



Documento publico

**ASESORAMIENTO TÉCNICO CIENTÍFICO A LA MUNICIPALIDAD DE CUENCA (ECUADOR) Y EL I. CONCEJO CANTONAL, SOBRE LA TEMATICA DE LAS AGUAS Y LOS IMPACTOS AMBIENTALES DE LA POSIBLE ACTIVIDAD MINERA. Informe de la visita técnica de los expertos de BRGM: reconocimiento del territorio, revisión de estudios técnicos.**

Informe final

BRGM/RP-62354FR  
Mayo 2013





**ASESORAMIENTO TÉCNICO CIENTÍFICO A LA MUNICIPALIDAD DE CUENCA (ECUADOR) Y EL I. CONCEJO CANTONAL, SOBRE LA TEMATICA DE LAS AGUAS Y LOS IMPACTOS AMBIENTALES DE LA POSIBLE ACTIVIDAD MINERA. Informe de la visita técnica de los expertos de BRGM: reconocimiento del territorio, revisión de estudios técnicos.**

**BRGM/RP-62354-FR**  
Mayo 2013

**F.BLANCHARD, A.GUTIERREZ**

<b>Verificador :</b>	
Nombre :L.Gourcy	
	
Fecha :	21/05/2013

<b>Aprobador :</b>	
Nombre : P.Gombert	
	
Fecha :	21/05/2013

El sistema de gestión de la calidad BRGM es la certificación AFAQ ISO 9001:2000.



**Mots clés / Palabras claves :**

En la bibliografía, este informe debe ser citado como sigue:

Blanchard F. ; Gutierrez A. (2013). Asesoramiento técnico científico a la municipalidad de Cuenca (Ecuador) y el i. Concejo cantonal, sobre la temática de las aguas y los impactos ambientales de la posible actividad minera. 133 p.; 28 ill.; 3 an. Informe final BRGM/RC-62354-FR

© BRGM, 2013, Este documento no puede ser reproducido en su totalidad o en parte sin el permiso específico de BRGM.

## Indice

<b>Resumen .....</b>	<b>9</b>
<b>1. Contexto .....</b>	<b>11</b>
1.1. OBJETIVOS.....	12
1.2. ACCIONES DE LA PRIMERA MISION .....	12
1.3. DESARROLLO DE LA MISIÓN.....	13
1.4. DOCUMENTOS ADQUIRIDOS.....	15
1.1 ELEMENTOS DE CONTEXTO LEGAL Y LA PLANIFICACIÓN.....	15
<b>2 Componentes del medio ambiente .....</b>	<b>19</b>
2.1 UBICACIÓN DE LOS PROYECTOS .....	19
<b>3 Proyecto Río Blanco. ....</b>	<b>25</b>
3.1 CONTEXTO AMBIENTAL.....	25
3.1.1 Ubicación .....	25
3.1.2 Clima.....	27
3.1.3 Suelos.....	27
3.1.4 Geología .....	28
3.2 GENERALIDADES .....	30
3.3 COMPONENTES DEL PROYECTO .....	30
3.3.1 La mina .....	31
3.3.2 La planta de procesamiento .....	32
3.3.3 Depósito de Relaves .....	36
3.3.4 El Drenaje Acido de Rocas (DAR).....	42
3.3.5 Acopios Temporales de Suelo.....	44
3.3.6 Plan de protección de flora.....	45
3.3.7 Infraestructura de Acceso del Proyecto .....	45
3.3.8 El plan de cierre y rehabilitación.....	47
3.3.9 Estudio de alternativas .....	49
3.3.10 Evaluación de riesgos, plan de contingencias .....	51
3.3.11 Los principales riesgos de los proyectos mineros que podrían dar lugar a una emergencia:.....	51
3.3.12 Sistemas de Manejo Ambiental .....	53
3.3.13 El plan de monitoreo ambiental .....	53

