Plata (2005).

## 5.2 Identificación de las propiedades físicas y químicas del aluminio

La bauxita de Los Pijiguaos se ha clasificado del tipo Gibsita; este material a pesar de ser uno de los más abundantes en la corteza terrestre, solo se presenta en grandes cantidades en las regiones tropicales y subtropicales, físicamente posee las siguientes características que se pueden observar en la siguiente tabla 5.2

Tabla 5.1 Propiedades físicas del aluminio.

(<http://es.wikipedia.org/wiki/propiedadesdelaluminio.>)

Entre las características físicas del aluminio, destacan las siguientes:

- Es un metal ligero, cuya densidad o peso específico es de 2700 Kg./m<sup>3</sup> (2,7 veces la densidad del agua).
- Tiene un punto de fusión bajo: 660°C (933 K).
- El peso atómico del aluminio es de 26,9815.
- Es de color blanco brillante.
- Buen conductor del calor y de la electricidad.
- Resistente a la corrosión, gracias a la capa de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> formada.
- Abundante en la naturaleza.

Desde el punto de vista del yacimiento mineral de rendimiento económico, es que la bauxita debe contener un porcentaje mayor o igual a 45 % de Alúmina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), un porcentaje comprendido entre 3 % y 5 % de sílice total (SiO<sub>2</sub>) y un porcentaje menor o igual al 20 % de hierro. Su composición química se aprecia en las tablas 5.1 respectivamente. (C.V.G. Bauxilum-Mina, Superintendencia de Geología y Planificación de Mina, División de aseguramiento de la calidad. (2005).

Tabla 5.2 Composición química de la bauxita de Los Pijiguaos C.V.G Bauxilum – Mina, Superintendencia de Geología y Planificación de Mina (op. cit.)

Composición Media	Porcentaje (%)
Alúmina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )	49,46
Sílice Total ( $\text{SiO}_2$ )T	9,33
Sílice Cuarzo ( $\text{SiO}_2$ )Q	7,59
Sílice Reactiva ( $\text{SiO}_2$ )R	1,74
Pérdida al Rojo	26,74
Hierro ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ )	12,50
Titanio ( $\text{TiO}_2$ )	1,21
Humedad	11

Las características fisicoquímicas de esta bauxita permiten obtener ciertas ventajas que hacen al yacimiento económicamente explotable, entre los cuales se pueden mencionar las siguientes:

1. Menor consumo de bauxita por tonelada de alúmina (relación 2,46: 1), en comparación con otras bauxitas conocidas. Esto a pesar de ir esta relación en aumento.
2. Bajo contenido de sílice reactivo, disminuyendo así el consumo de soda cáustica en el proceso de obtención de alúmina (Proceso Bayer).

Sin embargo, la presencia de impurezas tales como cuarzo y óxidos de titanio, debido a la condición misma de formación del yacimiento, la coloca en desventaja en cuanto a otras bauxitas, ya que dificulta un poco el proceso de obtención de alúmina.

### 5.3 Determinación de las características mineralógicas del aluminio de los yacimientos de bauxita de los Pijiguaos

La composición mineralógica de la bauxita de Los Pijiguaos se observa en la siguiente tabla 5.3

Tabla 5.3 Composición mineralógica de la bauxita de Los Pijiguaos C.V.G Bauxilum Mina, Superintendencia de Geología y Planificación de Mina (op. cit.)

Componentes	Porcentaje (%)
Gibsite	75
Caolinita	2
Cuarzo	12
Hematita	0,5
Barita	0,5
Materia Orgánica	0,25

La bauxita del yacimiento de Los Pijiguaos debe cumplir con ciertas especificaciones dependiendo si su destino final es la planta de alumina (Bauxilum - Planta) o la exportación del mineral. Para ello se han establecido ciertos parámetros en cuanto al contenido de alumina total, alumina disponible, sílice reactiva, sílice cuarzo, hierro, titanio, humedad y tamaño de la partícula, los cuales son controlados mediante muestreo en los frentes de explotación, en las pilas de almacén de trituración, en los vagones de transporte del ferrocarril, en las pilas de almacén del muelle de embarque y en las propias gabarras. Esto con el fin de realizar un seguimiento de la calidad del mineral desde su extracción hasta su envío a la planta de alumina. (Tablas 5.4, 5.5, 5.6)

Tabla 5.4 Especificaciones de la bauxita de Los Pijiguaos para la planta de alúmina C.V.G Bauxilum Mina, Superintendencia de Geología y Planificación de Mina (op. cit.)

Parámetro Químico	Mínimo (%)	Típico (%)	Máximo (%)
Alúmina Total ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) <sub>T</sub>	49,5	-	-
Alúmina disponible ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) <sub>D</sub>	47	-	-
Sílice reactiva ( $\text{SiO}_2$ ) <sub>R</sub>	1,3	1,4	1,5
Sílice cuarzo ( $\text{SiO}_2$ ) <sub>Q</sub>	-	-	8,9
Hierro ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ )	11,6	12,6	13,6
Titanio ( $\text{TiO}_2$ )	1,2	1,25	1,3
Humedad	-	-	13

Tabla 5.5 Especificaciones de la bauxita de Los Pijiguaos para exportación C.V.G Bauxilum Mina, Superintendencia de Geología y Planificación de Mina (op. cit.)

