

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

CONTROL DE SEDIMENTOS EN PEQUEÑA MINERÍA AURÍFERA EN HOJA DE LATA, MUNICIPIO SIFONTES, ESTADO BOLÍVAR

Trabajo Especial de Grado
Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela para
Optar al Título de Ingeniero de Minas por el Br.
La Barbera Sosa, Salvatore Gregorio

Caracas, noviembre de 2005

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

CONTROL DE SEDIMENTOS EN PEQUEÑA MINERÍA AURÍFERA EN HOJA DE LATA, MUNICIPIO SIFONTES, ESTADO BOLÍVAR

Tutora Académica: Profa. Alba J. Castillo

Tutor Industrial: Ing. Pedro Guerrero

Trabajo Especial de Grado
Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela para
Optar al Título de Ingeniero de Minas por el Br.
La Barbera Sosa, Salvatore Gregorio

Caracas, noviembre de 2005

La Barbera S., Salvatore G.

**CONTROL DE SEDIMENTOS EN PEQUEÑA MINERÍA
AURÍFERA EN HOJA DE LATA, MUNICIPIO SIFONTES,
ESTADO BOLÍVAR**

**Tutora académica: Profa. Alba J. Castillo. Tutor Industrial: Ing. Pedro
Guerrero. Tesis. Caracas, U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Geología,
Minas y Geofísica. Departamento de Minas. 2005, páginas.**

Palabras claves: control, sedimentos, minería, indicadores, sustentabilidad.

Resumen

El proyecto de pequeña minería aurífera Hoja de Lata se encuentra ubicado en el municipio Sifontes del estado Bolívar, dentro de los linderos de la Reserva Forestal Imataca.

Por muchos años la minería se ha estado realizando de una manera irracional, ocasionando daños al ambiente. La excesiva producción de sedimentos afecta significativamente los cauces naturales de quebradas y ríos, degradando los ecosistemas terrestres y acuáticos.

Este trabajo de investigación tiene por objeto crear conocimientos y herramientas para el control de residuos sólidos en suspensión que son descargados en las fuentes hídricas de la región, en la cuenca del río Botanamo, a causa de la pequeña minería del oro en la zona de Hoja de Lata aportando a la búsqueda de desarrollo sustentable para la actividad de extracción mineral.

La investigación está orientada a que en el aprovechamiento de los recursos minerales se proteja el patrimonio natural y sea lo más racional posible, ofreciendo oportunidades de transferencia tecnológica que alineados con la aplicación de prácticas y tecnologías adecuadas de control de impacto ambiental, permitan al sector minero un desempeño compatible con el crecimiento económico, el desarrollo social y el equilibrio ecológico.

Como resultado de este trabajo se ha realizado un diagnóstico del proceso minero-ambiental identificándose que los principales agentes emisores de sedimentos son las lagunas de sedimentación, las pilas de material no conforme y la vía multiuso que intercepta la quebrada sin nombre. Además se determinaron indicadores de sustentabilidad económicos, sociales y ambientales que son útiles para el análisis y diseño de control de sedimentos. Por otra parte, se establece que las medidas de control y disposición de sedimentos a ser consideradas e implementadas por la Cooperativa Minera son: elaboración de barreras de protección, de impermeabilización, construcción de depósito para apilar el material no conforme, entre otros, con las correspondientes tecnologías que son necesarias implementar, Por último se correlacionan efectos ecológicos con factores sociales de uso del territorio a fin de alcanzar la sustentabilidad de la actividad minera.

AGRADECIMIENTOS

Gracias a Dios; a la Universidad Central de Venezuela por todos estos años de aprendizaje. Quiero agradecer muy especialmente a la profesora Alba Castillo por su gran colaboración, orientación, asistencia técnica y científica; al ingeniero Pedro Guerrero por su asesoría; al Centro de Desarrollo Científico y Humanístico por el apoyo financiero; al Instituto Nacional de Geología y Minería por su respaldo; al señor Jesús Cabeza y la Cooperativa Minera Hoja de Lata por su valiosa ayuda; al ingeniero Francisco Salas, al economista José Reyes, a María Bastidas y al Ministerio de Industrias Básicas y Minería; a los Profesores Manual García, Omar Márquez, Duilio Marcial, Gustavo Pérez, Miguel Castillejo, a los demás profesores y amigos estudiantes.

ÍNDICE GENERAL

LISTA DE TABLAS	i
LISTA DE FIGURAS	ii
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I INTRODUCTORIO	4
1.1 Planteamiento del Problema	4
1.2 Objetivos de la investigación	5
1.2.1 Objetivos General	5
1.2.2 Objetivos Específicos	5
1.3 Justificación de la investigación	5
1.4 Antecedentes de la investigación	6
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO	9
2.1 Oro	9
2.2 Minería en Pequeña Escala	10
2.3 Minería Subterránea	13
2.3.1 Arranque y Manejo de Material	14
2.4 Beneficio Mineral	15
2.4.1 Trituración, Molienda y Amalgamación	15
2.5 Principios de Sustentabilidad	17
2.5.1 Desarrollo Sustentable o Sostenible	17
2.5.2 Indicadores Locales para la Sustentabilidad	17
2.5.3 Gestión Ambiental	18
2.6 Control de Sedimentos	18
2.6.1 Sedimentos	19
2.6.2 Control de sedimentos	19
2.6.3 Transporte de Sedimentos	19
2.6.4 Disposición de Material No Conforme	20
2.6.5 Separación de Sólidos	20

2.6.6 Técnicas para el control de sedimentos	22
2.7 Calidad de Agua	26
2.7.1 Río Botanamo	26
2.7.2 Clasificación de las Aguas	27
2.7.3 Parámetros Físicos, Químicos y Biológicos	27
2.8 Suelos	31
2.8.1 Propiedades Intrínsecas	32
2.8.2 Clasificación de suelos	33
2.8.3 Relaciones Volumétricas	34
2.8.4 Esfuerzo Cortante en Suelos	34
2.9 Clasificación general de las reservas	35
2.9.1 Fórmula empírica para el cálculo del ritmo óptimo de producción	36
2.10 Aspectos Legales en Minería y Ambiente	36
CAPÍTULO III CARACTERIZACIÓN SOCIOECONÓMICA Y FÍSICO	
NATURAL DEL ÁREA DE ESTUDIO	43
3.1 Caracterización Socioeconómica	43
3.1.1 Estado Bolívar	43
3.1.2 Tumeremo	45
3.1.3 Hoja de Lata y San José de Anacoco	45
3.2 Caracterización Físico Natural	47
3.2.1 Clima e Hidrología	47
3.2.2 Vegetación y Fauna	49
3.2.3 Geomorfología y Suelos	50
3.2.4 Geología Regional y Local	52
CAPÍTULO IV PEQUEÑA MINERÍA DE ORO PROYECTO HOJA DE LATA	56
4.1 Antecedentes del Proyecto Minero	56
4.2 Acceso	56
4.3 Cooperativa Minera Hoja de Lata	57
4.3.1 Objeto económico y Capital financiero	58
4.4 Derechos Mineros y Superficie	58

4.5 Reservas de Oro en Hoja de Lata	58
4.5.1 Reservas Geológicas	59
4.5.2 Reservas Minables	60
4.6 Método de Explotación	60
4.7 Operaciones Básicas de Minería	60
4.7.1 Arranque de mineral	62
4.7.2 Carga y Acarreo	63
4.8 Beneficio Mineral	66
4.8.1 Trituración y Molienda	67
4.8.2 Amalgamación	68
4.9 Manejo de Colas	70
4.10 Proyecto Hoja de Lata a Futuro	71
CAPÍTULO V TRABAJOS DE CAMPO Y LABORATORIO	77
5.1 Trabajo de Campo	77
5.1.1 Datos Económicos	80
5.1.2 Datos Sociales	81
5.1.3 Datos Ambientales	81
5.1.4 Suministros o Insumos	84
5.1.5 Recolección de Muestras	84
5.2 Ensayos de Laboratorio	89
5.2.1 En Agua	89
5.2.2 En Suelos	90
CAPÍTULO VI ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	94
6.1 Indicadores Económicos	94
6.1.1 Cantidad de mena extraída	94
6.1.2 Producción aurífera	94
6.1.3 Tenor de mineral	94
6.1.4 Reservas y Vida óptima de explotación (VOE)	95
6.2 Indicadores Sociales	95
6.2.1 Población-Ocupación	95

6.2.2 Valoración de calidad de vida	96
6.3 Indicadores Ambientales	96
6.3.1 Generación de sedimentos	96
6.3.2 Mercurio utilizado	97
6.3.3 Sedimentos	97
6.2 Características y Propiedades de aguas y suelos	97
6.2.1 Agua	97
6.2.2 Suelos	101
CONCLUSIONES	103
RECOMENDACIONES	106
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	109
ANEXOS	113

LISTA DE TABLAS

Tabla 2.1 Clasificación de los cuerpos de agua de acuerdo a su uso asociado.	27
Tabla 2.2 Características de las aguas de calidad excelente o clase 1.	28
Tabla 2.3 Características de las aguas de calidad muy buena o clase 2.	29
Tabla 2.4 Características de las aguas de calidad buena o clase 3.	30
Tabla 2.5 Características de las aguas de calidad aceptable o clase 4.	31
Tabla 2.6 Clasificación del tamaño de grano según la norma ASTM.	34
Tabla 3.1 Coordenadas UTM del proyecto Hoja de Lata.	46
Tabla 5.1 Actividades realizadas en la primera etapa de campo.	78
Tabla 5.2 Actividades realizadas en la segunda etapa de campo.	79
Tabla 5.3 Extracción de mena y la producción de oro en Hoja de Lata en el mes de agosto de 2005.	80
Tabla 5.4 Listado con la ubicación de las muestras de aguas recuperadas en Hoja de Lata.	85
Tabla 5.5 Listado con la ubicación de las muestras de suelos recuperadas en Hoja de Lata.	88
Tabla 5.6 Resultados de ensayos físico-químicos en muestras de aguas.	89
Tabla 5.7 Resultados del ensayo granulométrico de la muestra de suelo denominada Pila 1.	91
Tabla 5.8 Resultados del ensayo granulométrico de la muestra de suelo denominada Pila 4.	91
Tabla 5.9 Resultados del ensayo granulométrico de la muestra de suelo denominada Pila 5.	91
Tabla 5.10 Resultados del ensayo granulométrico de la muestra de suelo denominada Pila 7.	92
Tabla 6.1 Comparación de resultados de laboratorio y límite máximo permisible de mercurio total.	98
Tabla 6.2 Comparación de resultados de laboratorio y límite máximo permisible de sólidos disueltos totales.	99
Tabla 6.3 Comparación de resultados de laboratorio y rango permisible de pH.	100

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 Valores de la producción de oro en Venezuela entre 1830 y 2001.	2
Figura 3.1 Ubicación de Venezuela en Suramérica.	44
Figura 3.2 Mapa de Venezuela.	44
Figura 3.3 División político territorial del estado Bolívar.	44
Figura 3.4 Variación anual de temperatura media en Anacoco.	48
Figura 3.5 Mapa geológico del Escudo de Guayana.	53
Figura 3.6 Provincias geológicas del Escudo de Guayana.	54
Figura 4.1 Fotografía mostrando carretera de acceso al proyecto Hoja de Lata, construida por MADERORCA.	57
Figura 4.2 Fotografía del campamento minero de Hoja de Lata.	57
Figura 4.3 Mapa del proyecto Hoja de Lata.	59
Figura 4.4 Fotografía que muestra la entrada o boca de un pozo o barranco en Hoja de Lata.	61
Figura 4.5 Diagrama que ilustra el perfil de un pozo o barranco en Hoja de Lata.	61
Figura 4.6 Fotografía de los sostenimiento con puntales de madera en la pequeña minería de oro proyecto Hoja de Lata.	62
Figura 4.7 Fotografía de veta mineralizada y frente de explotación a 100 m de profundidad aproximadamente.	62
Figura 4.8 Fotografía de dispositivos utilizados para la voladura de la roca.	63
Figura 4.9 Fotografía de los equipos usados para el arranque de la mena.	63
Figura 4.10 Fotografía donde se aprecia la carga de la mena en balde o “tina”.	64
Figura 4.11 Fotografía del winche o izadora.	64
Figura 4.12 Fotografía de la machina o torno manual.	65
Figura 4.13 Fotografía que muestra el llenado de sacos.	65
Figura 4.14 Fotografía del apilamiento y almacenamiento de los sacos de mena, esto se realiza cerca de los pozos.	66
Figura 4.15 Fotografía de la carga de camiones usados como transporte en Hoja de Lata.	66
Figura 4.16 Fotografía de la trituración de la mena aurífera mediante trituradora	67

de mandíbula.	67
Figura 4.17 Fotografía del molino de martillo.	67
Figura 4.18 Fotografía de la vista interna del molino de martillo.	68
Figura 4.19 Fotografía de la molienda del material y planchas amalgamadoras.	68
Figura 4.20 Fotografía del raspado de plancha con espátula.	69
Figura 4.21 Fotografía de la recolección de amalgama.	69
Figura 4.22 Fotografía de la separación del oro y mercurio por medio de llama directa.	70
Figura 4.23 Fotografía de una de las tanquillas o lagunas de sedimentación.	70
Figura 4.24 Fotografía de una de las lagunas de sedimentación final.	71
Figura 4.25 Fotografía del apilamiento de las colas.	71
Figura 4.26 Perfil de la mina Hoja de Lata a futuro.	73
Figura 4.27 Esquema general del beneficio mineral de la mina Hoja de Lata a futuro.	76
Figura 5.1 Copia de factura utilizada en el Proyecto Hoja de Lata, julio 2005.	81
Figura 5.2 Ubicación de lugares principales donde se realizó el trabajo de campo en Hoja de Lata.	82
Figura 5.3 Fotografía que muestra el lugar de corte entre la quebrada y la carretera.	83
Figura 5.4 Fotografía donde se aprecia que el material no conforme ni las lagunas de sedimentación poseen barreras protectoras.	83
Figura 5.5 Diagrama general sin escala. Se observa la distribución espacial del ABM A, el manejo de colas y la quebrada. También se aprecia los sitios donde se tomaron muestras de aguas y suelos.	86
Figura 5.6 Diagrama general sin escala. Se observa la distribución espacial del ABM B, el manejo de colas y la quebrada. También se aprecia los sitios donde se tomaron muestras de aguas y suelos.	87
Figura 6.1 Análisis granulométrico de muestras de suelos.	101

INTRODUCCIÓN

El caso del oro reviste una especial importancia porque su explotación ha sido considerada por algunos pensadores e historiadores como paradójica, inútil y hasta peligrosa. Hasta la creación de las monedas, que puso el oro en manos de las masas y expandió considerablemente la necesidad de ese metal, la mayor parte de la existencia era propiedad de monarcas y sacerdotes (Bernstein, 2002). Mas adelante, el patrón oro sustituyó en todo el mundo, al patrón plata utilizado hasta el siglo XIX. Desde 1800 a 1900 se extrajo más oro de las minas que en los cinco mil años precedentes (Green, 1981).

De acuerdo con Bernstein (2002) “El empleo del esfuerzo humano fue la técnica minera habitual hasta el mismo siglo XX. En un principio, los romanos excavaron hasta 200 metros de profundidad con el fin de extraer el mineral. Mas con un nuevo procedimiento, denominado barrido hidráulico, utilizaron fuertes chorros de agua para desintegrar las rocas y dejar al descubierto los terrenos auríferos. La técnica, aunque en extremo eficaz y productiva, acababa con montes enteros, destruía las tierras de labor y cegaba muchos ríos y puertos”.

En el caso venezolano, la extracción aurífera en pequeña escala de producción es tradicional, centenaria; primero fue sólo artesanal y progresivamente fueron aumentando los volúmenes extraídos en tiempos de la conquista y la colonia. Dice Bartolomé Tavera Acosta (1995), en su obra “Anales de Guayana” que en 1595, el inglés Walter Raleigh, fue el primero en tener la mejor visión acerca de la riqueza de Guayana, debido a que los indios, sus aliados, le regalaron calabacitos llenos de granos de oro de aluvión. Y fue Walter, el primero que llevó a Europa cuarzo blanco aurífero de las minas de Guayana.

Fue al parecer, en 1845 cuando por primera vez se descubrió la ocurrencia de oro en las arenas aluvionales del río Yuruari, afluente del Yuruán, que a su vez es tributario del Cuyuní (Arellano, 1947). En 1876 se inicio la comercialización del oro por compañías transnacionales en el estado Bolívar, particularmente en la región del río Yuruari, como describe Palacio (1937). Los valores de la producción de oro en Venezuela entre 1830 y 2001 se muestran en el gráfico de la figura 1.1.



Figura 1.1 Valores de la producción de oro en Venezuela entre 1830 y 2001. Valores tomados de las referencias técnicas: López (1981) y Anuario Estadístico Minero 2001 (MEM, 2002). Elaboración propia.

Los primeros depósitos explotados corresponden a los placeres auríferos donde se usaron tecnologías manuales de separación y uso de mercurio para la concentración y refinación del metal. Con el tiempo y agotamiento de placeres enriquecidos se inició el arranque con monitores hidráulicos en placeres y el arranque con métodos subterráneos en veta, desde el afloramiento rocoso y profundizando según el buzamiento del cuerpo mineral. La producción aurífera, tanto en minería a cielo abierto como en subterráneo ha aumentado progresivamente.

La minería es por principio una actividad que inevitablemente afecta el ambiente. No obstante puede ser ejercida causando el mínimo impacto negativo en el ambiente, siempre que sean adoptadas las medidas adecuadas por los promotores económicos y que los organismos competentes ejerzan la protección ambiental, la fiscalización y control de las actividades mineras.

Este trabajo está orientado a que en el aprovechamiento de los recursos minerales se proteja el patrimonio natural y sea lo más racional posible, ofreciendo oportunidades de transferencia tecnológica que alineados con la aplicación de prácticas y tecnologías adecuadas de control de impacto ambiental, permitan al sector minero un desempeño compatible con el crecimiento

económico, el desarrollo social y el equilibrio ecológico. Esto responde a la necesidad de aportar conocimientos para una política armónica de desarrollo económico y tecnológico del sector minero. Especialmente en el caso de la pequeña minería aurífera, que puede producir uno de los mayores impactos negativos en la naturaleza.

El objeto de este estudio es la actividad de pequeña minería aurífera subterránea en la zona de Hoja de Lata, en el estado Bolívar, con miras a controlar y disminuir los residuos sólidos en suspensión descargados en las fuentes hídricas de la región debido a las operaciones mineras de preparación y concentración mineral con técnicas de molienda y amalgamación. Con el fin de establecer un plan de manejo de estos residuos y asumiendo el control de sedimentos como indicador de sustentabilidad, se busca la viabilidad técnica ambiental del proyecto minero proporcionando también a los pequeños mineros herramientas para controlar y mitigar la descarga del particulado sólido en suspensión en los cuerpos de agua de la región.

En el capítulo I se plantea el problema, los objetivos, la justificación del trabajo, y se hace una revisión de los antecedentes relacionados con la pequeña minería, la sustentabilidad de esta actividad y el control de sedimentos.

El control de sedimentos en pequeña minería aurífera requiere el conocimiento de diversos aspectos teóricos, conceptuales y legales que se estudiarán en el capítulo II

El propósito del capítulo III es describir el ámbito espacial donde se realiza la pequeña minería de oro en Hoja de Lata., desde el punto de vista socioeconómico y físico natural.

En el capítulo IV se describen las principales características de la minería subterránea de oro que actualmente se desarrolla en la región

El trabajo de campo y de laboratorio está reflejado en el capítulo V.

En el capítulo VI se analizarán y se discutirán todos los resultados obtenidos en el capítulo anterior.

Finalmente están las conclusiones y recomendaciones.

CAPÍTULO I

INTRODUCTORIO

En el siguiente capítulo se busca introducir al lector en el tema de estudio, se plantea el problema, los objetivos, la importancia y la justificación del trabajo, se explica el contexto en que se desarrolla la investigación y se hace una revisión de los estudios previos relacionados con la pequeña minería, la sustentabilidad de esta actividad y el control de sedimentos.

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Por muchos años la minería se ha estado realizando de una manera irracional, ocasionando daños al ambiente, lo que la convierte en una actividad rechazada y mal vista por la mayoría de las personas. Aún así no se puede dejar a un lado los beneficios económicos y sociales que aporta a la región donde se desarrolla. Por tanto es necesaria la búsqueda de una minería sustentable para lograr un equilibrio entre los bienes socioeconómicos y los ambientales.

En este orden de ideas, la siguiente investigación se ocupa del caso del proyecto Hoja de Lata, en el estado Bolívar, donde se realiza pequeña minería de oro subterránea, que puede presentar problemas al ambiente, principalmente a fuentes hídricas, por la contaminación mercurial como resultado de la recuperación del oro.

Es una realidad la carencia económica y la baja calidad de vida que presentan los habitantes de comunidades locales, por lo que es necesario dar una salida a la problemática social y es obvio que se puede lograr mediante la minería debido a la abundancia en los recursos minerales que posee la zona. Por lo tanto, este trabajo tiene el objeto de proporcionar conocimientos y herramientas necesarias para la búsqueda de equilibrios en la actividad, llevando adecuado control de los sedimentos que se descargan en las fuentes hídricas de la zona.

1.2 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.2.1 Objetivo general

Crear conocimientos y herramientas para el control de residuos sólidos en suspensión que son descargados en las fuentes hídricas de la región, en la cuenca del río Botanamo, a causa de la pequeña minería del oro en la zona de Hoja de Lata aportando a la búsqueda de desarrollo sustentable para la actividad de extracción mineral.

1.2.2 Objetivos específicos

- Diagnosticar el proceso minero-ambiental, particularmente el transporte de sólidos en suspensión hídrica.
- Calcular indicadores de sustentabilidad útiles para el análisis y diseño de control de sedimentos.
- Establecer medidas de control y disposición de sedimentos.
- Determinar tecnología e infraestructura capaz de retener y adsorber fracciones de sedimentos en suspensión hídrica.
- Correlacionar efectos ecológicos con factores sociales de uso del territorio.

1.3 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

La excesiva producción de sedimentos afecta significativamente los cauces naturales de quebradas y ríos, degradando los ecosistemas terrestres y acuáticos. Además, aumenta la percepción pública negativa hacia la actividad minera y aleja la posibilidad cierta de la actividad de manera sustentable.

La importancia de la investigación radica en que en el estado Bolívar, en la zona de Hoja de Lata, se ha estimado un volumen de reservas auríferas de hasta 300.000 toneladas. Por otra parte, existe una tradición minera en la ocupación de mano de obra en la región, haciendo de esta actividad la principal forma de supervivencia. La demografía en la región ha aumentado progresivamente y la

presión social excesiva demanda estrategias viables para evitar la explosión social y la proliferación de la minería ilegal.

El proyecto en la zona de Hoja de Lata, ubicado en el municipio Sifontes del estado Bolívar, a 77 Km al sureste de la población de Tumeremo en la zona de Botanamo, es un proyecto del Viceministerio de Minas, del Ministerio de Industrias Básicas y Minería, MIBAM, que intenta dar salida a las presiones sociales de comunidades mineras, absorbiendo ocupación laboral de una gran cantidad de mineros, en 2.000 Ha de extensión aproximada.

La investigación se concentra en el manejo de residuos sólidos en suspensión, generados en operaciones de arranque en subterráneo y tratamiento mineral sobre la mena aurífera de granulometría fina con baja concentración de oro, que produce residuos finos. El objetivo de evaluación y análisis es el control, manejo y disposición final del particulado en suspensión hídrica. El alcance consiste en la conservación progresiva de factores ecológicos en el ecosistema natural y en el mejoramiento de la calidad de vida de las comunidades que habitan en la región.

1.4 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

A continuación se exponen los estudios previos que guardan relación con la investigación:

- Autora: Alba J. Castillo, (2005). Departamento de Minas. FI-UCV.

Título: Identificación de Reservas Minerales Sustentables.

Trabajo de Ascenso presentado ante la Universidad Central de Venezuela para optar a la Categoría de Profesora Asistente del Departamento de Minas de la Facultad de Ingeniería.

Objetivo: Actualizar el concepto de reserva mineral, con una visión de patrimonio geológico minero como activo natural y ambiental, que promueva la búsqueda de análisis de tasas de retorno ecológico y social, más allá del retorno económico.

Todo ello con el fin de fortalecer el cambio de actitud hacia el desarrollo sustentable en el aprovechamiento mineral.

- Autora: Aurora Piña, (2002). Departamento de Minas. FI-UCV.

Título: Indicadores de Sustentabilidad en la Toma de Decisiones para Creación de Distritos Mineros, Aplicados a Minería Metálica: Au y Fe, en el Estado Bolívar.

Trabajo Especial de Grado presentado ante la Universidad Central de Venezuela para optar al título de Ingeniero de Minas.

Objetivo: Incorporar racionalmente variables ambientales para la toma de decisiones, en la creación de Distritos Mineros Sustentables donde se desarrolle minería metálica en el estado Bolívar.

- Autor: CEPAL – SERIE Recursos naturales e infraestructura (2002)

Título: La Llamada Pequeña Minería: un renovado enfoque empresarial.

Objetivo: Analizar la situación de la pequeña minería y como ésta sufre de problemas institucionales, agravados por otros de carácter social y ambiental. Este documento examina sus características y propone un modelo genérico y flexible para atender a la población comprometida, basado en el concepto de desarrollar la ciudadanía para tener empresarios capaces.

- Autora: Janeth Matheus (en edición). Departamento de Minas. FI-UCV.

Título: Control de Sedimentos en la pequeña minería aurífera, Proyecto Bizkaitarra, Estado Bolívar.

Actualmente realizando su Trabajo Especial de Grado en la Universidad Central de Venezuela para optar al título de Ingeniero de Minas.

Objetivo: Crear conocimientos y herramientas para el control de los residuos sólidos en suspensión que son descargados en la cuenca del río Cuyuní, a causa del uso de monitores hidráulicos en la pequeña minería del oro en la zona del

proyecto Bizkaitarra, ubicado en el Km 85 del municipio Sifontes, del estado Bolívar.

- Autor: Organización Internacional del Trabajo, OIT (2002).

Título: Los Problemas Sociales y Laborales en las Explotaciones Mineras Pequeñas.

Programa de actividades sectoriales.

Objetivo: ...elevar la consideración de la minería en pequeña escala dentro de la OIT entre los interlocutores sociales para lograr que se aumente la asistencia en forma de medios para lograr que la minería en pequeña escala ofrezca un empleo seguro y productivo. Esto contribuirá inevitablemente a aumentar la productividad y remuneración, mejorar las condiciones de trabajo y de la salud y seguridad, mejorar la gestión de los recursos y disminuir su impacto ambiental.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

El control de sedimentos en pequeña minería aurífera requiere el conocimiento de diversos aspectos teóricos, conceptuales y legales que se estudiarán en este capítulo.

2.1 ORO

El oro (Au – del latín aurum) es el elemento atómico número 79 del sistema o tabla periódica de los elementos. Es un metal tanto pesado como noble; comercialmente es el más conocido de los metales nobles.

De acuerdo con López (1981) el oro es sumamente maleable y dúctil, es resistente; su límite de elasticidad es de 4 kilogramos por milímetro cuadrado, su carga de ruptura alcanza los 13 kilogramos por milímetro cuadrado. Es de fácil soldadura autógena. Es buen conductor eléctrico. Es buen aislante del calor y del frío. Su peso específico es de 19,32 gr-cm³; punto de fusión 1063°C; punto de ebullición 2530°C; dureza (escala de Mohs) 2,5; valencia 1,3; peso atómico 197,2; su forma cristalográfica es cúbica central, conteniendo cuatro átomos en los vértices.

El oro es uno de los metales menos activos químicamente, no se oxida ni se quema en el aire, es inerte a las soluciones alcalinas fuertes y a los ácidos. Para disolverlo químicamente se emplea un agente oxidante con otro capaz de formar complejos, como ocurre con la mezcla del ácido nítrico y clorhídrico, denominado “agua regía” porque puede disolver al rey de los metales.

El efecto del mercurio en el oro, conocido como amalgamación, ha sido conocido por centurias.

La pureza del oro se expresa en quilates o en partes por mil, considerándose puro cuando posee 24 quilates.

Tiene diversas aplicaciones industriales entre las cuales el mayor uso se le da en joyerías.

2.2 MINERÍA EN PEQUEÑA ESCALA

Durante la segunda mitad del siglo XX algunos países de América Latina propusieron una estratificación de la actividad minera, que por cierto no logró fructificar, basada en criterios tales como: tamaño de la producción, capital invertido y número de trabajadores vinculados a los procesos de extracción de minerales.

Esa estratificación que dividió a la industria en pequeña, mediana y gran minería condujo a los gobiernos en distintas épocas a ejecutar planes y programas en diversos frentes, sin mayor planificación integradora unos con otros; algunos se relacionaron con el fomento a la pequeña minería, estimularon las inversiones estatales en megaproyectos y otros crearon el clima necesario para la generación de negocios que captaran la inversión extranjera en gran minería (CEPAL, 2002).

En las conferencias de Ministros de las Américas celebradas en Buenos Aires, Argentina en 1998 y en Caracas, Venezuela 1999, así como en la conferencia de Ministros de Minería de la Unión Económica y Monetaria del África Occidental se han pronunciado sobre la necesidad de cambiar los enfoques de atención a la denominada pequeña minería. Todo lo anterior, sin mencionar los numerosos encuentros y eventos nacionales, binacionales y regionales que demuestran la importancia del tema minero en todo el mundo, especialmente en los países en vías de desarrollo.

El apoyo y fortalecimiento institucional de la formación ciudadana de las personas que se relacionan con la minería puede transformarse en una herramienta sumamente eficaz. La formación ciudadana junto a otras como la distribución del ingreso, la inversión social y la disciplina fiscal, pueden llegar a afianzar procesos de desarrollo y paz en las zonas en donde se desarrollen actividades extractivas que generalmente dañan el ambiente, reproducen el círculo de la pobreza, incuban peligros y generan violentos conflictos sociales alrededor de la tenencia, explotación y usufructo de las minas (CEPAL, 2002).

Según la Organización Internacional del Trabajo (OIT, 2002) el término minería en pequeña escala no significa lo mismo para todos, de acuerdo con una encuesta realizada por este organismo, para algunas personas es una actividad

sucia, peligrosa, destructora, que hay que desalentar y para otros es provechosa, productiva, o sencillamente el único medio de huir de la pobreza.

Como la mayor parte de las actividades económicas, la minería en pequeña escala tiene aspectos positivos y negativos. Está estrechamente vinculada al desarrollo económico, en particular en el sector rural de muchos países en desarrollo; contribuye a frenar la migración rural hacia las ciudades, manteniendo los vínculos entre las personas y la tierra; hace una gran contribución a las ganancias en divisas; permite explotar lo que de otro modo podrían ser recursos no económicos; y ha sido precursora de la minería en gran escala.