3.3.14	Impactos acumulativos y estrategia de desarrollo.....	54
3.4	ANÁLISIS DE LOS DATOS SOBRE LAS AGUAS .....	55
3.4.1	Aguas superficiales .....	55
3.4.2	Aguas subterráneas .....	57
<b>4</b>	<b>Proyecto Quimsacocha. ....</b>	<b>59</b>
4.1	CONTEXTO AMBIENTAL.....	59
4.1.1	Ubicación .....	59
4.1.2	Clima.....	60
4.1.3	Suelos .....	60
4.1.4	Geología .....	61
4.2	PRESENTACIÓN DEL PROYECTO .....	61
4.3	COMPONENTES DEL PROYECTO .....	61
4.4	ANÁLISIS DE LOS DATOS SOBRE LAS AGUAS .....	66
4.4.1	Aguas superficiales .....	66
4.4.2	Aguas subterráneas .....	67
<b>5</b>	<b>Conclusiones y Síntesis de las primeras recomendaciones .....</b>	<b>69</b>
5.1	COMENTARIO RELATIVO A LA HIDROGEOLOGIA.....	69
5.2	COMENTARIOS RELATIVOS A LOS PROYECTOS MINEROS.....	70
	La mina .....	71
	El Drenaje Acido de Rocas (DAR) .....	73
	Acopios Temporales de Suelo.....	74
	Plan de protección de flora.....	74
	La red vial.....	74
	El plan de cierre y rehabilitación .....	75
	Estudio de Alternativas.....	75
	Evaluación de riesgos, plan de contingencias .....	75
	Los principales riesgos que podrían dar lugar a una emergencia: .....	76
	Sistemas de Manejo Ambiental .....	76
	El plan de monitoreo ambiental .....	76
	Impactos acumulativos y estrategia de desarrollo .....	76
5.3	RECOMENDACIONES (HOJA DE RUTA).....	78
5.3.1	Recomendaciones relativas a las aguas .....	78
5.3.2	Recomendaciones relativas al componente ambiental de la minería.....	79
5.3.3	Planificación técnica y del territorio .....	80

<b>6 Conclusión general</b> .....	<b>83</b>
-----------------------------------	-----------

## **Anexos**

Anexo 1 : Presentación de la empresa BRGM	85
Anexo 2 : construcción y diseño de pozos de control	97
Anexo 3: listado de documentos empleados	123

## **Tabla de las Figuras**

Figura 1 : Occurencias minerales de Oro en Ecuador (Fuente:Mapamundi-Internet).....	19
Figura 2 : Concesiones mineras vigentes en el cantón de Cuenca (Fuente: ETAPA) .....	20
Figura 3 : Ubicación de los proyectos mas avanzados (Fuente ETAPA) .....	22
Figura 4 : Zona del proyecto Río Blanco ( IMC) .....	23
Figura 5 : Zona de exploración del proyecto GAMA (CORNERSTONE) .....	24
Figura 6 : Camino abierto en el parámo (Fuente: BRGM) .....	24
Figura 7 : Concesión minera IMC (fuente : ETAPA) .....	26
Figura 8 : Ubicación del proyecto Río Blanco (fuente: IMC).....	26
Figura 9 : Modelo geológico simplificado del deposito de Río Blanco (EIA) .....	29
Figura 10: Componentes del proyecto Río Blanco (Fuente: IMC).....	31
Figura 11: Planta de procesamiento (Fuente: IMC).....	33
Figura 12: La zona del futuro depósito de relaves (Foto BRGM) .....	39
Figura 13: Mapa del deposito de relaves (Fuente: IMC) .....	39
Figura 14: Diseño del deposito de relaves (Fuente: IMC) .....	41
Figura 15 : Alternativas para las infraestructuras de acceso (Fuente:IMC) .....	46
Figura 16: Plan de rehabilitación (Fuente:IMC) .....	47
Figura 17: Alternativas: Línea de transmisión (Fuente: IMC) .....	50
Figura 18 : Series de tiempo de precipitaciones y caudales medidos en H4 .....	56
Figura 19 : Ubicación del proyecto Quimsacocha( fuente:IAMGOLD) .....	59
Figura 20 : Zona del proyecto Quimsacocha (photo Brgm).....	60
Figura 21 : Mapa de los concesiones mineras (Fuente:Iamgold).....	62

