

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN - TACNA

ESCUELA DE POSGRADO

MAESTRÍA EN GESTIÓN AMBIENTAL Y DESARROLLO SOSTENIBLE

**IMPACTO AMBIENTAL PRODUCIDO POR LOS BOTADEROS
DE DESMONTE Y PADS DE LIXIVIACIÓN EN
LA MINA SANTA ROSA DE PUNO**

TESIS

PRESENTADA POR:

ING. SALOMÓN MEDARDO ORTIZ QUINTANILLA

Para optar el Grado Académico de:

**MAESTRO EN CIENCIAS (*MAGÍSTER SCIENTIAE*) CON
MENCION EN GESTIÓN AMBIENTAL Y DESARROLLO SOSTENIBLE**

TACNA - PERÚ

2011

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN – TACNA

ESCUELA DE POSGRADO

MAESTRÍA EN GESTIÓN AMBIENTAL Y DESARROLLO SOSTENIBLE

**IMPACTO AMBIENTAL PRODUCIDO POR
LOS BOTADEROS DE DESMONTE Y
PADS DE LIXIVIACIÓN EN LA
MINA SANTA ROSA DE PUNO**

Tesis sustentada y aprobada por unanimidad el 01 de Abril del 2011;

estando el jurado calificador integrado por:

PRESIDENTE :
Dr. Julio César Isique Calderón

SECRETARIO :
Dr. Domingo Jesús Cabel Moscoso

MIEMBRO :
Mgr. Humberto Benito Vargas Pichón

ASESOR :
Dra. Antonina Juana García Espinoza

A MI ESPOSA E HIJOS

**QUE CON SU APOYO CULMINO CON ÉXITO ESTA
ETAPA DE MI VIDA PROFESIONAL**

AGRADECIMIENTO

Agradezco a todas las personas que de una u otra forma han contribuido a que la presente Tesis sea una realidad.

CONTENIDO

DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	v
RESUMEN	xvii
ABSTRACT	xviii
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	
1.1 Descripción del Problema	4
1.1.1 Antecedentes del Problema	7
1.1.2 Problemática de la Investigación	9
1.2 Formulación del Problema	9
1.3 Justificación e Importancia	10
1.4 Alcances y Limitaciones	11
1.5 Objetivos	12
1.5.1 Objetivo General	12
1.5.2 Objetivos Específicos	12
1.6 Hipótesis General	13

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes Teóricos	15
2.2 Bases Teóricas	22
2.2.1 Unidad Minera Santa Rosa	22
2.2.1.1 Ubicación del Proyecto	23
2.2.1.2 Antecedentes del Proyecto	24
2.2.1.3 Fundamento Geológico	25
2.2.1.4 Operación de Minado	31
2.2.1.5 Disposición del Desmonte o Desecho de Roca en la Minería	32
2.2.1.6 Procesamiento Metalúrgico en la Mina Santa Rosa	32
2.2.2 Marco Legal	35
2.2.2.1 Marco Legal Ambiental General	35
2.2.2.2 Marco Legal Específico para el Sub-Sector Minas	38
2.2.2.3 Marco Legal de Protección y uso Sostenible de los Recursos Naturales	42
2.2.2.4 Marco Legal de Límites Máximos Permisibles y Estándares de Calidad	44
2.2.3 Impactos en los Recursos Hídricos	46

2.2.3.1 Impactos Causados por los Embalses de Relaves, Botaderos de Desmonte, y Lixiviación en Pilas	47
2.2.3.2 Aguas Ácidas	50
2.2.4 Modelos de Análisis de Estabilidad de Taludes	61
2.3 Definición de Términos	72
CAPÍTULO III	
MARCO METODOLÓGICO	
3.1 Tipo y Diseño de la Investigación	76
3.2 Población y Muestra	76
3.3 Operacionalización de Variables	78
3.4 Técnicas e Instrumentos para Recolección de Datos	79
3.5 Procesamiento y Análisis de Datos	81
3.5.1 Estudio del suelo para la Cimentación de los Botaderos y PADS	83
3.5.2 Clima y Meteorología	91
3.5.3 Calidad del Aire	94
3.5.4 Cursos de Agua Superficial	99
3.5.5 Recursos de Agua Subterránea	106
3.5.6 Investigación Geotécnica	106

3.5.7 Metodología para la Evaluación de la estabilidad de Taludes	113
3.5.8 Metodología de Investigación para PADs	116
3.5.9 Medio Ambiente Biológico	121

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1 Estabilidad Física de Botaderos de Desmontes	126
4.1.1 Introducción	126
4.1.2 Análisis de Estabilidad Física de los Botaderos	127
4.2 Estabilidad de Física de los PADs de Lixiviación	140
4.2.1 Estabilidad Física	142
4.2.2 Software Empleado para el Análisis	144
4.2.3 Resultados del Análisis de Estabilidad de Taludes de Pad de Lixiviación	146
4.2.4 Comentario de los PADs.	147
4.3 Manejo y Tratamiento de las Aguas	148
4.3.1 Calidad de agua	148
4.3.2 Método de Estabilidad (Remediación)	150
4.3.3 Estabilidad Química	151
4.3.4 Estabilidad Hidrológica	153

CONCLUSIONES	154
RECOMENDACIONES	156
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	158
ANEXO 1	
Resultado del Análisis para Botadero con el Slide 5	163

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 2.1	Evaluación Geomecánica del Macizo Rocoso	30
Cuadro 3.1	Operacionalización de las Variables	78
Cuadro 3.1a	Asociación de clases de Capacidad de uso Mayor de los Suelos	83
Cuadro 3.2:	Resumen de Excavación de Trincheras en Botaderos y en Canteras	84
Cuadro 3.3	Resumen del Ensayo DPL en el Desarrollo del Estudio	85
Cuadro 3.4	Resumen de los Ensayos Estándar de Laboratorio Botaderos de Desmonte	87
Cuadro 3.5	Resumen de Excavación de Calicatas	87
Cuadro 3.6	Resumen de Resultados de Ensayo de Campo de la Propiedad Índice	88
Cuadro 3.7	Resumen de los Ensayos Proctor de Suelo (ASTM D - 1557)	89

Cuadro 3.8	Temperaturas Medias Mensuales en la Estación Mazo Cruz	92
Cuadro 3.9	Precipitaciones en el Entorno Regional en el área de Estudio (mm)	93
Cuadro 3.10	Resultados del Muestreo de Aire	95
Cuadro 3.11	Niveles Máximos Permisibles de Calidad del Aire	95
Cuadro 3.12	Monitoreos de Calidad del Aire en la Unidad Santa Rosa	96
Cuadro 3.13	Mediciones de Ruido Ambiental	98
Cuadro 3.14	Zonificación del Escurrimiento Superficial	100
Cuadro 3.15	Generación de Descargas Medias Mensuales en los Puntos de Interés (l/s)	101
Cuadro 3.16	Estaciones de Monitoreo de Calidad del Agua	102
Cuadro 3.17	Parámetros de Calidad del Agua	105
Cuadro 3.18	Resumen de Excavación de Trinchera en Botadero	108
Cuadro 3.19	Relación de Calicatas (Botadero Sur)	109

Cuadro 3.20	Relación de Trincheras (Botadero Sur)	109
Cuadro 3.21	Relación de Sondajes (Botadero Sur)	110
Cuadro 3.22	Resumen de Ensayo DPL en el Desarrollo del Estudio	110
Cuadro 3.23	Resumen del Ensayo DPL en el Desarrollo del Estudio	111
Cuadro 3.24	Resumen de los Ensayos Estándar de Laboratorio Botaderos de Desmonte (Botadero Sur)	112
Cuadro 3.25	Resumen de Excavación de Calicatas (Botadero Sur)	112
Cuadro 3.26	Resumen de Propiedades Físicas del Botadero.	113
Cuadro 3.27	Rango de Valoración de Estabilidad de Taludes de Suelo	115
Cuadro 3.28	Resumen de Propiedades Físicas del Botadero.	115
Cuadro 3.29	Resumen de trincheras Realizadas en el PAD de Lixiviación y Canteras.	118

Cuadro 3.30	Resumen del Ensayo DPL en el Desarrollo del Estudio	118
Cuadro 3.31	Resumen del Ensayo Estándar de Laboratorio PAD de Lixiviación	119
Cuadro 3.32	Unidades de Cobertura Vegetal en el Ámbito de la Unidad Minera Santa Rosa	122
Cuadro 3.33	Listado de Flora Silvestre en el área de Estudio	123
Cuadro 3.34	Listado de Fauna Silvestre en el área de Estudio	124
Cuadro 4.1	Análisis Evaluado a los Botaderos en el Estado estático y Pseudo Estático	139
Cuadro 4.2	Resultados del Análisis Evaluado a los Pad de Lixiviación en el Estado Estático y Pseudo Estático	146
Cuadro 4.3	Puntos de Monitoreo de Calidad de Agua Subterránea	148
Cuadro 4.4	Resultados de Monitoreo de aguas Subterráneas	149
Cuadro 4.5	Parámetros en el Análisis de Estabilidad Física	151

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1	Límites Máximos Permisibles para la Descarga de Efluentes Líquidos de Actividades Minero-Metalúrgicas	46
Tabla 2.2	Medio Ambiente en las Etapas del Proceso Minero	48
Tabla 2.3	Factores de Conversión de la Concentración Iónica (mg/l) a CaCO ₃ Equivalente	55
Tabla 2.4	Clasificación de Drenajes de Mina	58
Tabla 2.5	Tipos de Drenajes de Mina	58
Tabla 2.6	Caracterización de los tipos de Material de Presas y Botaderos de Mina	59
Tabla 2.7	Tablas de Estabilidad para Suelos Cohesivos ($\varphi = 0$)	65
Tabla 2.7	Tablas de Estabilidad para Suelos Cohesivos ($\varphi > 0$)	67
Tabla 3.1	Matriz de Selección de Alternativas	80

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1	Factores de Corrección por Sobrecarga, Sumergencia y Flujo	68
Figura 2.2	Factores de Corrección por Grietas de Tensión	69
Figura 2.3	Fuerzas que actúan sobre una Dovelas en los Métodos de Fellenius	70
Figura 3.1	Diagrama del flujo de Análisis de Estabilidad del Talud	77
Figura 4.1	Método de Banquetas	129
Figura 4.2	Método de Gaviones	130
Figura 4.3	Método de Suelo Reforzado	131
Figura A1.1	Depósito de Desmonte – Análisis de Estabilidad con Slide 5	163
Figura A1.2	Análisis de Sensibilidad en caso de Botaderos	164

RESUMEN

La minería en su conjunto produce toda una serie de contaminantes gaseosos, líquidos y sólidos, que de una forma u otra van a parar al suelo. Esto sucede entre otros por el vertido directo de los productos líquidos de la actividad minera y metalúrgica, o por la infiltración de productos de lixiviación del entorno minero: aguas provenientes de minas a cielo abierto, botaderos, etc.

En la presente Tesis se va a considerar solo dos elementos generadores de impacto: los botaderos y los pads de lixiviación determinando la influencia del control físico de ambos en la Mina Santa Rosa aplicando el método de Bishop, Janbu y el sueco de las dovelas de Fellenius, calculando el talud de banco necesario para que tenga buena estabilidad y en un plan de cierre pueda sostener la cobertura de tierra y arcilla, así como también el empleo del método de banquetas.

En otro punto se determina la contaminación por aguas ácidas producido por el pad de lixiviación, mas no por el botadero, debiendo por tanto tomarse las medidas de previsión respectivas.

ABSTRACT

The mining in its group produces an entire series of gassy pollutants, liquids and solid that in a way or another will stop to the floor. This happens among others for the one poured direct of the liquid products of the mining activity and metallurgical, or for the infiltration of products of leach of the mining environment: water coming from open pit mines, dumps, etc..

In the present Thesis it will consider single two generating elements of impact: the dumps and the leach pads of certain influence of the physical control of both in the Mine Santa Rosa applying the method of Bishop, Janbu and Swedish of the dovelas of Fellenius, determining the bank slope necessary for has good stability and in a closing plan it can sustain the earth covering and clay, as well as the employment of the method of benches.

In another point the contamination is determined by acid waters produced by the leach pad, but not for the dump, therefore should take the respective forecast measures.

INTRODUCCIÓN

La presente Tesis: "IMPACTO AMBIENTAL PRODUCIDO POR LOS BOTADEROS DE DESMONTE Y PADS DE LIXIVIACIÓN EN LA MINA SANTA ROSA DE PUNO", tiene como primer objetivo obtener el Grado Académico de Maestro en Ciencias (Magister Scientiae) con mención en Gestión Ambiental y Desarrollo Sostenible y ha sido elaborado con el fin de realizar una evaluación y determinación del impacto ambiental producido por el botadero y Pad de lixiviación de la mina Santa Rosa de Puno.

La presente Tesis consta de cuatro capítulo:

Capítulo I: Planteamiento del Problema: Descripción y antecedentes del problema, problemática de la investigación, formulación del problema, justificación, alcances y limitaciones, objetivos general, objetivos específicos y la hipótesis general.

Capítulo II Marco Teórico: Antecedentes teóricos, bases teóricas, la ubicación y antecedentes de la unidad minera Santa Rosa, fundamento geológico, operación de minado, disposición del desmonte o desecho de roca en la minería, procesamiento metalúrgico en la mina Santa Rosa, el

marco legal, ambiental general y específico para el sub-sector minas, así como el marco legal de protección y uso sostenible de los recursos naturales, y de límites máximos permisibles y estándares de calidad. además se trata de los impactos en los recursos hídricos, los impactos causados por los embalses de relaves, botaderos de desmonte, y lixiviación en pilas y botaderos, las aguas acidas, el modelos de análisis de estabilidad de taludes y la definición de términos.

Capítulo III Marco Metodológico: Tipo y diseño de la investigación, población y muestra, operacionalización de variables, técnicas e instrumentos para recolección de datos, procesamiento y análisis de datos, estudio del suelo para la cimentación de los botaderos y PADS, clima y meteorología, calidad del aire, cursos de agua superficial, recursos de agua subterránea, investigación geotécnica, metodología de investigación para botaderos y para la evaluación de la estabilidad de taludes, metodología de investigación para PADs, y el medio ambiente biológico de la zona.

Capítulo IV Resultados y Discusiones: Estabilidad física de botaderos de desmontes, el análisis de estabilidad física de los botaderos y PADs de lixiviación, el software empleado para el análisis, los resultados del análisis de estabilidad de taludes de pad de lixiviación, comentario de

los pads, manejo y tratamiento de las aguas, método de estabilidad (remediación), estabilidad química e hidrológica.

Finalmente, se ofrece las Conclusiones, Recomendaciones, Referencias Bibliográficas y Anexo.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción del Problema

Los impactos producidos mediante el tipo de minado a tajo o cielo abierto, están determinados por la cantidad de material que se tiene que mover, se inicia en la etapa de la preparación del área para la construcción del tajo, removiendo gran cantidad de material para acceder al mineral; la remoción de los volúmenes pueden demorar años antes de que la unidad entre en producción.

De igual forma se construyen Pads de lixiviación de pila de material mineralizado, la cual forma parte del proceso de recuperación del mineral, en esta se incluye un sistema de sub-drenaje, un sistema compuesto de revestimiento suelo/geomembranas, un sistema de sobre revestimiento o protección de las geomembranas y finalmente un sistema de colección de solución. Asimismo, se incluye un canal de conducción de tuberías de solución y pozas para el procesamiento de la solución lixiviada.

El cambio del paisaje se aprecia a simple vista, modificando el relieve; la topografía, y geomorfología del lugar, la dimensión del minado va determinar el grado de impacto y el cambio del paisaje producido.

Según los autores (Vaughan (1989.), Elizondo (1994)), los principales impactos ambientales causados por la minería a cielo abierto son los siguientes:

- * **Afectación de la superficie:** Devasta la superficie, modifica severamente la morfología del terreno, apila y deja al descubierto grandes cantidades de material estéril, produce la destrucción de áreas cultivadas y de otros patrimonios superficiales, puede alterar cursos de aguas y formar grandes lagunas para el material descartado.
- * **Afectación del entorno en general:** Transforma radicalmente el entorno, pierde su posible atracción escénica y se ve afectado.
- * **Contaminación del aire:** El aire puede contaminarse con impurezas sólidas, por ejemplo polvo y combustibles tóxicos o inertes, capaces de penetrar hasta los pulmones, provenientes de diversas fases del proceso.

- * **Afectación de las aguas superficiales:** Los residuos sólidos finos provenientes del área de explotación pueden dar lugar a una elevación de la capa de sedimentos en los ríos de la zona.

- * **Afectación de las aguas subterráneas o freáticas:** Aguas contaminadas con aceite usado, con reactivos, con sales minerales provenientes de las pilas o botaderos de productos sólidos residuales de los procesos de tratamiento, así como aguas de lluvia contaminadas con contenidos de dichos botaderos, o aguas provenientes de pilas o diques de colas, o aguas de proceso contaminadas, pueden llegar a las aguas subterráneas.

- * **Afectación de los suelos:** Implica la eliminación del suelo en el área de explotación, y produce un desecamiento del suelo en la zona circundante, así como una disminución del rendimiento agrícola y agropecuario.

- * **Impacto sobre la flora:** Implica la eliminación de la vegetación en el área de las operaciones mineras, así como una destrucción parcial o una modificación de la flora en el área circunvecina a los botaderos.

- * **Impacto sobre las poblaciones:** Puede provocar conflictos por

derechos de utilización de la tierra, dar lugar al surgimiento descontrolado de asentamientos humanos ocasionando una problemática social y destruir áreas de potencial turístico.

Como consecuencia de las actividades mineras realizadas por la Unidad Minera Santa Rosa, ubicada en la localidad de Santa Rosa, provincia del Collao-Puno, se ha generado botaderos de desmontes y pads de lixiviación, provocando áreas impactadas, con volúmenes y restos mineros de consideración, de características diversas en mineralogía, y composición.

1.1.1 Antecedentes del Problema

Existen varios trabajos de investigación referidos al tema planteado por ejemplo:

- Informe Final “Estudio de Ingeniería de Botadero de Desmonte de Mina N° 2 Unidad Minera Santa Rosa”, Lima, Enero del 2003, en el cual se detalla el estudio Geotécnico de los botaderos de desmonte emplazadas en la Mina Aruntani-Minera Santa Rosa, tiene como finalidad evaluar las características geomorfológicas, litoestratigráficas, estructurales y geodinámicas del área de las principales

labores de la Mina (botadero Sur y Norte) y de las áreas ubicadas en las cercanías de estas.

- El diseño de la pendiente (talud) de las pilas o botaderos de desmonte en su forma estructural para garantizar las medidas de seguridad preventiva. Los autores: Ulusay (2004), Nguyen (2004), Borges (2001), Sjobery (1996), Deere (1987), Hoek (1985), se refieren al diseño de una pared de talud utilizando modelos de equilibrio limite, análisis finito para encontrar un factor de seguridad compatible con la estabilidad física. Otro autor como Cai (2007) indica que el uso de GIS (Sistema de Información Geográfica) ayudaría como modelo para el análisis de la estabilidad de un talud en 3D considerando un factor de seguridad mínima de 1,33.
- En la remediación de las aguas ácidas en la parte superficial y subterránea en botaderos, para este punto, Daniels. R. (2000), Molson (2005) plantean la utilización de simulaciones del modelo Hidrus para el flujo y Polymin para el transporte de reactivos en las aguas ácidas; también la canalización de las coronaciones de efluentes para evitar el contacto con los botaderos.

- La remediación de deslizamientos o derrames de botaderos, sobre este asunto Bakerl (2003) en los Capítulos I , II, y III, presenta un proceso integrado del diseño estructural para la retención reforzado de suelos y botaderos (uso de Geomembranas); Chungsik (2000), ofrece los resultados de un modelo de laboratorio del comportamiento de las fuerzas de deslizamiento en el pie del talud y su reforzamiento por análisis finito con el uso de Geogrid – Reforzado para su remediación. Finalmente Gandhi (2002) se ocupa de la Biorestauración de botaderos mineros abandonadas en la India con inoculación de Tecnologías Biocompatibles Nitrificantes.

1.1.2 Problemática de la Investigación.

Existe el problema que las empresas son reacias a permitir que se tomen datos de sus operaciones mineras, por lo que se tiene que recurrir a fuentes colaterales en muchos casos, a fin de reunir lo necesario para un estudio al respecto.

1.2 Formulación del Problema

PROBLEMA GENERAL: ¿Los botaderos de desmonte y pads de

lixiviación provocarán impacto ambiental en la cuenca hidrográfica?

Problema específico 1: ¿En qué medida el control físico de los botaderos y pads de lixiviación influye en el impacto ambiental?

Problema específico 2: ¿ En que medida el control de la contaminación por aguas ácidas producidas por los botaderos y pads de lixiviación influye en el impacto ambiental?

1.3 Justificación e Importancia

La actividad minera es una de las actividades más contaminantes, y el yacimiento a analizar esta cercano a nuestro departamento por lo que la presente tesis se justifica por lo siguiente:

La minería a cielo abierto remueve la capa superficial de la tierra para hacer accesibles los extensos yacimientos de mineral de baja calidad. Estos altos volúmenes de desmonte se depositan en los botaderos de desmonte. La extracción de este desmonte puede tener una implicancia importante en el diseño de la mina, rehabilitación, seguridad, empleo de la tierra y otros efectos a la

operación en la unidad, costo de movimiento de material y el tipo de relleno a emplear para reemplazar los bloques movidos y mantener la estabilidad de las estructuras de los bloques de rocas.

El mineral que contiene oro es depositado en los pads, donde utilizando la tecnología de extracción por lixiviación con cianuro (cyanide heap leach mining) se extrae el mineral.

El presente trabajo es importante por cuanto los botaderos de desmonte y pads de lixiviación generan impacto ambiental:

Algunos desmontes contienen pirita, arsenopirita, sulfuros etc. que al estar expuestos al oxígeno del ambiente y a las condiciones climáticas, como las precipitaciones pluviales producen aguas ácidas y son una fuente de contaminación para el medio natural y así se crea un pasivo ambiental, una adecuada cancha bien diseñada garantizaría a una alternativa del uso adecuado de la tierra, bajos costos operativos y sobre todo el cuidado del medio ambiente y evitar los pasivos. De la misma forma los pads de lixiviación dada la alta toxicidad y reactividad natural del cianuro, la contención de esta sustancia es una de las preocupaciones primordiales de las minas en las que se utiliza. Se han documentado los efectos perjudiciales del cianuro en los peces, la vida silvestre y los humanos.

1.4 Alcances y Limitaciones

a) Alcances

Esperando que este trabajo sirva de guía para evitar el impacto ambiental en otros botaderos de otras empresas, para que apliquen las herramientas de cómputo disponibles hoy en día.

b) Limitaciones

La falta de apoyo de las empresas para desarrollar estudios más al detalle sobre el impacto de los botaderos y pads de lixiviación.

1.5 Objetivos.

1.5.1 Objetivo General

Determinar el impacto ambiental producido por los botaderos de desmonte y pads de lixiviación en la Mina Santa Rosa.

1.5.2 Objetivos Específicos

a) Determinar la influencia del control físico de los

botaderos de desmonte y pads de lixiviación en el impacto ambiental.

- b) Determinar la influencia del control de la contaminación por aguas ácidas producidas por los botaderos de desmonte y pads de lixiviación en el impacto ambiental.

1.6 Hipótesis General

“Los botaderos de desmonte y pads de lixiviación provocarán impacto ambiental en la cuenca hidrográfica”.

Hipótesis específicas:

- a) El control físico de los botaderos y pads de lixiviación influye en el impacto ambiental.
- b) El control de la contaminación por aguas ácidas producidas por los botaderos y pads de lixiviación influyen en el impacto ambiental.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

La actividad minera es una de las actividades económicas más contaminantes que existen en nuestro planeta, sin embargo y a pesar de ello, es posible lograr una minería sustentable, es decir conseguir un desarrollo minero adecuado y estable con el medio ambiente, que minimice los efectos nocivos sobre el medio.

Desarrollo Medioambiental

Las primeras manifestaciones de preocupación, respecto a la acción del hombre sobre el medioambiente, comienza a gestarse en la década de los 60, por grupos que manifiestan en contra del desarrollo nuclear y el armamentismo, luego de estos grupos se derivan diversos movimientos ecologistas, que con el tiempo han ido adquiriendo mayor o menor trascendencia internacional.

Las Naciones Unidas desde el año 1972 comienza a convocar distintas Conferencias Internacionales, la primera de ellas se llevó a cabo en Estocolmo, donde se consagra el principio "El hombre tiene el derecho fundamental a la libertad, a la igualdad y a condiciones adecuadas de vida

en un medio ambiente de una calidad tal que permita una vida de dignidad y bienestar".

Hoy en día, se va tomando conciencia que el desarrollo de los pueblos no puede llevarse a cabo a costa del medioambiente, el crecimiento económico debe ser equilibrado con el medio donde se desarrolla, este nuevo enfoque del desarrollo, es conocido con el nombre de desarrollo sustentable.

El concepto surge en el año 1987, cuando la Comisión mundial del medio ambiente y del desarrollo, publica el Informe Brundtland o también conocido como Nuestro futuro común, en este informe se habla por primera vez del desarrollo sustentable. Según el informe "El desarrollo sustentable es el desarrollo que satisface las necesidades de la generación presente, sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras, para satisfacer sus propias necesidades". El termino original es Sustainable Development, o "desarrollo perdurable" que por una mala traducción al español se conoce como "desarrollo sostenible".

La consagración de esta perspectiva sobre el desarrollo de las naciones, tuvo lugar en La Conferencia de Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo, llevado a cabo en Río de Janeiro en el año 1992, es allí donde se sientan las bases de una verdadera integración, entre

medioambiente y el desarrollo de los pueblos.

Los principios sobre la protección del medioambiente se han ido incorporando paulatinamente, y en muchos países ha adquirido rango constitucional, es el caso en el año 1993 en la Constitución Peruana.

2.1 Antecedentes Teóricos

- **Baquero Ubeda, Juan (1999)** “Modelización Hidrogeológica en Minería. Aplicación a Drenajes de Mina” UNP – España. El objetivo de la tesis es profundizar en el empleo de modelos como herramienta de predicción y análisis en estudios hidrogeológicos, desde el punto de vista del drenaje minero. En primer lugar se desarrollan los conceptos básicos y parámetros que afectan al movimiento subterráneo del agua en un acuífero, así como el proceso de modelización más recomendado, basándose en el empleo de dos herramientas ampliamente conocidas: MODFLOW, VISUAL-MODFLOW, haciendo hincapié en la modelización conceptual, convergencia y calibración, con el fin de mejorar el entendimiento sobre la modelización hidrogeológica. Por último se presenta un programa desarrollado por el autor, que permite mejorar las posibilidades de modelización, transmisión de modelos, almacenamiento de datos y calibración.