Muller (1997) explica que la pequeña minería se divide en: artesanal, semimecanizada y mecanizada.

- La minería artesanal es, según lo descrito en el Artículo 82 de la Ley de Minas (1999), “aquella que se caracteriza por el trabajo personal y directo en la explotación del oro y diamante de aluvión, mediante equipos manuales, simples y portátiles, con técnicas de extracción y procesamiento rudimentarios”.

Según Piña (2002) en el caso de equipos manuales se refieren a palas, picos, bateas, surucas, para los cuales el método de extracción es seleccionar el material contenido de oro y/o diamante por gravedad. Cuando se trata de oro se emplea la amalgamación con mercurio para separar y recuperar el oro contenido en los sedimentos.

- La minería semimecanizada es aquella que utiliza equipos mecánicos diesel para algunas de las operaciones de explotación o beneficio de minerales auríferos y/o diamantíferos. Se utilizan balsas, dragas, chupadoras con el fin de succionar sedimentos de lechos de ríos hasta las balsas donde se procesan según el material, también se emplean bombas hidráulicas, para remover grandes volúmenes de suelo, mediante ráfagas de agua a presión. La minería semimecanizada es empleada por asociaciones o grupos semiorganizados que trabajan en la misma zona y al igual que la minería artesanal el tipo de yacimiento es aluvional.

- La pequeña minería mecanizada es aquella donde se usan especializados equipos mecánicos diesel o eléctricos como: winches, picos, explosivos, martillos

eléctricos, palas, camiones, etc. por lo general la explotación es subterránea para vetas de oro.

De acuerdo con (CEPAL, 2002) la minería en pequeña escala se caracteriza por depender de diversos factores, tales como:

- Nivel de empleo, ya que brinda una actividad ocupacional a los pobladores.
- La escala de producción, que oscila entre un máximo anual de 15.000 toneladas de mineral al año hasta un máximo de 250.000 toneladas por año.
- El grado de mecanización, siendo generalmente bajo o escaso con la utilización de equipo elemental únicamente.
- El tipo de mina y de mineral que se extrae, así como la profundidad.

Con frecuencia, se utiliza la combinación de varios de esos elementos. En algunos casos estos criterios están contenidos en reglamentos y en otras partes hay directrices.

Según (CEPAL, 2002) las características de la pequeña minería son:

- Intensa utilización de mano de obra.
- Bajo desarrollo tecnológico.
- Abastecimiento de mercados locales.
- Amplia gama de productos.
- Deterioro ambiental.
- Alternativa laboral para sectores afectados por la pobreza.
- Precarias condiciones de seguridad e higiene.
- Conflictividad legal y social.
- Bajos costos de producción.
- Multiplicidad de actores.
- Variabilidad de volúmenes y tamaño por mineral y por región.
- Dinamizador de las economías locales.
- Ocurrencia universal.
- Generación de encadenamientos productivos locales.
- Potenciador de desarrollos geopolíticos.
- Potenciador de proyectos mayores.
- Explorador de nuevos yacimientos.
- Amplia distribución geográfica.

La pequeña minería puede generar a nivel local un sustancial poder adquisitivo y traducirse en una demanda de insumos de origen local (alimentos, equipos, herramientas, alojamiento) cuando los hay, o bien alentar su producción. La falta de capital financiero es un obstáculo a la mecanización y a la mejora de la eficiencia. Estos aspectos son a su vez causa de una baja productividad, bajos ingresos y bajos salarios, cuando se pagan. La consecuencia de esto es que los mineros tienden a hacer caso omiso de las medidas de cuidado de la salud, la seguridad y la protección del medio ambiente.

De acuerdo con el programa de actividades sectoriales (OIT, 2002) la minería en pequeña escala puede y debería ser alentada creando el entorno operativo que estimule la utilización de las mejores prácticas de minería, de salud y seguridad en el trabajo, así como de protección ambiental. Junto con las disposiciones institucionales que se ocupan de una aplicación efectiva de los reglamentos mediante instituciones gubernamentales sólidas e informadas, esto permitirá la progresión de la minería en pequeña escala.

2.3 MINERÍA SUBTERRÁNEA

Según Encarta (2005), las minas subterráneas son aquellas a las que se accede a través de galerías o túneles, o pozos verticales. La minería subterránea se puede subdividir en minería de roca blanda y minería de roca dura. Se habla de roca “blanda” cuando no exige el empleo de explosivos en el proceso de extracción.

La minería de roca dura utiliza los explosivos como método de extracción. En la mayoría de las minas de roca dura la extracción se realiza mediante perforación y voladura. Primero se realizan agujeros con perforadoras de aire comprimido o hidráulicas. A continuación se insertan barrenos en los agujeros y se hacen explotar, con lo que la roca se fractura y puede ser extraída. Después se emplean máquinas de carga especiales —muchas veces con motores diesel y neumáticos— para cargar la roca volada, acarrearla y más tarde se transporta a la planta de procesado, si es mineral, o al vertedero, si es material de desecho.

Para poder acceder al yacimiento de mineral hay que excavar una red de galerías de acceso, que se suele extender por la roca de desecho que rodea el yacimiento.

2.3.1 Arranque y Manejo de Material

Arranque

Como establece Borisov (1976), cualquiera que sea el método de explotación, el proceso general de labores de arranque se puede dividir en las operaciones de producción siguientes: arranque del mineral, o sea, separación de éste del macizo; carga y acarreo, es decir, traslado del mineral arrancado hasta las áreas de apilamiento, constituyendo parte de esta operación la evacuación o descarga del mineral; sostenimiento del espacio ya explotado.

En las explotaciones mineras subterráneas, el método de arranque más difundido es con empleo de barrenado y explosivos. En formaciones blandas, el arranque se practica con ayuda de martillos picadores y máquinas rozadoras.

Se distinguen tres modalidades de arranque con barrenado y explosivos: por barrenos, por perforaciones o barrenos profundos y por cámaras de mina. La eficacia del arranque con explosivos (por barrenos cortos o barrenos profundos) se caracteriza por los índices siguientes: a) productividad de trabajo del perforador en un turno; b) calidad de fragmentación del mineral; c) precisión del arranque.

Manejo de material

De acuerdo con Borisov (1976), se llama acarreo el transporte del mineral desde el lugar de su arranque hasta las galerías de transporte. El acarreo se compone de las operaciones de carga del mineral (en el vehículo de acarreo) y la evacuación del mismo. Se distinguen los modos de acarreo siguientes: por la gravedad; por cucharas de arrastre; por transportadores; por vagonetas; por máquinas cargadoras acarreadoras.

Muchas veces dentro de un mismo método de explotación, se practican distintos modos de acarreo en diferentes combinaciones. En las explotaciones de yacimientos poco inclinados, el acarreo se efectúa simultáneamente con el

transporte, ya que el mineral es cargado en los vehículos de transporte directamente en el tajo.

El sostenimiento de la excavación tiene como finalidad principal crear condiciones de trabajo seguras para los mineros. La firmeza de las rocas encajantes es el factor fundamental de la estabilidad del espacio explotado. No obstante, la tecnología de arranque propiamente dicha determina en mucho la estabilidad de la zona laborada. El espacio ya explotado es sostenido mediante pilares, almacenando el mineral, practicando el relleno y la entibación.

2.4 BENEFICIO MINERAL

Como se indica en Peláez (1981), las zafras tal como salen de las minas no suelen estar en condiciones apropiadas para ser vendidas o empleadas directamente en la industria y por ello deben someterse a un tratamiento previo que mejore sus características.

La preparación de minerales, es por consiguiente el conjunto de operaciones a que se someten las menas y minerales para obtener productos que satisfagan los requisitos del mercado. Generalmente durante el tratamiento se separan y recogen los minerales útiles y se descartan la mayoría de los inútiles o ganga, efectuándose una concentración ya que como consecuencia de dicha eliminación los minerales útiles se recogen en masas mas reducidas.

2.4.1 Trituración, Molienda y Amalgamación

Trituración

En general se considera como trituración la fragmentación de partículas en tamaños grandes y como molienda la producción de finos, sin que exista un criterio estricto para establecer límites entre las etapas.

Los equipos que se emplean en la trituración son diferentes, de acuerdo con la naturaleza del mineral a fragmentar. Para rocas duras o medianamente duras, se usan las trituradoras de mandíbulas y las giratorias; para rocas blandas, las trituradoras de cilindro y de impacto.

En las trituradoras de mandíbulas se efectúa la trituración por la presión que ejerce una placa o mandíbula móvil al aproximarse a otra fija. El eje de oscilación de la mandíbula móvil está situado generalmente en la parte superior del aparato, aunque hay modelos con disposiciones diferentes. El espacio entre ambas mandíbulas tiene forma de cuna con el vértice abajo, y el género lo atraviesa por gravedad, desde arriba, por donde se alimenta, hacia el extremo inferior, por donde descarga el material triturado.

Molienda

En Peláez (1981) se explica que en el molino de martillos el mineral se somete a la acción de choques violentos, que producen su fragmentación. En la mayoría de los aparatos se combina la percusión directa, golpeando al género con masas que se desplazan a gran velocidad, con la percusión indirecta, lanzando con fuerza los trozos minerales contra placas de choque fijas.

Los molinos de martillos consisten en varias series de martillos, o mazos, que están articulados, por uno de sus extremos a un eje que gira dentro de una cámara protegida con placas de acero. El equipo se alimenta por la parte superior, y la descarga, inferior, puede ser libre o estar regulada por una rejilla.

Amalgamación

Una amalgama es una aleación en la que uno de los componentes es el mercurio. La mayoría de los metales, excepto el hierro y el platino, forman amalgamas que pueden ser líquidas o sólidas. Los metales alcalinos se disuelven con facilidad en mercurio y sus amalgamas pueden contener determinados compuestos semimetálicos, como el NaHg_2 . La solubilidad del oro y de la plata en mercurio se utiliza para la extracción de estos metales de sus menas, por el llamado método de amalgamación.

La amalgamación es un proceso que utiliza mercurio para disolver plata u oro formando una amalgama. Este sistema ha sido sustituido en gran medida por el proceso con cianuro, en el que se disuelve oro o plata en disoluciones de cianuro de sodio o potasio.

2.5 PRINCIPIOS DE SUSTENTABILIDAD

2.5.1 Desarrollo Sustentable o Sostenible

Como establece Castillo (2005) para los miembros de la Conferencia Mundial sobre Medio Ambiente y Desarrollo o también llamada Comisión Brundtland, el concepto Desarrollo Sustentable o Sostenible está definido como “aquella forma de desarrollo que garantice la satisfacción de las necesidades del presente sin comprometer las capacidades de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades. La supervivencia humana y el bienestar pueden depender del logro de elevar el desarrollo sustentable a una ética global”.

Según Chesney (1993) el desarrollo sustentable es una posición filosófica que busca el equilibrio entre el ambiente y el desarrollo, entre el aprovechamiento de los recursos naturales y la protección del entorno.

Piña (2002) indica que no es sencillo definir a la minería desde el punto de vista de la sustentabilidad, pues son muchos los factores que caracterizan el desarrollo de la actividad minera, en los cuales los impactos ambientales resultan positivos y negativos, aunado a la percepción de personas involucradas en la actividad económica.

2.5.2 Indicadores Locales para la Sustentabilidad

De acuerdo con Wautiez y Reyes (1999) un indicador es una señal que muestra una tendencia. Es una herramienta para simplificar, medir y comunicar información. Un indicador permite representar un conjunto de datos en el tiempo y así visualizar los cambios generados por el comportamiento de las personas y los sistemas productivos. Los indicadores convencionales no nos muestran todo, pero nos pueden ayudar a ver como se ha mejorado o empeorado en el tiempo. Son una guía para nuestras acciones y decisiones.

Resulta un reto determinar la sustentabilidad de cualquier actividad económica, para lo cual es necesario conocer medidores de atributos físicos y sociales, incluidos ecológicos, socioculturales, socioeconómicos y geopolíticos, es decir, los indicadores de sustentabilidad.

Los Indicadores Locales de Sustentabilidad son sistemas de medición diseñados, desarrollados e investigados por la propia comunidad, que se adoptan a sus necesidades de conocer y de actuar, facilitando la acción y potenciando a los grupos que los desarrollan y utilizan (Wautiez y Reyes, 1999).

2.5.3 Gestión Ambiental

Conesa (1993) en la Guía metodológica para la Evaluación del Impacto Ambiental, define gestión ambiental como un conjunto de acciones encaminadas a lograr la máxima racionalidad en el proceso de decisión relativo a la conservación, defensa, protección y mejora del medio ambiente, basándose en una coordinada información multidisciplinaria y en la participación comunitaria.

Según Castillo y Matheus (2003) el espacio territorial es ordenado para darle cabida a actividades socioeconómicas diversas, que resuelvan la problemática de ocupación humana y laboral, a la vez que se aproveche de manera sustentable el potencial económico del espacio. Es por ello que es imprescindible apoyar técnica y científicamente a las actividades de pequeña minería, con una visión sistémica del espacio y de interrelaciones entre factores ecológicos e institucionales.

2.6 CONTROL DE SEDIMENTOS

El vertido en lechos de ríos, quebradas, lagos, etc., de sólidos en suspensión contenidos en aguas residuales, conducen a la formación y desarrollo de depósitos de fangos y aumentan las condiciones anaeróbicas de las zonas de vertido (Sans y Ribas, 1999) y aumentan los vectores de enfermedades tales como la malaria. Los factores contaminantes y las intervenciones en el ecosistema y en cuenca producen problemas de calidad y caudal de aguas y daños ecológicos. Los sólidos son vehículos para el transporte de metales pesados como el mercurio y es necesario controlar los aportes a cauces naturales.

2.6.1 Sedimentos

Según Castillo y Piña (2003) los sedimentos son las partes del suelo que se encuentran transportadas o en proceso de transporte por diversos medios erosivos y que van cambiando su aspecto y características físicas a medida que avanzan alejándose de la fuente original en un tiempo, hasta encontrar un lugar para su destino final temporal, como por ejemplo, una cuenca.

Las actividades mineras generan grandes cantidades de residuos sólidos, de los cuales los más importantes en función de volumen son los estériles y desechos (colas). Para el caso de las explotaciones mineras la erosión producida por el agua resulta ser la de mayor importancia, pues ésta es la que tiene mayores efectos perjudiciales en lo referente a la remoción y transporte de sedimentos.

Peck, Hanson y Thornburn (1983) establecen que el estado físico nos habla acerca de la forma en que encontraremos las partículas de sedimentos, después de un tiempo de transporte. Las partículas se pueden encontrar en estado sólido, líquido y hasta gaseoso. En estado sólido podemos nombrar las partículas que sedimentan o se mantienen en suspensión, las cuales dependen de su peso, estructura molecular y electrostática. En estado líquido, encontramos aquellas partículas que por su composición química, tiene oportunidad de disolverse cuando entran en contacto con el agua, a una granulometría también particular que permite la disolución. En estado gaseoso, las partículas que reaccionan con elementos o compuestos presentes en el agua, de los cuales los productos o subproductos de la reacción son gases. Igualmente, algunos gases pueden disolverse en líquidos.

2.6.2 Control de sedimentos

En este trabajo se define control de sedimentos a las acciones de prevenir, mitigar y corregir los aportes de sólidos suspendidos totales: suspendidos y disueltos a un cuerpo natural de agua.

2.6.3 Transporte de Sedimentos

Según Suárez (1993) las corrientes naturales de agua transportan materiales sólidos según diferentes mecanismos:

Al escurrir por la superficie de la cuenca e infiltrarse en las diferentes formaciones de suelos y rocas, las aguas de lluvia van disolviendo minerales tales como sal común, carbonato de calcio, yeso, etc., que luego son transportados en solución a lo largo de torrentes y los ríos, esto se denomina transporte en solución.

En el transporte en suspensión las partículas más finas de los suelos (arcillas, limos y arenas) pueden ser transportadas en suspensión por las corrientes fluviales y torrenciales. La tendencia de estos materiales a sedimentar es contrarrestada por la turbulencia, cuyas componentes oscilatorias dirigidas hacia arriba tiene la capacidad de levantar las partículas más finas y mantenerlas en suspensión en el agua. Según este mecanismo los sedimentos finos son transportados en el seno de la corriente, en un estado de flotación y agitación permanente, a pesar de tener un peso unitario mayor que el del agua.

En el arrastre a fondo las partículas de mayor tamaño (arena gruesa, grava, cantos rodados) son transportadas por las corrientes como arrastre de fondo. La turbulencia no posee la energía suficiente como para levantar esas partículas y mantenerlas en suspensión, pero la fuerza cortante del flujo en el fondo es capaz de moverlas, haciéndolas rodar y saltar unas sobre otras, especialmente durante las crecientes.

2.6.4 Disposición de Material No Conforme

En este estudio se define como material no conforme, sus siglas MNC, a aquel material (a granel) resultante del proceso de beneficio mineral aplicado en el proyecto Hoja de Lata, que por sus limitaciones en la reducción y liberación del oro, la amalgamación presenta dificultades al momento de aglutinar el mineral precioso por lo que requiere ser apilado en espera de la inversión y puesta en marcha de nueva tecnología de beneficio mineral en el proyecto a futuro.

2.6.5 Separación de Sólidos

Tal como explica Piña (2002) en el estado Bolívar, la producción de particulado sólido en suspensión hídrica por parte de la minería aurífera es una situación común y generalizada a las concesiones mineras.

Romero (1999) define sólidos totales como la materia que permanece como residuo después de evaporación y secado a 103°C. El valor de los sólidos totales incluye material disuelto y no disuelto (sólidos suspendidos).

Los sólidos disueltos o residuo filtrante, son determinados directamente o por diferencia entre sólidos totales y los sólidos suspendidos. Los sólidos suspendidos o residuo no filtrable o material no disuelto, son determinados por filtración a través de un filtro de asbesto o de fibra de vidrio, en un crisol de Gooch previamente pesado. El crisol con su contenido se seca a 103 – 105°C; el incremento de peso, sobre el peso inicial, representa el contenido de sólidos suspendidos o residuo no filtrable.

De la literatura sobre tratamiento de aguas residuales se citan los siguientes procesos físico-químicos.

Procesos Químicos de Separación Sólido-Líquido

Los procesos químicos son todos aquellos en los cuales la eliminación de los contaminantes del agua residual se lleva a cabo mediante adición de reactivos químicos o bien mediante las propiedades químicas de diversos compuestos. Entre los procesos químicos de separación sólido-líquido se tienen la adsorción y la precipitación química.

En el proceso de adsorción las moléculas, o iones, son retenidos sobre la superficie de un sólido. El sólido recibe el nombre de adsorbente y la sustancia que es adsorbida el nombre de adsorbato. (Sans y Ribas, 1999).

Procesos Físicos de Separación Sólido-Líquido:

Los procesos físicos son todos aquellos procesos de tratamiento de aguas residuales en los cuales se emplean fuerzas físicas para el tratamiento (Sans y Ribas, 1999). Entre este tipo de procesos tenemos: filtración, flotación, floculación y sedimentación. En este estudio se tomara en cuenta los procesos físicos de separación sólido-líquido de filtración y sedimentación.

La operación de filtración permite la eliminación de sólidos en suspensión. Se realiza, generalmente, a través de lechos filtrantes, compuestos de material granular, con o sin adición de productos químicos. También se pueden

utilizar micro tamices. La filtración en medios granulares se realiza a través de varios mecanismos de eliminación tales como el tamizado, intercepción, impacto, sedimentación y adsorción.

La sedimentación es la separación de los componentes del agua en dos fases, una fase sólida, que corresponde a los fangos y que está formada por partículas de sólidos suspendidos, más pesados que el agua, y que, por su gravedad se depositan en el fondo, y una fase líquida formada por el agua y compuestos en disolución (Sans y Ribas, 1999).

La sedimentación se puede ver afectada por los siguientes los factores:

- La naturaleza de las partículas: tamaño, distribución, forma, densidad, propiedades mineralógicas y químicas.
- La concentración de la suspensión o fluido.
- El tipo pretratamiento (en caso de existir): condiciones químicas, floculación, calentamiento o enfriamiento.

2.6.6 Técnicas para el control de sedimentos

Escombreras

Las actividades mineras producen una gran cantidad de materiales de desecho que plantean el problema de su almacenamiento en condiciones adecuadas de estabilidad, seguridad e integración en el entorno.

Las rocas estériles procedentes de la cobertera en las operaciones a cielo abierto o en las labores de preparación en las subterráneas se depositan, generalmente, como fragmentos gruesos en montones que constituyen las denominadas escombreras o depósitos. También se almacenan de la misma manera los rechazos de la plantas de tratamiento y concentración con una granulometría inferior a la de los materiales anteriores, pero sin llegar al rango de las arenas y lodos. Estos últimos residuos se albergan en estructuras semejantes a las presas.

Según Rodríguez y Ayala (1990) la elección del emplazamiento de una escombrera se debe basar en criterios de diversa naturaleza: técnicos, económicos, ambientales, socioeconómicos, etc.

Entre tos criterios específicos mas importantes se encuentran la distancia

de transporte desde la explotación hasta la escombrera, que afecta el costo total de la operación; la capacidad de almacenamiento necesaria, que viene impuesta por el volumen de estériles a mover; las alteraciones potenciales que pueden producirse sobre el medio natural y las restricciones ecológicas existentes en el área de implantación.

Los tipos de escombreras que pueden distinguirse de acuerdo con la secuencia constructiva de las mismas, en terrenos con pendiente que es el caso habitual, son con vertido libre, por fases adosadas, con dique de pie y por fases superpuestas.

La formación de vertido libre sólo es aconsejable en escombreras de pequeñas dimensiones y cuando no exista riesgo de rodadura de rocas aguas abajo. Se caracteriza por presentar en cada talud momento un talud que coincide con el ángulo de reposo de los estériles y una segregación de tamaños muy acusada.

Las escombreras con fases adosadas proporcionan unos factores de seguridad mayores, pues se consiguen unos taludes medios finales más bajos. La altura total puede llegar a suponer una limitación por consideraciones prácticas de acceso a los niveles inferiores.

Cuando los estériles que se van a verter no son homogéneos y presentan diferentes litologías y características geotécnicas, puede ser conveniente el levantamiento de un dique de pie con los materiales más gruesos y resistentes, de manera que actúen de muro de contención del resto de los estériles depositados.

El tipo de fases superpuestas y retranqueadas aporta una mayor estabilidad, por cuanto se disminuyen los taludes finales y se consigue una mayor compactación de los materiales.

La secuencia constructiva de una escombrera incide directamente sobre la estabilidad de tales estructuras y sobre la economía de la operación.

Normas para garantizar la estabilidad de las escombreras

Independientemente del tipo de escombrera, la primera norma a seguir consiste en la retirada de la vegetación y de los suelos del lugar de asentamiento. La descomposición de esa vegetación al cabo de cierto tiempo y la existencia de

una capa de suelo constituyen una zona de rotura probable por la resistencia la corte que presentan.

Si existe agua estancada en la base de apoyo deberá ser drenada antes de verter los primeros estériles o si esto no es posible, rellenar dichas zonas con material de escollera. En zonas de surgencia de acuíferos se procederá a la captación y drenaje de las mismas con la doble finalidad de evitar el efecto de las presiones intersticiales del agua en las escombreras y conservar las fuentes y manantiales.

Si la surgencia es puntual, la captación se hace mediante una arqueta construida sobre el terreno explanado. Desde esta se suele sacar una tubería flexible (PVC) de entre 50 y 75 mm de diámetro y exteriormente un tubo metálico de acero corrugado, flexible y muy resistente, que permita adaptarse a los asentamientos del terreno. Con este sistema se puede ir depositando los estériles encima y al mismo tiempo ir acoplando los tubos necesarios durante el avance.

Si en cambio, las surgencias de agua son extensas debe disponerse de una red de zanjas o tubos drenantes conectadas a unos colectores. La construcción de la zanja de drenaje puede ser de tipo "Francés" que consiste en la colocación en el interior de la misma de material granular protegido por un geotextil o lámina filtrante. El esquema es la existencia de una cuneta general en el pie de la escombrera sobre la que se descarga el agua de drenaje a través de unos colectores principales en los que confluyen otros secundarios.

La cuneta general que rodea a las escombreras debe estar situada a unos metros de la base, para evitar el estancamiento del agua y socavación del pie del talud por la acción erosiva de ésta.

Lagunas de sedimentación

De acuerdo con Rodríguez y Ayala (1990) la función principal de estas estructuras consiste en almacenar permanentemente los estériles sólidos y retener temporalmente los efluentes líquidos procedentes de las plantas de tratamiento. Cuando estos efluentes contienen contaminantes tóxicos, las presas deben ser diseñadas para albergar el agua durante un largo período de tiempo, hasta que se degraden las sustancias químicas perniciosas o hasta que se evapore el agua.

Las cuencas de sedimentación son necesarias aunque un buen sistema de drenaje se haya implementado en la mina. Durante la vida útil de la mina siempre habrá superficies expuestas a la acción de las aguas y del viento y por ende suministrando material transportado aguas abajo. Una mina puede tener varias cuencas de sedimentación de diversas capacidades.

Algunas recomendaciones de orden práctico deben ser seguidas para una sedimentación eficiente: usar un factor de seguridad 1,5 en el dimensionamiento de la cuenca; sin importar la profundidad de la cuenca, el volumen de la misma debe ser tal que permita un tiempo de residencia de por lo menos 24 horas; se debe evitar que se produzca alta velocidad del afluente, que puede volver a colocar en suspensión partículas ya sedimentadas; en este caso, es necesaria la instalación de disipadores de energía en la alimentación de la cuenca.

Procedimiento para el diseño de cuencas de sedimentación

El diseño de lagunas de sedimentación individuales o en circuitos, para explotaciones mineras donde haya producción de sedimentos, mediante el seguimiento de las siguientes pautas evitando así el aporte en el rango máximo posible de sedimentos en suspensión hídrica a los cauces naturales (Piña, 2002):

- Se necesita conocer las características del material a remover: contenido de arenas y arcillas, porcentaje de cada componente del material.
- Temperatura del ambiente en el cual se trabaja, para determinar la viscosidad cinética.
- Topografía de la zona donde se realizará la obra y el régimen hidráulico.
- Tiempo máximo de residencia de las aguas en la laguna, para ello se necesita conocer las características de los materiales, con la finalidad de determinar la velocidad de decantación.
- Caudal de material: agua y sedimentos, que van a ingresar en la laguna diariamente, semanalmente o mensualmente, para diseñar una laguna o secuencia de lagunas.
- Factor de seguridad, debe ser al menos de 1,5.
- Tiempo de residencia, de las aguas no debe ser menor de 24 horas.
- Diseño que permita albergar los sedimentos que se produzcan en al menos tres

años, con el caudal calculado anteriormente.

Ubicación y tamaño de las cuencas de sedimentación

Las cuencas o balsas de sedimentación son las últimas estructuras que se disponen en la cadena de la erosión. Sus funciones son: retener las aguas durante un período de tiempo suficiente que permita clarificarlas al decantarse los sólidos que arrastran en suspensión y posibilitar el almacenamiento de esos materiales hasta que se realice la limpieza de dichas estructuras.

Las balsas que más se utilizan son de dos tipos: las excavadas en el propio terreno, con o sin revestimiento y las construidas como pequeñas presas de tierra.

La ubicación de estas estructuras suele elegirse aguas abajo y en las proximidades del área donde se realizan las actividades extractivas o el vertido de los estériles. Se debe procurar que la interferencia con esos trabajos sea mínima y que exista un buen acceso a las balsas para realizar labores de mantenimiento y limpieza.

En cuanto a la capacidad de las balsas, esta debe ser tal que permita retener un determinado porcentaje de los sólidos en suspensión y simultáneamente, un volumen suficiente para su almacenamiento durante cierto período de tiempo.

2.7 CALIDAD DE AGUA

La calidad de un cuerpo de agua son las características físicas, químicas y biológicas de las aguas naturales que determinan su composición y utilidad al hombre y demás seres vivos.

2.7.1 Río Botanamo

Según Encarta (2004) el río Botanamo se localiza en el extremo oriental del estado de Bolívar. Con una longitud aproximada de 93 km, el Botanamo se forma en la altiplanicie de Nuria, desde donde desciende hacia el sur hasta confluir en el río Corumo, que es afluente del río Cuyuní, que posteriormente afluye al río Esequibo, en la Zona en Reclamación de la Guayana Esequiba. La importancia de este río estriba en el hecho de encontrarse en sus cauces

yacimientos auríferos de importancia, lo que ha generado, sin embargo, una explotación minera indiscriminada que ha repercutido negativamente en el medio ambiente. La tala masiva de bosques, la contaminación del agua por residuos mercuriales y el acelerado proceso de erosión ha afectado a la red hidrológica regional en su conjunto.

2.7.2 Clasificación de las Aguas

Como establece MARN (2005) en el Decreto 1508 que corresponde a la revisión del Decreto 883 en cuanto a las normas para el control de la calidad de los cuerpos de agua, las aguas se clasifican según se indica en la tabla 2.1.

Tabla 2.1 Clasificación de los cuerpos de agua de acuerdo a su uso asociado.

Fuente: MARN (2005)

Tipo de agua	Usos asociados
Excelente o Clase 1	Fuente de abastecimiento previo acondicionamiento para uso doméstico, protección de las comunidades hidrobiológicas, recreación de contacto total, riego de hortalizas y legumbres consumidas en crudo y frutas sin remoción de piel, riego de cultivos arbóreos, cereales y de forraje, cría natural o intensiva (acuicultura) de especies destinadas a la alimentación humana; abrevadero de animales; armonía paisajística; comercio y navegación; industrial.
Muy Buena o Clase 2	Fuente de abastecimiento previo acondicionamiento para uso doméstico, protección de las comunidades hidrobiológicas, recreación de contacto total, riego de hortalizas y legumbres consumidas en crudo y frutas sin remoción de piel, riego de cultivos arbóreos, cereales y de forraje, cría natural o intensiva (acuicultura) de especies destinadas a la alimentación humana; abrevadero de animales; armonía paisajística; comercio y navegación; industrial.
Buena o Clase 3	Fuente de abastecimiento previo acondicionamiento para uso doméstico, recreación de segundo contacto, riego de cultivos arbóreos, cereales y de forraje, cría natural o intensiva (acuicultura) de especies destinadas a la alimentación humana; abrevadero de animales; armonía paisajística; comercio y navegación; industrial.
Aceptable o Clase 4	Armonía paisajística; comercio y navegación; industrial.

2.7.3 Parámetros Físicos, Químicos y Biológicos.

Algunos de los parámetros físicos, químicos y biológicos, que definen los criterios para cada uso se presentan a continuación:

Aguas de calidad excelente o clase 1: son aquellas cuyas características corresponden con los límites y rangos presentados en la tabla 2.2.