Figura 22:Sección que muestra la sucesión: roca erosionada , suelo negro y vegetación herbácea del páramo (Foto BRGM) .....	63
Figura 23 :La zona del proyecto Quimsacocha (Foto BRGM).....	64
Figura 24: Páramo y ganadería (Foto BRGM).....	64
Figura 25: La zona de las Lagunas (Foto BRGM) .....	65
Figura 26 : El modelo de la planta (Foto BRGM).....	65
Figura 27 : Flujo de materiales (Fuente: lamgold) .....	66
Figura 28 : modelo conceptual de circulación subterránea (Fuente: BRGM).....	68

## Resumen

En el presente informe se da a conocer los resultados de una primera misión de evaluación técnica y científica en el marco de un convenio de cooperación técnica entre ETAPA EP y BRGM (servicio geológico francés). El objetivo del convenio consiste en avanzar y profundizar el conocimiento de la temática de las aguas y sus interacciones con la posible actividad minera en la Cordillera Real, a unos 30 km al suroeste de la ciudad de Cuenca, en las áreas de Quimsacocha y Río Blanco.

Se llevó a cabo una misión con dos expertos que realizaron una visita técnica de cada sitio y dialogaron con la mayoría de los actores o de sus representantes..

Los sitios se ubican a altura superior a 3000 m sobre el nivel del mar donde involucran a un ecosistema montano con vegetación arbustiva y suelos húmedos denominado páramo andino. El páramo está sometido a un clima húmedo con poca evaporación. Constituye un ecosistema particular por su papel como reserva de agua y proveedor de servicios ambientales.

Este documento hace una revisión de los estudios técnicos ambientales desarrollados para los proyectos mineros, enfocando particular atención a los componentes de aguas subterráneas y las implicaciones ambientales de la minería<sup>1</sup>

De la revisión de información se evidencia una abundancia de documentos relativos al entorno de los dos sitios, sin embargo los proyectos requieren ampliar sus estudios y datos necesarios para definir adecuadamente las líneas de base de cantidad y calidad de las condiciones de agua subterránea, así como detallar información acerca de la probabilidad de ocurrencia de riesgos, los impactos acumulativos, el análisis de alternativas, ...

El informe examina las propuestas de desarrollo para cada sitio y emite un criterio sobre los aspectos técnicos de los proyectos, basándose sobre la experiencia de BRGM y las mejores prácticas disponibles.

Finalmente, los expertos formulan recomendaciones para mejorar el conocimiento del sistema hídrico del territorio y proponen pautas para futuras medidas y/o acciones.

---

<sup>1</sup> Conforme lo especifica los términos del convenio

Impactos ambientales de la posible actividad minera en el canton de Cuenca (Ecuador).

## 1. Contexto

En el territorio del cantón de Cuenca, provincia de Azuay, Ecuador, existen proyectos ligados con las actividades extractivas mineras definidos como proyectos estratégicos de interés nacional, que se encuentran localizados en zonas sensibles del territorio como son áreas de páramos y bosques nativos, cuya función medio ambiental consiste en ser captadores y prestadores de valiosos servicios ambientales. Actividades mineras mal desarrolladas / manejadas en estas zonas podrían ocasionar impactos significativos en estas áreas y es necesario prever, evitar y controlar una degradación del medio ambiente en beneficio de la protección de calidad de vida de la población, presente y futura.

Por otra parte, el conocimiento científico técnico sobre las aguas subterráneas y sus interacciones con posibles actividades mineras -impacto ambiental- en la jurisdicción del territorio cantonal se encuentra poco desarrollado. La disponibilidad de estudios completos en torno al tema es limitado así como la presencia de expertos locales que puedan llevar a cabo estudios especializados. Así, se requiere el aporte de profesionales expertos en el tema que en conjunto con expertos locales, puedan generar aportes significativos en el conocimiento para la toma de decisión sobre la gestión e intervenciones necesarias.

De la misma manera muchos de los estudios técnicos sobre las actividades mineras que comprenden las fases de prospección, exploración, planificación y cierre son realizadas por las propias compañías mineras ; sin embargo para lograr promover la confianza pública se requiere en ocasiones disponer de información de fuentes independientes.