Parámetro Químico	Mínimo (%)	Típico (%)	Máximo (%)
Alúmina total ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) <sub>T</sub>	49,80	50,80	-
<b>Alúmina disponible (<math>\text{Al}_2\text{O}_3</math>)<sub>D</sub></b>	-	-	-
Sílice reactiva ( $\text{SiO}_2$ ) <sub>R</sub>	0,60	0,90	1,20
Sílice cuarzo ( $\text{SiO}_2$ ) <sub>Q</sub>	-	4,50	5,50
Hierro ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ )	11,60	12,60	13,60
Titanio ( $\text{TiO}_2$ )	1,10	1,20	1,30
Humedad	-	10,00	12,00

Tabla 5.6 Especificaciones de la bauxita de Los Pijiguaos para producción C.V.G Bauxilum Mina, Superintendencia de Geología y Planificación de Mina (op. cit.)

Parámetro Químico	Mínimo (%)	Típico (%)	Máximo (%)
Alúmina total ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) <sub>T</sub>	48,45	49,45	51,00-
<b>Alúmina disponible (<math>\text{Al}_2\text{O}_3</math>)<sub>D</sub></b>	-	-	-
Sílice reactiva ( $\text{SiO}_2$ ) <sub>R</sub>	1,20	1,25	1,30
Sílice cuarzo ( $\text{SiO}_2$ ) <sub>Q</sub>	-	5,00	8,00
Hierro ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ )	11,60	12,60	13,60
Humedad	-	11,00	12,00

#### 5.4 Determinación de los parámetros geométricos del desarrollo minero del aluminio.

Se puede observar en la figura 5.2. Los parámetros del desarrollo minero del aluminio en de Los Pijiguaos para producción C.V.G Bauxilum Mina, Superintendencia de Geología y Planificación de Mina.

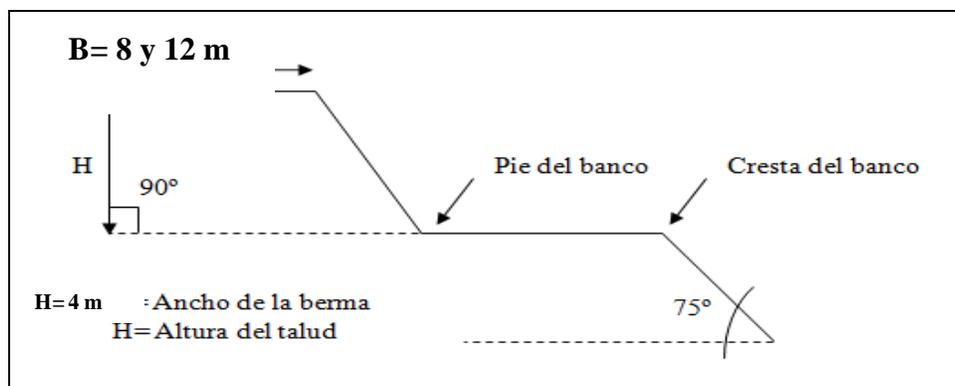


Figura 5.2 Parámetros geométricos del desarrollo minero. (Chacón, E. 1997).

### 5.5 Determinación de los métodos de explotación empleados para la extracción del mineral de aluminio y los equipos requeridos para las operaciones mineras.

Se puede observar en las siguientes figuras 5.3 y 5.4. Los métodos de explotación para la extracción de mineral de aluminio.