Tabla 2.2 Características de las aguas de calidad excelente o clase 1.

Fuente: MARN (2005)

Parámetro	Límite o rango máximo
Aluminio	0,2 mg/l
Arsénico total	0,01 mg/l
Bario total	0,7 mg/l
Berilio	0,004 mg/l
Boro	0,3 mg/l
Cadmio total	0,003 mg/l
Calcio	200 mg/l
Cianuro total	0,07 mg/l
Cloruros	300 mg/l
Cobre total	0,2 mg/l
Cromo total	0,05 mg/l
Detergentes	1 mg/l
Fenoles	0,003 mg/l
Fluoruros	<1,5 mg/l
Hidrocarburos	Ausentes
Hierro	1 mg/l
Magnesio	70 mg/l
Manganeso	0,1 mg/l
Mercurio total	0,001 mg/l
Molibdeno	0,01 mg/l
Níquel	0,02 mg/l
Nitritos + Nitratos (N)	10,0 mg/l
Oxígeno Disuelto	> 5 mg/l
ph	6,5 -8,5
Plata total	0,05 mg/l
Plomo total	0,01 mg/l
Selenio	0,01 mg/l
Sodio l	140 mg/
Sólidos disueltos totales	1300 mg/l
Sulfatos	340 mg/l
Vanadio	0,1 mg/l
Zinc	5,0 mg/l
Biocidas Organoclorados	0,02 mg/l
Biocidas Organofosforados	0,1 mg/l
Coliformes totales	Media geométrica de al menos 5 muestras mensuales menor a 1000 organismos /100ml
Coliformes fecales	Media geométrica de al menos 5 muestras mensuales menor a 75 organismos /100ml
Enterococos	Media geométrica de al menos 5 muestras mensuales menor a 25 organismos /100ml
Actividad alfa	0,1 Bq/l
Actividad beta	1,0 Bq/l

Aguas de calidad muy buena o clase 2: son aquellas cuyas características corresponden con los límites y rangos presentados en la tabla 2.3.

Tabla 2.3 Parámetros de aguas de calidad muy buena o clase 2. MARN (2005)

Parámetro	Límite o rango máximo
Aluminio	0,2 mg/l
Arsénico total	0,05 mg/l
Bario total	0,7 mg/l
Bicarbonatos	370 mg/l
Boro	0,3 mg/l
Cadmio total	0,003 mg/l
Calcio	200 mg/l
Carbonatos	5 mg/l
Cianuro total	0,07 mg/l
Cloruros	250 mg/l
Cobre total	0,2 mg/l
Conductividad específica	2000 (uS/cm)
Cromo total	0,05 mg/l
Detergentes	1,0 mg/l
Fenoles	0,003 mg/l
Fluoruros	< 1,5 mg/l
Hidrocarburos	Ausentes
Hierro total	1,0 mg/l
Litio	2,5 mg/l
Magnesio	70 mg/l
Manganeso total	0,2 mg/l
Mercurio total	0,001 mg/l
Molibdeno	0,01 mg/l
Níquel	0,02 mg/l
Nitratos + Nitritos	10 mg/l
Oxígeno disuelto	>5 mg/l
ph	6,5 – 8,5
Plata	0,05 mg/
Plomo	0,01 mg/l
Sodio	140 mg/l
Sólidos totales disueltos	1300 mg/l
Selenio	0,02 mg/l
Sulfatos	340 mg/l
Vanadio	0,1 mg/l
Zinc	5,0 mg/l
Potasio	20 mg/l
Coliformes totales	Media geométrica de al menos 5 muestras mensuales menor a 1000 /100ml
Coliformes fecales	Media geométrica de al menos 5 muestras mensuales menor a 100 /100ml
Enterococos fecales	Media geométrica de al menos 5 muestras mensuales menor a 35 /100ml

Aguas de calidad buena o clase 3: son aquellas cuyas características corresponden con los límites y rangos presentados en la tabla 2.4.

Tabla 2.4 Características de las aguas de calidad buena o clase 3.

Fuente: MARN (2005)

Parámetro	Límite o rango máximo
Aluminio	1,0 mg/l
Arsénico total	0,05 mg/l
Bario total	1 mg/l
Bicarbonatos	370 mg/l
Boro	1,0 mg/l
Cadmio total	0,005 mg/l
Calcio	200 mg/l
Carbonatos	5 mg/l
Cianuro total	0,2 mg/l
Cloruros	250 mg/l
Cobre total	0,2 mg/l
Cromo total	0,05 mg/l
Detergentes	1,0 mg/l
Fluoruros	< 1,5 mg/l
Hidrocarburos	Sin película visible
Hierro total	5,0 mg/l
Litio	2,5 mg/l
Magnesio	70 mg/l
Manganeso total	0,2 mg/l
Mercurio total	0,001 mg/l
Molibdeno	0,01 mg/l
Níquel	0,02 mg/l
Oxígeno disuelto	>5 mg/l o al 60 % del valor de saturación
ph	6,5 – 8,5
Plata	0,05 mg/
Plomo	0,05 mg/l
Sólidos totales disueltos	1300 mg/l
Selenio	0,02 mg/l
Sulfatos	340 mg/l
Vanadio	0,1 mg/l
Zinc	5,0 mg/l
Potasio	20 mg/l
Coliformes totales	Media geométrica de al menos 5 muestras mensuales menor a 1000 /100ml
Coliformes fecales	Media geométrica de al menos 5 muestras mensuales menor a 100 /100ml

Aguas de calidad aceptable o clase 4: son aquellas cuyas características corresponden con los límites y rangos presentados en la tabla 2.5.

Tabla 2.5 Características de las aguas de calidad aceptable o clase 4.

Fuente: MARN (2005)

Parámetro	Límite o rango máximo
Aluminio	1,5 mg/l
Arsénico total	0,05 mg/l
Bario total	1,0 mg/l
Boro	5,0 mg/l
Cadmio total	0,01 mg/l
Cianuro total	0,2 mg/l
Cobre total	2 mg/l
Cromo total	0,5 mg/l
Detergentes	1,0 mg/l
Fenoles	0,3 mg/l
Fluoruros	< 1,5 mg/l
Hidrocarburos	Sin película visible
Hierro	5,0 mg/l
Mercurio total	0,001 mg/l
Oxígeno disuelto	>2 mg/l
ph	3,8 – 10,5
Plata total	0,05 mg/
Plomo total	0,05 mg/l
Selenio	0,01 mg/l
Zinc	5,0 mg/l
Biocidas Organoclorados	0,2 mg/l
Biocidas Organofosforados	0,1 mg/l
Coliformes totales	Media geométrica de al menos 5 muestras mensuales menor a 20000 /100ml
Actividad alfa	0,1 Bq/l
Actividad beta	1,0 Bq/l

2.8 SUELOS

Como establece Marín (1991) los suelos son producto de la descomposición de las rocas por procesos físico-químicos. Entre los procesos físicos podemos citar principalmente a la fatiga y el desgaste; los cambios de temperatura, la acción del agua corriente, el viento, etc.

La descomposición de la roca también ocurre por fenómenos químicos de los minerales constituyentes. Las principales clases de esta descomposición, desilicización, disolución directa en el agua, o la combinación de estos procesos.

Las arenas, las gravas y ciertos limos inorgánicos son originados por procesos físicos, y algunos limos y, en general todos los suelos arcillosos, son originados generalmente por la meteorización química de los minerales de la roca.

Los materiales producto de la descomposición de la roca, posteriormente son transportados, por el agua o por el viento a lugares distantes, formando a su vez depósitos nuevos que cubren la corteza de las rocas originarias o anteriores. Estos suelos son catalogados como suelos transportados.

No todos los suelos son transportados a distancia de su roca originaria: suelos residuales son aquellos que permanecen sobre o asociados a la misma roca que les dió origen. En toda forma debe suponerse que los suelos residuales posteriormente deberán ser transportados a lugares distantes.

Los depósitos homogéneos son aquellos que tienen un solo tipo de material, sea arcilla o arena, variando ciertas características locales como humedad, graduación, pero que en general se trata de un mismo tipo de suelo. Los depósitos heterogéneos son aquellos formados por estratos de varios tipos de suelos.

2.8.1 Propiedades Intrínsecas

De acuerdo con Marín (1991) las características físicas, llamadas propiedades índices de los suelos, que pueden llevarnos a localizar y diferenciar las características de un suelo en relación a otro, y al mismo tiempo, prever su comportamiento mecánico, son: granulometría, plasticidad y peso específico.

Granulometría

El análisis granulométrico o análisis mecánico de un suelo consiste en separar y clasificar por tamaños las partículas que lo componen, determinando en porcentaje del peso total la cantidad de granos de distintos tamaños que contiene dicho suelo.

Plasticidad

Ugas (1985) señala que la característica típica de los materiales finos es la plasticidad. La plasticidad es más bien un fenómeno electroquímico de los materiales finos, particularmente arcillosos.

La plasticidad es la capacidad de un suelo para tomar formas diversas. Convencionalmente se supone que los suelos a medida que disminuyen su contenido de humedad va pasando por diferentes estados. Si un suelo está en solución con el agua puede disminuir por evaporación el contenido del agua, hasta convertirse en un barro fluido que poco a poco puede adoptar una forma con ligera deformación: en este caso, se dice que el suelo ha pasado del estado líquido al estado plástico.

Los suelos pueden ser de alta, media o baja plasticidad. A medida que los suelos aumentan su porcentaje de finos (menor que el tamiz N° 200) generalmente la plasticidad tiende a aumentar, sin embargo, la plasticidad no está precisamente en relación directa con el porcentaje de finos.

Peso Específico

De acuerdo con Ugas (1985) el concepto de peso específico en la mecánica de suelos se aplica generalmente a la relación de peso respecto al volumen. El uso acostumbrado de términos ha llevado a denominaciones que generalmente se prestan a confusiones. Así por ejemplo, al peso específico se lo llama peso unitario y en algunas ocasiones densidad.

El peso específico se denomina peso unitario. Entre los pesos unitarios podemos tener: a) Peso unitario del agua, que es la relación entre el peso y el volumen del agua; b) Peso unitario del suelo, incluye la parte sólida, líquida y gaseosa; c) Relación entre el peso y el volumen total del suelo, que eventualmente lo llamaremos peso unitario total o húmedo.

2.8.2 Clasificación de suelos

En este estudio la clasificación de suelos se hará siguiendo la norma ASTM (American Society for Testing and Materials) por ser de uso frecuente. En

la tabla 2.6 se observa como se clasifican los suelos según el tamaño de grano de acuerdo al criterio ASTM.

Tabla 2.6 Clasificación del tamaño de grano según la norma ASTM.

Fuente: Ugas (1985)

Norma	Tamaño de la partícula d(mm)						
ASTM	Grava		Arena			Limo	Arcilla
	Gruesa	Fina	Gruesa	Media	Fina		
	76,1	19	4,76	2	0,42	0,074	0,002

2.8.3 Relaciones Volumétricas

Marín (1991) indica que una masa de suelo se considera constituida por partículas sólidas, agua y vacíos o espacios huecos generalmente con aire o gas. De aquí que podríamos hablar de volumen de sólidos, volumen de agua y volumen de aire; asimismo, peso del sólido, peso del agua y peso del aire comprimido.

Las relaciones de volúmenes que son usadas frecuentemente en la mecánica de suelos son: la porosidad, la relación de vacíos y el grado de saturación.

Porosidad, Relación de Vacíos y Saturación

La porosidad de la masa sólida se define como la relación entre el volumen de vacíos y el volumen total de la muestra.

La relación de vacíos se define como la relación entre el volumen de vacíos y el volumen de sólidos.

El grado de saturación se define como la relación entre el volumen de agua y el volumen de vacíos.

2.8.4 Esfuerzo Cortante en Suelos

La determinación del esfuerzo cortante de los suelos se hace siguiendo dos conocidos tipos de pruebas, de corte y triaxial.

Según Ugas (1985) el ensayo de corte debe seguir un procedimiento tal

que permita el comportamiento más representativo del prototipo en el modelo. El método de ensayo deberá simular las condiciones naturales tan similares como sea posible. Dos condiciones importantes que deben tener similitud son la velocidad de corte y las condiciones de drenaje de la probeta. Dependiendo de la velocidad con que se produce el corte los ensayos pueden ser rápidos o lentos y según las condiciones de drenaje se considera que el sistema puede ser abierto o cerrado, es decir, drenado y no drenado respectivamente.

Ensayo de corte directo

La muestra de suelo se coloca en una caja dividida en dos partes por un plano de simetría horizontal. Las dos mitades se mantienen unidas por medio de la muestra sometida a un esfuerzo normal constante.

La mitad superior se mantiene fija y la mitad superior se desplaza horizontalmente aplicando un esfuerzo, el cual se incrementa hasta producir la rotura. Durante el proceso se miden los desplazamientos horizontales y verticales que sufre la muestra.

La resistencia al corte de las arenas depende de la forma y tamaño de los granos, del contenido de humedad y de la velocidad con que se realiza el corte. Las arenas secas o con poca humedad pueden estar ligeramente cementadas; la humedad hace aparecer una cierta cantidad de cohesión; en ambos casos esta resistencia adicional, que puede desaparecer ocasionalmente, se le denomina cohesión aparente.

2.9 CLASIFICACIÓN GENERAL DE LA RESERVAS

Se dividen en dos grandes grupos:

Reservas probadas

Se basa en una información fidedigna, medible y garantizada, auditoriable por su nivel de credibilidad. Estas reservas a su vez se dividen en: Reservas explotables y Reservas no explotables. Las primeras son desarrollables, y se definen como reservas productoras, son rentables y aprovechables

comercialmente; las segundas se enmarcan dentro de las no desarrollables y son consideradas como no productoras por su condición estratégica.

Reservas No Probadas

Emplea una información semireconocida, presumible y especulativa, reportable por su nivel de credibilidad. Se subdividen en: Reservas probables y Reservas posibles. Las probables se caracterizan por la discontinuidad de la información obtenida en los puntos de observación prospectivas. Las Reservas posibles son correlacionables y altamente especulativas, pero permiten ser inferibles para su proyección en el futuro, en consecuencia se definen como extensibles.

2.9.1 Fórmula empírica para el cálculo del ritmo óptimo de producción

De acuerdo con Bustillo (2000) existen en la literatura algunas fórmulas de estimación del Ritmo Óptimo de Producción y Vida Óptima de explotación a partir de las reservas que se consideran explotables dentro de un yacimiento.

La Regla de Taylor (1976) que según su autor es aplicable a cualquier tipo de depósito mineral y es independiente del método de explotación utilizado.

La formula original propuesta por Taylor es:

$$\text{VOE (Años)} = 6,5 (\text{Reservas-Mt})^{0,25} \cdot (1\pm 0,2)$$

Y si se desea determinar el ritmo Óptimo de Producción se transforma en:

$$\text{ROP (Mt/año)} = 0,25 (\text{Reservas-Mt})^{0,75} \cdot (1\pm 0,2)$$

2.10 ASPECTOS LEGALES EN MINERÍA Y AMBIENTE

El proyecto de pequeña minería aurífera Hoja de Lata se encuentra ubicado dentro de los linderos de la Reserva Forestal de Imataca (de ahora en adelante RFI), la cual fue creada conforme a la Resolución N° 47 del Ministerio de Agricultura y Cría MAC, de fecha 6 de febrero de 1961, publicada en Gaceta Oficial de la República de Venezuela GO N° 26.478 de fecha 9 de febrero de 1.961, bajo el nombre de Reserva Forestal Selva El Dorado, distrito Roscio del estado Bolívar, con una superficie aproximada de 600.000 Ha.

Dos años más tarde el MAC modificó lo anterior, mediante la Resolución N° 15, de fecha 7 de enero de 1963, publicada en GO No. 27.044 de fecha 8 de enero de 1963, donde se resuelve la ampliación de la misma hasta los ahora municipios Piar y Roscio del estado Bolívar y los Departamentos Tucupita y Antonio Díaz del entonces Territorio Federal Delta Amacuro, pasando a denominarse Reserva Forestal de Imataca, con una superficie aproximada de 3.202.250 Ha. Dicha reserva, como Área Bajo Régimen de Administración Especial (ABRAE), está sujeta a una reglamentación de los usos y actividades permitidas dentro de la misma mediante aprobación y publicación de su Plan de Ordenamiento y Reglamento de Usos (PORU).

El Ministerio de Industrias Básicas y Minería (MIBAM), presentó ante el Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales (MARN) el Programa Organización y Desarrollo Sustentable de la Pequeña Minería en la Región Guayana, el cual ha sido concebido en el marco de la reactivación económica del programa de desarrollo nacional. Particularmente se estimó la reorganización de aproximadamente 40.000 pequeños mineros sobre la base del desamparo e ilegalidad en que se encuentran los mismos. La Ley de Minas del año 1945 contemplaba las figuras para la extracción mineral del Denuncio y el Libre Aprovechamiento. Posteriormente se promulgó el Decreto N° 2.039 de fecha 15 de febrero de 1977, el cual prohibía la práctica de las modalidades del Denuncio Minero y la del Libre Aprovechamiento. Esto generó la situación de ilegalidad de un gran número de mineros que explotaban en pequeña escala oro y diamante en toda la región de Guayana.

Con la promulgación del Decreto-Ley N° 295 con Rango y Fuerza de Ley de Minas de fecha 28 de septiembre de 1999, este gran número de mineros puede ser acogido por figuras legales contenidas en sus normas, entre ellas tenemos las Autorizaciones de Explotación para el ejercicio de la Pequeña Minería, las Mancomunidades Mineras y la Minería Artesanal.

La nueva Ley de Minas (1999) establece por primera vez en la legislación nacional el principio de desarrollo sostenible, el cual implica el ejercicio de la actividad minera en concordancia con aspectos ambientales, de ordenación del territorio, de estabilidad económica y de responsabilidad social, conjugados con

principios de racionalidad y óptima recuperación del recurso. Consagra una nueva figura distinta de la concesión tradicional, para tener una minería de menor escala, como es, la pequeña minería. Este sistema constituye un régimen flexible que permite brevedad en sus trámites administrativos para explotar pequeños espacios. Se otorga mediante autorización de explotación, la cual es a título precario, lo que significa que no confiere derechos reales y sólo puede ser ejecutada por los venezolanos, (esto se encuentra actualmente en discusión para una enmienda).

Dentro del principio del desarrollo sostenible, hay dos aspectos de fundamental importancia para el MARN, estos son el ambiente y la ordenación del territorio. En tal sentido, tenemos que Hoja de Lata se localiza dentro de la RFI y únicamente puede ser explotada con estricta sujeción a las normas técnicas que establezca el MARN.

En el año 1976, se promulgó la Ley Orgánica del Ambiente (LOA), con el objeto de establecer dentro de la política del desarrollo integral de la nación los principios rectores para la conservación, defensa y mejoramiento del ambiente en beneficio de la calidad de vida. Declara de utilidad pública la conservación, la defensa y el mejoramiento del ambiente, la cual comprende la ordenación territorial en función de los valores del ambiente; el aprovechamiento racional de los recursos naturales; la creación, protección, conservación y mejoramiento de las reservas forestales, entre otras áreas naturales; y el control de los procesos que puedan ocasionar perjuicios a la vida natural, entre otros.

En el año 1983 se publicó la Ley Orgánica para la Ordenación del Territorio (LOPOT), con el objeto de establecer las disposiciones que regirán el proceso de ordenación del territorio en concordancia con la estrategia de desarrollo nacional. Esta ley establece las ABRAE y acoge a las reservas forestales como una de ellas, bajo el principio de que son áreas del territorio nacional sometidas a un régimen especial de manejo conforme a las leyes. También se ordena la elaboración del respectivo plan de ordenamiento y su reglamento de uso, el cual establece los lineamientos, directrices y políticas para la administración de la correspondiente área, así como la orientación para la asignación de usos y actividades permitidas. Por otra parte, esta ley prevé como

figura de control de gestión en la ordenación del territorio, las autorizaciones y/o aprobaciones de la ocupación del territorio, conocida como AOT.

La RFI ha sido zonificada por el MARN (en 1985) con la finalidad de orientar su incorporación planificada al manejo forestal integral. Actualmente, se ha planteado una nueva la zonificación de la RFI para incorporar además actividades de pequeña minería con la finalidad de legalizar esta actividad en la zona y garantizar un uso racional de los recursos en el área.

En el año 1997, se dictó el PORU de la RFI, de conformidad con la LOPOT, con el objeto de: “normar las actividades del manejo integral sostenible, regulando y promoviendo el uso racional del espacio y de los recursos naturales, a fin de lograr el mayor bienestar de la población, la conservación del ambiente y la seguridad y defensa nacional”.

En el año 2002 se publicó el Decreto N° 1.634 en la GO de la República Bolivariana de Venezuela N° 37.359 de fecha 08 de enero de 2002. En este se dicta la reforma del Decreto sobre Organización y Funcionamiento de la Administración Pública Central y se establece como competencias del MARN: “La conservación, defensa, manejo, restauración, aprovechamiento, uso racional y sostenible de los recursos naturales y de la biodiversidad; el manejo y control de los recursos forestales y la administración de las áreas bajo régimen de administración especial que le correspondan”, entre otras competencias.

El PORU de la RFI aprobado en septiembre de 2004 a través del Decreto 3110 establece mayores porcentajes de preservación de la reserva, en comparación con el decreto anterior, el 1850. Este nuevo PORU propone un área equivalente al 12 por ciento de área total de la reserva forestal (451.149, 9 Ha) para el uso forestal minero, mientras el decreto 1850 proponía un área equivalente al 38 por ciento de la reserva.

Así mismo, establece el 23,1 por ciento del área total de la reserva forestal (867.039 Ha) sea destinado para el uso de protección, conservación y recuperación, el decreto anterior planteaba únicamente el 3,5% del área total. Otro aspecto importante es que este decreto favorece la permanencia de los pueblos y comunidades indígenas en el ámbito de la RFI.

En este sentido y en función de la localización del terreno de Hoja de Lata, dentro de la RFI, el cual tiene como particularidad la presencia de afloramientos rocosos pertenecientes a la Provincia Geológica Pastora (Súper Grupo Pastora y Grupo Botanamo) que forman parte del denominado Cinturón de Rocas Verdes, cuyo potencial económico está determinado por la presencia de recursos mineros y por la cual se asignó como uso permitido el “Uso Minero”, sobre la base de que es un uso fundamentado tomando en consideración la vocación natural de los espacios, sus restricciones ecológicas, los factores de interés nacional y la dinámica social y económica de la región. El uso minero está referido a la prospección, exploración, explotación, procesamiento, transformación y transporte de minerales metálicos y no metálicos y las actividades mineras dentro de la Reserva se llevarán a cabo con sujeción a las disposiciones contenidas en las normas técnicas para el control de la afectación del ambiente por la actividad que dicte el Ejecutivo Nacional y por las demás normativas aplicables en materia ambiental.

De esta forma, se aprecia que el proyecto piloto para la actividad de la pequeña minería que se lleva a cabo dentro de Hoja de Lata, por el MIBAM, se fundamenta en la necesidad de reordenar y reactivar las actividades del sector minero, como parte del plan integral de desarrollo y reactivación económica, bajo la tutela de la nueva Ley de Minas, la cual establece: “La organización de la pequeña minería constituida por un considerable número de personas que se dedican a la extracción del mineral de oro y diamante, y que el establecimiento de estas áreas para el desarrollo de esta actividad, permitirá promover, planificar, controlar y fiscalizar las actividades de ese sector de la economía, con el propósito de establecer mecanismos que conduzcan a un aprovechamiento racional y eficiente de los recursos minerales”.

Actualmente en Venezuela la actividad de pequeña minería se consagra en el Título IV, Capítulo I, Sección Primera, Artículos 64 al 76 de la Ley de Minas, así como en el Título III, Capítulo I, Sección I, Artículos 38 al 55 de su Reglamento; esta figura está concentrada específicamente en la explotación del oro y el diamante, los cuales han adquirido una gran importancia en la actividad económica de la región y con el propósito de reorganizar y reactivar las

actividades del sector minero como parte de un plan de integración de desarrollo económico.

El Ejecutivo Nacional, por órgano del MEM, publicó en la GO de la República Bolivariana de Venezuela N° 37.594, de fecha 18 de diciembre de 2002, la Resolución N° 347 de la misma fecha, mediante la cual se establece para el desarrollo de la actividad de pequeña minería un área denominada Hoja de Lata, ubicada en la jurisdicción del municipio Sifontes del estado Bolívar, con una superficie total de 1.946,76 Ha.

El proyecto Hoja de Lata nace de la necesidad de organizar y legalizar a los pequeños mineros que ejercen la minería individual y artesanal, mediante cooperativas que les permitan generar trabajo en forma inmediata y permanente, mejorar la calidad de vida y los ingresos de las poblaciones aledañas.

Estos mineros tienen cifradas sus expectativas de bienestar y progreso en la ejecución de proyectos de financiamiento para la pequeña minería que adelanta el MIBAM, y el Banco de Desarrollo Social, lo cual constituye una salida inmediata a la problemática socioeconómica de la región.

En este sentido, la política del Ejecutivo Nacional ha sido la de otorgar autorizaciones de explotación, por intermedio del MIBAM, para la ejecución y desarrollo de proyectos de pequeña minería de oro y diamante, como por ejemplo en el área de Hoja de Lata y otras que se seleccionen para tal fin.

Cada autorización de explotación tiene un máximo de diez (10) hectáreas con el propósito de que los trabajadores puedan organizarse en cooperativas de producción, de manera que les permitan utilizar los servicios comunes, minimizar los costos y obtener una mayor rentabilidad de las autorizaciones de explotación, en beneficio de los pequeños mineros y del país.

El propósito es que la combinación que se logre de los activos físicos disponibles y los adquiridos con los créditos otorgados a una cooperativa, permita generar productos con alto contenido de valor agregado, nuevos empleos, explotaciones mineras en armonía con las leyes ambientales y el principio de desarrollo sostenible, el asentamiento poblacional, la capacitación de los pequeños mineros, asistencia técnica, mejorar la seguridad industrial en los frentes de explotación, adquisición e implementación de tecnologías de punta, lograr una

transferencia tecnológica para garantizar la calidad ecológica del entorno, y el retorno eficiente del capital invertido para la oportuna cancelación el crédito otorgado.

CAPITULO III

CARACTERIZACIÓN SOCIOECONÓMICA Y FÍSICO NATURAL DEL ÁREA DE ESTUDIO

El propósito de este capítulo es brindar una descripción detallada del ámbito espacial donde se realiza la pequeña minería de oro en Hoja de Lata. En esta descripción se incluye la caracterización desde el punto de vista socioeconómico y físico natural.

3.1 CARACTERIZACIÓN SOCIOECONÓMICA

3.1.1 Estado Bolívar

De acuerdo con el Instituto Nacional de Estadística, INE (2001) el estado Bolívar (figuras 3.1, 3.2 y 3.3) tiene una superficie 238.000 km², y ocupa el 25,96 % del territorio nacional. Sin embargo su población de 1.214.846 habitantes sólo representa el 5,26 % del total nacional, con una densidad de 5,10 habitantes/ km².

Cabe destacar que el estado Bolívar, ocupa el primer lugar de importancia nacional en los siguientes sectores:

- Minería: hierro, bauxita, oro y diamantes
- Manufactura, acero y aluminio
- Hidroelectricidad
- Producción forestal natural (RFI)
- Construcción (represas e infraestructura urbana)

En relación al sector minero, según estadísticas de la Corporación Venezolana de Guayana CVG (1994), se tiene que este sector absorbió, en 1991, el 8% de la fuerza de trabajo de la región; para 1993 ocupó un total de 26.000 personas, generando el 10% del Producto Interno Bruto PIB regional, y el 62% de la producción minera nacional, el mayor crecimiento porcentual se registró en los años 1981 y 1990, en los municipios de El Callao, Sifontes y Gran Sabana.

El sector manufacturero absorbió para 1992 un total de 32.287 personas (7% del total nacional), del cual el 99 % corresponde al estado Bolívar. El 85% de la fuerza de trabajo se concentra en la gran industria.



Figura 3.1 Ubicación de Venezuela en Suramérica.

Fuente: INE (2001)



Figura 3.2 Mapa de Venezuela

Fuente: INE (2001)

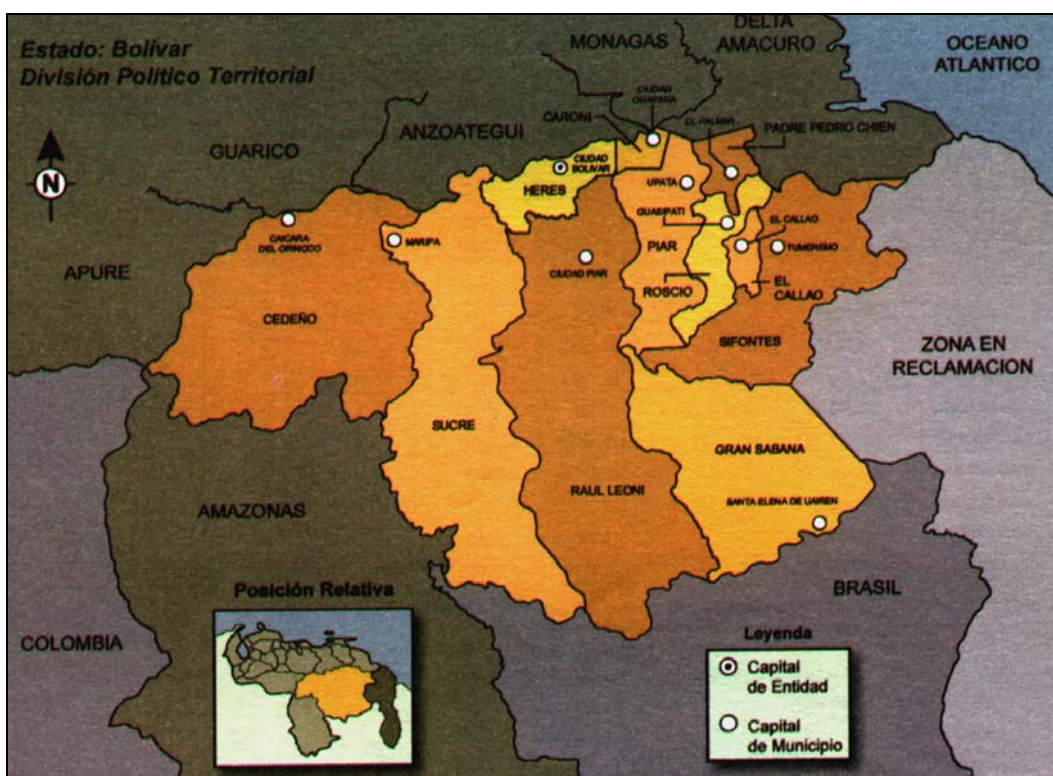


Figura 3.3 División político territorial del estado Bolívar. A la izquierda de la zona en reclamación se encuentra el municipio Sifontes y su capital Tumeremo. El proyecto Hoja de Lata se encuentra a 77 km al sureste de Tumeremo.