- **Ferrer Rosario, Yiezenia, (2009)** "Evaluación en el tiempo del Impacto Ambiental con Técnicas Difusas. Aplicación en Minería de MOA", Univ. de Granada- España, en dicha memoria describe una metodología difusa de evaluación de impacto ambiental para proyectos mineros que permite realizar el seguimiento en el tiempo del impacto ambiental y se presenta su aplicación a un caso de estudio: el Proyecto Minero Yacimiento Punta Gorda (Moa, Cuba). Presenta la incorporación de técnicas difusas en la evaluación de impacto ambiental de proyectos mineros, y se construye un modelo para la evaluación en el tiempo del impacto ambiental. Este modelo, propone para proyectos de larga duración, se basa en la identificación de momentos relevantes del tiempo de vida del proyecto (hitos del proyecto), permite predecir y evaluar las variaciones que se produzcan en el entorno del proyecto durante de su ejecución. Se introducen los indicadores difusos Efecto Ambiental Total para cada hito e Importancia Acumulada del proyecto.
- **Robles Arenas, Virginia (2007)** "Caracterización Hidrogeológica de la Sierra de Cartagena – la Unión (de la península Ibérica) Impacto de la Minería Abandonada sobre el Medio Hídrico" U.P.

Catalunya – España. La Sierra de Cartagena - La Unión (SCU) representa una de las mayores acumulaciones de Pb-Zn de la Península Ibérica. En la actualidad esta zona minera se encuentra abandonada. En esta tesis se ha llevado a cabo la definición del modelo de funcionamiento hidrogeológico de la SCU, se ha caracterizado el agua, residuos mineros, eflorescencias salinas y sedimento.

La variación espacial de la concentración de ion sulfato muestra una tendencia a disminuir en función de la distancia a la zona de tajos en el acuífero, sin embargo el cloruro disminuye en la vertiente Norte, y en el Sur presenta un comportamiento irregular al estar afectada por diversos vertidos. La tendencia observada de la concentración de sulfato es a disminuir a lo largo del tiempo. Este descenso se debe al efecto de dilución y a que la tasa de generación de sulfato queda limitada al situarse la mineralización en la zona saturada del acuífero.

- **Ortiz Mateo, Miguel (2003)** “Aproximación a la Minería y Metalurgia de Minas de Río Tinto desde la Antigüedad al Siglo XIX” UPM – España. En este trabajo se realiza un estudio sistemático de la evolución de la minería y la metalurgia en Río

Tinto desde la antigüedad hasta 1879 en que estas minas son adquiridas por la compañía inglesa The Río Tinto Company Limited. La utilización de los datos inéditos de una campaña de sondeos en la zona, permite por primera vez realizar una evaluación real de las explotaciones de la época romana mediante el conocimiento de las escombreras y escorias producidas. El análisis de la evolución de los métodos de obtención de metal y las cantidades de escoria producida, permite evaluar el impacto ambiental producido en la comarca de Río Tinto al mismo tiempo que se establecen los ciclos de desforestación-plantación que se producen como consecuencia de los procesos metalúrgicos.

- **Álvarez García, Rodrigo (2005)** "Aplicación de Sistemas pasivos para el Tratamiento de Soluciones Residuales de Procesos de Cianuración en Minería de Oro" Univ. Oviedo – España. La minería extractiva del más preciado de los metales, el oro, utiliza desde hace más de un siglo una técnica de recuperación basada en un proceso de lixiviación denominado Cianuración, en el que se emplea como reactivo un compuesto (bajo diferentes formas) altamente tóxico: el cianuro. La problemática se agrava, más aún, cuando la extracción del oro termina y la planta de

Cianuración se clausura, ya que en este momento, habrá que tratar miles de metros cúbicos de solución cianurada y los costos asociados a los tratamientos convencionales de oxidación resultan difíciles de gestionar. Por otra parte, se vienen empleando exitosamente en el tratamiento de aguas residuales y de mina las tecnologías denominadas "sistemas pasivos" que buscan la mejora de la calidad de un agua mediante procesos cuyo mantenimiento sea mínimo. El trabajo aborda la posibilidad del tratamiento, mediante sistemas pasivos, de soluciones residuales de procesos de Cianuración como paso previo para un posible tratamiento por esta vía de la fracción líquida del residuo que quede almacenado en la balsa de estériles tras el cese de la actividad. Los resultados obtenidos permitirían fijar las bases y los parámetros de diseño de un sistema pasivo a escala real para el tratamiento de la solución que quede almacenada con los "finos" cuando la actividad metalúrgica haya cesado.

- **Nicolás Contreras, María de los Ángeles (2010)** "Edafogénesis en Escombreras Mineras de la Provincia de Burgos y su Relación con la Vegetación" Universidad de Burgos- España. En el trabajo selecciona siete botaderos de minas de la provincia de Burgos, en las cuales se explotaron: manganeso, hierro, hulla, lignito,

plomo y cobre. En ellas se escogieron puntos de muestreo en los cuales se tomaron muestras de suelo para análisis físicos, químicos y de metales y, se realizó un herbario florístico de las mismas durante dos años. Los resultados mostraron que los parámetros edagógicos habían evolucionado, acercándose en las parcelas que tenían mayor cobertura vegetal y que estaban más próximas al entorno, hacia los parámetros propios de suelos naturales y, que el contenido en metales pesados disminuía de forma paralela a la evolución de los parámetros edáficos. El inventario florístico demostró que las especies presentes en las diferentes escombreras estaban relacionadas de forma directa con el pH de los materiales edáficos de la escombrera y que los taxones (grupos en que se clasifican los seres vivos) formaban parte de la florística del entorno, predominando las familias de las Poaceas, Fabáceas y Asteráceas.

- **Sjobery (1996), Deere (1987), Hook (1985).** Estos autores plantean el diseño de la pendiente (talud) de las pilas o escombreras de desmonte en su forma estructural, para garantizar las medidas de seguridad preventivo, refieren sus temas al diseño de una pared de talud utilizando modelos de equilibrio limite, análisis finito para encontrar un factor de

seguridad compatible con la estabilidad física. Otro autor como Cai (2007) indica que el uso de GIS (Sistema de Información Geofísica) ayudaría como modelo para el análisis de la estabilidad de un talud en 3D considerando un factor de seguridad mínima de 1,33.

- **Bakerl (2003)** “La Remediación de Deslizamientos o Derrames de Escombreras”, en los Capítulos I, II y III de dicho trabajo presenta, un proceso integrado del diseño estructural para la retención reforzada de suelos y escombreras (uso de Geomembranas).
- Finalmente **Chungsik (2000)** ofrece los resultados de un modelo de laboratorio del comportamiento de las fuerzas de deslizamiento en el pie del talud y su reforzamiento por análisis finito con el uso de Geogrid – Reforzado para su remediación.

2.2 Bases Teóricas

2.2.1 Unidad Minera Santa Rosa

La Unidad Minera Santa Rosa, pertenece a la Compañía Minera ARUNTANI. La explotación de mineral se realiza a tajo abierto. Opera su Planta de Beneficio para la recuperación de

mineral aurífero con capacidad instalada de 9000 t/día, produciendo concentrados de Oro y Plata.

2.2.1.1 Ubicación del Proyecto

La Unidad de Producción Santa Rosa está ubicada, a una altitud de 4850 m.s.n.m, a 162,5 km al este de la ciudad de Moquegua. En la cuenca alta del río Tambo, en la microcuenca del río Cachachara, específicamente en las quebradas Acosiri y Cotañani, en el límite entre Moquegua y Puno. Geográficamente el área está enmarcada en las coordenadas siguientes:

Coordenadas UTM de ubicación del Proyecto:

Norte	Este
8 157 073,000	384 270,000
8 161 700,000	393 120,000

El acceso desde Lima es principalmente por Juliaca donde se llega por vía aérea y de ahí por vía terrestre a la ciudad de Juliaca pasando por llave, Mazocruz y Santa Rosa en una distancia de 210 km de longitud. También se puede acceder desde Moquegua vía Torata en una

distancia de 290 km, para llegar a Santa Rosa, a través de la carretera binacional Ilo – Desaguadero, asfaltada, a la altura del kilómetro 160 existe una trocha afirmada de 20 kilómetros de longitud que llega al campamento de la antigua mina de Cacachara.

2.2.1.2 Antecedentes del Proyecto

Ha sido explorado, en una primera etapa, entre los años 1990 y 1991, por MDH S.A. Entre 1996 y 1999, realizó un programa intenso de exploración con un mapeo geológico, muestreo superficial y perforación diamantina, habiéndose ejecutado 90 taladros de perforación, haciendo un total acumulado de 7360 metros. El Proyecto inició sus operaciones en Enero del 2002.

Los accionistas de MDH S.A. constituyen la Compañía Minera Aruntani S.A.C. el 27 de marzo del 2000. El objetivo es independizar la operación del Proyecto Minero Santa Rosa de MDH S.A. que se mantiene como compañía de exploraciones y servicios.

El proyecto minero incluye la construcción, operación y cierre de un tajo abierto y un botadero de desmonte, así como el sistema de lixiviación en PAD's y la recuperación del metal aurífero por medio del proceso Merrill Crowe, los que fundidos producirán el doré.

2.2.1.3 Fundamento Geológico

La estructura geológica que forma el medio geofísico de la microcuenca Cotañani, corresponde a un escenario formado por rocas volcánicas y sedimentarias continentales, con predominancia de las estructuras volcánicas; correspondientes a los períodos Terciario y Cuaternario. En el área se han identificado ocho unidades litoestratigráficas, que se describe a continuación:

a. Formación Puno (Ti-pu)

Esta formación constituye el basamento rocoso más antiguo de la microcuenca Cotañani, está constituida por estratos de areniscas conglomeradas y brechas, de clastos volcánicos andesíticos, con matriz tufácea feldespática; de colores verde violáceo y cremas con intemperismo blanco. La edad atribuida es del Terciario Inferior, Eoceno-Oligoceno. En la

zona no aflora el basamento de esta formación, pero regionalmente se estima una potencia de 700 m, sobresaliendo a la formación Jahuay. Sobre esta formación se ubican las vías de acceso de la Unidad de Producción Santa Rosa.

b. Formación Llallahui (Tms-II)

Está constituida por derrames volcánicos, piroclástos, brechas de flujo y aglomerados andesíticos y basálticos; en estratos gruesos de 20 a 30 m de espesor. Regionalmente se le atribuye una potencia total a esta formación, de 1000 m; en la zona sólo aflora la parte basal, sobreyaciendo a la Formación Puno. Corresponde a la Edad Terciario Medio a Superior.

Los componentes de la Unidad de Producción Santa Rosa, no comprometen esta Unidad Geológica.

c. Formación Capillune (Tp-ca)

Comprende una secuencia sedimentaria de medios lacustres, compuesta por areniscas, conglomerados, limolitas y arcillas; de colores grises, amarillentos y verdosas; en estratos de 20 a 25 m de espesor, regionalmente la formación tiene una

potencia de 20 m . Edad Terciario Plioceno Superior.

d. Grupo Barroso (TQ-ba)

Comprende un complejo de rocas volcánicas correspondientes a pulsaciones magmáticas de lavas tufáceas de tipo fisural y conos centrales, con derrames concéntricos en capas buzantes; de colores gris, marrones y rojizas. Son de edad Terciario Superior y Cuaternario Pleistoceno.

Este Grupo de rocas volcánicas forma las cadenas montañosas que circundan las nacientes de la microcuenca Cotañani. El Cerro Cotañani, se encuentra mineralizado con sulfuros, oro y otros metales; que constituye el depósito mineralizado que es explotado por Unidad de Producción Santa Rosa. De acuerdo a la ubicación del PAD y la Planta de Recuperación, estos se encuentran en esta Unidad Geológica, en la margen derecha de la Quebrada Acosiri.

e. Depósitos de Morrenas (Qp-mo)

En la microcuenca Cotañani se encuentran tres depósitos de morrenas glaciales, correspondientes a la última glaciación; con características distintas.

En un pequeño valle glacial colgado, ubicado en la margen derecha de la Quebrada Cotañani; y en la margen derecha de la Quebrada Acosiri, al pie del Cerro Cotañani, se encuentran dos depósitos de morrenas formados por bloques angulosos sueltos sin matriz de relleno; en este último lugar se ubicará la cancha de desmontes provenientes del tajo.

f. Depósitos de Escombros Periglaciales (Qr-eg)

En el frente de los acantilados se están acumulando termoclastos, generados por la desintegración física por congelamiento y calentamiento solar, que produce el fracturamiento de los estratos volcánicos, los que luego la nieve y la gravedad, hacen rodar los bloques por los acantilados acumulándose al pie.

g. Turbera Bofedal (Qr-tb)

En el fondo de los valles de las Quebradas Cotañani y Acosiri, formados por la colonización de vegetación hidrofitica de alta montaña con formación de fango arcillo limoso con alto contenido orgánico en proceso de lignificación, que da lugar a formación de la turba; de alto poder calorífico. Estos

ecosistemas se usan como pastizales.

h. Depósitos Fluvio Aluviales (Qr-fa)

En el fondo central de los valles fluviales de las Quebradas Cotañani, Acosiri, Cacachara y Campamento se encuentran rellenos fluviales y aluviales, formando terrazas no bien diferenciadas, cortadas por los ríos y los huaycos temporales.

En la Quebrada Campamento se encuentra una mayor extensión de la acumulación aluvial, sobre la cual se encuentra el campamento de la Unidad de Producción Santa Rosa.

También se evalúa la alteración/meteorización, estructura, rugosidad, persistencia, espaciamiento de las discontinuidades, para ser incorporadas en la clasificación del macizo rocoso y en la determinación de las familias principales de discontinuidades, para lo cual se utilizó el sistema de Clasificación Geomecánica de Bieniawski (1979), denominado índice RMR.

El sistema RMR, cuenta con cinco parámetros básicos:

- Resistencia de la roca intacta.
- Designación de la calidad de la roca (RQD).
- Espaciamiento de discontinuidades.
- Estado de las discontinuidades.
- Condiciones de agua subterránea.

Del análisis realizado con la metodología descrita, se obtiene los siguientes resultados (cuadro 2.1):

Cuadro 2.1 Evaluación Geomecánica del Macizo Rocoso.

Ubicación	RMR			SMR	Descripción	Estabilidad	Tipo de Falla
	Básico	Ajustado	Seco				
ES-01	57	32	57	41	Regular	Parcialmente estable	P
ES-02	54	4	54	42	Regular	Parcialmente estable	P
ES-03	45	20	45	53	Regular	Parcialmente estable	P
ES-04	40	15	45	53	Regular	Parcialmente estable	P
ES-05	41	16	41	37	Regular	Inestable	V
ES-06	45	20	45	40	Buena	Inestable	P
ES-07	43	38	43	39	Regular	Inestable	V
ES-08	56	31	56	64	Regular	Estable	P
ES-09	56	31	56	64	Regular	Estable	P
ES-10	59	34	59	58	Buena	Parcialmente estable	P
ES-11	53	28	53	52	Buena	Parcialmente estable	P

Fuente: Cesel Ingenieros, 2008.

2.2.1.4 Operación de Minado

La Compañía Minera ARUNTANI explota el mineral por el método de minado a “tajo abierto” el cual es acarreado y transportado hacia los PAD’s de lixiviación y luego la solución rica es procesada en la Planta de Beneficio que utiliza el proceso Merrill Crowe, obteniéndose como producto final el doré oro / plata.

Las instalaciones actuales de la Unidad Minera Santa Rosa, están conformadas por el tajo, botaderos, los PAD’s, planta de beneficio, almacén, taller, campamento (pabellones de obreros, empleados, staff), comedor, oficinas, y demás servicios auxiliares. La explotación del yacimiento mediante el minado a tajo abierto se realiza con equipo pesado, con bancos de 10 m de alto, una berma de 20 m de ancho y un talud de banco de 70°, siendo el talud de operación del tajo de aproximadamente 37°. Las reservas cubicadas por el método tradicional de polígonos tienen una relación total de desmonte a mineral de 1,03:1. Se utiliza bancos de 10 metros.

El minado implica actividades de perforación y voladura, carguío de mineral con un cargador frontal y tres volquetes de 95

toneladas de capacidad cada uno, y transporte del mineral a los PAD's de lixiviación.

2.2.1.5 Disposición del Desmonte o Desecho de Roca en la Minería

(CFI, Grupo de Banco Mundial 2007) Indica que en casi todos los proyectos, los yacimientos de metales se encuentran enterrados debajo de una capa de suelo o roca (llamado "terreno de recubrimiento", "sobrecapa", "material estéril" o "desecho de roca") que debe ser retirada o excavada para permitir el acceso al yacimiento de mineral. La mayoría de proyectos mineros genera una enorme cantidad de material estéril o desechos de roca! La proporción o razón material estéril/ mineral metálico [llamado 'strip ratio' en inglés] es por lo general mayor que uno, y puede ser mucho mayor en algunos proyectos mineros.

La primera fase de estudio de un depósito de estériles la constituye la definición de una geometría estable para ello. Generalmente, los cálculos se efectúan con un factor de seguridad igual o mayor de 1,5 y no menor de 1,15 cuando no exista riesgo.

2.2.1.6 Procesamiento Metalúrgico en la Mina Santa Rosa

El procesamiento metalúrgico del mineral aurífero extraído

del tajo abierto se realiza a través de: PAD de Lixiviación y Planta Merrill Crowe.

Para la recuperación del elemento valioso tenemos la secuencia de los siguientes procesos: Lixiviación de las pilas o celdas del PAD de Lixiviación con soluciones cianuradas en un medio alcalino. Recuperación del oro de las soluciones mediante el método Merrill Crowe, el mismo que utiliza el polvo de Zinc para la precipitación de los metales preciosos en un ambiente de vacío en presencia de acetato de plomo.

a) PAD de Lixiviación

Una vez terminada las operaciones, el PAD de Lixiviación contendrá aproximadamente 18 millones de toneladas de mineral lixiviado y cubrirá un área de aproximadamente 26 Há. La altura final máxima del PAD de Lixiviación será aproximadamente de 85 m con un ángulo de inclinación exterior de 28° (2,5H:1V) en promedio.

El mineral aurífero a ser lixiviado se transporta desde el tajo abierto hacia el PAD de lixiviación utilizando camiones.

El PAD está construido con piso impermeabilizado y dotado de tuberías corrugadas y perforadas mediante las cuales se garantiza la colección de la solución rica que contiene oro y plata, y que es conducida por gravedad hacia las pozas de solución rica (pregnant).

La lixiviación del mineral se realiza en el PAD de Lixiviación, mediante un sistema de riego por aspersion, la granulometría del mineral es tal como sale de la mina, cada nivel de la pila posee una altura de 8 metros, conformándose módulos para riego en áreas variables de 2500 m², después de lo cual se dosifica cal (0,8 kg/t), con el fin de mantener un pH entre 10,5 y 11 en la solución; la cal es nivelada y homogeneizada con el mineral mediante cargador frontal o tractor de oruga.

La solución lixivante tiene un pH aproximado de 10,5 a 11 y es bombeada desde la poza Barren, de modo tal que permita la recirculación de soluciones intermedias hacia las pilas, a fin de mejorar la ley de la solución rica o pregnant que ingresa a la planta, para cuyo fin el diseño del Pad considera cajas de distribución de solución. La fuerza del cianuro de sodio (NaCN), en la solución lixivante es de 130 ppm, lo que equivale a 0,013%.

b) Planta Merrill Crowe.

Las soluciones lixiviadas del PAD son enviadas a la poza Pregnant y de ésta se alimenta a la Planta Merrill Crowe, en donde se hace el intercambio de los valores de metales valiosos disueltos son precipitados y el zinc pasa a solución, luego es enviado a los filtros para la recuperación del concentrado de oro se procede al secado y embolsado para su envío a la Fundición, y obtención del metal doré.

La Planta de Merrill Crowe comprende las siguientes secciones:

- Filtros de limpieza.
- Torre de desaireación.
- Adición del Polvo de Zinc.
- Alimentación del Acetato de plomo.
- Filtros de finos.

2.2.2 Marco Legal

2.2.2.1 Marco Legal Ambiental General

El Perú a través de su vida republicana a atravesado

por más de 14 constituciones. La Constitución vigente fue promulgada el 29 de diciembre de 1993.

○ **Constitución Política del Perú 1993.**

Establece en su artículo 2º, inciso 22 que: “Toda persona tiene derecho a: la paz, la tranquilidad, al disfrute del tiempo libre y al descanso, así como gozar de un ambiente equilibrado y adecuado para el desarrollo de su vida”.

En los artículos vinculados a la minería del N°66 - 69 que dice lo siguiente: “ los recursos naturales, renovables y no renovables son patrimonio de la Nación. El estado es soberano en su aprovechamiento. Por Ley Orgánica se fijan las condiciones de su utilización y de su otorgamiento a particulares. La concesión otorga a su titular un derecho real, sujeto a dicha norma legal”.

El Artículo 123 dice: “Todos tienen derecho de habitar en ambiente saludable, ecológicamente Equilibrado y adecuado para el desarrollo de la vida y la preservación del paisaje y la naturaleza. Todos tienen el deber de conservar dicho ambiente.

- **Ley General del Ambiente Ley N°28611 del 15-10-2005.**

Establece que toda persona tiene el derecho irrenunciable a vivir en un ambiente saludable, equilibrado y adecuado para el pleno desarrollo de la vida y el deber de contribuir a una efectiva gestión ambiental y de proteger el ambiente; señala que la Autoridad Ambiental Nacional es el CONAM (ahora MINAM) y establece que toda actividad humana que implique construcciones, obras, servicios y otras, así como las políticas, planes y programas públicos susceptibles de causar impactos ambientales de carácter significativo, están sujetos al Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA).

- **Código penal Título XIII-delitos contra la ecología D.L. N°635 del 08-04-1991.**

En el Título XIII- Delitos Contra la Ecología, Capítulo Único- Delitos Contra los Recursos Naturales y el Medio Ambiente, se establece lo siguiente: el Art. 304º, se refiere a la protección del medio ambiente, estableciendo que quien contamina vertiendo residuos sólidos, líquidos, gaseosos o de cualquier otra naturaleza por encima de los límites establecidos, y que causen o puedan causar perjuicio o alteraciones en la

flora, fauna y recursos hidrobiológicos, será reprimido con pena privativa de libertad no menor de uno ni mayor de tres años o con ciento ochenta a trescientos sesenta y cinco días-multa.

2.2.2.2 Marco Legal Específico para el Sub-Sector Minas

- Ley que regula el cierre de minas ley N°28090 del 14-10-2003 y su modificatoria, ley N°28234 del 28-05-2004 y ley N° 28507.

Esta ley, tiene por objeto regular las obligaciones y procedimientos que deben cumplir los titulares de la actividad minera para la elaboración, presentación e implementación del Plan de Cierre de Minas, y la constitución de las garantías ambientales correspondientes.

Establece que compete al MINEM aprobar los planes de cierre, la fiscalización y control de las obligaciones asumidas en dichos planes e imponer, si es el caso, sanciones administrativas.

- Reglamento del cierre de minas D.S. N°033-2005-EM del 16-08-2005 y su modificatoria julio y agosto 2006.

Reglamenta la Ley que regula el Cierre de Minas y tiene por objeto la prevención, minimización y el control de los riesgos y efectos sobre la salud, la seguridad de las personas, el ambiente, el ecosistema circundante y la propiedad, que pudieran derivarse del cese de las operaciones de una unidad minera.

Señala que el plazo máximo de presentación del Plan de Cierre es de un año a partir de la aprobación del respectivo EIA.

- Reglamentación sobre estabilidad de depósitos de relaves R.D. 440-96EM/DGM del 13-12-1996, R.D. 19-97-EM/DGM del 23-06-1997, R.D. 224-97-EM/DGM del 23-06-1997.

La Resolución Directoral 440-96- EM/DGM establecía que los titulares mineros que contasen con depósitos de relaves operativos o inactivos debían efectuar una evaluación especial de dichos depósitos y ejecutar las labores que fueran necesarias a fin de garantizar su estabilidad bajo condiciones estáticas y pseudoestáticas, informando a la Dirección General de Minería antes del 31 de diciembre de 1997.

La Resolución Directoral 224-97-EM/DGM del 23 de junio de 1997, establecía que la evaluación de los depósitos de relaves, de acuerdo con la Resolución Directoral 440-96-EM/DGM, debía incluir la estabilidad durante eventos sísmicos de largo plazo que posibiliten la ocurrencia de falla por licuefacción. En el caso de canchas de relaves que estuvieran implementadas cruzando una quebrada, se debe evaluar la posibilidad de falla por desbordamiento de la cancha durante la ocurrencia de una avenida.

La Resolución Directoral 19-97-EM/DGAA del 23/06/1997, propone la estructura de reporte de estabilidad física de depósitos de relaves en Guía Ambiental para el Manejo de Relaves Mineros.

- Ley que regula los pasivos ambientales de las actividades mineras, ley N° 28271 del 06-07-2004 y su modificatoria, ley N°28526 del 25-05-2005.

Esta norma deberá contribuir a generar un proceso conducente a la adopción de medidas y estrategias para remediar progresivamente los enormes daños ambientales provocados por el desarrollo minero no regulado y la

armonización entre desarrollo económico, social y ambiental.

- D.S. N°003-2009-EM publicado en El Peruano el 15-01-09, modificó el Reglamento de Pasivos Ambientales de la Actividad Minera aprobado por D.S. N° 059-2005-EM.

Modifica el Reglamento de Pasivos Ambientales de la Actividad Minera aprobado por D.S. N° 059-2005-EM. Entre las modificaciones y/o adiciones efectuadas se tiene:

- Establece la competencia para evaluar y aprobar instrumentos de remediación, y para la fiscalización del cumplimiento de las obligaciones originadas con estos instrumentos.
- Establece la responsabilidad de remediar pasivos ambientales y la competencia para identificar generadores de pasivos, la elaboración y actualización de los pasivos.
- Remediación a cargo del Estado, criterios para la determinación de situaciones de interés público, derecho de repetición del Estado, forma de ejecución de la remediación.

2.2.2.3 Marco Legal de Protección y uso Sostenible de los Recursos Naturales

- Ley General de Recursos Hídricos – Ley N° 29338, promulgada en el 31 de marzo de 2009.

Regula el uso de los recursos hídricos, comprende el agua superficial, subterránea, continental y los bienes asociados a esta. Se extiende al agua marítima y atmosférica. El objetivo de la Ley: regular el uso y gestión integrada del agua, la actuación del Estado y los particulares en dicha gestión.

Se da creación al Sistema Nacional de Gestión de los Recursos Hídricos. Se crea la Autoridad Nacional del Agua (ANA), ente rector y máxima autoridad técnico-normativa del Sistema Nacional de Gestión de los Recursos Hídricos.