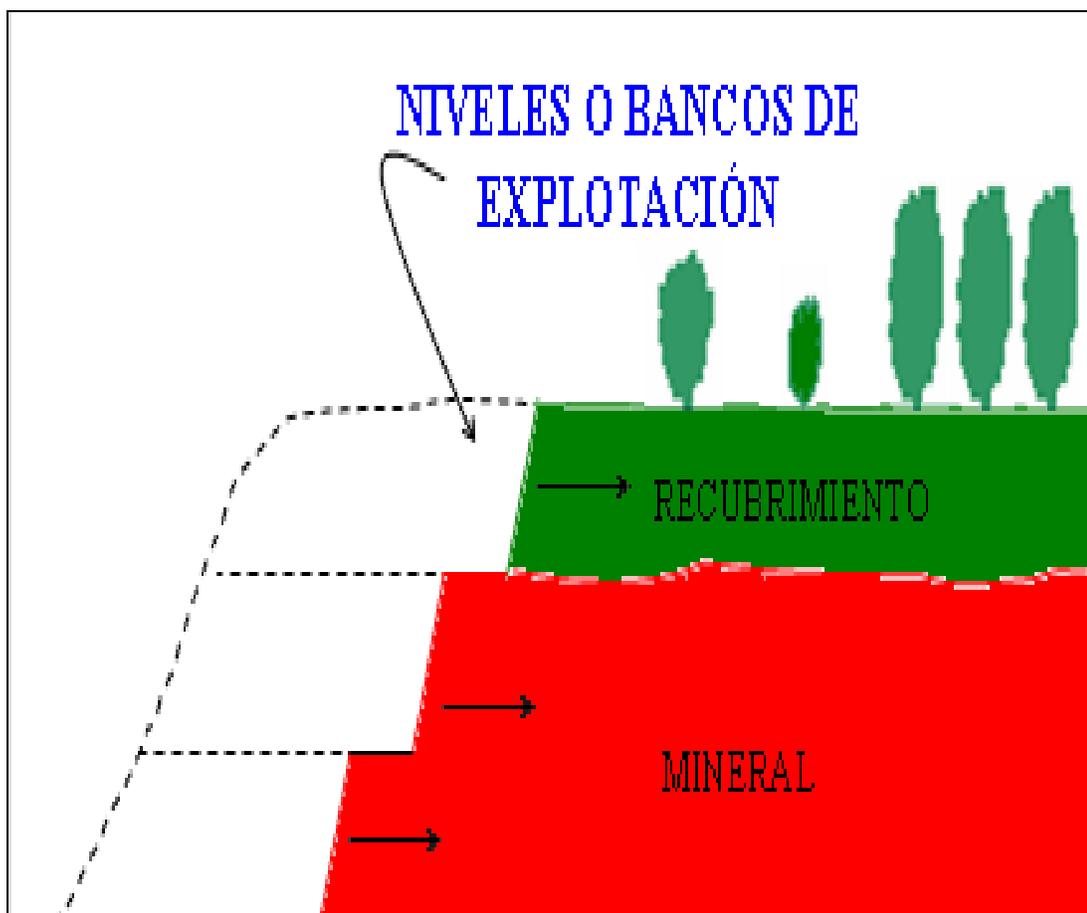


Figura 5.3. Método de explotación en tiras o “*Stripping Mine*”. (Chacón, E. 1997).

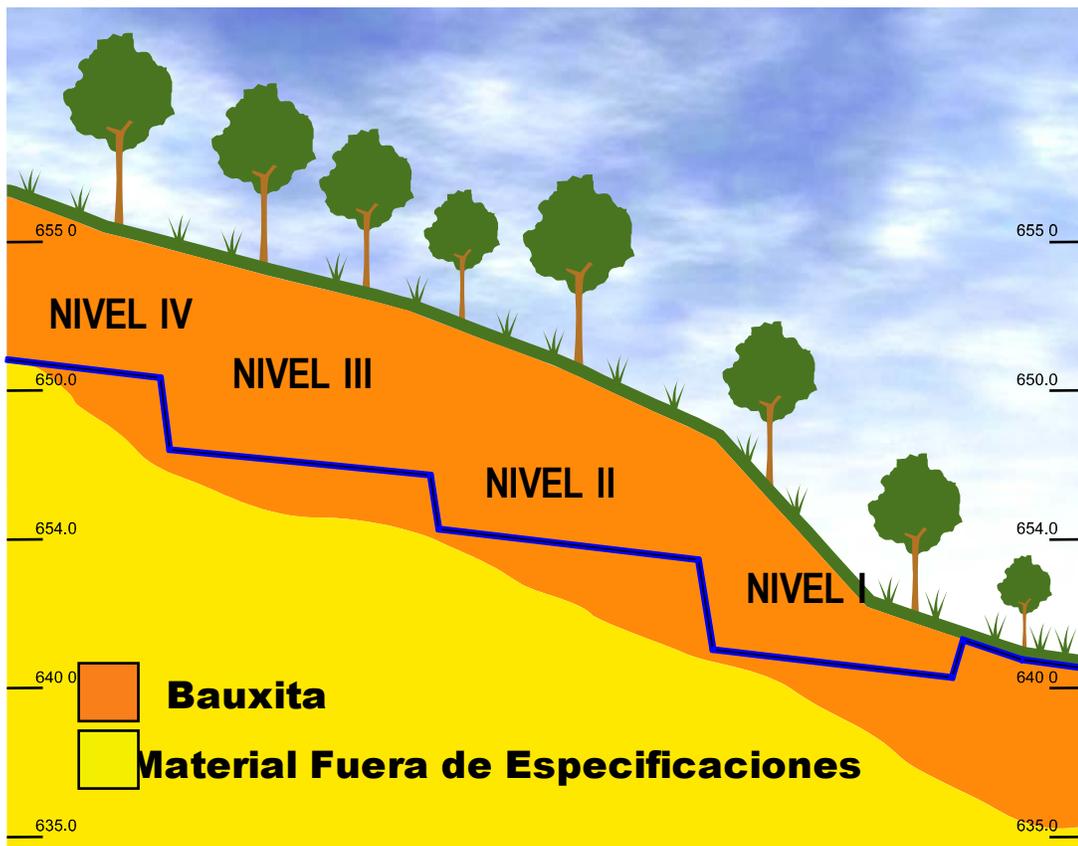


Figura 5.4 Método de explotación combinado “*Stripping Mine*”. (Chacón, E. 1997).

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. (Ver figura 5.5 y 5.6) (Chacón, E. 1997).