Fuente: INE (2001)

El sector forestal se basa en el aprovechamiento de las reservas forestales, destacándose la del Caura (5.134.00 Ha) seguida por Imataca (3.203.000 Ha) y Sipapo (1.215.500 Ha). La producción forestal nacional en 1992 fue de 764.825 m³, de la cual el 24% corresponde al estado Bolívar.

El sector construcción participa con el 9% regional y el eléctrico con el 96% sobre el valor total de producción regional.

El sector agrícola representa sólo el 1% del valor de producción regional.

3.1.2 Tumeremo

Tumeremo es la capital del municipio Sifontes, en el estado Bolívar (figura 3). En relación a su número de habitantes, se tiene que según el XIII Censo Nacional del año 2001, Tumeremo tenía para esa fecha una población total de 11.972 habitantes, consistente de 5.500 mujeres y de 6.472 hombres.

En Tumeremo las actividades económicas han sido tradicionalmente en la pequeña minería, constituyéndose como el centro prestador de servicios especializados en la misma (talleres de reparación de maquinaria, venta de insumos y herramientas, empresas de servicios especializados para las perforaciones geológicas, entre otros), manteniendo por esta razón, y por ser la capital del municipio, una estrecha relación con el sector de Hoja de Lata.

3.1.3 Hoja de Lata y San José de Anacoco

Localización

El área de Hoja de Lata está ubicada en jurisdicción del Municipio Sifontes del Estado Bolívar a 77 Km. al sureste de la población de Tumeremo, por la vía que conduce desde Tumeremo a la Isla de Anacoco y a San Martín de Turumbán. El área de estudio se encuentra dentro de los linderos de la Reserva Forestal Imataca, sobre una superficie de 1946,76 hectáreas, dentro de la poligonal cerrada definida por las coordenadas Universal Translator Mercator (UTM) que se señalan a continuación en la tabla 3.1.

Tabla 3.1 Coordenadas UTM del proyecto Hoja de Lata

Fuente: Elaboración Propia

PUNTO	NORTE (UTM)	ESTE (UTM)
1	775.930,37	685.031,96
2	772.243,90	685.045,10
3	772.263,84	690.570,44
4	774.340,00	690.562,83
5	774.340,00	690.000,00
6	775.948,37	690.000,00

En cuanto a las comunidades ubicadas en el ámbito local, existe una comunidad llamada San José de Anacoco y una comunidad indígena denominada San Martín de Turumbán. Estas se encuentran ubicadas por la vía que conduce desde Tumeremo a la Isla de Anacoco y San Martín de Turumbán. La parcela de Hoja de Lata se encuentra ubicada aproximadamente a 26 km del poblado de San José de Anacoco, y a 30 km del poblado de San Martín de Turumbán. El primero, es una comunidad de mineros donde se practica tradicionalmente la agricultura y la ganadería; el segundo es una comunidad indígena donde la minería se presenta como una actividad secundaria.

El asentamiento de Hoja de Lata pertenece a una región de muy baja población, las actividades económicas fundamentales del área están vinculadas a la minería, siendo la población de Tumeremo la principal abastecedora de insumos industriales.

Según el Proyecto de Pequeña Minería Hoja de Lata (2004) se estima que conviven en Hoja de Lata aproximadamente 270 personas, de las cuales 90 son propiamente mineros y el resto lo conforman sus familiares y algunos prestadores de servicios; toda la población básicamente se sustenta directa e indirectamente de la minería.

3.2 CARACTERIZACIÓN FÍSICO NATURAL

La siguiente caracterización físico natural fue tomada del Proyecto de Pequeña Minería Aurífera Hoja de Lata (2004).

3.2.1 Clima e Hidrografía

Clima

El análisis del clima en el área de estudio se basa principalmente en los datos registrados por la estación climatológica de Anacoco (Estación Anacoco, serial 5911). La precipitación media anual en el área es de 1.487 mm aproximadamente, con dos máximos de precipitación, uno principal en los meses de abril a octubre donde se concentra el 64% de la precipitación total. Existe una máxima secundaria durante el mes de diciembre. Durante las épocas de sequía la precipitación media mensual es mayor a 50 mm.

Regionalmente la precipitación aumenta longitudinalmente hacia el este del área, esta variación va desde 1.300 mm a 1.600 mm, aunque debido a las dimensiones del área de estudio, estas diferencias no son perceptibles.

La evaporación presenta dos máximos al año; uno entre los meses de septiembre y octubre, y el otro en el mes de marzo. La evaporación media anual es de 1.809 mm, aproximadamente.

La temperatura alcanza dos períodos de máxima térmica que corresponden uno a los meses de abril-mayo (26,6°C) y el otro entre septiembre y octubre. Los mínimos (24,6°C) ocurren en enero y julio respectivamente. De esta forma la diferencia de temperatura entre el mes más cálido y el mes más frío corresponde a 2 °C, es decir, una oscilación térmica media mínima, tal como se muestra en la figura 3.4.

La zona recibe aproximadamente un promedio anual de 415 cal/cm² día de radiación solar. Se estima que los valores más altos de radiación solar ocurren en marzo y octubre y los más bajos en junio y diciembre. La insolación por su parte, presenta un promedio anual de 6,2 horas con un máximo principal y secundario en los meses de septiembre y febrero, respectivamente. Los mínimos ocurren en los meses de junio y enero.

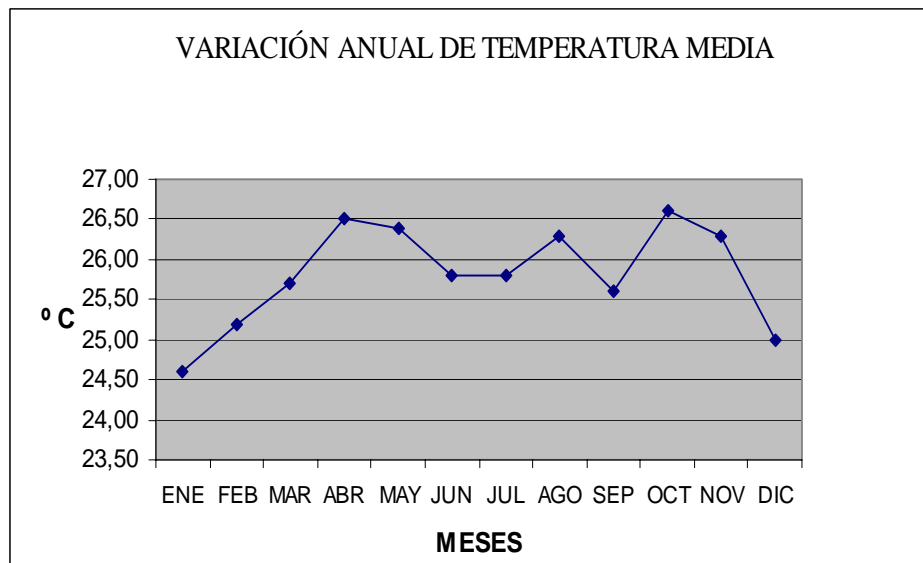


Figura 3.4 Variación anual de temperatura media en Anacoco.

Fuente: Datos de MARN (2002)

La humedad relativa media anual es de 80,5%. Las variaciones espaciales en la región son mínimas y van desde el oeste (80,3%) hacia el este (80,7%). Los meses de mayor humedad relativa son enero y junio, y abril y septiembre registran los valores mínimos.

Los vientos alisios dominan la zona acompañados de largos períodos de calma. La velocidad promedio anual es de 8 km/h, sin embargo, las ráfagas ocasionales con vientos de dirección variable pueden alcanzar hasta 100 km/h.

De acuerdo al sistema de clasificación de Köpen, el área presenta un clima tropical lluvioso monzónico (Amvi). Por otra parte la clasificación climática de Holdridge define al área dentro de la zona de vida Bosque Seco Tropical (Bs-T) con una precipitación media anual que varía entre 1.300 mm a 1.500 mm, y una temperatura media anual que oscila entre los 26,3 y 26,7°C.

Hidrografía

En un contexto regional, el área de estudio se encuentra localizada dentro de la cuenca del río Botanamo. Los tributarios principales en los alrededores del área de estudio drenan en dirección Sur-Oeste y todos desembocan en este río. En época de verano, los tributarios no presentan un tirante de agua permanente,

siendo de régimen intermitente, en algunos sitios se encuentran pozos con aguas estancadas por breve período de tiempo.

Cabe señalar que la variación estacional del régimen hídrico del río Botanamo es muy marcada, llegando en muchos casos a cortarse el flujo en el curso principal del río durante la época de sequía. Asimismo, debe resaltarse que su cuenca se caracteriza por presentar un gradiente longitudinal muy bajo, razón por la cual su curso, y el de sus afluentes, se caracterizan por el desarrollo de una amplia acumulación aluvial producida por las inundaciones periódicas en la época de lluvia.

A escala local, el patrón de drenaje es fundamentalmente dendrítico, aunque su distribución espacial alrededor del sector estudiado se asemeja a un patrón de drenaje radial, mostrando una alta interrelación con las características litoestructurales del área.

3.2.2 Vegetación y Fauna

Vegetación

Las condiciones bioclimáticas locales del área están caracterizadas por la alternancia de un período seco y otro lluvioso. Estas determinan la presencia de una formación vegetal estacional o tropófila. La vegetación para estas condiciones ambientales está representada, en el área, por un bosque veranero de carácter semidecíduo. El bosque veranero semidecíduo presenta un desarrollo en altura de 25m aproximadamente, con una estratificación vertical de tres pisos arbóreos. Una baja proporción de los individuos pierde las hojas y el sotobosque es moderadamente denso. Las lianas y los bejucos son moderadamente abundantes, al igual que las epífitas.

Una vez el bosque ha sido intervenido, como es el caso de Hoja de Lata, la estructura vertical es más simplificada, con dos pisos diferenciados, los bejucos y lianas son más abundantes y el sotobosque aunque muy bajo es bastante denso.

Fauna

La fauna del área fue recopilada por MADERORCA (1995), a través de un estudio de reconocimiento en la zona sur de la RFI.

En la zona sur de la Reserva se reportaron aproximadamente 563 especies zoológicas agrupadas en 80 familias y 29 órdenes de aves, mamíferos, anfibios y reptiles. Dominan las especies de hábito arbóreo para la búsqueda de alimentos (380 especies) y el gremio trófico de insectívoros con 240 especies.

Se reportaron 114 especies de mamíferos que representan 25 familias y 9 órdenes, siendo el murciélago el más dominante con la mayor diversidad de especies.

Las aves representan 388 especies comprendidas en un total de 46 familias y 14 órdenes.

Los reptiles están mayormente representados por el orden de las serpientes, con 4 familias y 16 especies. El nivel trófico más común es el de las Carnívoras.

Los anfibios están mejor representados con 9 familias del orden Anura. El nivel trófico observado fue el de los insectívoros de tipo arbóreo y terrestre para la búsqueda de alimentos.

3.2.3 Geomorfología y Suelos

Geomorfología

En un contexto subregional, geomorfológicamente el sector de Hoja de Lata está representado por un paisaje de lomeríos bajos que alternan con vegas, generando un conjunto bastante homogéneo, con alturas variables entre 100 y 140 m.s.n.m., presentando pendientes entre 2% y 30%. El paisaje se encuentra bien disectado por un drenaje tipo dendrítico. Las crestas de las lomas tienden a orientarse NNE y contrasta con un paisaje de montaña vinculado al este en la zona de Párate Bueno.

La génesis y evolución del relieve de lomas se produce por la acción intensa de los procesos erosivos, los cuales han generado una fuerte disección. En algunos casos, estos relieves están vinculados a la tectónica, representados por intrusiones de diques que en algunos casos afloran por causa de la erosión diferencial.

En posición de piedemonte aparecen los planos inclinados coluviales. Estos relieves son generados por los sedimentos provenientes de posiciones más

elevadas. Por último, las vegas son áreas bajas, bastante estrechas y alargadas de fondo plano. Los sedimentos de estas unidades son de origen coluvio-aluvial depositados en forma de mantos desde las posiciones más elevadas. Estas posiciones son inundadas en época de lluvia.

Suelos

Desde el nivel de superficie y hasta una profundidad aproximada de 4 a 6 metros el suelo es altamente meteorizado debido al proceso de descomposición por acción de agentes físico naturales. El suelo es de color marrón rojizo.

Luego, desde una profundidad de 6 m aproximadamente hasta 26 m se encuentra un material de grano muy fino, con capas delgadas con varias coloraciones definida en una primera facie que presenta una forma de arcilla arenosa de color pardo-rojiza, con desarrollo de numerosos nódulos de pedernal definida como una arcilla pedernal. En relación a una segunda facie presenta minerales de hierro sedimentario de color marrón amarillento que se puede denominar arcilla ferruginosa. Y una tercera facie de color blanco grisáceo característico del mineral caolinita, producido por la descomposición hidrotermal, definina como arcilla de porcelana.

Los suelos en el área de estudio se han originados in situ, a partir de rocas de la Provincia Pastora, específicamente la Formación Caballaje, compuesta por meta-grauvacas, meta-arcosas, meta-tobas lítico cristalinas; así como del Complejo Supamo compuesta por cuarzo-diorita tectonizado y pórfido de cuarzo-diorita.

Los suelos encontrados en el área de estudio corresponden a tres órdenes del *Soil Survey Staff* (1992) como son: inceptisoles, oxisoles y ultisoles.

Los inceptisoles son los suelos menos evolucionados y extensos en el área de estudio ocupando aproximadamente 16,9 Ha. Estos suelos se desarrollan en los planos inclinados al pie de las lomas y son de origen coluvio-aluvial. Los grupos más comunes corresponden a los *Dystropepts* y *Tropaquepts* inundables en las vegas de los drenes principales.

Los oxisoles son de alta evolución pedogenética, con horizonte óxico o kándico. Tienen un muy avanzado desarrollo evolutivo, como consecuencia de

una extrema meteorización química y posterior lixiviación, favorecido por el factor tiempo y el clima que impera o imperó en el área. Los horizontes óxicos o kándicos son muy desaturados. En el área los grupos más comunes son *Humic Rhodic Kandiodox* y *Lithic Kandiodox*.

Los ultisoles al igual que los oxisoles son los más extensos en el área de estudio y se desarrollan en los relieves de lomas. Poseen un avanzado desarrollo pedogenético, producto de una extrema meteorización y lixiviación condicionado por un prolongado periodo de tiempo y condiciones climáticas favorables. Todo ello ha permitido el desarrollo de un horizonte kándico muy desaturado. Los minerales de la matriz fina del suelo son de tipo caolinita y sesquióxidos de hierro y aluminio. En el área dominan los *Typic Kanhaplohumults* desarrollados en posición de lomas.

3.2.4 Geología Regional y Local

En la figura 3.5 se observa el mapa geológico del escudo de Guayana, el cual está formado por rocas de edades arqueozoicas y proterozoicas, alteradas en mayor o menor escala durante una serie de episodios tectónicos mayores. Con base a características petrológicas y tectónicas, el escudo Guayanés ha sido dividido tal como se muestra en la figura 3.6 en cuatro Provincias Geológicas, conocidas en el orden de la más antigua a la más joven como: Imataca (Arqueano), Pastora y Cuchivero (Proterozoico inferior) y Roraima (Proterozoico medio).

La zona en estudio forma parte de la Provincia Geológica de Pastora, Méndez (1968), encontrándose dentro de ésta diques y sill de diabasa y gabro a varios niveles. La Provincia de Pastora se caracteriza litológicamente por presentar una secuencia de rocas volcánicas ácidas y básicas y rocas sedimentarias asociadas que han sufrido un metamorfismo de bajo grado, alcanzando localmente la facie de anfibolita.

La Provincia de Pastora se considera formada por una secuencia supracortical de rocas verdes, ubicadas preferentemente en zonas sinclinoides entre domos graníticos y cuyas edades se han estimado entre los 2.700 M.a., y 2.000 M.a. Mendoza (1977), considera que esta provincia fue un basamento

oceánico de composición máfica con extremos continentales actualmente aflorantes.

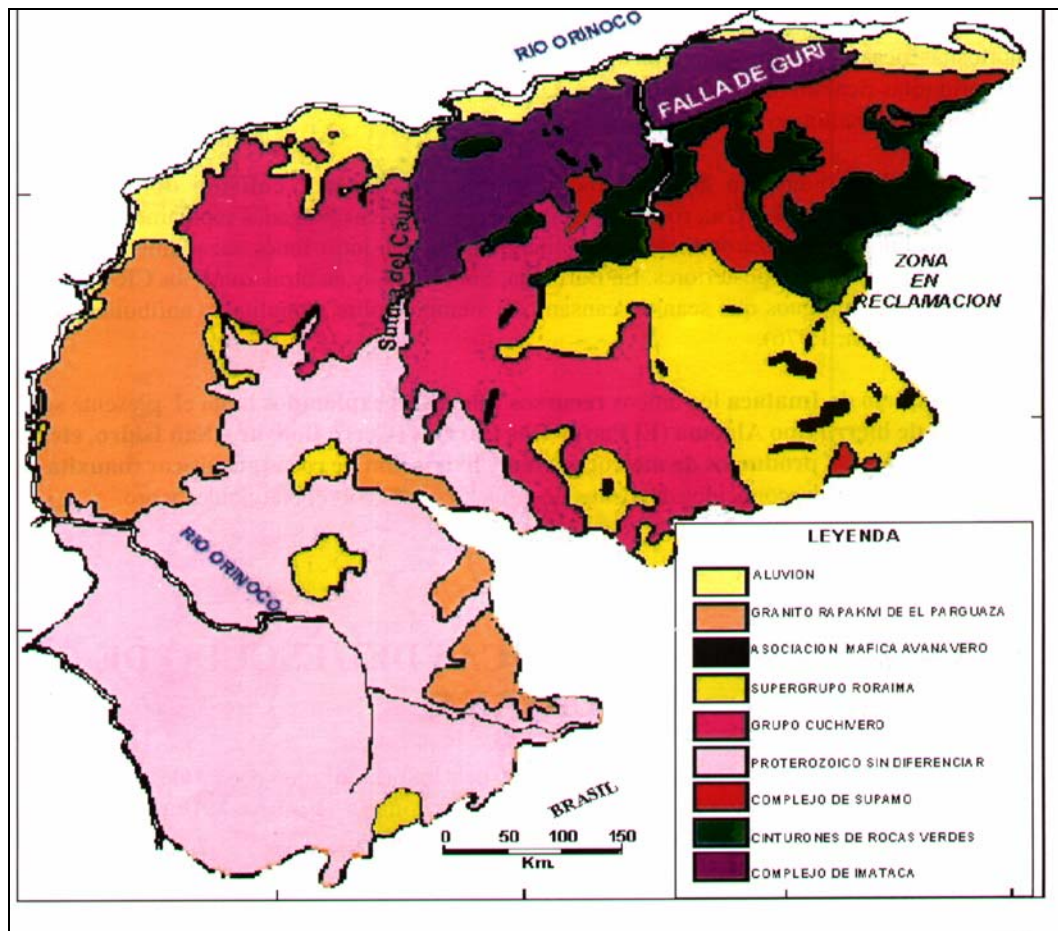


Figura 3.5 Mapa geológico del Escudo de Guayana.

Fuente: Mendoza (2000).

Geológicamente el yacimiento se ubica en el cinturón de rocas verdes (figura 3.5) de la Provincia Pastora (Arqueozoico Superior-Proterozoico), específicamente en el grupo Botanamo de la Formación Caballape.

La Formación Caballape consiste de metalimolitas volcánicas, laminadas y compactas con alto contenido de epidoto, intercaladas con meta grauvacas volcánicas de grano medio a conglomeráticas, tobas y brechas piroclásticas. Este conjunto muestra estructuras primarias originadas por corrientes de turbidez, tales como: estratificación gradada, laminación cruzada, marcas de fondo y canales de erosión (Benaim, 1972), mencionada como una variedad de roca consistente de metagrauvacas de color rojo mate, violácea, la cual pasa lateralmente de

metagrauvascas volcánicas de grano fino a medio, a metaconglomerado volcánico y finalmente a brecha volcánica. El contacto inferior de la Formación Caballape es motivo de controversias, considerándola Menéndez (1968) estructuralmente discordante sobre el Super Grupo Pastora, compuesto por el Grupo Carichapo y la Formación Yuruari.

Además, en base a estudios regionales efectuados por INGEOMIN (2003) la zona de Hoja de Lata se encuentra geológicamente relacionada con la Formación Yuruari del Supergrupo Pastora de la Provincia Geológica de Pastora.

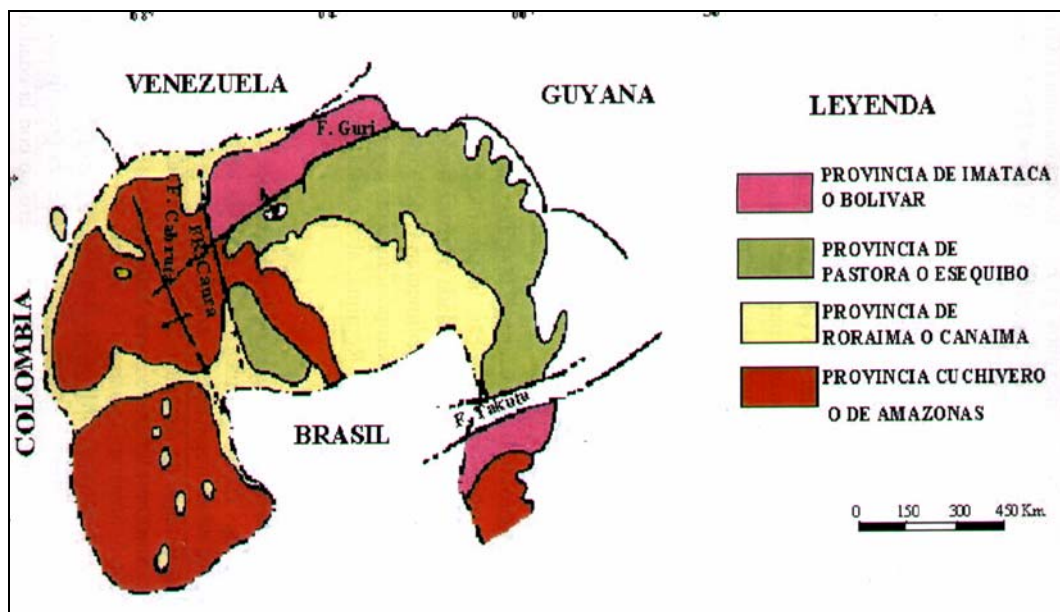


Figura 3.6 Provincias geológicas del Escudo de Guayana.

Fuente: Mendoza (2000).

Geología Local

En cuanto a la geología local, las características geológicas que se describen a continuación corresponden a una veta que aflora en la zona de estudio con una longitud de 1000 m y hasta una profundidad de 28 m o más, donde actualmente existe laboreo minero, el cual puede llegar con los métodos actuales hasta unos 110 m de profundidad.

La zona mineralizada se formó por solidificación del material rocoso fundido y móvil dando origen a rocas ígneas con buzamiento promedio 60° SW y un rumbo S 22° E. Una roca densa, porfídica y vesicular presenta una matriz de

grano fino, de color verde grisáceo y blanco azulado, por la presencia de minerales como andesitas, micas, cuarzo blanco lechoso y pirita que se puede definir como metacuarzo andesita tectonizada. Se observan procesos de metamorfismo regional que dieron origen a una roca metamórfica.

Además, se observa un fuerte proceso de cizallamiento y dislocación que originan cataclasis. Los cristales individuales de las rocas llegan a fracturarse y forman un sistema de fallas, en la roca los granos se transforman en granos más finos desarrollando una fuerte foliación.

Es importante destacar que el yacimiento presenta una segunda estructura con características geológicas similares, la cual los mineros han denominado "la bullita".

CAPÍTULO IV

PEQUEÑA MINERÍA DE ORO PROYECTO HOJA DE LATA

En el siguiente capítulo se presentan las principales características de la pequeña minería subterránea de oro que actualmente se desarrolla en el proyecto Hoja de Lata. El capítulo incluye información del Proyecto Pequeña Minería Aurífera Hoja de Lata, PPMHL (2004) e información gráfica del trabajo de campo.

4.1 ANTECEDENTES DEL PROYECTO MINERO

En el estado Bolívar se ha explotado oro desde hace varios siglos, en época mas reciente trabajadores de la empresa maderera Maderorca encontraron afloramientos del mineral en la región.

De acuerdo a entrevistas realizadas en el área existen mineros que se encuentran trabajando en el área de Hoja de Lata desde el año 2000.

El 18 de diciembre de 2002 el Ejecutivo Nacional, por órgano del Ministerio de Energía y Minas (ahora MIBAM), establece para el desarrollo de la actividad de pequeña minería el área de Hoja de Lata con una superficie inicial de 500 Ha, luego se ampliaría el proyecto hasta tener un total de 1.946,76 Ha.

La Cooperativa Minera Hoja de Lata fue registrada el 12 de enero de 2004.

El 31 de mayo de 2004 se le otorgaron a la cooperativa nueve autorizaciones de explotación.

En julio de 2004 se aprueba un crédito del Banco de Desarrollo Social (BANDES) para la Cooperativa Minera Hoja de Lata por un monto de 2.764,5 millones de bolívares, que hasta la fecha no ha sido efectiva.

4.2 ACCESO

El acceso hasta Hoja de Lata se logra a través de la carretera troncal 10 Tumeremo - El Dorado siguiendo 48 km desde la alcabala Casa Blanca de la Guardia Nacional por carretera vía San José de Anacoco hasta una vía de

penetración engrazonada que se muestra en la figura 4.1 realizada por la empresa maderera Maderorca, de 9 km aproximadamente hasta llegar al campamento minero de Hoja de Lata, figura 4.2.

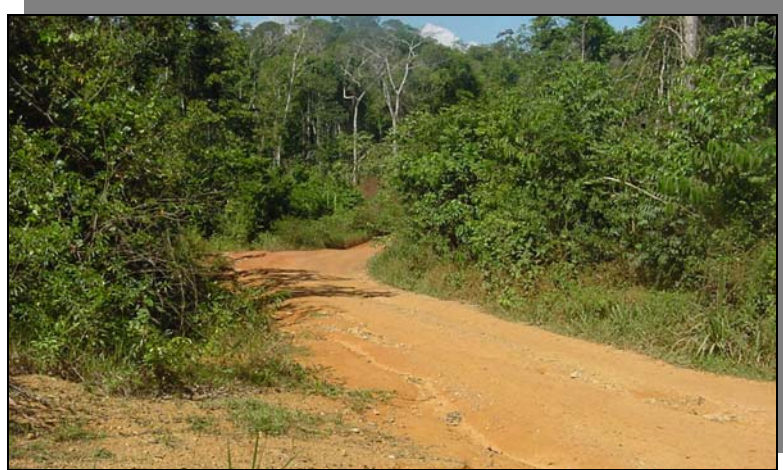


Figura 4.1 Fotografía mostrando carretera de acceso al proyecto Hoja de Lata, construida por MADERORCA. Fuente: Propia.



Figura 4.2 Fotografía del campamento minero Hoja de Lata. Fuente: Propia.

4.3 COOPERATIVA MINERA HOJA DE LATA

La Cooperativa Minera Hoja de Lata fue registrada el 12 de enero de 2004, según consta en documento inscrito ante el Segundo Circuito del Estado Bolívar,

Municipio Autónomo Roscio, Guasipati, bajo el N° 16, Protocolo Primero, Tomo I, Primer Trimestre del año 2004.

La junta directiva actual esta constituida por un presidente, tesorero, secretaria y representantes por cada autorización de explotación.

4.3.1 Objeto económico y Capital financiero

Su objeto económico es la exploración, explotación, procesamiento, comercialización, distribución, importación de oro, y en general, ejecutar todos los actos y contratos que sean necesarios para la ejecución de su objeto.

El principal capital financiero lo constituye el monto asignado como crédito por el BANDES a la Cooperativa, el cual es de 2.764,5 millones de bolívares.

4.4 DERECHOS MINEROS Y SUPERFICIE

El proyecto Hoja de Lata cuenta con las siguientes autorizaciones de explotación denominadas HL-14, HL-15, HL-16, HL-17, HL-18, HL-19, HL-20, HL-21, HL-22, según Resolución N° 155 de fecha 14 de mayo de 2004, publicada en GO de la República Bolivariana de Venezuela N° 37.949, de fecha 31 de mayo de 2004, como se muestra en la figura 4.3

Las autorizaciones de explotación tienen una superficie de 10 Ha cada una, lo que hace un total de 90 Ha.

4.5 RESERVAS DE ORO EN HOJA DE LATA

De acuerdo al PPMHL (2004) la veta principal en el área de Hoja de Lata tiene una longitud de 700 m evaluado por los mineros a través de barrancos, se estima que en el área la veta presente tenga una longitud total de 1000 m, con rumbo S 22° E y buzamiento entre 57°-60° SW, con un espesor promedio de 1,40 m y un tenor medio de 22 gr/ton. La veta secundaria tiene características similares y una longitud de 60 m. Dado que se trata de pequeña minería y basándose en experiencias obtenidas por los pequeños mineros a través de los

años en la zona minera de El Callao se determinó una profundidad máxima de explotación de 120 m.