Con los antecedentes expuestos, la Municipalidad de Cuenca preocupada por las interacciones que puedan generarse resuelve contar con la participación de asesores externos independientes –BRGM- que puedan aportar con criterios y recomendaciones técnicas en la materia.

El instituto BRGM, es un establecimiento público de investigación y peritaje de la República de Francia, que provee, entre otras misiones, un apoyo a las políticas públicas de los Estados en los campos del medio ambiente, de las minas y de la energía. El anexo 1 detalla las misiones de la empresa.

El instituto BRGM firmó un convenio con ETAPA EP, la Empresa Pública Municipal de Telecomunicaciones, Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento Ambiental de Cuenca, para “ESTABLECER UNA RELACIÓN DE COOPERACIÓN INTERINSTITUCIONAL Y DE ASISTENCIA ESPECIALIZADA QUE PERMITA UN ASESORAMIENTO TÉCNICO CIENTÍFICO DE PARTE DEL INSTITUTO BRGM A LA MUNICIPALIDAD DE CUENCA Y EL I. CONCEJO CANTONAL, A TRAVÉS DE ETAPA EP, ASISTENCIA TÉCNICO CIENTÍFICA Y ASESORAMIENTO QUE PERMITA AVANZAR Y PROFUNDIZAR EN EL CONOCIMIENTO DE LA TEMÁTICA DE LAS AGUAS (SUPERFICIALES Y SUBTERRÁNEAS) Y SUS INTERACCIONES

## CON LA POSIBLE ACTIVIDAD MINERA Y SUS IMPACTOS AMBIENTALES EN ZONAS SENSIBLES DEL CANTÓN CUENCA”

### 1.1. OBJETIVOS

El objeto definido en el convenio, se traduce en los siguientes objetivos específicos:

- El desarrollo de actividades de investigación científica y técnica en el territorio del cantón Cuenca y en las áreas concesionadas de Quimsacocha y Río Blanco, de parte de los expertos del BRGM, actividades de investigación y valoración de información disponible que se definan a partir del desarrollo de la asistencia técnica que en principio se propone.
- La investigación se propone establecer las características geológicas e hidrogeológicas y de sensibilidad ambiental del cantón basándose sobre estudios existentes y más particularmente en los sectores sensibles vinculados con la localización de concesiones mineras.
- La investigación y análisis podrá llevar a proponer advertencias sobre las implicaciones y posibles riesgos ambientales que se generarían de las actividades de explotación de recursos minerales metálicos en ciertas zonas, establecer restricciones de intervención y tecnología, desarrollar propuestas y soluciones alternativas y de gestión.
- Analizar la calidad de los estudios técnicos y ambientales realizados para los proyectos mineros existentes, sus posibles deficiencias y recomendaciones en aspectos de diseño y localización, uso de mejores técnicas y tecnologías disponibles, pasivos ambientales y otros.
- Definir un programa de trabajo precisando las tareas a realizar en diferentes etapas, incluyendo el detalle de los estudios y/o proyectos (pliego de condiciones técnicas para la perforación de pozos de observación en base a la información disponible).

### 1.2. ACCIONES DE LA PRIMERA MISION

El asesoramiento consistió en una misión de evaluación para determinar las condiciones ambientales del territorio y sus implicaciones con la potencialidad de extracción de recursos minerales metálicos del cantón; una revisión de los estudios técnicos ambientales desarrollados para los proyectos mineros estratégicos que al momento se impulsan en el cantón, así como la propuesta de criterios y recomendaciones de futuras medidas y/o actuaciones con el fin de determinar las implicaciones a corto, medio y largo plazo del posible desarrollo de la actividad

extractiva minera metálica en el territorio cantonal.

El programa de esta primera misión y el grado de investigación de los estudios por los expertos del BRGM fueron adaptados al tiempo de intervención disponible (una semana).