Por otro lado, la Autoridad Nacional autoriza el vertimiento del agua residual tratada a un cuerpo natural de agua continental o marina, previa opinión técnica favorable de las Autoridades Ambiental y de Salud sobre

el cumplimiento de los Estándares de Calidad Ambiental del Agua (ECA-Agua) y Límites Máximos Permisibles (LMP). Queda prohibido el vertimiento directo o indirecto de agua residual sin dicha autorización.

Deroga el Decreto Ley N° 17752 Ley General de Aguas.

- Mediante Decreto Supremo N° 001-2010-AG, publicado el 24 de marzo del 2010, se aprueba el reglamento de la Ley N° 29338, Ley de Recursos Hídricos.

Regula el uso y gestión de los recursos hídricos que comprenden al agua continental: superficial y subterránea, y los bienes asociados a ésta; todo ello con arreglo a las disposiciones contenidas en la Ley de Recursos Hídricos, Ley N° 29338.

La priorización del uso del agua:

- Para satisfacción de necesidades primarias de la persona y abastecimiento poblacional, con carácter preferente.
- Asegurado el objetivo anterior, respetando el siguiente

orden de preferencia si hay solicitudes de uso: 1ro) agrario, acuícola y pesquero; 2do.) energético, industrial, medicinal y minero; 3ro.) recreativo, turístico y transporte y 4to.) otros usos.

2.2.2.4 Marco Legal de Límites Máximos Permisibles y Estándares de Calidad

- Niveles máximos permisibles de elementos y compuestos presentes en emisiones gaseosas provenientes de las unidades minero-metalúrgicas R.M. N°315-96-EM/MM del 19-07-1996.

Establece la obligación a los titulares mineros de cumplir con los niveles máximos permisibles de emisión de los elementos establecidos en dicha norma.

- Reglamento de estándares nacionales de calidad ambiental del aire D.S. N°074-2001-PCM, del 24-06-2001.

Se establecen los niveles de concentración máxima de contaminantes del aire, a alcanzarse a través de mecanismos y plazos detallados. Los parámetros regulados son los siguientes: Dióxido de Azufre (SO₂),

Material Particulado con diámetro menor o igual a 10 micrómetros (PM-10), Monóxido de Carbono, (CO), Dióxido de Nitrógeno (NO₂), Ozono (O₃), Plomo (Pb) y Sulfuro de Hidrógeno (H₂S). Mediante Decreto Supremo N° 069-2003-PCM se adiciona a estos estándares el valor anual de concentración de plomo, expresado en microgramos por metro cúbico (ug/m³).

Con DS N° 003-2008-MINAM se han adicionado los siguientes parámetros a los existentes: Benceno, Hidrocarburos Totales (HT) expresado como Hexano, Material Particulado con diámetro menor a 2,5 micras (PM 2,5) e Hidrógeno Sulfurado.

- Decreto Supremo N° 010-2010-MINAM (21/08/10) "Aprueban límites máximos permisibles para la descarga de afluentes líquidos de Actividades Minero - Metalúrgicas"

Establece dichos límites para el "Valor en Cualquier Momento" (instantáneo) y para el "Valor Promedio Anual" (tabla 2.1):

Tabla 2.1 Límites Máximos Permisibles para la Descarga de Efluentes Líquidos de Actividades Minero-Metalúrgicas.

Parámetro	Unidad	Límite en cualquier momento	Límite para el promedio anual
pH		6 – 9	6 – 9
Sólidos totales en suspensión	mg/l	50	25
Aceite y grasas	mg/l	20	16
Cianuro total	mg/l	1	0,8
Arsénico total	mg/l	0,1	0,08
Cadmio total	mg/l	0,05	0,04
Cromo hexavalente	mg/l	0,1	0,08
Cobre total	mg/l	0,5	0,4
Hierro (disuelto)	mg/l	2	1,6
Plomo total	mg/l	0,2	0,16
Mercurio total	mg/l	0,002	0,0016
Zinc total	mg/l	1,5	1,2

Fuente: Decreto Supremo N° 010-2010-MINAM.

2.2.3 Impactos en los Recursos Hídricos

Tal vez el impacto más significativo de un proyecto minero es el efecto en la calidad y disponibilidad de los recursos hídricos en la zona del proyecto. Las preguntas principales son si tanto el agua superficial como el agua subterránea permanecerán aptas para consumo humano, y si la calidad de las aguas superficiales en

el área del proyecto seguirá siendo adecuada para mantener las especies acuáticas nativas y la vida silvestre terrestre.

2.2.3.1 Impactos Causados por los Embalses de Relaves, Botaderos de Desmonte, y Lixiviación en Pilas

Los impactos en la calidad del agua por los relaves, rocas de desecho, pilas de lixiviación y lixiviación pueden ser graves. Estos impactos incluyen la contaminación del agua subterránea y aguas superficiales que reciben sus descargas (tabla 2.2). Las sustancias tóxicas pueden lixivarse de estas instalaciones, filtrarse a través del suelo y contaminar las aguas subterráneas, especialmente si el fondo de estas instalaciones no ha sido adecuadamente protegido con una membrana impermeabilizante. Los relaves, puede contener sustancias tóxicas a niveles peligrosos de arsénico, plomo, cadmio, cromo, níquel y cianuro (si se usa cianuro en el proceso de lixiviación).

Tabla 2.2 Medio Ambiente en las Etapas del Proceso Minero.

ETAPA 3: Operación de la mina	MEDIO AMBIENTE
<p>Dependiendo de la forma y de la localización de la mena, esta etapa se desarrolla en forma subterránea o a rajo abierto.</p> <p>En ambos casos las actividades básicas que involucra son:</p> <ul style="list-style-type: none"> a.- chancado del mineral b.- cargado c.- extracción y transporte al lugar de acopio d.- transporte hacia la planta de tratamiento. 	<p>En esta etapa los potenciales problemas ambientales están relacionados con la producción de polvo, ruido y vibraciones.</p> <p>Actividad importante en esta etapa, en el caso de explotación a tajo abierto, es la voladura cuyos problemas ambientales se asocian al material particulado, especialmente al PM10 y a la contaminación acústica..</p> <p>Estos mismos problemas, relacionados con otros elementos del medio los afectarán según el tipo de componente (flora, fauna, agua), y de la extensión del área de influencia directa de estas actividades.</p> <p>Todas las actividades mencionadas (de a - d) tienen asociadas problemas de contaminación atmosférica y acústica.</p>

ETAPA 4: Beneficio	MEDIO AMBIENTE
<p>Etapa relacionada con la concentración del mineral comercial, el paso previo es la pulverización de la mena.</p> <p>Métodos típicos de beneficio son:</p> <p>a.- Por flotación. el más utilizado en los minerales que contienen sulfurados. Utiliza gran volumen de agua y reactivos químicos.</p> <p>b.- Por gravedad. Es un método por el cual se logra separar sólidos de diferentes densidades dentro de un líquido (o fluido), por ejemplo agua.</p> <p>c.- Por lixiviación. Es tal vez el método más utilizado en la minería del cobre, utiliza como agente reactivo ácido sulfúrico.</p> <p>Otros métodos son:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Separación magnética. • Selección eléctrica. 	<p>El impacto al medio ambiente de esta etapa está dado por tres componentes del proceso.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Uso del agua. <p>Los volúmenes de agua utilizados, pueden disminuir el flujo de agua de la población local, y/o la capacidad de recarga de las fuentes de abastecimiento, especialmente si estas son subterráneas y su recarga es lenta.</p> <ul style="list-style-type: none"> • El uso de reactivos químicos, y la falta de tratamiento de las aguas residuales, puede producir contaminación de suelos y cuerpos de aguas. • Los residuos sólidos resultantes de la flotación contienen varios tipo de "metales pesados" que sin tratamiento y con grados de concentración diversos son, en general, tóxicos en el medio ambiente.

Fuente: Jáuregui Morales, 1999.

La industria minera desde la fase de exploraciones de la clase "C" altera el ambiente de su contorno, de sobremanera en yacimientos de minerales de sulfuros, sulfosales y sulfatos, dando lugar al drenaje ácido de rocas (DAR) y otros contaminantes.

2.2.3.2 Aguas Ácidas

¿En que Consiste el Drenaje Ácido de Mina?

El drenaje ácido de mina (DAM) o drenaje ácido de roca (DAR) es actualmente considerado como el mayor responsable del factor ambiental que afronta la industria minera; puesto que, su desarrollo puede tomar muchos años, y continuar durante siglos. El proceso de beneficio genera un gran volumen de desechos llamados 'relaves', el residuo de mineral que permanece después que ha sido triturado, y que ha sido extraído el metal valioso (por ejemplo con cianuro (oro) o con ácido sulfúrico (cobre) (ELAW, 2010).

El drenaje ácido de la mina (AMD: acid mine drainage) generado por la interacción entre los sulfuros minerales con el agua y aire, que puede emanar desde diferentes actividades y lugares de la mina. Entre ellos:

- Trabajos en la superficie y subterráneos.
- Desechos rocosos (provenientes de la planta chancadora).
- Sitios de acopio de estériles provenientes de la molienda u otro.
- Desechos provenientes de embalses de relave, flotación, otros.

El drenaje se forma debido a la oxidación de minerales que contienen azufre, principalmente pirita (FeS_2) y pirrotita (Fe_{1-x}S), que expuestos al aire y agua reaccionan formando ácido sulfúrico y hierro disuelto. Parte del hierro se puede precipitar formando en el fondo de los lechos una capa roja, naranja o amarilla, que contiene el drenaje de la mina. Estas transformaciones físicas, químicas y biológicas, que dan origen a unos drenajes de mina que por lo general son ácidos y contienen elevadas concentraciones de Fe, Al, SO_4 , además de Zn, Mn, Mg, Cu, Cd, Pb y As, que provienen de la disolución de sulfuros y otros minerales asociados. Por lo general, son ácidos (pH 2 a 4), contienen cationes y aniones en disolución, predominando elevadas concentraciones de SO_4 , Fe, Al y otros.. Estos efluentes son una de las principales fuentes potenciales de *biodisponibilidad* de elementos contaminantes, que degradan la calidad de las aguas superficiales y subterráneas.

Tipos de drenajes de mina

El oxígeno atmosférico (O_2) es necesario para la oxidación directa de la pirita y para la regeneración del Fe^{3+} , por tanto, su ausencia inhibiría los procesos de generación de drenajes ácidos de mina (ADM). La mayor parte de los AMD en principio se generan en zonas no saturadas y aerobias de las instalaciones mineras, pero, bajo ciertas condiciones de anoxia el Fe^{3+} oxida a los sulfuros generando acidez.

Pudiendo de esta forma, agrupar los AMD en función al contenido de oxígeno disuelto en el agua y la presencia mayoritaria de una de las fases de hierro (Fe^{2+} , Fe^{3+}), dos tipos de drenajes: ferroso y férrico.

Esto se aprecia mejor en un botadero abandonado, desprovisto de vegetación o materiales de cobertera, que soporta un alto grado de infiltración del agua de lluvia, así como la erosión de sus taludes.

Estos drenajes que proceden del interior de los botaderos (zona anaerobia) a través de las surgencias a pie de talud, así como, el agua de las labores subterráneas (zonas anóxica) que desaguan al exterior por las galerías, tienen bajo pH (1,7 – 2,3), poco oxígeno

disuelto (0 a 40%), alto contenido de hierro en forma ferrosa y en ocasiones el agua tiene un color verdoso debido a la presencia de microorganismos acidófilos hierrooxidantes que crecen en condiciones de extrema acidez, se denominan *AMD ferrosos* y solo mantienen estas características muy cerca del punto de salida.

Una vez que estos drenajes entran en contacto con la atmósfera (zona aerobia y en superficie), se oxigenan rápidamente y mediante un proceso aerobio catalizado por bacterias de tipo *Thiobacillus ferrooxidans* transforman el hierro ferroso a hierro férrico, que confiere al agua un color ocre-rojo intenso (pH entre 2 y 3,5), además de producir precipitados de oxihidróxidos de Fe, estas aguas constituyen los *AMD férricos*.

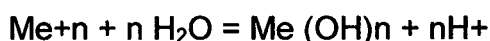
Los drenajes anóxicos en los que predomina la fase ferrosa tienen pH bajos entre 1,7 a 2,3 y suelen mantener una temperatura casi constante durante todo el año. En cambio, las aguas en las que predomina la fase férrica tienen pH entre 2,5 a 3,5 y están saturadas de oxígeno (70 a 100%), su temperatura varía en función a la época del año y hora del día (IGME, 2004).

Acidez y Alcalinidad

Representan la capacidad de las aguas para neutralizar una base o un ácido, hablándose entonces con más precisión de soluciones con *acidez o alcalinidad neta*.

acidez /alcalinidad neta = acidez total – alcalinidad total

La acidez total representa la concentración de iones hidrógeno libres (los que definen el pH), más los hidrogeniones que se pueden generar por oxidación e hidrólisis de los metales que contiene la solución, tales como Fe, Al, Mn, Zn, etc, y que se pueden representar mediante la reacción:



La acidez medida en laboratorio generalmente representa la acidez neta, ya que su valoración se suele efectuar con CaCO_3 después de haber añadido H_2O_2 y calentado la muestra para promover la total oxidación e hidrólisis de todos los metales.

La acidez total teórica puede ser calculada si se conoce el pH y la concentración de cada uno de los cationes que generan acidez. La acidez total será la suma de la acidez atribuible a los iones H^+ y la

acidez potencial de los cationes metálicos (Me+n).

Así, 100mg/l de Fe²⁺ contribuye con 179 mg de CaCO₃ equivalente/litro (tabla 2.3), y un pH de 3 contribuye con 50 mg de CaCO₃ equivalente/litro (Hyman y Watzlaf 1995).

Tabla 2.3 Factores de Conversión de la Concentración Iónica (mg/l) a CaCO₃ Equivalente.

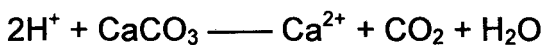
Concentración	Multiplicar por
Fe ²⁺	1,79
Fe ³⁺	2,69
Al ³⁺	5,56
Mn ²⁺	1,82
Zn ²⁺	1,54
pH	10(-pH) x 50,045
Acidez teórica estimada = 50 [2Fe ²⁺ /56 + 3Fe ³⁺ /56 + 3Al ³⁺ /27 + 2Mn ²⁺ /55 + 1000 (10-pH)]	

Fuente: Aduvire,2006.

La acidez estimada con la expresión anterior se expresa como mg/l de CaCO₃ equivalente, las concentraciones de metales en mg/l y 50 es el factor de conversión de miliequivalentes (meq) de acidez a mg/l de CaCO₃ equivalente.

En el caso del pH se considera que la concentración de iones H^+ es igual a 10^{-pH} . Además, hay que tener en cuenta que la acidez total así calculada no considera el efecto de los iones complejos, frecuentes a pH neutros, y que no producen acidez.

La acidez también se puede expresar en miliequivalentes/litro ($1\text{meq/l} = 50\text{ mg/l CaCO}_3$), su relación estequiométrica es:



Se deduce que, para neutralizar 2 moles de H^+ se requiere 1 mol de $CaCO_3$. Por tanto, la acidez de los AMD principalmente se debe a los protones (H^+) libres, más la acidez potencial ligada a la hidrólisis del Fe y Al.

Haciendo la correlación entre hierro total y acidez contenidos en AMD, se asume que en la acidez a pH 3,7 esta incluida la acidez aportada por la hidrólisis del Fe^{3+} y en la obtenida a pH 5 está incluida la acidez aportada por la hidrólisis del Al^{3+} y, la acidez medida a pH 8,3 correspondería a la acidez total. La *alcalinidad* total de una solución generalmente está representada por los iones hidróxido y bicarbonato, y se suele medir directamente en campo o laboratorio (tabla 2.4 al 2.6).

En yacimientos donde predominan los sulfuros, principalmente pirita y en menor medida calcopirita, galena, esfalerita y arsenopirita, los drenajes generalmente son ácidos y presentan déficit de alcalinidad o alcalinidad negativa, como los AMD de la Faja Pirítica.

Mineralogía de Drenajes Ácidos

Los principales procesos que controlan la formación de especies minerales en medios ácidos, son: precipitación/disolución y sorción/desorción.

Microbiología de Aguas Ácidas

Entre la diversidad de microorganismos que viven en medios ácidos, destacan los del grupo procariotas (bacterias y arqueas acidófilas), que en su gran mayoría son mesófilos (20 a 40°C) como el *Thiobacillus* (denominado también como *Acidothiobacillus*), ferrooxidans y el *Leptospirillum ferrooxidans* entre los más conocidos, en menor número algunos termotolerantes (40 a 60°C) como el *Acidobacillus caldus*.

También pueden encontrarse eucariotas obligadamente acidófilos como protistos (algas y protozoos) y hongos.

Tabla 2.4 Clasificación de Drenajes de Mina.

CLASE	pH	CARACTERÍSTICAS
Acido	< 6	Acidez generada por oxidación de minerales, particularmente de sulfuros. Nivel de metales disueltos es mayor que en drenajes casi neutros. Asociado a minas metálicas, carbón y piritas.
Alcalino	> 9 ó 10	Alta alcalinidad generada por disolución de minerales básicos, particularmente óxidos, hidróxidos y algunos silicatos. Niveles de algunos metales como el Al son mayores que en los drenajes casi neutros. Asociado con minería de diamantes, molienda de bauxita, cenizas de combustión de carbón.
Casi neutro	6 – 9 ó 10	Dependiendo de la abundancia de los minerales, en determinados periodos pueden ser ácidos o alcalinos. Concentración de metales disueltos algunas veces puede exceder niveles tóxicos.

Fuente, Osvaldo ADUVIRE (*) (Dr. Ing. de Minas), 2006

Tabla 2.5 Tipos de Drenajes de Mina.

TIPO	pH	DESCRIPCIÓN
I	< 4,5	Alta concentración de Fe, Al, Mn, Zn, Cu, Ni, Pb, y otros metales. Alto contenido de oxígeno. Muy ácido (llamado Drenaje Ácido de Mina)
II	< 6,0	Alta cantidad de sólidos disueltos. Alta concentración de ión ferroso (Fe^{2+}) y Mn. Bajo contenido de oxígeno. Por oxidación, el pH del agua baja drásticamente hasta convertirse en Tipo I.
III	> 6,0	Moderada a alta cantidad de sólidos disueltos. Bajo a moderado contenido de ión ferroso (Fe^{2+}) y Mn. Bajo contenido de oxígeno. Alta alcalinidad (llamado Drenaje Alcalino de Mina). Por oxidación de metales la acidez generada es neutralizada por la alcalinidad presente en el agua.
IV	> 6,0	Alta cantidad de partículas disueltas. Drenaje neutralizado, pero todavía no se han fijado los hidróxidos en el agua. A mayor tiempo de residencia en las balsas mayor fijación de partículas y el agua puede llegar a ser similar al de Tipo V.
V	> 6,0	Agua del drenaje es neutralizada. Alta cantidad de sólidos disueltos. Gran cantidad de hidróxidos precipitados y fijados en las balsas. Cationes restantes son disueltos por Ca y Mn. Oxi-aniones solubles como bicarbonato y sulfato quedan en la solución.

Fuente, Osvaldo ADUVIRE (*) (Dr. Ing. de Minas), 2006.

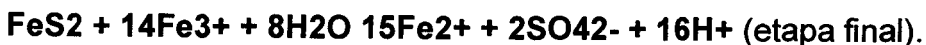
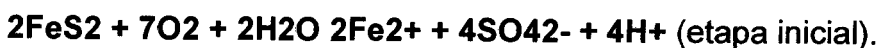
Tabla 2.6 Caracterización de los tipos de Material de Presas y Botaderos de Mina.

TIPO DE MATERIAL	CARACTERISTICAS GEOQUIMICAS	RECOMENDACIONES
I A	No forma acidez Nada, baja o moderada salinidad NAG: pH > 4 y EC (1:5) < 0,8 dS/m NAG: pH > 4 y EC (1:2) < 1,5 dS/m	Apropiado para cualquier tipo de construcción y relleno. No requiere especificación geoquímica. Apropiado para trabajos de restauración.
I B	No forma acidez Alta salinidad NAG: pH > 4 y EC (1:5) 0,8-1,3 dS/m NAG: pH > 4 y EC (1:2) 1,5-2,5 dS/m	Apropiado para rellenos en general. No deseable para recuperación de terrenos salinos. Evitar dejar áreas con 30 cm de superficie libre.
I C	No forma acidez Extrema salinidad NAG: pH > 4 y EC (1:5) > 1,3 dS/m NAG: pH > 4 y EC (1:2) > 2,5 dS/m	Puede utilizarse como relleno en general, siempre que este aislado del núcleo de la presa. No dejar áreas restauradas con 50 cm de superficie.
II	Potencial formador de acidez Riesgo bajo 3 < NAG: pH < 4	No apropiado para usos en construcción y rellenos en general, a menos que el núcleo de la presa este compactado y aislado de lixiviados. No dejar áreas con 1 m de superficie libre o de talud final de la escombrera. Estos materiales pueden convertirse en tipo I si se mezclan con caliza u otros materiales que neutralizan la acidez.
III	Potencial formador de acidez Riesgo alto NAG: pH < 3	Sus lixiviados deben encapsularse y aislarse. Debe depositarse en capas compactas. Ubicar este material en el centro de las escombreras. No dejar áreas con 1 m de superficie libre o 5 m en el talud final de la escombrera. En restauración poner una capa compactada de material tipo IC sobre el de tipo II antes de colocar los suelos de cobertera (arcillas, tierra vegetal y otros). Estos materiales pueden convertirse en tipo I si se mezclan con caliza u otros materiales que neutralizan la acidez.

Fuente, Osvaldo ADUVIRE (*) (Dr. Ing. de Minas) 2006.

Reacciones Químicas Involucradas en Drenaje Ácido

Aunque es un proceso complejo se puede simplificar en:



Problemas Ambientales Derivados del Drenaje Ácido

Los problemas ambientales asociados al drenaje ácido son variados y dependen del componente del medio ambiente en que se emplacen; perduran en el largo plazo (Pedro Jáuregui 1999):

- Entre los problemas asociados a los efectos específicos se encuentran la interrupción del crecimiento y reproducción de fauna y flora acuática.
- Daño a los ecosistemas (cadenas tróficas, comunidades, otros).
- En algunos casos, contaminación de las fuentes de agua potable.
- Efectos corrosivos en las bases de los puentes.

Formas de Control del Drenaje Ácido

Una de las mejores defensas contra el drenaje ácido es prevenir que el material que puede generarlo entre en contacto con el aire y el agua, porque una vez que la reacción comienza es casi imposible detenerla y continuará por varias décadas.

Algunas formas de control son:

- Separación de los desechos y mezcla. En esencia se trata de

mezclar la roca generadora de ácido con otro tipo de roca, cuya composición sea neutralizadora, creando un pH neutro.

- Aditivos base. Material alcalino, tales como caliza, cal, ceniza de soda pueden ser agregados a la roca sulfurosa, con el fin de amortiguar las reacciones productoras de ácido.
- Cubrimientos. Tierra, arcilla y coberturas sintéticas pueden ser puestas sobre la roca generadora de ácido, con el fin de minimizar la infiltración de agua y aire.
- Bactericidas. La introducción de ciertos químicos que reducen la bacteria (*thiobacillus ferrooxidans*) que cataliza las reacciones de la generación de ácido ha sido probado como efectiva.
- Colección y tratamiento de los contaminantes del drenaje ácido y someterlo a tratamiento, a través de métodos pasivos o activos.

2.2.4 Modelos de Análisis de Estabilidad de Taludes

Es práctica común en ingeniería definir la estabilidad de un talud en términos de un factor de seguridad (FS), obtenido de un análisis matemático de estabilidad. El modelo debe tener en cuenta la mayoría de los factores que afectan la estabilidad. Estos factores

incluyen geometría del talud, parámetros geológicos, presencia de grietas de tensión, cargas dinámicas por acción de sismos, flujo de agua, propiedades de los suelos, etc.

Determinar el factor de seguridad asumiendo superficies probables de falla, permite al Ingeniero tener una herramienta muy útil para la toma de decisiones. Se pueden estudiar superficies planas, circulares, logarítmicas, parabólicas y combinaciones de ellas. La mayoría de los trabajos que aparecen en la literatura sobre el tema asumen que el suelo es un material isotrópico y han desarrollado métodos de análisis de superficies circulares o aproximadamente circulares principalmente.

a) Modelo de Equilibrio Límite y Factor de Seguridad

Según Corominas (1992) el análisis de los movimientos de los taludes o laderas durante muchos años se ha realizado utilizando las técnicas del equilibrio límite. Este tipo de análisis requiere información sobre la resistencia del suelo, pero no se requiere sobre la relación esfuerzo-deformación. El sistema de equilibrio límite supone que en el caso de una falla, las fuerzas actuantes y resistentes son iguales a lo largo de la superficie de falla equivalentes a un factor de seguridad de 1,0.

Fellenius (1927) presentó el factor de seguridad como la relación entre la resistencia al corte real, calculada del material en el talud y los esfuerzos de corte críticos que tratan de producir la falla, a lo largo de una superficie supuesta de posible falla:

$$F.S. = \frac{\text{Resistencia al corte}}{\text{Esfuerzo al cortante}}$$

En superficies circulares donde existe un centro de giro y momentos resistentes y actuantes:

$$F.S. = \frac{\text{Momento Resistente}}{\text{Momento Actuante}}$$

Existen, además, otros sistemas de plantear el factor de seguridad, tales como la relación de altura crítica y altura real del talud y método probabilística.

La mayoría de los sistemas de análisis asumen un criterio de "equilibrio límite" donde el criterio de falla de Coulomb es satisfecho a lo largo de una determinada superficie.

Se estudia un cuerpo libre en equilibrio, partiendo de las fuerzas actuantes y de las fuerzas resistentes que se requieren para producir el equilibrio. Calculada esta fuerza resistente, se

compara con la disponible del suelo o roca y se obtiene una indicación del Factor de Seguridad.