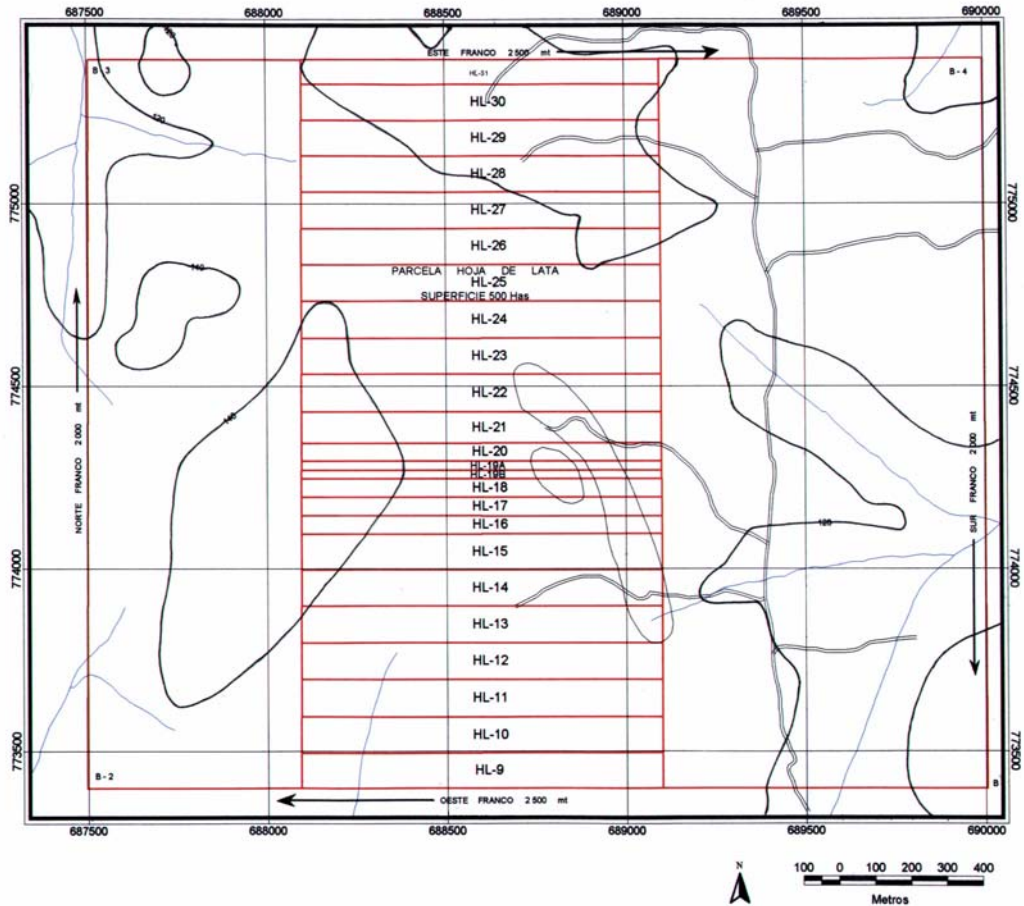


Figura 4.3 Mapa del proyecto Hoja de Lata. Primeras 500 Ha otorgadas. Se destacan en rectángulos rojos las autorizaciones de explotación denominadas HL. Fuente: Proyecto Pequeña Minería Aurífera Hoja de Lata (2004).

4.5.1 Reservas Geológicas

Es posible estimar las reservas geológicas realizando los siguientes cálculos:

$$\text{Volumen veta principal} = 700\text{m} \times 120/\text{sen}60^\circ \times 1,40\text{m} = 135.796,8 \text{ m}^3$$

Luego la cantidad de mena aurífera considerando una densidad *in situ* de $2,6 \text{ t/m}^3$ es de $135.796,8 \text{ m}^3 \times 2,6 \text{ t/m}^3 = 353.071,6 \text{ ton}$.

4.5.2 Reservas Minables

Las reservas minables indican el volumen de mineral que puede ser extraído, pudiéndose extraer de las minas entre un 70% y 85%, descontando el mineral abandonado en los pilares de soporte de la excavación; por lo tanto considerando el valor mínimo de 70% de recuperación, se tiene:

$$353.071,6 \text{ ton} \times 0,7 = 247.150,12 \text{ ton}$$

Según el PPMHL (2004) las reservas se han de explotar en un período de 15 años, lo que equivale a explotar $247.150,12 \text{ ton} / 15 \text{ años} = 16.476,67 \text{ ton/año}$.

4.6 MÉTODO DE EXPLOTACIÓN

El sistema de explotación empleado en la pequeña minería de oro en la zona de Hoja de Lata es subterráneo y el método de explotación observado no corresponde a ninguno de los estudiados en la literatura, aunque presenta cierta similitud con el método de cámaras y pilares.

4.7 OPERACIONES BÁSICAS DE MINERÍA

Las operaciones mineras que se realizan en Hoja de Lata consisten en perforación y voladura de roca *in situ*, carga y acarreo tanto vertical como horizontal hasta el área de beneficio mineral.

De lo observado en campo la tecnología utilizada por los pequeños mineros en el proyecto Hoja de Lata para explotar el yacimiento aurífero consiste en excavar pozos o barrancos con un diámetro de 1,20 m para la extracción de la mena tal como se muestra en la figura 4.4. Estos pozos se ubican a modo de interceptar la veta en profundidad como se muestra en la figura 4.5. Cabe destacar que en el proyecto Hoja de Lata existen alrededor de 16 pozos o barrancos distribuidos a lo largo del yacimiento y poseen diferentes profundidades (estas profundidades varían entre 30 y 100 metros), de los cuales actualmente 6 están en operación. Una vez alcanzado el yacimiento se construyen cámaras orientadas por el buzamiento de la veta.



Figura 4.4 Fotografía que muestra la entrada o boca de un pozo o barranco en Hoja de Lata. Fuente: Propia.

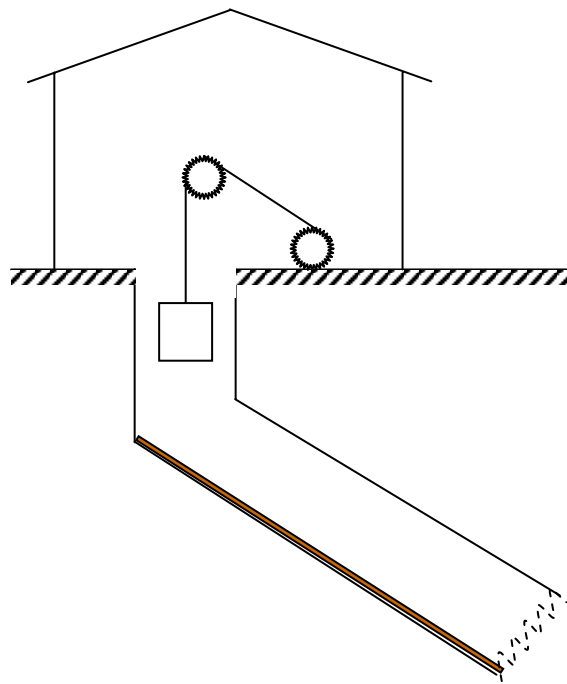


Figura 4.5 Diagrama que ilustra el perfil de un pozo o barranco en Hoja de Lata. Elaboración propia.

Las instalaciones de los pozos son rudimentarias, no hay sostenimiento de las estructuras de acceso. La ventilación es deficiente al igual que la iluminación. En esta pequeña minería subterránea se utilizan puntales de madera o “timbas”

como sostenimiento. (Figura 4.6). Una vez alcanzado el yacimiento se excavan camaras orientadas por el rumbo de la veta (figura 4.7), iniciándose de esta manera la explotación.



Figura 4.6 Fotografía del sostenimiento con puntales de madera en la pequeña minería de oro proyecto Hoja de Lata. Fuente: Propia.



Figura 4.7 Fotografía de veta mineralizada y frente de explotación a 100 m de profundidad aproximadamente. Fuente: Propia.

4.7.1 Arranque de mineral

El arranque del material se realiza en primer lugar con voladura de la roca, en la figura 4.8 se muestran algunos dispositivos empleados para la voladura como ANFO granulado, cordón detonante, pistón eléctrico; y luego con operaciones manuales utilizando martillo eléctrico, mandarria, cincel y barras (figura 4.9). En general las especificaciones en detalle de los equipos que se

emplean en la minería de oro en Hoja de Lata, no fue posible obtener debido al estado físico de los equipos y al desconocimiento de los operadores.



Figura 4.8 Fotografía de dispositivos utilizados para la voladura de la roca.

Fuente: Propia.



Figura 4.9 Fotografía de equipos usados para el arranque de la mena.

Fuente: Propia.

4.7.2 Carga y Acarreo

Una vez arrancada la mena, esta se carga en un balde o “tina” (figura 4.10) con el uso de pala, y se acarrea a la superficie por medio de equipos de izado, que pueden ser “winches” o izadoras como se observa en la figura 4.11, o la clásica “machina” o torno manual que se muestra en la figura 4.12. El balde se desliza por una especie de tobogan o corredera construida con madera.

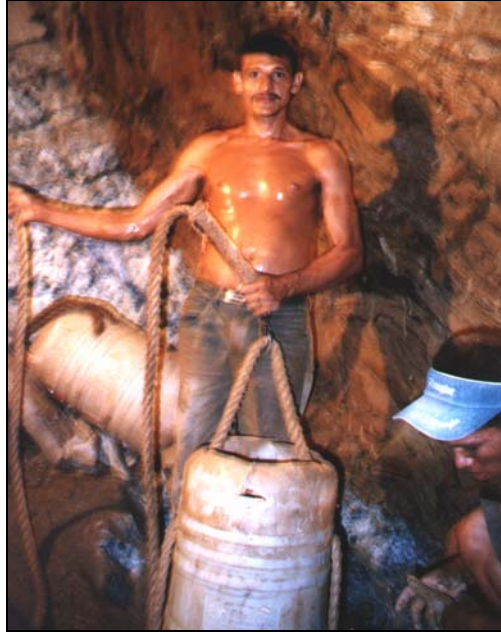


Figura 4.10 Fotografía donde se aprecia la carga de la mena en balde o “tina”.

Fuente: Propia.

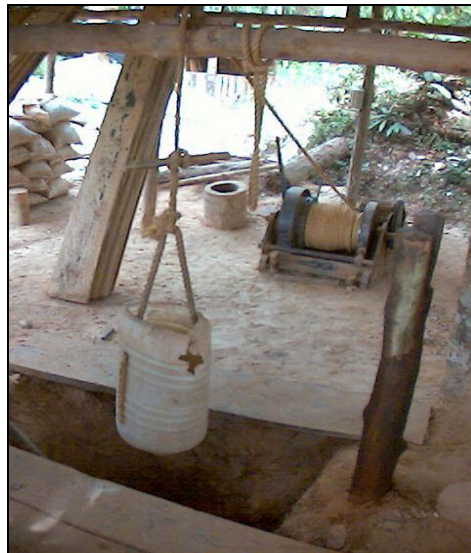


Figura 4.11 Fotografía del winche o izadora.

Fuente: Propia



Figura 4.12 Fotografía de la machina o torno manual.

Fuente: Propia.

Una vez que la mena llega a la superficie se vacía el contenido del balde en sacos de aproximadamente 70 a 80 kg, en la figura 4.13 se aprecia como se llenan los sacos. Estos sacos son apilados y almacenados alrededor de los pozos (figura 4.14) para luego ser cargados en camiones como se observa en la figura 4.15 y trasladados a la zona donde se realiza el procesamiento o beneficio mineral ubicado a un km del área de explotación.



Figura 4.13 Fotografía que muestra el llenado de sacos.

Fuente: Propia.



Figura 4.14 Fotografía del apilamiento y almacenamiento de los sacos de mena, esto se realiza cerca de los pozos. Fuente: Propia.



Figura 4.15 Fotografía de la carga de camiones usados como transporte en Hoja de Lata. Fuente: Propia.

4.8 BENEFICIO MINERAL

En el área de trituración y molienda se encuentran instalados 2 trituradoras de mandíbulas y 5 molinos de martillos accionados en su mayoría por motores diesel.

El material mineralizado proveniente de la mina se dispone en los respectivos sacos en el área de acopio cerca de la zona de trituración.

4.8.1 Trituración y Molienda

Una vez que los sacos se encuentran en la zona debeneficio de mineral, estos se abren y se la mena manualmente en la tolva de alimentación de una trituradora de mandíbulas (figura 4.16) con capacidad de 20 ton/ día, aquí el material es reducido de tamaño de un máximo de 4" a $\frac{3}{4}$ " o $\frac{1}{2}$ ", posteriormente pasa a un molino de martillo que se muestra en la figura 4.17 y 4.18, la mena se muele en húmedo reduciéndose a un tamaño de arena fina.



Figura 4.16 Fotografía de la trituración de la mena aurífera mediante trituradora de mandíbula. Fuente: Propia.



Figura 4.17 Fotografía del molino de martillo.
Fuente: Propia.



Figura 4.18 Fotografía de la vista interna del molino de martillo.

Fuente: Propia.

4.8.2 Amalgamación

Una vez molido el material, pasa por una serie de planchas tal y como se observa en la figura 4.19 donde por la acción del mercurio queda retenido el oro formando una amalgama.



Figura 4.19 Fotografía de la molienda del material y planchas amalgamadoras.

Fuente: Propia.

Luego se raspa la plancha con una espátula como se aprecia en la figura 4.20 y se recolecta el material aurífero (figura 4.21). Para separar ambos productos se coloca la amalgama en una cuchara y se emplea una llama directa, donde el mercurio se evapora quedando únicamente oro (figura 4.22).



Figura 4.20 Fotografía del raspado de plancha con espátula.

Fuente: Propia.



Figura 4.21 Fotografía de la recolección de amalgama.

Fuente: Propia.



Figura 4.22 Fotografía de la separación del oro y mercurio por medio de llama directa. Fuente: Propia.

4.9 MANEJO DE COLAS

La descarga del molino pasa por una serie de “tanquillas” o lagunas de sedimentación como la que se aprecia en la figura 4.23 donde se van depositando las arenas, hasta llegar a una laguna de sedimentación final (figura 4.24) donde el agua es bombeada hasta los molinos, recirculando de esta manera el agua utilizada en el proceso.

A medida que se van llenando de arenas las lagunas de sedimentación, éstas son vaciadas o dragadas con palas; las colas producto del proceso de beneficio de mineral son apiladas cerca de los molinos permaneciendo a la intemperie por mucho tiempo (figura 4.25).



Figura 4.23 Fotografía de una de las tanquillas o lagunas de sedimentación.

Fuente: Propia.



Figura 4.24 Fotografía de una de las lagunas de sedimentación final.

Fuente: Propia.



Figura 4.25 Fotografía del apilamiento de las colas.

Fuente: Propia.

4.10 PROYECTO HOJA DE LATA A FUTURO

A continuación se hace una descripción de la propuesta de como funcionará la mina de Hoja de Lata una vez se haga efectivo el crédito otorgado a la cooperativa minera, según el Proyecto de Pequeña Minería Aurífera de Hoja de Lata (2004) elaborado por MIBAM.

Método de explotación:

De acuerdo a las características de la veta principal mineralizada que tiene Hoja de Lata de aproximadamente 700 m de largo, con un espesor de 1,40 m, límite de profundidad de 120 m en una primera etapa, y un tenor promedio estimado de 22 gr/ton, en el proyecto se propone la construcción de un pozo vertical principal de extracción de 4 m² y 120 m de longitud, que permitirá transportar materiales e insumos desde y hacia la superficie, la entrada de aire fresco, transporte del personal y la incorporación de los servicios de aire comprimido, energía eléctrica, tuberías para el suministro de agua para perforación y drenaje de la mina. Incluye un pequeño castillete. El sistema de izado se realizará mediante una izadora o winche minero.

Se plantean dos pozos de ventilación cada uno de 1,2 m de diámetro, ubicados en los extremos del yacimiento dentro de la parcela minera. En estos pozos se instalará respectivamente un extractor de aire tipo axial, con un diámetro de 60 cm.

Se proponen cuatro niveles para dividir verticalmente el yacimiento (ver figura 29) quedando cada uno a 30 metros y en la dirección del rumbo, bloques de 87 m. de longitud en la distancia horizontal, 8 bloques de 87 m de ancho por 30 m de alto por nivel.

El desarrollo de la mina estará constituido por la excavación de galerías horizontales en la dirección del rumbo de la veta, estas tendrán un ancho de 2 m y 1.8 m de alto.

La preparación estará constituida por chimeneas que se excavarán en veta desde el nivel inferior al superior, separadas cada una a 30 m, con una sección de 2 x 1,8 m, servirán para el acceso del personal a las cámaras de explotación, ingreso de aire fresco y evacuación del aire viciado.

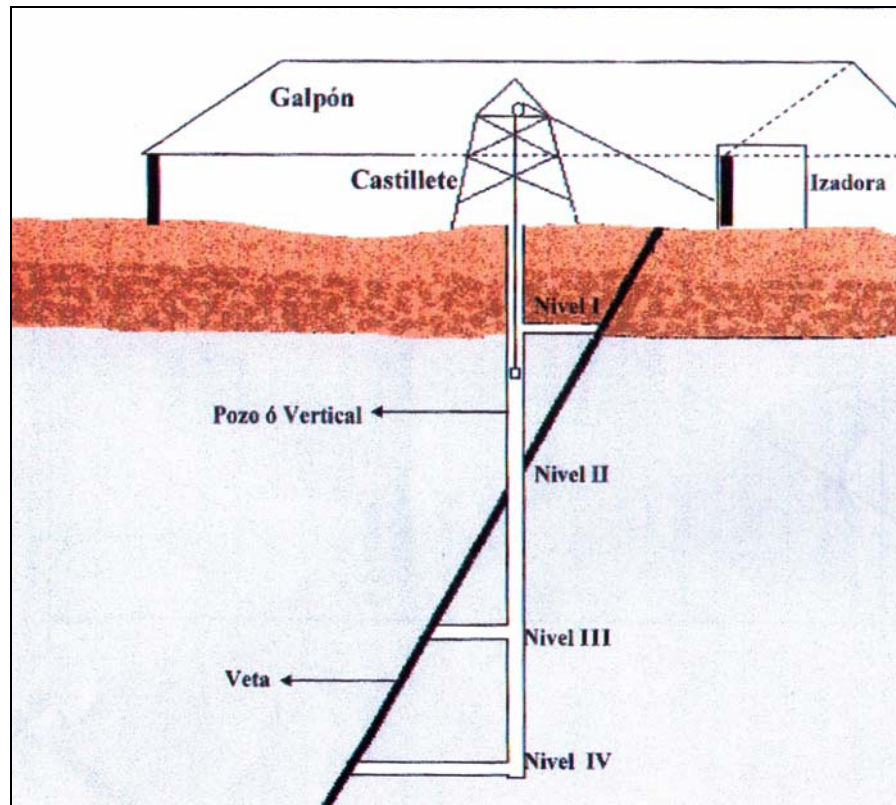


Figura 4.26 Perfil de la mina Hoja de Lata a futuro.

Fuente: PPMHL (2004)

Estos bloques se explotarán utilizando el método por relleno y realce, dejando pilares que se estiman preliminarmente en 2,5 m, el ancho de las cámaras de explotación serán de 7.5 m, el sistema de bombeo de la mina permitirá utilizar el agua de drenaje de la mina, atendiendo a su calidad, para los servicios y para la operación de la planta.

Las zonas de explotación serán evaluadas a medida que se profundice y avance en las mismas, determinándose si se requiere o no de entibación. En caso de ser necesario se diseñará un sistema de entibado, que permita una mayor seguridad.

Con la adquisición de los nuevos equipos, específicamente la izadora con motor eléctrico, el sistema de izado sería a través de un método mecanizado, siendo sustituidos los mecates por guayas de metal, lo cual además de ser más efectivas, poseen una mayor resistencia y duración, por lo que ofrecen mayor seguridad para el minero.

El material obtenido de estas operaciones se transportará en un camión volteo hacia la planta de procesamiento para el beneficio del material aurífero.

Beneficio de Mineral:

Este proceso se inicia con el transporte del mineral hacia los patios de almacenamiento que estarán ubicados en las adyacencias de la planta, una vez ubicado este mineral se manejará mediante cargadores frontales tipo payloader con los que se transportaran hacia la rampa de alimentación a la trituradora de mandíbula.

El proceso descrito se observa en la figura 30. Para la trituración primaria se utilizará una trituradora de mandíbulas la cual poseerá un sistema de alimentación que consistirá en una compuerta accionada manualmente y una rampa que contiene el mineral que posee una inclinación de 35° con lo cual se facilitará la alimentación.

Esta trituradora será accionado mediante motor eléctrico de 40 HP con corriente trifásica de 220 voltios. La descarga de la trituradora será en forma gravitacional hacia una cinta transportadora movido por un sistema de reductores y motores eléctricos, la que depositará el mineral en una tolva de gruesos de 30 toneladas.

De la tolva de gruesos se alimentará por medio de cintas transportadoras a la trituración secundaria, trituradora de cono. La regulación de la alimentación será mediante un sistema de vibración y control de velocidad de la cinta. La trituradora de cono será accionada por un motor eléctrico de 40 HP trifásico de 200 voltios.

El mineral a la salida de esta trituradora tendrá un tamaño de 2 a 3 mm, el cual será transportado a otra tolva secundaria de almacenamiento de capacidad de 20 ton, este transporte se realizará mediante cinta transportadora accionada por motor reductor eléctrico.

El mineral de la tolva secundaria se transportará hacia un cajón dosificador, mediante una cinta de alimentación que permita que la alimentación sea continua. De allí se alimentará el molino de bolas mediante un sistema de cucharón tipo tornillo sinfín adosado al molino de bolas. A este cajón se le

adicionará agua regulada de acuerdo al volumen de sólidos en una proporción de un 50%. El molino de bolas será accionado por un motor reductor y motor eléctrico con transmisión de corona y piñón para su rotación.

El proceso del molino de bolas contará con un sistema de clasificación granulométrica del mineral para asegurar el tamaño final, en base a los requerimientos del mineral y el sistema de recuperación preestablecido.

Este sistema consta del cajón alimentador, molino de bolas, tuberías de 4 pulgadas de alimentación al hidrociclón, sistema de separación de finos y gruesos. El proceso de molienda fina se basa en la separación de los gruesos que son retornados al cajón dosificador y los finos se envían mediante tuberías de 4 pulgadas al sistema de concentración.

El sistema de concentración consistirá de dos etapas, una de recuperación por amalgamación y luego una recuperación gravitacional.

La amalgamación consistirá en hacer pasar todo el material fino por planchas amalgamadas y luego a un proceso de amalgamación en tambor agitador, este material se procesará posteriormente junto con el concentrado del proceso gravitacional.

El material fino obtenido después de la concentración primaria se enviará a un recuperador gravitacional tipo Nelson, del cual se obtendrá un concentrado con alto contenido de oro.

Todo el concentrado obtenido del proceso será introducido a un molino amalgamador (sistema Batch), donde se obtendrá un concentrado amalgamado que contendrá todo el oro acumulado. Este concentrado se destilará adecuadamente en un destilador controlado, de donde se tendrá el oro que posteriormente se fundirá para la obtención de lingotes de oro.

Como resultado de todo el proceso se acumulará el material fino en una laguna de colas, que se construirá especialmente para este uso. Esta acumulación de material compuesto por el material molido menos el oro recuperado probablemente tenga trazas de mercurio, podrá ser procesado posteriormente por un sistema de cianuración y/o flotación con lo que se recuperaría el oro fino que está contenido en estas colas.

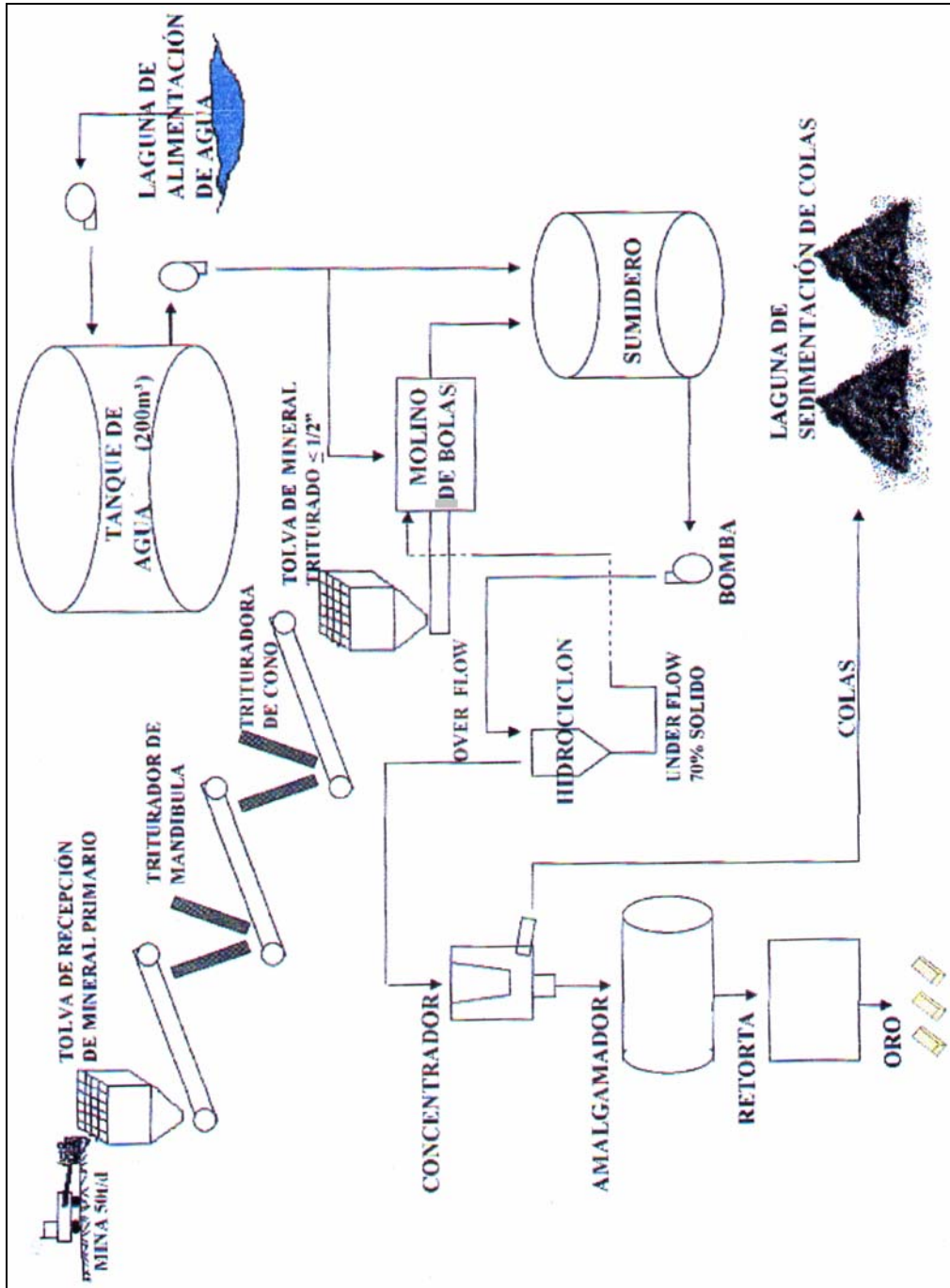


Figura 4.27 Esquema general del beneficio mineral de la mina Hoja de Lata a futuro.
 Fuente: PPMHL (20004)

CAPÍTULO V

TRABAJOS DE CAMPO Y LABORATORIO

En este capítulo se describe el trabajo de campo realizado, las mediciones y los levantamientos con el uso de Sistema de Posicionamiento Global (GPS); el procedimiento seguido para la recolección de muestras; y finalmente los ensayos de laboratorio que fueron realizados entre septiembre y noviembre de 2005. Antes de empezar con el trabajo de campo se efectuó una fase de búsqueda y recopilación de información con relación a las características fisiográficas, geológicas y mineras del área del Proyecto Hoja de Lata.

Se realizaron visitas técnicas a instituciones del estado Venezolano como el MIBAM, MARN, INGEOMIN Caracas y Ciudad Bolívar, y asociaciones de cooperativas mineras.

El material cartográfico utilizado en la etapa de campo consistió en los estudios de CVG TECMIN C.A. (1987) escala 1:250.000, de la empresa maderera del área llamada MADERORCA (1995) a escala 1:50.000, los mapas base del Instituto Geográfico de Venezuela Simón Bolívar (IGVSB) a escala 1:25.000 y el del Proyecto de Pequeña Minería Hoja de Lata, Cooperativa Hoja de Lata (2004).

Las cartas del IGVSB son las siguientes: 7937 III SE y 7936 IV NE.

Las fotografías aéreas son a escala 1:50.000, de la misión 0501117 del año 1971.

5.1 TRABAJO DE CAMPO

El trabajo de campo se realizó en dos etapas:

- En primer lugar una visita técnica efectuada del 19 al 24 de junio de 2005.
- La segunda etapa de campo se realizó desde el 01 al 28 de agosto de 2005.

En la primera etapa de campo se realizaron las actividades registradas en la tabla 5.1. Se hicieron visitas técnicas institucionales y también se llegó al área de la mina.

Tabla 5.1 Actividades realizadas en la primera etapa de campo.

Fuente: Elaboración propia.

FECHA	ACTIVIDAD	ACCIÓN
19 al 24 de junio de 2005	Traslado Caracas – Ciudad Bolívar	Visita a INGEOMIN
	Traslado Ciudad Bolívar – Tumeremo	Visita a oficinas técnicas regionales del MARN, GN, y asociaciones de cooperativas mineras. Reunión con el Presidente de la Cooperativa Hoja de Lata.
	Traslado Tumeremo – Hoja de Lata	Reconocimiento del área de estudio y levantamiento de información preliminar e imágenes fotográficas de referencias naturales y de infraestructura minera.
	Traslado Hoja de Lata – Tumeremo – Ciudad Bolívar - Caracas	

En la tabla 5.2 se listan las actividades efectuadas durante la segunda etapa de campo.

Tabla 5.2. Actividades realizadas en la segunda etapa de campo.

Fuente: Elaboración propia.

FECHA	ACTIVIDAD	ACCIÓN
01 al 07 de agosto de 2005	Traslado Caracas – Ciudad Bolívar – Tumeremo – Hoja de Lata. Alojamiento. Inventario inicial.	Punto inicial donde se inicia conteo de sacos de material extraído, mercurio usado, producción de oro, cantidad de trabajadores, horas de trabajo.
08 al 14 de agosto de 2005	Descripción del proceso de explotación.	Actividades: deforestación, perforación de pozos, galerías, método de explotación, arranque con voladura, explosivos, carga, sistema de izado, acarreo, equipos, toma de fotos.
15 al 21 de agosto de 2005	Descripción de las actividades de beneficio de mineral. Producción de oro. Colas.	Actividades de trituración, molienda, amalgamación; equipos empleados, toma de fotografías.
22 al 28 de agosto de 2005	Selección de lugares para el recogimiento de muestras. Levantamiento de datos de campo con GPS. Viaje de regreso a Caracas.	Toma de muestras en agua. Toma de muestras en suelos. Contratación de Topógrafo. Toma de fotografías. Transporte de muestras.

5.1.1 Datos económicos

En campo se tomó nota de la cantidad de material extraído en sacos de los pozos o barrancos y de la producción de oro en gramos durante el mes de agosto de 2005. Estos valores están representados en la tabla 5.3.

Tabla 5.3 Extracción de mena y producción de oro en Hoja de Lata en el mes de agosto de 2005. Fuente: Elaboración propia.

Fecha	Cantidad de sacos de material	Gramos de oro
01 al 07 de agosto de 2005	454	683.8
08 al 14 de agosto de 2005	482	724.2
15 al 21 de agosto de 2005	506	775.2
22 al 28 de agosto de 2005	447	632.5
Total	1.889	2.815,7


Con relación al precio del oro en Hoja de Lata se tiene que allí se compra a 26.000 Bs/gr, el cual es el precio de referencia sin refinación.