Se realizó lo siguiente:

- a) *Recolección y análisis de datos disponibles, en los sectores de interés, de naturaleza geológica, hidrogeológica y ambiental.*
- b) *Visita de reconocimiento en el campo en los alrededores de los sectores mineros y de las cuencas vertientes.*
- c) *Establecimiento de las primeras recomendaciones para futuras actuaciones.*

### **1.3. DESARROLLO DE LA MISIÓN**

La misión de los dos expertos franceses se realizó del 24 de junio al 1 de julio de 2013. Consistió en establecer contacto con las diversas entidades implicadas en los proyectos mineros, una visita a cada uno de los tres sitios, una reunión con científicos universitarios y varias reuniones de discusión y la restitución de las primeras observaciones. La agenda de esta misión se resume en la Tabla 1.

Agradecemos al señor Gerente de ETAPA, los consejos de Cuenca, los ingenieros de las empresas mineras, los investigadores de la Universidad, el director del Parque Caja y todo los representantes encontrados por su acogida y la excelente colaboración que nos hayan dispensado.

Agradecemos particularmente al señor Alvaro Santiago Lloret por la calidad de su apoyo, las numerosas discusiones sobre el asunto y la organización perfecta de la misión.

Impactos ambientales de la posible actividad minera en el canton de Cuenca (Ecuador).

		<b>Componente</b>	<b>Actividad</b>	<b>Lugar</b>
DÍA 1 dom 24	Todo día	ARRIBO	Viaje y arribo 24 junio	GUAYAQUIL
DÍA 2 lun 25	mañana	Viaje Guayaquil-Cuenca	Bienvenida	CUENCA
	tarde	REUNION SEÑORES CONCEJALES	TALLER SEÑORES CONCEJALES: Presentación de los técnicos, diálogo sobre las expectativas y aspiraciones sobre la misión. A partir 15H00  Diálogo con señor rector Universidad de Cuenca 17:30 H	SALA CONCEJALES  U CUENCA
DÍA 3 mar 26	mañana	VISITA SECTOR QUIMSACOCCHA	Recorrido Proyecto IAMGOLD Trabajo de campo Visita área proyectos mineros. A partir 7H30	TRABAJO CAMPO
	tarde		Diálogo taller con técnicos del proyecto	TALLER CAMPAMENTO
DÍA 4 mier 27	mañana	VISITA SECTOR CORNESTONE	Recorrido proyecto CORNESTONE Trabajo de campo Visita áreas proyectos mineros A partir de 7H30	TRABAJO de CAMPO
	tarde		Diálogo / taller con técnicos de los proyectos	TALLER CAMPAMENTO
DÍA 5 juev 28	mañana	VISITA SECTOR RÍO BLANCO	Recorrido de campo Trabajo de campo Visita área proyecto minero A partir 7H30	TRABAJO CAMPO
	tarde		Diálogo taller con técnicos de los proyectos  Conocimiento estudios bióticos desarrollados por la Universidad del Azuay	TALLER CAMPAMENTO SALA REUNION ES UNIVERSIDAD DEL AZUAY –UDA-
DÍA 6 vier 29	mañana	REUNIÓN UNIVERSIDADES Y CENTROS CIENTÍFICOS	Conocimiento estudios e investigaciones realizadas por la Universidad de Cuenca: PROMAS 8H00 GRUPO SUELOS 11H00	-SALA REUNIONES PROMAS
	tarde	REUNIONES SECTORIALES	REUNION CON EL GRUPO PEN y el Consejo Municipal. Presentación información existente y actividades desarrolladas por las entidades	SALA DE REUNIONES DE CONCEJALES
DÍA 7 sab 30	Mañana	REUNIONES SECTORIALES	REUNIÓN CON REPRESENTANTES PARROQUIALES Y CONCEJALES. Presentación por ETAPA de planes y proyectos de agua y saneamiento en el cantón. Presentación por Planificación Municipalidad del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial.	SALA SESIONES ETAPA
	tarde	REUNIONES SECTORIALES	REUNIÓN CON REPRESENTANTES CAMARA MINERIA DE CUENCA.	
DÍA 8 dom 01		RETORNO		

Tabla 1 : Agenda de la misión

## 1.4. DOCUMENTOS ADQUIRIDOS

La Municipalidad de Cuenca y ETAPA presentaron a los expertos numerosos documentos relativos a los proyectos mineros y el contexto ambiental del territorio, así como variada información sobre el desarrollo de la minería en Ecuador. Un listado de los principales documentos revisados y empleados en el informe se encuentra en el anexo 3.

