

## ACTUALIZACION DE LOS ESTUDIOS DE FUNCIONAMIENTO DE LAS PRESAS DE COLAS EN LA ALTA CUENCA DEL RIO PILCOMAYO

Contenido	Pág.
<b>1 INTRODUCCION</b> .....	3
1.1 CUENCA DEL PILCOMAYO .....	3
1.2 ANTECEDENTES .....	4
1.3 OBJETIVO .....	4
<b>2 METODOLOGIA</b> .....	4
2.1 REVISION DE LA LITERATURA .....	4
2.1.1 Seguridad de Presas de Colas a escala internacional .....	4
2.1.1.1 Normativas .....	5
2.1.1.2 Riesgos en Presas de Colas .....	9
2.1.1.3 Estabilidad de las Presas de Colas .....	11
2.1.1.3.1 Roturas y accidentes en presas de residuos .....	11
2.1.2 Revision Normativa Boliviana en Seguridad de Presas .....	16
2.1.2.1 Reglamento ambiental para Actividades Mineras .....	17
2.1.3 Revision del estudio sobre Presas LP-I y LP-II, elaborado por el proyecto de Gestion integrada y Plan Maestro de la Cuenca del Río Pilcomayo en septiembre de 2006 .....	24
2.1.3.1 Recapitulacion del estudio realizado por Ing. Varde e Ing. Bacchiega .....	24
2.1.3.2 Nuevos aportes y consideraciones al estudio .....	29
2.1.3.3 Analisis y comentarios .....	35
2.2 TRABAJO DE CAMPO .....	41
2.2.1 Procesamiento de imagines satelitales .....	41
2.2.2 Inspecciones visuales .....	42
2.2.2.1 Inspeccion de visu .....	42
2.2.2.2 Inventario de Presas de Colas .....	42
2.2.2.3 Seleccion de Presas de Colas .....	43
2.2.3 Recopilacion de informacion .....	45
2.2.4 Levantamiento topografico .....	45
2.2.5 Toma de muestras .....	45
2.2.6 Presas de alto riesgo .....	47
<b>3 RESULTADOS DE CAMPO Y ANALISIS DE RIESGOS</b> .....	52
3.1 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD MECÁNICA .....	52
3.1.1 Metodologia de Cálculo de Estabilidad .....	53
3.1.2 Estabilidad de las Presas Seleccionadas .....	56
3.1.2.1 Lambol-Choroma .....	57
3.1.2.2 Chocaya Animas .....	59
3.1.2.3 Compotosi .....	62
3.1.2.4 San Antonio .....	66

3.2 RIESGOS FISICOQUIMICOS .....	71
3.2.1 Estabilidad química de las descargas líquidas de las presas .....	71
3.2.2 Estabilidad química de los residuos depositados en las presas .....	73
3.3 RIESGOS ESTRUCTURALES (DE FALLAS) .....	75
3.3.1 Lambol-Choroma .....	76
3.3.2 Chocaya Animas .....	81
3.3.3 Compotosi .....	86
3.3.4 San Antonio .....	82
3.4 RIESGOS GEOLÓGICOS (MAPAS DE INUNDACIÓN) .....	97
3.4.1 Lambol-Choroma .....	99
3.4.2 Chocaya Animas .....	100
3.4.3 Compotosi .....	101
3.4.4 San Antonio .....	102
<b>4 CONCLUSIONES</b> .....	<b>103</b>
<b>5 RECOMENDACIONES</b> .....	<b>105</b>
REFERENCIAS .....	105
ANEXOS .....	108
Anexo 1. Imágenes satelitales	
Anexo 2. Reporte fotográfico de las inspecciones visuales	
Anexo 3. Inventario y Ubicación de las presas de colas	
Anexo 4. Mapas cartográficos de ubicación de las presas de colas	
Anexo 5. Resultados de los análisis de suelos	
Anexo 6. Resultados de análisis químico	
Anexo 7. Memoria de cálculo de estabilidad de taludes	

## 1. INTRODUCCION

### 1.1 CUENCA DEL PILCOMAYO

La cuenca del río Pilcomayo, que se halla situada en el territorio de tres países vecinos Bolivia, Paraguay y Argentina, tiene una superficie de 270.000 km<sup>2</sup> y está habitada por aproximadamente 1.500.000 personas. Su gran extensión implica geografías muy variables, desde la Cordillera de los Andes en su nacimiento, pasando por el tramo medio del Subandino y extendiéndose finalmente hasta las llanuras del Chaco.

Su dinámica natural está dominada por la estacionalidad del clima, con alternancia de estaciones secas y húmedas que causan una altísima variabilidad de los caudales en los ríos. Se combinan características regionales semidesérticas con materiales muy erosionables en la alta cuenca, en tanto la cuenca baja presenta una pendiente muy débil, resultando una enorme tendencia a la sedimentación. Es de destacarse que la producción de sedimentos, una de las más altas del mundo, es básicamente producto de estos fenómenos naturales que se explican por el carácter geológicamente reciente de esta región.

A estos procesos naturales se suma una acción antrópica que los refuerza. La mayor contaminación de este tipo proviene de las grandes urbes existentes en la cuenca, sobre todo la ciudad de Potosí y en menor medida la ciudad de Sucre. En el caso de la ciudad de Potosí no existe un sistema de tratamiento de aguas residuales de la ciudad, por lo que las mismas son vertidas sin ningún tipo de tratamiento directamente al río de La Ribera, afluente del río Pilcomayo.

La actividad minera en la alta cuenca del río Pilcomayo, Bolivia, se remonta a 500 años atrás. Los 'diques de colas' son reservorios donde se depositan los lodos de diversa composición, con elevadas concentraciones de metales pesados y otros tóxicos, que constituyen el desecho de la actividad minera, antes de la descarga del efluente hacia un curso de agua. Es decir, constituyen una suerte de 'pre-tratamiento' de la mezcla efluente. La construcción de diques de colas surgió como una necesidad para disminuir el impacto contaminante de la descarga del efluente sobre los cursos de agua receptores. Su eventual falla puede producir tanto situaciones de emergencia como efectos de más largo plazo.

Esta masa de lodos tóxicos acumulada representa un peligro frente al riesgo de falla del dique de contención, que podría liberarla para ser transportada cuenca abajo por la corriente. Existen antecedentes de fallas de diques de colas en varias partes del mundo, entendiéndose por falla a cualquier evento que conduzca al derrame de su contenido.

La estabilidad física de las presas de colas, particularmente del dique, sigue siendo un problema importante para la industria minera, a pesar del estado avanzado de los conocimientos sobre el comportamiento hidromecánico de los materiales granulares.

De acuerdo a la Asociación Internacional de Grandes Presas (ICOLD), un 80% de las roturas y accidentes son causados por la inestabilidad del dique, debido a la presencia de agua en el depósito y los efectos negativos que produce en la estabilidad de la presa.

El aumento en la descarga de colas por el aumento en la producción de los ingenios, ha disminuido la vida útil prevista de las presas de colas construidas en Potosí.

Actualmente, los ingenios descargan las colas a razón de 3800 a 4000 Tn por día al dique de colas San Antonio, cuyo tiempo de vida útil se calcula hasta el 2014.

Esta rápida colmatación aumenta los factores de riesgo naturales de una presa de colas, como puede ser la ocurrencia de eventos de tormentas que provoquen un crecimiento del nivel de agua (con el consiguiente aumento en los niveles de sollicitación sobre los terraplenes) que podría producir un sobrepaso por sobre el coronamiento de los taludes, apertura de brechas y el consiguiente derrame de los volúmenes almacenados, producir almacenamiento de agua en distintos sectores del embalse y poner en riesgo la estabilidad de los taludes.

Las soluciones contra los problemas de inestabilidad son: buen conocimiento del origen de los problemas y aplicación sistemática de los métodos para prevenirlos.

Es necesario, entonces, contar con un monitoreo periódico de las condiciones de estabilidad y efectividad de los sistemas de prevención y control en toda acumulación de residuos mineros; especialmente cuando es ocasionada por las operaciones minero metalúrgicas del sector de la minería mediana, pequeña y las cooperativas mineras..

En consecuencia, en el Dpto de Potosí es necesario realizar un Diagnóstico de la estabilidad física de las Presas de Colas: Laguna Pampa I, Laguna Pampa II, Dique de Colas San Antonio, y otras presas de relaves significativas que se encuentren en la cuenca alta del Pilcomayo.

## 1.2 ANTECEDENTES

En octubre de 2012 La Dirección Ejecutiva de la Comisión Trinacional para el Desarrollo de la Cuenca del Río Pilcomayo, encarga a la consultora Orozco Collazos, la ejecución del presente estudio.

## 1.3 OBJETIVOS

El objetivo del presente estudio es “Actualizar los estudios de funcionamiento de las presas de colas en la alta cuenca del río Pilcomayo”

## 2. METODOLOGIA

### 2.1 REVISION DE LA LITERATURA

#### 2.1.1 Seguridad de Presas de Colas a escala Internacional

El control de la seguridad de las presas existentes, tiene por objeto la evaluación del diseño y el análisis del comportamiento estructural que cumpla con lo requerido en las Normativas. Con tal finalidad se han desarrollado diversos criterios e índices de evaluación, consagrados por decenios de uso generalizado con buenos resultados prácticos. Entre tales índices vemos en primera línea el tradicional concepto de “*coeficiente de seguridad*” (perfeccionado

por la introducción de los coeficientes parciales de seguridad) y, más recientemente, el de “*probabilidad de rotura*”.

El responsable de una Presa debe examinar y evaluar todos los principales frentes de proyecto, para verificar que se han utilizado criterios y datos apropiados. Al mismo tiempo las presas existentes deberán analizarse, teniendo en cuenta los estudios e informes de otras de igual tipo o similares, contemporáneas, para obtener una noción más acabada sobre los criterios de diseño y los métodos constructivos utilizados.

### 2.1.1.1 Normativas

En gran parte del mundo actual las condiciones socioeconómicas están en constante evolución y sus habitantes demandan un mayor conocimiento y control de los riesgos a que están sometidos, tanto por las catástrofes naturales como por las antrópicas. En tal sentido, una legislación adecuada colabora a mejorar la calidad de vida en lo que respecta a estos riesgos.

Las catástrofes y diversos incidentes generados con la falla de presas, con pérdidas de vidas y bienes así como con importantes daños al medio ambiente, han demostrado claramente la necesidad de disponer y aplicar adecuadas prácticas de seguridad implementadas en normativas.

A continuación revisaremos las legislaciones de algunos países representativos, a manera de ejemplo, lo que permitirá tener una idea sobre la importancia que dan unos países con respecto a otros a la Seguridad de Presas

#### Canadá<sup>1,2,3</sup>

El país con mayor experiencia en la construcción y control de diques de colas es Canadá que incluso tiene organizado el Comité de las Grandes Presas que reporta la naturaleza de los problemas que motivaron la rotura de presas de colas, la labor de este comité también esta complementado por el programa de las naciones unidas sobre el medio ambiente UNEP y por la Comisión Internacional de los Grandes Diques de Paris; todos estos reportes documentados demuestran que la estabilidad de los diques (presas de colas) puede estar comprometido por los siguientes mecanismos:

- Inestabilidad de las fundaciones del cuerpo del dique.
- Efecto de eventos extremos (crecidas, sismos, huracanes).
- Degradación de las propiedades del dique y de las obras (por erosión eólica, hídrica, efecto de hielo-deshielo, alteración de los materiales, daños por animales o vegetación).
- Errores de operación en el llenado, (inadecuada compactación de sedimentos en la playa, inestabilidad de taludes, rebases por falta de revancha en la cresta del dique)

Del estudio de todos estos casos, la Comisión Internacional de los Grandes Diques ha elaborado recomendaciones para prevenir, evitar o remediar estas causas de inestabilidad que sin ser disposiciones de vigencia legal en ningún estado, son posiblemente las

recomendaciones más precisas y eficientes para evitar el colapso de los diques y prevenir los daños ambientales que de ello se generan, por lo cual son muy tomadas en cuentas en proyectos importantes.

## España

Uno de los países del mundo con más presas, ha llevado a las instituciones a crear una normativa específica en cuestión de seguridad de presas. La normativa más importante a aplicar es<sup>4</sup>:

- Directiva de Planificación de Protección Civil ante el riesgo de inundaciones
- Reglamento Técnico sobre Seguridad de Presas y Embalses de 1996
- Título VII del Reglamento de Dominio Público Hidráulico: Seguridad de Presas, Embalses y Balsas de 2008

Para las presas mineras se encuentra vigente la Instrucción Técnica Complementaria 08.02.01 del Reglamento General de Normas Básicas de Seguridad Minera “Depósitos de lodos en procesos de tratamiento de industrias extractivas”, aprobada por Orden Ministerial del Ministerio de Industria y Energía de 26-04-00.

La gestión de la seguridad también ha ido evolucionando en el tiempo, en paralelo con la normativa vigente en cada momento. El Reglamento Técnico sobre Seguridad de Presas y Embalses, del año 1.996, dedica su artículo 6 a la “Vigilancia e Inspección de presas”, denominación que hasta esa fecha había asumido la antigua unidad de Vigilancia de Presas de la Dirección General del Agua, creada en el año 1959.

Pero el Real Decreto de 9/2008 ya no establece específicamente las funciones de vigilancia e inspección de presas y embalses como hacía el Reglamento, sino que define “el control de la seguridad de presa y embalse” que debe realizar la Administración competente en materia de seguridad de presas y embalses, definiéndolo como “el conjunto de actuaciones que debe realizar para verificar el cumplimiento por parte del titular de la presa de las diferentes Normas Técnicas de Seguridad”<sup>5</sup>.

De acuerdo a éstas normas, las presas en España se clasifican en función de sus dimensiones o el impacto que podría generar su rotura<sup>6</sup>:

- Por sus dimensiones:
  - **Gran presa** en caso de que la presa tenga más de 15 metros de altura ó tenga una altura entre 10 y 15 metros y tenga un volumen superior a 1 hm<sup>3</sup>.
  - **Pequeña presa**, aquélla que no es gran presa.
- Por su riesgo:
  - **Riesgo A** cuando su rotura pudiera afectar a núcleos importantes, produciendo daños personales e importantes daños materiales.
  - **Riesgo B** cuando su rotura pudiera afectar a poblaciones pequeñas, con daños materiales importantes.
  - **Riesgo C** cuando su rotura pudiera ocasionar daños moderados.

Para las presas de riesgo A y B es obligatorio elaborar un **plan de emergencia** que debe contener:

1. Análisis de seguridad de la presa
2. Zonificación territorial y análisis generado por los riesgos de rotura
3. Normas de actuación
4. Organización
5. Medios y recursos.

Además las presas deben pasar una **revisión de seguridad** en función de su categoría.

### Chile<sup>7</sup>

Con el Decreto Supremo N° 72, de 1985, Reglamento de Seguridad Minera, cuyo texto refundido, coordinado y sistematizado fue fijado mediante el D.S. N° 132 de 2002 del Ministerio de Minería, entró en vigencia el 7 de febrero de 2004, con su publicación en el Diario Oficial.

El objetivo del Reglamento de Seguridad Minera, definido en su primer artículo, es el de “establecer el marco regulatorio general al que deben someterse las faenas mineras de la Industria Extractiva Minera Nacional para:

- a) Proteger la vida e integridad física de las personas que se desempeñan en dicha Industria y de aquellas que bajo circunstancias específicas y definidas están ligadas a ella.
- b) Proteger las instalaciones e infraestructuras que hacen posible las operaciones mineras, y por ende, la continuidad de sus procesos.

Así también fue publicado en el diario oficial el 11 de abril de 2007 el decreto supremo N° 248, el reglamento para la aprobación de proyectos de diseño, construcción, operación y cierre de los depósitos de relaves. Donde en su artículo 1, capítulo 1, título 1, fija normas sobre:

- a) Procedimientos para la aprobación de los proyectos de depósitos de relaves mineros.
- b) Requisitos de diseño, construcción, operación y cierre de los depósitos de relaves mineros, y la disposición de sus obras anexas que garanticen la seguridad de las personas y de los bienes.

El Reglamento de Seguridad Minera, en su artículo 22, establece que las empresas deberán presentar, antes del inicio de sus operaciones, para la aprobación del SERNAGEOMIN, el método de explotación o cualquier modificación mayor al método aceptado. Además, deberán presentar un Proyecto de Plan de Cierre de la faena respectiva. Por otra parte, en toda la extensión del reglamento de seguridad Minera se describen normas que deben cumplir las empresas y que este Servicio Nacional debe fiscalizar.

### Argentina

Con la creación del Organismo Regulador de Seguridad de Presas (ORSEP), mediante el decreto 239 del Poder Ejecutivo Nacional del año 1999, como autoridad de aplicación de los

contratos de concesión en materia de seguridad de presas, las treinta presas concesionadas por el Estado Nacional en la década del '90 se encuentran reguladas a través de un marco normativo incluido en los citados contratos<sup>8</sup>. Sin embargo ésta organización abarca solamente a las presas de agua, y todavía no existe institución responsable de las presas de colas.

El Código de Minería (CM) sancionado por el Congreso Nacional el 25 de noviembre de 1886, establece los sistemas de dominio respecto a las sustancias minerales y determina como se adquiere, como se conserva y como se pierde el derecho a aprovechar los yacimientos minerales.

Por disposición de la Constitución Nacional (artículo 75, inciso 12) existe un solo CM para todo el país, correspondiendo su aplicación a las autoridades nacionales o provinciales según donde estuviesen situados los recursos mineros. Donde el CM establece los derechos de fondo y regula los procedimientos adquisitivos y extintivos de esos derechos, mientras que las provincias establecen las normas procesales formales para el ejercicio de tales derechos ante las autoridades mineras pertinentes.

En materia de Seguridad Minera, las Leyes de mayor importancia son la N° 24.498 de Actualización Minera y la N° 24.585 de Protección Ambiental<sup>9</sup>. La Legislación Ambiental de la República Argentina, mediante Ley 24.196 "Promoción de Inversiones Mineras", reglamentada por el Decreto 2.686/94, establece la presentación de una Declaración Jurada de Impacto Ambiental, y modificada de acuerdo a Ley 25.429 sancionada el 3 de Mayo de 2001, y luego promulgada el 21 de Mayo de 2001<sup>9</sup>.

Esta Ley N° 24.585 incorporada como Título Décimotercero, Sección Segunda "De la Protección Ambiental para la Actividad Minera", al Texto Ordenado del Código de Minería, por Decreto N° 456/97, modifica el artículo 282 del Código de Minería de la Nación, adoptándolo al nuevo texto de la Constitución Nacional, especialmente en su artículo 41, e incorpora al Código de Fondo el título Complementario "De la Protección ambiental para la Actividad Minera", cuya normativa tiene por objeto complementar los preceptos contenidos en la Ley de Protección Ambiental para la Actividad Minera, convirtiéndose en la primer Ley ambiental aplicada a un sector específico de la economía nacional que da uniformidad y homogeneidad jurídica en todo el territorio nacional.

Y se consideran parte integrante de la presente normativa a<sup>10</sup>:

Anexo II: "Informe de Impacto Ambiental para la Etapa de Exploración"

Anexo III: "Informe de Impacto Ambiental para la Etapa de Explotación"

Anexo IV: "Niveles Guía de Calidad de Agua, Suelo y Aire"

Artículo 14<sup>o</sup>, De las Normas de Protección y Conservación Ambientales

Artículo 23<sup>o</sup>, Artículo 24<sup>o</sup>, De la Responsabilidad ante el Daño Ambiental, etc.

### **Bolivia**<sup>11,12,13</sup>

En el país no tenemos normativa legal específica para la construcción y evaluación de la seguridad de los diques de colas.

En una guía ambiental de presas de colas elaborada por el Ministerio de Desarrollo

Económico y el Vice Ministerio de Minería y Metalurgia el año 2001 (no había Ministerio de Minas en esa época) se formula el siguiente marco legal referido a las presas de colas en general:

- Reglamentos generales de la Ley 1333
- Código de Minería, Ley 1777
- Reglamento Ambiental para Actividades Mineras RAAM:
  - Disposición de residuos sólidos (título V, capítulo III)
  - Manejo de Aguas (Título V, Capítulo III, Sección II)
  - Mantenimiento (Título V, Capítulo III, Artículo 41)
  - Monitoreo (Título V, Capítulo III, Artículo 42)
  - Clasificación de los PDC según el RAAM (Título V, Capítulo IV)
  - Almacenamiento de acumulaciones de residuos de menor volumen (Título V, Capítulo V)
  - Manejo de residuos sólidos (Título IX, Capítulo III)

Lo sobresaliente de esta publicación elaborada por Knight Piésold Consultores S.A., es el objetivo de la guía para dar estabilidad física y seguridad ambiental a las presas de colas y señala que para lograr esos objetivos es importante la coordinación de esfuerzos entre el concesionario minero, la gerencia de la mina, el consultor, y el personal de operaciones y secuencia cíclica lógica consistente en cuatro componentes principales que son:

**Planeamiento:** Abarca todas las actividades de diseño, incluyendo las medidas correctivas, definición de responsabilidades del equipo de manejo de la presa de colas y la preparación de todos los procedimientos de construcción, operación, mantenimiento, seguridad, monitoreo y emergencia.

**Implementación:** Se refiere a la ejecución práctica de actividades de planeamiento arriba citadas, incluyendo la supervisión, documentación de algunos cambios en el diseño, y capacitación del personal.

**Inspección:** Abarca las auditorías regulares, monitoreo, muestreo y otras actividades que se necesitan para establecer la conformidad con los requerimientos legales y de planeamiento actuales.

**Interpretación:** Es el análisis de los resultados de las inspecciones con respecto a la Ley, las preocupaciones públicas y las políticas y estándares de la compañía. Esta fase ofrece una comprensión de los problemas y proporciona información (retroalimentación) acerca de los resultados del planeamiento, cerrando, de ésta manera el ciclo en mención.

#### 2.1.1.2 Riesgos en Presas de Colas

Riesgo es la Contingencia o proximidad de un daño. Desde un punto de vista cualitativo, está ligado al resultado imprevisto de las actividades, acciones y decisiones de diferentes actores sociales. Así entendida, la noción de riesgo reemplaza a la que asocia a los desastres con la fortuna, el azar o la fatalidad y pone énfasis en la responsabilidad en las acciones.

De acuerdo con el estándar Británico BS 8800 (1996), un “riesgo” es la combinación de la probabilidad de que un evento peligroso ocurra, y el efecto de sus consecuencias. Así mismo, define al “análisis de riesgo” como el proceso para estimar la magnitud de un riesgo y decidir si es o no aceptable.

Para poder “medir” el riesgo, su expresión más generalizada es el producto de la probabilidad de ocurrencia de un evento considerado (potencial acción de una amenaza, absoluta o referida a un período de tiempo determinado) por las consecuencias esperadas (condiciones de vulnerabilidad de una comunidad).

Entonces:  $Riesgo = Amenaza \times Vulnerabilidad$ . El Análisis de Riesgo es una metodología que, conjuntamente con el juicio del experto de la ingeniería, asistirá a la comprensión total de la seguridad de la presa<sup>14</sup>.

El uso principal de la Evaluación del Riesgo está en los estudios de las presas para identificar procedimientos de seguridad crítica y para asignar grados de la prioridad para los estudios detallados. Los estudios detallados, conjuntamente con estudios determinísticos normales, proporcionan los datos para la toma de decisiones.

En la tabla 2.1, siguiente se muestra la categorización según el riesgo potencial de una presa de colas.

Tabla 2.1. Categorización según el riesgo potencial de una presa

CATEGORÍA	A	B	C
RIESGO	ALTO	SIGNIFICATIVO	BAJO
Pérdida directa de vidas	Seguro (en uno o más desarrollo residencial, comercial o industrial)	Incierto (localización rural con pocas residencias y solamente desarrollo transitorio o industrial)	No se esperan (debido a la localización rural sin viviendas)
Pérdida de servicios esenciales	Interrupción de instalaciones esenciales y de vías de comunicación a niveles críticos	Interrupción de instalaciones esenciales y de vías de comunicación	Ninguna interrupción de servicios, las reparaciones de los daños es simple o rápidamente reparable
Pérdidas en Propiedades	Extensa sobre instalaciones públicas y privadas	Mayor afectación pública y en instalaciones privadas	Tierras agrícolas privadas, equipos y edificios aislados
Pérdidas Ambientales	Alto costo de la mitigación o imposible de mitigar	Se requiere una mitigación importante	Daño incremental mínimo

Fuente: Crecidas y Presas: Pautas e Historia de Casos, Boletín N° 125, International Committee On Large Dams (ICOLD), septiembre de 2003.

Así, las presas de tierra pequeñas (menores a 15 m de altura – ICOLD, 2008), son estructuras comunes en los países en vías de desarrollo, por su alta relación beneficio a costo. Pese a su conveniencia, durante su diseño y construcción no siempre se consideran aspectos teóricos suficientes, lo que reduce la confiabilidad de las estructuras, y por consecuencia aumentan los niveles de riesgo de una eventual falla.

### 2.1.1.3 Estabilidad de las Presas de Colas

La función principal de las presas de residuos mineros consiste en almacenar permanentemente estériles sólidos y retener temporalmente los efluentes líquidos, ambos procedentes de las plantas concentradoras.

En las últimas décadas se ha progresado bastante en el diseño ingenieril de las presas de residuos, debido principalmente a las exigencias en seguridad y protección ambiental. Sin embargo se han producido desgraciadamente accidentes con elevado número de pérdidas humanas y materiales debido a las roturas de las presas con grandes avalanchas de lodos.

#### 2.1.1.3.1 Roturas y accidentes en presas de residuos

El comité de Estados Unidos de Grandes Presas (ICOLD), efectuó en el año 1994 un análisis sobre las causas de las roturas y accidentes ocurridos en las presas de residuos en operación, y en abandono a nivel mundial. El estudio considera que una presa ha sido afectada por una rotura cuando existe colapso del depósito, y es accidente cuando la presa ha sido dañada por deformaciones o erosiones que no comprometen su estabilidad.

Fueron definidas las siguientes causas de accidentes: rebosamiento (desbordamiento), inestabilidad del talud, efectos sísmicos, deficiencias de la cimentación, deficiencias de la estabilidad del dique relacionadas con el flujo de agua subterránea, deficiencia estructural de obras hidráulicas de control del agua superficial y de drenaje, daños por erosión de la superficie y hundimiento de minas situadas bajo las presas.

En la tabla 2.2, se muestran las estructuras que fueron afectadas por roturas y los accidentes durante las fases de operación y abandono. Se observa que el número de presas que sufrieron roturas durante la fase de operación es aproximadamente siete veces mayor que las presas colapsadas durante la fase de abandono.

Este hecho es debido fundamentalmente a la existencia de un alto nivel freático durante la construcción del depósito, que impone las condiciones para que ocurran fenómenos de licuefacción, erosión interna y colapsos del talud. La evaluación de las causas que se describen en la tabla 2, determina que el 80% de las roturas y accidentes están relacionadas con la presencia del agua en el depósito, y los efectos negativos que produce en la estabilidad de la presa.

Así, el rebosamiento se origina cuando no se ha provisto una estructura hidráulica, que evacue los volúmenes de una avenida extraordinaria que entra en el depósito. La inestabilidad de los taludes, generalmente es el producto de la presencia de altas presiones de poro y taludes de fuerte pendiente. La ocurrencia de un evento sísmico puede generar licuefacción de sectores ocupados por limos, limos arenosos y arenas finas sumergidas y de densidades bajas presentes en el depósito.

Tabla 2.2. Causas de Rotura y Accidentes en Presas Operativas y Abandonadas<sup>15</sup>

CAUSA	PRESAS OPERATIVAS			PRESAS ABANDONADAS		
	ROTURAS	ACCIDENTES	TOTAL	ROTURAS	ACCIDENTES	TOTAL
Desbordamiento	13	3	16	4	0	4
Inestabilidad del talud	22	18	40	1	1	2
Sismo	18	5	23	0	10	10
Cimentación	8	10	18	1	0	1
Flujo agua subterránea	10	10	20	0	0	0
Estructural	7	6	13	0	1	1
Erosión	0	2	2	0	0	0
Desplome de mina	3	0	3	0	0	0
Desconocido	16	0	16	3	0	3
<b>Total</b>	<b>97</b>	<b>54</b>	<b>151</b>	<b>9</b>	<b>12</b>	<b>21</b>

El flujo de agua subterránea puede originar fenómenos de erosión interna en el cuerpo del dique con densidades bajas; y, finalmente, la rotura de la cimentación también está asociada con fenómenos que se producen por la presencia de un flujo de agua en los suelos susceptibles a la erosión interna, y deslizamiento que afectan a los materiales de la cimentación.

En la tabla 2.3, se muestran los incidentes ocurridos en varios tipos de presas, incluyendo presas de almacenamiento de agua. Las presas del tipo de aguas arriba tienen el mayor porcentaje de incidentes (42%), mientras que en las presas construidas con el método de la línea central tienen el menor porcentaje de incidentes (6%).

Tabla 2.3. Incidentes Según el Tipo de Presa<sup>15</sup>

TIPO DE PRESA	ROTURAS	ACCIDENTES	AGUA SUBTERR.	TOTAL
Aguas arriba	48	27	2	77
Aguas abajo	6	18	3	27
Centradas	1	9	1	11
Relación de agua	16	9	6	31
Desconocido	35	3	1	39
<b>Total</b>	<b>106</b>	<b>66</b>	<b>13</b>	<b>185</b>

En la tabla 2.4, se muestran las causas de fallas y accidentes ocurridos en las presas construidas con el método agua arriba. De los 75 casos estudiados las roturas por inestabilidad del talud y efectos sísmicos representando el 67% siguen las roturas por desbordamiento, 10%, roturas por erosión interna, 11%; rotura estructural 4%. También en estos casos, la presencia del nivel freático es el causante de la mayoría de los incidentes, si se tienen en cuenta que un gran número de las roturas y accidentes han sido ocasionados por la presencia de fenómenos de licuefacción, deslizamientos de taludes y erosión interna.

Tabla 2.4. Presas Tipo Aguas Arriba en el Mundo. Causas de Rotura y Accidentes

CAUSA	ROTURAS	ACCIDENTES	TOTAL	%
Rebosamiento	7	0	7	10
Inestabilidad del talud	17	8	25	33
Sísmo	14	11	25	33
Cimentación	3	2	5	7
Flujo de agua subterránea	4	4	8	11
Estructural	2	1	3	4
Erosión	0	1	1	1
Desplome de mina	0	0	0	0
Desconocido	1	0	1	1
<b>Total</b>	<b>48</b>	<b>27</b>	<b>75</b>	<b>100</b>

Fuente: U.S. COLD (United States Comité on Large Dams). 1994

En general, la manera en que una presa de residuos puede colapsar está relacionada con sus funciones básicas: roturas hidráulicas, debidas a la erosión de la superficie de la estructura; filtraciones excesivas o incapacidad para resistir filtraciones a través de la presa o su cimentación y roturas estructurales, como deslizamiento o colapso estructural del dique o su cimentación.

En la tabla 2.5, se recogen los casos más significativos de presas que han sufrido rotura en los últimos diez años y los efectos de los mismos, y en la tabla 2.6, rotura de presas en los años 1988 al 1999<sup>16,17</sup>.

Tabla 2.5. Rotura de presas en los últimos años

FECHA	LUGAR	EMPRESA	YACIMIENTO	INCIDENTE	IMPACTO
Oct-10	Hungria (*)			Falla en el dique de colas	Población destruida, 9 personas muertas, material de pH alto, se contaminó una sección larga del río
Dec-08	Kentucky, USA (*)			Falla en el dique de colas	Destruyo 4 casas, contaminó 3 Km de río.
Apr-06	Shaanxi, China	Zhenán, County, Gold Minino, Corp. Ltda..	Oro	Colapsó, durante la sexta etapa de crecimiento	Contaminaron 5 Km, aguas abajo del río Huashui, 17 familias afectadas, por la contaminación del cianuro y potasio.
Apr-05	Mississippi, USA	Mississippi, Phosphates Corp.	Fosfato	Falla por exceder su capacidad	64,350.0 m <sup>3</sup> de ácido, destrozó la vegetación adyacente.

Tabla 2.5. Continuación

FECHA	LUGAR	EMPRESA	YACIMIENTO	INCIDENTE	IMPACTO
Sep-04	Florida, USA (*)			Falla de inundación	230.000 m <sup>3</sup> de agua ácida liberada
Nov-04	Lago Pinchi, Canada	TeckCominco, Ltda.	Mercurio	Colapso durante la operación, la presa de 12 m de alto por 100 m de ancho	6,000 a 8,000 m <sup>3</sup> de desechos, dañaron 5,500.0 Ha del lago Pinchi
Sep-04	Riverview, Florida, USA	CargillCrop. Nutrition	Fosfato	Se rompió el dique debido a un Huracan	227,000.0 m <sup>3</sup> de ácido líquido afectó la Bahía de Archie Creek
May-04	Partizansk, Primorski, Krai. Rusia	Dalenergo	Ceniza de carbón	Colapso el dique de 1 Km <sup>2</sup> de área	160,000.0 m <sup>3</sup> de ceniza fluyó a través de un canal de drenaje tributario del río Partizankaya
Mar-04	Malvesi, Aude. Francia	Comurhex	Uranio	Falla del dique, debido a una torrencial lluvia.	30,000.0 m <sup>3</sup> de pulpa, con una concentración elevada de nitrato, dañaron el canal de Tauran.
Oct-03	Cerro Negro, provincia Petorca, quinta región . Chile	Compañía minera Cerro Negro	Cobre	Falla en el dique de colas	50,000.0 Tn de colas, dañaron 20 Km aguas abajo del río La Ligua.
Aug-02	Filipinas (*)			Derrame de colas después de una fuerte lluvia	Villas inundadas con colas, contaminación de lagos y ríos, 250 personas evacuadas
Nov-01	Singleton, NSW (*)			Caso de Tuberías	Flujo surgió antes de la rotura de la Presa
Oct-01	Guangxi, China (*)			Falla en el dique de colas	115 personas muertas, 100 casas destruidas
Jun-01	Minas Gerais, Brasil (*)			Falla en el dique de colas	Colas fluyeron 6 Km y 5 personas muertas

Fuente: FOBOMADE, boletín N° 32, 2008

(\*) DSC3F, Dams Safety Committee - New South Wales, Junio 2012

Tabla 2.6. Rotura de Presas en los años 1988 al 1999

FECHA	LUGAR	EMPRESA	EXTRACCION	VERTIDO	IMPACTO
26 Abril 1999	Placer, Surigas del Norte, Filipinas	Manila Mining Corp. (MMC)	Oro	700.00 t	17 Casas enterradas y 51 hectáreas cubiertas de lodo
24 Abril 1998	Corta de los Frailes Aznalcóllar, España	BolidenApirsa, S.L.	Cinc, Plomo, Cobre y Plata	5.000.000 m <sup>3</sup>	Miles de hectáreas cubiertas de lodo
24 Agosto 1996	Porco, Bolivia	Comsur-Rio Tinto	Cinc, Plomo y Plata	400.000 t	300 km de río Pilcomayo contaminados
Marzo 1996	Marcoper, islas Marinduque, Filipinas	Place Dome Inc.	Cobre	1.500.000 t	1.200 personas evacuadas de las márgenes del río
Diciembre 1995	Goleen Cross, Nueva Zelanda	Coeur d' Aléne	Oro	3.000.000 t	
2 Septiembre 1995	Placer, Suriagao del Norte, Islas Filipinas	Manila Mining Corp.	Oro	50.000 m <sup>3</sup>	12 personas muertas y contaminación del Litoral Marítimo
10 Agosto 1995	Omai. Guyana	Cambior-Golden StarResources	Oro	4.200.000 m <sup>3</sup>	80km de Río Esequibo declarado zona catastróficas
22 Febrero 1994	Harmony, Merriespruit, Sudáfrica	Cambior-Golden StarResources	Oro	600.000 m <sup>3</sup>	17 personas muertas. Grandes daños de la ciudad minera.
Enero 1988	Padcal, Luzón, Islas Filipinas	Piles Mining	Cobre	80.000.000 t	
30 Abril 1988	Jinduicheng, China		Molibdeno	700.000 m <sup>3</sup>	20 personas muertas
19 Enero 1988	Grays Creek, Tennesse, Estados Unidos	Tennessee Consolidated Coal	Carbón	250.000 m <sup>3</sup>	

Fuente: U.S. COLD (United Status Comité on Large Dams). 1994

En resumen las causas principales por las cuales han fallado la gran mayoría de las presas de colas son:

- Deficiencia en el sistema de drenaje de la presa
- Falta de control, auscultación y vigilancia de la presa durante la construcción
- Terremotos en la zona de la presa
- Recrecimientos excesivos

Por lo tanto, se puede afirmar que las fallas, son producto de eventos y aspectos que no son tomados en cuenta en las distintas etapas de la construcción de la presa de colas. Por ello,

es necesario tener un mayor grado de conocimientos en torno a las presas y su comportamiento durante su ciclo de vida, para así tomar acciones encaminadas a disminuir el riesgo y las consecuencias de posibles eventualidades.