Figura 5.5 Frente de explotación

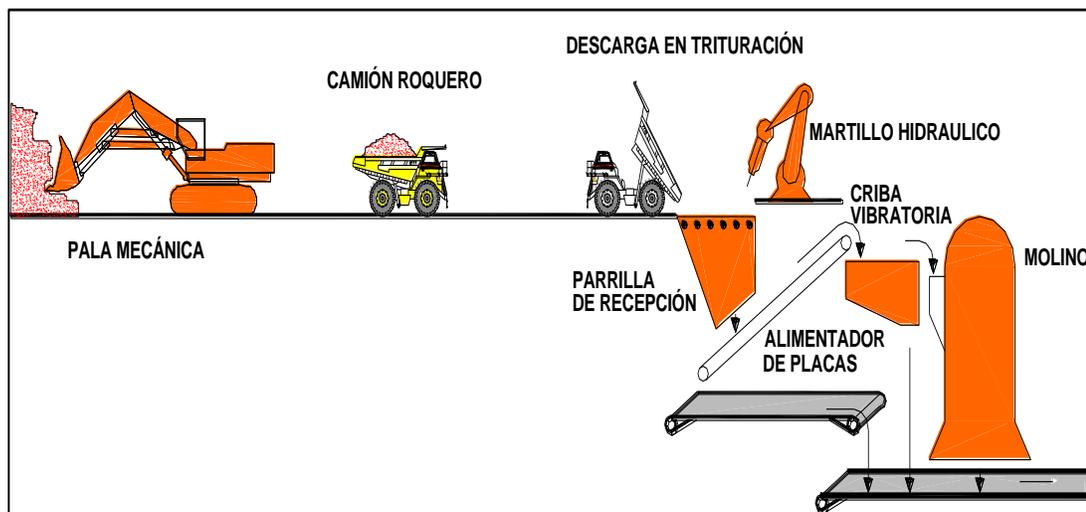


Figura 5.6 Proceso productivo área de mina. C.V.G. Bauxilum – Mina, Superintendencia de Geología y Planificación de Mina (2003)

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. (Ver figura 5.7)

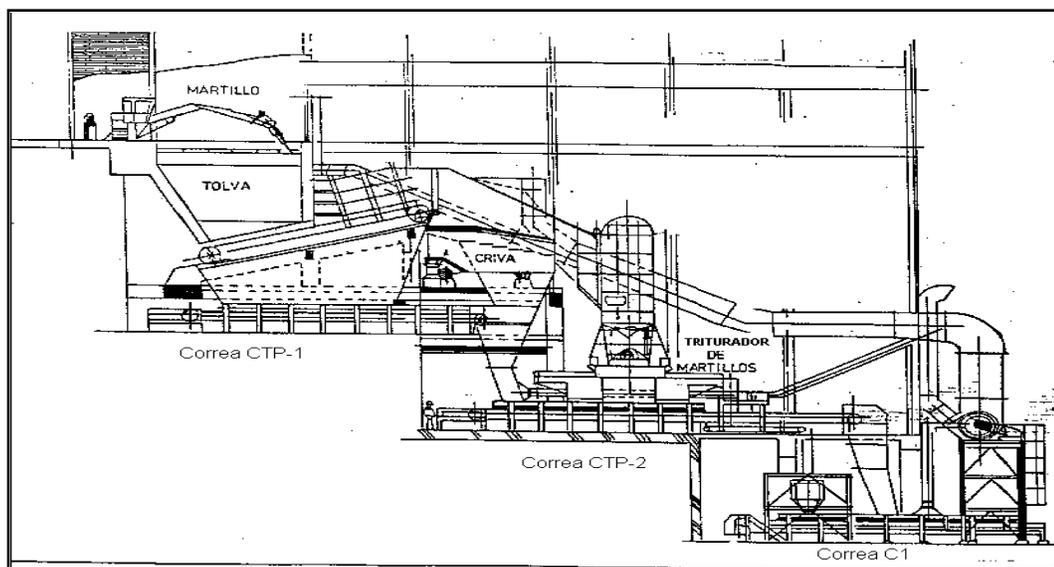


Figura 5.7 Corte esquemático de la estación de trituración. (Hernández, T. op. cit).

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. (Ver figura 5.8 y 5.9).



Figura 5.8 Patio de apilamiento del mineral (Pie de Cerro).



Figura 5.9 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. (Ver figura 5.10)

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

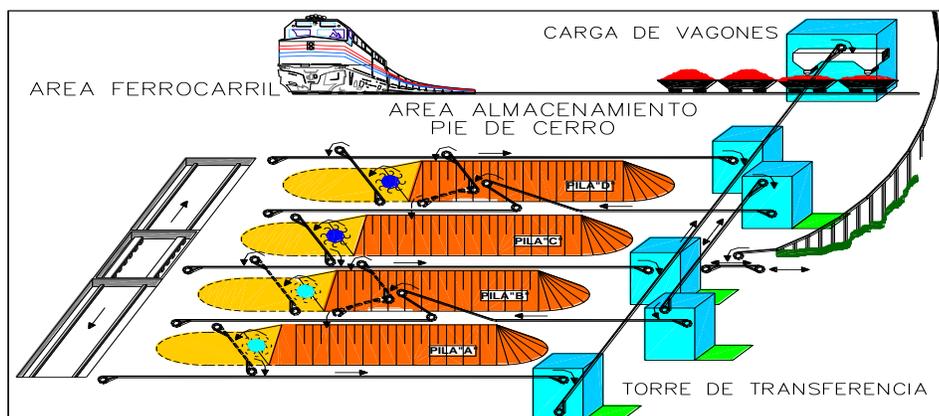


Figura 5.10 Proceso productivo área Pie de Cerro. C.V.G. Bauxilum – Mina, Superintendencia de Geología y Planificación de Mina (op. cit).

Para el transporte fluvial desde el puerto “El Jobal” hasta el terminal en la Planta Operadora de Alúmina, en Puerto Ordaz, en un recorrido de 650 Km, se utilizan convoyes conformados por un remolcador y trenes de gabarras que tienen una capacidad de 1.700 toneladas. Los trenes de gabarras pueden ser de 12, 15, 16, 20 ó 25 gabarras, dependiendo del nivel de navegación del río Orinoco y de la capacidad del remolcador. El transporte sólo se efectúa durante el período de aguas altas del río Orinoco (mayo – diciembre) y la operación es continua durante las 24 horas del día. Para garantizar las operaciones permanentes del transporte fluvial se utiliza un canal de navegación de 100 m de ancho a lo largo del trayecto entre “El Jobal” y el terminal de Puerto Ordaz. Este es un canal natural que se adapta a los cambios que sufre el río año tras año y por ende no requiere dragado para su mantenimiento. (Ver figura 5.11 y 5.12)