Otro criterio es dividir la masa a estudiar en una serie de tajadas, dovelas o bloques y considerar el equilibrio de cada una por separado, realizado el análisis de cada tajada se analizan las condiciones de equilibrio de la sumatoria de fuerzas o de momentos.

$$F.S. = \frac{\text{Resistencias al corte}}{\text{Esfuerzos al cortante}}$$

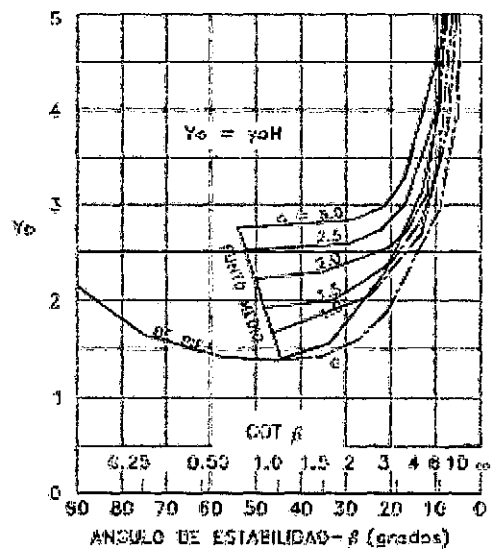
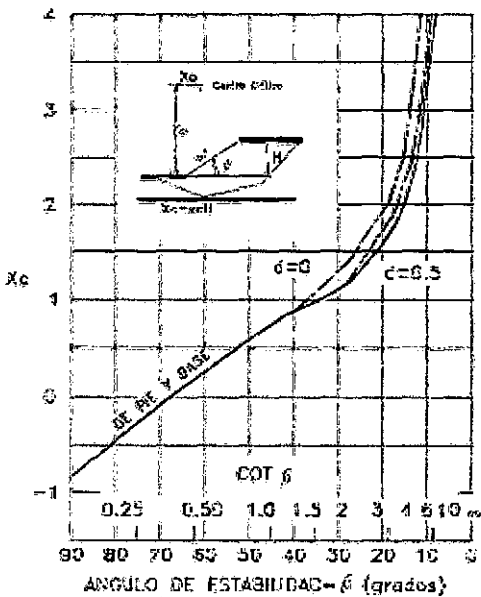
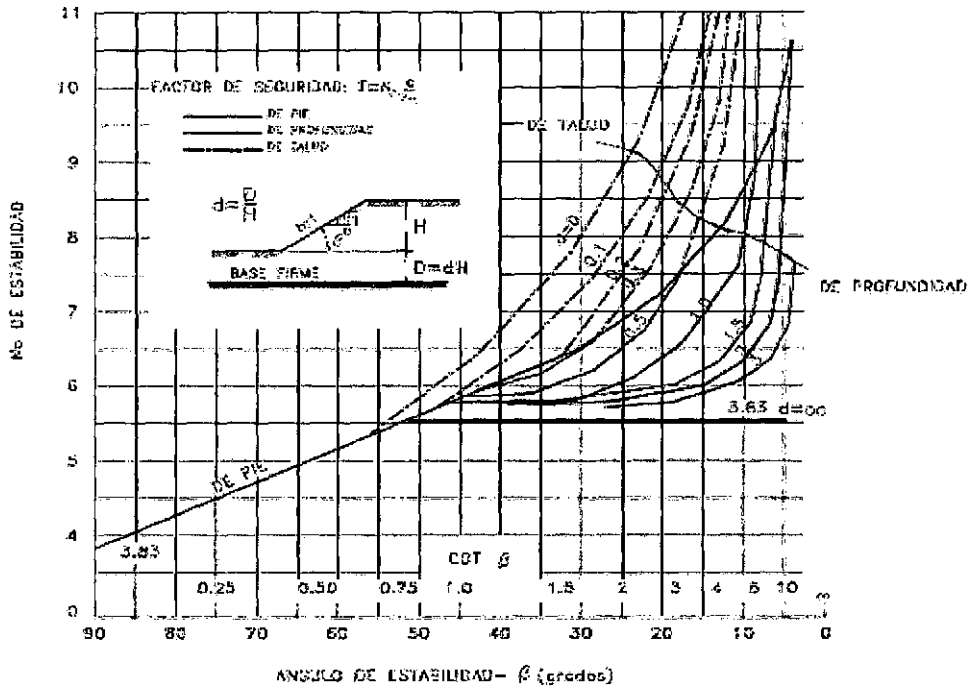
b) Método Janbu

A continuación se presenta un resumen de las tablas desarrolladas por Janbu (1968). Estas tienen en cuenta diferentes condiciones geotécnicas y factores de sobrecarga en la corona del talud, incluye sugerencia y grietas de tensión.

- **Para suelos $\phi = 0$**

Las tablas 2.7 pueden ser utilizadas para el análisis de estabilidad de taludes de suelos arcillosos sin fricción, de acuerdo a procedimiento desarrollado por Janbu (1968).

Tabla 2.7 Tablas de Estabilidad para Suelos Cohesivos ($\phi = 0$).



Fuente: Janbu (1968).

El Factor de Seguridad lo da la expresión:

$$F.S. = N_o \frac{C}{\gamma H}$$

Donde:

N_o = Número de estabilidad que se obtiene de la tabla.

C = Cohesión.

γ = Peso unitario del suelo.

H = Altura del talud.

- **Para suelos $\phi > 0$**

En la mayoría de los casos para suelos $\phi > 0$ el círculo crítico pasa por el pie del talud y la tabla de estabilidad que se muestra en la Tabla 2.8, se basa en esta suposición.

El factor de seguridad F es calculado por la expresión:

$$F = N_{cf} \ c / Pd$$

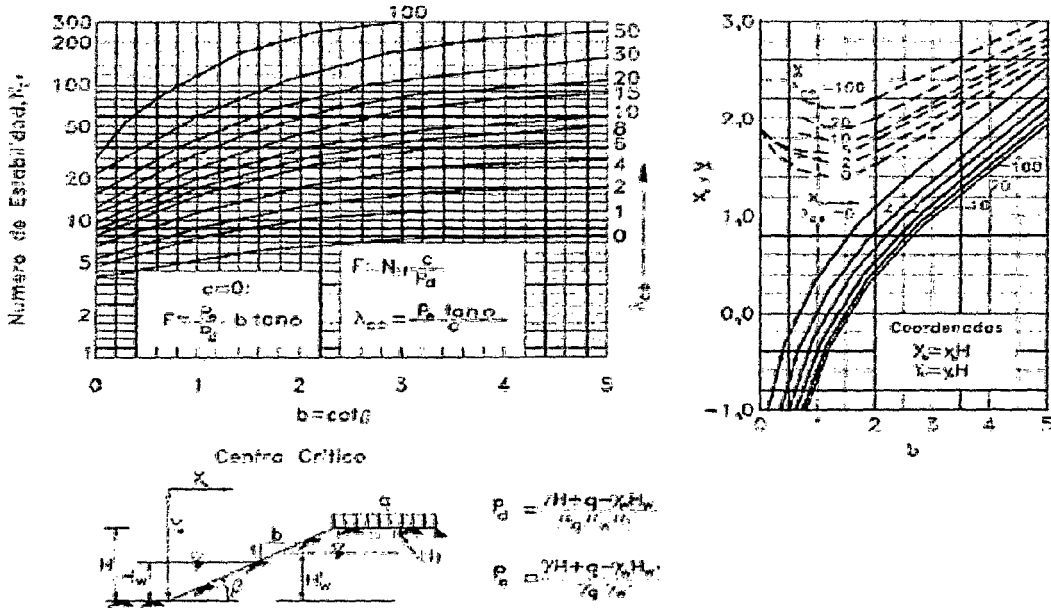
Donde:

N_{cf} y Pd son los obtenidos en la gráfica y

c = es la cohesión promedio

Al utilizar las tablas de Janbu se pueden emplear los factores de corrección por grietas de tensión, sobrecarga, sumergencia y flujo que se aprecian en las figuras N° 2.1 y 2.2.

Tabla 2.8: Tablas de Estabilidad para Suelos Cohesivos ($\phi > 0$).

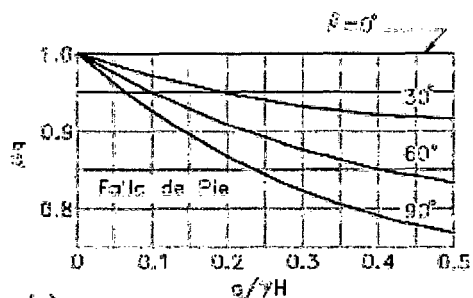


Fuente: Janbu (1968).

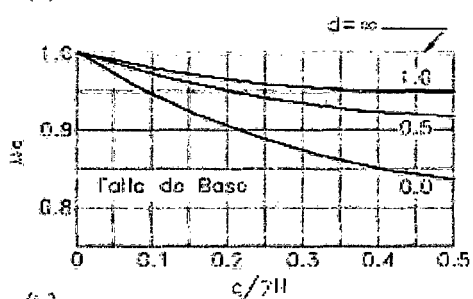
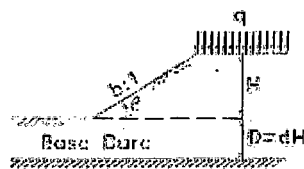
b) Método Ordinario o de Fellenius

Conocido también como método Sueco, de las Dovelas o U.S.B.R. Este asume superficies de falla circulares, divide el área de falla en tajadas verticales, obtiene las fuerzas actuantes y resultantes para cada tajada y con la sumatoria de estas fuerzas obtiene el Factor de Seguridad. Las fuerzas que actúan sobre una dovela son (Figura 2.3):

- El peso o fuerza de gravedad, la cual se puede descomponer en una tangente y una normal a la superficie de falla.

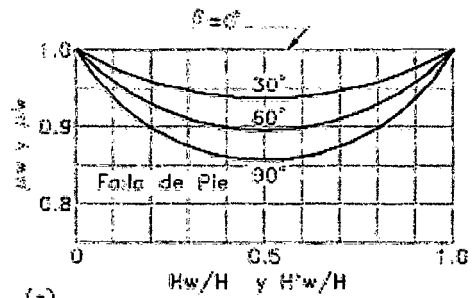


(a)

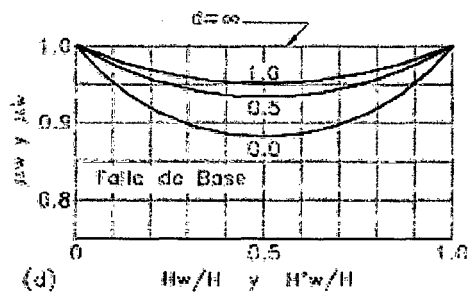
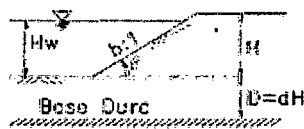


(b)

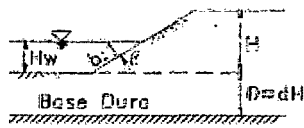
Correccion por Sumergencia (u/w) y Flujo ($u'w$)



(c)



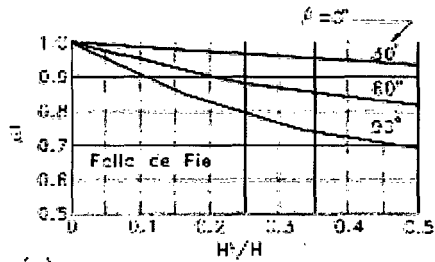
(d)



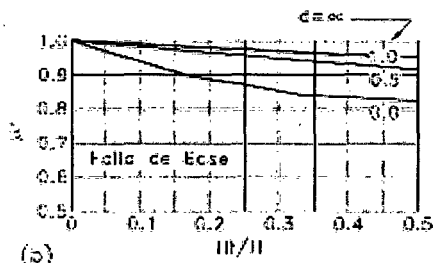
Fuente: Janbu 1968.

Figura 2.1. Factores de Corrección por Sobrecarga, Sumergencia y Flujo.

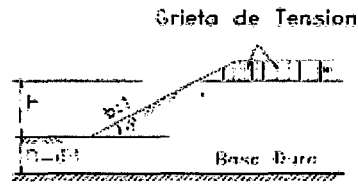
Corrección por Grietas de Tensión
sin Tensión de Poros



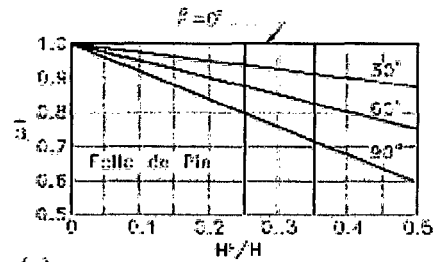
(a)



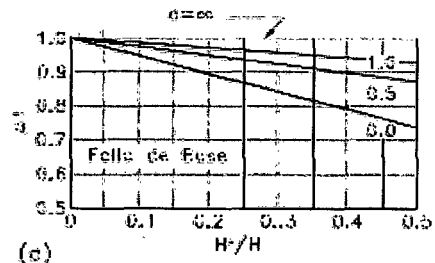
(b)



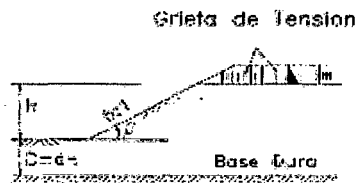
Corrección por Grietas de Tensión
con Presión de Poros



(c)



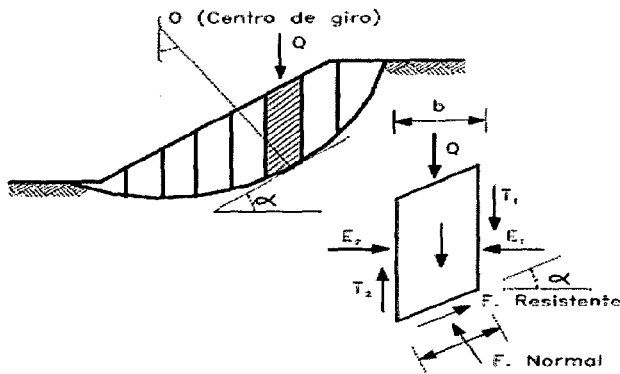
(d)



Fuente: Janbu 1968.

Figura 2.2. Factores de Corrección por Grietas de Tensión.

- Las fuerzas resistentes de cohesión y fricción que actúan en forma tangente a la superficie de falla.
- Las fuerzas de presión de tierras y cortante en las paredes entre dovelas, las cuales no son consideradas por Fellenius, pero sí son tenidas en cuenta en otros métodos de análisis más detallados.



Fuente: Janbu 1968.

Figura 2.3. Fuerzas que Actúan Sobre una Dovelas en los Métodos de Fellenius.

El método de Fellenius calcula el Factor de Seguridad con la siguiente expresión:

$$F.S. = \frac{\sum [C'b \sec\alpha + (W \cos\alpha - ub \sec\alpha) \tan\phi]}{\sum W \sen\alpha}$$

Donde:

α = Angulo del radio del círculo de falla con la vertical bajo el

centroide en cada tajada.

W = Peso total de cada tajada.

u = Presión de poros = $\gamma_w h_w$.

b = Ancho de la tajada.

C', ϕ = Parámetros de resistencia del suelo.

c) Método de Bishop

Bishop (1955) presentó un método utilizando Dovelas y teniendo en cuenta el efecto de las fuerzas entre las Dovelas.

La solución rigurosa de Bishop es muy compleja y por esta razón se utiliza una versión simplificada de su método, de acuerdo a la expresión:

$$F.S. = \frac{\sum [C'b + (W - ub) \tan \phi / ma]}{\sum W \operatorname{sen} \alpha}$$

Donde:

$$ma = \operatorname{Cos} \alpha \left(1 + \frac{\operatorname{Tan} \alpha \operatorname{Tan} \phi}{F.S.} \right)$$

b = Ancho de la Dovela.

W = Peso de cada dovela.

C', ϕ = Parámetros de resistencia del suelo.

U = Presión de poros en la base de cada dovela = $\gamma_w \times h_w$.

α = Ángulo del radio y la vertical en cada dovela.

2.3 Definición de Términos

Entre los parámetros a estudiar se pueden extraer los siguientes:

a) Curvatura

Se define como concavidad o convexidad ya sea tanto en sentido longitudinal como transversal y afecta el equilibrio de la masa en sí, así como la capacidad de infiltración y de erosión por su efecto en la velocidad del agua de escorrentía.

b) Erosionabilidad

La erosionabilidad es la facilidad con la cual el suelo puede ser desprendido y transportado por acción del agua. Este factor puede afectar la estabilidad de un talud, en cuanto produce cambios topográficos desestabilizantes o genera conductos internos de erosión.

c) Expansividad

Los suelos arcillosos al contacto con el agua expanden su

volumen produciéndose movimientos de extensión dentro de la masa del suelo. En suelos sensitivos se puede producir pérdida de resistencia al corte por acción del remoldeo generado por el proceso expansivo. La expansividad de un suelo se puede medir por medio de ensayos de presión de expansión o expansión libre o por su relación con los límites de plasticidad.

d) Meteorización

La descomposición física o química produce alteraciones en la roca o suelo, las cuales modifican substancialmente los parámetros de resistencia y permeabilidad, facilitando la ocurrencia de deslizamientos.

Parámetros Hidrológicos e Hidrogeológicos que se deben tener en cuenta en un estudio de deslizamientos:

e) Pendiente

En este caso se refiere a la inclinación del terreno. Para cada formación, en un estado determinado de meteorización existe un ángulo de pendiente a partir del cual un talud es inestable. Mientras algunos suelos residuales de origen ígneo permiten ángulos del talud superiores a 45° , en Lutitas

meteorizadas saturadas éste no debe exceder los 20° y hasta valores de la mitad del ángulo de fricción.

f) Permeabilidad

La permeabilidad mide la resistencia interna de los materiales al flujo del agua y puede definir el régimen de agua subterránea, concentración de corrientes, etc. Los valores del coeficiente de permeabilidad varían de 100 cm/s, en roca fracturada o suelos compuestos por arenas y gravas, hasta 10 cm/s, en arcillas impermeables o en pizarras y granitos sanos.

g) Resistencia al Corte

La resistencia al corte representa la modelación física del fenómeno de deslizamiento. Los parámetros de ángulo de fricción y cohesión determinan el factor de seguridad al deslizamiento de una determinada superficie dentro del terreno.

Los ángulos de fricción varían de cero en materiales muy blandos, a 50 grados en gravas angulosas o mantos de arenisca y las cohesiones de cero en materiales granulares limpios, a más de 10 kg/cm^2 en suelos muy bien cementados y valores superiores en las rocas masivas.

h) Sensitividad

La sensitividad se define como la relación de la resistencia pico al corte entre una muestra inalterada y otra remoldeada. En algunos suelos arcillosos esta relación puede ser hasta de 4, lo que equivale a que se pierde gran parte de la resistencia al remoldearse; y en la literatura se conoce de casos catastróficos, donde por acción del cambio de esfuerzos, el suelo se remoldea in situ, pierde su resistencia y se produce el deslizamiento.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1 Tipo y Diseño de la Investigación

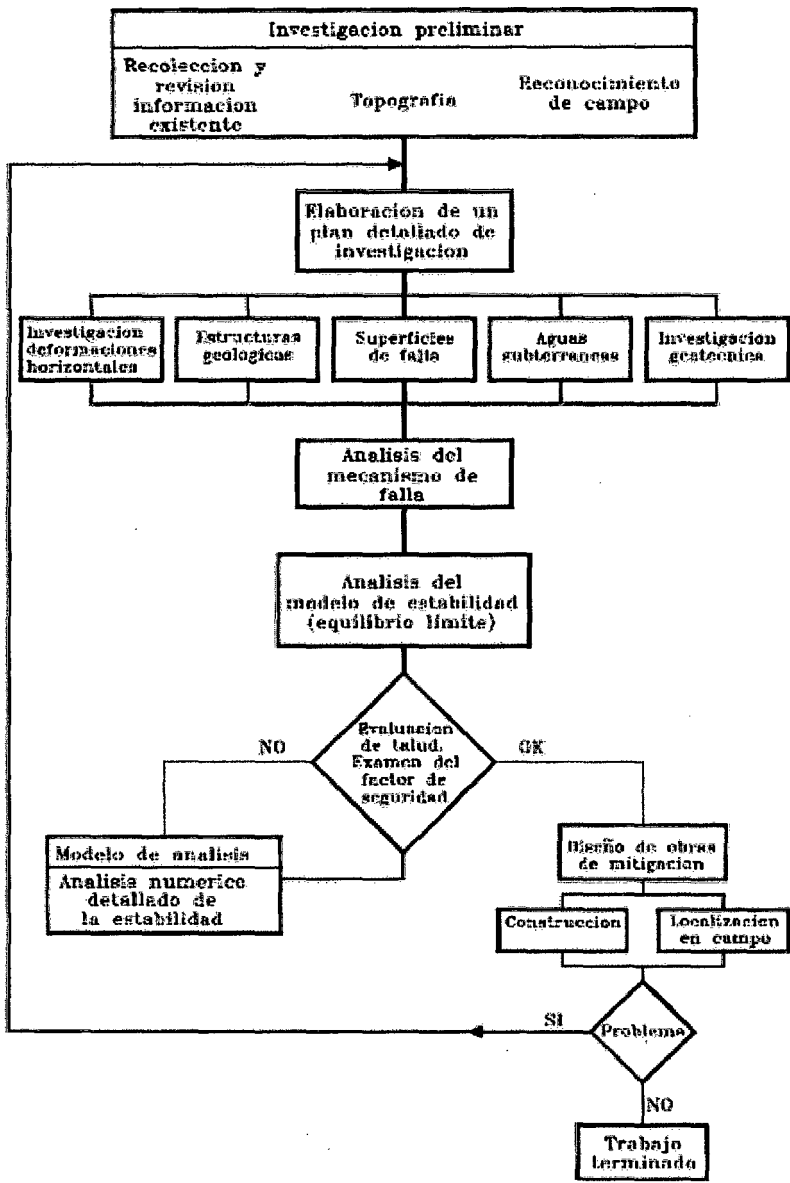
La investigación de esta tesis es de tipo descriptiva pues se descubre la situación actual de los botaderos y pads y se compara con los niveles máximos permisibles de las normas, la metodología se puede ver en la siguiente figura 3.1:

3.2 Población y Muestra

La población estará compuesta por:

- Botadero de desmonte Sur.
- Pads de Lixiviación.

El muestreo es sistemático en el campo realizando: Levantamientos topográficos, calicatas y mediciones para obtener datos necesarios que luego serán procesado en el laboratorio.



Fuente: Hoek E., 2000.

Figura 3.1 Diagrama del Flujo de Análisis de Estabilidad del Talud .

3.3 Operacionalización de Variables

Cuadro 3.1 Operacionalización de las Variables.

VARIABLES	INDICADORES	SUBINDICADORES	TÉCNICAS
Botaderos de desmonte y pads de lixiviación	Topografía	<ul style="list-style-type: none"> • Altura • Pendiente • Curvatura • Largo y ancho 	<ul style="list-style-type: none"> • Diferencia de nivel • Angulo de reposición • Concavidad longitudinal • Posición del botadero
	Hidrogeológico y Hidrológico	<ul style="list-style-type: none"> • Aguas Superficiales • Aguas subterráneas 	<ul style="list-style-type: none"> • Lluvias y clima regional • Nivel freático • Fluctuaciones • Presión de poros y capilares
	Parámetros Geotécnicos	<ul style="list-style-type: none"> • Resistencia al cortante • Expansividad • Erosionabilidad • Tectonismo 	<ul style="list-style-type: none"> • Angulo de reposo • Angulo de fricción, interna • Cohesión • Modelo de equilibrio • Limite de plasticidad • Perdida de estabilidad • Efecto de agua, viento • Sísmico, intensidad y magnitud
Evaluación del impacto ambiental de los botaderos y PADs de lixiviación	Control de estabilidad y Impacto Ambiental	<ul style="list-style-type: none"> • Prevención • Estabilización • Diseño 	<ul style="list-style-type: none"> • Control de aguas superficiales y Subterráneas • Diseño de estabilización, revegetación • Uso de software para diseño

Fuente: Elaboración Propia.

3.4 Técnicas e Instrumentos para Recolección de Datos

a) Técnicas

A) Análisis Geotécnico

Para la ejecución del presente estudio geotécnico se desarrollaron las siguientes actividades:

- Evaluación geológica.
- Exploración de campo (densidad de campo, trincheras y ensayos de penetración dinámica ligera -DPL).
- Ensayos de laboratorio.
- Capacidad admisible del macizo del terreno de fundación.
- Análisis del Peligro Sísmico.
- Evaluación geotécnica.

B) Ensayos de penetración dinámica ligera (DPL).

C) Ensayo Proctor Modificado de Suelos.

D) Valoración de Estabilidad del Talud en Suelos (ETS).

E) Matriz de selección de alternativas para caracterizar un botadero en su entorno topográfico.

Tabla N°3.1 Matriz de Selección de Alternativas

MATRIZ DE SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS		ALTERNATIVAS		
		1	2	3
CARACTERÍSTICAS, ATRIBUTOS Y BONDADES		Banquetas	Gaviones	Suelo Reforzado
1	Costos	5	●	○
2	Sistema constructivo	4	○	○
3	Hurto de materiales colocados	3	△	○
4	Control y monitoreo	2	△	○
5	Tiempo de ejecución	2	○	○
6	Insumos	3	○	○
7	Impacto Visual	4	○	△
8	Aporte Social	2	△	△
9	Adherencia con la cobertura	4	○	○
10	Garantía de perpetuidad	4	○	○
Total			115	87
				79

Fuente: Cesel Ingenieros, 2008.

F) Ensayos de Laboratorios de Mecánica de Suelos y Roca

Los parámetros correspondientes a las propiedades de los materiales que componen el talud, requeridos para el análisis de estabilidad, son los siguientes:

- Peso unitario húmedo (γ_h).
- Peso unitario saturado (γ_{sac}).
- Cohesión.
- Ángulo de resistencia al corte.

Los valores de estos parámetros se seleccionan teniendo en consideración los resultados de los diversos

ensayos de campo y de laboratorio, la evaluación de las condiciones geológicas y geotécnicas de la cimentación.

b) Instrumentos

- Instrumentos Topográficos (GPS, Estación Total etc).
- Mapeo Geotécnico.
- Mapeo Geofísico.
- Laboratorio de Mecánica de suelos y roca (Triaxial, Carga puntual, Corte etc).
- Balanza, Probetas (ensayo de peso específico).
- Computadora, CPU, Monitor, etc.
- Software (Slide 5.0).
- Muestreador de agua.

3.5 Procesamiento y Análisis de Datos

**Software empleado para el análisis (Slide 5.0)
Rocscience Inc. (2005)**

El programa realiza los análisis de estabilidad según equilibrio límite bidimensional, calculando el factor de seguridad de un talud con varios estratos empleando el método simplificado de Bishop o el método modificado de Janbu y otros.

El programa permite analizar tanto una superficie única de falla como una gran cantidad de superficie de falla circulares y no circulares. Este programa ofrece, entre otras, las siguientes opciones:

- Sistemas de suelos heterogéneos.
- Suelos con características de resistencia anisotrópicas.
- Envolvente no lineal de esfuerzos, según Mohr Coulomb.
- Presiones de poros calculados de diversas maneras: A partir del coeficiente de presión de poros de una superficie freática, de una superficie piezométrica o de una malla de presiones de poros definida previamente.
- Cálculo de los factores de seguridad (corregidos) según el método de Janbu, Bishop, Mongester etc.
- Verificación de errores de entrada de datos.
- Visualización preliminar de la geometría del talud analizado.
- Archivos independientes de datos de entrada, salida de resultados y gráficos, los cuales pueden ser inicialmente grabados y posteriormente recuperados e impresos.
- Análisis de taludes tanto con pendientes.
- Sistema de unidades métricas o inglesas.
- Menú de ayuda para todas las opciones del programa.