### 2.1.2 Revisión Normativa Boliviana en Seguridad de Presas

La reglamentación ambiental vigente para el sector minero, impone a que las actividades mineras cumplan con la respectiva adecuación ambiental, por lo que se hace necesario iniciar las acciones correspondientes para cumplir con la ley.

La Ley N° 1333 o Ley del Medio Ambiente consta de 118 artículos en 12 títulos y 34 capítulos, los cuales contienen normas generales sobre el medio ambiente, incluyendo varios aspectos sobre la población y su salud. Por otra parte, incluye aspectos relacionados a recursos naturales renovables y no renovables, educación ambiental, participación ciudadana y establecimiento de sanciones.

El objeto de esta ley está especificado en su primer artículo, que a la letra dice: “La presente Ley tiene por objeto la protección y conservación del medio ambiente y los recursos naturales, regulando las acciones del hombre con relación a la naturaleza y promoviendo el desarrollo sostenible con la finalidad de mejorar la calidad de vida de la población”

La Ley del Medio Ambiente se fue enriqueciendo como un instrumento práctico, con la Reglamentación a partir de la promulgación del Decreto Supremo N° 24176 el 8 de diciembre de 1995. La norma de la Ley del Medio Ambiente cuenta con seis reglamentos referidos a los procedimientos generales sobre prevención y control del medio ambiente, materiales que contaminan la atmósfera, materiales que contaminan el agua, actividades y sustancias peligrosas y control de desechos sólidos.

La sinopsis del contenido de los seis reglamentos es como sigue:

- Procedimientos de protección ambiental general: Compilación general sobre determinación y ejecución de actividades referidas al desarrollo sostenible.
- Prevención y control ambiental: Evaluación de impacto ambiental (EIA) y control de calidad ambiental (CCA).
- En materia de contaminación atmosférica: Prevención y control de contaminación del aire para mejoramiento de calidad de vida y salud de la población.
- En materia de contaminación hídrica: Prevención y control de contaminación de aguas.
- Para actividades que manipulan sustancias peligrosas: Dentro del marco de desarrollo sostenible, el establecimiento de métodos de gestión relacionados a reducción de riesgos en actividades que manipulan sustancias peligrosas.
- Del manejo de desechos sólidos: Establecimiento de uso adecuado de los desechos sólidos con posibles efectos sobre seres humanos y animales.

El reglamento ambiental para actividades mineras (RAAM), aprobado mediante Decreto Supremo N° 24782 el 31 de Julio de 1997, consta de 13 títulos, de cuyos artículos extractamos lo más sobresaliente:

- La gestión ambiental en minería, es un conjunto de acciones para la protección del medio ambiente, donde es voluntaria la acreditación de las empresas, y los gobiernos municipales son las encargadas de controlar el impacto ambiental de las actividades mineras.
- Toda operación minera debe contar con una licencia ambiental para la realización de actividades mineras.
- El operador minero debe realizar una Auditoría Ambiental de Línea Base (ALBA)
- El informe técnico de la ALBA es parte integrante de la licencia ambiental, y deberá presentarse juntamente con el Manifiesto Ambiental.
- Sí el operador minero no realiza el ALBA, asume la responsabilidad de mitigar todos los daños ambientales originados por su actividad minera.
- Las aguas residuales inyectadas ó infiltradas en acuíferos, deben cumplir con los límites máximos establecidos para la clase de acuífero.
- Se prohíbe botar, abandonar, ó depositar, residuos sólidos minero-metalúrgicos en áreas no autorizadas, y en forma diseminada o desordenada.
- El transporte de residuos desde el lugar de generación hasta el de almacenamiento o disposición final debe realizarse previniendo riesgos que amenacen la vida, la salud de las personas o el medio ambiente.

El operador minero debe cerrar y rehabilitar el área de sus actividades mineras, dentro y fuera del perímetro de su concesión, cuando concluye parcial o totalmente sus actividades mineras, en conformidad a lo dispuesto en su respectiva licencia ambiental, ó abandona por más de tres años sus operaciones ó actividades mineras.

#### 2.1.2.1 Reglamento ambiental para Actividades Mineras

Es necesario desglosar minuciosamente los artículos más relevantes que comprende éste reglamento, principalmente los relativos a las operaciones que producen residuos mineros metalúrgicos, y tienen que ver con la implementación, administración y seguridad de las presas de colas, ya que es el instrumento legal que da los lineamientos a seguir, y que rige las actividades mineras en Bolivia:

### **TITULO I DE LA GESTION AMBIENTAL EN MINERIA**

ARTÍCULO 1º La gestión ambiental en minería es un conjunto de acciones y procesos para la protección del medio ambiente desde el inicio hasta la conclusión de una actividad minera.

La gestión ambiental en la empresa debe definirse al más alto nivel de decisión, integrarse en los planes de producción y ser de conocimiento de todo el personal.

### **TITULO V DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS MINERO - METALURGICOS**

#### **CAPITULO I DEL OBJETO Y ALCANCE**

ARTÍCULO 31° El concesionario u operador minero para el manejo de residuos sólidos minero - metalúrgicos, con o sin valor económico, cumplirá con los principios y normas establecidas en el presente título.

ARTÍCULO 32° Son residuos sólidos minero - metalúrgicos:

- 1) los materiales de desencape en minas a tajo abierto o en minas de yacimientos detríticos;
- 2) los desmontes provenientes de la remoción de material estéril en minas subterráneas;
- 3) los descartes de operaciones de preconcentración;
- 4) las colas arenas - gruesas de procesos de concentración;
- 5) las colas arenas - finas y lamas de procesos de concentración;
- 6) las pilas o acumulaciones de residuos generados en cualquier tratamiento hidro o electrometalúrgico, como roca triturada, barros, lodos y materiales lixiviados; y
- 7) escorias y otros residuos de procesos pirometalúrgicos.

## CAPITULO II DE LA CLASIFICACION

ARTÍCULO 33° Las acumulaciones de residuos sólidos minero – metalúrgicos se clasifican:

- 2) Por la forma de almacenamiento
  - 2.2) **PRESAS DE COLAS.**- Son aquellas en las que se almacenan residuos con agua, formando pulpa o lodos.
- 3) Por el volumen del residuo
  - 3.1) De gran volumen.- son acumulaciones de residuos con volumen total proyectado mayor a 50,000.0 m<sup>3</sup>
  - 3.1) De menor volumen.- Son acumulaciones de residuos con volumen total proyectado, menos o igual a 50,000.0 m<sup>3</sup>.

## CAPITULO III DISPOSICIONES GENERALES

ARTÍCULO 34° Se prohíbe botar, abandonar o depositar residuos sólidos minero - metalúrgicos en áreas no autorizadas y en forma diseminada o desordenada.

ARTÍCULO 35° El transporte de residuos desde el lugar de generación hasta el de almacenamiento o disposición final debe realizarse previniendo riesgos que amenacen la vida, la salud de las personas o el medio ambiente.

ARTÍCULO 36° El diseño, construcción, operación, mantenimiento y cierre de presas, depósitos y rellenos deben realizarse por profesionales especializados en la materia.

### Sección I

De la ubicación de residuos

ARTÍCULO 37° Toda acumulación de residuos minero metalúrgicos debe ubicarse:

- 1) A una distancia o posición que en caso de accidente no destruya fuentes de aprovisionamiento de agua ni afecte las ciudades, poblaciones, construcciones, canales, lagos, vías férreas, caminos, aeropuertos, etc. etc.
- 2) En áreas donde no se presenten inundaciones, arrastres, deposiciones de material o escurrimientos de lodo en magnitudes que podrían afectar la operación o la estabilidad de la acumulación

Sección II

Del manejo de aguas en áreas de acumulación de residuos

ARTÍCULO 38° Toda acumulación debe contar con un sistema de drenaje pluvial adecuado para controlar y resistir la avenida máxima que pudiera llegar al sitio.

ARTÍCULO 39° La descarga a un cuerpo receptor del agua decantada en una presa de colas y de aquella que se infiltre hacia el fondo de una presa, de un depósito de residuos o de un relleno, debe cumplir los límites permisibles establecidos en el Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica, aprobado mediante D.S. N1 24176 de 8 de diciembre de 1995 y las disposiciones del presente título.

ARTÍCULO 40° El piso de toda nueva acumulación de residuos debe impermeabilizarse siguiendo lo dispuesto en los artículos 29° y 30° del presente reglamento.

Sección III

Del Mantenimiento

ARTÍCULO 41° Los concesionarios u operadores mineros deben contar con un manual de mantenimiento rutinario y las medidas de reparación de los principales componentes y servicios de la acumulación durante la construcción, operación, cierre y post-cierre.

Los componentes y servicios de la acumulación sujetos a inspección, mantenimiento y en su caso reparación son:

- 1) fundaciones;
- 2) bermas y gradientes de taludes;
- 3) sistemas de alimentación de residuos a la acumulación;
- 4) sistemas de drenaje;
- 5) sistemas de captación de escurrimientos;
- 6) sistemas de decantación y transporte de efluentes;
- 7) reservorios, plantas y sistemas de tratamiento de aguas;
- 8) sistemas de recirculación de aguas; y
- 9) caminos o vías de acceso.

Sección IV

Del Control y Monitoreo

ARTÍCULO 42º Toda acumulación de residuos minero - metalúrgicos debe contar con un sistema de monitoreo que permita conocer periódicamente sus condiciones de estabilidad, la efectividad de los sistemas de prevención y control de la contaminación.

El monitoreo debe realizarse durante los períodos de construcción, operación, cierre y post-cierre hasta la conclusión de la actividad minera.

ARTÍCULO 43º Los concesionarios u operadores mineros deben llevar un libro de control en el cual, según corresponda, se registre:

- 1) volumen y tonelaje almacenado, indicando la altura alcanzada por la acumulación;
- 2) variaciones de las características de los residuos;
- 3) volúmenes de agua almacenados, recirculados y descargados; y
- 4) datos de control y monitoreo que incluyan:
  - 4.1) análisis de aguas descargadas;
  - 4.2) calidad de agua de cuerpos superficiales y subterráneos aledaños;
  - 4.3) mantenimiento y estado de los sistemas, dispositivos y conductos de desague.
  - 4.4) operación, mantenimiento y resultados del tratamiento de aguas en planta; y
  - 4.5) efectos de precipitaciones atmosféricas, sobrecarga de hielo y/o nieve y movimientos sísmicos sobre la acumulación del residuo.

Si de los precitados datos se detectarán anomalías que pudieran producir inestabilidad de la acumulación o peligro de contaminación del medio ambiente se anotarán las medidas adoptadas en el libro de control.

El control y monitoreo durante el cierre y post-cierre debe registrarse en el libro de control, el cual estará a disposición de la autoridad ambiental competente cuando esta realice inspecciones.

ARTÍCULO 44º En el caso de presas de colas, el libro de control debe incluir además de lo señalado en el artículo precedente los siguientes registros:

- 1) densidad de la pulpa descargada en la presa;
- 2) granulometría del material depositado en el dique de la presa;
- 3) control del balance de agua;
- 4) donde corresponda, registro del nivel freático y de la presión de poro en el dique;
- 5) capacidad de desagüe de la presa, cuando corresponda;
- 6) distribución de tamaño y límites de Atterberg de las colas o del material de préstamo utilizados para la elevación del dique;
- 7) longitud de playa y altura de bordo libre;
- 8) velocidad de la elevación del dique de la presa;
- 9) registro de la presencia de fisuras paralelas o transversales a la corona de los taludes;
- 10) depresiones visibles de la corona del talud o expansión al pie del talud;
- 11) desplazamientos visibles horizontales o verticales al pie de los taludes;
- 12) grietas en los taludes y en el suelo al pie del talud;

- 13) filtraciones en los taludes;
- 14) presencia visible de infiltración al pie del talud; y
- 15) control de lodos en los afluentes de circulación y drenes.

#### CAPITULO IV DEL PROYECTO DE UNA ACUMULACION DE RESIDUOS DE GRAN VOLUMEN

ARTÍCULO 45° La construcción de toda nueva acumulación de residuos Minero - Metalúrgicos de gran volumen requiere de un proyecto, que debe formar parte de la licencia ambiental, en el que se demuestre la factibilidad de su construcción, operación, estabilidad, cierre y rehabilitación del área afectada.

ARTÍCULO 46° El proyecto al que se refiere el artículo anterior debe contener:

- 1) el alcance y contenido del proyecto;
- 2) producción de residuos sólidos (ton/día, ton/mes, ton/año, incluyendo % de sólidos para pulpas);
- 3) características físicas y químicas de los residuos incluyendo características de peligrosidad;
- 4) selección y planos topográficos del sitio;
- 5) estudios hidrológicos e hidrogeológicos de la cuenca de almacenamiento y del sitio de la deposición;
- 6) condiciones geotécnicas de rocas y suelos en el piso de la acumulación, en la fundación del dique y áreas de empotramiento;
- 7) estudios geoquímicos para la identificación de las interacciones de los fluidos que se infiltren desde la presa, con el suelo;
- 8) criterios de diseño y plan de diseño;
- 9) criterios de selección de materiales de construcción;
- 10) evaluación del diseño en cuanto a la estabilidad de la acumulación, a sus impactos ambientales y a las medidas de mitigación;
- 11) planos y direcciones para la construcción, incluyendo planos en detalle;
- 12) preparación del sitio, impermeabilización y sistemas de drenaje;
- 13) manual de operación, control y mantenimiento;
- 14) plan de monitoreo y control;
- 15) planes de emergencia;
- 16) plan de cierre y rehabilitación;
- 17) programa de control y mantenimiento de post-cierre;
- 18) costo de inversión, operación, cierre, rehabilitación y post-cierre;
- 19) cronograma de ejecución; y
- 20) Estudio de Evaluación de Impacto Ambiental (EEIA).

ARTÍCULO 47° Se prohíbe el empleo de los siguientes materiales en la construcción de diques de presas:

- 1) lodos de pantanos;
- 2) turba, troncos, cepas y materiales perecederos;
- 3) material proclive a combustión espontánea; y

- 4) arcilla con un contenido líquido mayor a 80% y/o con un índice de plasticidad superior a 55%.

ARTÍCULO 48° En el caso de presas de colas, concluida la etapa de construcción inicial de la presa, el concesionario u operador minero evaluará el correcto funcionamiento de los sistemas de desagüe y drenaje y su estabilidad y resistencia.

Esta evaluación deberá contar con el aval del ingeniero responsable del diseño. Los resultados de dicha evaluación se registrarán en el libro de control referido en los artículos 43° y 44° del presente reglamento.

La construcción inicial del dique de la presa comprende la compactación del suelo, su impermeabilización, la construcción de los sistemas de desagüe de la presa, de drenaje de la base del dique de arranque (starterdam) y la construcción de este último.

## CAPITULO V

### DE LAS ACUMULACIONES EXISTENTES DE GRAN VOLUMEN

ARTÍCULO 49° Los concesionarios u operadores mineros deben evaluar la estabilidad de las acumulaciones de gran volumen existentes dentro del perímetro de su concesión o en sus áreas de actividades mineras relacionadas con la concesión y la contaminación que estas acumulaciones podrían producir a base de los siguientes estudios, acciones y pruebas:

- 1) revisión de los estudios de diseño, informes de construcción y de operación de la acumulación que incluya la cantidad almacenada y la forma de deposición;
- 2) análisis de las condiciones geotécnicas, topográficas, hidrológicas, hidrogeológicas y ambientales del depósito y del área circundante;
- 3) análisis de estabilidad de la acumulación;
- 4) caracterización físico - química del material almacenado (en el caso de presas se debe incluir el material del dique);
- 5) evaluación del sistema de decantación y drenaje;
- 6) caracterización del potencial de generación de agua ácida;
- 7) niveles de contaminación atribuibles a la acumulación y estado de contaminación de los cuerpos de agua superficiales;
- 8) contaminación del suelo y vegetación circundante; y
- 9) análisis de riesgos y evaluación del impacto en las comunidades circundantes en caso de fallas y accidentes.

ARTÍCULO 50° A base de los estudios y acciones mencionados en el artículo precedente, el concesionario u operador minero elaborará un informe que incluya como mínimo lo siguiente:

- 1) descripción de la acumulación; que incluya ubicación UTM, extensión, perfil, altura, planos generales, métodos de construcción y operación, capacidad proyectada total, características del material acumulado, potencial de contaminación incluyendo generación de drenaje ácido;

- 2) evaluación del método de construcción, de la estabilidad, de los sistemas de drenaje y de las condiciones de operabilidad de la acumulación;
- 3) evaluación de la contaminación generada por la acumulación y su impacto ambiental;
- 4) medidas que aseguren la estabilidad de la acumulación, medidas para aminorar la contaminación y cumplir los límites permisibles, con estimación de costos;
- 5) plan de cierre y rehabilitación del área con estimación de costos;
- 6) plan de emergencia; y
- 7) recomendaciones para continuar la operación o cerrar la acumulación.

## CAPITULO VI DE LAS ACUMULACIONES DE MENOR VOLUMEN

ARTÍCULO 52° El concesionario u operador minero está obligado a elaborar un plan para el manejo conjunto de las acumulaciones de menor volumen que se encuentren dentro del Perímetro de su concesión, dicho plan es parte integrante de su respectiva licencia ambiental.

ARTÍCULO 53° El plan de manejo conjunto incluirá lo siguiente:

- 1) Ubicación definitiva de las diferentes acumulaciones de menor volumen, cumpliendo lo dispuesto en el artículo 37° del presente reglamento.
- 2) Sistemas de transporte desde el lugar de generación del residuo hasta el sitio de su ubicación final.
- 3) Medidas para asegurar la estabilidad, medidas de mitigación y de control de la contaminación.
- 4) Programa de control, monitoreo, mantenimiento, cierre y rehabilitación del área.

## TÍTULO IX DE LAS ACTIVIDADES MINERAS MENORES CON IMPACTOS AMBIENTALES CONOCIDOS NO SIGNIFICATIVOS

### CAPITULO III DEL MANEJO DE RESIDUOS SÓLIDOS

ARTÍCULO 98° El concesionario u operador minero de las AMIAC debe llevar un inventario y registro de los residuos minero - metalúrgicos (desmontes, descartes de palla, colas y relaves) existentes o a generarse en sus actividades, que incluya:

- 1) descripción general de sus operaciones;
- 2) identificación de las etapas en que se generan los residuos;
- 3) toneladas de la acumulación de residuos a la fecha del registro y total proyectado;
- 4) tamaño de las partículas (granulometría) y características mineralógicas y petrográficas del material; y
- 5) croquis de ubicación del sitio de disposición final de los residuos.

Este inventario y registro debe presentarse en el formulario EMAP del Anexo "II" al momento de tramitar la licencia ambiental correspondiente.

ARTÍCULO 99º Toda nueva acumulación de residuos minero-metalúrgicos debe ubicarse:

- 1) a una distancia mínima de cien (100) metros de cuerpos de agua y alejados de instalaciones de servicio de la mina (campamentos y talleres);
- 2) previniendo estancamientos de aguas superficiales (de cursos establecidos o de escorrentía);
- 3) evitando el cambio de uso del suelo aledaño;
- 4) asegurando espacio suficiente para almacenar la totalidad proyectada de los residuos;
- 5) asegurando la estabilidad física y previniendo la posibilidad de hundimientos, subsidencia y asentamientos; y
- 6) separando residuos sulfurosos de otros residuos.

### 2.1.3 Revisión del estudio sobre Presas LP-I y LP-II, elaborado por el proyecto de Gestión Integrada y Plan Maestro de la Cuenca del Río Pilcomayo en septiembre de 2006

El estudio de las "Presas de Relave Lagunas Pampa I y Pampa II", sobre la evaluación de la Seguridad, Aspectos Geotécnicos, Hidráulicos e Hidrológicos, elaborado por los Ingenieros Oscar A. Vardé y Jorge D. Bacchiega en Septiembre de 2006, encomendada por el Proyecto de Gestión Integrada y Plan Maestro de la cuenca del río Pilcomayo, resalta el Sistema de transporte de colas, el Sistema de bombeo y descarga de colas en los diques, y, el Sistema de evacuación de aguas clarificadas, realizando una serie de consideraciones sobre las condiciones operativas de Laguna Pampa I y Laguna Pampa II, de las cuales para una mejor comprensión y posterior análisis reproducimos del estudio mencionado el resumen siguiente:

#### 2.1.3.1 Recapitulación del estudio realizado por Ing. Varde e Ing. Bacchiega

##### Presas (3.1)

- La **Pampa I** comenzó sus operaciones en el año 2004, con una vida útil proyectada de 20 meses.
- La construcción de la presa **Pampa II**, efectuada en último término, ha sido controlada en su calidad de ejecución y materiales empleados. La **Pampa I**, en cambio, ha sido recreada sobre una estructura básica preexistente, de la cual no se tiene información precisa.
- En la actualidad la presa **Pampa I** se encuentra operando al límite de su capacidad, a punto tal que el nivel de los materiales depositados se encuentra por encima del nivel de coronamiento de la presa, basándose la operación en el manejo de las descargas de colas controladas por grifos (spigots, fotos 10 y 11, Anexo Nº 2) con el objeto de formar playas, como elemento de control de la estabilidad del terraplén y de las filtraciones a través de la presa.
- Mientras que La **Pampa II** se construyó posteriormente, comenzando a operar en agosto de 2005. El área de ambos reservorios es del orden de 10 ha, con un volumen estimado en su primera fase del orden de 820.000 m<sup>3</sup>.

## Sistema de Conducción y Evacuación de Colas (3.2)

### Sistema de transporte de colas

- Está conformado por una serie de 32 cámaras interconectadas a una red de canales entubados que finalmente descargan los excedentes a una tubería principal de 14" de diámetro, materializada mediante un conducto de HDPE de clase PN 8 de 21.1 mm de espesor. Las pendientes de diseño establecidas para esta conducción resultan superiores al 5 %.

### Sistema de bombeo y descarga

- El sistema de bombeo está compuesto por una ante cámara de succión, de hormigón armado que sirve para la alimentación de dos unidades de bombeo, una para cada uno de los diques de colas que conforman el sistema de almacenamiento mediante tuberías de 6" y 8" (Fotografías N° 35 y N° 36). Las unidades de bombeo existentes, según los antecedentes consultados, están conformadas por una bomba DENVER 10x8, una bomba en "Stand by" GALHIGHER 8x6 y una bomba DENVER 3x3.
- Los conductos de impulsión son emplazados en los coronamientos de ambos diques (Fotografías N° 37 a N° 39), a partir de los cuales se alimentan las canaletas de distribución de colas ("spigots") emplazadas en forma periférica.

### Sistema de evacuación de aguas clarificadas.

- Este sistema estaba conformado inicialmente por las denominadas "cachimbas" o torres de decantación que permitían la evacuación de las aguas clarificadas mediante conductos emplazados debajo del cuerpo de las presas.
- Actualmente la descarga se produce mediante canales alimentados de torres de evacuación emplazadas en la periferia de ambos diques. En el caso del dique Laguna **Pampa I**, se cuenta con un único canal de descarga C-I ubicado en la sección inicial del terraplén A, y está compuesto por una torre de hormigón que posee una abertura lateral que actúa como vertedero de descarga.
- Agua abajo de la torre de descarga el sistema de evacuación del dique **Pampa I** se complementa con un canal que permite el encauzamiento de las aguas. En cuanto al sistema de descarga del dique Laguna **Pampa II**, el mismo cuenta con cuatro torres de evacuación emplazadas sobre el extremo final del terraplén C y sobre el sector de cierre sur del mismo. En la Figura N° 3 se aprecia la ubicación de las torres señaladas.
- Además de los aportes provenientes del sistema de transporte de colas, los diques reciben el aporte pluvial en épocas donde se registran precipitaciones en la zona. Estos aportes se producen en forma directa sobre la superficie de almacenamiento encerrada por los terraplenes que conforman ambos diques y por el aporte de un sector emplazado en el lado Este de los mismos. En las Fotografías N° 19 y N° 25 pueden apreciarse los sectores mencionados correspondientes a la laguna Pampa II.

## ANÁLISIS (4)

### Presas (4.1)

- Los recrecimientos efectuados permitieron la prolongación del período operativo del sistema hasta el momento actual, donde parte de las obras se encuentra en condiciones límite en lo que se refiere a garantizar condiciones de seguridad aceptables en los aspectos geotécnicos e hidrológico-hidráulicos.
- Debe considerarse, por cierto, que el efecto beneficioso que podría generar la formación de playas no puede cuantificarse rigurosamente y, por lo tanto, utilizarse como un elemento fundamental en la seguridad de una presa, hasta el extremo de no respetar las revanchas habituales entre niveles de playa y presa.
- Hay además que tener en cuenta que al balance necesario de esta variación en función de los caudales y del manejo de las colas debería necesariamente adicionarse el incremento externo posible por lluvias y aportes hídricos.
- Es importante destacar que una de las causas más frecuentes de fallas de presas es el sobrepaso de los líquidos y materiales de colas por encima del coronamiento de la presa, que conduce necesariamente a un colapso rápido del terraplén.

### Consideraciones sobre el sistema de transporte (4.2.1)

- De acuerdo a las condiciones de emplazamiento de esta conducción, el mismo presenta pendientes relativamente elevadas (superiores al 5 %) que le confieren una importante capacidad de conducción, superior a las máximas descargas previstas actualmente desde los ingenios. En efecto, según las consignas de operación establecidas en los antecedentes consultados, el conjunto de ingenios agrupados en la Asociación de Ingenios Mineros de Potosí cuenta con una capacidad promedio de producción de 100.000 ton/mes, lo que determina la necesidad de evacuar un caudal promedio de colas del orden de los 130 l/s a 150 l/s. De este total, el conducto de polietileno recibe aproximadamente un 70 % que determina un caudal de transporte del orden de los 90 l/s a 105 l/s, inferior a la capacidad máxima a superficie libre que presenta el conducto.
- Con respecto al tramo de conducción de la colas conformado por el canal a cielo abierto de sección trapecial, se observa que el mismo también cuenta con capacidad de transporte suficiente como para conducir los caudales máximos provenientes de los ingenios en operación.
- El principal inconveniente observado con relación al tramo de conducción a cielo abierto está dado por su ubicación relativa respecto del río Huayna Mayu. En efecto, tal como se aprecia en las fotografías adjuntas en el Anexo 2, el sistema se desarrolla, en gran parte de su recorrido, prácticamente en el valle y cauce natural del río Huayna Mayu. Esta circunstancia determina que, frente a un potencial evento de crecida, el sistema de conducción se encuentra directamente expuesto a la acción de la corriente natural con un severo riesgo de derrame del material transportado.

#### Consideraciones sobre los aportes y descargas del sistema (4.2.2)

- El agua liberada debe ser evacuada a través de las torres y canales de descarga que, en el caso de los diques analizados se emplazan en la periferia de cada embalse, sobre el terreno natural.
- A los factores antes señalados debe agregarse la factibilidad de manejo adecuado de los aportes naturales provenientes de precipitaciones intensas que pudieran producirse en el entorno de los diques. Estos aportes comprenden no solo los derivados de la precipitación directa sobre los embalses, sino también de los escurrimientos que pudieran generarse en las áreas de aporte linderas a los mismos.

#### *Control y monitoreo de los aportes de colas*

- Cabe destacar que se ha informado la intención de mantener una descarga del 20 % del total de aportes al dique Laguna **Pampa I** y el volumen restante al dique Laguna **Pampa II**. No obstante, se ha encontrado en la documentación antecedentes de porcentajes potenciales de aporte de entre el 20 % y el 40 % al dique Laguna **Pampa I**.
- La distribución mensual promedio de los caudales de pulpa totales ingresados a ambos diques en el período Enero – Agosto de 2006, es de 150 l/s.

#### *Relación sólido - líquido*

- Según los antecedentes consultados, del caudal total afluente a los diques, solo un 20 % está conformado por sólidos que decantarán en el dique, conformándose un 80% restante de líquido que deberá ser adecuadamente manejado.
- De acuerdo a los valores promedios informados, el caudal medio de salida de aguas clarificadas resultó de 100 l/s, es decir un 66 % del caudal medio ingresante de pulpa.
- En cuanto a los aportes de sólidos, tal como se dijo, resultan del orden del 20 % del caudal ingresado, registrándose, en el primer semestre del año, valores variables entre 3165.71 t/día y 3732 t/día. Según lo informado, se prevé un aporte de colas de ingreso de 3580.80 t/día constantes en el período en el cual se pretende ampliar la utilización del sistema. Esto implica un crecimiento del almacenamiento mensual de colas secas del orden de los 116000 m<sup>3</sup>.

#### *Manejo, distribución y frecuencia de las descargas de colas*

- Tal como se señaló, el adecuado proceso de operación de los diques de colas en un potencial período de prolongación, dependerá fuertemente del adecuado manejo que se realice de las colas ingresantes al sistema.

#### *Capacidad de evacuación y monitoreo de las obras de descarga*

- A los fines de verificar la capacidad de descarga que presentan las mencionadas estructuras de evacuación, se estableció una ley altura caudal aproximada (Figura N° 5). Según la mencionada ley de descarga, cada torre resulta capaz de evacuar caudales variables con la altura, pudiendo descargar, por ejemplo, caudales del orden de los 400 l/s con cargas de 0.40 m por sobre su cresta.

### **Análisis de Riesgos**

- Los factores de riesgo vinculados directamente con la seguridad actual y futura de las obras, por la posibilidad de rotura de alguno de los terraplenes de contención, son el **Crecimiento desmedido del nivel de agua** con el consiguiente aumento en los niveles de sollicitación sobre los terraplenes. Esta condición podría inducir a un sobrepaso por sobre el coronamiento de los taludes, la apertura de brechas y el consiguiente derrame de los volúmenes almacenados, y el **Crecimiento excesivo de los niveles de pulpas** que pudiera exceder la capacidad de almacenamiento de los diques y, al igual que el caso anterior, poner en riesgo la estabilidad de los taludes.
- Entre aquellos que pueden causar perjuicios en la operación y/o alterar las condiciones ambientales del entorno, están la contemplación de **los aportes naturales** como factor importante en la definición de las capacidades de evacuación requeridas. Estos caudales eventuales pueden generar una insuficiencia en la capacidad de descarga del sistema y, por ende traducirse en un incremento de los niveles líquidos almacenados. Estos aspectos no figuran en los balances realizados como parte del plan de prolongación de la vida útil de los diques.
- Resultaría evidente, entonces, la necesidad de **complementar el sistema de salida con canales perimetrales en el sector “Este” del terraplén** a los fines de facilitar el acceso de los excedentes hacia la boca de salida.
- El sistema de descarga de la laguna **Pampa II** se encuentra en mejores condiciones de operación, si se habilitan la totalidad de las obras de salida existentes en el sector sur del mismo.
- Las condiciones observadas en la Laguna Pampa II resultan, con relación a ambos aspectos (crecimiento de niveles líquidos y crecimiento de sedimentos depositados) ciertamente más aliviadas, si bien resulta imprescindible un control exhaustivo de los volúmenes líquidos y sólidos aportados, de los caudales evacuados y del nivel de crecimiento de las pulpas.

### **Conclusiones**

- a) La presa Pampa I se encuentra en la actualidad en una situación tal que no permite garantizar un grado de seguridad aceptable frente al riesgo de sobrepaso o de falla parcial localizada.
  - **Por esta circunstancia se recomienda no continuar con su utilización.**
  - Se recomienda asimismo continuar con un sistema de monitoreo adecuado al ya existente para controlar el comportamiento de la obra mientras se elabora un plan de cese del uso de la presa y rehabilitación del área.
- b) La presa Pampa II dispone aún de margen operatorio por un período de tiempo cuya duración precisa debería ser evaluada con mayor rigurosidad por el Operador.
  - Es necesario cuantificar con precisión la tasa de crecimiento de los depósitos sedimentados y consecuentemente la evolución de las revanchas.
  - Será necesario verificar y/o adecuar los sistemas de descarga existentes a fin de contemplar la evacuación, no sólo de las aguas clarificadas, sino también de los aportes pluviales posibles.

Justifican y documentan sus conclusiones mediante un análisis de riesgos considerando los aspectos hidráulicos e hidrológicos del sistema, así como las condiciones en las que está planteado el manejo y evolución de aportes al sistema, e ilustran sus conclusiones con una amplia documentación fotográfica de las principales fallencias detectadas contenidas en el anexo 2 de donde extractamos la siguiente secuencia de fotos ilustrativas.