En Hoja de Lata se distribuye la utilidad de oro de la siguiente manera:

- 17 % para los dueños de los molinos.
- 5 % se le entrega a la cooperativa minera, de los cuales 3% corresponden al impuesto de explotación decretado por la Ley de Minas.
- 78 % es el total de los mineros.

En la figura 5.1 se observa la factura que se emite luego de la obtención de oro, se anotan: los datos del minero, la persona que transportó el material, el dueño del molino, cantidad de material en sacos, total de oro, y la distribución del total de oro, 17% para el dueño del molino, 5 % para la cooperativa y el resto para el minero.

XX



REPUBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
COOPERATIVA MINERA HOJA DE LATA I.R.L.
(COMIHOLA)
 Vía San Martín de Turumban
 TUMEREMO - ESTADO BOLIVAR

RIF. J-31143077-6
 NIT. 0330877138

Nº Control-FACTURA Nº 0786


Fecha: 04/07/05

Nombre: Xyilian Carnet Nº _____

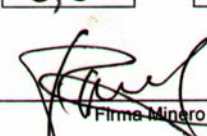
Transporte: Jose Luis

Molino: Jose LaPe V. Nº La Bulla

	Material	Total	Molino	5% Coop.	Total Minero
Cantidad	3	Gms. 122	17% 2	5% 0,6	9,6


 Firma Recaudador

Contribuyente Formal
 Sin Derecho a Credito Fiscal


 Firma Minero

EL PRESENTE DOCUMENTO SE EMITE EN CUMPLIMIENTO DEL ARTICULO 11 DEL DECRETO LEY DE IMPUESTO AL VALOR AGREGADO.
 ESTA FACTURA VA SIN TACHADURA NI ENMENDADURA.

Impreso por DISTRIBUIDORA DALLA COSTA, C.A. - Paseo Orinoco Nº 218 - Teléfono: (0285) 6322613 - Ciudad Bolívar.	RIF. J-09514431-3	NIT. 0003254305
Resolución Nº 96-005 del 16-04-96.	Región Guayana.	Cantidad de Facturas emitidas: 500 - Fecha: 25/04/2005 - Nº de Control del 501 al 1.000

ORIGINAL

Figura 5.1 Copia de factura utilizada en el Proyecto Hoja de Lata, julio 2005.

Fuente: Cooperativa minera Hoja de Lata.

5.1.2 Datos sociales

En campo se observó que actualmente viven en el campamento de Hoja de Lata alrededor de 150 personas, de las cuales aproximadamente 60 son mineros y mineras.

En Hoja de Lata se trabajan los 7 días de la semana, se comienza a trabajar desde que se coloca en funcionamiento la planta de electricidad, generalmente a las 8 de la mañana, hasta las horas de la tarde cuando se pone el sol.

5.1.3 Datos ambientales

De las observaciones de campo se pudo apreciar que el área donde actualmente se realiza el beneficio mineral de la pequeña minería aurífera de Hoja de Lata se encuentra cercana a una quebrada (figura 5.2).

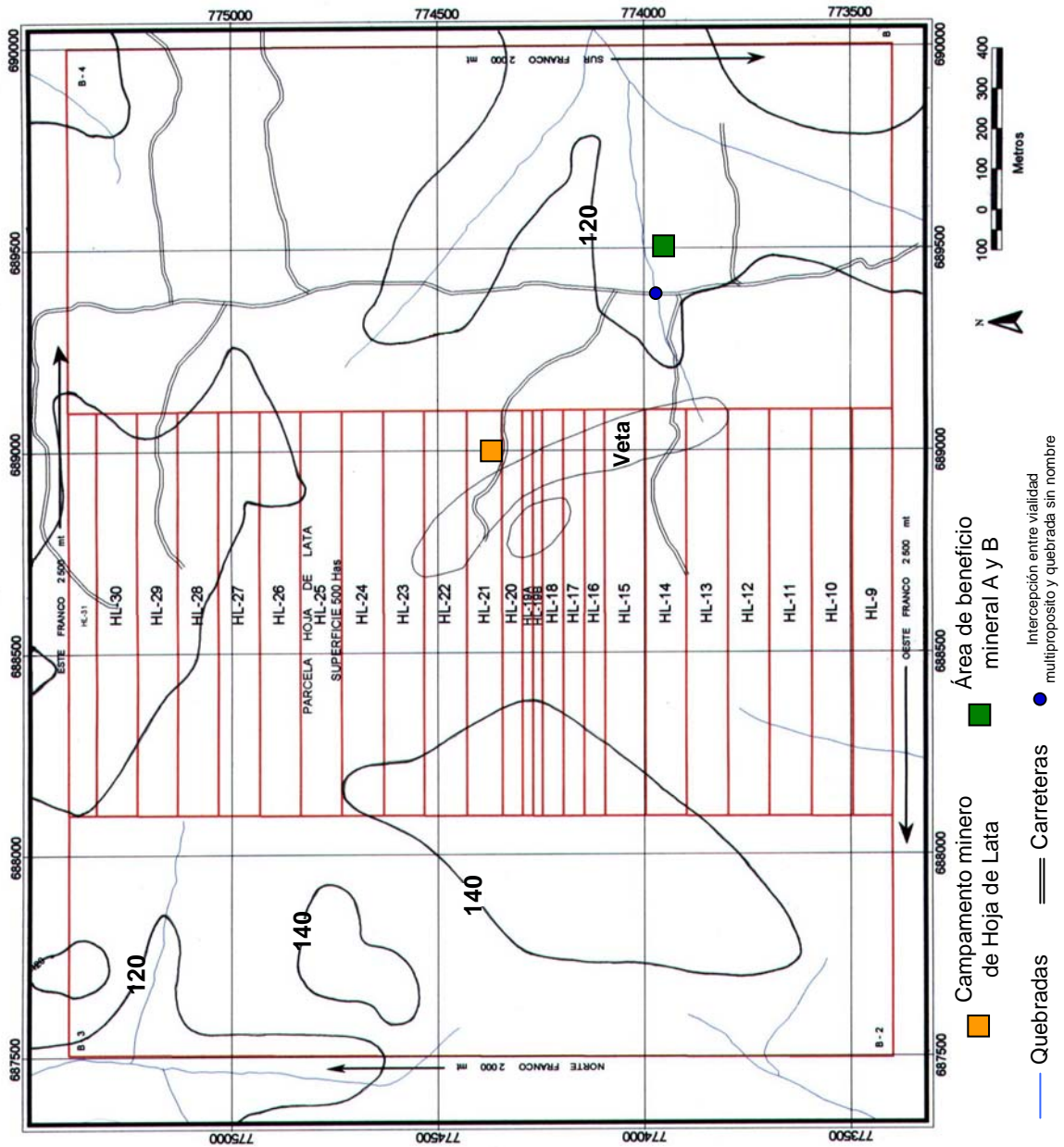


Figura 5.2 Ubicación de lugares principales donde se realizó el trabajo de campo en Hoja de Lata.

Se observó que existe una vía multiuso la cual sirve de acceso al campamento minero y mina, también se utiliza como vía de acarreo la cual intercepta la quebrada tal como se presenta en la figura 5.2 y 5.3.



Figura 5.3 Fotografía que muestra el lugar de corte entre la quebrada y la carretera. Fuente: Propia.

El material no conforme y las lagunas de sedimentación poseen mercurio debido a la amalgamación, en campo se observó que no existe ninguna barrera o membrana de protección al suelo y aguas subterráneas tal como se muestra en la figura 5.4.



Figura 5.4 Fotografía donde se aprecia que el material no conforme ni las lagunas de sedimentación poseen barreras protectoras. Fuente: Propia.

En campo se observó que el material no conforme que es apilado justo al lado de las lagunas de sedimentación, por efecto de las lluvias y el viento vuelve a caer en las lagunas de sedimentación, por lo que los mineros se ven en la necesidad de dragarlas constantemente.

Se observó que cuando llueve las lagunas de sedimentación se colman y se desbordan escurriendo aguas abajo en dirección a la quebrada.

5.1.4 Suministros o insumos

La electricidad en Hoja de Lata se obtiene con una planta de generación eléctrica a gasoil que permanece encendida desde las 8 am hasta las 9 pm. Esta planta posee una potencia eléctrica de 60.000 vatios.

De acuerdo a las mediciones de campo y en base entrevistas realizadas en el área de estudio se determinó que para obtener 1 Kg de oro es necesario emplear en el proceso aproximadamente 2 Kg de mercurio.

5.1.5 Recolección de muestras

En campo se tomaron 2 tipos de muestras, en agua y en suelos.

En un primer lugar se realizó un recorrido por la zona donde se hicieron observaciones de campo.

Recolección de muestras de agua:

El criterio principal que se consideró para la selección de sitios de recolección de muestras de agua fue la ubicación de la quebrada (sin nombre) debido a que constituye el principal elemento a proteger de los efectos de la actividad minera.

En la tabla 5.4 se muestran las coordenadas UTM y la altura en metros sobre el nivel del mar (msnm) de los puntos donde se recolectaron las muestras de aguas. Se recogieron aproximadamente 300 cc de cada muestra de agua.

En las figuras 5.5 y 5.6 se observan los lugares donde se recolectaron las muestras de agua.

Se tomaron muestras de agua de la quebrada en los siguientes sitios:

- Aguas arriba del área de beneficio mineral.
- En el punto de corte entre la carretera y la quebrada (figura 5.2 y 5.3)

- Aproximadamente a 30 m del área de beneficio mineral A, de ahora en adelante ABM A.(figura 5.5)
- Aproximadamente a 60 m del área de beneficio mineral B, de ahora en adelante ABM B. (figura 5.6).

Además, se tomaron muestras de agua en las lagunas de sedimentación iniciales y finales de cada uno de las áreas de molienda (figuras 5.5 y 5.6).

Las muestras de agua se recogieron en envases plásticos que fueron previamente esterilizados con ácido nítrico al 5 % a fin de preparar los recipientes para la recolección de muestras con contenido de mercurio, esto se realizó por recomendación del personal del laboratorio del Centro de Química Analítica. Además, se emplearon envases plásticos porque los valores de materia orgánica no serán considerados en este estudio.

Tabla 5.4 Listado con la ubicación de las muestras de aguas recuperadas en Hoja de Lata. Fuente: Elaboración propia.

Muestra	Ubicación general	Norte (UTM)	Este (UTM)	Altura msnm
M1	Quebrada, aguas arriba del beneficio mineral	773.927	689.236	138
M2	Intercepción entre carretera y quebrada	773.967	689.394	132
M3	Quebrada a 30 m del ABM A	774.010	689.541	126
M4	Quebrada a 60 m del ABM B	774.073	689.605	126
M5	Laguna de sedimentación inicial ABM A	773.951	689.470	130
M6	Laguna de sedimentación final ABM A	773.966	689.509	125
M7	Laguna de sedimentación inicial ABM B	773.881	689.575	129
M8	Laguna de sedimentación final ABM B	773.920	689.587	125

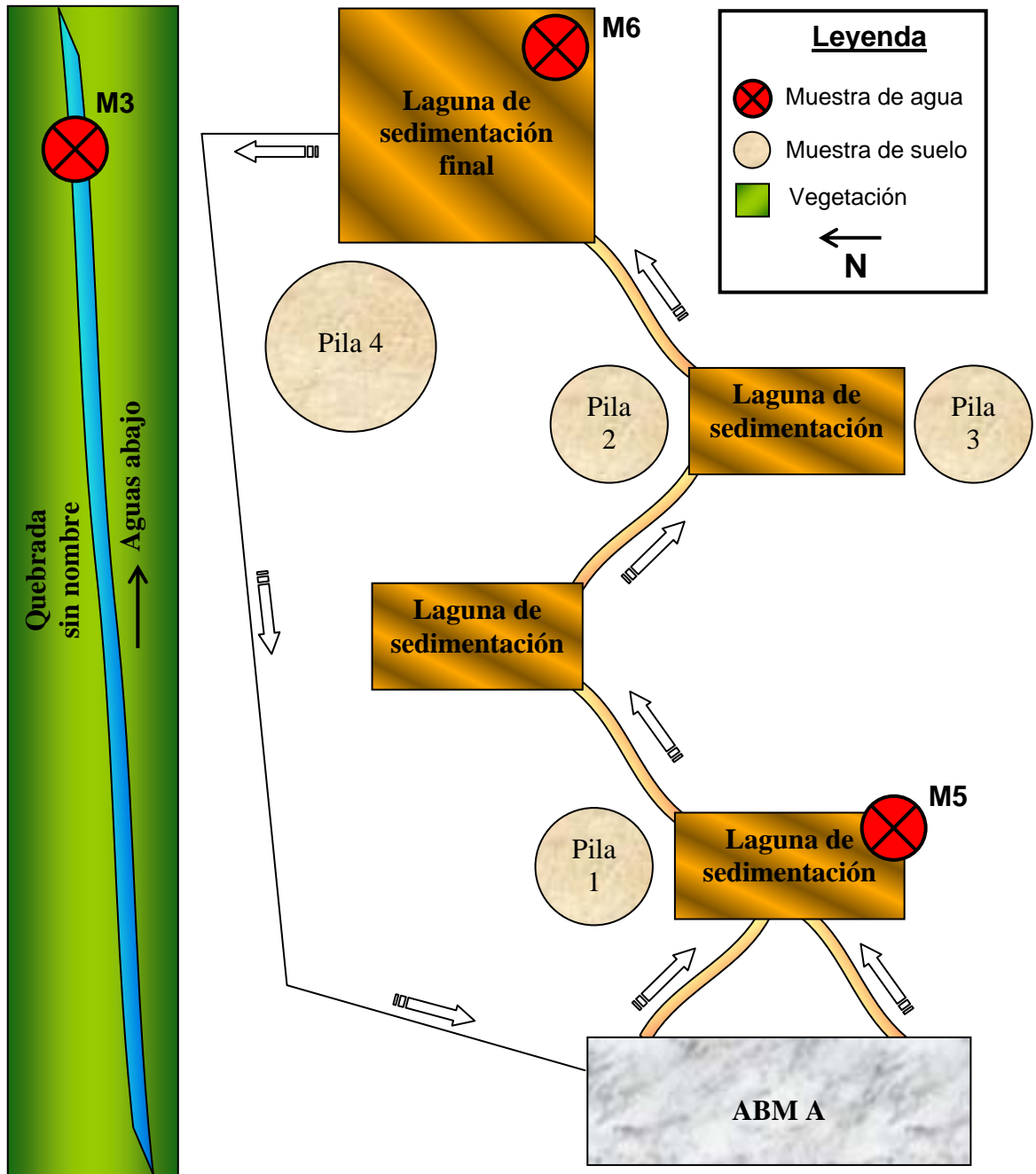


Figura 5.5 Diagrama general sin escala. Se observa la distribución espacial del ABM A, el manejo de colas y la quebrada. También se aprecia los sitios donde se tomaron muestras de aguas y suelos. Fuente: Elaboración propia.

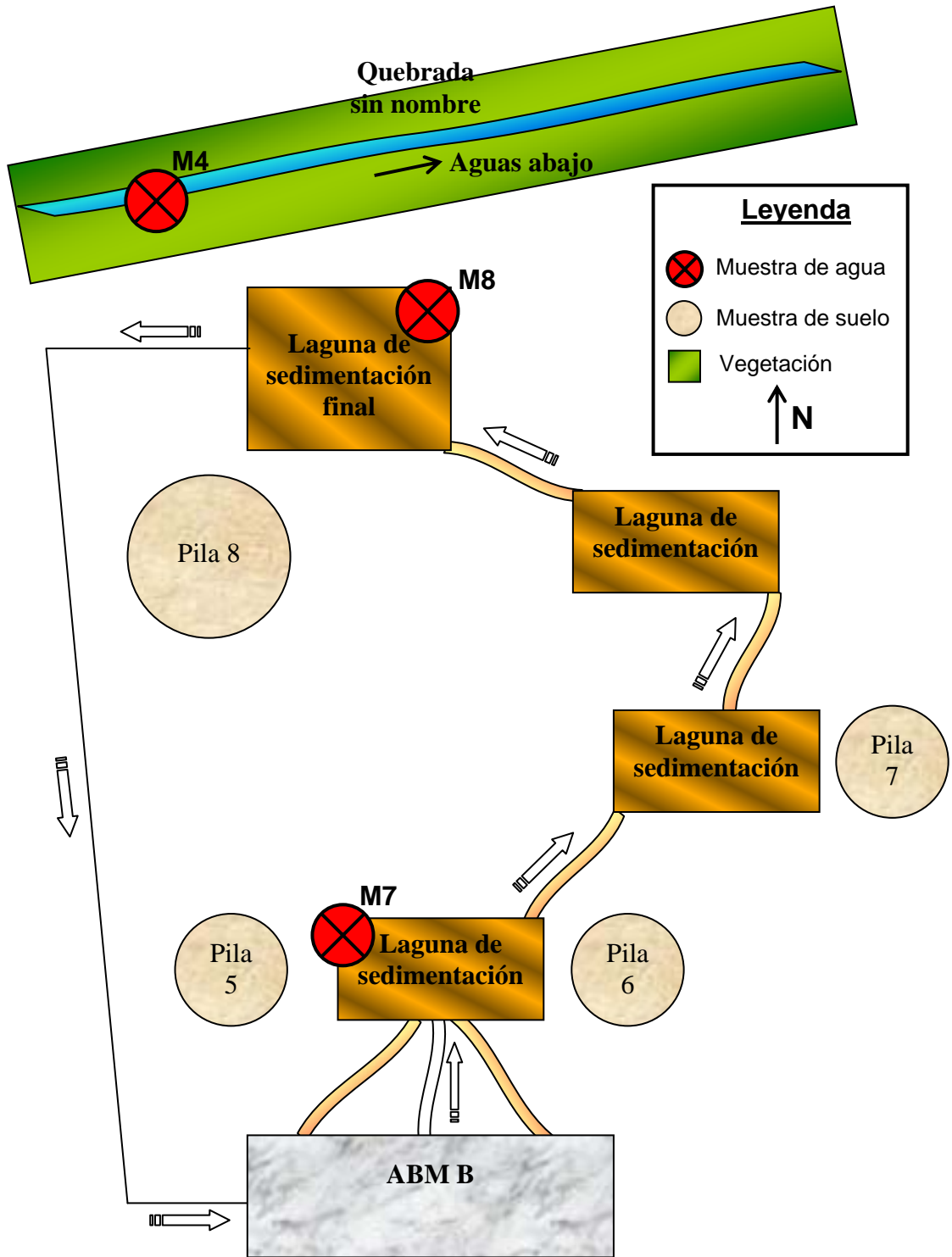


Figura 5.6 Diagrama general sin escala. Se observa la distribución espacial del ABM B, el manejo de colas y la quebrada. También se aprecia los sitios donde se tomaron muestras de aguas y suelos. Fuente: Elaboración propia.

Recolección de muestras de suelos:

Al estudiar como se explota el oro en Hoja de Lata y el tratamiento que se le da a las colas se observó que al final del proceso de beneficio de mineral se apilan los sedimentos, siendo este un material no conforme, por ello se consideró importante la toma de muestras en las pilas de mayor magnitud.

En la tabla 5.5 se muestran las coordenadas UTM y la altura en msnm de los puntos donde se recolectaron las muestras de suelos. Se recogieron aproximadamente 2,5 kg de cada muestra de suelo.

Tal y como se indicó para muestras de agua, las figuras 5.5 y 5.6 también contienen los lugares donde se recolectaron las muestras de suelos.

Se recogieron muestras de suelos en cuatro pilas del ABM A (figura 5.5) y en cuatro pilas del ABM B (figura 5.6). Las muestras de suelos se recogieron en bolsas plásticas debido a que los valores de materia orgánica no serán considerados en este estudio.

Tabla 5.5 Listado con la ubicación de las muestras de suelos recuperadas en Hoja de Lata. Fuente: Elaboración propia.

Muestra	Norte (UTM)	Este (UTM)	Altura msnm
Pila 1	773.960	689.473	133
Pila 2	773.968	689.484	128
Pila 3	773.901	689.521	128
Pila 4	773.935	689.533	128
Pila 5	773.879	689.574	134
Pila 6	773.885	689.577	133
Pila 7	773.843	689.579	128
Pila 8	773.918	689.568	128

Cadena de custodia:

Las muestras de aguas y las de suelos fueron trasladadas desde el área de Hoja de Lata en el estado Bolívar hasta Caracas por transporte terrestre; las muestras de agua se mantuvieron en una cava con hielo seco para preservarlas del calor.

5.2 ENSAYOS DE LABORATORIO

5.2.1 En Agua

Los ensayos de laboratorio de las 8 muestras de aguas se realizaron en la División de Servicios Laboratorios de Análisis del Centro de Química Analítica, Escuela de Química, Facultad de Ciencias de la Universidad Central de Venezuela.

Se analizaron los valores de pH, sólidos disueltos totales y mercurio total presentes en las muestras dando los resultados que se muestran en la tabla 5.6.

Tabla 5.6 Resultados de ensayos físico-químicos en muestras de aguas.

Fuente: Centro de Química Analítica, UCV.

Muestra	pH	Sólidos disueltos totales (mg/L)	Mercurio total (mcg/L)
M1	6,3±0,2	131±5	<0,2
M2	6,4±0,2	116±5	<0,2
M3	6,5±0,2	167±5	0,76±0,05
M4	6,1±0,2	111±5	0,43±0,2
M5	4,8±0,2	133±5	2,43±0,05
M6	4,23±0,2	50±5	3,6±0,1
M7	4,6±0,2	121±5	2,14±0,1
M8	4,71±0,2	100±5	2,6±0,1

El ensayo de pH se realizó siguiendo el modelo 2310 de “Standar Methods Committee”(1990) y se utilizó un equipo pHmeter Modelo Orión 420.

El mercurio total se determinó por absorción atómica según el modelo 3500-Hg de “Standar Methods Committee”(1990) y se empleó un equipo Perkin Elmer, FIMS.

El ensayo de sólidos disueltos totales se realizó con el modelo 2540 de “Standar Methods Committee”(1990).

5.2.2 En Suelos

Los ensayos de suelos se realizaron en 3 diferentes laboratorios:

- Escuela de Metalurgia y Ciencias de los Materiales de la Universidad Central de Venezuela.
- Instituto de Materiales y Modelos Estructurales de la Universidad Central de Venezuela.
- Laboratorio de Suelos Martinello.

Granulometría:

La clasificación por tamaños mediante ensayos granulométricos de las muestras de suelos se realizó en los laboratorios de la Escuela de Metalurgia y Ciencias de los Materiales de la Universidad Central de Venezuela.

Dado que el material es similar se escogieron aleatoriamente para el ensayo cuatro muestras, dos muestras del ABM A (Pila 1 y Pila 4), (figura 5.5); y dos muestras del ABM B (Pila 5 y Pila 7), (figura 5.6). Debido a que el ensayo no presentaba una variación marcada, entonces se decidió no realizar más ensayos granulométricos.

Los ensayos granulométricos se realizaron de acuerdo a la norma D422-63 de ASTM (1998) y se usaron una serie de tamices.

A continuación se muestran los resultados obtenidos en las tablas 5.7, 5.8, 5.9 y 5.10.

Tabla 5.7 Resultados del ensayo granulométrico de la muestra de suelo denominada Pila 1. Fuente: Elaboración propia.

Malla		Retenido			Pasante
A.S.T.M	Abertura (mm)	Peso (gr)	% Peso	Sum %	% Pasante
10	2,000	0	0	0	0
40	0,420	50,5	10,1	10,1	89,9
100	0,149	249,0	49,8	59,9	40,1
200	0,074	110,5	22,1	82,0	18
-200		83,7	16,7	98,7	1,3

Tabla 5.8 Resultados del ensayo granulométrico de la muestra de suelo denominada Pila 4. Fuente: Elaboración propia.

Malla		Retenido			Pasante
A.S.T.M	Abertura (mm)	Peso (gr)	% Peso	Sum %	% Pasante
10	2,000	0	0	0	0
40	0,420	64,0	12,8	12,8	87,2
100	0,149	219,5	43,9	56,7	43,3
200	0,074	109,5	21,9	78,6	21,4
-200		99	19,8	98,4	1,6

Tabla 5.9 Resultados del ensayo granulométrico de la muestra de suelo denominada Pila 5. Fuente: Elaboración propia.

Malla		Retenido			Pasante
A.S.T.M	Abertura (mm)	Peso (gr)	% Peso	Sum %	% Pasante
10	2,000	0	0	0	0
40	0,420	44	8,8	8,8	91,2
100	0,149	260,5	52,1	60,9	39,1
200	0,074	108,5	21,7	82,6	17,4
-200		81,3	16,2	98,8	1,2

Tabla 5.10 Resultados del ensayo granulométrico de la muestra de suelo denominada Pila 7. Fuente: Elaboración propia.

Malla		Retenido			Pasante
A.S.T.M	Abertura (mm)	Peso (gr)	% Peso	Sum %	% Pasante
10	2,000	0	0	0	0
40	0,420	42,5	8,5	8,5	91,5
100	0,149	244,0	48,8	57,3	42,7
200	0,074	119,0	23,8	81,1	18,9
-200		91,3	18,2	99,3	0,7

Peso específico

El peso específico de las muestras se determinó en los laboratorios del Instituto de Materiales y Modelos Estructurales de la Universidad Central de Venezuela.

El ensayo se efectuó con picnómetro y bomba de vacío según la norma D854 de la ASTM (1998).

Se realizó la medición del peso específico para dos muestras, obteniendo los siguientes resultados.

Peso específico muestra Pila 6 (Gs) = 2,65

Peso específico muestra Pila 1 (Gs) = 2,64

Plasticidad

El ensayo de plasticidad se realizó en los laboratorios del Instituto de Materiales y Modelos Estructurales de la Universidad Central de Venezuela.

Se realizó la prueba de plasticidad a dos muestras (Pila 1 y Pila 8) y el límite plástico no pudo ser determinado, en otras palabras el resultado obtenido es que las muestras de suelos estudiadas son no plásticas (NP).

Corte Directo

El ensayo de corte directo se realizó en el Laboratorio de Suelos Martinello. Se realizó este ensayo para una muestra (Pila 5). Se utilizó un equipo Farnell de carga de esfuerzo horizontal según la norma D3080-98.

A continuación se muestran los resultados obtenidos:

Angulo de fricción (ϕ) = 39°

Cohesión = 0,00 Kg/cm²

CAPÍTULO VI

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

6.1 INDICADORES ECONÓMICOS

6.1.1 Cantidad de mena extraída

En la tabla 5.3 se puede determinar que durante el mes de agosto del presente año se extrajeron en Hoja de Lata 1.889 sacos de mena aurífera. Considerando que cada saco tiene un peso aproximado de 75 Kg, se obtiene una cantidad de mena extraída en el correspondiente mes de:

$$1.889 \text{ sacos/mes} \times 75 \text{ kg/saco} = 141.675 \text{ kg/mes} = 141,67 \text{ ton/mes}$$

Si el mes de agosto fuera representativo para la producción aurífera se tendría que anualmente se extraería de Hoja de Lata alrededor de:

$$141,67 \text{ ton/mes} \times 12 \text{ meses} = 1.772,04 \text{ ton/año.}$$

Sin embargo como se explicara con mayor detalle en la sección de indicadores sociales, este mes en apariencia puede que no resulte ser el más representativo del año.

6.1.2 Producción aurífera

De la tabla 5.3 se desprende que durante el mes de agosto la producción de oro fue de 2.815,7 gr/mes = 2,81Kg/mes. Con este dato como referencia se tiene que anualmente la producción aurífera estara por el orden de:

$$2,81 \text{ Kg/mes} \times 12 \text{ meses} = 33,72 \text{ Kg/año.}$$

6.1.3 Tenor de mineral

Si de 141,67 ton se obtuvieron 2.815,7 gr de oro, se tiene que el tenor del mineral de oro en Hoja de Lata con tecnologías de arranque y beneficio mineral que pueden ser mejorados, es de:

$$\text{Tenor} = 2.815,7 \text{ gramos} / 141,67 \text{ ton} = 19,87 \text{ gr/ton.}$$

Comparando este resultado de 19,87 gr/ton, con el tenor de mineral reportado por el PPMHL (2004) de 22 gr/ton en el cual no se indica como fue determinado, se puede apreciar que ambos resultados son muy similares.

6.1.4 Reservas y Vida Óptima de Explotación (VOE)

Las reservas de mineral aurífero en Hoja de Lata se pueden identificar como probables ya que hay una discontinuidad en los puntos de observación que han sido evaluados por los mineros. Actualmente INGEOMIN se encuentra realizando perforaciones en el área a fin de aumentar el grado de confianza de las reservas.

En cuanto a la vida óptima de explotación tenemos que aplicando la Regla de Taylor obtenemos:

$$\text{VOE (Años)} = 6,5 (\text{Reservas-Mt})^{0,25} \times (1 \pm 0,2), \text{ Reservas} = 0.353$$

$$\text{VOE (Años)} = 5, 010 \pm 0,2 \text{ años}$$

De acuerdo al PPMHL (2004) las reservas se han de explotar en un período de 15 años (ver reservas en el capítulo IV), según Taylor la vida óptima de explotación es de aproximadamente 5 años. Se observa una diferencia entre estos resultados pero no se conoce los criterios que usó el PPMHL para determinar el tiempo de explotación.

6.2 INDICADORES SOCIALES

6.2.1 Población-Ocupación

Según los datos de campo actualmente viven en el campamento de Hoja de Lata alrededor de 150 personas de las cuales aproximadamente 60 son mineros y mineras. Esto contrasta con el dato teórico reseñado por el PPMHL (2004) en el cual dicho proyecto estima que conviven en Hoja de Lata aproximadamente 270 personas, de las cuales 90 son propiamente mineros.

$$270 \text{ personas} - 150 \text{ personas} = 120 \text{ personas}$$

$$90 \text{ mineros} - 60 \text{ mineros} = 30 \text{ mineros}$$

Esta diferencia en cuanto a la cantidad de población y mineros en el área de Hoja de Lata se debe a que muchos mineros acostumbran irse hacia regiones cercanas donde por momentos se explota el oro con tenor más elevado “la bulla” al que ellos actualmente obtienen, a ellos localmente se les llama “mineros de bulla”. En agosto de 2005 muchos mineros y sus familias se encontraban en un lugar denominado La Salle en una “bulla” que se generó en esa región.

6.2.2 Valoración de calidad de vida

En general la calidad de vida es muy precaria. En el campamento minero las viviendas estan construidas con estructuras de madera, láminas de zinc y plástico que hacen funciones de paredes y techos.

La infraestructura de salud es deficiente por falta de edificaciones hospitalarias básicas, insuficiencia de medicinas, material quirúrgico y de emergencia, y escasez de médicos. Estas deficiencias, aunadas a la escasez de agua, contribuyen a propagar enfermedades relacionadas con la higiene de los alimentos.