3.5.1 Estudio del suelo para la Cimentación de los Botaderos y PADS

a) Suelo Base

El estudio de los suelos de la zona ha sido realizado tomando como base la información existente, que tiene carácter de reconocimiento, motivo por el que se expresa en términos de asociaciones de capacidad de Uso Mayor. El área que corresponde a la mina, abarca 2 280 hectáreas, con cinco (5) asociaciones de clases de Capacidad de Uso Mayor, se indica en el Cuadro 3.1 a:

Cuadro 3.1a Asociación de Clases de Capacidad de uso Mayor de los Suelos.

ASOCIACIÓN	SUPERFICIE	
	Hectáreas	%
Suelo apto para pasto: Pastizales	149,9	6,58
Suelo apto para pasto: Bofedales	139,9	6,14
Suelo de protección: Laderas inclinadas del cerro	1229,7	53,93
Suelos de protección: laderas empinadas de cerros	395,0	17,32
Suelos de protección: Tierras Misceláneas	365,5	16,03
Total	2 280	100

Fuente: Cesel Ingenieros, 2006.

b) Excavación de trincheras para el reconocimiento del suelo

Se realizó la excavación de trincheras con la finalidad de identificar y reconocer la estructura del suelo y la masa rocosa de cimentación, extraer muestras disturbadas y registrarlas de acuerdo a la Norma ASTM D-2488, para realizar el ensayo de clasificación estándar de suelo, carga puntual y propiedades físicas de las rocas Cuadro 3.2). Cada una de las muestras fue etiquetada y embolsada convenientemente para el análisis respectivo en el laboratorio geotécnico.

Cuadro 3.2: Resumen de Excavación de Trincheras en Botaderos y en Canteras.

Nº	Sondaje	Nº de Muestras	Profundidad Alcanzada (m)	Ensayos Realizados
1	C - 1 (TR)	1	0,50	Clasificación
2	C - 2 (TR)	1	0,50	Clasificación
3	M - 1	1	0,50	Clasificación, Proctor

Fuente: Cesel Ingenieros, 2006.

c) Ensayos de penetración dinámica ligera (DPL) en el suelo.

Adicionalmente a las calicatas, se realizó ensayos de penetración dinámica ligera (DPL) con la finalidad de poder determinar las condiciones de resistencia del terreno.

El ensayo DPL (DIN 4094), consiste en el hincado continuo en tramos de 10 cm de una punta cónica de 60° utilizando la energía de un martillo de 10 kg de peso, que cae libremente desde una altura de 50 cm . Este ensayo nos permite obtener un registro continuo de resistencia del terreno a la penetración, en función del tipo de suelo, para cada 30 cm de hincado.

El cuadro 3.3 resume los ensayos de penetración dinámica ligera (DPL) realizadas.

Cuadro 3.3 Resumen del Ensayo DPL en el Desarrollo del Estudio

Calicatas	Profundidad (m)	Ubicación
DPL-2	4,00	Botadero de Desmonte Sur
DPL-3	7,60	Botadero de Desmonte Norte

Fuente: Cesel Ingenieros, 2006.

Ensayos de Laboratorio de las muestras de suelo

- **Ensayos estándar**

Con las muestras alteradas obtenidas en las trincheras excavadas de las 03 Botaderos de Desmonte, 01 Pad de Lixiviación y de la Cantera evaluada se realizó ensayos estándar de clasificación de suelos y de propiedades físicas, los cuales comprendieron análisis granulométrico por tamizado, límites de Atterberg.

Los ensayos fueron realizados siguiendo las normas de la American Society For Testing and Materials (ASTM). Las normas para estos ensayos son las siguientes:

Análisis granulométrico por tamizado	ASTM D-422.
Límites de Atterberg	ASTM D-4318.
Contenido de humedad	ASTM D-2216.
Clasificación SUCS.	ASTM D-2487.

En los cuadros 3.4 y 3.5 se presenta los resúmenes de los ensayos estándar de los Botaderos de Desmonte.

**Cuadro 3.4 Resumen de los Ensayos Estándar de Laboratorio
Botaderos de Desmonte.**

Calicata / Trinchera	Muestra	Profund. (m)	Granulometría (%)			Límites (%)		C. H. (%)	Clasificación SUCS
			Grava	Arena	Finos	L.L.	L.P.		
C-2	M-1	0,00-0,50	49,1	27,9	22,9	33	17	11,0	GC

Fuente: Cesel Ingenieros, 2006.

En el cuadro 3.5 se presenta el resumen de las calicatas en los botaderos de desmontes y pads respectivamente, los cuales fueron realizados en estudios anteriormente elaboradas.

Cuadro 3.5 Resumen de Excavación de Calicatas.

Calicata	Coordenadas		Cota	Profund (m)	Clasif SUCS	Límites de Atterberg			Humed (%)	Densidad Seca
						LL	LP	IP		
CB-1	8159301,81	388408,27	4763,33	1,70	SC	36,08	23,48	12,60		
CB-2	8159278,25	388467,78	4761,76	1,50	SM	34,59	24,53	10,06		
CB-3	8159291,75	388562,15	4767,68	2,30	SM	33,11	24,42	8,69	13,91	1,987
CB-4	8159272,65	388708,04	4768,79	2,20	SM	30,75	24,50	6,25		
CB-5	8159318,46	388890,46	4767,22	2,40	ML	25,75	24,66	11,06	18,32	1,82

Fuente: Cesel Ingenieros, 2006.

Los siguientes resultados muestran un resumen de los resultados (cuadro 3.6) de los ensayos de laboratorio para

obtener propiedades índices y de resistencia de los materiales del Botadero Norte.

Cuadro 3.6: Resumen de Resultados de Ensayo de Campo de la Propiedad Índice.

Investigación Geotécnica	Muestra	Prof (m)	Clasif (SUCS)	Límites de Atterberg			Contenido de humedad (%)	Peso específico de sólidos (t/m ³)	Densidad natural (t/m ³)
				LL	LP	IP			
CA-1	M-1	1,00-1,20	SM	36,31	29,89	6,42	27,22	2,55	1,96
CA-2	M-1	0,00-1,20	SM	NP	NP	NP	10,00		1,20
CA-3	M-1	1,70-3,20	GC	34,00	19,70	14,30	12,00	2,40	1,70
CA-4	M-1	0,00-3,20	SM	29,6	NP	NP	7,00	2,37	1,50
CA-5	M-1	1,10-1,30	CL	38,94	28,46	10,48	27,16	2,62	1,96
CA-6	M-1	0,30-1,90	MH	70,60	40,10	30,50	36,80	2,21	1,46
CA-7	M-1	0,30-3,00	GC	37,00	21,40	15,60	11,00	2,36	1,80
CA-8	M-1	0,00-1,00	SM-SC				12,00		2,1
T-1	M-1	0,00-2,00	GP-GC	31,10	22,0	9,10	18,32	2,48	1,82
T-2	M-1	0,00-1,00	SM	32,0	20,0	12,0	10,00	2,45	1,70
T-3	M-1	0,00-1,00	SM	33,0	19,0	14,0	23,00		1,75
T-4	M-1	0,00-1,00	SM	54,10	40,40	13,70	16,00	2,225	1,50
T-5	M-1	0,00-1,00	SM	32,10	23,70	8,40	11,00		1,8
T-6	M-1	0,00-1,00	GC	29,40	21,90	7,50	9,00	2,54	1,8
S-6	M-1	2,00-2,70	ML	35,10	29,10	6,00		2,57	1,91
S-6	M-2	12,3-12,75	SC	46,00	24,30	21,70		2,49	1,67

SUCS = Sistema unificado de clasificación de suelos ASTM2487.

Fuente: , Geoservice Ingeniería S.R.L., 2006.

- Ensayo Proctor Modificado de Suelos

Con el propósito de obtener las características de densidad y humedad óptima del material que conforma el suelo de base de los botaderos, se realizaron los ensayos de Proctor Modificado a las muestras extraída de las Canteras:

Los ensayos fueron efectuados siguiendo las normas de la

American Society For Testing and Materials (ASTM). La norma para este ensayo es la siguiente:

Proctor Modificado

ASTM D-1557.

En el Cuadro 3.7, se presenta el Resumen del resultado del laboratorio:

Cuadro 3.7 Resumen de los Ensayos Proctor de suelo (ASTM D - 1557).

Cantera	Densidad Máxima (g/cm³)	Humedad Óptima (%)
Santa Rosa	1,66	18,8

Fuente: Cesel, 2006.

d) Perfil Estratigráfico del suelo

Considerando la evaluación geológica, geotécnica y ensayos de laboratorio, se puede indicar el tipo de suelo encontrado.

- **Suelo del Botadero de Desmonte Sur**

El reconocimiento de campo y los resultados de ensayos de laboratorio de la información coleccionada, han permitido

evaluar las condiciones geotécnicas de la cimentación, así en el lado izquierdo del camino de acceso se observa la presencia de toba dacítica que aflora en la superficie, mientras que en el lado derecho de dicho camino se encuentra la toba dacítica con un recubrimiento de arena limosa y arena arcillosa. Esta cobertura de acuerdo a los trabajos de exploración geotécnicas, varían de 1,0 a 3,0 m .

El material que conforma el desmonte está formado por materiales argílicos, arcillas, óxidos y otras rocas mineralizadas de tamaños muy variables.

- **Suelo del Botadero de Desmonte Sur**

La sección más representativa y crítica ha sido confeccionada con los resultados de las investigaciones realizadas en los sondeos, calicatas y trincheras.

El perfil estratigráfico de los suelos y rocas que muestra esta zona está dada en la parte superior y medio de la ladera, entre los niveles 4920 y 4850 msnm esta dado por un terraplén de grava limo arcillosa con piedras y bloques que constituyen la cancha de desmonte de mina, se extiende entre los niveles

4920 a 4860 msnm.

La capa superficial de arena limosa con algo de grava, arena fina a media, mal graduada, medianamente densa, Los finos de baja plasticidad, ligeramente compactos; de coloración marrón amarillento. Tiene una potencia promedio de 6,00 m . Este estrato se encuentra en los niveles 4920 a 4850 nsnm.

Continúa una grava limosa distribuida en la ladera entre los niveles 4910 a 4820 msnm. Conteniendo arena fina mal gradada con finos de baja plasticidad, medianamente compacta de color marrón amarillenta, con potencias aproximada de 10,0 m en la parte superior y 5,0 m en la ladera.

El estrato subyacente es un basamento de roca volcánica en los niveles superior, medio e inferior de la ladera.

3.5.2 Clima y Meteorología

El clima y la ecología en el ámbito de estudio están estrechamente influenciados principalmente por la orografía y la altitud, donde la precipitaciones son marcadamente estacionales, durante los meses de verano (diciembre y marzo), ocurren alrededor del 85 % de la precipitación total anual.

a. Información Meteorológica

En el ámbito de estudio no se dispone de estaciones meteorológicas ni pluviométricas registradas en el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), ni por otras empresas privadas y estatales. Fuera del área en estudio, se disponen de dos estaciones cercanas, Mazo Cruz operada por el SENAMHI, y Pasto Grande operada por la SPCC, pero todas ellas a altitudes inferiores al lugar donde está circunscrita al área del Proyecto Minero Santa Rosa (4 680 a 5 200 msnm).

En el Cuadro 3.8 se presenta las temperaturas medias mensuales de la Estación Meteorológica de Mazo Cruz.

Cuadro 3.8 Temperaturas Medias Mensuales en la Estación Mazo Cruz.

Temperatura	Meses											
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Máxima	14,8	14,4	14,8	15,3	15,4	14,7	15	15,7	16,1	16,8	17	17,4
Media	7,3	7,2	7,4	5,0	1,6	0,4	0,7	2,3	3,3	4,1	5,4	7,4
Mínima	-0,2	-0,1	-0,1	-5,4	-12,3	-13,8	-13,6	-11,1	-9,50	-8,6	-6,3	-2,6

Fuente: Senamhi, 2009.

b. Precipitación Pluvial

Las precipitaciones pluviales que ocurren en el área son principalmente de origen orográfico, con masa de humedad

provenientes tanto de la vertiente del pacífico como de la planicie del altiplano y lago Titicaca. La presencia de una cadena montañosa de nevados, facilita la condensación de masas de nubes. Si bien, en la cuenca delimitada para el presente estudio no existen estaciones pluviométricas, en el entorno se tiene 7 estaciones: Tacalaya, Suches, Pasto Grande, Vilacota, Puno, Moriscota y Mazo Cruz.

En el Cuadro 3.9, se presenta el consolidado de los datos de precipitación media mensual y anual de las estaciones mencionadas.

Cuadro 3.9 Precipitaciones en la región del área de Estudio (mm).

Meses	Estaciones						
	Tacalaya (4500)	Suches (4452)	Pasto Grande (4550)	Vilacota (4390)	Puno (4812)	Moriscota (4548)	Mazo Cruz (4005)
Enero	124,1	99,9	132,9	150,8	131,5	139,5	151,7
Febrero	125,7	92,1	136,5	129,5	127,2	132,8	108,6
Marzo	89,5	72,5	88,0	106,5	117,2	89,7	94,0
Abril	18,8	18,5	25,3	11,1	38,7	17,6	24,5
Mayo	3,8	3,8	7,61	2,9	11,8	7,8	4,1
Junio	1,1	1,3	3,9	2,5	6,5	1,7	3,7
Julio	0,6	0,4	1,2	0,1	4,4	0,8	0
Agosto	4,1	4,2	7,01	7,8	8,5	9,0	9,4
Setiembre	8,7	5,4	12,6	2,7	29,4	7,6	10,8
Octubre	7,9	9,1	10,8	6,6	35,9	10,9	11,7
Noviembre	20,2	21,2	30,0	7,9	39,6	16,7	31,4
Diciembre	62,5	55,5	77,6	52,4	99,8	61,5	60,8
Total Anual	466,8	384,1	533,6	480,4	650,3	495,6	510,7
Máximo Anual	699,3	532,8	931,0	99,0	983,0	675,5	731
Mínimo Anual	225,3	226,6	322,1	167,7	285,6	355,7	306,8

Fuente: Senamhi, 2009.

La información analizada corresponde a los estudios hidrológicos realizado por la ONERN con fines a afianzar la laguna Aricota, y provee datos de 10 años, con fines de caracterización se considera como válidos para el diagnóstico ambiental.

De los valores mostrados en el Cuadro 3.9, se puede concluir: en el ámbito anual la precipitación regional varía entre 384,1 mm en Suches hasta 650,3 mm en Puno.

En el ámbito mensual, la ocurrencia de una estación de altas precipitaciones, entre los meses de diciembre a marzo, una estación de escasa precipitaciones entre los meses de mayo a octubre; y finalmente dos estaciones de transición que se presentan en abril y noviembre.

3.5.3 Calidad del Aire

De acuerdo con los muestreos realizados durante el estudio de impacto ambiental para la etapa de explotación de la unidad minera Santa Rosa (Cuadro 3.10), los valores obtenidos comparados con los límites permisibles y valores guías; tomándose como referencia a los niveles máximos permisibles de emisiones de gases y partículas en suspensión para las actividades minero metalúrgicas (Cuadro 3.11), nos permiten concluir que en el área de estudio el material

particulado es el contaminante más significativo, generado por los vientos provenientes del suroeste. Se ha encontrado este parámetro por debajo del nivel máximo permisible (350 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) establecido por la dirección General de Asuntos Ambientales del Ministerio de Energía y Minas, encontrando un valor de 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Cuadro 3.10 Resultados del Muestreo de Aire.

PARÁMETRO	UNIDADES	RESULTADO
Partículas totales en suspensión	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	10,00
Óxido nitroso	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	0,015
Hidrógeno sulfurado	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	0,042
Anídrido sulfuroso	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	0,079
Monóxido de carbono	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	0,013

Fuente: Resultados del análisis de muestras atmosféricas realizado en el laboratorio EQUAS S.A. 2008.

Cuadro 3.11 Niveles Máximos Permisibles de Calidad del Aire.

PARÁMETRO	CONCENTRACIÓN MEDIA ARITMÉTICA DIARIA $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (ppm)	CONCENTRACIÓN MEDIA ARITMÉTICA ANUAL $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (ppm)	CONCENTRACIÓN MEDIA GEOMÉTRICA ANUAL $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (ppm)
Anhídrido Sulfurosos (SO_2)	572 (0,2) *	172 (0,06)	150
Partículas en suspensión	350 *		
Plomo			
Arsénico	6		

* No debe ser excedido más de una vez al año.

* Concentración mensual de plomo: 1,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

* Concentración mensual de Arsénico en 30 minutos: 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (no debe ser excedido más de una vez al año).

Fuente: Niveles máximos permisibles de emisiones de gases y partículas para las actividades minero metalúrgicas; según Resolución Ministerial N°315-96-EM/VMM del 19/07/96.

Los resultados de los monitoreos trimestrales en la unidad minera Santa Rosa (Cuadro 3.12) partículas en suspensión, así como, el contenido de material particulado y concentración de gases (NOx, SO2) se ha observado lo siguiente:

Cuadro 3.12 Monitoreos de Calidad del Aire en la Unidad Santa Rosa.

Estación de Monitoreo E-1 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)										
	Jun-08	Set-08	Dic-08	Mar-09	Jun-09	Set-09	Dic-09	Mar-10	Jun-10	Set-10
PM	3,000	2,000	29,000	17,000	28,000	22,000	8	13,000	10,000	4,000
NO2	1,800	2,500	3,110	0,980	2,800	142,000	1,9	8,100	5,000	4,000
SO2	6,000	17,000	5,150	36,000	42,000	1,000	10,8	18,000	14,4000	38,700
As	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,008	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Pb	<0,001	<0,001	<0,001	0,012	0,040	0,022	0,015	0,030	0,080	<0,01
Zn	<0,001	0,011	0,170	0,007	0,014	0,095	0,210	0,017	0,015	<0,003
Estación de Monitoreo E-1										
PM10	12,000	46,000	12,000	8,000	6,000	12,000	4,00	8,000	6,000	4,000
NO2	1,600	2,800	2,100	35,000	12,000	161,000	2,4	4,500	3,400	4,000
SO2	5,000	10,000	4,500	12,000	17,000	3,000	6,3	25,000	15,650	42,000
As	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,005	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Pb	<0,001	0,006	0,012	0,015	<0,01	0,123	0,011	0,030	0,060	<0,01
Zn	0,02	0,023	0,190	0,004	<0,004	0,074	0,282	0,016	0,020	<,003
Estación de Monitoreo E-2										
PM10	10,000	30,000	10,000	9,000	54,000	22,000	3	16,000	4,000	8,000
NO2	2,500	3,200	2,950	27,000	28,000	180,000	1,5	5,3000	3,200	2,000
SO2	9,000	21,00	6,800	17,000	22,000	3,000	6,8	12,000	18,800	33,000
As	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,004	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Pb	<0,001	<0,001	<0,001	0,030	0,020	0,024	0,012	0,100	0,070	<0,01
Zn	0,027	0,025	0,180	0,007	0,008	0,113	0,117	0,019	0,018	0,019

Fuente: Mina Santa Rosa, 2010.

- Las concentraciones de partículas en suspensión fluctúan entre $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $54 \mu\text{g}/\text{m}^3$, valores muy por debajo del nivel máximo permisible ($350 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

- La concentración de As está por debajo de $0,01 \mu\text{g}/\text{m}^3$, valores por debajo del nivel máximo permisible ($6 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Las concentraciones de Pb fluctúan entre $0,001 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $0,123 \mu\text{g}/\text{m}^3$, valor por debajo del nivel máximo permisible. En cuanto a la concentración de Zn fluctúa entre $0,003 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $0,282 \mu\text{g}/\text{m}^3$.
- La concentración de anhídrido sulfuroso muestran que los valores fluctúan entre $0,239 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $42 \mu\text{g}/\text{m}^3$, valores por debajo del nivel máximo permisible ($572 \mu\text{g}/\text{m}^3$).
- La concentración de óxido nitroso muestran que los valores fluctúan entre $1,50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Las fuentes de ruidos en las quebradas Acosiri y Cotañani en el área de la Unidad de Producción Santa Rosa, son debido a la acción de los vientos predominantes que tiene una dirección suroeste, además del ruido que genera el paso de las camionetas del proyecto y también por las labores propiamente de la exploración minera de los trabajadores. Las fuentes identificadas como principales generadoras de ruidos en el área son:

- Los vientos predominantes provenientes del suroeste.
- Vehículos que circulan por las carreteras de acceso a la quebrada

Acosiri.

- las motocicletas de los pobladores que se desplazan por áreas de pastoreo.

El área de la unidad Santa Rosa más cívica en cuanto a la generación de ruido, esta constituida por la zona fuerza donde se operan los grupos electrógenos y la planta Merrill Crow, donde los niveles de ruido ambiental han llegado a 89,5 dBA; sin embargo, en áreas fuera del ambiente de trabajo (límite de la pila de lixiviación), el ruido se reduce a 71 dBA. Las mediciones de ruido ambiental realizado en las diferentes áreas que comprende la unidad, cuyos registros se presentan en el cuadro 3.13.

Cuadro 3.13 Mediciones de Ruido Ambiental.

Área	(UTM)		Lectura del Sonómetro										Nivel de ruido Máximo	Nivel de ruido Mínimo
	Este	Norte	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
Planta Filtro Clarificador	390 286	8 158 375	75,00	75,20	75,80	75,80	75,60	75,80	74,80	79,20	74,80	75,40	79,20	74,80
Planta Filtro Prensa	390 328	8 159 870	74,00	79,00	78,00	77,50	77,20	77,50	78,30	78,00	78,50	77,90	79,00	74,00
Casa Fuerza	390 469	8 159 725	84,00	83,00	84,70	83,80	84,50	83,80	89,50	85,00	84,80	85,00	89,50	83,00
Laboratorio Planta	390 165	8 159 260	57,00	60,00	58,70	60,40	58,50	58,60	64,00	68,20	61,20	59,30	68,20	57,00
Taller Mecánico	390 032	8 159 100	69,90	71,60	71,20	65,00	60,50	66,00	62,00	63,00	66,00	70,30	71,60	60,50

Según D.S. 085-2003-PCM.

Zona Industrial (80 dBA); Zona Comercial (70 dBA); Zona Residencial (60 dBA); Zona de Protección Especial (50 dBA), para horario diurno.

Fuente: Cesel Ingenieros, 2008.

De acuerdo con los resultados de los monitoreos, se ha

establecido que debido a la intervención de ciertos elementos asociados a las actividades mineras que pueden alterar la composición normal de la atmósfera, y por ello la calidad del aire en el área de influencia de las operaciones de la unidad Santa Rosa, entre cuyas causas podemos mencionar las emisiones de polvo, gases de voladura, gases de combustión, ruido. Los impactos que podrían ser generados especialmente en los bofedales de la Quebrada Cotañani (debido a la dirección preponderante de los vientos) son poco significativos. Se puede concluir que la calidad del aire en el área de estudio no presenta deterioro.

3.5.4 Cursos de Agua Superficial

El conocimiento de la cantidad y calidad de este recurso, constituye un aporte importante en la descripción de la línea base, ya que permitirá tomar acciones para un adecuado aprovechamiento preservando la calidad del mismo.

La ubicación del área de estudio, en las nacientes del río Cacachara - Patara, sobre los 4680 m.s.n.m., le da una connotación especial, ya que, si bien los usos actuales en dichos espacios no son muy significativos, éstos, a través del ecosistema de "bofedales", regulan y almacenan el agua de escorrentía o

precipitada en forma natural, para luego descargar lentamente aguas abajo, cuyo destino inicial será el reservorio Pasto Grande y luego la ciudad de Moquegua (uso para consumo y agrícola).

a. Descargas de las Quebradas y Ríos

Existen 3 quebradas pequeñas: Cacachara, Cotañani y Acosiri (Mauruma 2003). Estas quebradas tienen sus nacientes a altitudes que sobre pasan los 5000 msnm.

De ese modo, las zonas de vida se convierten en zonas de escurrimiento superficial. En el Cuadro 3.14 se presenta en forma resumida los valores de la precipitación, coeficiente de escurrimiento superficial y el rendimiento hídrico (indica el aporte de agua hacia el escurrimiento superficial en unidades de litros/segundo por kilómetro cuadrado de superficie).

Cuadro N° 3.14 Zonificación del Escurrimiento Superficial.

Zona de Escurrimiento Superficial	Precipitación Media Anual (mm)	Coficiente de Escurrimiento	Rendimiento Hídrico (l/s/km ²)
Tundra muy húmeda – Andino Sub Tropical (tmh – AS)	450 - 550	0,30	3,51
Nival Sub Tropical (N-S)	550 – 750	0,37	8,78

Fuente: ONERN, 2009.

Para el cálculo de las descargas medias mensuales, se ha efectuado una transposición de las características de la estación Pasto Grande (en el río Vizcachas) antes del represamiento de sus aguas. Los valores de las descargas generadas se presentan en el Cuadro 3.15

Cuadro N° 3.15 Generación de Descargas Medias Mensuales en los Puntos de Interés (l/s).

Punto de Interés	Meses												Anual
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
Oda. Cacahara 1	74	104,8	92,6	51,3	24,8	37,6	16,0	14,2	13,2	9,7	13,3	28,1	37,9
Oda. Acosiri	164,1	252,4	205,2	113,7	55,5	39,1	35,5	31,5	29,1	21,5	29,5	62,4	84
Oda Acosiri 3	61,8	87,4	77,2	42,8	20,7	14,7	13,3	11,9	11,0	8,1	11,1	23,5	31,6
Río Cacachara 4	314,6	445,4	393,4	217,9	105,5	74,9	68,0	60,4	55,9	41,2	56,5	119,2	161,1

Fuente: ONERN (Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales) 2009.

b. Calidad del Agua

La calidad del agua, es uno de los parámetros más importantes para el diagnóstico de los recursos hídricos, toda vez que su uso puede limitarse, si las concentraciones de los elementos que la componen se encuentran por encima de los límites permisibles para los diferentes

USOS.

Se considera seis puntos de muestreo que se describe en el cuadro 3.16

Cuadro 3.16 Estaciones de Monitoreo de Calidad del Agua.