Foto. N°2.1. Laguna Pampa I Detalles de factores de riesgo (A. Vardé y J. D. Bacchiego)

### 2.1.3.2 Nuevos aportes y consideraciones al estudio

Por consiguiente, y en base a las observaciones, recomendaciones y conclusiones del Estudio realizado por los Ingenieros Vardé y Bacchiega, expuesta en la recapitulación anterior, nos permitimos indicar que coincidimos plenamente en todos los aspectos señalados, y encontramos que es un valioso aporte para los propósitos de este nuevo estudio, pues permitirá evaluar el estado de las mismas presas de relaves, 6 años después de que los consultores hayan alertado sobre los niveles de riesgo que tienen estas estructuras, y constatar si se han tomado las medidas preventivas y correctivas que los autores señalan en su informe. Sin embargo tal vez es necesario dar una mirada retrospectiva en el tiempo, y hacer una reminiscencia, para entender la evolución de los Diques Laguna pampa I y II, no con el ánimo de salir en defensa de unos y en desmedro de otros, sino ver donde se origina el problema y aprender de errores pasados para evitar en el futuro volver a cometer los mismos errores.

Para una mejor comprensión dividiremos las partes componentes del estudio en: El sistema de transporte de colas, desde sus orígenes hasta la deposición final en Laguna Pampa I y/o Laguna Pampa II, luego la Presa Laguna Pampa I, posteriormente Laguna Pampa II, y finalmente el sistema de aportes naturales de agua y descargas de aguas claras.

### Sistema de transporte de colas

La descarga de las colas de las plantas concentradoras de los Ingenios, en los años 2004 y 2005, se iniciaba en la zona de aguas claras (altura de la circunvalación) y continuaba hasta

la calle batallón colorados, donde a lo largo de este trayecto las colas se mezclaban con las aguas servidas de la ciudad y a partir de este punto vale decir la calle batallón colorados, recién eran transportadas mediante una canaleta que continuaba por la zona de Cantamarca y desembocaban para ser acumuladas en el Dique de colas de Laguna Pampa.

Normalmente las plantas concentradoras de los Ingenios, descargaban sus residuos con 10 a 15% de sólidos, pero como desde la calle batallón colorados hacia arriba, las colas de los ingenios se mezclaban con las aguas servidas y otros aportes de agua que ingresaba a la canaleta a lo largo de su trayectoria, éstas diluían las colas hasta un promedio de 6 % de sólidos, ocasionando un serio problema en el manejo del dique; porque se recomienda descargar a los diques pulpas con 45 a 55 % de sólidos.

### **Presa Laguna Pampa I**

La administración autónoma para Obras sanitarias (AAPOS) de la ciudad de Potosí inició a mediados de 1998 negociaciones para un proyecto de alcantarillado en el marco de la cooperación Financiera entre Alemania y Bolivia. El componente N° 1 de ese proyecto estaba orientado a la construcción de un sistema de recolección de las colas generadas por los Ingenios Mineros establecidos en la ciudad de Potosí, así como del dique de Colas San Antonio (DCSA) para reducir y controlar la contaminación causada por éstos ingenios mineros ubicados en el área territorial del Municipio de Potosí, y en especial su impacto en el Río Pilcomayo. En base a este concepto, AAPOS incluyó en su estructura orgánica una división Dique de Colas San Antonio como autoridad ejecutiva responsable para la planificación, organización y supervisión del manejo del dique de Colas San Antonio<sup>19</sup>.

La construcción de todas las obras correspondientes para el Sistema Dique de Colas San Antonio, estaba prevista para ser realizada entre marzo de 2001 y julio de 2002, con el financiamiento de la KfW alemana con el 80% del costo total del proyecto, y el 20% restante la Prefectura y la Alcaldía como contraparte nacional. Sin embargo debido a varios factores entre ellos el incumplimiento a compromisos por la parte nacional, hizo que el cronograma se retrasara, y la presión social especialmente del departamento de Chuquisaca, que reclamaba parar la contaminación del río Pilcomayo por causa de los residuos mineros, obligó a las autoridades dar celeridad a la construcción del sistema de recolección de las colas.

Es así que la necesidad de mitigar el impacto ambiental negativo por la descarga de las colas de los ingenios mineros de la ciudad de Potosí, al río de la Ribera, al Río Alja Mayu y al Río Suku mayu, afluentes del Río Pilcomayo, el Vice Ministerio de Minería y Metalurgia instruye la construcción de una Presa de Colas, denominado “**Dique Provisional Laguna Pampa**”, adjudicándose el diseño y la construcción, la Fundación MEDMIN, que encarga a la empresa EMCOVAR la construcción y a la Consultora COINSAP el diseño del Dique, cuyo volumen inicial antes de los cortes de terreno era de 100,000.0 m<sup>3</sup>, y luego de los cortes del terreno llegó a 151,421.15 m<sup>3</sup>, con un área total 34,772.24 m<sup>2</sup>, y, creciendo el dique 3 m con las colas, el volumen llegaría a 228,814.44 m<sup>3</sup>, donde para una recepción diaria de 850 t/d, el tiempo de vida estimado fue de 2 años 1 mes y 13 días. Dándose inicio a las operaciones del Dique de Colas Laguna Pampa el 4 de marzo de 2002<sup>20</sup>.

A principios del mes de setiembre del año 2004, la AIP se hace cargo del manejo del dique de colas de Laguna Pampa, que hasta ese momento era administrado por AAPOS. Realizada la inspección in situ, observaron que la coronación de la presa inicial ubicada en el sector éste presentaba grietas, y, filtraciones al pie del talud del Dique Sur, esto por efecto de un manejo inadecuado de las colas, ya que no consideraron fortalecer los muros de las presas formando playas, sino que descargaban las colas al dique por gravedad, lo que hacía que se formara el espejo de agua en la cara Este del dique, con el consiguiente debilitamiento del mismo. Pese a estas falencias la AIP toma la responsabilidad de hacerse cargo porque era la única forma de garantizar la continuidad de sus operaciones.

Como primera medida para corregir esos errores técnicos, instalaron un sistema de bombeo para operar por el método aguas arriba, transportando las colas al dique ubicada al Este de la Presa, para formar el espejo de agua al extremo opuesto, es decir al Oeste, consolidando y formando playas en el dique de la zona Este, preparando de esa manera el crecimiento del Dique, para darle un tiempo más de vida. Lográndose un crecimiento promedio de 1.3 m en las presas Este y Norte y en las presas Nor-Oeste y Sur un crecimiento de 0.30 m.

Sin embargo, tropezaron con dos problemas: 1º) La cantidad excesiva de agua en la pulpa, que tenía un promedio de 6 % de sólidos y 2º) la cantidad de colas que eran depositadas en el dique.

El primer problema, como se explicó anteriormente era de origen.

El segundo problema era la excesiva cantidad de colas que llegaba al dique.

Sí tomamos en cuenta que se recomienda un área de 10 a 12 hectáreas para 1000 toneladas, para una eficiente sedimentación y un crecimiento adecuado que permita consolidar el dique; el dique Laguna Pampa recibía en ese momento aproximadamente 2,000.0 toneladas de descarga de colas por día para un área de 5.4 hectáreas, vale decir 4 veces más.

## **Presa Laguna Pampa II**

Como se conoce Potosí es uno de los departamentos que más se dedican a la explotación de recursos mineralógicos; constituyéndose en la principal fuente de divisas del departamento y del país, en el año 2004 trabajaban aproximadamente 10,000 mineros cooperativistas con una producción promedio de 3,000.0 t/d, de los cuales 2,500.0 t/d eran absorbidos por los 26 Ingenios pertenecientes a la “Asociación de Ingenios”, que se encuentran en la misma ciudad de Potosí, donde los efluentes de la flotación, eran descargados sin medidas adecuadas de prevención ambiental al Dique de Colas de Laguna Pampa.

Para solucionar este problema de contaminación ambiental, la Cooperación Alemana contrató a la Consultora FICHTNER, para realizar un estudio de factibilidad sobre un dique de colas, denominado “Dique de Colas San Antonio”, dique común para todas las plantas concentradoras de la ciudad de Potosí, que solucionaría el problema ambiental de los ingenios de la ciudad, cuyo financiamiento estaba comprometido a través de un crédito de la Cooperación Financiera Alemana – KfW.

Sin embargo, se estimó que recién a principios del año 2006 se estuviera iniciando la construcción de este anhelado proyecto, este inconveniente obligó a la Asociación de Ingenios, a buscar nuevas alternativas, para evitar el impacto ambiental negativo de descargar sus colas directamente al río Alja Mayu, ya que el dique de colas Laguna Pampa, en operación no tenía la suficiente capacidad para recibir la descarga de todas las plantas de los ingenios, por tanto era imperiosa la **ampliación del dique de colas de Laguna Pampa** denominado "**Laguna Pampa II**", considerando una **operación temporal** mientras dure la construcción del dique de colas de San Antonio.

El año 2005 se elaboró un proyecto para el diseño, construcción, operación y cierre del dique de colas Laguna Pampa II (LP-II), el cuál fue aprobado por la Unidad Sectorial de Medio Ambiente del Vice Ministerio de Minería y Metalurgia, de donde extractamos las partes más importantes, porque dan respuesta a algunas interrogantes planteadas intrínsecamente en el estudio de Vardé y Bacchiega, y que nos permitirá entender claramente donde se originan los problemas. Es así que para el diseño de Laguna Pampa II se tomaron en cuenta las siguientes consideraciones conceptuales, que por su importancia transcribimos in extenso: "Sí bien, actualmente el dique de colas de Laguna Pampa está recibiendo colas entre 6 y 10% de sólidos debido a que existen aportes externos de agua, para el diseño del nuevo dique, las condiciones serán diferentes, porque no se puede manejar un dique con esa dilución, sin poner en riesgo la estabilidad del mismo, por tanto lo que se pretende hacer es lo siguiente: Los ingenios descargarán las colas con 15 % de sólidos, como esa dilución es todavía muy peligrosa para un buen manejo del dique, se tiene planificado transportar las colas por medio de una tubería de 14 pulgadas de diámetro, desde la circunvalación (zona de aguas claras) hasta la calle batallón colorados, eliminando de esta manera el aporte de las aguas servidas de esa parte de la ciudad. Y luego esas colas con 15 % de sólidos, serán espesadas de 25 a 30% de sólidos en el tanque espesador de 30 m de diámetro por 6 m de altura, que se encuentra en el Ingenio Velarde, y éstas colas antes de ingresar al dique de Laguna Pampa II, serán nuevamente espesadas hasta un 40 a 50 % de sólidos en dos espesadores de láminas colocadas en serie, con lo que conseguiremos un material óptimo para el crecimiento adecuado del dique, utilizando para la distribución de las colas un sistema combinado de ciclones y spigots"<sup>21</sup>.

La totalidad de las plantas tenían una capacidad de tratamiento promedio de 2,000.0 t/d, produciendo Colas algo así como 1,600.0 t/d con 10% de sólidos, Pero como la cotización internacional de los minerales subió, motivó a que los Ingenios aumenten su capacidad, proyectándose por lo tanto para realizar el diseño del dique, a los siguientes valores: 2,500 t/d de tratamiento, con una producción de colas de 2,200.0 t/d.

La capacidad de embalse sobre terreno natural era de aproximadamente 94.192,0 m<sup>3</sup>, volumen insuficiente, entonces se tuvo que realizar un corte en el terreno de aproximadamente 3,6 m de altura promedio en un área de 31.700,0 m<sup>2</sup> obteniendo un volumen de 114.500,0 m<sup>3</sup>, con lo que el volumen de embalse en una primera etapa sería de 208.692,0 m<sup>3</sup>, correspondiente a una vida útil de 4,6 meses. Por tanto era necesario elevar el dique, con las mismas colas y obtener un volumen de almacenamiento total para la elevación final a 3.769 m de aproximadamente 826.000,0 m<sup>3</sup>, extendiéndose la vida útil de la Presa Laguna Pampa II a 18 meses.

Pero para cumplir este propósito que garantice la correcta operabilidad del dique, debían cumplirse los siguientes aspectos:

- 1°. Instalación de otra bomba de mayor capacidad.
- 2°. La rehabilitación del tanque espesador ubicado en el ingenio Velarde, de propiedad de Comibol, que permitirá reducir la cantidad de agua y mejorar el porcentaje de sólidos. Este trabajo tenía un 70 % de avance.
- 3°. La instalación de una tubería de 14" de diámetro que empalme al canal de la batallón colorados hasta la circunvalación, así los ingenios de esa zona podrán encausar sus residuos por una tubería, consiguiendo de esta manera independizar totalmente las colas de los ingenios de las aguas servidas.
- 4°. El cambio de la canaleta por tubería de H°A° de 24", en la zona de Cantumarca.
- 5°. La construcción de cámaras de H°C° con sus respectivas válvulas, a la salida de cada uno de los ingenios, para ejercer mayor control y cumplir el cronograma de descargas.
- 6°. Como medida de contingencia, se ha considerado la construcción de cuatro piscinas de decantación, a 200 m al Nor-Oeste del dique de Laguna Pampa, con la capacidad suficiente para recepcionar las colas por un tiempo de cuatro horas, en caso por ejemplo, de un corte intempestivo de energía eléctrica<sup>22</sup>.

#### Sistema de transporte y distribución de colas

El material denso proveniente del espesador Lamella, que representa el 40% de sólidos, debía ser distribuido de la siguiente manera:

En una primera etapa, las colas en el dique debían ser distribuidas por un ciclón donde el underflow del ciclón descargará en la cara aguas arriba del dique, cambiando de posición a medida que se levanta el dique. Mientras que para la descarga del overflow del ciclón, a través de mangueras flexibles serían colocadas de tal manera que descarguen lamas lejos del talud aguas arriba de la cara del dique.

En una segunda etapa la descarga de las colas en el dique serían distribuidas por gravedad a una tubería matriz de descarga (HDPE 6 pulg. de diámetro) que incorporaría una sección en forma de "T" de 4 pulg. de diámetro cada 10 m de largo del perímetro del dique. A las tuberías de distribución de 4 pulg. se debía conectar una manguera flexible de 3 pulgadas y de esa manera controlar el flujo de colas en cada manguera por medio de una simple válvula de pellizco.

El dique de colas en sí también puede ser considerado como espesador, donde la cantidad de agua de colas que fluirá al dique cada día será de 3 281 m<sup>3</sup>, dando un margen para la humedad atrapada en colas, más la filtración mínima y las pérdidas por evaporación, que ocurren durante la vida del dique, la cantidad total máxima de agua de colas que necesita ser extraída del estanque del dique es aproximadamente de 2 482 m<sup>3</sup>/d, mediante el método de torres de decantación, y el agua recuperada mediante drenaje de las filtraciones tanto del piso como del dique al estanque de sedimentación que se encuentra al pie del dique, será aprovechada en un 70% por los Ingenios Lambol y Santa Lucia. Esta cantidad variará durante la vida del dique a medida que cambien las pérdidas por evaporación y filtración,

siendo la tendencia general la de una reducción en la cantidad de agua que se necesita extraer a lo largo de la vida del dique.

### Operación del dique

La operación exitosa de la construcción de diques dependerá en alto grado, de un efectivo sistema de distribución de las colas, y un buen manejo de las tuberías de descarga. Los métodos que recomendamos para el transporte es una combinación de los flujos por gravedad y por bombeo (cicloneo).

La secuencia de las etapas más importantes que controlan la operación son las siguientes:

- a) Clasificación de relaves: se utiliza ciclones para separar la parte fina, dentro de la fracción arenosa para construir un muro estable
- b) Distribución de fracciones: el muro se construye con la fracción arenosa del Underflow del ciclón, con una concentración de 65 – 75 % sólidos y menos de 15 % de finos, los que son conducidos por tuberías ó canaletas hasta el coronamiento del muro. Las arenas son depositadas en capas las que drenan la humedad y son compactadas hasta una Densidad Relativa sobre 60 %. La fracción de lamas son enviadas directamente al embalse conservando una revancha mínima admisible, con peso unitario muy bajo y altamente comprensibles, formando una playa aguas arriba del muro.
- c) Recuperación de aguas: a cierta distancia de la playa se forma una laguna de aguas claras, con menor elevación de nivel para la estabilidad del muro perimetral. Se recuperan mediante torres colectoras. El otro caudal corresponde a la captación del sistema de drenaje debido a la filtración del muro de arenas permeable.
- d) Instrumentación: los controles de instrumentación son:
  - aforadores de los caudales de infiltración
  - piezómetros para medir nivel freático
  - celdas de carga para presión en fundaciones del muro
  - acelerógrafos para respuesta ante eventos sísmicos
  - inspección e informes ante eventos lluvias y / o sismos

### **Sistema de aportes naturales de agua y recuperación de aguas clarificadas**

Con respecto al área de captación para el dique de colas es de aproximadamente 0,5 hectáreas y los caudales y volúmenes totales de varias tormentas han sido calculadas para poder comparar éstas con el volumen de almacenamiento mínimo y la velocidad de evacuación del sistema de decantación. Este cálculo indica que el área de captación es aceptable para los propósitos del manejo de agua de lluvias. El flujo que se necesitaría acomodar por el sistema de decantación, luego de que la capacidad de almacenamiento encima del dique haya sido agotada, sería de aproximadamente 0.6 m<sup>3</sup>/s. Y además se construirá un canal de desviación es decir una zanja de coronación donde la capacidad de flujo de la alcantarilla para aguas pluviales es aproximadamente de 1 m<sup>3</sup>/s.

### 2.1.3.3 Análisis y comentarios

Está claro que **Laguna Pampa I** fue construida como presa provisional en una etapa de emergencia en tanto se construya el Dique de Colas San Antonio, para un tiempo de vida muy limitado de apenas 21 a 25 meses vale decir hasta febrero o abril del 2004, sin embargo la vida útil del Dique Laguna Pampa I se prolongó hasta el año 2011, claro que operando en forma intermitente; la siguiente tabla muestra la diferencia de la recepción de colas entre lo diseñado y lo real.

Tabla 2.7. Colas depositadas en dique Laguna Pampa I

RECEPCION DE COLAS	DISEÑO		OPERACION	
	TMS	m <sup>3</sup>	TMS	m <sup>3</sup>
Colas depositadas al 30-04-2004 <sup>21</sup>	656,697.4	228,814.4		
Colas depositadas al 31-12-2010 <sup>23</sup>			1,280,591.5	808,589.7
Colas depositadas al 30-06-2011 <sup>24</sup>			4,468.4	
TOTAL COLAS DEPOSITADAS	656,697.4		1,285,059.9	

Sin considerar las colas depositadas desde el inicio de operaciones hasta el año 2005 (porque no se tiene información), la diferencia entre la operación y el diseño que nos muestra la tabla es de 628,362.5 ton, por encima de lo esperado, esto debido al retraso en la construcción del Dique de colas San Antonio, y el incremento de capacidad de tratamiento en los Ingenios debido a las expectables cotizaciones internacionales de los metales, habiéndose incrementado de 850 t/d a un promedio de 3,511.9 t/d, vale decir en un 413.2%.

Cuando se hace cargo la AIP del Manejo del dique LP-1, instala bombas, spigots, y logran corregir el sistema de crecimiento del dique, lo que le permite alargar su vida útil.

Recordemos que al inicio de operación del dique la descarga era por gravedad donde el material fino de las colas era arrastrado a los lados más débiles de la presa donde se formaban las playas, haciendo totalmente lo contrario a una correcta disposición de colas. Ese mal manejo del dique LP-1 durante 2 años, la falta de drenaje en el piso, y la falta de membrana impermeable ocasionaron que existan filtraciones en el pie y paredes de los taludes, lo que les obligó a reforzar una y otra vez los muros del dique.

Una cosa importante a resaltar es que LP-1, fue construida sobre una antigua Presa de agua denominada Dique del Rey, donde la cachimba o torre de descarga se encontraba en el lado Oeste, hacia la comunidad de San Antonio ver fig. N°2.1 y fig. N° 2.2 por lo tanto para la descarga de las aguas clarificadas, tuvieron que construir una nueva torre (cachimba) en el lado Este, como se puede ver en la fig. N° 2.3, en el lugar más adecuado, porque el dique ya estaba colmatado con colas.

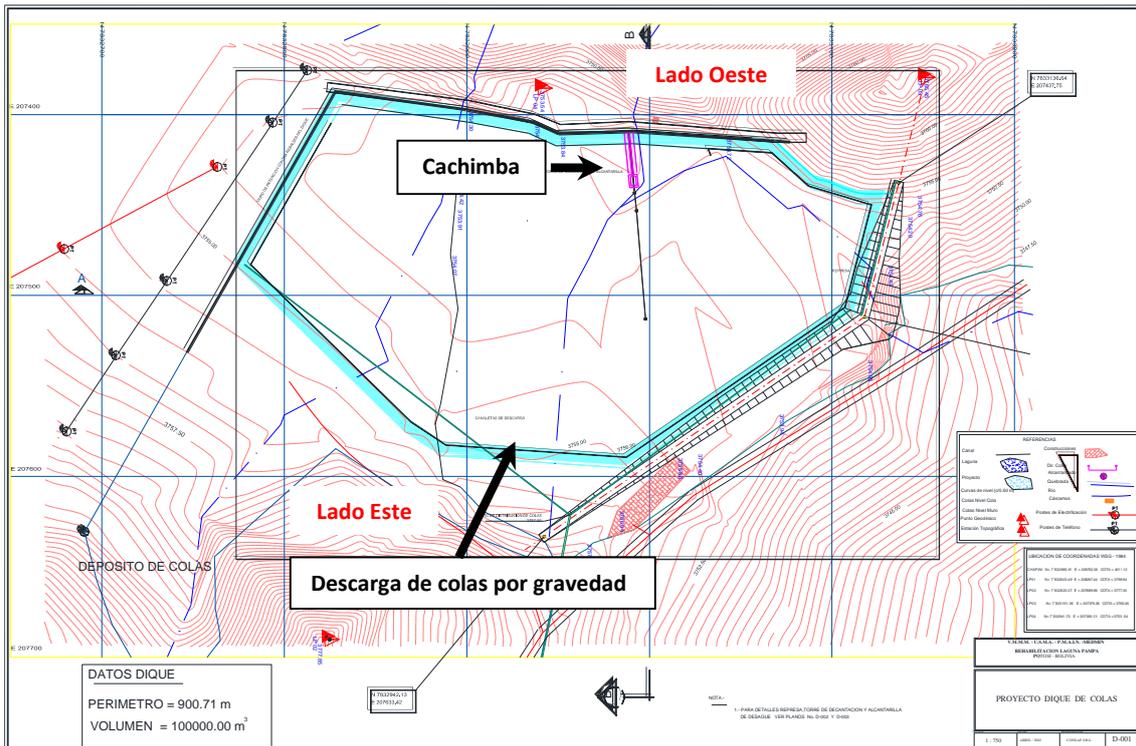


Fig. N° 2.1. Dique de colas LP-I, fuente: proyecto Laguna Pampa, COINSAP abril 2002



Fig. N° 2.2 Dique de colas LP-I recién construida, se observa la cachimba original

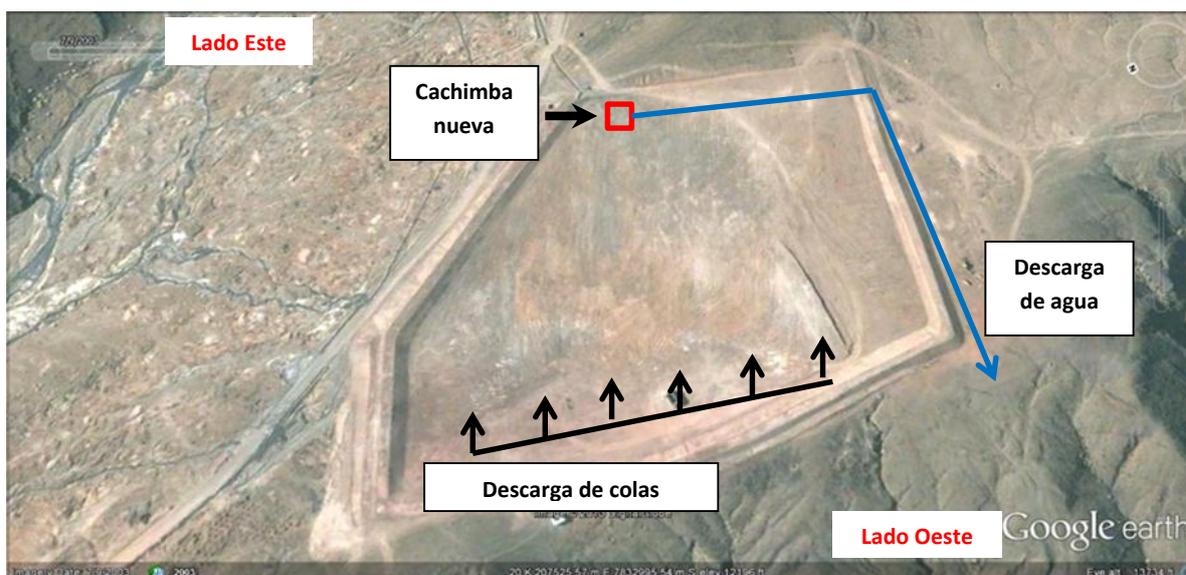


Fig. N° 2.3 Dique LP-I, el nuevo sistema de descarga de colas y agua

En cuanto a la distribución de colas a los diques LP-1 y LP-2, el 39% del total fue depositado en el dique LP-1 hasta diciembre del año 2010, y no el 20% como tenían planificado.

Las observaciones de los Ings. Vardé y Bacchiega sobre el manejo inadecuado del dique LP-1, donde no respetaron la altura de las revanchas, el área mínima para la formación de playas, la velocidad de crecimiento del dique, etc. etc., fueron totalmente correctas, y la recomendación de que en ese momento era necesario paralizar operaciones en el dique también muy acertada, pero los responsables del manejo del dique hicieron caso omiso a esas recomendaciones.

A la fecha el Dique Laguna Pampa I se encuentra en la etapa de cierre como se puede ver en las fotografías N° 2.2 y 2.3, por lo que tal vez el hecho de haber excedido sobreabundantemente la capacidad del dique LP-I, poniendo en riesgo la estabilidad del dique, es un tema de análisis profundo que sale de los alcances de nuestro estudio por lo que no merece mayor comentario.

Con respecto al Dique de Colas **Laguna Pampa II**, tal como indican en el estudio los Ings. Vardé y Bacchiega se encontraba en mejores condiciones de operación, donde prácticamente no había observaciones, esto debido principalmente a que se realizó un proyecto para la construcción del Dique Laguna Pampa II, estudio que contemplaba Diseño, Dimensionamiento, Manual de Operación y Cierre del dique, aunque no se cumplieron todas las recomendaciones técnicas del proyecto, como veremos a continuación.

Una de las condiciones principales para la operación del dique LP-II, era la de reducir el % de sólidos en la pulpa, de 6% a 40%, en tres etapas: la primera separando las colas de las aguas servidas utilizando una tubería independiente, objetivo cumplido se redujo de 6% a 15%; la segunda etapa era reducir de 15% a 25% utilizando el tanque espesador del Ingenio Velarde de Comibol, no se cumplió; y la tercera fase era la instalación de 2 espesadores de láminas para reducir de 25% a 40% de sólidos, objetivo que tampoco se cumplió.

De la misma manera también incumplieron con la construcción de una canaleta de desviación para aguas pluviales. Además se incrementó en exceso el tonelaje de descarga de colas al dique con el consiguiente incremento de agua, superando las previsiones del diseño del dique.

Estas omisiones en el cumplimiento a las consideraciones y recomendaciones técnicas del proyecto del dique LP-II, ocasionaron que exista demasiada cantidad de agua en el dique, lo que observaron con justa razón los Ings. Vardé y Bacchiega. Porque de acuerdo al diseño, al dique debía ingresar 40 l/s, pero si tomamos en cuenta que ingresaron 150 l/s de pulpa (Vardé y Bacchiega, Estudio.... Acápites 4.2.2) entonces incrementaron 3.75 veces el caudal de alimentación al dique, contradiciendo los estándares recomendados por los expertos sobre velocidad de crecimiento del dique, con el consiguiente riesgo de un colapso. En consecuencia todas las observaciones realizadas por Vardé y Bacchiega son totalmente correctas y también en este caso las recomendaciones no fueron escuchadas.

Al igual que en el caso de LP-I, a pesar del excesivo incremento de colas, lograron controlar el principal problema que era la evacuación de agua clarificada, pudiendo descargar cada torre, por ejemplo, caudales del orden de 400 l/s con cargas de 0.40 m por sobre su cresta, como menciona Vardé y Bacchiega en el acápite 4.2.2, y según el diseño del dique LP-II, estaba calculada para evacuar 600 l/s de agua clarificada.

Sin embargo en el subtítulo Sistema de evacuación de aguas clarificadas en el acápite 3.2 del estudio de Vardé y Bacchiega señalan que las torres de evacuación estaban emplazadas en la periferie de los diques. En el caso de LP-I ya fue explicada la razón, pero en el caso de LP-II la explicación técnica es que no tuvieron otra alternativa, porque a medida que iban creciendo el dique, el área para formar el espejo de agua se reducía, por lo que tenían que buscar el lugar más alejado para emplazar las torres de descarga de agua clarificada, pero hay otra razón más: de acuerdo a diseño los conductos de las torres estaban emplazadas debajo de la presa, pero se conoce que la cachibamba ó torre N°1 y la tubería principal de evacuación colapsaron, de modo que no tenían por donde desalojar el agua, y se vieron obligados a emplazar las torres en la periferie.

La capacidad de acumulación de colas de LP-II de acuerdo a diseño estaba estimada en 1,164,660.0 ton., pero de acuerdo a datos de operación llegaron a 2,136,749.7 ton., hasta el primer semestre del año 2011, superando la capacidad del dique en 83%, tal como se puede ver en la siguiente tabla.

Tabla 2.8. Colas depositadas en dique Laguna Pampa II

RECEPCION DE COLAS	DISEÑO		OPERACION	
	TMS	m <sup>3</sup>	TMS	m <sup>3</sup>
Colas depositadas al 30-04-2007 <sup>21</sup>	1,164,660.0	826,000.0		
Colas depositadas al 31-12-2010 <sup>23</sup>			2,027,705.0	1,261,161.0
Colas depositadas al 30-06-2011 <sup>24</sup>			109,044.7	
TOTAL COLAS DEPOSITADAS	1,164,660.0		2,136,749.7	

Con relación al sistema de transporte no hubo mayor observación por los Ings. Vardé y Bacchiega, excepto que la canaleta de tipo trapezoidal a cielo abierto ubicada en el sector de Cantumarca está sobre el cauce natural del río Huayna Mayu, actualmente la canaleta

fue cubierta en algunos trechos y reemplazada en otros por tubería de 24" de acuerdo al diseño de LP-II.

Finalmente podemos decir que el dique LP-1 y el dique LP-II, crecieron de acuerdo a la necesidad y requerimiento de los Ingenios acomodándose al momento y las circunstancias. Y resaltar que pese a las dificultades en su manejo que fue prácticamente improvisado, principalmente LP-I, lograron controlar el crecimiento y la estabilidad de los diques, como lo demuestra el haber superado en 400% la capacidad del dique LP-I.

Felizmente estas presas no colapsaron y actualmente están cerradas esperando su consolidación para ser sometidas a alguna alternativa de remediación tal como se puede apreciar en las fotografías N° 2.2 al 2.5, recientes tomadas en Noviembre del 2012.



Foto N° 2.2. Laguna Pampa I Cerrada y a la espera de la colocación de coberturas protectoras (Elaboración propia)



Foto N° 2.3. Laguna Pampa I Cerrada y a la espera de la colocación de coberturas protectoras (Elaboración propia)



Foto N° 2.4. Laguna Pampa II Cerrada y a la espera de la colocación de coberturas protectoras (Elaboración propia)



Foto N° 2.5. Laguna Pampa II Cerrada y a la espera de la colocación de coberturas protectoras (Elaboración propia)

## 2.2 TRABAJO DE CAMPO

Una vez aprobado el primer informe de avance, se programó la segunda parte del estudio de “Actualización de los Estudios de Funcionamiento de las Presas de Colas de la Alta Cuenca del Río Pilcomayo”, que corresponde al trabajo de campo.

### 2.2.1 Procesamiento de imágenes satelitales

Con la información obtenida tanto de la gobernación de Potosí como de la unidad de medio ambiente del Ministerio de Minería y Metalurgia, y para tener elementos de juicio que justifiquen la selección de las presas objeto de estudio, se procedió a la ubicación de las mismas por imágenes satelitales de Google Earth en una primera etapa, cuya localización de las presas se presentan en el anexo 1, posteriormente se estudiarán las imágenes satelitales Landsat, y se geo referenciará la posición de los diques sobre cartas topográficas, hidrográficas y viales, obtenidas del Atlas de potencialidades productivas del Departamento de Potosí, a objeto de facilitar el monitoreo o inspección sostenida de estas estructuras de acumulación de residuos mineros.

Estas primeras imágenes y cartas obtenidas, sirven además, para delimitar la microcuenca del área de influencia de cada presa, para el análisis de riesgo ambiental, por desborde o colapso que está siendo ya procesado como parte de este estudio, ver anexo 5.

### 2.2.2 Inspecciones visuales

De acuerdo a los mapas cartográficos que se muestra en el anexo 4, y las imágenes satelitales que se muestran en el anexo 1, se realizaron las Inspecciones Visuales a las Presas de Colas de las Plantas de Concentración de las diferentes empresas y cooperativas, que se muestran en el anexo 3, recorriendo por los sectores de interés de la Cuenca Alta del Pilcomayo, obteniendo de esa manera el inventario de las presas de colas, y seleccionando las más significativas para el estudio de estabilidad en función de los siguientes criterios:

- Buscar presas tipo, que por sus características puedan servir de ejemplo representativo de otras presas de similares o parecidas características, y de ese modo optimizar los recursos asignados a este proyecto.
- Buscar escenarios geográficos de ubicación de las presas diferentes, para evaluar condiciones de riesgo ambiental distintos, dentro de la característica general del área del distrito minero (Potosí, Atocha, Tupiza).
- Buscar empresas con distintas formas y normas de gestión de presas para inferir la eficacia y pertinencia de tales prácticas.

#### 2.2.2.1 Inspección de visu

Antes de seleccionar las presas objeto de estudio se realizó una visita de visu para evaluar el estado actual de las presas, detalles de sistemas de alimentación y descarga, grado de llenado y realces actuales etc., algunas de las imágenes obtenidas se muestran en el anexo 2, que son el resultado de varias campañas de visita a localidades mineras, para conocer y seleccionar presas de colas de interés para el proyecto.