Entre lo consultado, los expertos examinaron en prioridad los informes presentados oficialmente a las autoridades en el marco del procedimiento legal (Plan de Manejo Ambiental para actividades de exploración, Estudio de Impacto Ambiental, línea de base, etc...). También fueron considerados estudios entregados por las empresas mineras: documentos de auditoría ambiental, informes de investigación minera y las presentaciones que se hicieron durante las visitas de campo.

Los expertos también se han beneficiado de las obras y publicaciones de los académicos de la Universidad de Cuenca (PROMAS y Grupo de Ciencias de la Tierra y el Ambiente) y Universidad del Azuay (UDA).

### 1.1 ELEMENTOS DE CONTEXTO LEGAL Y LA PLANIFICACIÓN

El análisis de la legislación pretende contextualizar de manera general las normas que regulan las actividades mineras en el Ecuador. La enumeración que sigue es una consideración general. No pretende ser exhaustivo.

#### **Constitución:**

Los recursos naturales son de propiedad inalienable del Estado, también establece que los recursos naturales no renovables son parte de los sectores estratégicos establecidos como de exclusiva administración del Estado.

En el capítulo séptimo sobre los derechos de la naturaleza se establece el respeto integral de su existencia. Desarrolla el principio de restauración siendo el Estado quién adopte los mecanismos y medidas más eficaces para eliminar o mitigar las consecuencias ambientales nocivas que incluye las ocasionadas por la explotación de los recursos naturales no renovables (Art. 72 de la Constitución)...

**COOTAD:** Código Orgánico de organización territorial, Autonomías y Descentralización de la república del Ecuador. El COOTAD tiene cuatro ejes fundamentales. Las regiones con un nuevo modelo de descentralización, la recuperación de funciones por parte del Estado, las Circunscripciones Territoriales Indígenas (CTI), y la entrega de competencias a los municipios, juntas parroquiales y consejos provinciales.

**Ley de Minería:** En el capítulo correspondiente a la Preservación del Medio Ambiente, la ley establece la obligación de presentar Auditorías Ambientales, Estudios de Impacto Ambiental y Planes de Manejo Ambiental para prevenir, mitigar, controlar, rehabilitar y compensar los impactos ambientales y sociales derivados de sus

actividades, los mismos que deberán ser aprobados por la Subsecretaría de Calidad Ambiental del Ministerio de Ambiente.

**Ley de Aguas:** La ley establece como obras de carácter nacional la conservación, preservación e incremento de los recursos hidrológicos, determinando como mecanismo de gestión financiera para los servicios conexos de la misma, el cobro de los gastos de inversiones a través de recaudación a los usuarios y beneficiarios del mismo. Respecto a acciones que deterioren la calidad del agua, la ley expresamente determina una prohibición de carácter general respecto a toda contaminación de las aguas, que afecte a la salud humana o al desarrollo de la flora o de la fauna.

**Ley de Gestión Ambiental:** La Ley de Gestión Ambiental rige la preservación y control de la contaminación ambiental, la protección de los recursos aire, agua y suelo, y la conservación, mejoramiento y restauración del ambiente. El capítulo II de la Ley define el sistema de evaluación y control ambiental pertinente para el EIA. Los contenidos mínimos señalados para los estudios de impacto ambiental, son presentados en el artículo 23 de la ley: *La evaluación del impacto ambiental comprenderá: a) La estimación de los efectos causados a la población humana, la biodiversidad, el suelo, el aire, el agua el paisaje y la estructura y función de los ecosistemas presentes en el área previsiblemente afectada; b) Las condiciones de tranquilidad públicas, tales como: ruido, vibraciones, olores, emisiones luminosas, cambios térmicos y cualquier otro perjuicio ambiental derivado de su ejecución; y, c) La incidencia que el proyecto, obra o actividad tendrá en los elementos que componen el patrimonio histórico, escénico y cultural.*"

*El Sistema Único de Manejo Ambiental SUMA contiene los elementos principales de un proceso de evaluación ambiental. Adicionalmente establece reglas de coordinación institucional, competencia y participación comunitaria en el instructivo para el proceso de licenciamiento ambiental*