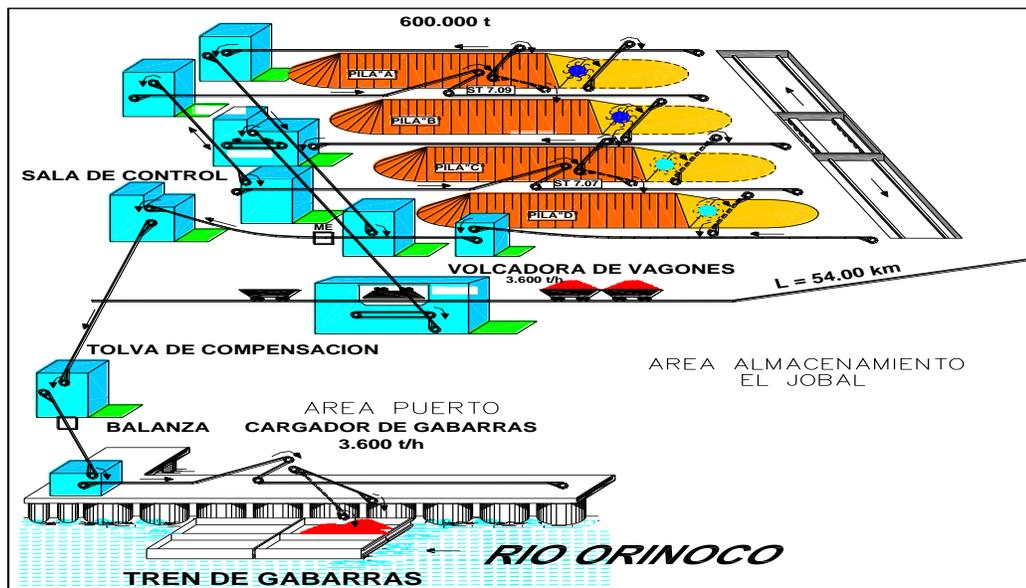


Figura 5.11 Proceso productivo área El Jobal. C.V.G. Bauxilum Mina, Superintendencia de Geología y Planificación de Mina (op. cit).



Figura 5.12 Embarque de gabarras muelle El Jobal. ( Chacón, E. 1997).

## 5.6 Evaluación del impacto ambiental ocasionado por la extracción de aluminio

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 (Ver tabla 5.7 y 5.8).

Tabla 5.7 Uso actual en áreas y porcentaje “Microcuencas Los Pijiguaos” (Rincón 2.011)

Uso Actual	Superficie (Ha)	Superficie (%)
Forestal	2773,02	59,81
Sabana abierta con chaparros	1069,37	23,07
Vegetación sobre afloramiento granítico	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
<b>Total</b>	<b>4636,17</b>	<b>100</b>

Tabla 5.8 Uso actual en áreas y porcentaje “Microcuencas La Batea” (Rincón 2.011).

<b>Uso Actual</b>	<b>Superficie (Ha)</b>	<b>Superficie (%)</b>
Forestal	2773,02	19,46
Sabana abierta con chaparros	1069,37	44,64
Vegetación sobre afloramiento granítico	382,75	21,55
Cultivos sin prácticas de conservación	16,68	10,60
Áreas rehabilitadas (Vegetación secundaria)	166,13	1,49
Áreas deforestadas (terreno descubierto)	91,98	1,74
Infraestructura	136,24	0,52
<b>Total</b>	<b>4636,17</b>	<b>100</b>

La Descripción general de algunas áreas críticas de erosión en las microcuencas del torrente “Los Pijiguaos y la Batea”, viene dada por el 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 él o Suapure, posee sabana abierta con chaparros con presencia de cultivos en pequeñas proporciones.

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. (Ver figura 5.13)

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 pronunciadas (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 del torrente “El Chorro”.



Figura 5.13 Superficie con grado de erosión en surcos. Caño Los Pijiguaos

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 esorrentía producto de las precipitaciones que se suceden en la zona (Ver figura 5.14, 5.15 y 5.16).



Figura 5.14 Grado de erosión en cárcavas.



Figura 5.15 Socavación Lateral. Caño El Chorro.



Figura 5.16 Socavación de fondo. Caño El Chorro.

### 5.7 Análisis de las innovaciones tecnológicas de la extracción de aluminio

De acuerdo a la metodología planteada se realizó un análisis de los sitios a recuperar afectados, implantando tecnologías acordes a los proceso de extracción de aluminio, donde 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 cuál 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 (Figura 5.17).

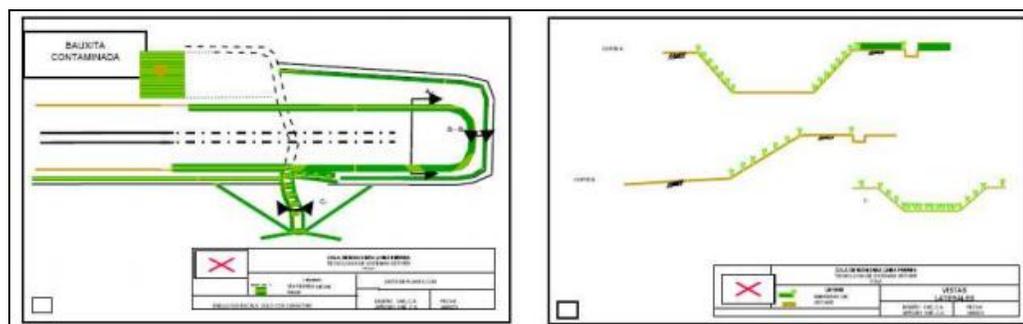


Figura 5.17 Plano de diseño (Fuente: C.V.G- BAUXILUM)

### 5.7.1 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 fórmula 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.