Para una correlación de información, se ha conservado el número correlativo de registro de las 45 presas que figuran en la tabla No 2.9 para la identificación de las fotografías de acuerdo al anexo 2.

#### 2.2.2.2 Inventario de Presas de Colas

La tabla 2.9 siguiente, y en el Anexo 3 se muestra el inventario de 45 Presas de Colas en la Alta Cuenca del Río Pilcomayo en el Departamento de Potosí, de diferentes características y en distintas etapas de desarrollo.

La información fue obtenida de 3 fuentes: La dirección de medio ambiente y Madre Tierra de la Gobernación de Potosí (GP), la unidad de medio ambiente del Ministerio de Minería y Metalurgia (MMM), y la elaboración propia, fruto de nuestras visitas de campo (EPIV). La tabla completa se muestra en el anexo 3.

Para saber si las empresas contaban con la Licencia Ambiental para la operación de sus presas de colas, se recurrió a la Autoridad Componente que es la Unidad de Medio Ambiente del Ministerio de Minería y Metalurgia.

Tabla 2.9 Ubicación de Presas de Colas

N°	EMPRESA	NOMBRE INGENIO	TPD	MINERAL	LOCALIDAD	Coord. Geodesicas		
						Z. Geograf.	Lat	Long
1	Pan American Silver (San Vicente)	San Vicente	750	Zn-Ag	San Vicente	19K	-21.2889	-66.3164
2	LAMBOL (Choroma)	Lambol 3	200	Zn-Ag	choroma	20K	-21.3805	-65.7160
3	E.M. Rolando (ex-Occidental)	Rolando	40	Zn-Pb-Ag-Sn	San Antonio	20K	-19.5647	-65.7916
4	Huari Huari (Sinchiwayra)	Don Diego	1000	Zn-Pb-Ag	Chillimoco	20k	-19.5086	-65.6101
5	ESA - AIP (dique de Colas San Antonio)	DCSA	3860	Zn-Pb-Ag	San Antonio	20K	-19.5843	-65.7911
6	C.M. Unificada (ex-IMSUR - Rocicler II)	Unificada	300	Zn-Pb-Ag	San Antonio	20K	-19.6023	-65.7923
7	Empresa Minera Manquiri S.A.	San Bartolome	8200	Ag	Apacheta	20K	-19.6452	-65.7295
8	Casa Blanca	Casa Blanca	200	Zn-Pb-Ag	Villacollo	20K	-19.6536	-65.752
9	CMV - Tupiza	CMV	50	Zn-Pb-Ag	Torre Huayco	20k	-21.4193	-65.7944
10	Cooperativa Minera Porco	Ingenio Porco	100	Zn-Pb-Ag	Porco	20k	-19.6650	-65.9117
11	E.M. Copacabana de Esmoraca	Copacabana	100	W	Esmoraca	19k	-21.6729	-66.2699
12	Andacaba	Andacaba	750	Zn-Pb-Ag-Sn	Cuchu Ingenio	20K	-19.7796	-65.6753
13	Cooperativa Minera Siete Suyos	Santa Ana	50	Pb-Ag	Santa Ana	19k	-20.9504	-66.2966
14	Cooperativa Minera Locatarios Tasna	Tasna	200	Bi-w-Sn	Buen Retiro	19k	-20.6138	-66.1835
15	E.M. SILVER & TIN	Santiago Apostol	40	Ag-Sn	Canutillos	20K	-19.3479	-65.5455
16	Diques Laguna Pampa I	DCLP-I	3860	Zn-Pb-Ag	San Antonio	20K	-19.5759	-65.7864
17	Diques Laguna Pampa II	DCLP-II	3860	Zn-Pb-Ag	San Antonio	20k	-19.5798	-65.7882
18	Cooperativa Minera Chorolque	Fierro Unu	70	Sn	Santa Bárbara	19k	-20.9355	-66.0424
19	Porco - Sinchi Wayra	Dique D	1200	Zn-Pb-Ag	Porco	19k	-19.7829	-66.0060
20	E.M. Segovia	Segovia	50	Zn-Pb-Ag	Vicuñiitayoc	20K	-21.2458	-65.941
21	E.M. Santa Lucia	santa Lucia	300	Zn-Pb-Ag	Agua Dulce	20K	-19.6057	-65.7912
22	E.M. Corazón de Plata	Corazón de Plata	100	Zn-Pb-Ag	Agua Dulce	20k	-19.6102	-65.7838
23	Chocaya Animas	Palca Chocaya	40	Zn-Ag	Palca	19K	-20.9087	-66.2594
24	E.M. Villegas	Villegas	40	Pb-Ag	Tolamayu	20k	-21.1406	-65.9767
25	COMINESA (Mina Churquini)	Kunkani	70	Zn-Pb-Ag	Churquini	20k	-21.0562	-65.9667
26	COMINESA	Abaroa	50	Zn-Pb-Ag	Abaroa	19k	-21.3982	-66.1344
27	COMINESA	Ñoquis	60	Zn-Pb-Ag	Ñoquis	20k	-21.5497	-65.4813
28	COMINESA (Mina Candelaria)	Copacabana	50	Sb	Candelaria	19k	-21.5476	-66.1032
29	Minera Cayalu S.R.L.	Cayalu	100	Zn-Pb-Ag	Alcotambo	20k	-19.7410	-65.7324
30	Cooperativa Minera COMPOTOSI	COMPOTOSI	100	Zn-Pb-Ag	Alcotambo	20k	-19.7094	-65.7604
31	Empresa Minera La Estrella	La Estrella	1000	Zn-Pb-Ag	Mojon Pampa	20k	-19.6661	-65.7611
32	FEDECOMIN	Fedecomín	50	Zn-Pb-Ag	Agua Dulce	20k	-19.6112	-65.7828
33	KZ Minerals S.A.	KZM	200	Zn-Pb-Ag	Agua Dulce	20k	-19.6090	-65.7849
34	Cooperativa Minera 10 DE NOVIEMBRE	10 de Noviembre	100	Zn-Pb-Ag	Villacollo	20k	-19.6474	-65.7514
35	Empresa Minera zabaleta	Zabaleta	50	Zn-Pb-Ag	Villacollo	20k	-19.6505	-65.7504
36	Empresa Minera MINTEX	Mintex	100	Zn-Pb-Ag	Alcotambo	20k	-19.7434	-65.7286
37	Empresa Minera Tata San Miguel	Tata San Miguel	300	Zn-Pb-Ag	Alcotambo	20k	-19.7077	-65.7348
38	Empresa Minera Bombori	Bombori	200	Zn-Pb-Ag	Alcotambo	20k	-19.6968	-65.7402
39	E. M. CAYVE	Carrasco Veizaga	80	Zn-Pb-Ag	Alcotambo	20k	-19.6108	-65.7842
40	Villa Imperial	Villa Imperial	70	Zn-Pb-Ag	Alcotambo	20k	-19.6482	-65.7568
41	E.M. Taboada	Ingenio	100	Zn-Pb-Ag	Apacheta	20k	-19.6471	-65.7539
42	Empresa Minera Reserva (ex-Tuntoco)	Reserva	200	Zn-Pb-Ag	Cuchu Ingenio	20k	-19.7461	-65.6800
43	Centro Minero Apacani	La Esquina	100	Zn-Pb-Ag	La Esquina	20k	-19.7474	-65.7312
44	Empresa Minera 7 Amigos	Proyecto Bolívar	100	Zn-Pb-Ag	Cachi Tambo	20k	-19.6964	-65.7532
45	Jungie Mining Industry SRL	Ingenio	100	Zn-Pb-Ag	Agua Dulce	20k	-19.6165	-65.7841

### 2.2.2.3 Selección de Presas de Colas

De acuerdo a contrato se debería hacer el inventario y seleccionar Presas de colas con una capacidad de recepción de más de 1500 TPD, pero con excepción del DCSA (DIQUE DE COLAS SAN ANTONIO), en esa categoría solo estaría la presa de colas de Manquiri (San

Bartolomé), el resto de las presas de similares características tienen una capacidad de recepción entre 750 a 1200 TPD, como San Vicente (Panamerican Silver) y Porco Sinchi Wayra), que pertenecen a la empresa privada mediana y grande, donde sus presas están bien construidas y tienen buena administración de las presas con un control estricto, por lo que se acordó con la Supervisión de la DECTN, de la Cuenca del Río Pilcomayo considerar las presas que no están en esta categoría y en base a los criterios de selección expuestos en el capítulo 1.2 de las inspecciones visuales a más de 40 presas de colas, se optó por combinar los intereses del Proyecto Cuenca Poopó con los distintos tipos y características de las presas de colas en la cuenca alta del Pilcomayo.

Los criterios de selección utilizados fueron los siguientes:

- Diferentes niveles de Riesgo de Manejo del Dique de Colas
- Capacidad de almacenamiento
- Forma de almacenamiento
- Distancia a un cuerpo de agua tributario a la cuenca del Pilcomayo.
- Inestabilidad presunta
- Posibilidades de obtener información primaria y acceso a las instalaciones de la presa.

Luego del recorrido de la Inspección Visual, se puso en consideración de la DECTN cinco opciones de grupos de presas, para su elección:

- 1) Primera opción: San Antonio, Laguna Pampa I, Laguna Pampa II, COMPOTOSI.
- 2) Segunda Opción: San Antonio, COMPOTOSI, La Estrella, Lambol-Choroma
- 3) Tercera Opción: San Antonio, Laguna Pampa I, Laguna Pampa II, La Estrella.
- 4) San Antonio, Laguna Pampa I, Laguna Pampa II, Lambol-Choroma.
- 5) San Antonio, COMPOTOSI, Lambol-Choroma, Chocaya Ánimas.
- 6) San Antonio, Laguna Pampa I, Laguna Pampa II, Chocaya – Ánimas.

Habiéndose seleccionado la opción 5 para continuar con el estudio de estabilidad.

Es importante mencionar, que en las fechas en que realizamos el trabajo de campo no pudimos ingresar a la planta, porque los trabajadores y la administración de Andacaba se encontraban en conflicto, como muestran los reportes periodísticos en el Anexo 6.

Y la presa de colas de Andacaba, no está tomada en cuenta en la selección de presas sujetas de estudio, a pesar de constituirse en una presa con indicios de deficiencias de construcción, como muestran las filtraciones al pie del dique (fotos 2.20 y 2.21); el mal manejo de las colas, donde se descarga como si fuera una presa de agua (fotos 2.22 y 2.23), y, la descarga directa al río de las aguas ácidas de la presa de colas, como se puede ver en la secuencia de fotos 2.24 al 2.26.

Por las consideraciones anteriores, la presa de Andacaba podría confrontar daños de estabilidad si no se toman los recaudos necesarios, por lo que nos permitimos sugerir la ampliación del contrato para posibilitar la realización de una evaluación, debido a que el presupuesto aprobado solo alcanza para las presas seleccionadas, y el costo que demandará el estudio de ésta presa no permite que hagamos bajo el mismo presupuesto.

### 2.2.3 Recopilación de información

Una vez seleccionadas las presas de colas sujetas a estudio, se recopiló la información correspondiente para calcular el factor de seguridad, el volumen acumulado, etc., de las Presas de colas de San Antonio, Compotosi, Lambol – Choroma y Chocaya Ánimas, recopilándose la siguiente información: datos del levantamiento topográfico de diseño, tonelaje tratado por día, registros de operación, control del llenado de la presa, etc.

### 2.2.4 Levantamiento topográfico

Se efectuaron los levantamientos topográficos de las cuatro presas de colas, vale decir: San Antonio, Compotosi, Lambol – Choroma y Chocaya Ánimas, como se puede observar en la siguiente fotografía.



Foto 2.6. Levantamiento topográfico en Chocaya Ánimas.

### 2.2.5 Toma de muestras

Se tomaron muestras del material de préstamo que utilizaron para la construcción de los taludes, como también de las colas con las cuales están creciendo los diques, y de las aguas residuales de las presas.

Se realizaron ensayos de cono de arena in situ para determinar la densidad del talud compactado y la humedad, también ensayos para determinar el grado de compactación proctor en los taludes de las presas.

Las muestras de los taludes fueron enviadas a laboratorios especializados de mecánica de suelos de la ciudad de La Paz para los análisis de resistencias mecánicas.

Las muestras de colas depositadas en los distintos diques fueron enviadas a la Universidad Técnica de Oruro para la caracterización estática del poder generador de DAR que tienen esos materiales y establecer si es necesario tomar medidas de protección ambiental para el cierre de esas presas de colas.

Las muestras de aguas de la descarga de las presas de colas fueron enviadas a los laboratorios Spectrolab en Oruro para determinar la efectividad de las presas en cuanto a la retención de sólidos y las características químicas de los efluentes de las presas que en su mayoría son descargados a los lechos de ríos o quebradas por escorrentía natural.

Una vez que se reporten los resultados de todos estos análisis se procederá a su correspondiente evaluación, entre tanto se están desarrollando las otras etapas del proyecto.

A continuación se muestran algunas fotografías que muestran los momentos de toma de muestras y registros de parámetros in situ.



Foto 2.7. Toma de muestra de aguas, Compotosi.



Foto 2.8. Pesando la muestra, Compotosi.



Foto 2.9. Toma de muestra de colas, DCSA



Foto 2.10. Otro momento de muestreo, DCSA



Foto 2.11. Toma de muestras por excavación, DCSA.



Foto 2.12. Otra vista del muestreo, DCSA



Foto 2.13. Toma de muestra de agua, Chocaya.



Foto 2.14. Filtrado muestra de agua, Chocaya



Foto 2.15. Prueba del cono, Lambol



Foto 2.16. Muestreo de aguas, Lambol

## 2.2.6 Presas de Alto Riesgo

Como resultado de las campañas de visu a distintos distritos mineros, hemos encontrado un amplio abanico de tipos y estados de presas de colas, que van desde las de tecnología de punta como son las presas de la Empresa Minera Manquiri en Potosí, ver Foto 2.17, que hacen la deposición de sus residuos por deposición en pasta sobre lecho impermeabilizado de doble membrana, hasta precarias presas sin ningún cuidado ni diseño técnico.



Foto 2.17 Vista panorámica de la Presa de colas de Manquiri

Hemos constatado también que el tema de la seguridad de los diques va adquiriendo mayor atención por parte de algunas empresas, sobre todo si tuvieron algún incidente ambiental anterior como es el caso de la Presa de colas de Porco, Foto 2.18, inicialmente construida como presa aguas arriba, y ahora se cambió el diseño al modelo aguas abajo que es muchísimo más seguro contra riesgo de colapso.



Foto 2.18. Dique del tipo aguas abajo, construido en la mina Porco, grupo minero Sinchi Wayra, después del colapso del dique en 1996



Foto 2.19. Presa de colas de línea central en mina Bolivar (Oruro), grupo Minero Sinchi Wayra, en funcionamiento desde el 2007

En una rápida evaluación de riesgo hemos encontrado las presas de la Cooperativa Minera Chocaya Ánimas en el municipio de Atocha, y la presa de Andacaba, que podrían confrontar daños de estabilidad si no se toman recaudos oportunos, las fotos siguientes y el video muestran detalles de la presa de Andacaba que ameritaría ser incluida en el estudio de estabilidad si se asigna presupuesto para ampliar los alcances de este trabajo.



Foto 2.20. A pesar de que el dique de arranque cuenta con geomembrana, al pie del mismo existen filtraciones.



Foto 2.21. Otra vista donde se observa la filtración al pie del dique Andacaba



Foto 2.22. Presa Andacaba, descarga de colas, a semejanza de una presa de agua



Foto 2.23. Presa de Colas de Andacaba, que se asemeja a una Presa de agua.



Foto 2.24. Presa de Colas de Andacaba, descarga de agua del dique al río.



Foto 2.25. Presa Andacaba, el agua descargada sigue su curso en el río.



Foto 2.26. Presa Andacaba, animales (llamas) pastando en las cercanías del río.

Es necesario e importante indicar que en fecha 23/03/13 recién pudimos ingresar a la empresa minera Andacaba, luego de varias gestiones con la empresa CORMIN que es la nueva administradora de la Mina de Andacaba; quienes indicaron que se encontraban en un período de traspaso de activos e inventarios, lo que impedía que pudiéramos ingresar, esa fue la razón por la cual no se ha considerado en la selección de presas.

### 3. RESULTADOS DE CAMPO Y ANALISIS DE RIESGOS

La evaluación y manejo de riesgo se están convirtiendo en factores cada vez más importantes en el desarrollo de un proyecto minero, en el que las incertidumbres relacionadas con la predicción ambiental y social, son potencialmente mayores que los otros sectores industriales. El proceso de manejo de riesgo incorpora muchos elementos distintos, desde la identificación y análisis de posibles riesgos, hasta la evaluación de la tolerancia y las opciones de reducción del riesgo posible, proceso realizado mediante recomendaciones con respecto a la elección, implementación y seguimiento apropiado de control.

Para la elaboración del análisis de riesgo de una presa es importante considerar diferentes aspectos como: el análisis de estabilidad mecánica, la estabilidad físico química, la evaluación del riesgo estructural propiamente dicho, la elaboración de mapas de inundación y las recomendaciones. Generalmente para realizar el análisis de riesgo, es necesario contemplar un mayor número de hipótesis o escenarios de falla, y estudiar los diferentes efectos recopilando los resultados más adversos.

#### 3.1 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD MECÁNICA

Las presas de colas, muchas veces presentan un elevado riesgo de su estabilidad mecánica, que se deben generalmente a causas como:

- Diseños incompletos
- Inadecuada construcción
- Insuficiente control de operación

Estas causas pueden conducir a incidentes de diversa magnitud, como importantes daños ambientales, pérdidas económicas significativas y muertes. A nivel mundial, dentro el período comprendido entre los años 1915 y 2010, se han registrado 286 casos de incidentes de depósitos mineros (Rico et al. 2008), (Wise Uranium Project 2009), (MCH 2010). Del total de incidentes reportados, un 41% (116 casos) se produjeron en Presas de Colas, donde las tres principales causas de fallas en las presas son:

- Desborde de agua por la cresta del dique
- La erosión interna
- El debilitamiento de la cimentación

El principal problema de las instalaciones de las presas de colas, es que son construidos por largos períodos. El dique de colas es construido por los propios desechos y por lo general los diques de colas se encuentran continuamente en construcción durante los muchos años de vida de la misma. Esto hace mucho más difícil la realización de controles de calidad, durante este período el propietario o la administración pueden haber cambiado y por lo tanto se produce renovación de personal, de este modo aún si los parámetros de diseño originales eran buenos, es posible que estos se pierdan y que no sean seguidos con el suficiente cuidado, o puede que la altura planeada original sea sobrepasada. Por otra parte, las propiedades de las colas también pueden cambiar a medida que la mina entra en nuevas zonas de mineral, o a medida que se adoptan nuevas tecnologías de procesamiento.

### 3.1.1 Metodología de Cálculo de Estabilidad<sup>30</sup>

Existe una gran variedad de métodos para el estudio de la estabilidad de taludes, entre los que están los métodos de cálculo de deformaciones que toman en cuenta las deformaciones y las leyes de la estática y los métodos de equilibrio límite que se basan exclusivamente en las leyes de la estática para determinar el estado de equilibrio; esos últimos a su vez se subdividen en métodos que consideran el equilibrio global del terreno y en métodos de fajas o dovelas que consisten en la división de masa deslizante en fajas verticales y representa el método más utilizado.

Los métodos de fajas se dividen en dos grupos: métodos aproximados y métodos precisos, en el caso de los primeros no se cumplen todas las ecuaciones de la estática, entre los que se cuentan los métodos de Fellenius, Janbu, Spencer y Bishop simplificado, entre los segundos se cumplen todas las ecuaciones de la estática, y tenemos los métodos de Morgenstern-Price y Bishop completo. Además existen otra serie de métodos como el de elementos finitos, el modelo centrífugo, el cálculo variacional, el estadístico, el dinámico y el modelo tridimensional.

Los métodos de cálculo para definir la estabilidad mecánica establecen un mecanismo cinemático de falla, en el cuál se analizan las fuerzas tendientes a producir el movimiento como fuerza de gravedad, filtración, presión de agua etc (fuerzas motoras), con las fuerzas que tienden a que el mecanismo de falla no se produzca como resistencia del terreno, raíces y otras fuerzas resistentes.

El propósito del cálculo de la estabilidad se centra en dos temas principales, la primera es determinar la resistencia media al corte “s” de los suelos, el segundo es la determinación del coeficiente de seguridad FS, que define la estabilidad del talud.

Habíamos indicado que el método comúnmente utilizado es el Sueco de equilibrio de fuerzas, o también llamado método de las fajas o dovelas, método iterativo donde hay que calcular el factor de seguridad (F.S.) para los distintos radios y distintos planos de deslizamiento, las figuras 3.1 y 3.2 muestran un círculo de tanteo y el detalle de una de las dovelas con las fuerzas que actúan sobre la misma.

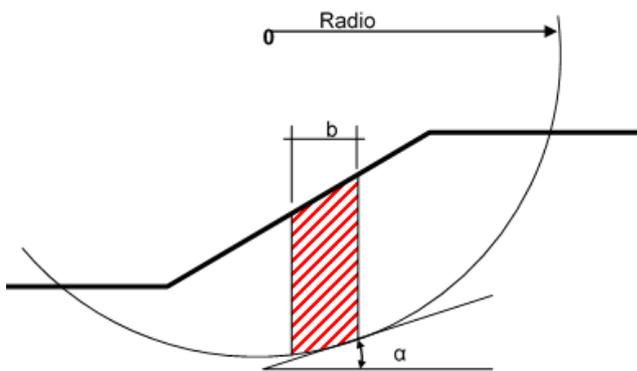


Fig. 3.1 Círculo de falla

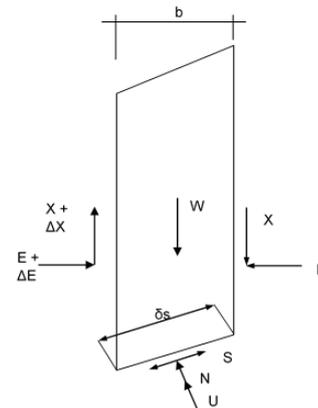


Fig. 3.2 Equilibrio de fuerzas

Para una mejor comprensión el Ing. Valle Rodas hace una simplificación del método sueco o de Fellenius, que permite calcular la estabilidad de un talud de tierra en forma simple y práctica. El método supone que un deslizamiento ocurre a lo largo de una superficie cilíndrica, la traza de la cual, en una sección normal al deslizamiento es un “arco circular”.

Este método se basa en la determinación de las fuerzas actuantes y en la comparación de los momentos tomados con respecto al centro de rotación de la curva de deslizamiento, como se muestra en la figura 3.3.

El factor de seguridad, F.S., se considera como la relación entre el momento de las fuerzas resistentes y el momento de las fuerzas deslizantes, o sea que:

$$F.s. = \frac{Mr}{Md}$$

Para determinar la “curva probable” de deslizamiento se dibujan varias curvas de tanteo. Aquella curva que de él menor factor de seguridad será considerada como “curva probable” de deslizamiento.

Para facilitar los cálculos se divide en áreas componentes cada una de las cuñas subtendidas por los ángulos  $\alpha$  y  $\beta$ , a la derecha del plano ON la cuña MBCQNM se designa como “cuña deslizante”, por otra parte las fuerzas tangenciales situadas a la izquierda del plano ON son fuerzas que se oponen al deslizamiento. Por lo tanto, la cuña AA'MNPA se designa “cuña resistente”, como se observa en la figura 3.4.

La ecuación utilizada para el cálculo del factor de seguridad (FS) es el siguiente:

$$FS = \frac{R (cL + N \cdot Tg \phi) + Wr \cdot lr}{Wd \cdot ld}$$

Donde:

- R = Radio de la curvatura de deslizamiento
- L = Longitud de la curva de deslizamiento
- Wr = Peso de la masa del suelo en la cuña resistente
- Wd = Peso de la masa del suelo en la cuña deslizante
- lr = Brazo de palanca de Wr
- ld = Brazo de palanca de Wd
- c = cohesión del material
- $\phi$  = ángulo de fricción interna del material
- N = Normal

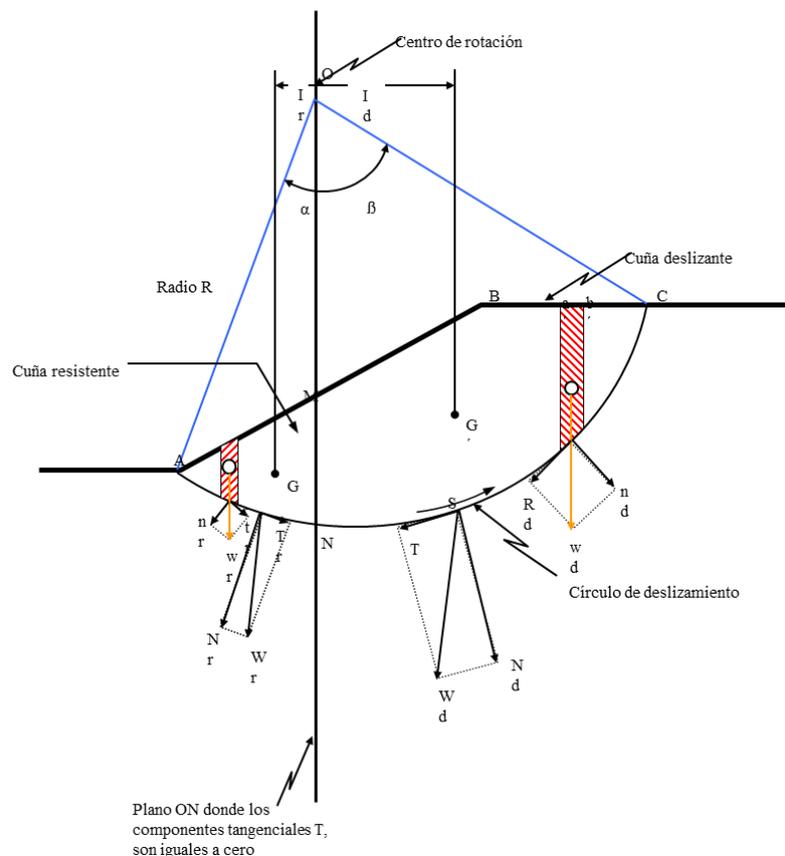


Fig. 3.3 Figura esquemática de las fuerzas que actúan en la curva de deslizamiento

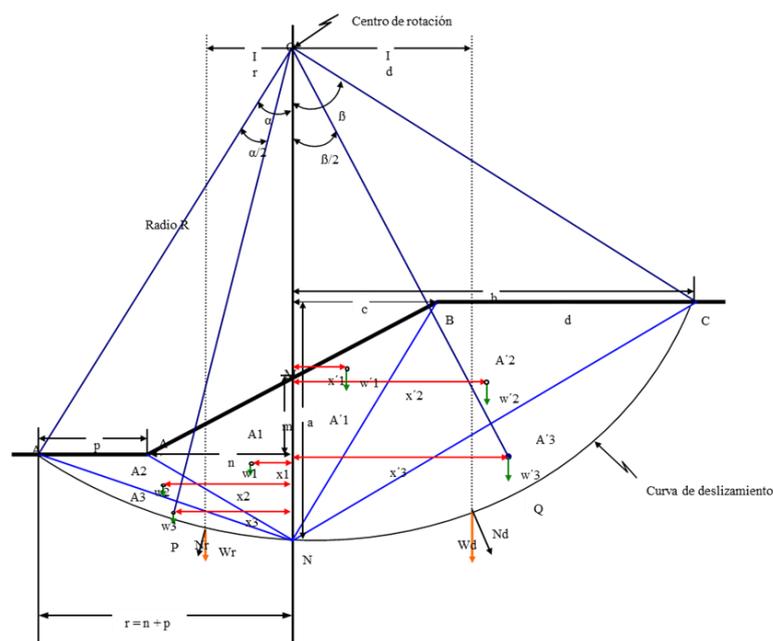


Fig. 3.4 Figura esquemática de los momentos que actúan en la curva de deslizamiento

### 3.1.2 Estabilidad de las presas seleccionadas

Para el cálculo de la estabilidad de taludes existen programas muy interesantes como el "ILA" de origen Italiano, "PROGRAMA STB 2001" de origen Holandés y "GEO SLOPE" de origen Canadiense, siendo el GEO SLOPE el más completo y confiable.

El análisis de estabilidad para los diques seleccionados ha sido llevado a cabo empleando el método de equilibrio límite de Morgenstern-Price, que satisface tanto la fuerza como el momento de equilibrio, haciendo uso del software SLOPE/W (versión GeoStudio 2007), para efectuar los análisis bajo condiciones estáticas, una descripción detallada de los parámetros geotécnicos de los materiales y los resultados del análisis de estabilidad se incluyen en el anexo 7. del presente documento.

Para la generación de antecedentes geotécnicos necesarios en la evaluación de la estabilidad mecánica, se realizó una campaña de trabajos in-situ con ensayos de penetración dinámica, toma de muestras representativas y ensayos de laboratorio, con el objetivo de determinar las características físicas del material y estimar tanto los parámetros resistentes, como el estado de compacidad en profundidad de las arenas depositadas.

Los ensayos de penetración dinámica permitieron identificar el espesor de capas y obtener vía correlación de compacidad (DR %) y el ángulo de fricción efectivo ( $\phi^\circ$ ). Con la información generada, se puede deducir el comportamiento mecánico de las colas, mediante la estimación del estado de compacidad, asumiendo que un valor de DR cercano a 70% define el límite entre un comportamiento mecánico contractivo o dilatante.

La metodología para el análisis de estabilidad de las presas seleccionadas ha consistido en dividir el talud de la presa en varias secciones, y de cada una de ellas, se ha calculado el Factor de Seguridad.

### 3.1.2.1 Lambol – Choroma

La figura 3.5 siguiente muestra las secciones progresivas en el plano topográfico de LAMBOL – CHOROMA , donde de cada una de las secciones se ha calculado el FS.



Fig. 3.5 Plano topográfico de Lambol-Choroma, dividida en secciones

Las propiedades geotécnicas de los materiales empleados para el análisis de estabilidad han sido definidas sobre la base de los resultados de las investigaciones geotécnicas de campo y los ensayos de laboratorio. La tabla N°3.1 presenta los parámetros empleados en el análisis.

Tabla 3.1 Propiedades geotécnicas de los materiales

COHESION	0.13 Kg/cm <sup>2</sup>
ANGULO DE FRICCION INTERNA	$\Phi=31.3^\circ$
PESO ESPEFICO HUMEDO	1.933 gr/cm <sup>3</sup>
DENSIDAD SECA	1.803 gr/cm <sup>3</sup>
HUMEDAD (%)	7.2 %
COLOR	GRIS CLARO

La tabla N°3.2, presenta resultados obtenidos en el análisis de estabilidad para cada una de las secciones analizadas. La hoja de cálculo del programa SLOPE/W se adjunta en el Anexo 7 del presente informe.

Tabla. N°3.2 Resultados de análisis de estabilidad

Tipo de análisis	Sec. Progresiva 0+46.46	Sec. Progresiva 0+51.46	Sec. Progresiva 0+56.46	Sec. Progresiva 0+61.46
F.S. estático	1.853	1.917	1.902	1.972

La fig. 3.6, muestra el equilibrio de fuerzas y la modelación del cálculo del factor de seguridad en la sección progresiva 0+46.46 del dique, que llega a ser el FS=1.85 más bajo de todos los analizados.

SECCIÓN PROGRESIVA: 0+46.46 Lambol 01

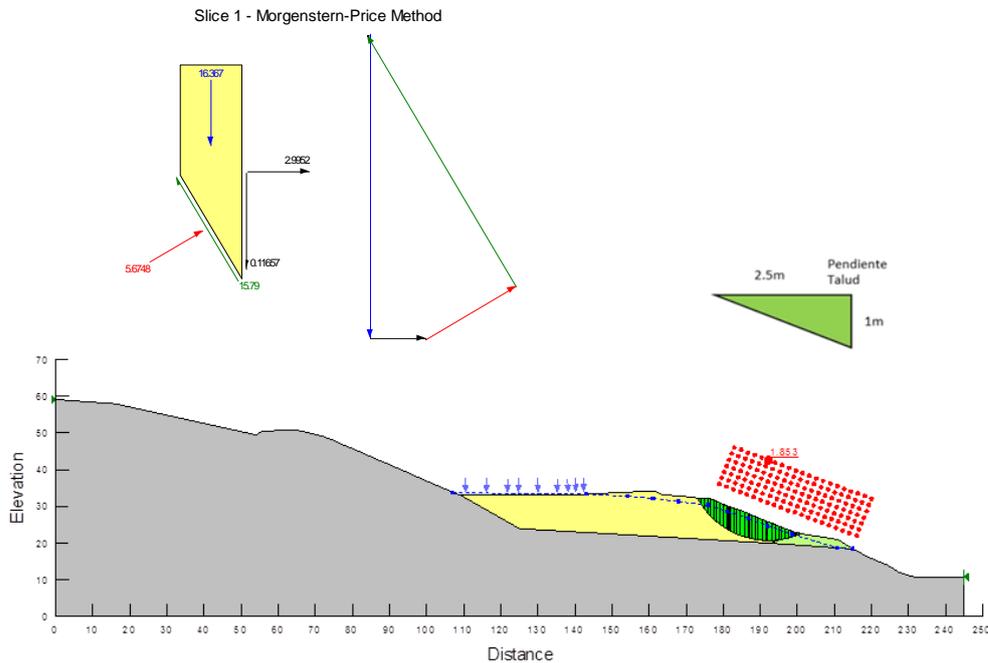


Fig. 3.6 Cálculo del FS, sección 0+46.46 dique Lambol - Choroma

Sin embargo este FS=1.85, resulta ser elevado, vale decir que tiene un 85% de seguridad, y uno de los factores que incide positivamente, es la pendiente del talud que tiene una relación de 2.5:1 (H:V) bastante conservadora, teniendo en cuenta que una relación de 2:1 es recomendable para [este caso].