EM1:	Quebrada Acosiri-1	En la parte alta de la quebrada Acosiri
EM2:	Quebrada Acosiri-2	En la quebrada donde se encuentra el PAD de lixiviación, aguas arriba de la confluencia con la quebrada Acosiri.
EM3:	Quebrada Acosiri-3	En la parte media de la quebrada Acosiri
EM4:	Quebrada Acosiri-4	Aguas arriba de la confluencia con la quebrada Acosiri
EM5:	Quebrada Cotañani-1	Aguas arriba de la confluencia con la quebrada Cotañani
EM6:	Ri�o Cacachara	Aguas abajo de la confluencia de las quebradas Cacachara, Cotañani, Acosiri, Jacosive.
EM7:	Quebrada Cotañani-2	En la parte alta de la quebrada Cotañani
EM8:	Quebrada Cacachara-2	Aguas arriba de la confluencia con la quebrada Acosiri
EM9:	Quebrada Cacachara-1	Aguas arriba del campamento base Cacachara.

Fuente: Minera Santa Rosa, 2009.

La calidad de las aguas de la quebrada Cotañani, segun los niveles m aximos permisibles de la ley general de aguas vigente, presenta niveles superiores para aguas de clases I, II y III de concentraciones de nitratos, hierro y manganeso.

La calidad de las aguas de la quebrada Acosiri, segun los niveles m aximos permisibles de la ley general de aguas vigente, presenta

acidez menor al rango de 5 a 9 unidades para todos los usos; también tienen niveles superiores para aguas de clases I, II, III y VI de concentraciones de nitratos, cadmio, hierro, manganeso y plomo.

La calidad de las aguas de la quebrada Cacachara, según los niveles máximos permisibles de la ley general de aguas vigente, presenta acidez menor al rango de 5 a 9 unidades para todos los usos; también tienen niveles superiores para aguas de clases I, II, III y VI de concentraciones de nitratos, cadmio, hierro, manganeso y plomo. Asimismo, tiene valores de coliformes totales y fecales superiores para aguas de clase I.

Durante la etapa de explotación se ha realizado monitoreos trimestrales de calidad del agua superficial en la unidad minera Santa Rosa.

En las estaciones de monitoreo la temperatura del agua superficial varía entre 0,5 °C y 14,7 °C, El rango de temperatura es apropiado para aguas superficiales para altitudes entre 4600 y 5000 msnm.

En cuanto a los registros históricos de pH de las aguas en las estaciones EM1, EM2, EM3 varía entre 3 y 4,5, debido a la presencia

de material argílico. En las partes altas de las quebradas.

Para el resto de estaciones el pH varía entre 3,5 y 6.

Las concentraciones de sulfatos se encuentran por encima de los 100 mg/l excepto para las estaciones EM4, EM9. El rango en que se encuentran las concentraciones de sulfatos fluctúa entre 24 mg/l y 298 mg/l, en la estación EM1 para Septiembre se registró un valor extremo. En la mayoría de estaciones la concentración de Cianuro fluctúa entre 0,001 mg/l a 0,005 mg/l .

Las concentraciones de Arsénico varían entre 0,005 mg/l y 0,2 mg/l, resultando en niveles por debajo del límite permisible para aguas de clase I, II y III. Las concentraciones de Cobre fluctúan entre 0 mg/l y 0,1 mg/l, resultando en niveles por debajo del límite permisible para aguas de clase I, II y III. En cuanto a la variación de las concentraciones de Plomo y Zinc fluctúan entre 0,001 mg/l y 0,169 mg/l, resultando en niveles por debajo del límite permisible para aguas de clase I, II y III para el Zinc.

La concentración de Hierro varía entre 0,09 mg/l y 16,41 mg/l . Las concentraciones de Manganeseo varían entre 0,001 mg/l y 0,592 mg/l, resultando que para ambos parámetros en la mayoría de

estaciones se encuentra por encima del límite permisible para aguas de clase I, II y III. Esto se puede explicar a que en forma natural en toda la microcuenca de la quebrada Cacachara ocurren procesos de lixiviación natural.

Cuadro 3.17 Parámetros de Calidad del Agua.

Parámetros		Número de las Muestras					
Nombre	Unidades	E-1	E-2	E-3	E-4	E-5	E-6
Temperatura ambiental	°C	5	11	14	10	2,5	-1
Temperatura del agua	°C	6	12	7,5	13	4	2,5
Caudal	l/s	1,5	50	80	150	50	
pH	Mv	5,76	5,90	3,95	5,22	4,90	4,46
Potencial Redox	μs/cm	-3	-12	85	25	42	72
Conductividad Eléctrica	mg/l CaCO ₃	144,8	105,5	280	279	741	258
Dureza total	mg/l	60	60	40	60	130	50
Sólidos totales	mg/l SO ₄ ⁻²	152	124	332	328	644	276
Sulfatos	mg/l	49,74	47,53	171,61	140,15	355,0	105,0
Sulfuros de hidrógeno	mg/l CN ⁻	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Cianuro total	mg/l	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Aceites y grasas	mg/l		<0,01		<0,01	<0,01	
Nitritos	mg/l	0,411	0,092	0,131	0,200	0,661	0,142
0,142 Nitratos	mg/l	0,013	<0,01	0,011	0,011	0,021	0,012
Fosfatos	mg/l	0,014	0,013	0,015	0,024	0,018	0,02
Acidez	mg/l	33	38	93	96	191	68
Cloruros	mg/l Cl ⁻	0,75	0,75	1,00	1,00	0,75	0,75
Arsénico	mg/l As	0,012	<0,01	<0,01	0,012	0,021	0,015
Boro	mg/l B	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Cadmio	mg/l Cd	0,002	0,02	0,02	0,09	0,022	0,005
Calcio	mg/l Ca	12,66	6,44	5,90	5,48	40,80	10,16
Cobre	mg/l Cu	0,010	<0,01	0,013	0,012	0,137	0,024
Cromo	mg/l Cr	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Hierro	mg/l Fe	2,100	0,336	1,212	1,331	8,675	2,862
Magnesio	mg/l Mg	2,752	3,014	2,311	2,556	2,863	2,146
Manganeso	mg/l Mn	0,993	0,094	0,298	0,283	2,075	0,961
Plomo	mg/l Pb	0,012	0,025	0,135	0,003	0,144	0,015
Potasio	mg/l K	4,57	1,83	3,98	3,38	4,23	4,10
Sodio	mg/l Na	12,50	4,85	5,80	6,55	5,80	9,40
Zinc	mg/l Zn	0,009	0,046	0,123	0,136	6,925	0,737
Coliformes Totales	NMP/100 ml					20	
Coliformes Fecales	NMP/100 ml					<2,2	

Fuente: Minera Santa Rosa, 2009.

3.5.5 Recursos de Agua Subterránea

Las aguas subterráneas en el área de estudio, tienen aparentemente un estado más dinámico, se observa afloramientos en las laderas de los cerros, dando lugar a la formación de bofedales de gran importancia para el desarrollo ganadero muy localizado.

Se recomienda efectuar los estudios hidrogeológicos, orientados a caracterizar los flujos subterráneos, magnitudes, fuentes de recarga y descarga entre otros.

3.5.6 Investigación Geotécnica

El estudio Geotécnico de los botaderos de desmonte, tiene como finalidad evaluar las características geomorfológicas, litoestratigráficas, estructurales y geodinámicas del área de las principales labores de la Mina (botadero Sur y Norte) y las áreas ubicadas en las cercanías de estas.

Para la ejecución del presente estudio geotécnico se desarrollaron las siguientes actividades:

- Característica del botadero.
- Exploración de campo (densidad de campo, trincheras y

ensayos de penetración dinámica ligera -DPL).

- Ensayos de laboratorio.
- Análisis del Peligro Sísmico.
- Evaluación geotécnica.

Característica del botadero Sur

La topografía del sector donde se encuentra el botadero Sur, se caracteriza por presentar taludes de pendientes muy fuerte con alturas entre banquetas muy variables que van de 6,00 m a 70,00 m de altura. En el fondo de la quebrada discurre el río Maurama, conocido también como Acosiri.

Las características principales de la estructura de relleno del botadero son:

Nivel de Corona	: 4880 msnm.
Altura Máxima	: 130,00 m .
Pendiente de Talud	: De 30° a 35°.
Ancho de banqueta	: De 12,00 a 56,00 m .
Volumen de Almacenamiento	: 5 412 178 t .
Superficie de Botadero	: 18,8 Ha.
Periodo de Almacenamiento	: 3 Años.

Características del Botadero

Los trabajos de exploración comprendieron las siguientes actividades:

- Excavación de 01 trincheras en Botadero de desmonte cuyas profundidades varían entre 1,00 m y 2,00 m de profundidad.
- 08 calicatas en el botadero Sur.
- Ejecución de 02 sondajes de penetración dinámica ligera (DPL), cuyas profundidades alcanzadas varían entre 0,60 m y 5,00 m .
- 02 pruebas de densidad de campo con el método del balón.

Excavación de trincheras

Se realizó la excavación de trincheras con la finalidad de identificar y reconocer la estructura de los botaderos de acuerdo a la Norma ASTM D-2488, Cada una de las muestras fue etiquetada y embolsada para el análisis respectivo Ver Cuadro 3.18 al 3.21.

Cuadro 3.18 Resumen de Excavación de Trinchera en Botadero.

Nº	Sondajes	Nº de Muestras	Profundidad Alcanzada (m)	N.F.	Ensayos Realizados	Ubicación
1	C - 2 (TR)	1	0,50	N:A.	Clasificación	Botadero de Desmonte Sur

TR = Trinchera.

Fuente: Cesel Ingenieros, 2008.

Cuadro 3.19 Relación de Calicatas (Botadero Sur).

Nº	Norte	Este	Elevación	Profundidad	Nivel Freático
CAL Nº1	8160268,917	388792,596	4840,913	2,3	2,2
CAL Nº2	8160192,988	38857,166	4862,414	1,2	No se encontró
CAL Nº3	8160200,400	388696,679	4838,683	3,2	No se encontró

Nº	Norte	Este	Elevación	Profundidad	Nivel Freático
CAL Nº4	8160174,433	388759,641	4856,022	3,2	No se encontró
CAL Nº5	8160157,016	388665,400	4846,067	2,4	No se encontró
CAL Nº6	8160183,115	388648,433	4835,203	1,9	Filtraciones a 1,10 y 2,4m
CAL Nº7	8160121,551	388679,581	4859,559	3,00	1,9
CAL Nº8	8160193,116	388816,549	4857,004	2,2	No se encontró

Fuente: Cesel Ingenieros, 2008.

Cuadro 3.20 Relación de Trincheras (Botadero Sur).

Nº	Norte	Este	Profundidad	Longitud	Nivel Freático
T-1	8160232,000	388841,000	2,00	25	2,00
T-2	8160210,000	388859,000	1,00	30	No se encontró
T-3	8160233,500	388747,000	1,50	8	1,5
T-4	8160190,000	388781,000	1,00	30	No se encontró
T-5	8160184,500	388707,500	1,00	28	No se encontró
T-6	8160156,500	388693,500	1,00	14	No se encontró

Fuente: Cesel Ingenieros, 2008.

Cuadro 3.21 Relación de Sondajes (Botadero Sur).

Nº	Norte	Este	Elevación	Profundidad
SO-1	8 160 150,848	388 830,015	4 873,566	18,5
SO-2	8 160 22,239	388 805,979	4 848,948	13,75
SO-3	8 160 258,455	388 790,759	4 842,920	21,05
SO-4	8 160 154,795	388 758,081	4 859,517	26,05
SO-5	8 160 185,706	388 742,768	4 849,013	18,50
SO-6	8 160 206,946	388 735,348	4 843,473	1 419,50
SO-7	8 160 088,668	388 700,915	4 871,969	26,10
SO-8	8 160 131,488	388 678,618	4 856,835	18,50

Fuente: Cesel Ingenieros, 2008.

a. Ensayos de penetración dinámica ligera (DPL)

Adicional a las calicatas, se realizó ensayos de penetración dinámica ligera (DPL) con la finalidad de poder determinar las condiciones de resistencia del botadero. En el cuadro 3.22 se tiene el resumen de los ensayos de penetración dinámica ligera (DPL).

Cuadro 3.22 Resumen de Ensayo DPL en el Desarrollo del Estudio.

Calicatas	Profundidad (m)	Ubicación
DPL - 2	4,00	Botadero de Desmonte Sur
DPL - 3	7,60	Botadero de Desmonte Norte

Fuente: Cesel Ingenieros, 2008.

Densidad de Campo

La densidad de campo medido mediante el método del balón presentan los siguientes resultados: Ver Cuadro 3.23

Cuadro 3.23 Resumen del Ensayo DPL en el Desarrollo del Estudio.

Densidad húmeda g/cm ³	Contenido de humedad %	Densidad seca g/cm ³	Ubicación
1,88	8,90	1,73	Botadero de Desmonte Sur
1,95	8,90	1,79	Botadero de Desmonte Norte

Fuente: Cesel Ingenieros, 2008.

Ensayos de Laboratorio

- **Ensayos estándar**

Con las muestras alteradas obtenidas en las trincheras excavadas de los 3 Botaderos de Desmonte, se realizó los ensayos estándar de clasificación de suelos y de propiedades físicas, los cuales comprendieron análisis granulométrico por tamizado, límites de Attemberg (líquido y plástico) y contenido de humedad, realizados siguiendo las normas de la American Society For Testing and Materials (ASTM), que son las siguientes:

Análisis granulométrico por tamizado	ASTM D-422.
Límites de Atterberg	ASTM D-4318.
Contenido de humedad	ASTM D-2216.
.Clasificación SUCS.	ASTM D-2487.

En los cuadros 3.24 y 3.25 se presenta los resúmenes de los ensayos estándar de las Botaderos de Desmonte.

Cuadro 3.24 Resumen de los Ensayos Estándar de Laboratorio Botaderos de Desmonte (Botadero Sur).

Trinchera	Muestra	Profund. (m)	Granulometría (%)			Límites (%)		C.H. (%)	Clasificación SUCS
			Grava	Arena	Finos	LL	LP		
C-2	M-1	0,00-0,50	49,1	27,9	22,9	33	17	11,0	GC

Fuente: Cesel Ingenieros 2008.

Cuadro 3.25 Resumen de Excavación de Calicatas (Botadero Sur).

Calicata	Coordenadas		Cota	Profund. (m)	Clasif SUCS	Límites de Atterberg			Humed (%)	Densidad seca
						LL	LP	IP		
CB-1	8 159 301,81	388 408,27	4 763,33	1,70	SC	36,08	23,48	12,60		
CB-2	8 159 278,25	388 467,78	4 761,76	1,50	SM	34,59	24,53	10,06		
CB-3	8 159 291,75	388 562,15	4 767,68	2,30	SM	33,11	24,42	8,69	13,91	1,987
CB-4	8 159 272,65	388 708,04	4 768,79	2,20	SM	30,75	24,50	6,25		
CB-5	8 159 318,46	388 890,46	4 767,22	2,40	ML	25,75	24,66	11,06	18,32	1,82

Fuente: Cesel Ingenieros, 2008.

Evaluación Geotécnica Histórica (Archivos)

La información disponible en los archivos de la empresa minera,

permiten evaluar las condiciones en las que se encuentran las labores de disposición de material de desmonte. Ver resumen en el cuadro 3.26

Cuadro 3.26 Resumen de Propiedades Físicas del Botadero.

N°	Material	Densidad		Para resistencia drenada		Para resistencia no drenada	
		$\gamma(t/m^3)$	$\gamma_s(t/m^3)$	$C'(t/m^3)$	ϕ	$C(t/m^3)$	ϕ
1	Desmonte de mina	2,0	2,1	0,0	40	0,0	40
2	Toba Dacítica	2,3	2,4	30,0	40	30,0	40
3	Arena Limosa	1,9	2,0	0,0	25	2	22

Fuente: Geoservice Ingeniería S.R.L. 2008.

3.5.7 Metodología para la Evaluación de la Estabilidad de Taludes

El análisis para calcular el factor de seguridad se lleva a cabo en forma bidimensional usando el concepto de equilibrio límite, aproximando el problema a un estado de deformación plana. El programa tiene la opción de utilizar diferentes métodos de análisis de estabilidad de manera simultánea, sin embargo, para el presente análisis se ha utilizado el Método de Bishop para el cálculo de superficies de falla. La superficie de falla crítica, definida como aquella que proporciona el menor factor de seguridad, fue encontrada en forma interactiva modificando las condiciones de

búsqueda. Se evaluaron superficies de fallas circulares, no circulares e irregulares.

Se consideran que las propiedades de los materiales que conforman las diferentes estructuras analizadas, son homogéneas e isotrópicas y que el colapso se produciría como resultado de fallas simultáneas a lo largo de la superficie de deslizamiento. Cada material tiene sus propiedades y características físicas y mecánicas.

Para el análisis pseudo-estático se considera que la masa involucrada en la falla está sometida a una aceleración horizontal igual a un coeficiente sísmico multiplicado por la aceleración de la gravedad, de modo de tomar en cuenta el efecto de las fuerzas inerciales producidas por el terremoto de diseño. El coeficiente sísmico horizontal utilizado fue de 0,17.

Por lo tanto, el sistema que a continuación se describe es analizado en el siguiente capítulo.

Valoración de Estabilidad del Talud en Suelos (ETS)

El sistema de valoración de la Estabilidad de taludes en Suelo (ETS) a lo largo de los años se ha pretendido realizar y es el fruto de una investigación cuidadosa y detallada de más de 6 taludes.

Se obtiene la "Valoración ETS", sumando todas las valoraciones parciales que se obtienen del análisis, para finalmente describir el comportamiento del talud en función a su estabilidad bajo las siguientes consideraciones (Cuadros 3.27 y 3.28).

Cuadro 3.27 Rango de Valoración de Estabilidad de Taludes de Suelo.

Rango de Valoración (ETS)	Descripción
0 – 7,50	Totalmente Estable
7,50 – 15,0	Normalmente Estable
15,0 – 30,0	Inestable
> 30,0	Crítico

Fuente: Cesel Ingenieros, 2006.

Cuadro 3.28 Resumen de Propiedades Físicas del Botadero.

Depósito de desmonte	Sur Este Rampa	Botadero Sur	Sección A-A'	Sección B-B'	Sección C-C' (TS)	Sección C-C' (TI)
Litología	Grava limosa	Grava limosa	Grava limosa	Grava limosa	Grava limosa	Grava limosa
Valoración ETS (estabilidad del talud en suelo)	21,0	19,9	18,1	17,0	17,0	15,1
Grado de Estabilidad	E2	E2	E2	E2	E2	E2
	Inestable	Inestable	Inestable	Inestable	Inestable	Inestable

Fuente: Cesel Ingenieros, 2006.

3.5.8 Metodología de Investigación para PADs

a) Descripción del PAD de Lixiviación

El mineral proveniente de la mina es depositado en el PAD para su lixiviación. La pila de mineral se forma mediante descarga directa de los volquetes sobre el PAD. La altura final de la pila será de 35 metros con bancos de 5 a 7 metros y taludes laterales de 1,4:1.

Los PAD's ó canchas de lixiviación han sido construidos de acuerdo a los estándares usados y aceptados internacionalmente. La superficie o PAD sobre la que se deposita el mineral está construida con una sub-base compactada de arcilla de baja permeabilidad de 300 mm de espesor, sobre la que tiene colocada una geomembrana de polietileno de alta densidad (HDPE) para prevenir las fugas. La geomembrana está cubierta por una capa de material fino de 300 mm de espesor denominada capa de protección. Sobre dicho material está colocada otra capa de 300 mm de material grueso denominada capa de drenaje, dentro de la cual se ha instalado un sistema de tuberías para recolectar la solución lixivante.

b) Características Geológicas/ Geotécnicas

La evaluación geotécnica de las instalaciones de procesamiento emplazadas en la unidad minera Santa Rosa, tiene como finalidad evaluar las características geomorfológicas, litoestratigráficas, estructurales y geodinámicas del área en la cual se desarrolla el Pad de lixiviación (fases I, II, III) y de las áreas ubicadas en las cercanías de estas.

c) Evaluación de Campo

Para la evaluación se realizaron las siguientes actividades:

- Excavación de una trinchera en el Pad de Lixiviación cuya profundidad alcanzo los 1,00 m .
- Ejecución de un sondaje de penetración dinámica ligera (DPL), cuyas profundidad alcanzo 0,5 m .

Excavación de trincheras

Se realizó la excavación de trincheras con la finalidad de identificar y reconocer la estructura .

Cada una de las muestras fue etiquetada y embolsada convenientemente para el análisis respectivo en el laboratorio geotécnico de CESEL S.A. En el cuadro 3.29, se presenta el resumen de las trincheras realizadas en el Pad de lixiviación.

Cuadro 3.29 Resumen de Trincheras Realizadas en el PAD de Lixiviación y Canteras.

Nº	Sondajes	Nº de Muestras	Profundidad Alcanzada (m)	N:F:	Ubicación	Ensayos realizados
1	C - 1 (TR)	1	0,50	N:A:	Pad de Lixiviación	Clasificación

TR = Trinchera.

Fuente: CESEL S.A., 2008.

Ensayos de penetración dinámica ligera (DPL)

Adicionalmente a la calicata, se realizó el ensayo de penetración dinámica ligera (DPL) para poder determinar las condiciones de resistencia del terreno (cuadro No 3.30).

Cuadro 3.30 Resumen del Ensayo DPL en el Desarrollo del Estudio

Calicatas	Profundidad (m)	Ubicación
DPL-1	3,50	Pad de lixiviación

Fuente: CESEL S.A., 2008

d) Ensayos de Laboratorio

Con las muestras alteradas obtenidas en las trincheras excavadas del PAD de lixiviación se realizó ensayos estándar de clasificación de suelos y de propiedades físicas, los cuales comprendieron análisis granulométrico por tamizado, límites de Atterberg (líquido y plástico) y contenido de humedad siguiendo las normas de la American Society For Testing and Materials (ASTM). Las normas son:

- Análisis granulométrico por tamizado ASTM D-422.
- Límites de Attemberg ASTM D-4318.
- Contenido de humedad ASTM D-2216.
- Clasificación SUCS. ASTM D-2487.

En el cuadro 3.31 se presenta el resumen de los ensayos estándar del Pad de lixiviación.

Cuadro 3.31 Resumen del Ensayo Estándar de Laboratorio PAD de Lixiviación.

Calicata/ Trinchera	Muestra	Profund. (m)	Granulometría (%)			Límites (%)		C:H: (%)	Clasificación SUCS
			Grava	Arena	Finos	L.L.	L.P.		
C - 1	PAD - 1	0,00 – 0,50	18,3	30,3	51,4	49	20	13,8	CL

Fuente: Cesel Ingenieros, 2006.

e) Capacidad admisible del macizo del terreno de fundación

El Pad de lixiviación descansa sobre un sustrato rocoso, así mismo, las áreas circundantes y las zonas de ampliación, se caracterizan por exhibir afloramientos rocosos rodeados de gruesa cobertura eluvial. Esta cobertura está constituida por una grava arcillosa cuyo contenido de finos es menor al 12%. Por esta razón, la tendencia del terreno a asentarse por consolidación primaria es nula. Considerando el tipo de estructura, se puede asumir un asentamiento máximo permisible de 5 cm, con una capacidad portante de $q_a = 7,30 \text{ kg/cm}^2$.

f) Análisis del Peligro Sísmico

La evaluación del peligro sísmico se ha efectuado por medio del método probabilístico, y determinístico de donde se determinan los niveles sísmicos del movimiento máximo del suelo en el área del proyecto. Además, se proponen valores del coeficiente sísmico para el diseño pseudo-estático de las estructuras, se recomiendan los siguientes valores:

- Aceleración diseño: 0,34 g - Aceleración Efectiva de diseño:

0,25 g. El coeficiente sísmico para el método pseudo - estático de diseño de taludes y muros de contención deberá ser:

- $\alpha = 0,17$ g para la zona de Santa Rosa.

3.5.9 Medio Ambiente Biológico

Regiones y Hábitats Ecológicos

Las zonas de vida, están definidas en términos generales como ámbitos homogéneos desde el punto de vista de altitud, fisiografía, vegetación, suelos y aguas entre otros, que le dan características diferenciables entre una zona y otra. La zona de estudio se encuentra ubicada entre los 4600 y los 5000 msnm que de acuerdo a la clasificación ecológica del Dr. Leslie R Holdridge (2003) corresponde a las zonas de vida de Tundra muy Húmeda Andino Subtropical y Nival Subtropical, cuyas características más resaltantes se presentan a continuación:

Flora Terrestre

De acuerdo a la evaluación de campo realizada en el área de estudio se han identificado 06 unidades de cobertura vegetal que

se muestran en el Cuadro 3.32 que se describen a continuación. Asimismo, en el Cuadro 3.33 se presenta un listado de las especies de flora silvestre existentes en la zona de estudio.

Cuadro 3.32 Unidades de Cobertura Vegetal en el Ámbito de la Unidad Minera Santa Rosa.

Símbolo	Unidades	Superficie	
		Ha.	%
B	Bofedal	139,90	6,14
Pj	Pajonal	380,60	16,69
PP	Pajonal Pedregoso	56,80	2,49
Y	Yaretal	133,50	5,86
N	Nival	1180,20	51,76
G	Glacial	389,00	17,06
Total		2280,00	100,00

Fuente: Minera Santa Rosa, 2009.

Fauna Terrestre

Las condiciones climáticas y la poca disponibilidad de alimento hacen que la zona presente fauna silvestre con adaptaciones a las rigurosas condiciones del ambiente, siendo el hábitat que presenta mayor diversidad faunística la de los bofedales. La fauna silvestre se presenta en el Cuadro 3.34, (listado de especies de fauna) se describe a continuación.

Cuadro 3.33 Listado de Flora Silvestre en el área de Estudio

Familia	Especie	Hábitat					
		B	Pj	Pp	Y	Af	N
Ranunculaceae	Ranunculus flageiiformes	X					
Cactaceae	Tephrocactus sp.					X	
Caryophyllaceae	Cardonema ramosissima			X			
	Pycnophyllum molle	X	X		X	X	
Brassicaceae	Aschersoniandra mandoniana					X	
Malvaceae	Nototriche obtusata	X					
Rosaceae	Alchemilla diplophylla	X					
	Tetraglochin strictum		X	X	X		
Fabeaceae	Astragalus sp.				X	X	
	Lupinus saxatilis	X					
Apiaceae	Azorella compacta					X	
	Liaseopsis andina	X					
Gentianaceae	Gentiana postrata	X					
	Gentianella Sandiense		X	X			
Convolvulaceae	Dichondra Serisceae				X		
Scrophulariaceae	Bartsia difusa			X		X	
Verbenaceae	Verbena minima		X				
	Verbena sp.		X		X		
Valerianaceae	Valeriana globulares					X	
Asteraceae	Baccharis buxifolia		X	X			
	Mnioides coarctata		X	X		X	
	Senecio rufescens		X	X		X	
	Wemeria globularis	X					
	Wemeria heteroloba	X					
	Wemeria pygmaea	X					
Juncaceae	Distichlis muscoides	X					
	Luzula racemosa	X			X		
Poaceae	Anthodloa lepidula	X			X		
	Calamagrostis breviaristata		X				
	Calamagrostis cephalanta	X			X		
	Calamagrostis heterophylla		X	X		X	
	Calamagrostis vicuagnarum	X	X	X	X	X	
	Distichlis numilis	X					
	Festuca orthophylla		X	X		X	
	Hordeum muticus	X					
	Stipa ichu	X	X	X	X	X	
	Poa annua		X				
	Muhlenbergia peruviana	X	X	X			

Af: Afloramiento

Fuente: Cesel Ingenieros, 2006.