### 5.7.2 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.

### **5.7.3 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 quién 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.

### **5.7.4 Aplicación de Bioingeniería TSV y comentarios**

#### **5.7.4.1 Lagunas de sedimentación**

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 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 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 (Ver figura 5.18).



Figura 5.18 Siembra de Vetiver en lagunas de sedimentación.

### 5.7.5 Interfaz suelo-concreto

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.

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 (Ver figura 5.19).



Figura 5.19 Tecnología sistema vetiver interfaz suelo- concreto.

### 5.7.6 Estrategia de control

#### 5.7.6.1 Medidas estructurales:

1. 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.
2. Construcción de muros laterales paralelo al cauce, sobre una base de concreto armado con bolsacreto. cuya función es, estabilizar los taludes, proteger el revestimiento de piedras en el cauce.
3. Traviesas para 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.

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.
5. Construcción de un (1) dique bajo de retención sobre una base de concreto armado con bolsacreto 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.
6. 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 y al mismo tiempo evitar que lleguen sedimentos aguas abajo, se considera necesario la construcción de un canal de drenaje de tierra.
7. Preparación del terreno para la construcción de un sistema de terrazas individuales 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.
8. 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.

## CONCLUSIONES

1. Los depósitos de bauxita se desarrollaron sobre mesetas de unos 600 y 700 m.s.n.m, separadas cada una por valles profundos. Denominada Serranía de los Pijiguaos, con drenaje dendrítico controlado. El Supergrupo Cedeño define una unidad litoestratigráfica volcánico-plutónica ácida que incluye los grupos Cuchivero y Suapure, los cuales están separados entre sí por metabasitas.
2. Las propiedades físicas del aluminio: es un metal ligero, con peso específico de  $2700 \text{ Kg/m}^3$  (2,7 veces la densidad del agua), su peso atómico es de 26,9815, de color blanco brillante, buen conductor de calor y de electricidad, anticorrosivo gracias a la capa de  $(\text{Al}_2\text{O}_3)$  y abundante en la naturaleza; las propiedades químicas que posee: Alúmina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) en un 49,46%, Sílice total en un 9,33%, Sílice cuarzo con 7,59%, Sílice reactiva en 1,74%, Pérdida al rojo en 26,74%, Hierro ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) con 12,50%, Titanio ( $\text{TiO}_2$ ) con 1,21% y Humedad 11%.
3. La bauxita es de origen supergénico, corrientemente se origina en condiciones tropicales y subtropicales por una meteorización prolongada de rocas alumínicas. Los depósitos son conocidos como lateritas, formando principalmente hidróxidos alumínicos y óxidos de hierro formados en los suelos residuales. Posee contenidos altos de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Rb}$ ,  $\text{Sr}$ ,  $\text{Zr}$ ,  $\text{Ni}$  y  $\text{Co}$  y valores bajos a moderados de  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{MgO}$  y  $\text{K/Rb}$ . Es también fuente probable de estaño, tantalita-columbita, niobio, molibdeno, circonio, torio y uranio.
4. Los parámetros geométricos que se determinaron para el desarrollo minero del aluminio fueron: altura del talud, Berma, Angulo del talud.

5. Los métodos de explotación empleados es el Cielo abierto, mediante técnicas convencionales de extracción o arranque directo, sin el empleo de explosivos y trabajando con el método de “*Stripping Mine*” o explotación en tiras, el cual se adapta a las condiciones propias del yacimiento tipo Meseta o tope plano en capas o vetas horizontales continuas. Se puede aplicar sistema combinado entre “*Stripping Mine*” y “*Open Cup*” o explotación a tajo abierto, es decir en forma de terrazas, esto con el fin de mantener el perfil bauxítico promedio.
6. El impacto ambiental ocasionado por la extracción del aluminio abarca un total aproximado de 4.636,17 (Ha) que representa un 100% donde se destaca el uso actual en. Forestal, Sabana abierta con chaparros, Vegetación sobre afloramientos graníticos, Cultivos sin prácticas de conservación, Áreas rehabilitadas (vegetación secundaria), Áreas deforestadas (terreno descubierto) e infraestructuras.
7. Las innovaciones tecnológicas en la extracción del aluminio conlleva a recuperar las zonas afectadas implantando tecnología acorde a los procesos de extracción como: suelos afectados, presencia de cursos de agua en el área de la zona a tratar, estabilidad del suelo, pendientes del terreno y se indaga cuál 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.

## RECOMENDACIONES

1. Mejorar las vías de acceso a la zona de Los Pijiguaos, para evitar deterioro continuo de los equipos que ingresan a la mina.
2. Realizar proyectos de optimización de las vías férreas que conectan la mina de Los Pijiguaos con la planta ubicada en Puerto Ordaz.
3. Desarrollar más estudios de investigación del mineral de bauxita, para innovar y reducir el proceso de producción del aluminio; y con ello maximizar en forma estratégica el motor productivo como parte del desarrollo económico en Venezuela.
4. Realizar proyectos de microempresas para la manufacturación de este mineral, para materiales y piezas mecánicas, eléctricas y de construcción.