Otro aspecto a tomar en cuenta es que la cantidad de finos en las colas que se depositan en el dique están por debajo del 30% como se puede ver en la fig 3.7, que al ser descargadas en la cresta del dique, éstas sufren una segregación natural, quedando en la pared aguas arriba del muro los granos más gruesos, permitiendo una consolidación más rápida

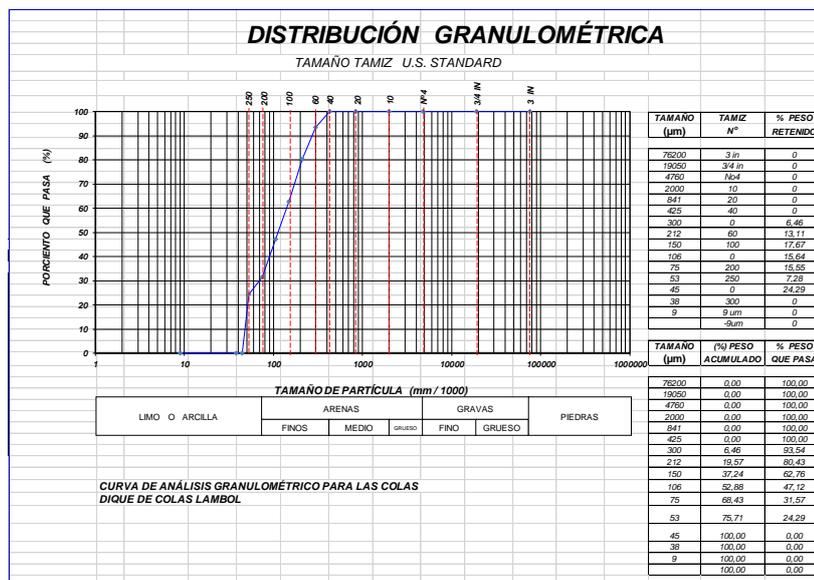


Fig. 3.7 Granulometría de las colas de Lambol-Choroma

Sin lugar a dudas otro aspecto que está coadyuvando en la buena estabilidad del talud es la compactación de la misma, como se puede ver en la tabla 3.3, donde la compactación Proctor está alrededor del 90%, que significa una buena compactación.

Tabla 3.3 Resultados de ensayo Proctor y densidad in-situ

ENSAYO PROCTOR		NORMA ASTM
Densidad Máxima	1.86 gr/cm <sup>3</sup>	D 698
Humedad óptima	6.50 %	D 698
Densidad del suelo seco	1.671 gr/cm <sup>3</sup>	D 1556-64
Grado de compactacion	89.8 %	D 1556-64

### 3.1.2.2 Chocaya Animas

Para el cálculo del FS del talud del dique de colas de Chocaya Animas, se ha seguido la misma metodología que en el caso anterior, vale decir que a partir de la topografía se ha dividido en secciones progresivas para realizar el cálculo del FS en cada una de ellas. La fig. 3.8 nos muestra esta división.

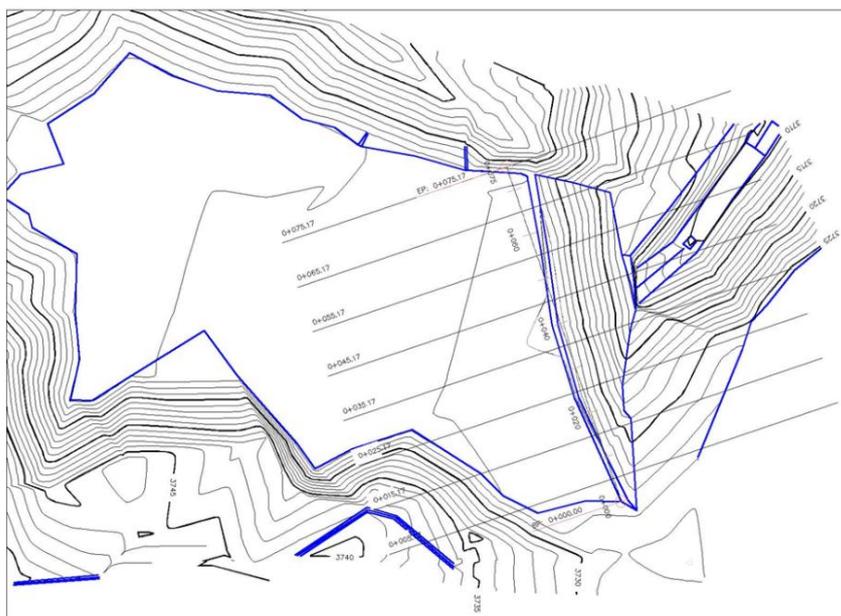


Fig. 3.8 Plano topografico de Chocaya Animas, divide en secciones

Y para el cálculo del FS, se han tomado en cuenta los datos de la tabla 3.4.

Tabla. N°3.4 Propiedades geotécnicas de los materiales

COHESION	0.05 Kg/cm <sup>2</sup>
ANGULO DE FRICCION INTERNA	Φ=31.4°
PESO ESPECIFICO HUMEDO	2.209 gr/cm <sup>3</sup>
DENSIDAD SECA	2.151 gr/cm <sup>3</sup>
HUMEDAD (%)	2.7 %
COLOR	GRIS CLARO

Obteniendo los siguientes factores de seguridad, que se resumen en la tabla 3.5

Tabla. N°3.5 Resultados de análisis de estabilidad, Chocaya Animas

Tipo de análisis	Sec. Progresiva 0+35.17	Sec. Progresiva 0+45.17	Sec. Progresiva 0+55.17
F.S. estático	0.971	1.003	1.032

Donde observamos que los FS, de esas secciones que aparentemente se encuentran en el terreno más débil porque está soportada por un muro de H°C° como dique de arranque, a diferencia del resto de las secciones que están apoyadas sobre la roca del terreno natural por lo tanto más fuertes como se puede ver en la fig. 3.9.

Sí observamos el círculo de falla de la sección progresiva 0+35.17 en la fig. 3.9, veremos que el círculo de falla se encuentra casi en todo el talud, a diferencia de la sección progresiva 0+45.17 donde el círculo de falla se reduce y las fuerzas deslizantes afectan solamente al muro ciclópeo como se observa en la fig. 3.10, y vuelve agrandarse el círculo de falla casi en todo el talud en la sección progresiva 0+55.17 que se muestra en la fig. 3.11

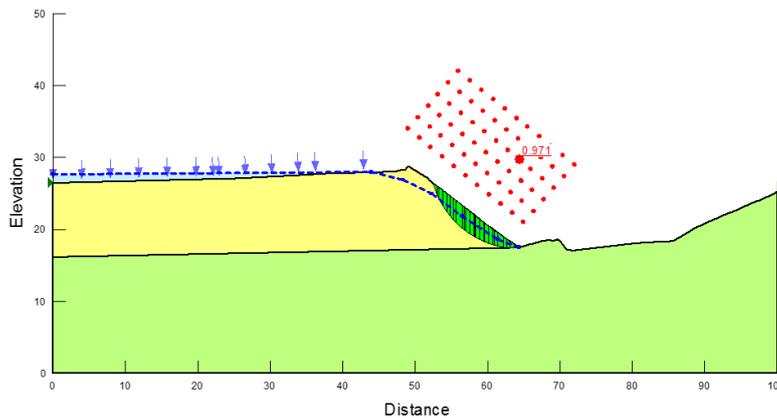


Fig. 3.9 Calculo del FS de la sección 0+35.17 - Chocaya

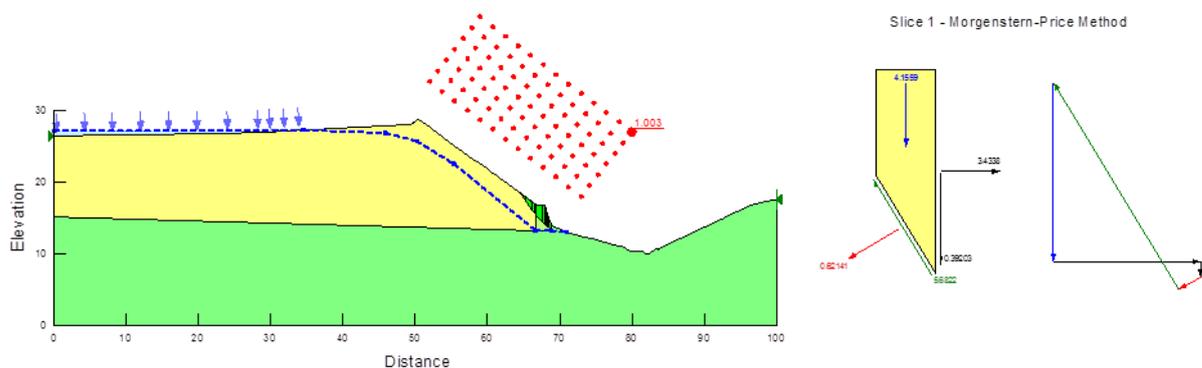


Fig. 3.10 Sección progresiva: 0+45.17 Chocaya

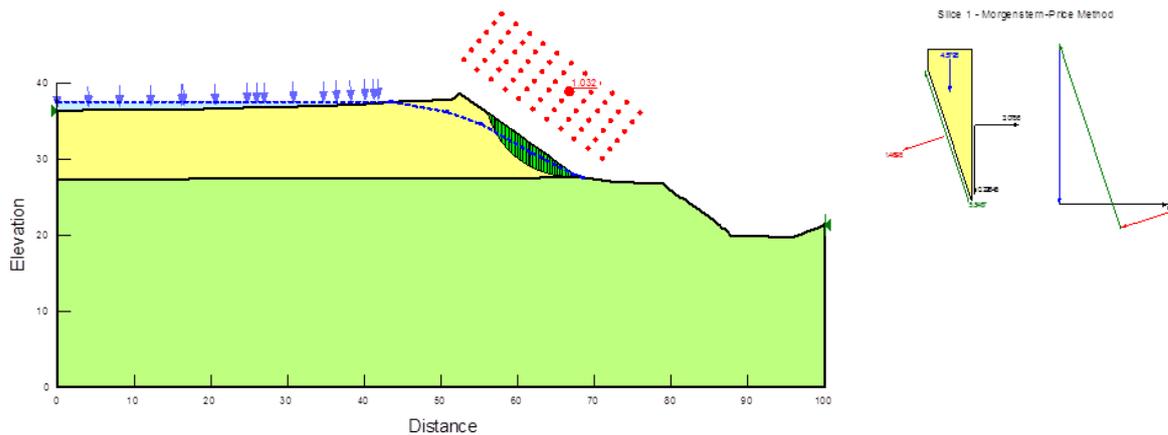


Fig. 3.11 Seccion progresiva 0+55.17 - Chocaya

La media del FS del dique de Chocaya Animas sería  $FS=1.02$ , que nos indica que la presa está en equilibrio y no tiene un margen de seguridad, y aquí podemos ver que la pendiente juega un papel negativo muy importante ya que la relación 1.35:1 (H:V) es una relación muy baja, porque la literatura especializada recomienda una relación mínima de 2:1.

Seguramente un factor que está ayudando en la estabilidad del dique, es la buena compactación que se observa en el muro que está por encima del 90%, como lo muestra la tabla 3.6 y otro factor que está ayudando en la estabilidad es la granulometría de las colas donde se observa en la fig.3.12, que más del 65% constituyen las arenas, y que estas al segregarse en la descarga seguramente forman enlaces muy fuertes que le dan una buena estabilidad al dique.

Tabla 3.6 Resultados de ensayo Proctor y densidad in-situ

ENSAYO PROCTOR		NORMA ASTM
Densidad Máxima	2.19 gr/cm <sup>3</sup>	D 698
Humedad óptima	5.30 %	D 698
Densidad del suelo seco	1.99 gr/cm <sup>3</sup>	D 1556-64
Grado de compactación	90.9 %	D 1556-64

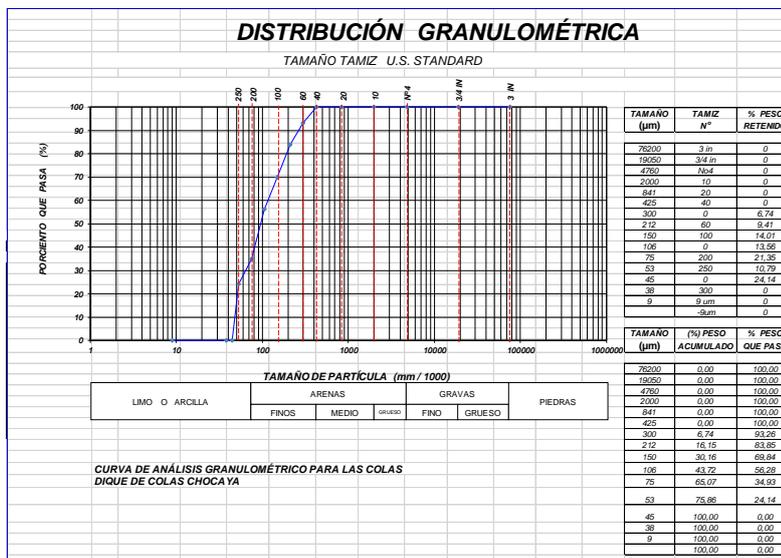


Fig. 3.12 Análisis granulométrico de las colas, Chocaya

## RECOMENDACIÓN

El Factor de seguridad del dique de colas de Chocaya es  $FS=1$ , lo que significa que el dique está en equilibrio, y que no tiene un margen de seguridad, la pendiente del talud es muy elevada (1.35:1). Pero han tenido a su favor el ritmo de crecimiento del dique, como se muestra en la fig. 3.13, que ha cumplido con el ritmo de crecimiento proyectado en el diseño como se muestra en la fig. 3.14, lo que ha permitido consolidar el mismo, otro factor es la compactación realizada en el talud aguas abajo, y el buen drenaje que tiene la presa han ayudado en la estabilidad del dique.

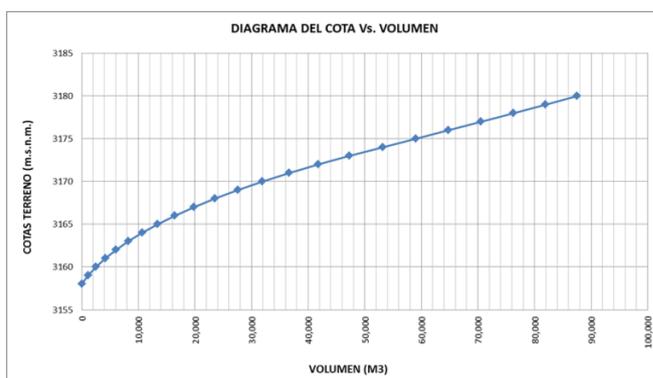


Fig. 3.13 Crecimiento real colas del dique

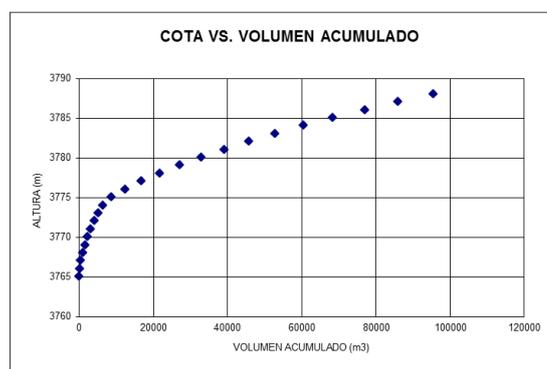


Fig. 3.14 Crecimiento colas según diseño

### 3.1.2.3 Compotosi

La presa de colas de Compotosi es un caso típico de un mal manejo de diques de colas, que ha ocasionado la obstrucción del ducto de salida de agua del interior del dique, y si continúan trabajando en las mismas condiciones se constituyen en una bomba de tiempo.

El problema se origina prácticamente desde el inicio de operaciones, y veamos porque: La descarga de colas fue diseñada semejante al tipo de “colas espesadas”, como se ilustra en la fig. 3.15, donde las colas son bombeadas a un ciclón éste separa en dos productos: el grueso o under flow (U.F.) es enviado a los diques de arranque para su respectivo crecimiento, y el over flow (O.F.) o grano fino, es descargado en un espesador de láminas para luego de ser espesado bombear a una torre de descarga ubicada en el centro del dique, donde el objetivo de éste sistema es enviar colas al dique con la menor cantidad de agua posible.

Sin embargo no se siguieron los procedimientos de diseño, y lo que ocurrió fue que en vez de espesar las colas las enviaron directamente de la planta al dique, pero además descargando las colas en el lado opuesto del dique de arranque como se muestra en la fig. 3.16, donde la segregación natural envió los granos finos al pie del talud aguas arriba del dique de arranque, donde se encontraban los dedos de drenaje y la tubería de descarga de agua del dique, obstruyendo la única tubería de salida de agua del dique, y formando el espejo de agua en el sector donde debería estar creciendo el dique, en la foto 3.1 Podemos ver este extremo.

Y para completar el mal manejo del dique se muestra una secuencia de fotos (foto 3.2 a foto 3.6), donde se observa el reforzamiento del dique de arranque sobre la plataforma con el material grueso depositado en el punto de descarga, y sin ninguna compactación, para evitar el desbordamiento del espejo de agua, y ésta agua como no tiene por donde salir, está siendo desalojada por la parte superior del dique mediante sifonamiento.

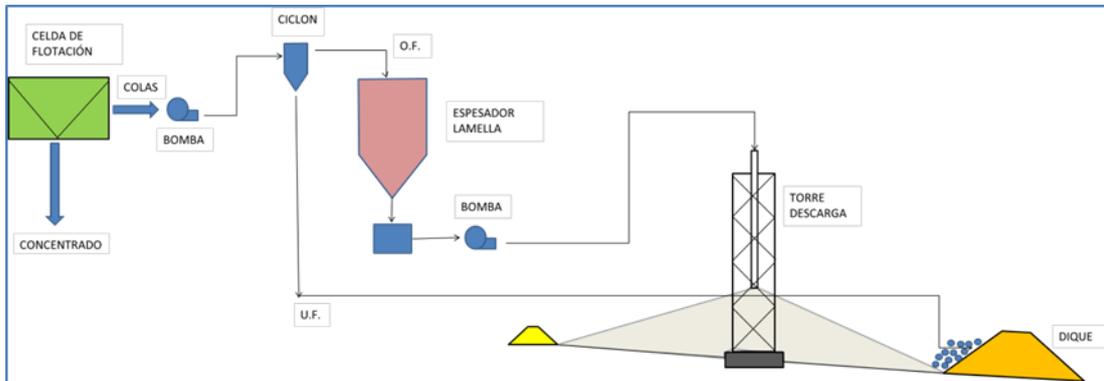


Fig. 3.15. Sistema de descarga de colas según diseño

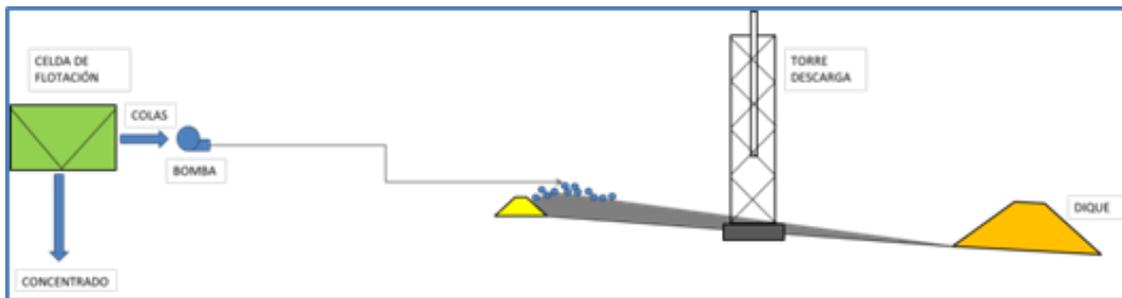


Fig. 3.16. Sistema de descarga de colas actual



Foto 3.1 Dren de salida de agua colapsada



Foto 3.2 Espejo de agua



Foto 3.3 Al fondo se ve el espejo de agua



Foto 3.4 Retirando arenas



Foto 3.5 Trasladando las arenas



Foto 3.6 Arenas acumuladas

Pero bajo esas características, se simuló la operación del dique de colas tomando en cuenta que el agua está siendo desalojada por la cresta del dique mediante sifonamiento, para calcular el FS, de acuerdo a los datos del material con el cual se está construyendo el dique, que se muestra en la tabla 3.7

Tabla 3.7 Caracterización de las colas de Compotosi

COHESION	0.03 Kg/cm <sup>2</sup>
ANGULO DE FRICCION INTERNA	$\Phi=34.4^\circ$
PESO ESPECIFICO HUMEDO	2.081 gr/cm <sup>3</sup>
DENSIDAD SECA	1.877 gr/cm <sup>3</sup>
HUMEDAD (%)	10.8 %
COLOR	GRIS CLARO

Obteniéndose un FS=1.2, que por ahora y debido a la pendiente del talud de 1.8:1, (seguramente la pendiente de diseño era 2:1) bastante conservador para un dique de colas construido sobre una superficie plana prácticamente y con un grado de compactación obtenido en el sitio del 94.3% (tabla 3.8) que tiene el dique de arranque, justifica el FS obtenido.

Tabla 3.8 Resultados de ensayo Proctor y densidad in-situ

ENSAYO PROCTOR		NORMA ASTM
Densidad Máxima	1.74 gr/cm <sup>3</sup>	D 698
Humedad óptima	5.40 %	D 698
Densidad del suelo seco	1.64 gr/cm <sup>3</sup>	D 1556-64
Grado de compactación	94.3 %	D 1556-64

La figura 3.17, muestra la simulación para la obtención del FS, en la sección progresiva 0+127.58, de acuerdo al plano topográfico que se muestra en la fig. 3.18.

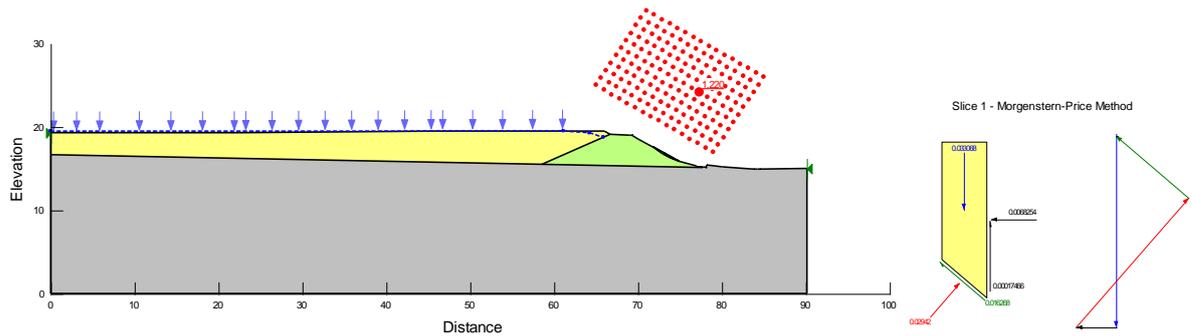


Fig. 3.17 Determinación del FS de la sección progresiva 0+127.58

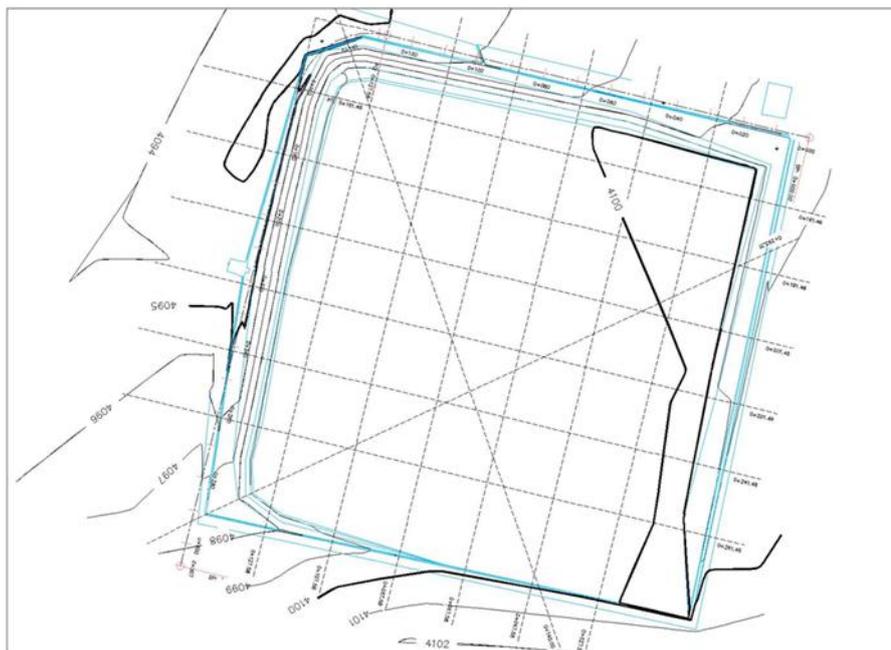


Fig.3.18 Plano topografico que muestra las secciones progresivas

## RECOMENDACIÓN

En las condiciones actuales en las que están operando el dique de colas de COMPOTOSI, no pueden continuar, porque a medida que vaya llenando el vaso del dique, el agua atrapada en el interior del dique junto con las colas también ira aumentando y llagará un momento en que la presión intersticial romperá el dique de arranque ocasionando un colapso.

Para evitar esta situación, se deberá excavar en el sector donde se encuentran los dedos de drenaje y la tubería de salida de agua, repararlos y ponerlos nuevamente en funcionamiento, conectados a una cachimba principal que se tendrá que construir, e interconectados a otras cachimbas móviles. Una vez habilitado el sistema de drenaje el sistema de descarga podría ser el de aguas arriba.

Y por las características del terreno y la granulometría de las colas, no tendrán mayor problema de construir el dique por el método de aguas arriba. La fig 3.19 nos muestra que la cantidad de material fino en las colas está por debajo del 20%, material adecuado para construir un dique por este método.

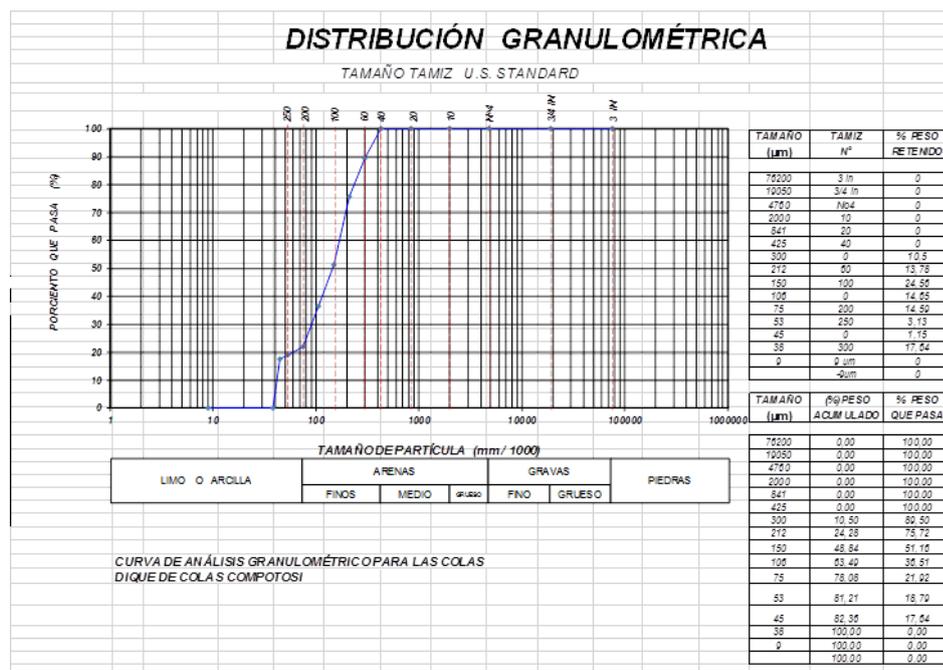


Fig. 3.19 Análisis granulométrico de las colas de Compotosi

### 3.1.2.4 San Antonio

El talud del dique San Antonio, para el análisis de estabilidad ha sido dividida en 16 secciones progresivas como se muestra en la figura 3.20 siguiente, calculándose en cada una de ellas el Factor de Seguridad (FS), de acuerdo a las características de las colas que se muestran en la tabla 3.9

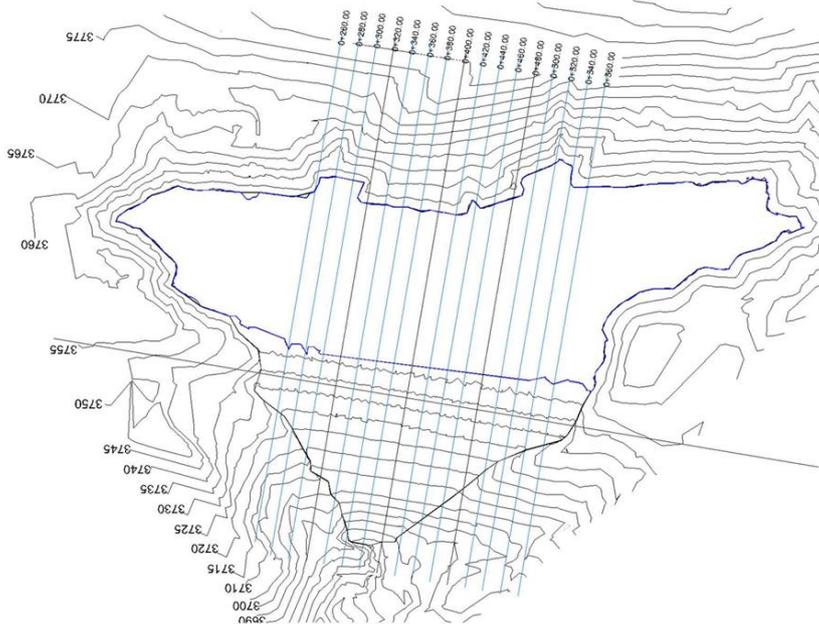


Fig. 3.20 Mapa topográfico del DCSA, dividida en secciones para el calculo del FS

Tabla 3.9 Características principales de las colas de San Antonio

COHESION	0.11 Kg/cm <sup>2</sup>
ANGULO DE FRICCION INTERNA	$\Phi=26.9^\circ$
PESO ESPEFICO HUMEDO	1.900 gr/cm <sup>3</sup>
DENSIDAD SECA	1.615 gr/cm <sup>3</sup>
HUMEDAD (%)	17.6 %
COLOR	GRIS CLARO

El factor de seguridad de la sección progresiva 0+360, que llega a ser el más bajo de todas las secciones, arroja un valor de FS=1.82, como se muestra en la fig. 3.21

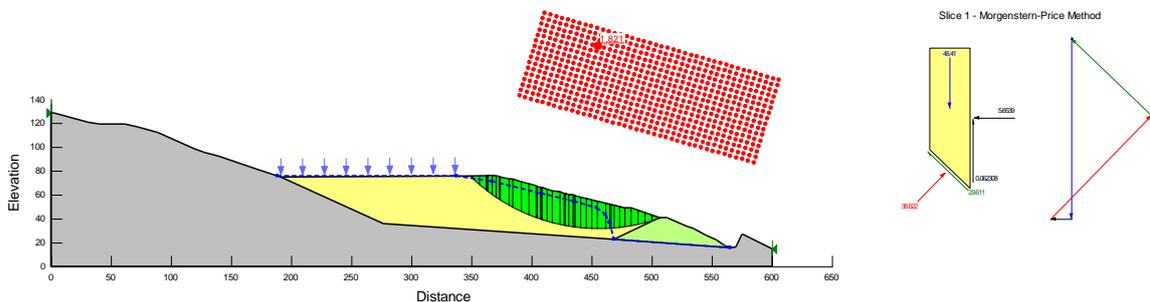


Fig. 3.21 Determinación del FS en la sección 0+360

Podemos observar que el FS es 1.82 y que llega a corresponder con el FS de diseño calculado por la FISHNER que para estas mismas condiciones da un FS=1.84, lo que significa que se han estado cumpliendo fielmente las recomendaciones de diseño.

Y para corroborar este FS, se ha realizado un ejercicio para comparar el FS con otros métodos que calcula el GEOSLOPE/W, y luego de 26896 iteraciones, se obtuvieron los siguientes factores de seguridad mínimos, que se muestran en la tabla 3.10.

Tabla 3.10 Factor de Seguridad por diferentes métodos

FACTOR DE SEGURIDAD MÍNIMO		
Método	Momento	Fuerzas
Ordinario	1.559	-
Bishop	1.818	-
Janbu	-	1.659
Morgenstern-Price	1.821	1.826

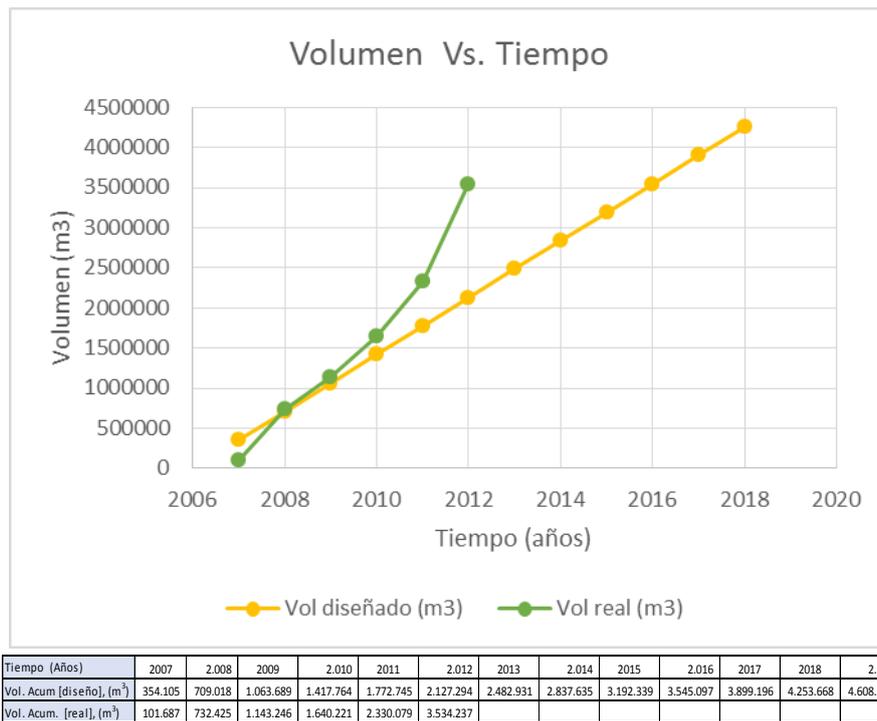
Es así que para obtener la curva del nivel freático utilizamos los datos de campo de los piezómetros, reportados en los informes de monitoreo de estabilidad física del DCSA (fuente: Unidad de Medio Ambiente del MMM). La figura 3.22 siguiente muestra la ubicación de los piezómetros.



Fig. 3.22 Ubicación de los piezómetros

Pero también, observamos que el crecimiento del DCSA con las colas de los Ingenios mineros de la AIP, mantuvieron la pendiente de diseño del talud aguas abajo en 4:1 (H:V).