Cuadro 3.34 Listado de Fauna Silvestre en el área de Estudio.

Familia	Fauna	Habitat					
		B	Pj	Pp	Af	Y	N
Clase Peces							
	<i>Oncorhynchus mykiss</i>						
Clase Reptilia							
Tropiduridae	<i>Lealaemus pantherinus</i>	X	X	X	X		
Clase Aves							
Rhedeidae	<i>Pterocnemia pennata</i> ^E	X	X	X	X	X	
Tinamidae	<i>Tinamotis plentandii</i>		X				
Threskiornithidae	<i>Plegais ridwayi</i>	X					
Anatidae	<i>Chloephaga melanoptera</i>	X					
	<i>Anas flavirostris</i>	X					
Cathartidae	<i>Vultur Gryphus</i> ^V	X	X	X	X	X	X
	<i>Geronaetus fuscences</i>	X	X	X	X	X	X
Accipitridae	<i>Buteo poecliochrous</i>	X	X	X	X	X	X
Falconidae	<i>Falco sparverius albogularis</i>		X	X			
Thimocoridae	<i>Thimocorus orbignianus</i>				X		
	<i>Attagis gayi</i>				X		
Charadriidae	<i>Vanellus resplendens</i>	X					
Columbidae	<i>Notiochelidon anadola</i>	X	X	X	X	X	
Laridae	<i>Larus serranus</i> ^V	X					
Furnariidae	<i>Geositta cunicularia</i>		X				
	<i>Cinclodes atacamensis</i>						
Tyrannidae	<i>Muscisaxiata junensis</i>		X	X		X	
	<i>Lesona oreas</i>	X			X		
Fringillidae	<i>Diuca speculifera</i>		X				
	<i>Phrygilus plebejus</i>	X	X	X	X	X	
	<i>Phytilius unicolor</i>		X	X		X	
	<i>Sicalis Uropygialis</i>	X	X	X	X	X	
	<i>Sicalis olivascens</i>		X	X		X	
Clase Mammalia							
Cannidae	<i>Pseudolapex culpaeus</i>	X	X	X	X	X	X
Felidae	<i>Oreailurus jacobita</i> ^E	X	X	X	X	X	X
	<i>Puma concolor</i>	X	X	X	X	X	X
Camelidae	<i>Vicugna vicugna</i> ^V	X	X	X	X	X	X
	<i>Lama glama</i> (D)	X	X	X	X		
Cervidae	<i>Lama pacus</i> (D)	X	X	X	X		
Chinchillidae	<i>Hippocamelus antisensis</i> ^E	X	X	X	X	X	X
Muridae	<i>Lagydium peruanum</i>					X	
	<i>Auliscomys boliviensis</i>	X					
	<i>Auliscomys pictus</i>		X	X			
	<i>Phyllotis amicus</i>		X		X	X	

Af: afloramiento, (D): especies domesticas, ^E: extinción, ^V: vulnerable.

Fuente: Minera Santa Rosa, 2009.

Resulta importante destacar a la especie "Suri"
Pterocnemia pennata, cuyo rango de distribución nacional está

dado tan sólo para los límites de las fronteras de los departamentos de Moquegua, Tacna y Puno, estando la zona de estudio dentro de este ámbito.

Especies en Peligro de Extinción

La última disposición del Decreto Supremo N° 013-99-AG, menciona la prohibición de la caza, extracción, transporte y/o exportación con fines comerciales de especies de fauna silvestre no autorizados por el INRENA. Se ha identificado en la zona de estudio tres (3) especies en peligro de extinción y tres (3) en condición vulnerable.

Las especies en peligro de extinción son:

- " Suri (*Pterocnemia pennata*).
- " Gato Andino (*Oreailurus jacobita*).
- " Taruca o Venado Andino (*Hyppocamelus antisensis*).
- Las especies en condición vulnerable son:
 - Cóndor (*Vultur gryphus*).
 - Gaviota Andina (*Larus serranus*).
 - Vicuña (*Vicugna vicugna*).

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Estabilidad Física de Botaderos de Desmontes

4.1.1 Introducción

Como consecuencia de las actividades mineras realizadas por la Unidad Minera Santa Rosa, ubicado en la localidad de Santa Rosa, provincia del Collao-Puno, se ha generado botaderos de desmontes, que fueron originados por diversas labores mineras tanto de explotación a tajo abierto, así como cateos y trabajos de exploración superficial, provocando áreas impactadas, con volúmenes y restos mineros de gran consideración, de características diversas en su mineralogía.

Objetivos de Diseño

Los objetivos de diseño correspondientes a los botaderos de desmonte dirigidos a asegurar la estabilidad física son:

- Evitar el ingreso de aguas de escorrentía que puedan generar un proceso de inestabilidad, mediante la saturación

y la generación de presiones de poro en el talud, en la cimentación y en las superficies de contacto.

- Asegurar la estabilidad de los taludes asumiendo las condiciones más desfavorables existentes durante el período post-cierre, como eventos sísmicos y climáticos.
- Asegurar la estabilidad de las coberturas a colocar.
- Asegurar, con pequeñas obras de contención, el pie de los taludes contra la influencia de las escorrentías o flujos que puedan ocurrir en la base de los botaderos de desmontes.

Por ello, los estudios de estabilidad física se orientan a la estabilidad contra deslizamientos, corrimientos o problemas de derrumbes ya sea superficial o profundo.

4.1.2 Análisis de Estabilidad Física de los Botaderos

Los criterios utilizados en el diseño se basan en la aplicación de metodologías de análisis y diseño, para obras de ingeniería geotécnica. En los análisis de estabilidad de taludes se considera un valor mínimo de Factor de Seguridad FS de 1,5 en la condición estática, sin sismo. Para la condición pseudo-estática se considera un coeficiente sísmico equivalente a $\frac{1}{2}$ de la aceleración sísmica de diseño. El período de exposición sísmica es de 500 años. El valor

del Factor de Seguridad mínimo para la condición Pseudo-estático es de $FS=1,0$.

Los criterios de estabilidad mencionados, aseguran un adecuado comportamiento de los taludes desde el punto de vista de la resistencia de los suelos y materiales involucrados, así como el nivel de deformación de los taludes ante un evento sísmico, condiciones recomendables para el extenso período de exposición sísmica. Deformaciones no controladas pueden poner en riesgo los elementos de cobertura, encapsulamiento o revegetación.

Los análisis de estabilidad asumen superficies de falla tipo circular, planar o fallas del tipo bloque. Se utiliza los métodos de equilibrio límite de Bishop Simplificado y de Janbu. Para la realización de los análisis de estabilidad se utiliza el programa de cómputo Slide 5.0 Rocscience, Inc. (1989 – 2005).

Los análisis de estabilidad consideran el comportamiento drenado mediante el uso de parámetros de resistencia efectivos de suelos, materiales granulares y drenantes, que conforman los botaderos de desmonte.

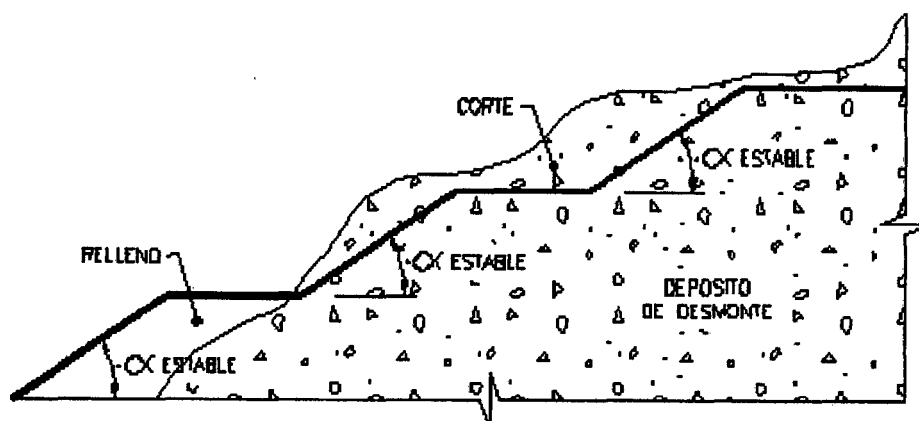
Si el botadero de desmonte es físicamente estable, siguiendo

los criterios anteriores, entonces solo se hará trabajos de perfilado para poder colocar una cobertura adecuada, y si las condiciones lo permiten se revegetará.

Si el botadero de desmonte no es físicamente estable se proponen tres métodos de trabajo:

- **Método de Banquetas**

Método en el que se usa el mismo material del botadero, material de corte como relleno; se llega a estabilizar físicamente, pues se quita la sobrecarga que genera un gran volumen de masa en la parte superior. Éste es el método más económico, pero a veces no se puede utilizar por las condiciones del entorno.

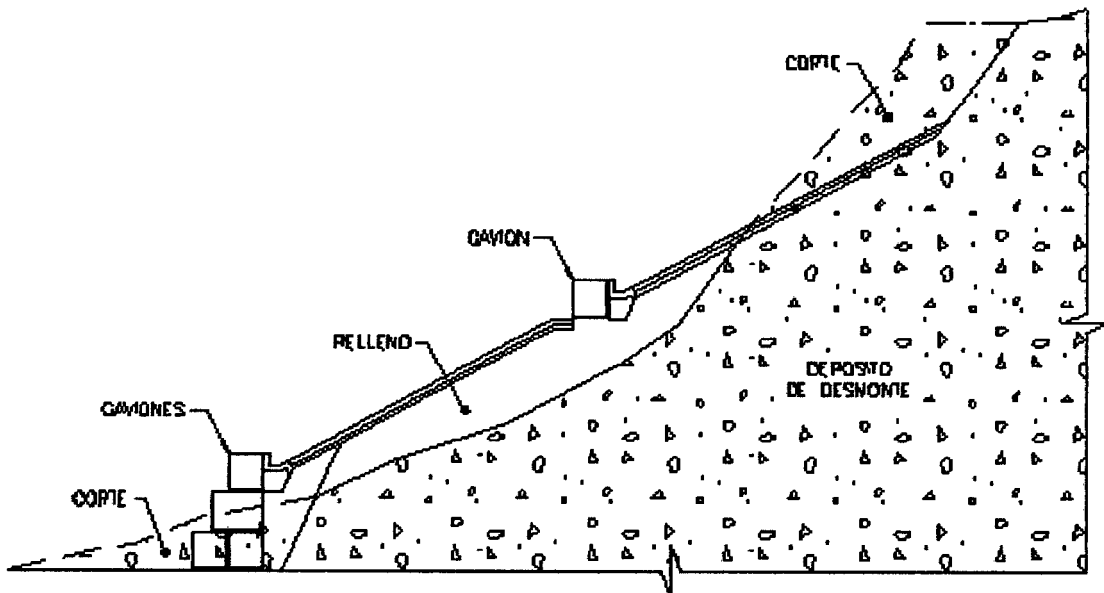


Fuente: Cesel Ingenieros, 2006.

Figura 4.1 Método de banquetas.

- **Método de Gaviones**

Es muy usado para la contención del pie de talud, se utiliza como muros de contención (figura 4.2); lo cual ayuda a no desplazar el desmorte, dándole una altura adecuada para lograr el ángulo de estabilidad, esto permite tener alturas de taludes mayores a las que se puede obtener con el método de banquetas. Este método puede ser también mixto, es decir, usar gaviones y banquetas; esto depende de las características del desmorte y del entorno que lo rodea. Económicamente es costoso.

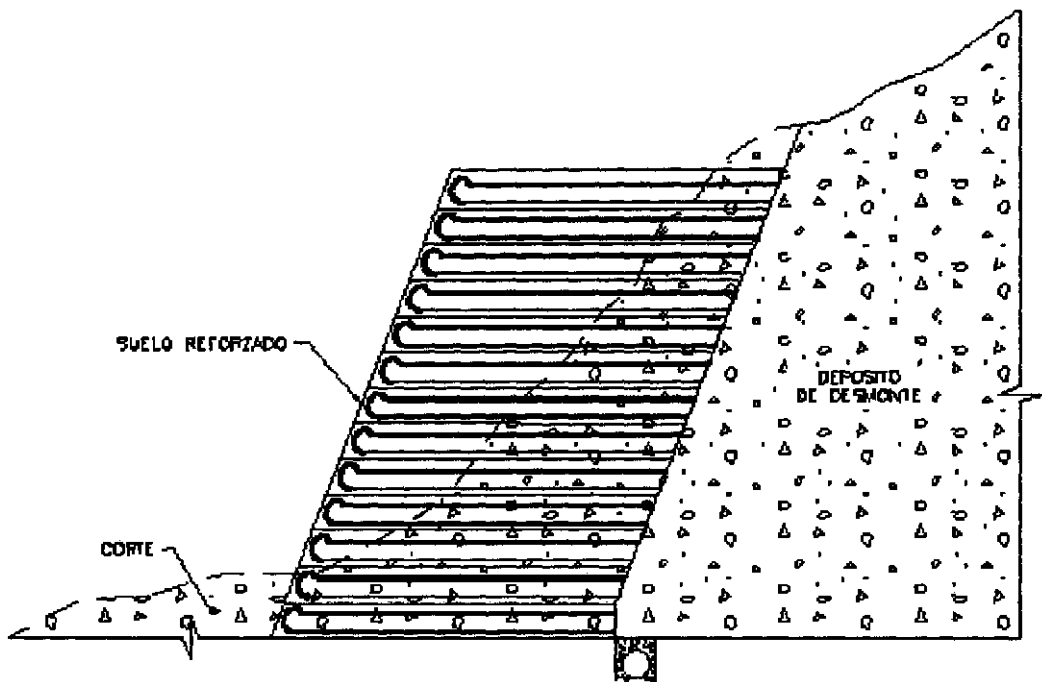


Fuente: Cesel Ingenieros 2006.

Figura 4.2 Método de Gaviones.

- **Método de Suelo Reforzado**

El método del suelo reforzado nos permite utilizar ángulos mucho mayores que los métodos anteriores, ya que el uso de la geomalla lo permite, esto nos lleva a contener mejor el pie de talud evitando que éste se prolongue más (figura 4.3). Económicamente es el método menos recomendado por el costo de sus insumos.



Fuente: Cesel Ingenieros, 2006.

Figura 4.3 Método de Suelo Reforzado.

a) Análisis de Estabilidad

El análisis de estabilidad se ha realizado considerando el tipo de material, la sección más crítica, de los depósitos de desmonte, utilizando los criterios ingenieriles, hipótesis y un modelo matemático, lo que ha posibilitado estudiar una gran variedad de configuraciones de falla. Este modelo analiza la estabilidad de taludes tomando en cuenta las propiedades del suelo (cohesión y fricción), las características geométricas del talud, las variables desencadenantes interactuando con las condiciones reales del diseño.

Para el cálculo de los factores de seguridad al corte se ha empleado el método simplificado de Bishop simplificado (1955) y de Janbu (1957); basado en la determinación, mediante el análisis de equilibrio límite, de la relación entre la resistencia disponible del suelo al corte y el esfuerzo cortante requerido para mantener el equilibrio límite a lo largo de superficies que definan un mecanismo potencial de falla (círculos de falla).

Utilizando los criterios, hipótesis y modelo matemático antes indicado, los cálculos relativos al análisis de estabilidad de taludes se realizaron empleando un programa de cómputo

geotécnico (programa Slide 5.0) lo que posibilita estudiar, detalladamente una gran variedad de configuraciones alternativas para obtener una sección óptima, aceptable.

El programa analiza la estabilidad de taludes tomando en cuenta las propiedades del suelo (cohesión y ángulo de fricción), las características geométricas del talud y las variables desencadenantes de deslizamiento (nivel de agua).

Los parámetros correspondientes a las propiedades de los materiales que componen la el talud, requeridos para el análisis de estabilidad, son los siguientes:

- Peso unitario húmedo (γ_h).
- Peso unitario saturado (γ_{sac}).
- Cohesión.
- Ángulo de resistencia al corte.

Los valores de estos parámetros se han seleccionado teniendo en consideración los resultados de los diversos ensayos de campo y de laboratorio, la evaluación de las condiciones geológicas y geotécnicas de la cimentación detallados en el Capítulo III.

b) Metodología de análisis

Para el análisis de estabilidad de taludes se ha empleado exclusivamente el método simplificado de Bishop, debido a que, en general, los valores de los factores de seguridad obtenidos mediante dicho método para superficies de falla circulares difieren en un 5% a 10% por defecto (es decir, dando un margen conservador de seguridad) de los valores obtenidos empleando métodos rigurosos de análisis (tales como el de Spencer o el de Morgenstern – Price).

El cálculo utiliza el método de las dovelas el cual asume que no hay fuerzas de corte entre dovelas adyacentes y que la geometría de cada una queda definida por su altura, h , medida a lo largo de su línea central, su ancho, Δx , y por las inclinaciones de su base y de su parte superior, α y β respectivamente.

El método satisface el equilibrio de fuerzas verticales para cada dovela, de acuerdo con el diagrama de cuerpo libre se tiene:

$$\begin{aligned} \sum F_v &= (\Delta N' + \Delta U_\alpha) \cos \alpha + \Delta S \sin \alpha - \Delta W (1 - k_v) \\ &- \Delta U_\beta \cos \beta - \Delta Q \cos \delta = 0 \end{aligned} \tag{1}$$

Asimismo, este método satisface el equilibrio de momentos de toda la porción del talud susceptible de falla, tomados con respecto al centro de la superficie circular de falla analizada; por lo tanto:

$$\begin{aligned} \sum M_o = & \sum_{i=1}^n [\Delta W (1 - k_v) + \Delta U_{\beta} \cos \beta + \Delta Q \cos \delta] (R \operatorname{sen} \alpha) \\ & - \sum_{i=1}^n [\Delta U_{\beta} \operatorname{sen} \beta + \Delta Q \operatorname{sen} \delta] (R \cos \alpha - h) \\ & - \sum_{i=1}^n [\Delta S] (R) + \sum_{i=1}^n [k_h \Delta W] (R \cos \alpha - h_{eq}) = 0 \end{aligned} \quad (2)$$

En la anterior expresión (2), R es el radio de la superficie circular de falla, h es la altura promedio de cada dovela y h_{eq} es la altura vertical entre el centro de la base y el centroide de cada dovela.

Por otro lado, considerando que el factor de seguridad es el mismo para todas las dovelas, la resistencia al corte Mohr – Coulomb movilizada (ΔS) a lo largo de la base de cada dovela está dada por:

$$\Delta S = \frac{\Delta C + \Delta N' \operatorname{tg} \phi}{F} \quad (3)$$

En base a las relaciones anteriores, finalmente se deduce la fórmula que permite hallar el factor de seguridad al deslizamiento, que es la siguiente:

$$F = \frac{\sum_{i=1}^n [\Delta C + \Delta N' \operatorname{tg} \phi]}{\sum_{i=1}^n A_1 - \sum_{i=1}^n A_2 + \sum_{i=1}^n A_3} \quad (4)$$

en donde:

$$A_1 = [\Delta W (1 - k_v) + \Delta U_\beta \cos \beta + \Delta Q \cos \delta] (\operatorname{sen} \alpha)$$

$$A_2 = [\Delta U_\beta \operatorname{sen} \beta + \Delta Q \operatorname{sen} \delta] (\cos \alpha - h / R) \quad (4a)$$

$$A_3 = [k_h \Delta W] (\cos \alpha - \frac{h_{eq}}{R})$$

y la fuerza normal ($\Delta N'$) es:

(4b)

$$\Delta N' = \frac{1}{m_\alpha} [\Delta W (1 - k_v) - \frac{\Delta C \operatorname{sen} \alpha}{F} - \Delta U_\alpha \cos \alpha + \Delta U_\beta \cos \alpha + \Delta U_\beta \cos \beta + \Delta Q \cos \delta]$$

donde:

$$m_\alpha = \cos \alpha [1 + \frac{\operatorname{tg} \alpha \operatorname{tg} \phi}{F}] \quad (4c)$$

Las ecuaciones (4), (4a), (4b) y (4c) son las expresiones programadas en el programa Slide 5.0, para calcular el factor de seguridad al deslizamiento de superficies de falla circulares según el método simplificado de Bishop.

El estudio probabilístico, determina, para un período de retorno de 475 años la aceleración de diseño de 0,34 g, considerando como vida útil de 50 años y un nivel de excedencia del 10%.

En base a la comparación de resultados de los estudio determinístico y probabilístico, en el emplazamiento del proyecto se recomienda los siguientes valores:

- Aceleración máxima = 0,34 g .
- Aceleración efectiva = 0,25 g .

Para el análisis pseudo-estático se considera que la masa involucrada en la falla está sometida a una aceleración horizontal igual a un coeficiente sísmico multiplicado por la aceleración de la gravedad, de modo de tomar en cuenta el efecto de las fuerzas inerciales producidas por el terremoto de diseño. El coeficiente sísmico horizontal utilizado fue de 0,17 g .

Los criterios de diseño establecidos para el presente análisis fueron los siguientes:

- Mínimo factor de seguridad estático a largo plazo igual a 1,2;
y
- Mínimo factor de seguridad pseudo-estático a largo plazo igual a 1,0 ó,
- Desplazamientos inducidos por sismo que no comprometan la seguridad del apilamiento ó la integridad del sistema de revestimiento.

Se debe indicar que un factor de seguridad pseudo-estático mayor que 1,0 no significa que el apilamiento de mineral no se moverá durante un terremoto. Lo que probablemente ocurrirá es que los desplazamientos serán mínimos y no se producirán daños permanentes en el sistema de revestimiento, asociados al terremoto de diseño.

En el Cuadro 4.1 se muestra los resultados del análisis evaluando a los botaderos en el estado estático y pseudo estático, por ser ésta, la condición más desfavorable.

Las soluciones para estabilizar los taludes, consisten en darles un perfilado e inclinación adecuada hasta llegar a valores

FS estables.

Cuadro 4.1 Análisis Evaluado a los Botaderos en el Estado Estático y Pseudo Estático.

Botadero Sur	C (kPa)	ϕ (°)	Factor de Seguridad		
			Estático	Pseudo Estático	Pseudo estático con carga
Talud 35° con banquetas	23	40°	2,263	1,541	1,534
		38,5°	2,157	1,47	1,463
Talud 30° con banquetas	23	40	2,528	1,675	1,604
		38,5	2,409	1,597	1,590
Talud 30° sin banquetas	23	40	1,847	1,313	1,307
		38,5	1,764	1,255	1,249

Fuente: Elaboración Propia.

c) Comentario

En el cuadro 4.1 podemos apreciar para el caso de talud del banco de 35° con banquetas de 12 m, aplicando el método de Bishop los valores estáticos dan valores de 2,263 para C = 40 y 2,157 para un C = 23, pero cuando se considera el factor sísmico con un valor de 0,17g y con una carga distribuida en el extremo simulando un volquete que descarga, el factor de seguridad

obtenido baja a 1,463. Estos valores bajo condiciones similares con pequeñas discrepancias también han sido obtenidos en los ensayos realizados por Cesel ingenieros en mayo del 2006, lo que comprueba esta tesis. Utilizando Janbu los valores del factor de seguridad son ligeramente inferiores.

El otro caso analizado con talud de banco de 30°, banquetas de 12 m, el factor de seguridad para los dos casos analizados sube cuando es estático a 1,675, y con las condiciones sísmicas y volquetes que descarguen material el factor de seguridad es 1,604 y aun cuando disminuya en un 4% el valor de ϕ el factor de seguridad es 1,59, valor que está sobre el 1,5 que se fijo como mínimo para el caso de botaderos.

Analizando el caso que no se usara el método de banquetas, aun con un talud de 30°, considerando el mismo coeficiente sísmico y carga distribuida, el factor de seguridad baja a 1,249 lo cual nos dice que el talud se torna inestable, siendo por tanto se descartada esta opción

4.2 Estabilidad de Física de los PADs de Lixiviación

Como consecuencia de las actividades mineras realizadas por

la Unidad Minera Santa Rosa, ubicado en la localidad de Santa Rosa, provincia del Collao-Puno, se ha construido una estructura de lixiviación de pila de material mineralizado, diseño que incluye un sistema de sub-drenaje y monitoreo ambiental para aguas subterráneas, un sistema compuesto de revestimiento suelo/geomembrana, un sistema de sobre revestimiento o protección de la geomembrana y finalmente un sistema de colección de solución. Asimismo, se incluye a este proceso un canal de conducción de tuberías de solución y pozas para el procesamiento de la solución lixiviada, las cuales incluyen: poza de solución rica PLS, poza de solución intermedia ILS y una poza para eventos de tormenta o poza de mayores eventos.

En el presente ítem se exponen los criterios utilizados para asegurar la estabilidad física de los diseños que se propone con fines de seguridad. El factor de seguridad, "FS", para un talud se define generalmente como la relación de resistencia al corte disponible con respecto al esfuerzo cortante sobre la superficie de falla crítica. Las características de esfuerzos y deformaciones de la mayoría de suelos son tales que se puede presentar deformaciones plásticas relativamente grandes en cuanto se aproximan los esfuerzos cortantes aplicados a la resistencia al corte del material.

Objetivos de Diseño de Estabilidad

Los objetivos de diseño correspondientes a los Pad de lixiviación de pilas dirigidos a asegurar la estabilidad física, son:

- Evitar el ingreso de aguas de escorrentía que puedan generar un proceso de inestabilidad, mediante la saturación y la generación de presiones de poro en el talud, en la cimentación y en las superficies de contacto.
- Asegurar la estabilidad de los taludes asumiendo las condiciones más desfavorables existentes durante el período post-cierre, como eventos sísmicos y climáticos.
- Asegurar la estabilidad de las coberturas a colocar.
- Asegurar, con pequeñas obras de contención, el pie de los taludes contra la influencia de las escorrentías o flujos que puedan ocurrir en la base de los Pad de lixiviación.

Por ello, los estudios de estabilidad física se orientan a la estabilidad contra deslizamientos, corrimientos o problemas de derrumbes ya sea superficiales o profundos.

4.2.1 Estabilidad Física

Los criterios utilizados en el diseño se basan en la aplicación

de metodologías de análisis y diseño, semejantes a los botaderos de desmonte (punto 4.1). Las pruebas y ensayos para obtener la información de sitio y de los materiales existentes cumplen estándares internacionales. Los criterios de diseño se basan en la aplicación de modelos, procedimientos de análisis y diseño que son actualizados permanentemente a la luz de los resultados obtenidos en proyectos similares.