## REFERENCIAS

López, Jimeno. (1994) **“ESTUDIOS DE VIABILIDAD EN PROYECTOS MINEROS”**, Trabajo especial de grado. E.T.S. Ingenieros de Minas de Madrid. España.

Chacón, M. (2008) **“PROPUESTA DE PROCEDIMIENTO FÍSICO PARA EL TRATAMIENTO DE HIDRÓXIDO DE SODIO EN DESECHOS INDUSTRIALES. CASO CVG BAUXILUM”**.

Chacón, E. (1997). **“TÉCNICAS DE OPERACIÓN DE MINERÍA DE SUPERFICIE”**. Volumen I y II.

Trabajo de ascenso. Escuela de Cs de la Tierra. Universidad de Oriente. Pag 85-97; 115-130.

<http://www.pymesfuturo.com/procesodelaluminio.htm>,08 Abril del 2008.

[http://www.ingeminas.gov.co/option.com\\_glosary](http://www.ingeminas.gov.co/option.com_glosary) . 08 de Abril del 2008.

<http://es.wikipedia.org/wiki/aluminio>. 08 de Abril del 2008.

<http://es.wikipedia.org/wiki/propiedadesdelaluminio>. 08 de Abril del 2008.

<http://es.wikipedia.org/wiki/bauxita>. 08 de Abril del 2008.

## **APÉNDICES**

**APENDICE A**

**FOTOGRAFÍA QUE MUESTRA LA RESTAURACIÓN DEL ÁREA  
ASIGNADA.**



Figura A.1. Foto de visualización de la restauración del espacio asignado.



Figura A.2. Foto de visualización de la restauración del espacio asignado.



Figura A.3. Foto de visualización de la restauración del espacio asignado.



Figura A.4. Foto de visualización de la restauración del espacio asignado.

## Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 1/6

<b>Título</b>	<b>CARACTERIZACIÓN DEL ALUMINIO MEDIANTE PROCESOS FÍSICOS Y METALÚRGICO DESDE EL FRENTE DE EXPLOTACIÓN HASTA SU INDUSTRIALIZACIÓN.</b>
<b>Subtítulo</b>	

### Autor(es)

Apellidos y Nombres	Código CVLAC / e-mail	
<b>Díaz V., José G.</b>	<b>CVLAC</b>	<b>16.914.434</b>
	<b>e-mail</b>	<b>J_gregorio_dv@hotmail.com</b>
	<b>e-mail</b>	
<b>Gutiérrez P., Hernán G.</b>	<b>CVLAC</b>	<b>16.617.103</b>
	<b>e-mail</b>	<b>hernyissues@hotmail.com</b>
	<b>e-mail</b>	
	<b>CVLAC</b>	
	<b>e-mail</b>	
	<b>e-mail</b>	
	<b>CVLAC</b>	
	<b>e-mail</b>	
	<b>e-mail</b>	

### Palabras o frases claves:

<b>El Aluminio y los Suelos</b>
<b>Reciclaje del Aluminio</b>
<b>Producción del Aluminio</b>
<b>Proceso de obtención del Aluminio</b>
<b>Reciclaje del Aluminio</b>
<b>¿Qué es la TSV?</b>

## Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 2/6

### Líneas y sub-líneas de investigación:

Área	Subárea
Departamento de Ingeniería de Minas	Ingeniería de Minas
Departamento de Geología	Geología

### Resumen (abstract):

---

Esta investigación tiene por objeto, establecer una caracterización del aluminio mediante procesos físicos y metalúrgicos desde el frente de explotación hasta su industrialización, basados en información de la Mina de los Pijiguaos. Este trabajo posee una metodología descriptiva y basada en un diseño documental y descriptivo, mediante una recopilación bibliográfica de todos aquellos temas relacionados con el metal aluminio. La bauxita que se origina por un proceso de lixiviación a partir de los granitos Rapakivi de El Parguaza en climas tropicales lluviosos, al nivel de planeación de Imataca, Nuria, Cerro Bolívar. Se deposita en una serie de antiplanicies a un nivel entre 600 y 700 m.s.n.m, separadas por valles profundos, originando un yacimiento tipo meseta, que como otros depósitos se desarrolla sobre el basamento precámbrico del Escudo de Guayana durante la Era Terciaria, considerándose una formación primaria de bauxita autóctona, presentando texturas formadas exclusivamente durante la neomineralización. Se ha clasificado del tipo Gibsita; que a pesar de ser uno de los más abundantes de la corteza terrestre, se presenta en grandes cantidades en las regiones tropicales y subtropicales. Este yacimiento mineral de rendimiento económico contiene un porcentaje mayor igual a 45% de alúmina ( $Al_2O_3$ ), 3% y 5% de sílice total ( $Si_2O_4$ ) y un porcentaje menor o igual al 20% de hierro; basados en datos C.V.G Bauxilum Mina, Superintendencia de Geología y Planificación de Mina. Sin embargo, estas impurezas de cuarzo y óxido de titanio, dificultan el proceso de obtención de alúmina debido a la condición de formación. Los parámetros geométricos mineros comprenden un talud de altura de 4 metros, una berma de 8 y 12 metros y un ángulo de inclinación de  $75^\circ$ . Los métodos de explotación empleados son: Método de explotación en tiras o “*Stripping Mine*” y Método de explotación combinado “*Stripping Mine*” empleadas para minería a cielo abierto. Los equipos requeridos para su explotación cuentan con Palas Hidráulicas y Pailoders, camiones roqueros de 50 toneladas, tolvas receptoras de mineral, molino triturador que opera con un ritmo de 1600 TM/hora, tolva de alimentación principal, un transportador de placas, un triturador, tres correas transportadoras, un sistema de muestreo y una balanza electrónica. La evaluación del impacto ambiental ocasionado por la extracción del aluminio, evidencia 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, hasta canales relativamente grandes o cárcavas, cortando 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.