Pero solamente hasta el año 2010 se cumplió el ritmo de crecimiento de las colas de acuerdo a lo proyectado en el diseño, porque luego el crecimiento se incrementó considerablemente de acuerdo a los datos de los informes de monitoreo del DCSA, como se puede observar en la fig. 3.23.



Fuente: Proyecto DCSA, FISHNER y Monitoreos DCSA

Fig. 3.23 Curva comparativa de crecimiento, colas proyectadas y reales

Y corroborada por la curva de crecimiento del embalse Tiempo Vs. Cota en la figura 3.24, obtenida a partir de los datos del levantamiento topográfico, y cuyo perfil se muestra en la figura 3.25

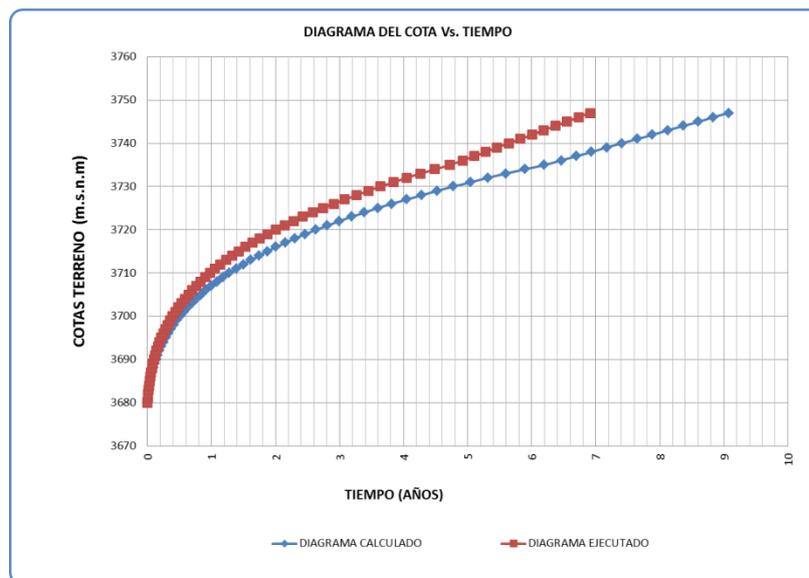


Fig. 3.24 Curva de crecimiento obtenida a partir de datos topograficos

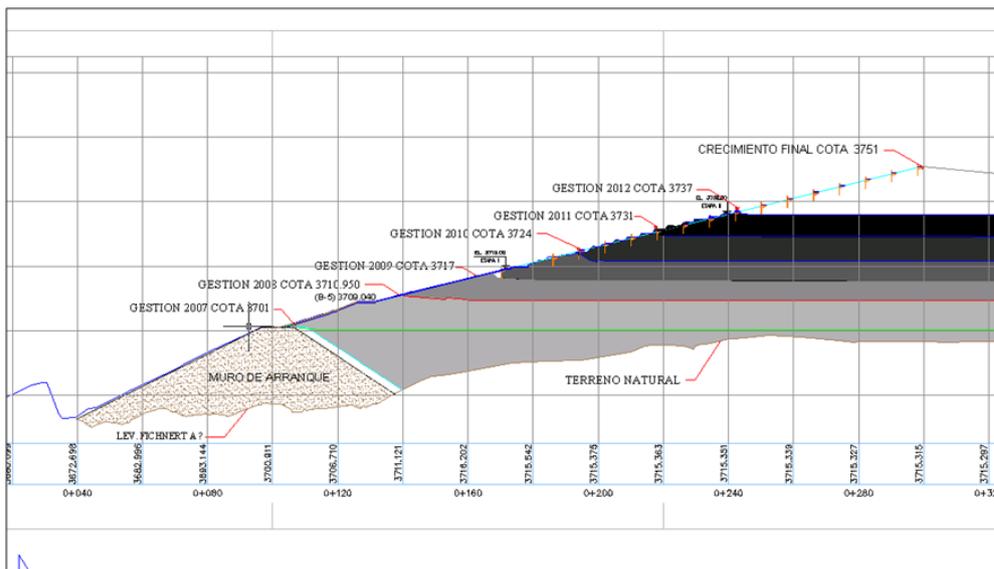


Fig. 3.25 Perfil del crecimiento del dique en función de la altura

### RECOMENDACIONES

Es ponderable el buen manejo que están realizando en el DCSA, donde prácticamente se van cumpliendo todas las recomendaciones de diseño como: pendiente, control altura de la revancha, control del espejo de agua, control piezométrico, control geodésico, y control de longitud de playa.

Sin embargo, los últimos dos años se ha descuidado en la velocidad de crecimiento de las colas, reduciendo el tiempo de vida útil del dique, superando en 294.% el tonelaje de colas descargadas, ya que estuvo proyectado para descargar 1360 t/d, pero se está descargando a un ritmo de 4000 t/d

Sí bien esta situación no afectará sustancialmente el FS del dique, para continuar a ese ritmo de crecimiento y no tener sobresaltos será necesario que cada cierto tiempo permitan consolidar las colas, para de esa manera continuar creciendo hasta la cota diseñada. Una simulación del volumen proyectado hasta el crecimiento final de la cota 3751, da como resultado un FS=1.53, como muestra la fig. 3.26

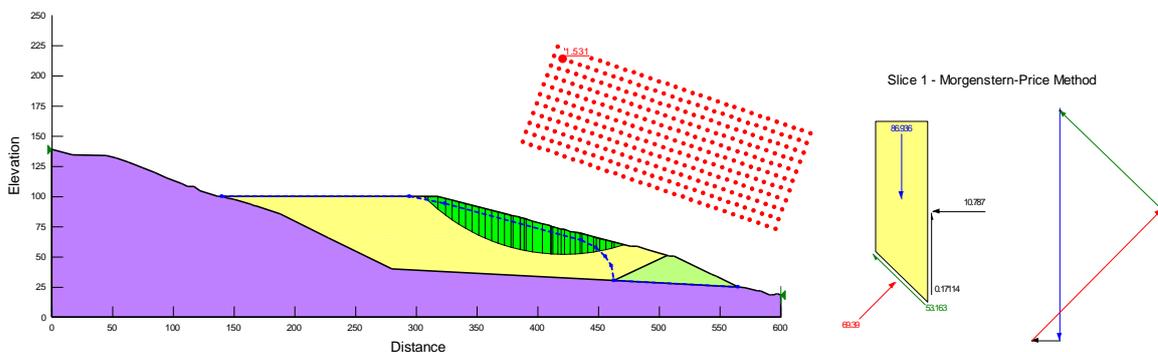


Fig. 3.26 FS proyectado hasta la cota final 3751m

### 3.2 RIESGOS FISICOQUÍMICOS

#### 3.2.1 Estabilidad química de las descargas líquidas de las presas

Los resultados obtenidos en el trabajo de campo se muestran en la siguiente tabla 3.11 Siguiente:

Tabla 3.11 Análisis físico-químico de las aguas de descarga de las presas de colas

Parámetro	Unidad	Límite permisible Ley 1333 Clase B	Descarga Presa Compotosí	Descarga Presa DCSA San Antonio	Descarga Presa Chocaya Animas	Descarga Presa Lambol Choroma
pH =		6 a 9	10,70	10,19	8,90	7,59
$\lambda$ =	mS/cm		2,47	2,11	3,43	4,56
T° C =	° C	+/-3° C. receptor	20	16,4	14,8	17,4
Salinidad			1,1	0,9	1,7	2,3
P. Redox	mV		-221	-190	-114	-40
O <sub>2</sub> disuelto	mg/l	< 70% Sat.	< LD	< LD	< LD	< LD
Turbidez	UNT	< 50	44,7	36,63	9,39	4,91
PST(suspensión)	mg/l	< 30	14	49	5	3
Sb	mg/l	1,0	0,026	0,018	0,210	0,154
As	mg/l	1,0	0,032	0,019	0,047	0,021
Cu	mg/l	1,0	<0,05	<0,05	<0,05	0,47
Fe	mg/l	1,0	<0,02	<0,02	<0,02	0,05
Hg	mg/l	0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Mn	mg/l	1,0c.Mn	0,042	0,092	0,142	10,490
Ag	mg/l	0,05c.Ag	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04
Pb	mg/l	0,6	<0,03	<0,03	<0,03	0,23
Cloruros	mg/l	300c.Cl	24,8	8,9	219,6	200,8
Sulfatos	mg/l	400c.SO <sub>4</sub>	1254,3	1203,6	1771,0	2125,6

De éstos resultados se pueden formular el siguiente análisis:

#### Descarga de Aguas en Presa de colas Compotosí

- Como la presa recibe colas de la planta de flotación de minerales de Zinc del ingenio de la propia cooperativa donde se necesita regular el pH de flotación entre 10 y 11, la descarga de aguas de la presa tiene un pH de 10,7 superior al límite para clase B del Reglamento de contaminación hídrica, sin embargo como la descarga de las aguas del dique confluyen con el río formado por la descarga de las aguas de la mina de San Lorenzo donde el pH es ligeramente ácido, esta descarga ayudara a neutralizar esas aguas.
- La concentración de oxígeno disuelto es otro parámetro fuera de norma porque está por debajo del límite de detección del instrumento empleado para las mediciones in situ, un equipo portátil multiparamétrico marca WTW modelo 350i con electrodo de

OD polarográfico, pero como la descarga del dique fluye hacia el río Jatun Pampa en régimen de flujo turbulento se oxigenará rápidamente.

- los metales pesados tóxicos no sobrepasan los límites máximos permisibles.
- Las concentraciones de iones sulfatos supera el límite de la norma, pero no controlamos esta concentración en el cuerpo receptor, posiblemente la alta concentración se deba al proceso de oxidación de sulfuros previo que pudo haber en los minerales alimentados a la planta. No hay norma para la concentración máxima para cloruros, pero de todos modos no es muy alta
- La concentración en Mercurio en las aguas de descarga de Compotosí está por debajo del límite máximo permisible, por lo que no se debe considerar a esta descarga como una de las fuentes que este contaminando con este elemento tan toxico las aguas de la cuenca alta del Pilcomayo.
- El dato de PST (partículas sólidas en suspensión) de 14 mg/l, además de estar por debajo de la norma, muestra la buena efectividad de la presa de colas en retener sólidos del procesamiento metalúrgico del ingenio y evitar que lleguen a la cuenca alta del Pilcomayo.

#### Descarga de Aguas en Presa de colas San Antonio

Los comentarios realizados para las descargas de la presa Compotosi se aplican también para el caso de la presa San Antonio porque el registro de parámetros en ambos casos es bastante próximo.

Dos parámetros son los que se diferencian más del caso anterior a saber:

- PTS (partículas totales en suspensión) que llegó a 40 mg/l superior a la norma, pero que se debió a una descarga atípica que se produjo durante el muestreo debido posiblemente a que en ese momento alguna isla flotante de espumas no destruidas en el espejo de agua de la presa haya sido evacuada por alguna de las torres de desagüe (cachimbas), lo que provocó que durante el muestreo se enturbie el agua, ya que momentos antes de la toma de muestras el agua era mucho más clara. Sin embargo debe prestarse atención a este fenómeno para descartar la posibilidad de que se esté presentando algún caso de “**sifonamiento**” en alguna parte de la red de desagüe.
- La concentración de cloruros es más baja que en el caso de la presa Compotosi.
- los metales pesados tóxicos ensayados no sobrepasan los límites máximos permisibles.

#### Descarga de Aguas en Presa de colas Chocaya Animas

- Esta presa de colas retiene las colas de una planta de tratamiento de sulfuros complejos de Pb-Ag-Zn y se halla situada en otro distrito minero al sur del país cerca de la estación ferroviaria de Atocha donde se realiza flotación selectiva de Pb-Ag y Zn-Ag con depresión de piritas para mejorar la ley de los concentrados, por tanto se flota a pH natural y por eso el pH de las aguas de descarga del dique es de 8,90 dentro de los límites de la norma para aguas clase B.
- También se observa que el potencial Redox de -114 mV es menos reductor que en los dos casos anteriores significando que los sulfuros presentes en el dique están

siendo afectados por un proceso de oxidación posiblemente bacteriana menos severo que en los casos anteriores.

- Tanto la turbidez, como las PST muestran la buena efectividad de la presa de colas en retener sólidos del procesamiento metalúrgico del ingenio evitando que lleguen sólidos al río Atocha tributario de la cuenca del Pilcomayo.
- Los metales pesados tóxicos no sobrepasan los límites máximos permisibles.
- La concentración en Mercurio en las aguas de descarga Chocaya Animas está por debajo del límite máximo permisible, por lo que no se debe considerar a esta descarga como una de las fuentes que este contaminando con este elemento tan tóxico las aguas de la cuenca alta del Pilcomayo.
- En aniones esta agua muestra mayor concentración en cloruros y sulfatos que las presas anteriores, debido posiblemente a que en general las aguas de escorrentía superficial del área de Palca Chocaya tienen esa característica.

#### Descarga de Aguas en Presa de colas de Lambol-Choroma

- Esta presa de colas recibe las descargas de pulpas de la planta que procesa una mena argentífera de plomo y zinc por flotación diferencial con poca presencia de piritita por lo que el pH de flotación no requiere ser muy básico y en consecuencia las aguas de descarte de la presa tienen un pH de 7,59 dentro del rango de la norma.
- También se observa que el potencial Redox de - 40 mV es el menos reductor que en los tres casos anteriores significando que como hay muy poco oxígeno disuelto en el agua y el pH es cercano a neutro, no hay procesos avanzados de sulfuros oxidados,
- Tanto la turbidez, como las PST muestran la buena efectividad de la presa de colas en retener sólidos del procesamiento metalúrgico del ingenio evitando que lleguen sólidos al río de Tupiza.
- Una característica especial en esta presa es que el contenido de Manganeseo es muy elevado (10,490 mg/l) superando en 10 veces el límite de la norma, siendo por tanto necesario reconfirmar por nuevos muestreos si se repite este tenor en Mn y además rastrear su origen, en caso de reconfirmación debe evitarse descargar esta agua al cauce del río para evitar bio acumulación en hortalizas y tubérculos.
- El resto de los metales pesados analizados no superan los límites máximos permisibles.

#### 3.2.2 Estabilidad química de los residuos depositados en las presas

La deposición de las colas de las plantas de procesamiento en las presas de colas tiene por objetivo evitar la contaminación ambiental de materiales que por lo general son tóxicos y generadores de DAR, por esta razón es necesario predecir la capacidad de generar DAR mediante el test normalizados como son los test estáticos o dinámicos o cinéticos:

- **Pruebas Estáticas:** Estas predicen la calidad del DAR por comparación entre el potencial máximo de producción de ácido (PA) y el potencial máximo de neutralización (PN), debido a los minerales alcalinos capaces de neutralizar el ácido sulfúrico generado; los métodos estáticos comúnmente utilizados se conocen como balance ácido-base.

- Pruebas Cinéticas:** Se distinguen de las pruebas estáticas en que pretenden simular las reacciones de oxidación natural en el ambiente en que se encuentra el residuo minero, estas requieren generalmente un mayor volumen de muestra y un periodo más largo de observación, proporcionan información acerca de la rapidez de oxidación del mineral y por lo tanto de la producción de acidez, así como de la calidad del agua en contacto con el DAR.

Como el tiempo disponible para estas pruebas fue limitado, realizamos solo las pruebas estáticas a partir de los análisis químicos y balances ácido-base que se muestran en la siguiente tabla 3.12:

Tabla 3.12 Análisis químicos sobre muestras representativas de residuos Tomadas en la presa de colas

Elemento	Símbolo		Compotosi	Animas Chocaya	DCSA San Antonio	Lambol Choroma
Calcio	Ca	%	0,47	0,38	0,48	0,51
Azufre	S	%	4,62	33,24	6,28	7,91
Sulfato	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	%	0,60	2,78	0,74	1,71
Potencial Acides	PA	kgCO <sub>3</sub> Ca/t	138,11	1009,72	188,53	229,37
Pot. neutralización	PN	kgCO <sub>3</sub> Ca/t	11,7	9,5	12	12,75
Pot. Neto neutra.	PNN	kgCO <sub>3</sub> Ca/t	- 126,41	- 1000,22	- 176,53	- 216,62

Para evaluar estos resultados utilizamos los dos criterios ABA

**Primer criterio ABA:**

Un residuo minero es considerado generador de DAR, si el valor PNN es menor que -20Kg CaCO<sub>3</sub>/ton, los valores de PNN mayores a +20 CaCO<sub>3</sub>/ton significan que no es generador de DAR y si el valor se encuentra entre esos límites, se tiene un rango de incertidumbre

**Segundo criterio ABA:**

Si la relación PN/PA es menor a 1, entonces el residuo es generador de DAR, por el contrario si dicha relación es mayor a 3, el residuo no es generador de DAR; valores intermedios, dan lugar a una zona de incertidumbre sobre la generación o no de DAR.

La siguiente figura ilustra estos criterios.

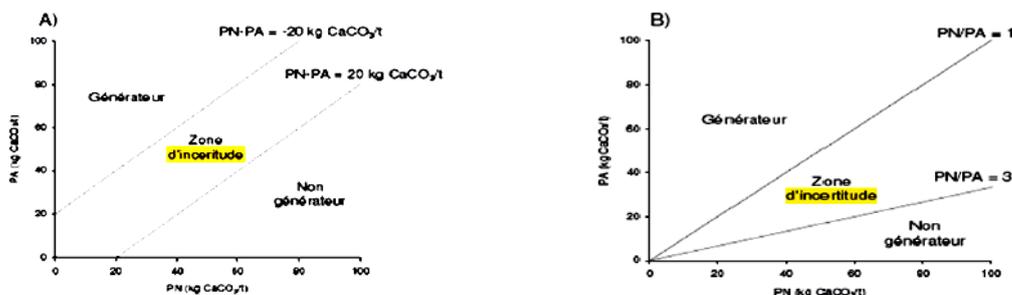


Fig. 3.27 Criterios ABA para clasificar residuos mineros en su capacidad de generación de DAR

Según estos criterios, tenemos la siguiente clasificación de estos residuos:

Residuos en presa COMPOTOSI: **SON GENERADORES DE DAR**

GENERADOR DE DAR	INCERTIDUMBRE	NO GENERADOR DE DAR
PNN = - 126,41 kgCO <sub>3</sub> Ca/t	-20 a +20	
PN/PA = 0,09 << 1		

Residuos en presa ANIMAS CHOCAYA: **SON GENERADORES DE DAR**

GENERADOR DE DAR	INCERTIDUMBRE	NO GENERADOR DE DAR
PNN = - 1000,2 kgCO <sub>3</sub> Ca/t	-20 a +20	
PN/PA = 0,009 <<<<1		

Residuos en presa SAN ANTONIO: **SON GENERADORES DE DAR**

GENERADOR DE DAR	INCERTIDUMBRE	NO GENERADOR DE DAR
PNN = - 176,53 kgCO <sub>3</sub> Ca/t	-20 a +20	
PN/PA = 0,06 <<1		

Residuos en presa LAMBOL CHOROMA: **SON GENERADORES DE DAR**

GENERADOR DE DAR	INCERTIDUMBRE	NO GENERADOR DE DAR
PNN = - 216,62 kgCO <sub>3</sub> Ca/t	-20 a +20	
PA/PN = 0,058 << 1		

En conclusión todos estos residuos son generadores de DAR y en ningún caso podrían ser descartados directamente al medio ambiente, además una vez cerradas las presas de colas se requerirá medidas de cierre y remediación ambiental con coberturas anti drenaje DAR.

El orden de riesgo químico por generación de DAR de estos residuos es el siguiente:

Animas Chocaya >>>> Lambol Choroma > DCSA San Antonio > Compotosi

### 3.3 RIESGOS ESTRUCTURALES (DE FALLAS)

El método de análisis utilizado es el FMEA (Faillures Modes and Effect Analices), que se fundamenta en BUSCAR RESPUESTAS A TRES PREGUNTAS CLAVES:

- Que puede fallar ?
- Que posibilidad hay de que esto ocurra?
- Que consecuencias puede tener ? (la falla o accidente)

El Método se desarrolló siguiendo 5 etapas y 3 sub etapas del paso quinto:

- **Etapas No 1**– Definir el proyecto, sus componentes y características.
- **Etapas No 2** – Definir los límites físicos del sitio y duración del proyecto.
- **Etapas No 3** – Identificar todos los modos de falla para cada componente del proyecto
- **Etapas No 4** – Asignar un nivel de probabilidad a cada falla.

- **Etapa No 5** – Identificar las consecuencias de cada falla y caracterizarla de acuerdo a escalas

**Subetapas:**

- **Etapa 5.1** – Evaluar nivel de consecuencias
- **Etapa 5.2** – Calcular el nivel de riesgo
- **Etapa 5.3** – Evaluar Análisis de Riesgos y acciones y/o Recomendaciones

3.3.1 Lambol – Choroma



Foto 3.7 Dique de colas de LAMBOL-CHOROMA

**ETAPA No 1.- DIQUE DE COLAS LAMBOL-CHOROMA**

Tipo de dique: Aguas arriba con drenaje interno por cachimbas en la base

Alimentación al dique por bombeo de colas a Spigots

Realce: Deposición de arenas de la playa del dique por compactación para elevar la cresta y aumentar la capacidad de almacenamiento

Extención del análisis de riesgo : Todos los componentes del dique para un período de 10 años.

Objetivo : Evaluacion del Riesgo para la cuenca alta del Pilcomayo

Ejecutor : Consultora : Orozco Collazos. Oruro-Bolivia

Cliente : Comité Ejecutivo Trinacional de la Cuenca del Pilcomayo

Detalle de componentes del dique que son evaluados :

Código numérico	Componentes del dique evaluados	Análisis de Riesgo Aceptable	
		Durante el período de operación del dique	Después del eventual cierre
1.0	Presa de colas		
1.1	Dique construido con los residuos de colas	X	X
1.2	<b>Sistema de derivación de drenaje de cuenca</b>	X	X
1.3	<b>Estabilidad del Dique</b>	X	X
2.0	Sistema de gestión de aguas		
2.1	Torres (cachimbas) y conductos de desagüe	X	X
2.2	<b>Canales de colecta y evacuación de efluentes</b>	X	X
3.0	Sistema de deposición de residuos		
3.1	Sistema de bombeo	X	X
3.2	Batería de ciclones de espesamiento	X	X
3.3	Ductos o conductos de transporte	X	X
3.4	Control del espejo de agua	X	X

## ETAPA No 2: LIMITES FISICOS Y DURACIÓN DEL PROYECTO

Dique colas Lambol-Choroma

**Propietario o responsable legal:** Empresa Minera Industrial y Comercial LAMBOL S.A.

**Dirección:** Localidad de Choroma, Municipio Tupiza

**Ubicación:** Departamento de Potosí. Provincia: Sud Chichas

**Coordenadas UTM:** 785084.97 E 7685525.47 N

**Tipo de residuos acumulados:** Colas sulfurosas del Ingenio

**Naturaleza de los residuos:** Tóxicos con un PNN = - 216.62 kg CaCO<sub>3</sub>/ton

**Tonelaje acumulado a la fecha:** 116,935.5 Ton

**Tonelaje diario de deposición:** 200 t/d

## ETAPA No 3: MODOS DE FALLA POSIBLES PARA CADA COMPONENTE DEL DIQUE SAN ANTONIO QUE COMPROMETAN SU ESTABILIDAD

Código numérico	Componentes del dique evaluados	Formas de falla	
		Durante el período de operación del dique	Después del eventual cierre
1.0	Dique de colas		
1.1	Dique construido con los residuos de colas	Colapso	Licuación
1.2	Sistema de derivación de drenaje de cuenca	Carencia	Obstrucción
1.3	Riesgo de sismo **	Colapso	Colapso
1.4	Estabilidad	Colapso	Colapso
2.0	Sistema de gestión de aguas		
2.1	Torres (cachimbas) y dedos de drenaje	Obstrucción	Obstrucción
2.2	Canales de colecta y evacuación de efluentes	Desborde	Relleno

3.0	Sistema de deposición de residuos		
3.1	Sistema de bombeo	Rotura	-
3.2	Descarga sistema de spigots	Taponamiento	-
3.3	Ductos o conductos de transporte de pulpa	Rotura	-
3.4	Control del espejo de agua	Reduccion	-
4.0	Operación del Dique		
4.1	Revancha minima	rebalse	-
4.2	Impermeabilización (Humedad en el muro)	licuación	-
4.3	Piezómetros y sistemas de control	Deterioro	Deterioro

\*\* Si no se consideró incorporación en cálculo de diseño

#### ETAPA 4: ASIGNACION DE NIVEL DE LA PROBABILIDAD DE QUE OCURRA UNA FALLA

Se ha definido una escala para la asignación del nivel de probabilidad de que ocurra una falla en el dique con un código numérico y nivel descriptivo que se explica en la siguiente tabla.

El nivel 1 con código descriptivo despreciable se aplicara si la probabilidad de que ocurra la falla es muy bajo o no debiera ocurrir por haberse tomado la previsión necesaria en el diseño y construcción del dique

El nivel 2 con código bajo se aplicará cuando el incidente de falla no comprometa la estabilidad del dique porque podrá ser reparada oportunamente.

El nivel 3 con código elevado es un tipo de falla que se puede presentar frecuentemente por el modo de operación y control actual del dique o por incidentes no previstos.

Código numérico	Código descriptivo	Frecuencia o potencial basado sobre datos históricos	Ejemplo tipo para un dique de colas
1	Despreciable	No debe ocurrir	Crecida máxima probable
2	Débil	Una vez en la vida del proyecto	Rotura de un conducto, tubería o canal de residuos
3	Elevado	Más de una vez en la vida del proyecto	Erosión de la capa de protección o colmataje de la torre de decantación

#### ETAPA No 5: IDENTIFICAR EL NIVEL DE CONSECUENCIAS DE CADA FALLA CONFORME A UNA ESCALA DE IMPACTO AMBIENTAL PARA LA CUENCA ALTA DEL PILCOMAYO

Se han adoptado los siguientes 4 parámetros:

- ◆ Amplitud del impacto **A**
- ◆ Duración del impacto **D**
- ◆ Sensibilidad del medio receptor **S**
- ◆ Percepción del público **P**

Los niveles de consecuencias adoptados para calificar los 4 parámetros de Impacto Ambiental se muestran en la siguiente tabla:

Parámetro	Nivel / categoría	Impacto típico
Amplitud del impacto	Elevado / A - 3	Gran número de cultivos y peces afectados
	Moderado / A - 2	Cierto número de cultivos y peces afectados
	Bajo / A - 1	Algunos cultivos y peces afectados
Duración del impacto	Muy largo / D - 3	Cientos de años de impacto ( Ej : Contaminación Radioactiva por residuos)
	Largo / D - 2	Decenas de años de impacto ( Ej Bentos y sedimentos afectados )
	Corto / D - 1	Semanas a meses de impacto ( Ej : Derrame de CN- degradable )
Sensibilidad del medio receptor	Muy sensible / S - 3	El receptor es de gran valor, Ej : Río usado como fuente de agua potable o pesca
	Sensible / S - 2	Receptor de valor limitado, Ej : Río recreativo o uso de riego
	Poco sensible / S - 1	Receptor de poco valor o interés, Ej : Río aislado sin vida acuática.
Percepción del público	Fuerte / P - 3	Reserva autóctona , nivel turístico, reserva faúnica o parque protegido
	Típico / P - 2	Interés marcado de comunidades locales asentadas o afectadas por el área del proyecto
	Débil / P - 1	Poco interés de terceros (o comunidades locales )

### ETAPA 5.1. EVALUACION DEL NIVEL DE CONSECUENCIAS

La codificación numérica de los niveles de consecuencia de cada falla probable se realizó por la combinación de los 4 modos según los siguientes criterios:

Código numérico	Código descriptivo	Impacto ambiental / Percepción pública	Nivel de impacto (·) Para cada parámetro
1	Bajo	Impacto débil/ Percepción moderada	A 1 y D1 y S1 y ( P1 ó P2 )
2	Elevado	Impacto moderado/ Percepción elevada	· A3 ó D3 ó S3 Con todos los otros criterios en nivel 1 · Con todas las combinaciones de criterios conteniendo nivel 1 y 2 · P3 en combinación con otros criterios de nivel 1 ó 2
3	Muy elevado	Impacto importante/ Percepción elevada	A3 y D3 ó A3 y S3 ó D3 y S3 A3 y ( D2 ó S2 ) D3 y ( A2 ó S2 ) S3 y ( A2 ó D2)

Tabla 3.13 Valoración de la magnitud del impacto y nivel de consecuencias

CODIGO NUMÉRICO	COMPONENTE DEL DIQUE EVALUADO	MAGNITUD DEL IMPACTO				CONSECUENCIA
		AMPLITUD	DURACION	SENSIBILID	P.PUBLICO	
<b>1</b>	<b>DIQUE DE COLAS</b>					
1,1	DIQUE CONSTRUIDO CON RESIDUOS DE COLAS	3	2	2	2	3
1,2	Sistema de derivación de drenaje de cuenca	3	2	2	2	3
1,3	Riesgo de sismo **	1	1	1	1	1
1,4	Estabilidad	1	1	1	2	1
<b>2</b>	<b>SISTEMA DE GESTION DE AGUAS</b>					
2,1	Torres (cachimbas) y dedos de drenaje	1	1	2	2	1
2,2	Canales de colecta y evacuación de efluentes	1	1	2	2	1
<b>3</b>	<b>SISTEMA DE DEPOSICION DE RESIDUOS</b>					
3,1	Sistema de bombeo	1	1	1	1	1
3,2	Batería de ciclones de espesamiento	1	1	1	1	1
3,3	Ductos o conductos de transporte de pulpa	1	1	2	2	1
3,4	Control del espejo de agua	1	1	2	2	1
<b>4</b>	<b>OPERACIÓN DEL DIQUE</b>					
4,1	Revancha	3	3	2	1	2
4,2	Impermeabilización (Humedad en el muro)	2	2	2	2	2
4,3	Piezómetros y sistemas de control	2	2	2	1	2

## ETAPA 5.2. CALCULO DEL NIVEL DE RIESGO

Siguiendo el método FMEA el nivel de Riesgo se calculó con la siguiente relación

$$\text{RIESGO} = \text{PROBABILIDAD} \times \text{CONSECUENCIA}$$

NIVEL DE CONSECUENCIAS					
NIVEL DE PROBABILIDAD		1	2	3	NIVEL DE RIESGO (EN COLORES)
	1	1	2	3	
	2	2	4	6	
	3	3	6	9	

Código de colores:

- **Rojo :** Riesgo muy alto
- **Naranja:** Riesgo alto
- **Amarillo :** Riesgo moderado
- **Verde :** Riesgo bajo
- **Azul :** Riesgo despreciable

**ETAPA 5.3. EVALUACION DEL ANALISIS DE RIESGOS DEL DIQUE DE COLAS DE LAMBOL – CHOROMA**

Tabla 3.14 Evaluación del análisis de Riesgos

CODIGO NUMÉRICO	COMPONENTE DEL DIQUE EVALUADO	NIVEL DE RIESGO			MEDIDAS DE PROTECCION RECOMENDADAS
		P	C	R	
1	<b>DIQUE DE COLAS</b>				
1.1	Dique construido con residuos (colas)	1	3	3	Realizar controles granulométricos y test de compactación en cada realce
1.2	Sistema de derivación de drenaje de cuenca	2	2	4	Construcción de zanjas de coronación y mantenimiento permanente
1.3	Riesgo de sismo **	1	1	1	Supervisión permanente ante posibles apariciones de grietas y fisuras
1.4	Estabilidad	1	2	2	Supervisión y mantenimiento de playas de consolidación en el borde dique
2	<b>SISTEMA DE GESTION DE AGUAS</b>				
2.1	Torres (cachimbas) y dedos de drenaje	1	2	2	Inspección con cámaras de video y limpieza robótica
2.2	Canales de colecta y evacuación de efluentes	2	1	2	Construcción y mejoramiento de canales de descarga de efluentes
3	<b>SISTEMA DE DEPOSICION DE RESIDUOS</b>				
3.1	Sistema de bombeo	3	1	3	Mantenimiento preventivo oportuno de bombas y descarga estanque de emergencia
3.2	Batería de ciclones de espesamiento	2	1	2	Inspección periódica e instalación de sistema de trampa anti basuras
3.3	Ductos o conductos de transporte de pulpa	3	1	3	Mantenimiento preventivo oportuno y mantener ductos dentro del dique y debajo de la cresta
3.4	Control del espejo de agua	3	1	3	Revisión periódica del balance de aguas y control tonelaje de descarga
4	<b>OPERACIÓN DEL DIQUE</b>				
4.1	Revancha	2	2	4	Mantenimiento de por lo menos 80 cm de rebancha y 50 cm de cresta
4.2	Impermeabilización (Humedad en el muro)	1	2	2	Consolidación de playas en la cara aguas arriba de la presa
4.3	Piezómetros y sistemas de control	2	2	4	Instalación en sectores de riesgo, registro y control estadístico

3.3.2 Chocaya Animas



Foto 3.8 Dique de colas de CHOCAYA ÁNIMAS

**ETAPA No 1.- DIQUE DE COLAS CHOCAYA ÁNIMAS**

- Tipo de dique:** Aguas arriba con drenaje interno por cachimbas en la base  
Alimentación al dique por bombeo de colas y descarga por espigots
- Realce:** Deposición de arenas de la playa del dique por compactación para elevar la cresta y aumentar la capacidad de almacenamiento
- Extención del análisis de riesgo :** Todos los componentes del dique para un período de 10 años.