Los servicios públicos son muy escasos, la población no posee red de tuberías de aguas servidas, relleno sanitario, ni planta de tratamiento de aguas para consumo humano; no dispone de escuela, existen pequeñas viviendas para el almacenamiento y venta de productos comestibles, principalmente enlatados y víveres. El agua envasada es la que se usa mayormente para el consumo humano, abasteciéndose de pequeñas quebradas para labores de limpieza; algunas viviendas poseen recolectores y pequeños tanques para el almacenamiento del agua de lluvia.

Por otra parte, la población de San José de Anacoco, que se encuentra cercana a Hoja de Lata tampoco cuenta con con servicio de electricidad ni servicios públicos importantes, únicamente un dispensario de salud y una escuela primaria; con servicio de electricidad.

6.3 INDICADORES AMBIENTALES

6.3.1 Generación de sedimentos

Considerando que el oro representa una porción muy pequeña y despreciable de la mena extraída, se puede concluir que prácticamente todo la mena explotada va a representar la producción de sedimentos.

Si se tiene una cantidad de mena extraída de 141,67 ton/mes, entonces los sedimentos generados en el mes de agosto son igualmente de 141,67 ton/mes dada la poca cantidad significativa del mineral útil.

De esta manera se obteniéndose una cantidad aproximada de sedimentos al año de: $141,67 \text{ ton/mes} \times 12 \text{ meses} = 1.772,04 \text{ ton/año}$.

6.3.2 Mercurio utilizado

De acuerdo a los datos de campo en Hoja de Lata, y con la amalgamación empleada por ellos en el beneficio mineral, se determinó que la relación de oro - mercurio es 1:2. De esta manera para obtener 1 Kg de oro es necesario emplear en el proceso 2 Kg de mercurio. Si en el mes de agosto del presente año se produjeron 2,81 Kg de oro y siguiendo la relación antes descrita, se puede decir que se utilizaron aproximadamente $2,81 \times 2 = 5,62$ Kg de mercurio en agosto de 2005.

Anualmente se estaría empleando un total de $5,62 \text{ Kg/mes} \times 12 \text{ meses} = 67,44$ Kg/año de mercurio.

6.3.3 Sedimentos

De acuerdo a las observaciones de campo se plantea que los principales agentes encargados de generar sedimentos en la minería aurífera de Hoja de Lata son:

- Las lagunas de sedimentación, de la cual se puede decir que no tiene suficiente capacidad ya que se desborda con las lluvias, escurriendo aguas abajo en dirección a la quebrada; además, las colas con contenido de mercurio que contienen estas lagunas pueden estar afectando al suelo y a las aguas subterráneas.
- Las pilas de material no conforme, este material está muy disperso por el área de beneficio mineral y no posee un manejo adecuado, durante las lluvias es arrastrado aguas abajo en dirección a la quebrada siendo esta situación muy perjudicial para los recursos hídricos.
- La vía multiuso que intercepta la quebrada, aunque en menor grado que la actividad minera, constituye un aporte de sedimentos.

6.2 CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES DE AGUAS Y SUELOS

6.2.1 Agua

En esta sección vamos a comparar los datos de laboratorio con la calidad de agua y la clasificación de las aguas que establece el MARN (2005) en el Decreto 1508, que están referidas en el capítulo II, de allí se desprende que:

El límite máximo permisible de mercurio total para todas las clases de agua (excelente, muy buena, buena y aceptable) es 0,001 mg/L = 1 mcg/L.

El límite máximo permisible de sólidos disueltos totales para todas las clases de agua es de 1300 mg/L.

El rango permisible de pH para el agua de clasificación excelente, muy buena y buena es de 6,5 – 8,5. El rango permisible de pH para agua de clasificación aceptable es de 3,8 – 10,5.

Tabla 6.1 Comparación de resultados de laboratorio y límite máximo permisible de mercurio total. Fuente: Elaboración propia.

Muestra	Ubicación general	Mercurio total medido en laboratorio (mcg/L)	Límite máximo permisible mercurio total (mcg/L)
M1	Quebrada, aguas arriba del beneficio mineral	<0,2	1
M2	Intercepción entre carretera y quebrada	<0,2	1
M3	Quebrada a 30 m del ABM A	0,76±0,05	1
M4	Quebrada a 60 m del ABM B	0,43±0,2	1
M5	Laguna de sedimentación inicial ABM A	2,43±0,05	1
M6	Laguna de sedimentación final ABM A	3,6±0,1	1
M7	Laguna de sedimentación inicial ABM B	2,14±0,1	1
M8	Laguna de sedimentación final ABM B	2,6±0,1	1

En la tabla 6.1 comparando los resultados obtenidos de laboratorio con el límite máximo permisible de mercurio total se tiene que:

- En las muestras 1 y 2 que se encuentran aguas arriba del beneficio mineral los valores de mercurio total medido se encuentran muy por debajo del límite máximo permisible. De esta situación se puede decir que en la actualidad estas áreas que se encuentran mas alejadas de la minería no están afectadas por la actividad.

- Las muestras 3 y 4 que se encuentran respectivamente a 30 m y a 60 m del área de beneficio mineral poseen valores de mercurio total que aún cuando están por debajo de la norma, los correspondiente valores son más elevados que aguas arriba del beneficio mineral. Esto es un indicio de que que los sedimentos con contenido mercurial están siendo transportados hasta la quebrada y que de no tomarse medidas preventivas los niveles de mercurio total pueden seguir aumentando hasta ocasionar una afectación en el recurso hídrico.
- En las lagunas de sedimentación el nivel de mercurio total sobrepasa el límite máximo permisible. Las lagunas de sedimentación constituyen el primer elemento receptor de las colas producto del beneficio mineral por ello los niveles de mercurio en estas estructuras son elevados. Estos resultados obtenidos se esperaban debido a las grandes cantidades de mercurio usado en el proceso de amalgamación. En función de estos resultados se debe establecer un estricto y adecuado control de sedimentos en las lagunas de sedimentación.

Tabla 6.2 Comparación de resultados de laboratorio y límite máximo permisible de sólidos disueltos totales. Fuente: Elaboración propia.

Muestra	Ubicación general	Sólidos disueltos totales medido en laboratorio (mg/L)	Límite máximo permisible sólidos disueltos totales (mg/L)
M1	Quebrada, aguas arriba del beneficio mineral	131±5	1300 mg/l
M2	Intercepción entre carretera y quebrada	116±5	1300 mg/l
M3	Quebrada a 30 m del ABM A	167±5	1300 mg/l
M4	Quebrada a 60 m del ABM B	111±5	1300 mg/l
M5	Laguna de sedimentación inicial ABM A	133±5	1300 mg/l
M6	Laguna de sedimentación final ABM A	50±5	1300 mg/l
M7	Laguna de sedimentación inicial ABM B	121±5	1300 mg/l
M8	Laguna de sedimentación final ABM B	100±5	1300 mg/l

De la tabla 6.2 se establece que:

- Los valores de sólidos disueltos totales medidos en el laboratorio se encuentran muy por debajo del límite máximo permisible que establece la norma.

Tabla 6.3 Comparación de resultados de laboratorio y rango permisible de pH.

Fuente: Elaboración propia.

Muestra	Ubicación general	pH medido en laboratorio	Rango permisible de pH (agua excelente).	Rango permisible de pH (agua aceptable).
M1	Quebrada, aguas arriba del beneficio mineral	6,3±0,2	6,5 – 8,5	3,8 – 10,5
M2	Intercepción entre carretera y quebrada	6,4±0,2	6,5 – 8,5	3,8 – 10,5
M3	Quebrada a 30 m del ABM A	6,5±0,2	6,5 – 8,5	3,8 – 10,5
M4	Quebrada a 60 m del ABM B	6,4±0,2	6,5 – 8,5	3,8 – 10,5
M5	Laguna de sedimentación inicial ABM A	4,8±0,2	6,5 – 8,5	3,8 – 10,5
M6	Laguna de sedimentación final ABM A	4,23±0,2	6,5 – 8,5	3,8 – 10,5
M7	Laguna de sedimentación inicial ABM B	4,6±0,2	6,5 – 8,5	3,8 – 10,5
M8	Laguna de sedimentación final ABM B	4,71±0,2	6,5 – 8,5	3,8 – 10,5

En la tabla 6.3 comparando los resultados obtenidos de laboratorio con el rango permisible de pH se tiene que:

- Los niveles de pH para la quebrada, aguas arriba y cerca del área de beneficio mineral están dentro del rango permisible de la clasificación de agua excelente. Por lo que se observa que actualmente el rango de pH en la quebrada no se ve afectado por la actividad minera.
- Los valores de pH de las aguas en las lagunas de sedimentación son mas bajos que los de la quebrada. Estos niveles de pH se encuentran por debajo del rango permisible de la clasificación de agua excelente y dentro del rango de agua aceptable.

Considerando los niveles de pH bajos en las lagunas de sedimentación y relacionandolo con la teoría que establece que en la geología de la zona hay minerales sulfurados especialmente pirita, esta situación da un indicio de la posibilidad de que exista la presencia de drenaje ácido de mina, lo cual representaría un grave problema ambiental por el simple hecho que las aguas ácidas alteran profundamente las características químicas de los cuerpos de agua receptores, contaminandolas y causando impactos negativos en los ecosistemas acuáticos.

6.2.2 Suelos

Análisis granulométrico

A continuación se muestra la figura 6.1 que es el gráfico realizado para el análisis granulométrico de las muestras de suelos. Se graficaron los valores obtenidos en las tablas 5.7, 5.8, 5.9 y 5.10.

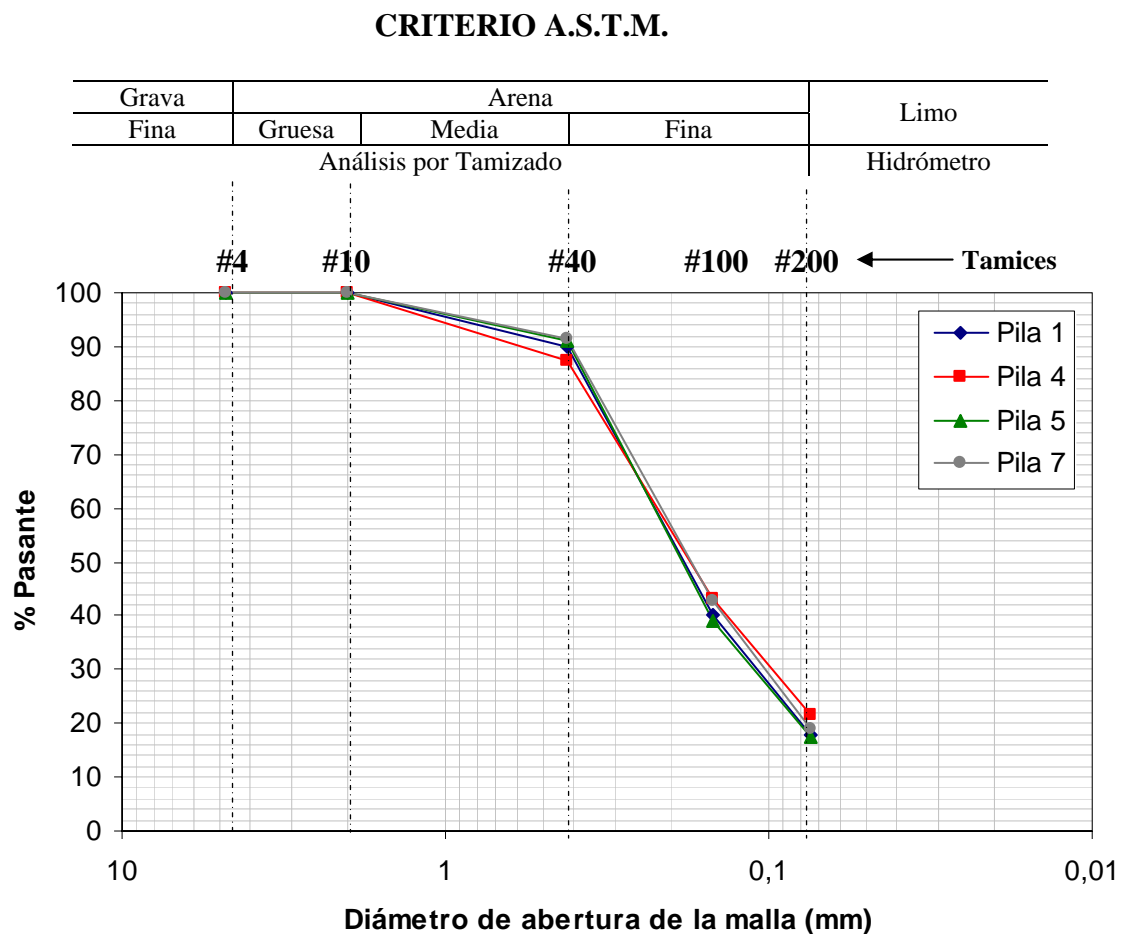


Figura 6.1 Análisis granulométrico de muestras de suelos.

Fuente: Elaboración propia

En este gráfico se puede observar que las diferentes muestras de material no conforme estudiadas (Pilas 1, 4, 5, 7) presentan una granulometría muy similar. En el gráfico también se aprecia que de acuerdo a la clasificación ASTM, las muestras estudiadas se componen aproximadamente de:

- 10 % de arena media
- 72 % de arena fina
- 18 % de finos

Por lo que podemos clasificar el material no conforme como una arena fina limosa.

Peso específico

El peso específico del material no conforme de acuerdo a los resultados de laboratorio es de 2,65. Se esperaba este resultado ya que el material proviene de una mena cuarcífera, por lo que se corresponde con el valor de la densidad del cuarzo.

Plasticidad

El material no conforme es NP. Esto tiene importancia práctica ya que en ese estado la manipulación de este material y la ejecución de obras de tierra es más difícil.

Corte Directo

Los resultados obtenidos de este ensayo son:

Angulo de fricción (ϕ) = 39°. Este es el ángulo en el cual el material no conforme apilado se mantiene en reposo sin producir movimiento de masa.

Cohesión = 0,00 Kg/cm². Puesto que el material no conforme estudiado es no plástico, la cohesión entre sus partículas es cero.

CONCLUSIONES

De acuerdo a los objetivos propuestos para el estudio desarrollado en el proyecto Hoja de Lata, municipio Sifontes, estado Bolívar:

1. Se realizó el diagnóstico del proceso minero-ambiental estableciéndose las siguientes relaciones del modelo emisión - recepción de agentes de afectación, entre la generación de sedimentos por la minería de oro en Hoja de Lata y los receptores hídricos:

- Lagunas de sedimentación también llamadas “tanquillas” que no disponen de suficiente capacidad de almacenamiento, ni de barreras o membranas protectoras del suelo y aguas subterráneas.
- Durante el apilamiento del material no conforme no se tienen controles que garanticen su adecuado desempeño geotécnico y ambiental. No existen medidas básicas para prevenir movimientos de masa, ni para controlar el arrastre de sedimentos al cauce natural.
- Vialidad multipropósito, de acceso a mina y campamento, y de acarreo de mena a planta de beneficio mineral, que intercepta una quebrada sin nombre, próxima a su nacimiento.

Se concluye que la calidad de agua de la quebrada se clasifica como agua Clase I o excelente, sin embargo la calidad del agua está un poco disminuida cerca del área de beneficio mineral. Entre tanto el agua en el interior de las lagunas de sedimentación es clase 4.

La falta de medidas de protección ambiental queda manifiesta cuando se aprecia que extensiones con comunidades vegetales quedan soterradas por el crecimiento de las áreas de disposición de material no conforme.

El material no conforme es una arena fina limosa, de peso específico 2,65; no es plástico, posee un ángulo de reposo de 39° y cohesión cero por lo que se concluye que no es un material apto para la ejecución de obras de tierra.

2. Los indicadores de sustentabilidad calculados en este estudio y descritos en el capítulo VI -económicos, sociales, ambientales- resultan muy útiles puesto que nos orientan acerca de cómo es la actividad minera que actualmente se desarrolla en Hoja de Lata desde el punto de vista del control de sedimentos.

Por otra parte los indicadores de sustentabilidad calculados ofrecen tendencias que son importantes considerarlas para la futura ampliación del proyecto Hoja de Lata y puede ayudar a hacer seguimiento a las estrategias de control de procesos con los objetivos planificados.

Los indicadores económicos, sociales y ambientales considerados en este trabajo sirven de guía para la toma de decisiones y acciones orientadas a lograr la viabilidad técnica ambiental de la actividad minera, permitiendo al sector minero un desempeño compatible con el crecimiento económico, el desarrollo social y el equilibrio ecológico.

Dada la gran fragilidad de la zona RFI se concluye que la explotación de oro en veta es más aconsejable desde el punto de vista ambiental que la de cielo abierto con el uso de monitor hidráulico, solo queda por controlar la afectación en las áreas de beneficio mineral.

Este tipo de estudios es oportuno en Hoja de Lata ya que permite aplicar medidas de control antes de que en el proyecto aumente la producción y por ende la generación de sedimentos.

3. Se establece que las medidas de control y disposición de sedimentos a ser consideradas e implementadas por la Cooperativa Minera Hoja de Lata son:

- Construcción de barreras filtrantes de protección en la margen sur de la quebrada (sin nombre) para retener sólidos en suspensión como medida de protección del ingreso de material no conforme de las pilas y de colas producto del desborde de las lagunas de sedimentación.
- Impermeabilización de paredes y fondo de las lagunas de sedimentación.
- Construcción de un depósito donde apilar el material no conforme.

- Construcción de barreras o membranas que restrinjan la infiltración del material no conforme apilado.
- Pavimentación de vía multiuso.
- Para la ampliación del proyecto que se tiene planeada: construcción de laguna de sedimentación.

4. Correlacionando efectos ecológicos con factores sociales de uso del territorio se concluye que el proyecto Hoja de Lata demanda urbanismo debido a la gran cantidad de carencias; se hace necesario evitar la propagación de enfermedades ambientales relacionadas con la higiene de alimentos y con nichos de vectores de malaria o paludismo.

Los proyectos como el de Hoja de Lata permiten organizar y asentar a población dispersa de la región con un medio de producción, es importante que cuenten con control fiscal y ambiental.

El proyecto Hoja de Lata permite ejercer soberanía en esta zona limítrofe, en particular con el territorio en reclamación.

RECOMENDACIONES

Se recomienda continuar la evaluación y el diagnóstico de la actividad minera y del ambiente de manera tal que se permita el aprovechamiento de los recursos minerales racionalmente y al mismo tiempo se proteja el patrimonio natural.

Se propone el uso de los indicadores de sustentabilidad al momento de tomar decisiones y acciones en el proyecto Hoja de Lata. Además, se sugiere que la misma cooperativa identifique y seleccione otros indicadores que les sean útiles en el desarrollo de las comunidades y de la actividad minera.

Dentro de las variables ambientales la de mayor sensibilidad son los recursos hídricos. Siendo éstos recursos, uno de los factores ambientales más susceptibles de percibir perturbaciones por el desarrollo de depósitos de materiales no conformes, se propone que los nacientes no sean intervenidos, debido a su importancia para los sistemas hidrológicos y que se evite construir a una distancia mínima de 200 m establecida por la Ley de Suelos y Aguas.

Se sugiere hacer un monitoreo de la quebrada aguas arriba y aguas abajo del área de beneficio mineral; donde se midan los niveles de pH, sólidos en suspensión, materia sedimentable, concentración de mercurio y distancias alcanzadas por los sedimentos transportados, todo esto con la finalidad de controlar el grado de afectación al ambiente.

Se recomienda realizar estudios geoquímicos que permitan establecer si existe o no la presencia drenaje ácido de mina en el proyecto Hoja de Lata.

Para proteger la margen sur de la quebrada del material no conforme y de los desbordes en las lagunas de sedimentación se sugiere el uso de barreras de sedimentos filtrantes y/o biomantas, a fin de retener los sólidos en suspensión. En el anexo 1 se muestran algunos tipos de barreras de sedimentos tomados de la literatura y algunos factores que se deben considerar en la instalación y diseño de las barreras. Además, en este anexo se aprecian biomantas que principalmente están constituidas por fibras vegetales y manojos de pasto.

Para la construcción de barreras o membranas que restrinjan la infiltración del material no conforme apilado, se recomienda seguir un procedimiento de impermeabilización similar al de las lagunas de sedimentación.

Con la finalidad de impermeabilizar las paredes y el fondo de las lagunas de sedimentación para proteger el suelo y aguas subterráneas, se recomienda el uso de barreras de arcilla compactada o geomembranas. Los materiales que pueden emplearse en la impermeabilización de las lagunas de sedimentación, con las ventajas e inconvenientes que presentan se indican en la tabla del anexo 2.

Se recomienda la construcción de un depósito o depósitos donde se puedan disponer los sedimentos apilados que actualmente se encuentran dispersos en el área de beneficio mineral, y los sedimentos a futuro, se sugiere realizar un estudio geotécnico del lugar, levantamientos topográficos y considerar aspectos económicos, mineros y ambientales como por ejemplo la protección de nacientes a fin de determinar el lugar de ubicación del depósito, el tamaño y forma. En cuanto a la capacidad de almacenamiento del depósito debe tenerse presente la cantidad de material no conforme que se encuentra ya en el área (la cual debe ser determinada) y la cantidad de sedimentos que se generan de acuerdo al tiempo estimado que se proyecte dar al depósito. En el anexo 3 se exponen algunos métodos de depósitos y sistemas constructivos.

Se recomienda la pavimentación adecuada de la vía multiuso y la construcción de obras de drenaje y control de sedimentos donde la vía intercepta a la quebrada, para ello se deben realizar un estudio en detalle de suelos y estudios hidráulicos.

Se propone para el proyecto a futuro, realizar estudios en detalle a fin de ubicar una laguna de sedimentación acorde con el proyecto. Además se propone que se revisen nuevas tecnologías relacionadas con la deshidratación de colas y el relleno de las cavidades subterráneas abandonadas con lodos.

Se sugiere que dentro de la Cooperativa Minera Hoja de Lata se organice una cooperativa de gestión ambiental que tenga entre sus objetivos el control de sedimentos.

Debido a las limitaciones económicas se analizaron un número reducido de muestras de aguas y suelos. Se recomienda realizar estudios con mayor cantidad de muestras que permitan aumentar la confiabilidad de los resultados obtenidos.

Se recomienda realizar estudios geomecánicos en los barrancos o pozos donde se realiza la extracción de mineral a fin de evaluar el comportamiento del macizo rocoso.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arellano, M. (1947) Origen de la economía Venezolana. México. (Tomado de una publicación Técnica de la Biblioteca del Ministerio de Energía y Minas, titulada: Economía Nacional, La minería en Venezuela).
- Bernstein, P. (2002). El Oro: Historia de una Obsesión. Javier Vergara Editor. Grupo Zeta. Barcelona.
- Berry, Peter. (1993). Mecánica de Suelos. McGraw-Hill. Colombia.
- Biblioteca de Consulta Encarta. (2005).
- Borisov, S. (1976). Labores Mineras. Editorial Mir. Moscú.
- Castillo, A. (2005) Identificación de Reservas Minerales Sustentables. Trabajo de Ascenso. Departamento de Minas, Facultad de Ingeniería, UCV.
- Castillo, Alba y Piña, Aurora. (2002). Curso de Extensión de Conocimientos en Control de Sedimentos en Minería a Cielo Abierto. Venezuela.
- Castillo, A y Matheus, J. (2003) Control de Sedimentos en Pequeña Minería Aurífera como Indicador de Sustentabilidad en la Industria Extractiva Mineral. Memorias de las Terceras Jornadas de Investigación JIFI 2002, celebradas en la Facultad de Ingeniería de la UCV.
- CEPAL – SERIE Recursos Naturales e Infraestructura (2002). La llamada pequeña minería: un renovado enfoque empresarial.

- Chesney, L. (1993) Lecciones sobre el Desarrollo Sustentable. Fundación de Educación Ambiental. Ediciones Fundambiente.
- Conesa F. (1993) Guía Metodológica para la Evaluación del Impacto Ambiental. Colegio Oficial de Ingenieros Agrónomos de Levante. Madrid.
- Hruschka F. y Priester M. (1997). Costos y Beneficios de la Pequeña Minería en los Países en Vías de Desarrollo. Artículo de Internet: www.hruschka.com/felix/article/costbene.html.
- Instituto Nacional de Estadística (2001). XIII Censo General de Población y Vivienda.
- López, Víctor. (1981). El Oro. Ministerio de Energía y Minas
- Marín, Luís. (1991). Mecánica de Suelos. Universidad de Guayaquil. Ecuador.
- Matos, Tomas. (1995). La Historia del Oro en Guayana. Venezuela.
- Mendoza, Vicente (2000). Evolución Geotectónica y Recursos Minerales del Escudo de Guayana en Venezuela (y su Relación con el Escudo Sudamericano). Ciudad Bolívar. Venezuela.
- Ministerio de Energía y Minas (2002). Anuario Estadístico Minero 2001.
- Organización Internacional del Trabajo, OIT (2002). Los Problemas Sociales y Laborales en las Explotaciones Mineras Pequeñas. Programa de actividades sectoriales.
- Palacio (1937). Industria Minera del Yuruari. Asociación Minera Venezolana.

- MIBAM (2004). Proyecto de Pequeña Minería Aurífera Hoja de Lata, Cooperativa Hoja de Lata. Estado Bolívar. Material en proceso de revisión.
- Peck, Hanson y Thornburn (1983). Ingeniería de Cimentaciones. Segunda edición. Editorial Limusa. México.
- Peláez, E (1981). Preparación y Concentración de Minerales. Departamento de Minas, Facultad de Ingeniería, UCV.
- Piña, A. (2002). Indicadores de Sustentabilidad en la Toma de Decisiones para Creación de Distritos Mineros, Aplicados a Minería Metálica: Au y Fe, en el Estado Bolívar. Trabajo Especial de Grado. Departamento de Minas, Facultad de Ingeniería, UCV.
- Pinilla, Karlo (1999). Alternativas para el Manejo y Disposición de Minerales No Conformes en el Cuadrilatero Ferrífero San Isidro, Estado Bolívar, CVG Ferrominera Orinoco, C.A. Departamento de Minas, Facultad de Ingeniería, UCV.
- Rodríguez y Ayala (1990). Manual de Diseño y Construcción de Presas. Instituto Tecnológico Geominero de España.
- Romero, J. (1999). Calidad del Agua. 2^{da} Edición, Editorial Alfaomega. México.
- Sánchez, Luis (1995). Drenaje de Mina a Cielo Abierto. Publicación: Aspectos Geológicos de Protección Ambiental. Volumen I. Oficina Regional de Ciencia y tecnología de la UNESCO para América Latina y Caribe. Montevideo, Uruguay.

- Sánchez, M. y Lastre, A. (1998). Filtración y Sedimentación Superpuestas. Trabajo Especial de Grado. Escuela de Química. Facultad de Ingeniería, UCV.
- Sans, R. y Ribas, J. (1999). Ingeniería Ambiental: Contaminación y Tratamientos. Editorial MARCOMBO. Barcelona, España.
- Suárez, Luis (1993). Presas de Corrección de Torrentes y Retención de Sedimentos. Primera edición. Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales. Caracas, Venezuela.
- Terzaghi, Kart. Peck, Ralph. (1973). Mecánica de Suelos en la ingeniería Práctica. Editorial El Ateneo, S.A. España. .
- Ugas, Celso (1985). Ensayos de laboratorio de Mecánica de Suelos. Instituto de Materiales y Modelos Estructurales,U.C.V.
- Watiez, F y B. Reyes (2001). Indicadores Locales para la Sustentabilidad. Instituto de Ecología Política. Santiago de Chile.
- Zuleta, G. (2000). Evaluación de Proyectos y Desarrollo Sustentable. Centro de Estudios del Desarrollo, CENDES. Editorial Melvin. Caracas, Venezuela.

Leyes y Reglamentos

Ley de Minas, 1999.

Constitución Nacional de la República Bolivariana de Venezuela, 1999.

Ley Orgánica del Ambiente, 1976.

Ley Forestal de Suelos y Aguas, 1989.

ANEXOS

ANEXO 1

TIPOS DE BARRERAS DE SEDIMENTOS

Fuente: Rodríguez y Ayala (1990)

www.deflor.com

Estas obras suelen construirse en la etapa final de recuperación de un terreno y los criterios generales de diseño que se siguen son los siguientes:

- El área receptora debe ser inferior a 0,5 ha.
- No deben interferir a la operación minera o uso futuro previsto para los terrenos.
- El sistema de protección debe ser efectivo frente al tipo de sólidos en suspensión arrastrados por el agua.
- El sistema debe permitir una fácil limpieza de los sólidos recogidos.
- Después de cada tormenta o aguacero de fuerte intensidad, o periódicamente con lluvias continuas débiles, debe realizarse un inspección y reparación si fuese necesario.

3.5. Protección de desagües

En los puntos de descarga de los distintos tipos de canalización se emplean protecciones, con la doble finalidad de disipar la energía del agua y evitar la erosión de las zonas entre los desagües y canales de aguas abajo. Las paredes y fondos de estos canales son cubiertas con un encachado de piedra, revegetadas o revestidas de hormigón u otros materiales. Fig. 11.20.

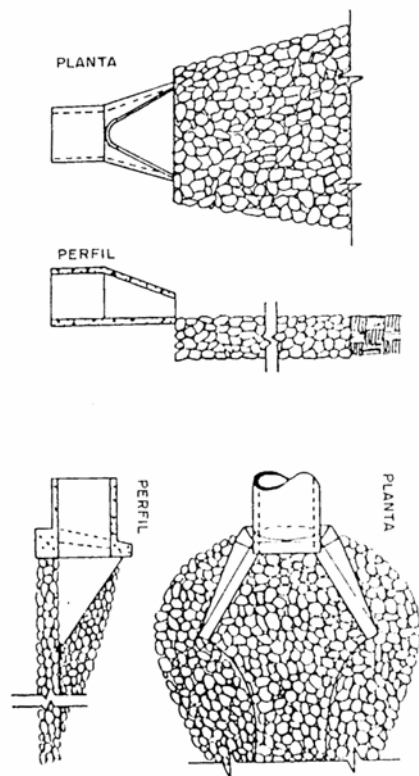


Figura 11.20. Protección de desagües.

Algunas recomendaciones generales de diseño son las siguientes:

- La longitud de protección debe ser de unas 6 veces el diámetro o anchura del canal.
- La pendiente de la estructura del canal receptor no debe exceder del 1 %.
- El extremo de la estructura de protección debe cubrir ligeramente el canal receptor.
- Periódicamente, o después de cada tormenta, deben inspeccionarse y repararse los daños.