En los análisis de estabilidad de taludes se considera un valor mínimo de Factor de Seguridad FS de 1,5 en la condición estática, sin sismo. Para la condición pseudo-estática se considera un coeficiente sísmico equivalente a $\frac{1}{2}$ de la aceleración sísmica de diseño. El período de exposición sísmica es de 500 años. El factor de seguridad mínimo bajo condición Pseudo-estático es de FS=1,0.

Los criterios de estabilidad mencionados, aseguran un adecuado comportamiento de los taludes desde el punto de vista de la resistencia de los suelos y materiales involucrados, así como el nivel de deformación de los taludes ante un evento sísmico. Deformaciones no controladas pueden poner en riesgo los elementos de cobertura, encapsulamiento o revegetación.

El análisis para calcular el factor de seguridad se lleva a cabo

en forma bidimensional usando el concepto de equilibrio límite, aproximando el problema a un estado de deformación plana. El programa tiene la opción de utilizar diferentes métodos de análisis de estabilidad de manera simultánea, sin embargo, para el presente análisis se ha utilizado el Método de Bishop simplificado para el cálculo de superficies de falla. La superficie de falla crítica, es definida como aquella que proporciona el menor factor de seguridad, fue encontrada en forma interactiva modificando las condiciones de búsqueda de la misma. Se evaluaron superficies de fallas circulares, no circulares e irregulares.

Como hipótesis del análisis se consideran que las propiedades de los materiales, son homogéneas e isotrópicas y que el colapso se produciría como resultado de fallas simultáneas a lo largo de la superficie de deslizamiento.

Si el Pad de lixiviación es físicamente estable, siguiendo los criterios anteriores, solo se hará trabajos de perfilado para colocar una cobertura adecuada, si es posible se revegetará

4.2.2 Software Empleado para el Análisis

El programa realiza los análisis de estabilidad según equilibrio

límite bidimensional, calculando el factor de seguridad de un talud con varios estratos empleando el método simplificado de Bishop o el método modificado de Janbu. Permite analizar tanto una superficie única de falla como una gran cantidad de superficies de falla circulares y no circulares. Para los cálculos realizados en el presente estudio, se han considerado 100 y 400 círculos de falla por cada análisis. Se obtiene así el mínimo factor de seguridad, graficando las superficies de falla con menores factores de seguridad. Este programa ofrece, entre otras, las siguientes opciones:

- Sistemas de suelos heterogéneos.
- Suelos con características de resistencia anisotrópicas.
- Envolvente no lineal de esfuerzos, según Mohr Coulomb.
- Presiones de poros calculadas de diversas maneras:
- Cálculo de los factores de seguridad (corregidos) según el método de Janbu.
- Verificación de errores de entrada de datos.
- Visualización preliminar de la geometría del talud analizado.
- Archivos independientes de datos de entrada, salida de resultados y gráficos, los cuales pueden ser inicialmente grabados y posteriormente recuperados e impresos.

- Análisis de taludes tanto con pendientes.
- Sistema de unidades métricas o inglesas.
- Menú de ayuda para todas las opciones del programa.

4.2.3 Resultados del Análisis de Estabilidad de Taludes de Pad de Lixiviación

En el Cuadro 4.2 se muestra los resultados del análisis evaluado a los Pad de lixiviación en el estado estático y pseudo estático, por ser éstas, la condición más favorables y desfavorable.

Cuadro 4.2 Resultados del Análisis Evaluado a los Pad de Lixiviación en el Estado Estático y Pseudo Estático.

Botadero Sur	C (kPa)	ϕ (°)	Factor de Seguridad		
			Estático	Pseudo Estático	Pseudo estático con carga
Talud 28° con banquetas 3 m	3,5	35°	1,750	1,184	1,182
	0	35	1,312	0,906	0,906
Talud 26° con banquetas 3 m	3,5	35	1,879	1,250	1,247
	0	35	1,435	0,978	0,978
Talud 26° banquetas 6 m	3,5	35	2,047	1,5	1,5
	0	35	1,435	0,978	0,978

Fuente: Elaboración Propia.

Las soluciones para estabilizar los taludes, consisten en darles un perfilado e inclinación adecuada hasta llegar a valores FS estables.

4.2.4 Comentario de los PADs.

Considerando un talud de 28° , altura de banco de 8 m, con banquetas de 3 m y para una altura de 40 m, bajo condiciones de sismo y con carga uniforme distribuida simulando un volquete descargando el factor de seguridad tiene un valor de 1,182 el cual es muy cercano a inestable.

Si bajamos el talud a 26° con altura de bancos de 8 m y banquetas de 6 m bajo las mismas condiciones extremas se obtiene un factor de seguridad según Bishop de 1,5 siendo estable, y por tanto la condición que se va a sugerir y que además permitirá en el futuro colocar una cubierta de tierra y arcilla cuando llegue la etapa del cierre. Comparando con los resultados encontrados por la empresa Cesel Ingenieros el año 2006, bajo condiciones $C = 0$ y $\phi = 35^\circ$ talud de banco de 26° con banqueta calculó un FS = 1,6 Estático, y en la tabla vemos un valor de 1,435 lo cual valida la presente tesis

4.3 Manejo y Tratamiento de las Aguas

Para el control de las aguas pluviales se cuenta con zanjas de coronación sobre el PAD de lixiviación. El problema por mencionar son los pasivos constituidos por las bocaminas y desmonteras de la antigua mina Cacachara, cerca del río del mismo nombre, que ha provocado la presencia de aguas ácidas en dicha micro cuenca, con valores entre 3,5 y 4,5 de pH, en los puntos cercanos a la confluencia con la quebrada Cotañani.

4.3.1 Calidad de agua

Se muestra la relación de puntos de control de aguas subterráneas del área de la mina Santa Rosa (cuadro 4.3 y 4.4), que corresponden a cuatro piezómetros y una poza de control:

Cuadro 4.3 Puntos de Monitoreo de Calidad de Agua

Subterránea.

Punto	Ubicación	Coordenadas UTM		Descripción
		Norte	Este	
EP-1	Control Pad-1	8 159 807	390 519	Piezómetro de la margen derecha de Pad-1
EP-2	Control Pad-2	8 159 782	390 614	Piezómetro margen izquierda del Pad-1
EP-3	Qda. Mauruma	8 915 222	390 293	Piezómetro aguas debajo de la poza de grandes eventos
EP-4	Río Cacachara	8 157 107	386 554	Piezómetro aguas arriba de la quebrada Jacosive
PC-3	Pozo control N°3	8 159 282	388 762	Al pie del botadero Sur

Fuente: Reporte Mina Santa Rosa, 2009.

Cuadro 4.4 Resultados de Monitoreo de aguas Subterráneas.

Parámetro	Unidad	EM-9	EP-1	EP-2	EP-3	EP-4
Fecha		May/09	May/09	May/09	Nov/09	
pH		4,12	3,63	4,83	6,98	4,22
Temp.	°C	22	7,5	5,1	-	4,9
TSS	mg/l	9,6	<1	3,3	16	14
Sulfatos	mg/l	49,9	7,6	9,1	101	133,9
Cian.Wad	mg/l	<0,004>	-	-	<0,001	<0,004
Pb total	mg/l	<0,025	0,34	0,36	<0,05	0,11
Cu total	mg/l	<0,025	0,35	0,04	0,009	<0,025
Fe total	mg/l	0,24	0,22	3,59	3,54	4,51
Zn total	mg/l	0,185	2,88	2,32	0,108	1,17
As total	mg/l	0,011	0,01	0,005	0,011	0,003
Mn total	mg/l	0,965	0,57	0,33	1,735	0,319
Hg total	mg/l	0,001	0,001	0,005	0,001	0,002

Fuente: Reporte Mina Santa Rosa, 2009.

Comentario:

Del cuadro anterior en el caso del pad de lixiviación apreciamos un pH de 3,63 siendo el mínimo permisible por el DS N° 010-2010 MINAM de 6, y en el caso del botadero un pH de 6,98 el cual si esta dentro de lo correcto.

Tenemos otros contaminantes cuyos valores exceden los límites permitidos por el DS. Antes mencionado, los cuales son Fe total en el botadero, plomo en el pad, zinc en el pad.

Botaderos

Los depósitos de desmonte o botaderos, están fuera del nivel

freático y no están en la zona de influencia de las aguas subterráneas. Sin embargo el botadero Sur esta en riesgo de invadir el bofedal de Cotañani, donde el nivel freático alcanza la superficie, se recomienda además de la zanja existente la instalación de una malla para amortiguar la caída de rocas.

PAD

Así como las instalaciones de manejo de aguas (pozas de enriquecimiento y grandes eventos) estos están fuera del nivel freático y no están en la zona de influencia de las aguas subterráneas. En cuanto a las instalaciones de manejo de aguas (pozas de enriquecimiento y grandes eventos) se recomienda limpiar frecuentemente las cunetas de coronación para evitar la acumulación de material.

4.3.2 Método de Estabilidad (Remediación)

El método propuesto para asegurar la estabilidad física del PAD de lixiviación es el Método de Banquetas, el cual implica movimientos de material con la finalidad de reconfortar el material, adoptando un ángulo conservador que determine la estabilidad física de acuerdo a un análisis de estabilidad de taludes. Los parámetros a

ser empleados en el análisis de estabilidad en el cuadro 4.5:

Cuadro 4.5 Parámetros en el Análisis de Estabilidad Física

	Cohesión C (kPa)	Angulo de Resistencia al Corte ϕ
Mineral	3,50	30 – 35°
Fundación	3,5 - 5	32 - 35

Fuente: Cesel Ingenieros, 2006.

El ángulo de reposo recomendable a disponer los taludes del PAD de lixiviación es 26° con una banquetta de alivio de cargas de 6 m como mínimo.

4.3.3 Estabilidad Química

El PAD de lixiviación empieza su cierre progresivo desde el momento en que no recibe más mineral del tajo. Luego se continúa con la irrigación de solución lixivante para continuar recuperando valores que aun contenga el mineral este durará hasta que los valores recuperados ya no sean rentables (costo del cianuro mayor al valor de metales recuperados), luego se inicia el regado con agua, la cual es recuperada con cianuro remanente, este se pasará por la planta de destrucción de cianuro.

En cuanto a la estabilidad química de los PAD de lixiviación,

previo a cualquier adecuación morfológica y estabilización de los taludes de las pilas de mineral lixiviado, se debe realizar el proceso de lavado y neutralizado del PAD; para minimizar las emisiones con aguas residuales con relictos de cianuro y metales pesados; en concordancia con los Niveles Máximos Permisibles de Emisión, definidos por Resolución Ministerial N° 011-96-EM/VMM.

Para ello mientras dure el proceso de lavado se realizara un monitoreo permanente de los efluentes del lavado del PAD recirculados a la planta de destrucción de cianuro de la UEA Santa Rosa. Se mantendrá el cerco de protección periférico al PAD, hasta que se demuestre la neutralidad del material, para evitar el ingreso de fauna silvestre y doméstica, así como, de personas que ocasionalmente podrían frecuentar el área.

Finalizado el proceso de lavado en el sector 1 y ampliaciones del PAD, se procederá a estabilizarlo, utilizando para ello una cobertura especial que consiste en una capa inferior de material impermeable como arcilla con espesor de 0,30 m, una capa de material drenante. Y finalmente una cobertura de top soil o material inerte, el cual será utilizado en superficies inclinadas y en superficies horizontales un enrocado de diámetro 15 cm .

4.3.4 Estabilidad Hidrológica

La estabilización hidrológica se realiza mediante obras de derivación y drenaje de aguas superficiales que consisten en canales de coronación, cajas colectoras, alcantarillas, estructuras de disipación y otras que deben estar ubicadas y dimensionadas de tal manera que corrijan los cursos de las aguas de escorrentía evitando problemas de erosión e inundación en caso de presentarse eventos hidrológicos extremos. Es imprescindible captar la escorrentía producto de una precipitación de alta intensidad y drenarla a los cuerpos receptores o cursos naturales, para ello, se efectúa el dimensionamiento de los elementos de conducción para estas condiciones de precipitación.

Es necesario tener los parámetros establecidos en los estudios hidrológicos en lo referente a la intensidad y duración de las lluvias y su periodo de retorno. Los mismos que enlazados al área a ser drenada se obtiene el caudal de diseño.

CONCLUSIONES

- 1.- Partiendo del objetivo general que es determinar el impacto ambiental producido por los botaderos de desmonte y pads de lixiviación en la Mina Santa Rosa, se concluye que si por cuanto según las mediciones las aguas que percolan en el caso del botadero sur y el Pad de lixiviación nos dan valores de pH que oscila entre 3,5 y 4,5 que es mayor al límite permisible que está en 6-9 en cualquier momento. En el caso de concentraciones de Cianuro fluctúa entre 0,001 mg/l a 0,005 mg/l por debajo del límite permisible de 1 mg/l, las concentraciones de Arsénico varían entre 0,005 mg/l y 0,2 mg/l, resultando en niveles por debajo del límite de igual manera Cobre Plomo y Zinc. La concentración de Hierro varía entre 0,09 mg/l y 16,41 mg/l, resultado por encima del límite permisible que es de 2 mg/l.
- 2.- El control físico tanto de los botaderos como de los pads de lixiviación se demuestra que tiene gran influencia, al controlar el diseño del talud, para que estos no colapsen. En el caso de el Botadero se ha determinado que la mejor inclinación del banco debe ser de 30°, con una altura de 15 m con banquetas de 12 m, que da un factor de seguridad de 1,50, incluyendo coeficiente sísmico y carga de volquetes

de 100 t, lo cual esta por encima del mínimo que está de 1 – 1,5.

3.- De igual manera el control físico del pad de lixiviación, para evitar que colapse, según el método de Bishop nos da que debe tener un talud de 26°, de 8 m de alto y banquetas de 6 m .

4.- Partiendo del objetivo específico Determinar la influencia del control de la contaminación por aguas ácidas producidas por los botaderos de desmonte y pads de lixiviación en el impacto ambiental, se debe decir, que del análisis de las aguas se ha medido en la zona del botadero el pH es superior a 6 no generando por tanto aguas ácidas, pero en el caso del pad se ha medido un pH de 3,63 valor que si corresponde a un agua ácida, el cual debe controlarse.

RECOMENDACIONES

- 1.- Colocar una cobertura de arcilla y tierra de la zona tanto en el botadero como el pad una vez que se empiece con el cierre progresivo para que no sigan produciendo aguas ácidas y a fin de mejorar el paisaje, la cobertura debe tener un mínimo de 30 cm, por los ángulo de talud que se ha dado al pad y botaderos no debe existir problemas de deslizamiento de tierra por cuanto esta dentro de los límites del ángulo de reposo, sembrar plantas de la zona. En la corona y en la base de pad y botadero colocar canaletas de drenaje de escorrentía.
- 2.- Es necesario que se lleve un control estricto en forma semanal de los monitoreos tanto de estabilidad física como de aguas acidas en el botadero de desmonte y el pad
- 3.- Se indica que en el deposito de desmonte se realizará previo a la aplicación de cualquier cobertura, el desarrollo de las actividades de estabilización física, mediante el corte y relleno para obtener un talud estable, el tipo de cobertura a considerar en el botadero de acuerdo con el terreno de la zona, la misma que será aplicada en las superficies horizontales y laterales del botadero, para evitar la erosión y generación de polvo debe realizarse mantenimiento hasta que se

consolide, permitirá así la reducción de la filtración de agua. Así mismo se proyecta la construcción de canales de drenaje para evitar el efecto de la escorrentía superficial.

- 4.- Es necesario un mejor control en el pad de lixiviación y el tratamiento de las aguas ácidas añadiendo cal a la zona afectada a fin de que el pH suba a un valor mínimo de 6 que es el exigido por la ley.
- 5.- Se recomienda continuar con las investigaciones del impacto ambiental sobre la napa freática.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1) Barton N., Lien R. & Lunde J.:(1974). "*Engineering Classification of Rock Masses for the Design of Tunnel Support*". Rock Mechanics, Springer Verlag, vol. 6, 1974.
- 2) Bieniawski, Z.T., (1989), "*Engineering Rock Mass Classifications*", John Wiley and Sons. New York.
- 3) Bishop, A. W. (1955). "*The Use of the Slip Circle in the Stability Analysis of Slopes*". Geotechnique 5:7 - 17
- 4) Castillo J. y Alva J., 1993. "*Peligro Sísmico en el Perú*", VII Congreso Nacional de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Cimentaciones, Lima, pp.409-431.
- 5) Cesel Ingenieros (2006). "*Proyecto Aruntani Santa Rosa Informe Estabilidad Física de Botaderos*". Lima Perú.
- 6) Cesel Ingenieros (2008). "*Aruntani Santa Rosa, Características Geotécnicas Botadero*". Lima Perú.
- 7) Collazos Cerrón, Jesús. (2001). "*Manual de Evaluación Ambiental de Proyectos*". Editorial San Marcos. Lima Perú.

- 8) Corominas (1992) "*Colluvium and Taluds*" Landslide Investigation and Mitigation Special Report 247, Nacional Research Council pp. 525 – 554.
- 9) Deere, D.U. and Deere, D.W. (1988). "*The rock Quality Designation (RQD) index in Practice. In Rock Classification Systems for Engineering Purposes*", (ed. L. Kirkaldie), ASTM Special Publication 984, 91-101. Philadelphia: Am. Soc. Test. Mat.
- 10) ELAW Alianza Mundial de Derechos Ambientales. (2010). "*Guía para Evaluar EIAs de Proyectos Mineros*". 1º edición Julio 2010.
- 11) E.M. Dawson, W.H. Roth and A. Drescher A, (1999). "*Slope Stability Analysis by Strength Reduction*", Géotechnique , Vol. 49, No. 6, 1999, 835–840.
- 12) Hoek, E., (2000), "*Rock Mass Classification*", Practical Rock Engineering. Londres.
- 13) Instituto Geológico y Minero de España. (2004). "*Manual de restauración de terrenos y evaluación de Impacto ambiental en Minería*". Ingeomin. Madrid. 360 pp.
- 14) Jaeger John, N. G. Cook, and Robert Zimmerman (May 8, 2007).

"Fundamentals of Rock Mechanics". Blackwell Publishing.

- 15) Jaúreguí, Pedro (1999). *"Minería y Medio ambiente Programa Medio Ambiente"*, MINISTERIO DE EDUCACIÓN – Lima Perú.
- 16) Janbu, N. (1968). *" Slope Stability Computations"*, Soil Mech, and Found. Engrg. Rep., The Technical University of Norway, Trondheim, Norway.
- 17) Kiely Gerard. (1999). *"Ingeniería Ambiental, Fundamentos, Entornos, Tecnologías y Sistemas de Gestión"*, Vol. I, II y III. Edit. Mc Graw Hill. España
- 18) López Jimeno, Carlos. (2002). *"Manual de Estabilización y Revegetación de Taludes"*. Gráficas Arias Montano S.A. Madrid. España.
- 19) Oficina Internacional del Trabajo-Ginebra (OIT). (2001). *"Administración General del Medio Ambiente, Capacitación en Administración del Medio Ambiente"*. Editorial Alfaomega, Colombia.
- 20) Piteau Associates, (1991). *"Mined Rock and Overburden Piles: Interim Guidelines – for Investigation and Design"*. BiTech Publishers, Vancouver, British Columbia, Canada.

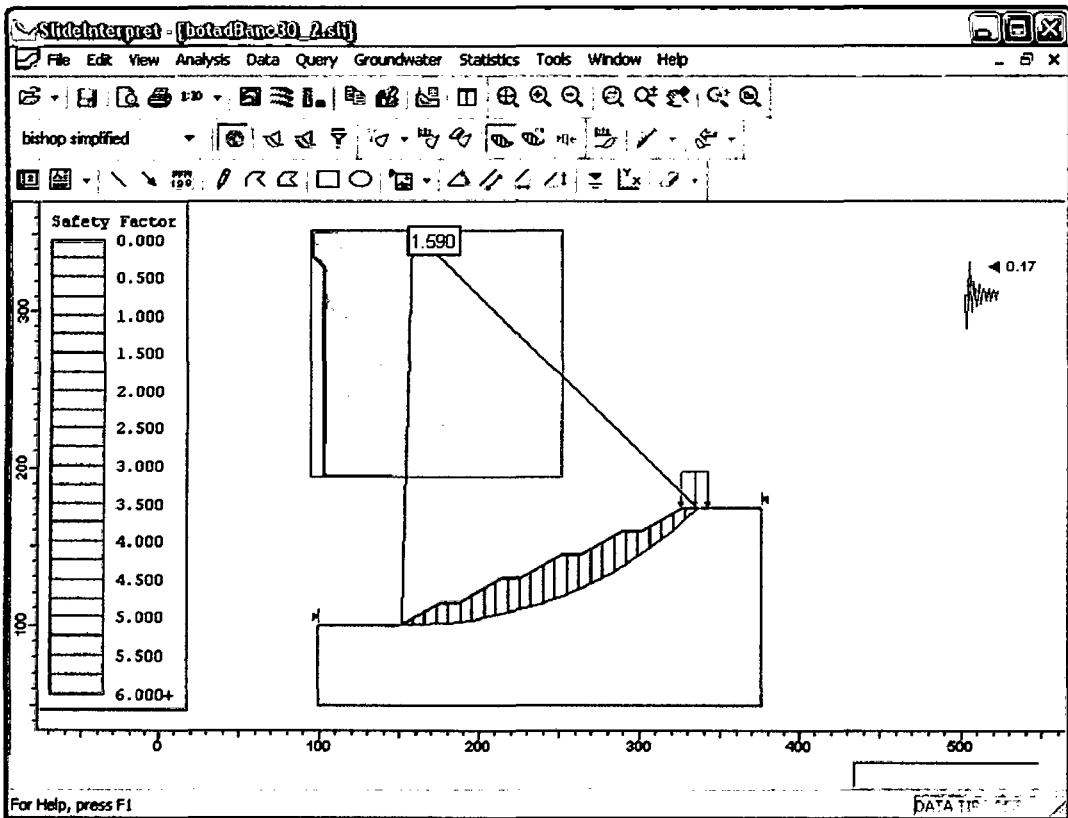
- 21) Schwalb, Maria Matilde. (2005). *“Responsabilidad social: Fundamentos para la competitividad Empresarial y el Desarrollo Sostenible”*. Universidad del Pacífico, Centro de Investigación. Lima Perú.
- 22) Seoáñez Calvo, Mariano. (1999). *“Manual de Gestión Medioambiental”*. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid.
- 23) Ucar Navarro, Roberto. Ph. D (2002) *“Manual de anclajes en Obras de Tierra”*, Universidad de los Andes, Mérida Venezuela.
- 24) Vega Faúndez, Abraham. (1999). *“Minería y Medio Ambiente”*. Ministerio de Educación. Lima. Perú.
- 25) Vega Mora, Leonel. (2001). *“Hacia la Sostenibilidad Ambiental del Desarrollo”*. ECOE Ediciones. Colombia.
- 26) Warren, R. P., (1989). *“Mine Rehabilitation Handbook”*, Australian Mining Industry Council, Canberra ACT, Australia.
- 27) Welsh, D.E., (1989). *“Planning, Design and Operation of Tailings Facilities”*. Canadian Mining Journal, Don Mills, Ontario, Canada.
- 28) Welsh, D.E., (1992). *“Mine Waste Management Practice”*, University of Queensland, Australia.

ANEXO

ANEXO 1

Resultado del Análisis para Botadero con el Slide 5.0

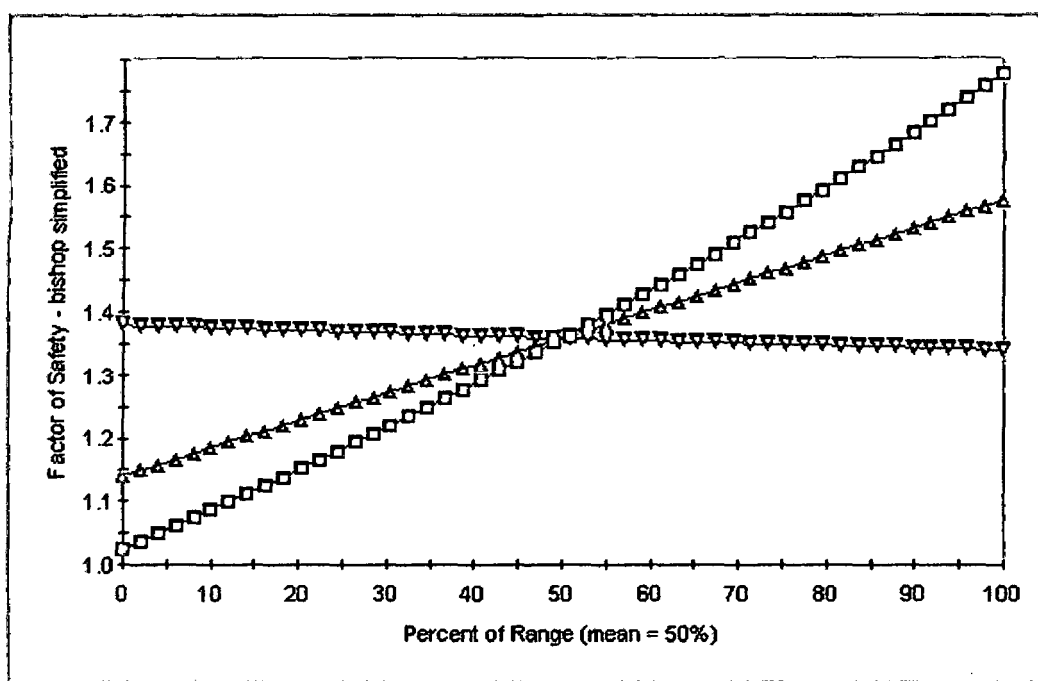
La sección del botadero proyectada para su análisis de estabilidad física tendrá un ángulo de resistencia al corte de $38,5^\circ$ y el factor de cohesión $C = 23$ kPa, un talud de 30° con banquetas de 12 m cada 15 m de altura considerando un factor sísmico de 0,17 g y una carga distribuida en el extremo simulando un volquete que descarga (figura A1.1):



Fuente: Elaboración Propia.

Figura A1.1 Depósito de Desmonte – Análisis de Estabilidad con Slide 5.

En la siguiente figura A1.2 se aprecia el análisis de sensibilidad considerando como factores la cohesión el ángulo de resistencia al corte y el peso unitario, siendo mas sensible al ángulo de resistencia al corte:



- ▲— pad : Cohesion (kN/m²)
- pad : Phi (deg)
- ▽— pad : Unit Weight (kN/m³)

Fuente: Elaboración Propia.

Figura A1.2 Análisis de Sensibilidad en caso de Botaderos.