**Objetivo :** Evaluación del Riesgo para la Alta cuenca del Pilcomayo  
**Ejecutor :** Consultora : Orozco Collazos. Oruro-Bolivia  
**Cliente :** Comité Ejecutivo Trinacional de la Cuenca del Pilcomayo

**Detalle de componentes del dique que son evaluados :**

Código numérico	Componentes del dique evaluados	Análisis de Riesgo Aceptable	
		Durante el período de operación del dique	Después del eventual cierre
<b>1.0</b>	<b>Presa de colas</b>		
1.1	Dique construido con los residuos de colas	X	X
1.2	Sistema de derivación de drenaje de cuenca	X	X
1.3	Estabilidad del Dique	X	X
<b>2.0</b>	<b>Sistema de gestión de aguas</b>		
2.1	Torres (cachimbas) y conductos de desagüe	X	X
2.2	Canales de colecta y evacuación de efluentes	X	X
<b>3.0</b>	<b>Sistema de deposición de residuos</b>		
3.1	Sistema de bombeo	X	X
3.2	Sistema de descarga por Spigots	X	X
3.3	Ductos o conductos de transporte	X	X
3.4	Control del espejo de agua	X	X

**ETAPA No 2: LIMITES FISICOS Y DURACIÓN DEL PROYECTO**

**Dique colas Chocaya Animas**

**Propietario o responsable legal:** Cooperativa Minera Chocaya SRL.

**Dirección:** Localidad Palca Chocaya, Municipio de Atocha

**Ubicación:** Departamento de Potosí. Provincia: Sud Chichas

**Coordenadas UTM:** 785084.97 E 7685525.47 N

**Tipo de residuos acumulados:** Colas sulfurosas del Ingenio:

**Naturaleza de los residuos:** Tóxicos con un PNN = - 1000.2 kg CaCO<sub>3</sub>/ton.

**Tonelaje acumulado a la fecha:** 51,031.54 Ton

**Tonelaje diario de deposición:** 40 t/d

**ETAPA No 3: MODOS DE FALLA POSIBLES PARA CADA COMPONENTE DEL DIQUE SAN ANTONIO QUE COMPROMETAN SU ESTABILIDAD**

Código numérico	Componentes del dique evaluados	Formas de falla	
		Durante el período de operación del dique	Después del eventual cierre
<b>1.0</b>	<b>Dique de colas</b>		
1.1	Dique construido con los residuos de colas	Colapso	Licuación
1.2	Sistema de derivación de drenaje de	Carencia	Obstrucción

	cuenca		
1.3	Riesgo de sismo **	Colapso	Colapso
1.4	Estabilidad	Colapso	Colapso
<b>2.0</b>	<b>Sistema de gestión de aguas</b>		
2.1	Torres (cachimbas) y dedos de drenaje	Obstrucción	Obstrucción
2.2	Canales de colecta y evacuación de efluentes	Desborde	Relleno
<b>3.0</b>	<b>Sistema de deposición de residuos</b>		
3.1	Sistema de bombeo	Rotura	-
3.2	Sistema de descarga por Spigots	Taponamiento	-
3.3	Ductos o conductos de transporte de pulpa	Rotura	-
3.4	Control del espejo de agua	Reduccion	-
<b>4.0</b>	<b>Operación del Dique</b>		
4.1	Revancha mínima	rebalse	-
4.2	Impermeabilización (Humedad en el muro)	licuación	-
4.3	Piezómetros y sistemas de control	Deterioro	Deterioro

\*\* Si no se consideró incorporación en cálculo de diseño

#### ETAPA 4: ASIGNACION DE NIVEL DE LA PROBABILIDAD DE QUE OCURRA UNA FALLA

Se ha definido una escala para la asignación del nivel de probabilidad de que ocurra una falla en el dique con un código numérico y nivel descriptivo que se explica en la siguiente tabla.

El nivel 1 con código descriptivo despreciable se aplicara si la probabilidad de que ocurra la falla es muy bajo o no debiera ocurrir por haberse tomado la previsión necesaria en el diseño y construcción del dique

El nivel 2 con código bajo se aplicará cuando el incidente de falla no comprometa la estabilidad del dique porque podrá ser reparada oportunamente.

El nivel 3 con código elevado es un tipo de falla que se puede presentar frecuentemente por el modo de operación y control actual del dique o por incidentes no previstos.

#### ETAPA No 5: IDENTIFICAR EL NIVEL DE CONSECUENCIAS DE CADA FALLA CONFORME A UNA ESCALA DE IMPACTO AMBIENTAL PARA LA CUENCA ALTA DEL PILCOMAYO

Se han adoptado los siguientes 4 parámetros:

- ◆ **Amplitud del impacto** **A**
- ◆ **Duración del impacto** **D**
- ◆ **Sensibilidad del medio receptor** **S**
- ◆ **Percepción del público** **P**

Los niveles de consecuencias adoptados para calificar los 4 parámetros de impacto ambiental se muestran en la siguiente tabla:

Código numérico	Código descriptivo	Frecuencia o potencial basado sobre datos históricos	Ejemplo tipo para un dique de colas
1	Despreciable	No debe ocurrir	Crecida máxima probable
2	Débil	Una vez en la vida del proyecto	Rotura de un conducto, tubería o canal de residuos
3	Elevado	Más de una vez en la vida del proyecto	Erosión de la capa de protección o colmataje de la torre de decantación

Parámetro	Nivel / categoría	Impacto típico
Amplitud del impacto	Elevado / A - 3	Gran número de cultivos y peces afectados
	Moderado / A - 2	Cierto número de cultivos y peces afectados
	Bajo / A - 1	Algunos cultivos y peces afectados
Duración del impacto	Muy largo / D - 3	Cientos de años de impacto ( Ej : Contaminación Radioactiva por residuos
	Largo / D - 2	Decenas de años de impacto ( Ej Bentos y sedimentos afectados )
	Corto / D - 1	Semanas a meses de impacto ( Ej : Derrame de CN- degradable )
Sensibilidad del medio receptor	Muy sensible / S - 3	El receptor es de gran valor, Ej : Río usado como fuente de agua potable o pesca
	Sensible / S - 2	Receptor de valor limitado, Ej : Río recreativo o uso de riego
	Poco sensible / S - 1	Receptor de poco valor o interés, Ej : Río aislado sin vida acuática.
Percepción del público	Fuerte / P - 3	Reserva autóctona , nivel turístico, reserva faúnica o parque protegido
	Tipico / P - 2	Interés marcado de comunidades locales asentadas o afectadas por el área del proyecto
	Débil / P - 1	Poco interés de terceros (o comunidades locales )

#### ETAPA 5.1. EVALUACION DEL NIVEL DE CONSECUENCIAS

La codificación numérica de los niveles de consecuencia de cada falla probable se realizó por la combinación de los 4 modos según los siguientes criterios:

Código numérico	Código descriptivo	Impacto ambiental/ Percepción pública	Nivel de impacto (°) Para cada parámetro
1	Bajo	Impacto débil/ Percepción moderada	A 1 y D1 y S1 y (P1 ó P2)
2	Elevado	Impacto moderado/ Percepción elevada	· A3 ó D3 ó S3 Con todos los otros criterios en nivel 1 · Con todas las combinaciones de criterios conteniendo nivel 1 y 2 · P3 en combinación con otros criterios de nivel 1 ó 2
3	Muy elevado	Impacto importante/ Percepción elevada	A3 y D3 ó A3 y S3 ó D3 y S3 A3 y ( D2 ó S2 ) D3 y ( A2 ó S2 ) S3 y ( A2 ó D2 )

Tabla 3.15 Valoración de la magnitud del impacto y nivel de consecuencias

CODIGO NUMÉRICO	COMPONENTE DEL DIQUE EVALUADO	MAGNITUD DEL IMPACTO				CONSECUENCIA
		AMPLITUD	DURACION	SENSIBILID	P.PUBLICO	
<b>1</b>	<b>DIQUE DE COLAS</b>					
1.1	Dique construido con los residuos de colas	2	2	2	1	2
1.2	Sistema de derivación de drenaje de cuenca	2	1	2	1	2
1.3	Riesgo de sismo **	1	1	1	1	1
1.4	Estabilidad	3	1	2	1	2
<b>2</b>	<b>SISTEMA DE GESTION DE AGUAS</b>					
2.1	Torres (cachimbas) y dedos de drenaje	2	1	2	1	2
2.2	Canales de colecta y evacuación de efluentes	3	1	2	1	2
<b>3</b>	<b>SISTEMA DE DEPOSICION DE RESIDUOS</b>					
3.1	Sistema de bombeo	1	1	1	1	1
3.2	Sistema de descarga por Spigots	1	1	1	1	1
3.3	Ductos o conductos de transporte de pulpa	1	1	1	1	1
3.4	Control del espejo de agua	1	1	2	1	1
<b>4</b>	<b>OPERACIÓN DEL DIQUE</b>					
4.1	Revancha	3	2	2	1	3
4.2	Impermeabilización (Humedad en el muro)	2	2	2	1	2
4.3	Piezómetros y sistemas de control	2	2	2	1	2

## ETAPA 5.2. CALCULO DEL NIVEL DE RIESGO

Siguiendo el método FMEA el nivel de Riesgo se calculó con la siguiente relación

$$\text{RIESGO} = \text{PROBABILIDAD} \times \text{CONSECUENCIA}$$

NIVEL DE CONSECUENCIAS					
NIVEL DE PROBABILIDAD		1	2	3	NIVEL DE RIESGO (EN COLORES)
	1	1	2	3	
	2	2	4	6	
	3	3	6	9	

**Código de colores:**

- **Rojo :** Riesgo muy alto
- **Naranja:** Riesgo alto
- **Amarillo :** Riesgo moderado
- **Verde :** Riesgo bajo
- **Azul :** Riesgo despreciable

**ETAPA 5.3. EVALUACION DEL ANALISIS DE RIESGOS DEL DIQUE DE COLAS CHOCAYA ÁNIMAS**

Tabla 3.16 Evaluación de Análisis de Riesgos

CODIGO NUMÉRICO	COMPONENTE DEL DIQUE EVALUADO	NIVEL DE RIESGO			MEDIDAS DE PROTECCIÓN RECOMENDADAS
		P	C	R	
1	<b>DIQUE DE COLAS</b>				
1.1	Dique construido con residuos de colas	3	2	6	Realizar controles granulométricos y test de compactación en cada realce
1.2	Sistema de derivación de drenaje de cuenca	3	2	6	Constucción de zanjas de coronación y mantenimiento permanente
1.3	Riesgo de sismo **	1	1	1	Supervicion permanente ante posibles apariciones de grietas y fisuras
1.4	Estabilidad	3	2	6	Supervicion y mantenimiento de playas de consolidacion en el borde dique, control del ángulo del talud
2	<b>SISTEMA DE GESTION DE AGUAS</b>				
2.1	Torres (cachimbas) y dedos de drenaje	2	2	4	Inspección con cámaras de video y limpieza robótica
2.2	Canales de colecta y evacuación de efluentes	2	2	4	Construcción y mejoramiento de canales de descarga de efluentes
3	<b>SISTEMA DE DEPOSICION DE RESIDUOS</b>				
3.1	Sistema de bombeo	3	1	3	Mantenimiento preventivo oportuno de bombas y descarga estanque de emergencia
3.2	Sistema de descarga por Spigots	3	1	3	Inspección periódica e instalación de sistema de trampa anti basuras
3.3	Ductos o conductos de transporte de pulpa	3	1	3	Mantenimiento preventivo oportuno y mantener ductos dentro del dique y debajo de la cresta
3.4	Control del espejo de agua	3	3	9	Revisión periódica del balance de aguas y control tonelaje de descarga
4	<b>OPERACIÓN DEL DIQUE</b>				
4.1	Revancha	3	3	9	Mantenimiento de por lo menos 80 cm de rebancha y 50 cm de cresta
4.2	Impermeabilización (Humedad en el muro)	2	2	4	Consolidación de playas en la cara aguas arriba de la presa
4.3	Piezómetros y sistemas de control	3	2	6	Instalación en sectores de riesgo, registro y control estadístico

**3.3.3 Compotosi**



Foto 3.9 Dique de colas COMPOTOSI

## ETAPA No 1.- DIQUE DE COLAS COMPOTOSI

**Tipo de dique:** Sistema de pulpa espesada con dedos de drenaje interno en la base que no funciona. Actualmente se alimenta al dique de colas por bombeo de la planta al dique sin previo espesamiento, y la descarga al dique es puntual.

**Realce:** Deposición de arenas de la playa del dique sin compactación para elevar la cresta y aumentar la capacidad de almacenamiento

**Extensión del análisis de riesgo :** Todos los componentes del dique para 10 años.

**Objetivo :** Evaluación del Riesgo para la Alta cuenca del Pilcomayo

**Ejecutor :** Consultora : Orozco Collazos. Oruro-Bolivia

**Ciente :** Comité Ejecutivo Trinacional de la Cuenca del Pilcomayo

### Detalle de componentes del dique que son evaluados

Código numérico	Componentes del dique evaluados	Análisis de Riesgo Aceptable	
		Durante el período de operación del dique	Después del eventual cierre
<b>1.0</b>	<b>Presa de colas</b>		
1.1	Dique construido con los residuos de colas	X	X
1.2	Sistema de derivación de drenaje de cuenca	X	X
1.3	Estabilidad del Dique	X	X
<b>2.0</b>	<b>Sistema de gestión de aguas</b>		
2.1	Conductos de desagüe	X	X
2.2	Canales de colecta y evacuación de efluentes	X	X
<b>3.0</b>	<b>Sistema de deposición de residuos</b>		
3.1	Sistema de bombeo	X	X
3.2	Sistema de descarga por Ciclones	X	X
3.3	Ductos o conductos de transporte	X	X
3.4	Control del espejo de agua	X	X

## ETAPA No 2: LIMITES FISICOS Y DURACIÓN DEL PROYECTO

### Dique colas COMPOTOSI

**Propietario o responsable legal:** Cooperativa Minera COMPOTOSI SRL.

**Dirección:** Localidad Alcko Tambo, Municipio de Potosi

**Ubicación:** Departamento de Potosí. Provincia: Tomás frías

**Coordenadas:** 210632.17 E 7818328.98 N

**Tipo de residuos acumulados:** Colas sulfurosas del Ingenio:

**Naturaleza de los residuos:** Tóxicos con un PNN= - 126.41 kg CaCO<sub>3</sub>/ton

**Tonelaje acumulado a la fecha:** 47,414.21 Ton

**Tonelaje diario de deposición:** 100 t/d

**ETAPA No 3: MODOS DE FALLA POSIBLES PARA CADA COMPONENTE DEL DIQUE SAN ANTONIO QUE COMPROMETAN SU ESTABILIDAD**

Código numérico	Componentes del dique evaluados	Formas de falla	
		Durante el período de operación del dique	Después del eventual cierre
<b>1.0</b>	<b>Dique de colas</b>		
1.1	Dique construido con los residuos de colas	Colapso	Licuación
1.2	Sistema de derivación de drenaje de cuenca	Carencia	Obstrucción
1.3	Riesgo de sismo **	Colapso	Colapso
1.4	Estabilidad	Colapso	Colapso
<b>2.0</b>	<b>Sistema de gestión de aguas</b>		
2.1	Torres (cachimbas) y dedos de drenaje	Obstrucción	Obstrucción
2.2	Canales de colecta y evacuación de efluentes	Desborde	Relleno
<b>3.0</b>	<b>Sistema de deposición de residuos</b>		
3.1	Sistema de bombeo	Rotura	-
3.2	Sistema de descarga por Spigots	Taponamiento	-
3.3	Ductos o conductos de transporte de pulpa	Rotura	-
3.4	Control del espejo de agua	Reduccion	-
<b>4.0</b>	<b>Operación del Dique</b>		
4.1	Revancha mínima	rebalse	-
4.2	Impermeabilización (Humedad en el muro)	licuación	-
4.3	Piezómetros y sistemas de control	Deterioro	Deterioro

\*\* Si no se consideró incorporación en cálculo de diseño

**ETAPA 4: ASIGNACION DE NIVEL DE LA PROBABILIDAD DE QUE OCURRA UNA FALLA**

Se ha definido una escala para la asignación del nivel de probabilidad de que ocurra una falla en el dique con un código numérico y nivel descriptivo que se explica en la siguiente tabla.

El nivel 1 con código descriptivo despreciable se aplicara si la probabilidad de que ocurra la falla es muy bajo o no debiera ocurrir por haberse tomado la previsión necesaria en el diseño y construcción del dique

El nivel 2 con código bajo se aplicará cuando el incidente de falla no comprometa la estabilidad del dique porque podrá ser reparada oportunamente.

El nivel 3 con código elevado es un tipo de falla que se puede presentar frecuentemente por el modo de operación y control actual del dique o por incidentes no previstos.

Código numérico	Código descriptivo	Frecuencia o potencial basado sobre datos históricos	Ejemplo tipo para un dique de colas
1	Despreciable	No debe ocurrir	Crecida máxima probable
2	Débil	Una vez en la vida del proyecto	Rotura de un conducto, tubería o canal de residuos
3	Elevado	Más de una vez en la vida del proyecto	Erosión de la capa de protección o colmataje de la torre de decantación

**ETAPA No 5: IDENTIFICAR EL NIVEL DE CONSECUENCIAS DE CADA FALLA CONFORME A UNA ESCALA DE IMPACTO AMBIENTAL PARA LA CUENCA ALTA DEL PILCOMAYO**

Se han adoptado los siguientes 4 parámetros:

- ◆ **Amplitud del impacto** **A**
- ◆ **Duración del impacto** **D**
- ◆ **Sensibilidad del medio receptor** **S**
- ◆ **Percepción del público** **P**

Los niveles de consecuencias adoptados para calificar los 4 parámetros de impacto ambiental se muestran en la siguiente tabla:

Parámetro	Nivel / categoría	Impacto típico
Amplitud del impacto	Elevado / A - 3	Gran número de cultivos y peces afectados
	Moderado / A - 2	Cierto número de cultivos y peces afectados
	Bajo / A - 1	Algunos cultivos y peces afectados
Duración del impacto	Muy largo / D - 3	Cientos de años de impacto (Ej : Contaminación Radioactiva por residuos)
	Largo / D - 2	Decenas de años de impacto (Ej Bentos y sedimentos afectados)
	Corto / D - 1	Semanas a meses de impacto (Ej : Derrame de CN- degradable)
Sensibilidad del medio receptor	Muy sensible / S - 3	El receptor es de gran valor, Ej : Río usado como fuente de agua potable o pesca
	Sensible / S - 2	Receptor de valor limitado, Ej : Río recreativo o uso de riego
	Poco sensible / S - 1	Receptor de poco valor o interés, Ej : Río aislado sin vida acuática.
Percepción del público	Fuerte / P - 3	Reserva autóctona , nivel turístico, reserva faúnica o parque protegido
	Típico / P - 2	Interés marcado de comunidades locales asentadas o afectadas por el área del proyecto
	Débil / P - 1	Poco interés de terceros (o comunidades locales)

### ETAPA 5.1. EVALUACION DEL NIVEL DE CONSECUENCIAS

La codificación numérica de los niveles de consecuencia de cada falla probable se realizó por la combinación de los 4 modos según los siguientes criterios:

Código numérico	Código descriptivo	Impacto ambiental / Percepción pública	Nivel de impacto (·) Para cada parámetro
1	Bajo	Impacto débil / Percepción moderada	A 1 y D1 y S1 y ( P1 ó P2 )
2	Elevado	Impacto moderado / Percepción elevada	· A3 ó D3 ó S3 Con todos los otros criterios en nivel 1 · Con todas las combinaciones de criterios conteniendo nivel 1 y 2 · P3 en combinación con otros criterios de nivel 1 ó 2
3	Muy elevado	Impacto importante / Percepción elevada	A3 y D3 ó A3 y S3 ó D3 y S3 A3 y ( D2 ó S2 ) D3 y ( A2 ó S2 ) S3 y ( A2 ó D2 )

Tabla 3.17 Valoración de la magnitud del impacto y nivel de consecuencias

CODIGO NUMÉRICO	COMPONENTE DEL DIQUE EVALUADO	MAGNITUD DEL IMPACTO				CONSECUENCIA
		AMPLITUD	DURACION	SENSIBILID	P.PUBLICO	
<b>1</b>	<b>DIQUE DE COLAS</b>					
1.1	Dique construido con los residuos de colas	2	2	2	1	2
1.2	Sistema de derivación de drenaje de cuenca	2	1	2	1	2
1.3	Riesgo de sismo **	1	1	1	1	1
1.4	Estabilidad	3	1	2	1	2
<b>2</b>	<b>SISTEMA DE GESTION DE AGUAS</b>					
2.1	Torres (cachimbas) y dedos de drenaje	2	1	2	1	2
2.2	Canales de colecta y evacuación de efluentes	3	1	2	1	2
<b>3</b>	<b>SISTEMA DE DEPOSICION DE RESIDUOS</b>					
3.1	Sistema de bombeo	1	1	1	1	1
3.2	Sistema de descarga por Spigots	1	1	1	1	1
3.3	Ductos o conductos de transporte de pulpa	1	1	1	1	1
3.4	Control del espejo de agua	1	1	2	1	1
<b>4</b>	<b>OPERACIÓN DEL DIQUE</b>					
4.1	Revanca	3	2	2	1	3
4.2	Impermeabilización (Humedad en el muro)	2	2	2	1	2
4.3	Piezómetros y sistemas de control	2	2	2	1	2

### ETAPA 5.2. CALCULO DEL NIVEL DE RIESGO

Siguiendo el método FMEA el nivel de Riesgo se calculó con la siguiente relación

$$\text{RIESGO} = \text{PROBABILIDAD} \times \text{CONSECUENCIA}$$

NIVEL DE CONSECUENCIAS					
NIVEL DE PROBABILIDAD		1	2	3	NIVEL DE RIESGO (EN COLORES)
	1	1	2	3	
	2	2	4	6	
	3	3	6	9	

**Código de colores:**

- **Rojo :** Riesgo muy alto
- **Naranja:** Riesgo alto
- **Amarillo :** Riesgo moderado
- **Verde :** Riesgo bajo
- **Azul :** Riesgo despreciable

**ETAPA 5.3. EVALUACION DEL ANALISIS DE RIESGOS DEL DIQUE DE COLAS COMPOTOSI**

Tabla 3.18 Evaluación de Análisis de Riesgos

CODIGO NUMÉRICO	COMPONENTE DEL DIQUE EVALUADO	NIVEL DE RIESGO			MEDIDAS DE PROTECCIÓN RECOMENDADAS
		P	C	R	
1	<b>DIQUE DE COLAS</b>				
1.1	Dique construido con residuos de colas	3	3	9	Realizar controles granulométricos y test de compactación en cada realce
1.2	Sistema de derivación de drenaje de cuenca	2	2	4	Constucción de zanjas de coronación y mantenimiento permanente
1.3	Riesgo de sismo **	1	1	1	Supervicion pemanente ante posibles apariciones de grietas y fisuras
1.4	Estabilidad	2	3	6	Supervicion y mantenimiento de playas de consolidacion en el borde dique, control del ángulo del talud
2	<b>SISTEMA DE GESTION DE AGUAS</b>				
2.1	Torres (cachimbas) y dedos de drenaje	3	3	9	Inspección con cámaras de video y limpieza robótica
2.2	Canales de colecta y evacuación de efluentes	3	3	9	Construcción y mejoramiento de canales de descarga de efluentes
3	<b>SISTEMA DE DEPOSICION DE RESIDUOS</b>				
3.1	Sistema de bombeo	3	1	3	Mantenimiento preventivo oportuno de bombas y descarga estanque de emergencia
3.2	Sistema de descarga por Spigots	3	1	3	Inspección periódica e instalación de sistema de trampa anti basuras
3.3	Ductos o conductos de transporte de pulpa	1	1	1	Mantenimiento preventivo oportuno y mantener ductos dentro del dique y debajo de la cresta
3.4	Control del espejo de agua	3	1	3	Revisión periódica del balance de aguas y control tonelaje de descarga
4	<b>OPERACIÓN DEL DIQUE</b>				
4.1	Revancha	2	2	4	Mantenimiento de por lo menos 80 cm de rebancha y 50 cm de cresta
4.2	Impermeabilización (Humedad en el muro)	2	2	4	Consolidación de playas en la cara aguas arriba de la presa
4.3	Piezómetros y sistemas de control	3	2	6	Instalación en sectores de riesgo, registro y control estadístico

### 3.3.4 San Antonio



Foto 3.10 Dique de colas de San Antonio

#### ETAPA No 1.- DIQUE DE COLAS SAN ANTONIO DE LA ASOCIACION DE INGENIOS POTOSI

**Tipo de dique:** Aguas arriba con drenaje interno por cachimbas y canales en la base  
Alimentación al dique por bombeo de colas a bateria de ciclones

**Realce:** Deposición de arenas de la playa del dique por compactación para elevar la cresta y aumentar la capacidad de almacenamiento

**Extención del análisis de riesgo :** Todos los componentes del dique para un período de 10 años

**Objetivo :** Evaluacion del Riesgo para la cuenca alta del Pilcomayo

**Ejecutor :** Consultora Orozco Collazos Oruro-Bolivia

**Ciente :** Comité Ejecutivo Trinacional de la Cuenca del Pilcomayo

#### Detalle de componentes del dique que son evaluados

Código numérico	Componentes del dique evaluados	Análisis de Riesgo Aceptable	
		Durante el período de operación del dique	Después del eventual cierre
1.0	Presa de colas		
1.1	Dique construido con los residuos de colas	X	X
1.2	Sistema de derivación de drenaje de cuenca	X	X
1.3	Estabilidad del Dique	X	X
2.0	Sistema de gestión de aguas		
2.1	Torres (cachimbas) y conductos de desagüe	X	X

2.2	<b>Canales de colecta y evacuación de efluentes</b>	X	X
3.0	Sistema de deposición de residuos		
3.1	Sistema de bombeo	X	X
3.2	Batería de ciclones de espesamiento	X	X
3.3	Ductos o conductos de transporte	X	X
3.4	Control del espejo de agua	X	X

## ETAPA No 2: LIMITES FISICOS Y DURACIÓN DEL PROYECTO

### Dique colas San Antonio

**Propietario o responsable legal:** Asociación de ingenios de Potosí

**Dirección:** Localidad San Antonio, Municipio Yocalla

**Ubicación:** Departamento de Potosí. Provincia: Tomás Frías

**Coordenadas:** 207186.00 E 7832130.00 N

**Tipo de residuos acumulados:** Colas sulfurosas de los ingenio de la asociación:

**Naturaleza de los residuos:** Tóxicos con un PNN= - 176.14 kg CaCO<sub>3</sub>/ton

**Tonelaje acumulado a la fecha:** 5,166.720.6 TMS (a diciembre de 2012)

**Tonelaje diario de deposición:** 4,039.68 TMSD

## ETAPA No 3: MODOS DE FALLA POSIBLES PARA CADA COMPONENTE DEL DIQUE SAN ANTONIO QUE COMPROMETAN SU ESTABILIDAD

Código numérico	Componentes del dique evaluados	Formas de falla	
		Durante el período de operación del dique	Después del eventual cierre
1.0	Dique de colas		
1.1	Dique construido con los residuos de colas	Colapso	Licuación
1.2	<b>Sistema de derivación de drenaje de cuenca</b>	Carencia	Obstrucción
1.3	<b>Riesgo de sismo **</b>	Colapso	Colapso
1.4	<b>Estabilidad</b>	Colapso	Colapso
2.0	Sistema de gestión de aguas		
2.1	Torres (cachimbas) y dedos de drenaje	Obstrucción	Obstrucción
2.2	<b>Canales de colecta y evacuación de efluentes</b>	Desborde	Relleno
3.0	Sistema de deposición de residuos		
3.1	Sistema de bombeo	Rotura	-
3.2	Batería de ciclones de espesamiento	Taponamiento	-
3.3	Ductos o conductos de transporte de pulpa	Rotura	-
3.4	Control del espejo de agua	Reduccion	-
4.0	Operación del Dique		
4.1	Revancha mínima	rebalse	-
4.2	Impermeabilización (Humedad en el muro)	licuación	-
4.3	Piezómetros y sistemas de control	Deterioro	Deterioro

#### ETAPA 4: ASIGNACION DE NIVEL DE LA PROBABILIDAD DE QUE OCURRA UNA FALLA

Se ha definido una escala para la asignación del nivel de probabilidad de que ocurra una falla en el dique con un código numérico y nivel descriptivo que se explica en la siguiente tabla.

El nivel 1 con código descriptivo despreciable se aplicara si la probabilidad de que ocurra la falla es muy bajo o no debiera ocurrir por haberse tomado la previsión necesaria en el diseño y construcción del dique

El nivel 2 con código bajo se aplicará cuando el incidente de falla no comprometa la estabilidad del dique porque podrá ser reparada oportunamente.

El nivel 3 con código elevado es un tipo de falla que se puede presentar frecuentemente por el modo de operación y control actual del dique o por incidentes no previstos.

Código numérico	Código descriptivo	Frecuencia o potencial basado sobre datos históricos	Ejemplo tipo para un dique de colas
1	Despreciable	No debe ocurrir	Crecida máxima probable
2	Débil	Una vez en la vida del proyecto	Rotura de un conducto, tubería o canal de residuos
3	Elevado	Más de una vez en la vida del proyecto	Erosión de la capa de protección o colmataje de la torre de decantación

#### ETAPA No 5: IDENTIFICAR EL NIVEL DE CONSECUENCIAS DE CADA FALLA CONFORME A UNA ESCALA DE IMPACTO AMBIENTAL PARA LA CUENCA ALTA DEL PILCOMAYO

Se han adoptado los siguientes 4 parámetros:

- ◆ **Amplitud del impacto** **A**
- ◆ **Duración del impacto** **D**
- ◆ **Sensibilidad del medio receptor** **S**
- ◆ **Percepción del público** **P**

Los niveles de consecuencias adoptados para calificar los 4 parámetros de impacto ambiental se muestran en la siguiente tabla:

Parámetro	Nivel / categoría	Impacto típico
Amplitud del impacto	Elevado / A - 3	Gran número de cultivos y peces afectados
	Moderado / A - 2	Cierto número de cultivos y peces afectados
	Bajo / A - 1	Algunos cultivos y peces afectados
Duración del impacto	Muy largo / D - 3	Cientos de años de impacto ( Ej : Contaminación Radioactiva por residuos)
	Largo / D - 2	Decenas de años de impacto ( Ej Bentos y sedimentos afectados )
	Corto / D - 1	Semanas a meses de impacto ( Ej : Derrame de CN- degradable )
Sensibilidad del medio receptor	Muy sensible / S - 3	El receptor es de gran valor, Ej : Río usado como fuente de agua potable o pesca
	Sensible / S - 2	Receptor de valor limitado, Ej :Río recreativo o uso de riego
	Poco sensible / S - 1	Receptor de poco valor o interés, Ej : Río aislado sin vida acuática.
Percepción del público	Fuerte / P - 3	Reserva autóctona , nivel turístico, reserva faúnica o parque protegido
	Tipico / P - 2	Interés marcado de comunidades locales asentadas o afectadas por el área del proyecto
	Débil / P - 1	Poco interés de terceros (o comunidades locales )

### ETAPA 5.1. EVALUACION DEL NIVEL DE CONSECUENCIAS

La codificación numérica de los niveles de consecuencia de cada falla probable se realizó por la combinación de los 4 modos según los siguientes criterios:

Código numérico	Código descriptivo	Impacto ambiental / Percepción pública	Nivel de impacto (·) Para cada parámetro
1	Bajo	Impacto débil/ Percepción moderada	A 1 y D1 y S1 y ( P1 ó P2 )
2	Elevado	Impacto moderado/ Percepción elevada	· A3 ó D3 ó S3 Con todos los otros criterios en nivel 1 · Con todas las combinaciones de criterios conteniendo nivel 1 y 2 · P3 en combinación con otros criterios de nivel 1 ó 2
3	Muy elevado	Impacto importante/ Percepción elevada	A3 y D3 ó A3 y S3 ó D3 y S3 A3 y ( D2 ó S2 ) D3 y ( A2 ó S2 ) S3 y ( A2 ó D2)

Tabla 3.19 Valoración de la magnitud del impacto y nivel de consecuencias

CODIGO NUMÉRICO	COMPONENTE DEL DIQUE EVALUADO	MAGNITUD DEL IMPACTO				CONSECUENCIA
		AMPLITUD	DURACION	SENSIBILID	P.PUBLICO	
1	<b>DIQUE DE COLAS</b>					
1.1	DIQUE CONSTRUIDO CON RESIDUOS DE COLAS	3	2	2	2	3
1.2	Sistema de derivación de drenaje de cuenca	3	2	2	1	2
1.3	Riesgo de sismo **	1	1	1	1	1
1.4	Estabilidad	3	2	2	1	2
2	<b>SISTEMA DE GESTION DE AGUAS</b>					
2.1	Torres (cachimbas) y dedos de drenaje	3	1	2	1	2
2.2	Canales de colecta y evacuación de efluentes	1	1	2	1	1
3	<b>SISTEMA DE DEPOSICION DE RESIDUOS</b>					
3.1	Sistema de bombeo	1	1	1	1	1
3.2	Batería de ciclones de espesamiento	1	1	1	1	1
3.3	Ductos o conductos de transporte de pulpa	1	1	2	1	1
3.4	Control del espejo de agua	1	1	2	1	1
4	<b>OPERACIÓN DEL DIQUE</b>					
4.1	Revancha	3	3	2	1	2
4.2	Impermeabilización (Humedad en el muro)	3	3	2	1	2
4.3	Piezómetros y sistemas de control	2	2	2	1	2

## ETAPA 5.2. CALCULO DEL NIVEL DE RIESGO

Siguiendo el método FMEA el nivel de Riesgo se calculó con la siguiente relación

$$\text{RIESGO} = \text{PROBABILIDAD} \times \text{CONSECUENCIA}$$

NIVEL DE CONSECUENCIAS					
NIVEL DE PROBABILIDAD		1	2	3	NIVEL DE RIESGO (EN COLORES)
	1	1	1	2	
2	2	2	4	6	
3	3	3	6	9	

Código de colores:

- • **Rojo :** Riesgo muy alto
- • **Naranja:** Riesgo alto
- • **Amarillo :** Riesgo moderado
- • **Verde :** Riesgo bajo
- **Azul :** Riesgo despreciable

ETAPA 5.3. EVALUACION DEL ANALISIS DE RIESGOS DEL DIQUE DE COLAS SAN ANTONIO

Tabla 3.20 Evaluación de Análisis de Riesgos

CODIGO NUMÉRICO	COMPONENTE DEL DIQUE EVALUADO	NIVEL DE RIESGO			MEDIDAS DE PROTECCION RECOMENDADAS
		P	C	R	
1	<b>DIQUE DE COLAS</b>				
1.1	DIQUE CONSTRUIDO CON RESIDUOS DE COLAS	1	3	3	Realizar controles granulométricos y test de compactación en cada realce
1.2	Sistema de derivación de drenaje de cuenca	2	2	4	Constucción de zanjas de coronación y mantenimiento permanente
1.3	Riesgo de sismo **	1	1	1	Supervisión permanente ante posibles apariciones de grietas y fisuras
1.4	Estabilidad	1	2	2	Supervisión y mantenimiento de playas de consolidacion en el borde dique
2	<b>SISTEMA DE GESTION DE AGUAS</b>				
2.1	Torres (cachimbas) y dedos de drenaje	1	2	2	Inspección con cámaras de video y limpieza robótica
2.2	Canales de colecta y evacuación de efluentes	2	1	2	Construcción y mejoramiento de canales de descarga de efluentes
3	<b>SISTEMA DE DEPOSICION DE RESIDUOS</b>				
3.1	Sistema de bombeo	3	1	3	Mantenimiento preventivo oportuno de bombas y descarga estanque de emergencia
3.2	Batería de ciclones de espesamiento	2	1	2	Inspección periódica e instalación de sistema de trampa anti basuras
3.3	Ductos o conductos de transporte de pulpa	3	1	3	Mantenimiento preventivo oportuno y mantener ductos dentro del dique y debajo de la cresta
3.4	Control del espejo de agua	3	1	3	Revisión periódica del balance de aguas y control tonelaje de descarga
4	<b>OPERACION DEL DIQUE</b>				
4.1	Revancha	2	2	4	Mantenimiento de por lo menos 80 cm de rebancha y 50 cm de cresta
4.2	Impermeabilización (Humedad en el muro)	1	2	2	Consolidación de playas en la cara aguas arriba de la presa
4.3	Piezómetros y sistemas de control	2	2	4	Instalación en sectores de riesgo, registro y control estadístico