---

## Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 3/6

### Contribuidores:

<b>Apellidos y Nombres</b>	<b>ROL / Código CVLAC / e-mail</b>	
<b>María Sampol</b>	<b>ROL</b>	CA <input type="checkbox"/> AS <input type="checkbox"/> TU <input checked="" type="checkbox"/> JU <input type="checkbox"/>
	<b>CVLAC</b>	<b>8.850.664</b>
	<b>e-mail</b>	<a href="mailto:marisampol3@hotmail.com">marisampol3@hotmail.com</a>
	<b>e-mail</b>	
<b>Jorge Abud</b>	<b>ROL</b>	CA <input type="checkbox"/> AS <input type="checkbox"/> TU <input type="checkbox"/> JU <input checked="" type="checkbox"/>
	<b>CVLAC</b>	<b>4.984.842</b>
	<b>e-mail</b>	<a href="mailto:jorgeabuds@gmail.com">jorgeabuds@gmail.com</a>
	<b>e-mail</b>	
<b>Gisela Silva</b>	<b>ROL</b>	CA <input type="checkbox"/> AS <input type="checkbox"/> TU <input type="checkbox"/> JU <input checked="" type="checkbox"/>
	<b>CVLAC</b>	<b>12.598.208</b>
	<b>e-mail</b>	<a href="mailto:giselasilva@cantv.net">giselasilva@cantv.net</a>
	<b>e-mail</b>	
	<b>ROL</b>	CA <input type="checkbox"/> AS <input type="checkbox"/> TU <input type="checkbox"/> JU <input type="checkbox"/>
	<b>CVLAC</b>	
	<b>e-mail</b>	
	<b>e-mail</b>	

**Fecha de discusión y aprobación:**

Año	Mes	Día
2013	12	10

**Lenguaje:** Español

## Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 4/6

**Archivo(s):**

Nombre de archivo
Tesis-caracterizaciondelaluminio.Doc

Caracteres permitidos en los nombres de los archivos: **A B C D E F G H I J K L M  
N O P Q R S T U V W X Y Z a b c d e f g h i j k l m n o p q r s t u v w x y z 0 1 2  
3 4 5 6 7 8 9 \_ - .**

**Alcance:**

**Espacial** :(Opcional) \_\_\_\_\_

**Temporal**:(Opcional) \_\_\_\_\_

**Título o Grado asociado con el trabajo:** Ingeniero de Minas e Geólogo

**Nivel Asociado con el Trabajo:** Pre-Grado

**Área de Estudio:**

**Departamento de Ingeniería de Minas - Departamento de Ingeniería Geología**

**Otra(s) Institución(es) que garantiza(n) el Título o grado:** Universidad de Oriente

## Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 5/6



UNIVERSIDAD DE ORIENTE  
CONSEJO UNIVERSITARIO  
RECTORADO

CU N° 0975

Cumaná, 04 AGO 2009

Ciudadano  
**Prof. JESÚS MARTÍNEZ YÉPEZ**  
Vicerrector Académico  
Universidad de Oriente  
Su Despacho

Estimado Profesor Martínez:

Cumplo en notificarle que el Consejo Universitario, en Reunión Ordinaria celebrada en Centro de Convenciones de Cantaura, los días 28 y 29 de julio de 2009, conoció el punto de agenda **\*SOLICITUD DE AUTORIZACIÓN PARA PUBLICAR TODA LA PRODUCCIÓN INTELECTUAL DE LA UNIVERSIDAD DE ORIENTE EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL DE LA UDO, SEGÚN VRAC N° 696/2009\***.

Leído el oficio SIBI – 139/2009 de fecha 09-07-2009, suscrita por el Dr. Abul K. Bashirullah, Director de Bibliotecas, este Cuerpo Colegiado decidió, por unanimidad, autorizar la publicación de toda la producción intelectual de la Universidad de Oriente en el Repositorio en cuestión.

La publicación que hago a usted a los fines consiguientes.

UNIVERSIDAD DE ORIENTE	
SISTEMA DE BIBLIOTECA	
RECIBIDO POR	<i>Martínez</i>
FECHA	5/8/09
HORA	5:20

Cordialmente,

**JUAN A. BOLANOS CURVELO**  
Secretario



C.C: Rectora, Vicerrectora Administrativa, Decanos de los Núcleos, Coordinador General de Administración, Director de Personal, Dirección de Finanzas, Dirección de Presupuesto, Contraloría Interna, Consultoría Jurídica, Director de Bibliotecas, Dirección de Publicaciones, Dirección de Computación, Coordinación de Teleinformática, Coordinación General de Postgrado.

JABC/YGC/maruja

## Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 6/6

**Artículo 41 del REGLAMENTO DE TRABAJO DE PREGRADO (vigente a partir del II Semestre 2009, según comunicación CU-034-2009) :** "Los Trabajos de Grado son de la exclusiva propiedad de la Universidad de Oriente, y sólo podrán ser utilizados para otros fines con el consentimiento del Consejo de Núcleo respectivo, quien deberá participarlo previamente al Consejo Universitario, para su autorización."



**AUTOR 1**



**AUTOR 2**



**TUTOR**