3.6. Barreras de sedimentos

Las barreras de sedimentos son obras provisionales construidas de distintas formas y materiales, láminas filtrantes, sacos terreros, balas de paja, etc. Los objetivos de estas barreras son contener los sedimentos procedentes de la erosión, en lugares establecidos antes de que el agua pase a las vías de drenaje naturales o artificiales, y reducir la energía erosiva de las aguas de escorrentía que las atraviesan.

Se utilizan cuando las áreas desprotegidas son pequeñas y no producen una elevada cantidad de sedimentos.

Algunos factores a considerar en la instalación y diseño de los diversos tipos de barrera son los siguientes:

A. Barreras de láminas filtrantes. Fig. 11.21.

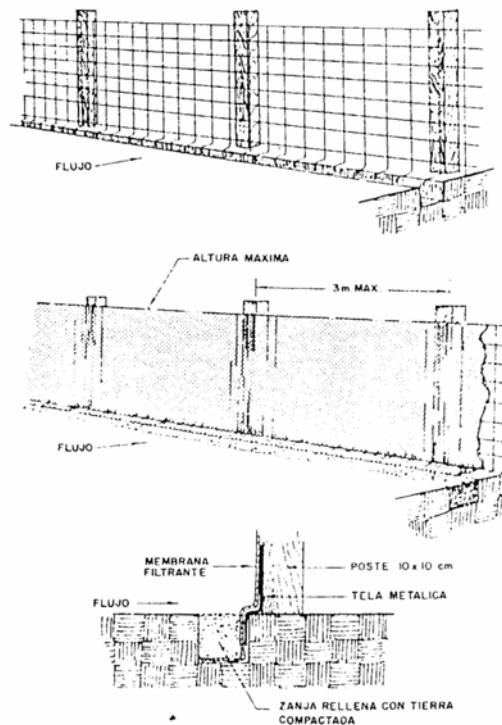


Figura 11.21. Barrera de lámina filtrante.

- Se construyen con postes, telas metálicas y geotextiles.
- Son estructuras temporales con una vida útil de unos 6 meses.
- El caudal límite de agua para estas barreras es de 30 l/s.
- Por cada 1.000 m² de superficie afectada debe disponerse de unos 30 m de barrera.
- La longitud máxima de talud no debe exceder de 30 m.
- La pendiente de talud debe ser inferior al 50 % ó 2:1.
- La altura de la barrera no debe ser superior a 90 cm.

- Cada bala debe fijarse al terreno con dos estacas de madera.
- Las balas deben estar enterradas en una profundidad de 10 cm.
- La vida efectiva de estas barreras es inferior a 6 meses.
- Por cada 0,1 ha de terreno afectado deben emplearse unos 30 m de longitud de barrera.
- La longitud máxima de talud no debe exceder de 30 m.
- El talud máximo debe ser inferior del 50 % ó 2:1.

B. Barreras de balas de paja. Fig. 11.22.

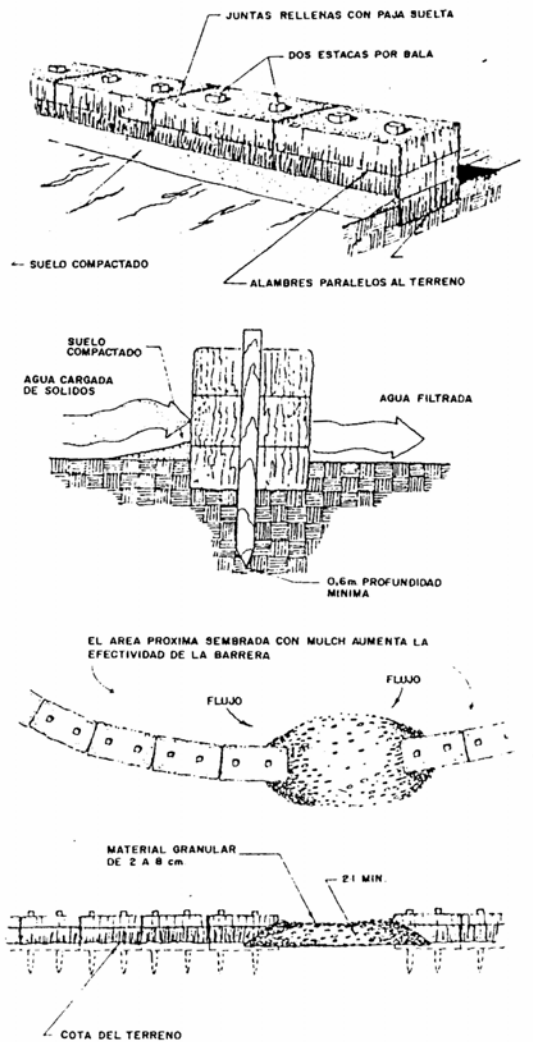


Figura 11.22. Barreras de balas de paja.

C. Barreras de ramajes. Fig. 11.23.

- Se construyen con ramas y arbustos, procedentes del desbroce y limpieza de zonas a explotar, y láminas geotextiles o telas metálicas.
- La altura de las barreras debe ser, como mínimo, de 90 cm y la anchura de 1,5 m.
- Si se emplean láminas filtrantes, estas se fijarán al terreno mediante una pequeña zanja frontal de 10x10 cm y anclajes puntuales a ambos lados cada 90 cm.

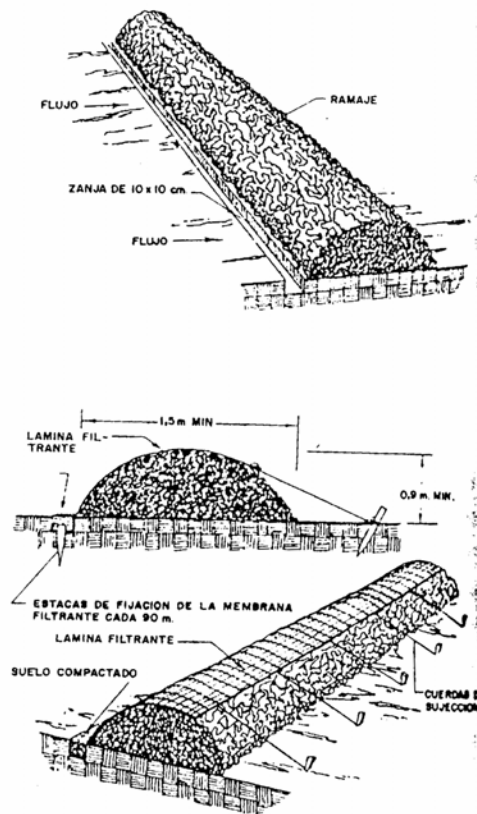


Figura 11.23. Barreras de ramajes.

D. Barreras de sacos terreros Fig. 11.24

- Se contruyen con una altura equivalente a la de dos sacos terreros.
- La fijación al suelo se realiza con estacas de madera o pies metálicos.



Figura 11.24. Barrera de sacos terreros.

En todos los casos después de cada aguacero debe efectuarse una inspección y reparación de daños, así como la limpieza de los sedimentos cuando estos alcancen una altura equivalente a la mitad de la barrera.

3.7. Desagüe de taludes

El desagüe de taludes requiere también de obras provisionales y permanentes para prevenir la erosión de las superficies por el agua recogida sobre los mismos.

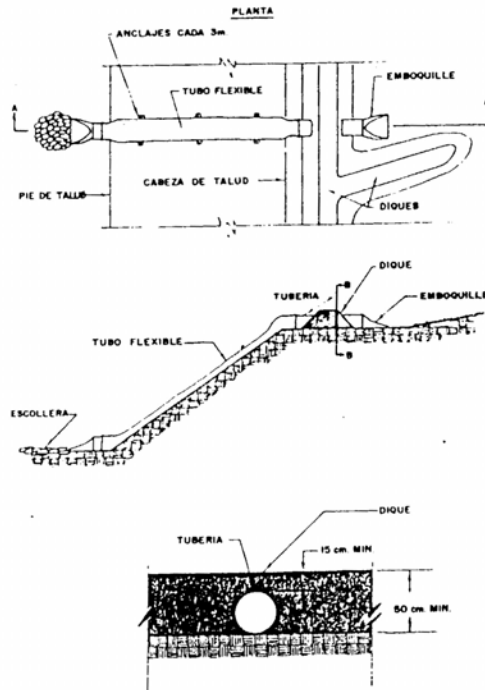


Figura 11.25. Bajante de tubería flexible.

Las estructuras provisionales se emplean sólo durante el tiempo que se tarda en construir los sistemas definitivos de canalización de las aguas, tanto en taludes de desmonte como de terraplén.

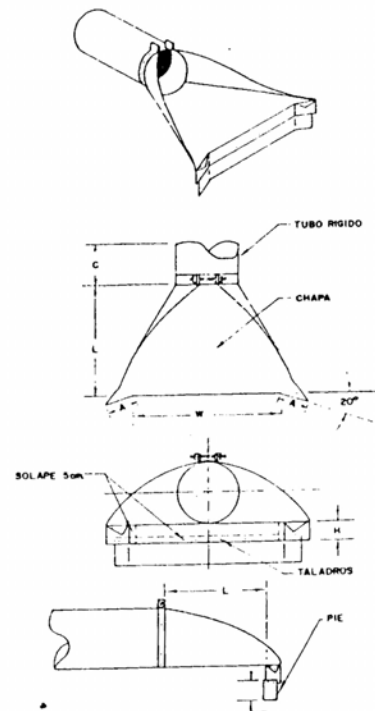
Las bajantes, como también se conocen a estas obras, se utilizan en combinación con los diques de desvío que tienen las funciones de canalizar las aguas, tanto de lluvia como de drenaje, hasta puntos localizados en la cabecera de los taludes y evitar la erosión de las superficies expuestas de éstos. La altura mínima de los diques debe ser de 50 cm, y en los puntos de entrada a las bajantes se disponen también diques laterales para aminorar la energía del agua.

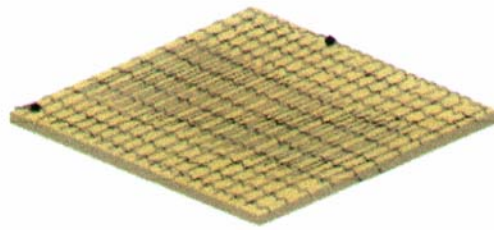
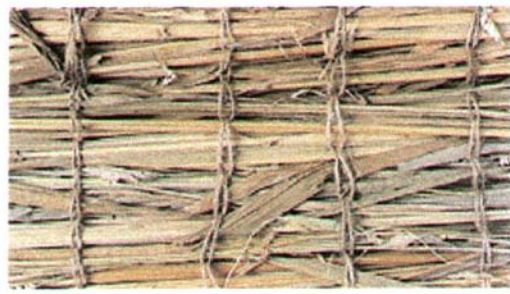
Como las bajantes de taludes pueden canalizar grandes volúmenes de agua y generar altas velocidades, debido a las pendientes de los taludes, en los puntos de descarga se deben construir disipadores de energía con escollera y hormigón; y revegetar además las zonas próximas.

A continuación, se indican los diferentes tipos de bajantes que más se utilizan en minería.

A. Bajante de tubería flexible. Fig. 11.25.

Es un sistema provisional de fácil instalación y montaje. En la Tabla 11.XVII se dan las dimensiones recomendadas de estas tuberías en función del área máxima a drenar para una pluviometría media.





ANEXO 2

MATERIALES PARA IMPERMEABILIZAR

Fuente: Rodríguez y Ayala (1990)

Tabla 8 XI

MATERIAL DE CUBIERTA	PERMEABILIDAD DEL AGUA (m/s)	VENTAJAS/INCONVENIENTES
— Arcilla compactada	10^{-9} - 10^{-11}	Disponible en muchos lugares y barata. Fácilmente erosionable, y puede sufrir daños por agrietamiento y penetración de las raíces. Buen sellado si se protege y mantiene.
— Tierras de cultivo compactadas	10^{-7} - 10^{-9}	Como en el caso anterior, pero generalmente más permeables.
— Tierra vegetal compactada	10^{-5} - 10^{-8}	Como en el caso anterior, más permeables. Duración incierta.
— Turba	10^{-5} - 10^{-6}	Necesita mantenerse en condiciones de saturación. Normalmente impracticable en taludes de vertederos muy pendientes. Coste medio.
— Hormigón y lechada de cemento	10^{-10} - 10^{-12}	Sujeto a agrietamiento, heladas y daños mecánicos. Coste alto.
— Asfalto	10^{-20}	Como en el caso anterior. Más impermeable y mayor coste de instalación.
— Láminas sintéticas	Impermeable	Requiere un lecho de apoyo adecuado y una cubierta protectora. Muy impermeable y duradera. Sujeta a daños mecánicos y penetración de las raíces. Coste elevado.

Fuente: Modificado de Beil (1988).

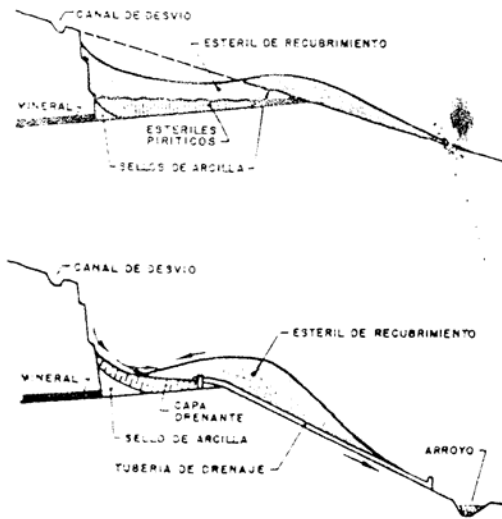


Figura 8.7 Sellado con arcilla de los frentes de mineral descubiertos

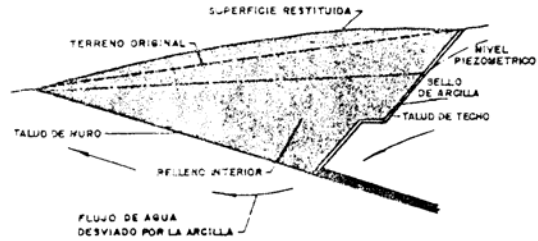


Figura 8.8 Colocación de capa de arcilla sobre el talud excavado para evitar la entrada de aguas subterráneas al hueco relleno de esteriles (Norton, 1983)

C. Aislamiento del oxígeno

El oxígeno se necesita para que se produzca la oxidación directa de la pirita, para el paso de ión ferroso a ferrico, y para la respiración de las bacterias. El primer método de aislamiento del aire que puede emplearse es el de inundación de sus labores, tanto en minería a cielo abierto como en minería de interior, siendo en esta última don-

ANEXO 3

MÉTODOS DE DEPÓSITOS Y SISTEMAS CONSTRUCTIVOS

Fuente: Rodríguez y Ayala (1990)

donde:

- A_i = Alternativa de implantación de la escombrera «i».
- O_j = Objetivo «j».
- W_j = Peso relativo de importancia del Objetivo «O_j».
- P_i = Orden inverso de preferencia de cada alternativa «i» con relación al objetivo «j».
- U_i = Utilidad relativa global de la alternativa.

Ejemplo:

En las proximidades de una mina se dispone de tres alternativas de ubicación de la escombrera que se precisa construir a lo largo de la vida del proyecto. Los objetivos prioritarios que se desean alcanzar son los reflejados en la Tabla 3.II, así como los pesos relativos o factores de ponderación de cada uno de ellos.

TABLA 3.II

ALTERNATIVAS OBJETIVOS	1	2	3	PESO RELATIVO
Costes de transporte y construcción	2	1	3	0,35
Superficie afectada	3	2	2	0,1
Obras de drenaje	2	2	3	0,1
Ocultación a las vistas	2	1	3	0,2
Facilidad de revegetación	2	3	1	0,1
Contaminación de acuíferos	2	1	3	0,15
Utilidad relativa global	2,1	1,40	2,7	

Conforme a los resultados obtenidos la mejor alternativa de implantación es la 3, seguida de la 1 y la 2.

3. CARACTERÍSTICAS DE LOS ESTERILES DE ESCOMBRERA

Los materiales estériles que forman las escombreras son de litologías distintas y granulometrías variables, por lo que de entrada plantean problemas físicos, e incluso químicos, para la implantación de la vegetación.

Por lo general, predominan los estériles en forma de fragmentos gruesos con una distribución espacial distinta dentro de los depósitos, como consecuencia de la segregación que sufren las partículas al ser depositadas dentro de las escombreras.

Además de la granulometría, otras propiedades físicas que deben considerarse son la densidad, la porosidad y la permeabilidad. Entre las propiedades químicas las más importantes, de cara a la revegetación, son el contenido en metales tóxicos, el contenido en nutrientes, la salinidad, etc. Todo ello se verá con más detalle en el Capítulo 14.

4. CONSIDERACIONES DE DISEÑO DE LAS ESCOMBRERAS

4.1. Métodos y sistemas constructivos

Los tipos de escombreras que pueden distinguirse de acuerdo con la secuencia constructiva de las mismas, en terrenos con pendiente que es el caso más habitual, son cuatro: con vertido libre, por fases adosadas, con dique de pie y por fases superpuestas. Fig. 3.3.

La formación con vertido libre sólo es aconsejable en escombreras de pequeñas dimensiones y cuando no exista riesgo de rodadura de piedras aguas abajo. Se caracteriza por presentar en cada momento un talud que coincide con el ángulo de reposo de los estériles y una segregación por tamaños muy acusada. De los cuatro tipos es el más desfavorable geotécnicamente, aunque ha sido el más utilizado hasta épocas recientes.

Las escombreras con fases adosadas proporcionan unos factores de seguridad mayores, pues se consiguen unos taludes medios finales más bajos. La altura total puede llegar a suponer una limitación por consideraciones prácticas de acceso a los niveles inferiores.

Cuando los estériles que se van a verter no son homogéneos y presentan diferentes litologías y características geotécnicas, puede ser conveniente el levantamiento de un dique de pie con los materiales más gruesos y resistentes, de manera que actúen de muro de contención del resto de los estériles depositados. Esta secuencia constructiva es la que se suele seguir en aquellas explotaciones donde se extraen grandes cantidades de materiales arcillosos y/o finos, cuya deposición exigiría de otro modo grandes extensiones de terreno y presentaría un elevado riesgo de corrimientos, o cuando las condiciones de la base de apoyo no son buenas.

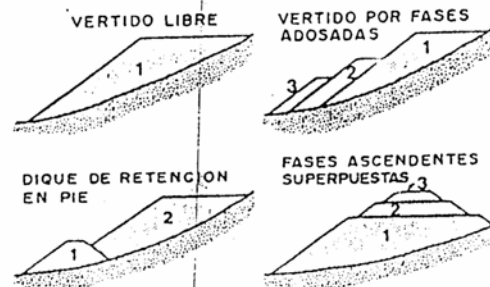


Figura 3.3. Tipos de escombreras según la secuencia de construcción.

El tipo de fases superpuestas y retranqueadas aporta una mayor estabilidad, por cuanto se disminuyen los taludes finales y se consigue una mayor compactación de los materiales.

Así pues, la secuencia constructiva de una escombrera incide directamente sobre la estabilidad de tales estructuras y sobre la economía de la operación, llegando a ser preciso en algunos casos una solución de compromiso entre ambos factores.

ANEXO 4

FACTORES QUE INFLUYEN EN LA UBICACIÓN Y DISEÑO DE PRESAS O
LAGUNAS DE SEDIMENTACIÓN.

COMPARACIÓN ENTRE LOS MÉTODOS CONSTRUCTIVOS DE PRESAS

Fuente: Rodríguez y Ayala (1990)

DIMENSIONAMIENTO DE CUENCAS DE DECANTACIÓN

Fuente: Sánchez (1995)

PRESAS DE RESIDUOS

1. INTRODUCCION

La función principal de estas estructuras consiste en almacenar permanentemente los estériles sólidos y retener temporalmente los efluentes líquidos procedentes de las plantas de tratamiento. Cuando esos efluentes contienen contaminantes tóxicos, las presas deben ser diseñadas para albergar el agua durante un largo periodo de tiempo, hasta que se degraden las sustancias químicas perniciosas o hasta que se evapore el agua.

Las presas de residuos difieren de las presas de tierra y escollera convencionales en cuatro aspectos básicos:

- Las presas de residuos almacenen tanto sólidos como líquidos.
- En muchos casos, los propios residuos se utilizan como material de construcción del dique de la presa.
- Las presas se construyen, normalmente, por etapas siguiendo el desarrollo de las operaciones.
- Suelen requerirse modificaciones en el diseño y operación de llenado de la presa al introducirse cambios en los procesos de tratamiento.

En las dos últimas décadas se ha progresado bastante en el diseño ingenieril de las presas de residuos en lo relativo a hidrología y geotecnia, ya que anteriormente, en algunos casos, se procedía a realizar las operaciones de forma intuitiva. Actualmente, el porcentaje de los costes de almacenamiento de los residuos de las plantas con respecto a los costes totales de operación en éstas están

próximos al 20 %, por lo que en bastantes proyectos el impacto sobre la viabilidad económica es muy importante.

Por otro lado, dos factores que han contribuido notablemente a la mejora en el diseño y operación de las presas son los derivados de las exigencias de seguridad y protección ambiental. Con relación al primero, en el pasado se han producido desgraciados accidentes con elevado número de pérdidas humanas y materiales debido a las roturas de las presas con grandes avalanchas de lodos y fangos. Con respecto al segundo, se ha visto la necesidad de preservar la calidad de las aguas superficiales y subterráneas durante el tiempo de operación de la presa y después de su abandono, así como la de la restauración de los terrenos.

Los factores que influyen en la elección de la ubicación y el diseño de las presas de residuos son de muy diversa índole y quedan recogidos en la Tabla 4.1. A continuación, se comentan los más importantes.

2. FACTORES LOCALES DE UBICACION

En el pasado, las presas se construían en áreas que se seleccionaban siguiendo únicamente dos criterios: condiciones topográficas favorables y proximidad a las plantas de tratamiento, pero hoy en día para satisfacer ciertos requerimientos ambientales y de seguridad intervienen otros factores tales como la geología, el clima, la hidrología superficial y la disponibilidad de terrenos. Tabla 4.1.

TABLA 4.1. FACTORES QUE INFLUYEN EN LA UBICACION Y DISEÑO DE LAS PRESAS DE RESIDUOS

FACTORES LOCALES	CARACTERÍSTICAS DE LOS LODOS	CARACTERÍSTICAS DE LOS EFLUENTES	LIMITACIONES AMBIENTALES
<ul style="list-style-type: none"> — Geología — Sismicidad — Topografía — Red de drenaje — Condiciones del agua subterránea — Precipitaciones — Evaporación — Disponibilidad de terrenos — Precio de los terrenos 	<ul style="list-style-type: none"> — Producción de residuos — Granulometría — Contenido en arcilla — Composición química — Método de vertido — Densidad de los lodos — Lixiviabilidad 	<ul style="list-style-type: none"> — Características químicas <ul style="list-style-type: none"> • pH • Cationes metálicos • Potencial de oxidación-reducción • Toxicidad — Producción de efluentes — Capacidad de circulación — Necesidades de evaporación 	<ul style="list-style-type: none"> — Calidad del aire — Calidad de las aguas superficiales — Calidad de las aguas subterráneas — Requerimientos de restauración — Drenaje del agua superficial

TABLA 4.II. COMPARACION DE LOS METODOS CONSTRUCTIVOS DE PRESAS DE RESIDUOS

Método de construcción	Características de los lodos	Procedimiento de descarga	Capacidad para almacenamiento de agua	Resistencia sísmica	Ritmo de elevación aconsejado	Material de los diques	Coste relativo
Presa convencional de escollera.	Adecuada para cualquier tipo de lodos.	Cualquiera.	Buena.	Buena.	Dique entero construido inicialmente.	Escollera y suelos naturales.	Alto.
Aguas arriba.	Al menos del 40 al 60 % de sólidos. Baja densidad de la pulpa para favorecer la segregación de las partículas.	Descarga periférica y controlada.	Mala.	Mala.	Menor de 4,5 a 9 m/año. Mayor de 15 m/año es peligroso.	Arenas de los lodos. Estériles de mina y suelos naturales.	Bajo.
Aguas abajo.	Adecuado para cualquier tipo de lodo.	Varia de acuerdo al diseño.	Buena.	Buena.	Cualquiera.	Arenas de los lodos o estériles de mina, si se producen en cantidades suficientes, o suelos naturales.	Alto.
Contrada.	Arenas o limos de baja plasticidad.	Descarga periférica desde la playa nominal necesaria.	No recomendado para almacenamiento permanente. Aceptable para inundaciones temporales con diseño constructivo adecuado.	Aceptable.	Puede limitarse la altura de recrecimientos individuales.	Arenas de los lodos o estériles de mina, si se producen en cantidades suficientes o suelos naturales.	Medio.

sucesivos ligeramente retranqueados respecto a los anteriores y hacia el interior de la presa. Esos diques se forman, por lo general, con los sedimentos gruesos de los lodos que se separan de estos por decantación natural o por ciclonado. Este último sistema permite un mayor control de la granulometría de las arenas.

Los residuos arenosos que configuran la playa constituyen en cada recrecimiento de la presa la base de apoyo o cimentación de los diques sucesivos, por lo que es importante que exista un porcentaje elevado de partículas gruesas; aunque existen algunas excepciones.



Foto. 4.1. Presa de residuos construida por el método de aguas arriba.

Este sistema constructivo, siempre que los residuos puedan clasificarse en diferentes granulometrías, es el más económico ya que es el que requiere un menor vo-

lumen de material que debe ser transportado para construir los diques y el que ocupa menor superficie para una capacidad de almacenamiento dada. No obstante, al estar construido el dique por materiales de baja compacidad y resistencia con un nivel freático elevado se deben adoptar taludes bastante tendidos y recurrir a medidas tales como: ensanchamiento del dique mediante el extendido de las arenas de la playa entre dos caballones, la intercalación de capas dren y tubos drenantes, la compactación de las arenas, etc.

Cuando los residuos sean muy finos el éxito de este método de construcción dependerá del ritmo de elevación del dique y del talud general de éste, pues si el recrecimiento es muy rápido las presiones de poro serán muy elevadas y pueden dar lugar a problemas de estabilidad. También en áreas donde exista cierta actividad sísmica este método deberá compararse con otros, pues es el más susceptible frente a fenómenos de licuefacción.

5.2. Construcción hacia aguas abajo

Como el nombre indica, este método de construcción consiste en la elevación de la presa mediante diques sucesivos de estériles que avanzan en la dirección de aguas abajo. Es el sistema más seguro de almacenamiento de residuos y el que más se asemeja a las presas de tierra convencionales, aunque en este caso se construyen por etapas. Es por esto, que en algunos países es el tipo de presa preferido por la Administración y Organismos Oficiales.

El dique inicial se construye normalmente con materiales naturales, disponiendo en algunos casos de núcleos impermeables y elementos de drenaje para el control del nivel freático y filtraciones. Los recrecimientos subsiguientes se efectúan con las arenas de los residuos cicladas.

Los principales tipos de revestimiento son, piedra partida, mezcla con piedra común, cemento (hormigón) y tubos de acero. Los más usados, debido al costo relativamente bajo y facilidad de implantación, son secciones circulares de cemento (hormigón) prefabricadas. Los cuidados en la implantación son principalmente la buena compactación del suelo donde se asentarán y la unión cuidadosa de las secciones de forma de evitar la infiltración de agua.

3.4. Dimensionamiento de cuencas de decantación

Las cuencas de decantación son necesarias aunque un buen sistema de drenaje haya sido implantado en la mina. Durante la vida útil de la empresa siempre habrán superficies expuestas a la acción de las aguas y del viento y por ende suministrando material transportado aguas abajo. Una mina puede tener diversas cuencas de decantación de portes variados. Por ejemplo, se puede disponer de una cuenca al pie de cada escombrera y de pequeñas cuencas distribuidas en puntos convenientes a lo largo de las vías de circulación. Cuando el área de la mina ocupa más de una micro cuenca hidrográfica es usualmente necesario disponer de por lo menos una cuenca de decantación en cada cuenca hidrográfica.

Cuencas excavadas y pequeñas represas de enrocamiento, de bloques o inclusive de bolsas de arena pueden formar buenas cuencas de decantación si se implantan en las proximidades de la fuente generadora.

La función de una cuenca de decantación es promover la sedimentación de las partículas sólidas transportadas por las aguas de drenaje antes de verterlas al cuerpo receptor. Las partículas más gruesas decantarán más rápidamente que las partículas finas, de modo que la cuenca debe ser dimensionada en función de la granulometría del material transportado. La velocidad de decantación de una partícula en el agua se estudia por la mecánica de los fluidos y puede ser expresada por la ley de Stokes:

$$V_{sed} = \frac{g}{18\mu} (s - 1) D^2$$

donde:

V_{sed} = velocidad de sedimentación (cm/s)

g = aceleración de la gravedad (=981 cm/s²)

μ = viscosidad de fluido (cm²/s)

s = densidad de la partícula (2,65 para cuarzo)

D = diámetro de la partícula, supuesta esférica (cm)

La viscosidad del agua, que depende de la temperatura, es dada en el cuadro 7. Los diámetros adoptados dependerán de la granulometría del material transportado. El cuadro 8 muestra las dimensiones de las principales fajas granulométricas.

Cuadro 7 - Viscosidad Cinemática del Agua

Temperatura (° C)	Viscosidad (cm ² /s)
0	0,01792
5	0,01519
10	0,01308
15	0,01141
20	0,01007
25	0,00897
30	0,00804

Fuente: Lyle (1987)

Cuadro 8 - Fajas granulométricas

Granulometría	Diámetro (cm)
Arena gruesa	0,02 a 0,2
Arena fina	0,002 a 0,02
Limo	0,0002 a 0,002
Arcilla	< 0,0002

Se producirá sedimentación en la cuenca cuando el tiempo de residencia de las partículas fuere suficiente para permitirla. El tiempo de residencia, por otra parte, depende del caudal afluente (supuesto, por razones de simplificación, idéntico al efluente) y del volumen de la cuenca, o sea:

$$t_r = vol/Q$$

La velocidad de decantación, a su vez, suponiendo que no hay movimiento horizontal de las partículas (aproximación razonable para superficies suficientemente grandes) será el cociente entre la profundidad de la cuenca p y el tiempo de residencia t_r :

$$V_{dec} = p/t_r$$

sustituyendo el tiempo de residencia y llamando A_{dec} al área de la cuenca de decantación:

$$V_{dec} = \frac{p}{t_r} = \frac{p}{vol/Q} = \frac{p}{(A \cdot p)/Q} = \frac{Q}{A}$$

y por lo tanto:

$$A_{dec} = Q/V_{dec}$$

o sea, el área de la cuenca de decantación es el cociente del caudal afluente por la velocidad de decantación y no depende de la profundidad de la cuenca.

A través de este procedimiento se puede dimensionar una cuenca de decantación. Sin embargo, si las partículas fueren muy finas, el tiempo de decantación