3.4 RIESGOS GEOLÓGICOS (MAPAS DE INUNDACIÓN)

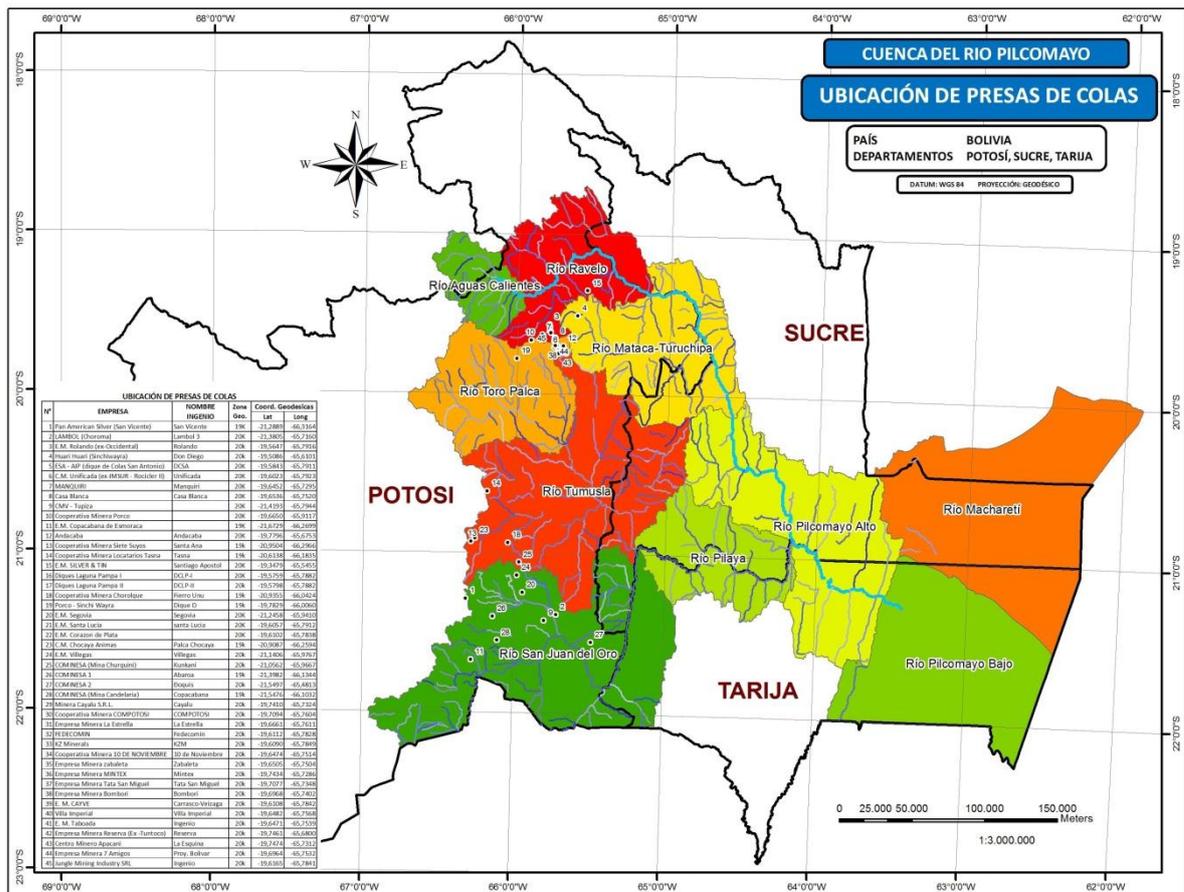


Fig. 3.28 Ubicación de la presas de colas en sobre la cuenca alta del rio Pilcomayo



3.4.1 Lambol – Choroma

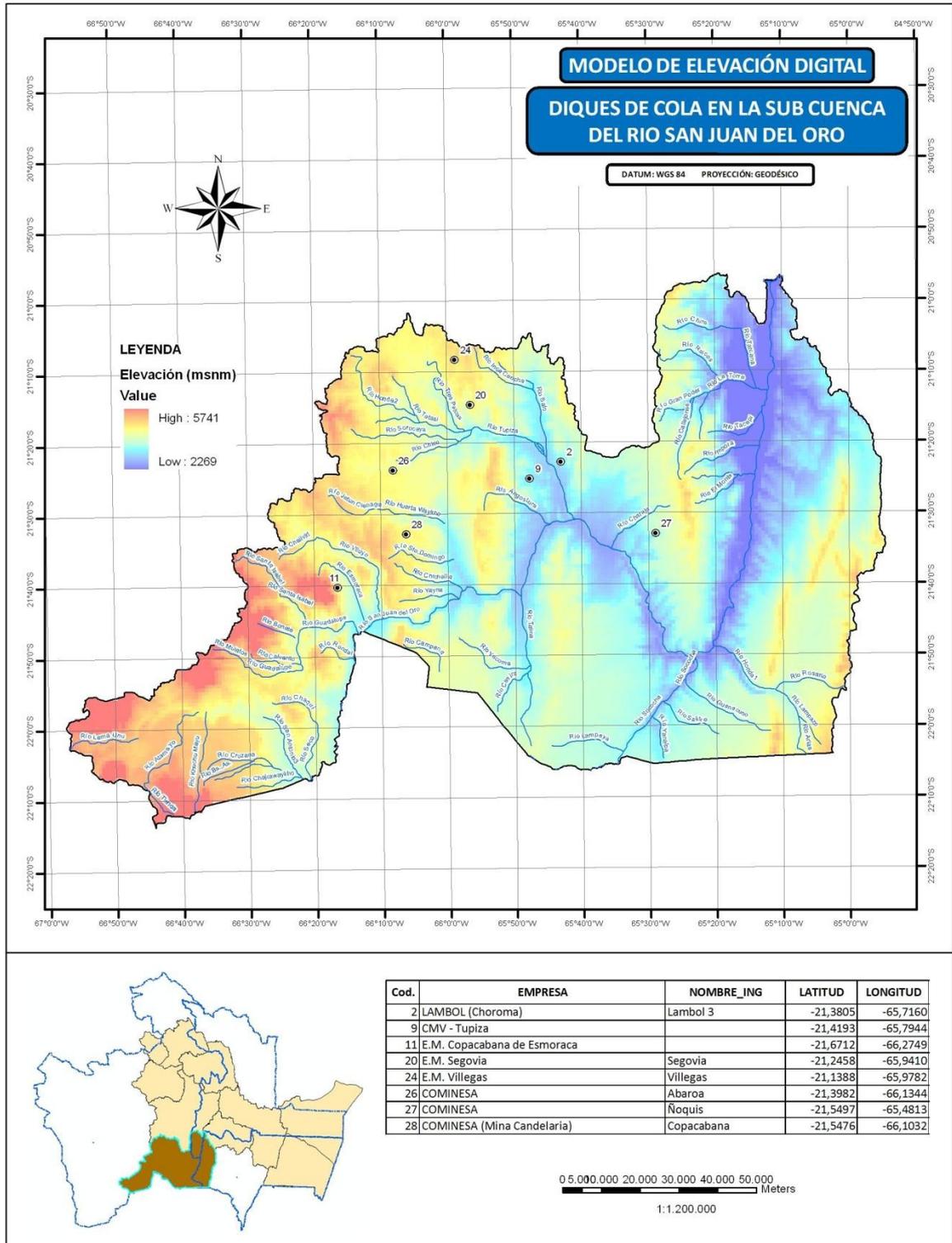


Fig. 3.30 Presa de Lambol – Choroma, sobre la sub cuenca del río San Juan del Oro

La fig. 3.30 nos permite observar que en caso de que el dique de colas de Lambol Choroma, sufra un colapso, afectará primero al río Tupiza, luego al río San Juan del Oro, al río Pilaya y finalmente al río Pilcomayo.

3.4.2 Chocaya Animas

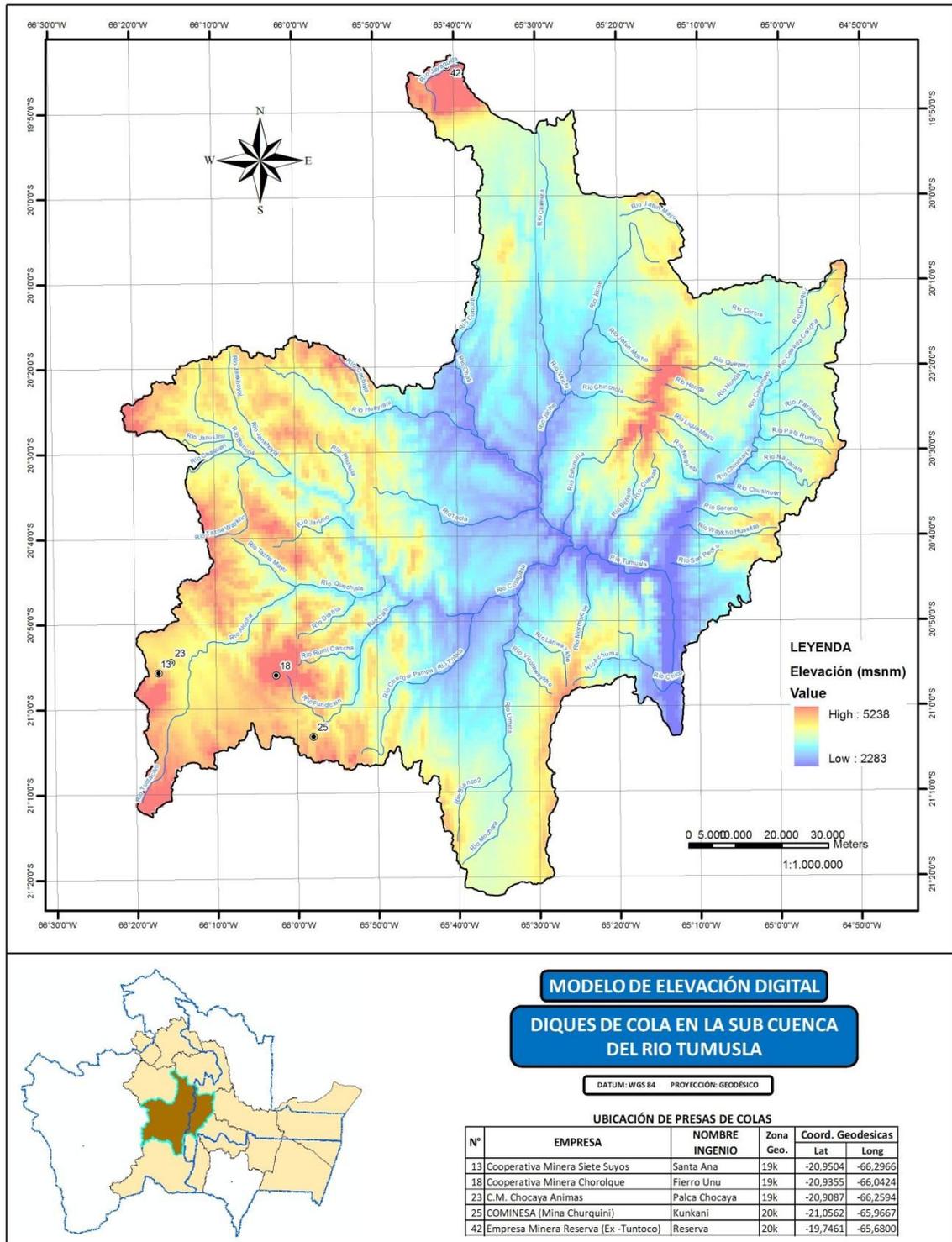


Fig. 3.31 Presa de colas de Chocaya Animas, sobre la sub cuenca del río Tumusla

La fig. 3.31 nos permite observar que en caso de que el dique de colas de Chocaya Animas, sufra un colapso, afectará primero al río Atocha, luego al río Quechisla, al río Cotagaita, al río Tumusla, al río San Juan del Oro, al río Pilaya y finalmente al río Pilcomayo.

3.4.3 Compotosi

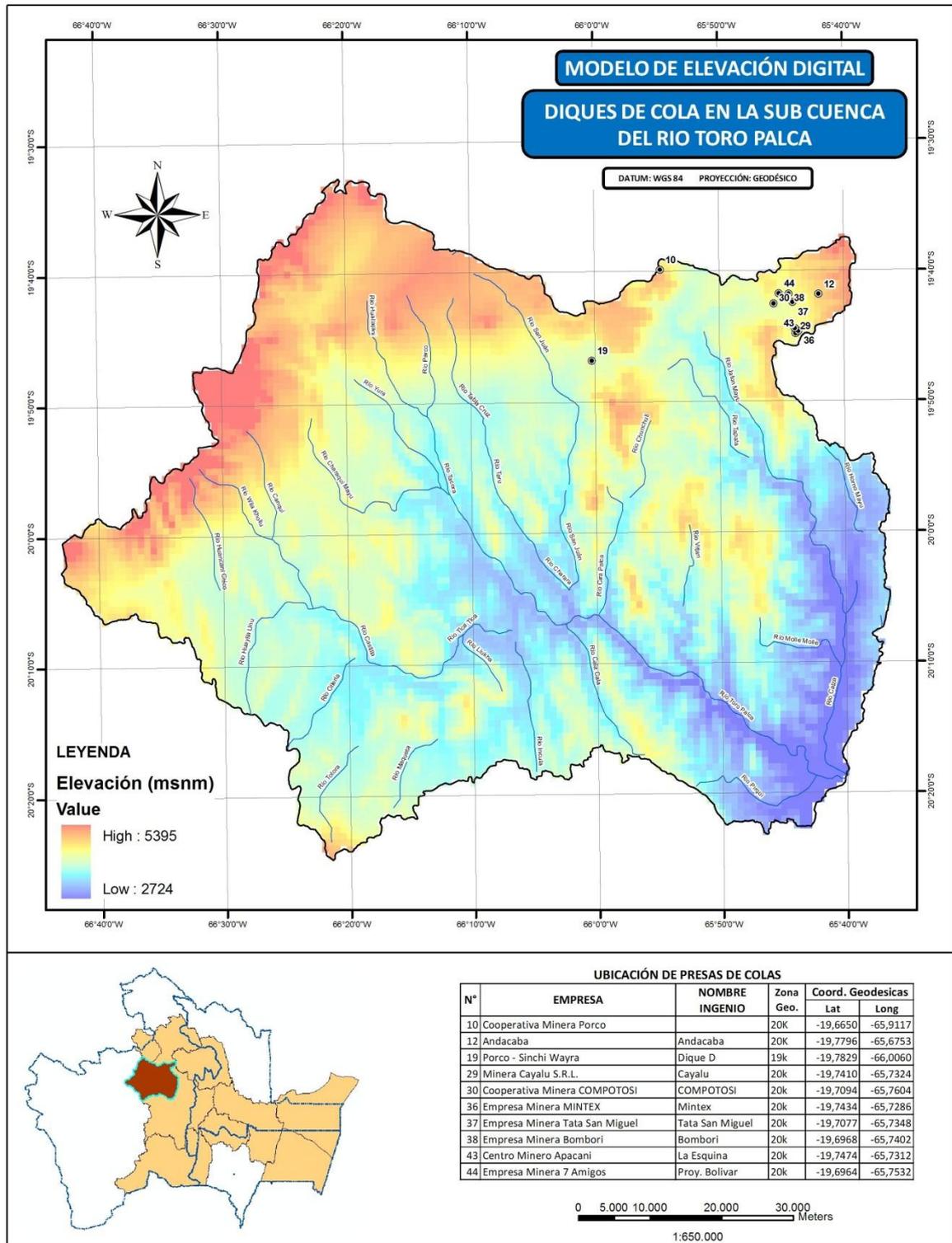


Fig. 3.32 Presa de colas de Compotosi, sobre la sub cuenca del río Toro Palca

La fig. 3.32 nos permite observar que si existiera derrame de colas, estas llegarían al río Jatun Mayu, luego al río Caiza, al río Tumusla, y finalmente al río Pilcomayo.

3.4.4 San Antonio

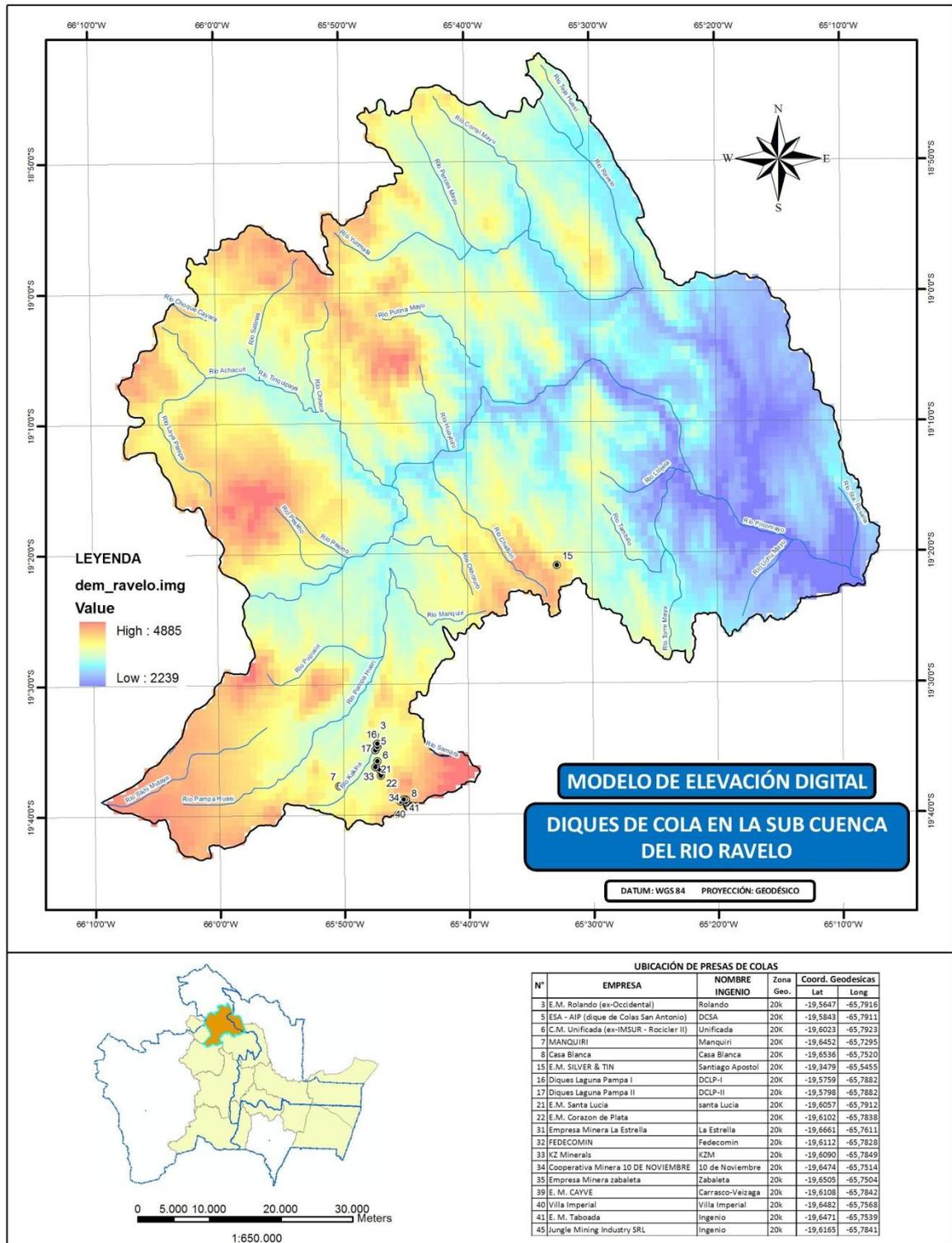


Fig. 3.33 Presa de colas de San Antonio, sobre la sub cuenca del río Ravelo

La fig. 3.33 nos permite observar que si existiera derrame de colas, estas llegarían al río Tarapaya, luego al río Pampa Huari, y al río Pilcomayo.

#### 4. CONCLUSIONES

Del estudio de Actualización de los estudios de funcionamiento de las presas de colas en la alta cuenca del río Pilcomayo, concluimos lo siguiente respecto a la estabilidad física:

- De las cuatro presas estudiadas la única presa que está cumpliendo con los artículos 42, 43 y 44 del Reglamento Ambiental para Actividades Mineras es el Dique de Colas de San Antonio.
- El talud aguas abajo del dique de colas de San Antonio tiene un FS (factor de seguridad) de 1.82 muy cerca del FS 1.84 proyectado en el diseño, la pendiente del talud es de 4:1 de acuerdo al diseño. Sin embargo su velocidad de crecimiento en los últimos dos años se ha incrementado en 294% con respecto al proyectado en el diseño, acortando su vida útil.
- En la presa de San Antonio aunque el FS=1.5 proyectado para el ritmo de crecimiento actual, nos dice que la estabilidad tiene un 50% de seguridad, no es recomendable tener una pendiente de crecimiento mayor a 45°.
- En tanto puedan bajar la velocidad de crecimiento en la presa de colas de San Antonio, es imprescindible un control estricto del espejo de agua, del nivel piezométrico, y la altura de la revancha.
- La evaluación del análisis de riesgo estructural de fallas de la presa de San Antonio arroja un valor de 2.69, que significa un riesgo moderado.
- El Factor de seguridad en la presa de colas de Lambol-Choroma es FS=1.85, bastante seguro, y para conseguir este valor juega un papel muy importante la pendiente del talud que tiene una relación de 2.5:1 (H:V).
- La presa de Lambol, si bien tiene buen FS y podría continuar creciendo, su topografía limita esa posibilidad, y tiene poco tiempo de vida útil.
- De acuerdo a la evaluación del análisis de riesgo estructural de la presa de colas de Lambol – Choroma, se tiene un riesgo Moderado porque arroja un valor de 2.69.
- La presa de colas de Compotosi, prácticamente no ha superado la cresta de su dique de arranque, arrojando un valor de 1.2 de factor de seguridad, y su talud aguas abajo tiene una pendiente de 1.8:1, que se enmarcan dentro de lo normal.
- Pero es urgente reparar el sistema de drenaje del dique de colas de Compotosi. No puede continuar operando con el sistema de drenaje obstruido. El riesgo de colapso a corto y mediano plazo es alto.
- La evaluación del análisis estructural de fallas de la presa de Compotosi arroja un valor de 4.8, que significa que esta con un Riesgo Alto.
- La presa de colas de Chocaya Animas tiene un FS=1.0, es decir que se encuentra en equilibrio, por lo que es conveniente cerrar el dique previo estudio de reforzamiento para aumentar el FS por lo menos a 1.20.
- Uno de los factores para tener un FS bajo es la pendiente del talud, y la pendiente de Chocaya Animas es 1.35:1 (H:V), relación poco recomendable.
- La presa de colas de Chocaya Animas, prácticamente ha llegado al fin de su vida útil, y para el cierre de la presa deberán estudiar el reforzamiento del talud aguas abajo para subir el FS.
- La evaluación del análisis estructural de fallas de la presa de Chocaya Animas arroja un valor de 4,92 que nos indica que el Riesgo es Alto.

En lo que concierne a la estabilidad química, se estableció lo siguiente:

- Tanto la turbidez, como las PST muestran la buena efectividad de la presa de colas en retener sólidos del procesamiento metalúrgico de los ingenios de San Antonio, Lambol, Compotosi y Chocaya, evitando que lleguen sólidos al río.
- Los metales pesados tóxicos del agua descargada de todas las presas de colas en estudio, vale decir: San Antonio, Lambol-Choroma, Chocaya Animas y Compotosi, están por debajo del límite máximo permisible.
- La concentración en Mercurio en las aguas de descarga de las presas Lambol, Chocaya, Compotosi y San Antonio, está por debajo del límite máximo permisible, por lo que no se debe considerar a esta descarga, como una de las fuentes que esté contaminando con este elemento tan toxico, las aguas de la cuenca alta del Pilcomayo.
- De acuerdo a los dos criterios ABA (PNN y PN/PA) todos los residuos que son descargados en las presas de San Antonio, Lambol-Choroma, Chocaya Animas y Compotosi, son generadores de DAR y en ningún caso podrían ser descartados directamente al medio ambiente, además una vez cerradas las presas de colas se requerirá medidas de cierre y remediación ambiental con coberturas anti drenaje DAR.
- El orden de riesgo químico por generación de DAR de estos residuos es el siguiente:  
Animas Chocaya >>>> Lambol Choroma > DCSA San Antonio > Compotosi
- La descarga de las aguas del dique de colas de COMPOTOSI, están con pH básico, es posible que no tengan un buen control del pH en el proceso de flotación y el excedente de CaO, está produciendo este fenómeno.
- El pH de la descarga de las aguas del dique de San Antonio, está alrededor de 10, en este caso es más complicado que puedan controlar el consumo de CaO 29 ingenios que están descargando sus colas al dique de San Antonio.
- En el dique de colas de San Antonio, las partículas totales en suspensión llegaron a 40 mg/l superior a la norma, pero que se debió a una descarga atípica que se produjo durante el muestreo debido posiblemente a que en ese momento alguna isla flotante de espumas no destruidas en el espejo de agua de la presa haya sido evacuada por alguna de las torres de desagüe (cachimbas), lo que provocó que durante el muestreo se enturbie el agua, ya que momentos antes de la toma de muestras el agua era mucho más clara. Sin embargo debe prestarse atención a este fenómeno para descartar la posibilidad de que se esté presentando algún caso de “sifonamiento” en alguna parte de la red de desagüe.
- En la descarga de las aguas del dique de colas de Chocaya Animas, el pH=8.9, esto debido a que la mayor cantidad de carga que flotan es minerales de Pb-Ag.
- En la presa de colas de Chocaya Animas, los aniones del agua de descarga muestran mayor concentración en cloruros y sulfatos que las presas anteriores, debido posiblemente a que en general las aguas de escorrentía superficial del área de Palca Chocaya tienen esa característica.
- En la presa de Lambol, también se observa que el potencial Redox de - 40 mV es el menos reductor que en los tres casos anteriores significando que como hay muy poco oxígeno disuelto en el agua y el pH es cercano a neutro, no hay procesos avanzados de sulfuros oxidados,

- Una característica especial en la presa de colas de Lambol, es que el contenido de Manganeseo es muy elevado (10,490 mg/l) superando en 10 veces el límite de la norma, siendo por tanto necesario reconfirmar por nuevos muestreos si se repite este tenor en Mn y además rastrear su origen, en caso de reconfirmación debe evitarse descargar esta agua al cauce del río para evitar bio acumulación en hortalizas y tubérculos.

## 5. RECOMENDACIONES

- Es importante realizar inspecciones periódicas de parte de la autoridad competente a las presas de colas, con el fin de ejercer mejor control, y evitar sorpresas desagradables en el futuro.
- A corto plazo es necesario realizar un nuevo inventario de actualización de presas de colas, porque se están construyendo nuevas plantas de flotación de minerales, y algunas plantas que están en operación no están registradas ni en la gobernación de Potosí, ni en la unidad de Medio Ambiente del Ministerio de Minería y Metalurgia.
- Es importante que las autoridades competentes, tomen recaudos por la proliferación de pequeñas presas de colas que están construidas en terrenos comunitarios, y que a la hora del cierre, van a existir muchas presas dispersas sin garantía de que sean cerradas, porque estos futuros pasivos pasaran a poder de la comunidad. La interrogante es ¿quién se hará cargo del pasivo ambiental?
- El marco legal para la construcción y manejo de presas de residuos mineros es débil. Hay necesidad de elaborar un reglamento más preciso sobre la gestión de presas de colas. Se debería ejercer un mayor control por parte de las autoridades competentes.
- Es necesario que las autoridades realicen inspecciones técnicas sobre el tipo de manejo y de trabajo de cada presa, y se seleccionen las presas de acuerdo al riesgo que conllevan, podría ser por ejemplo Presas de alto riesgo, presas de riesgo moderado y presas seguras y se exija la implementación de medidas correctivas si son necesarias.
- Existe la necesidad de hacer un análisis de riesgo de todas las presas existentes en la cuenca alta del Pilcomayo.
- Para mejorar la calidad de las aguas en el río de la Rivera hay necesidad de canalizar y neutralizar drenajes ácidos furtivos que salen de pilas de desmontes antiguos o de diques abandonados como el de San Miguel, que si bien no fue motivo de este estudio se percibe con claridad su necesidad.

## REFERENCIAS

1. [www.mining.ca](http://www.mining.ca) Mining Association of Canada
2. [www.cda.ca](http://www.cda.ca) Canadian Dam Association
3. Guía Ambiental para el cierre, remediación y rehabilitación de áreas de actividades mineras, Reforma de la minería y del Medio Ambiente en Bolivia. Ministerio de Minería e Hidrocarburos – Vice Ministerio de Minería. Proyecto 21153-000: Gobierno

- de Quebec, Gobierno de Bolivia, Agencia Canadiense de Desarrollo Internacional, 58 pg. Junio 2001
4. [www.spancold.es](http://www.spancold.es) Lerma Xuclá R.S., Gestión de Presas en España, Dirección General del agua, Ministerio de Medio ambiente y Medio Rural Marino. Pg.4.
  5. [www.spancold.es](http://www.spancold.es) Comité Nacional Español de Grandes Presas, Normativas técnicas. Legislación de presas, embalses y balsas. Pg. 6-8.
  6. [www.larioja.org](http://www.larioja.org) La gestión de los residuos mineros 3, pg. 2-3.
  7. [www.sernageomin.cl](http://www.sernageomin.cl) Recopilación Reglamentos en Seguridad Minera, Servicio Nacional de Geología y Minería, Ministerio de Minería. Pg. 15, 163.
  8. [www.orsep.gob.ar](http://www.orsep.gob.ar) Presas & desarrollo, revista publicada por el comité argentino de presas (CAP) N°3, año 2, abril 2011), (orsep).
  9. [egabutti@fices.uns.edu.ar](mailto:egabutti@fices.uns.edu.ar) Legislación Ambiental de la República Argentina, Ing. Agr. Elba G. Gabutti Especialista en Gestión Ambiental Facultad de Ingeniería y Cs. Ec.- Soc. Universidad Nacional de San Luis
  10. [www.mineria.gov.ar/codigominero.htm](http://www.mineria.gov.ar/codigominero.htm) Secretaria de Minería de la Nación
  11. Ley N° 1333, del Medio Ambiente, promulgada el 27 de abril de 1992. Gaceta oficial de Bolivia
  12. Reglamentación de la Ley del Medio Ambiente, Decreto Supremo N° 24176 del 8 de diciembre de 1995. Gaceta oficial de Bolivia
  13. Reglamento Ambiental para Actividades Mineras, Decreto Supremo N°24782 del 31 de julio de 1997. Gaceta oficial de Bolivia
  14. International Committee on Large Dams (ICOLD). Crecidas y Presas: Pautas e Historia de Casos, Boletín N° 125, septiembre de 2003.
  15. U.S. COLD (United States Committee on Large Dams). 1994
  16. FOBOMADE, boletín N° 32, 2008
  17. DSC3F, Dams Safety Committee - New South Wales, Junio 2012
  18. Vardé A. Oscar y Bacchiega D. Jorge. Presas de Relave Lagunas Pampa I y Pampa II, Evaluación de la Seguridad. Proyecto de Gestión Integrada y Plan Maestro de la cuenca del río Pilcomayo, septiembre de 2006
  19. Concepto para el manejo integral de las colas generadas por los ingenios mineros en la ciudad de Potosí. Administración Autónoma de Obras Sanitarias Potosí, abril de 1999
  20. Proyecto de construcción de la Presa de Colas Laguna Pampa – Potosí “dique Provisional”, Informe de avance de la fundación MEDMIN, al vice Ministerio de Minería y Metalurgia, abril de 2002
  21. Orozco C. Samuel. Proyecto Diseño y Dimensionamiento Dique de Colas Laguna Pampa II. Empresa Constructora Royal, mayo 2005
  22. Plan de emergencia presentado por la AIP, a la Unidad de Medio Ambiente del Vice Ministerio de Minería y Metalurgia, 2005
  23. Informe de Monitoreo Ambiental, semestre 2/2010 Dique de colas Laguna Pampa I y II. ESA-AIP S.A. Empresa de Servicios Ambientales – Asociación de Ingenios Potosí
  24. Informe de Monitoreo Ambiental, semestre 1/2011 Dique de colas Laguna Pampa I y II. ESA-AIP S.A. Empresa de Servicios Ambientales – Asociación de Ingenios Potosí
  25. [www.usstdams.org](http://www.usstdams.org) United States Society on Dams
  26. [www.icold-ciqb.org](http://www.icold-ciqb.org) International Commission on Large Dams

27. Guía para el Diseño y Construcción de Presas de Residuos Mineros. Junta de Andalucía, Madrid 2000
28. Guía ambiental de Presas de Colas – Proyecto L 4601. Preparada por el Ministerio de desarrollo económico-Vice Ministerio de Minería y Metalurgia – Unidad Sectorial de Medio Ambiente, y por Knight Piesold Consultores S.A. (Lima – Perú). La Paz septiembre de 2001
29. Guía ambiental para manejo de aguas en actividades minero metalúrgicas. Ministerio de desarrollo económico-Vice Ministerio de Minería – Unidad Sectorial de Medio Ambiente. La Paz septiembre de 2001.
30. Orozco C. Samuel. Alternativas de deposición final E.M.LAMBOL. IV Congreso de Metalurgia y Ciencia de Materiales, Oruro julio de 2001.
31. Informe de Monitoreo Ambiental, semestre 1/2012 Dique de colas San Antonio. ESA-AIP S.A. Empresa de Servicios Ambientales – Asociación de Ingenios Potosí.
32. Informe de Monitoreo Ambiental, semestre 2/2012 Dique de colas San Antonio. ESA-AIP S.A. Empresa de Servicios Ambientales – Asociación de Ingenios Potosí.