*Sistemas de Manejo Ambiental:*

- *Estudios de línea base*
- *Evaluación de impacto ambiental*
- *Evaluación de riesgos*
- *Planes de manejo*
- *Planes de abandono*
- *Planes de manejo de riesgo*
- *Sistemas de monitoreo*
- *Planes de contingencia y mitigación*
- *Auditorías Ambientales*

## **Reglamento del Sistema Único de Manejo Ambiental (SUMA)**

El Sistema Único de Manejo Ambiental (SUMA), vigente desde su publicación en el Libro VI del Texto Unificado de la Legislación Ambiental Secundaria constituye la estructura reglamentaria matriz para cualquier sistema de evaluación ambiental a nivel nacional.

En el LIBRO VI DE LA CALIDAD AMBIENTAL, TÍTULO I, Del Sistema Único de Manejo Ambiental, Art 17:

Un estudio de impacto ambiental deberá contener como mínimo lo siguiente, sin perjuicio de que la autoridad ambiental de aplicación establezca normas más detalladas mediante guías u otros instrumentos:

- a) Resumen ejecutivo en un lenguaje sencillo y adecuado tanto para los funcionarios responsables de la toma de decisiones como para el público en general;
- b) Descripción del entorno ambiental (línea base o diagnóstico ambiental) de la actividad o proyecto propuesto con énfasis en las variables ambientales priorizadas en los respectivos términos de referencia (focalización);
- c) Descripción detallada de la actividad o proyecto propuesto;
- d) Análisis de alternativas para la actividad o proyecto.
- e) Identificación y evaluación de los impactos ambientales de la actividad o proyecto propuesto;
- f) Plan de manejo ambiental que contiene las medidas de mitigación, control y compensación de los impactos identificados, así como el monitoreo ambiental respectivo de acuerdo a las disposiciones del artículo 19 de este Título; y,
- g) Lista de los profesionales que participaron en la elaboración del estudio, incluyendo una breve descripción de su especialidad y experiencia (máximo un párrafo por profesional).

#### **Reglamento Ambiental para las Actividades Mineras en el Ecuador**

Este reglamento regula, en todo el territorio nacional, la gestión ambiental en las actividades mineras en sus fases de exploración, explotación, beneficio, fundición, refinación y comercialización; así como también en las actividades de cierre de labores, con el fin de prevenir, controlar, mitigar, rehabilitar y compensar los impactos ambientales negativos derivados de tales actividades.

#### **Ordenanza que sanciona el Plan de Ordenamiento Territorial del Cantón Cuenca: Determinaciones para el uso y ocupación del suelo urbano. Publicada el 26 de Agosto de 1998**

Esta Ordenanza rige para el conjunto de asentamientos humanos del territorio del cantón Cuenca. Se ha dividido el territorio en 105 Sectores de Planeamiento entendidos éstos como unidades geográficas y urbanísticas que incluyen predios con características físico-espaciales homogéneas. La delimitación de los Sectores de Planeamiento consta en el Plano N° 3 adjunto a la Ordenanza.

La Comisión de Gestión Ambiental efectuará la evaluación de los estudios presentados y pronunciarse en términos de su aprobación modificación o rechazo.

En el Art. 23 se establece que todos los usos de suelo, independientemente de su localización en el territorio cantonal, podrán ser motivo y en cualquier tiempo, de la ejecución de auditorías ambientales externas, parciales o completas, por parte de la Comisión de Gestión Ambiental, coordinando para el efecto con ETAPA, la Dirección de Higiene y Medio Ambiente y la Dirección de Control Urbanístico. Si como resultado de dichas auditorías se determina la necesidad de implementar un Programa de Medidas Correctoras, el propietario del tal establecimiento se obligará a ello, dentro de los plazos que para el efecto se concedan

## **AUDITORÍAS AMBIENTALES DE CUMPLIMIENTO**

Una auditoría ambiental se refiere a la cuantificación de las operaciones industriales determinando si los efectos de contaminación que produce dicha empresa, están dentro del marco legal de la protección ambiental. Además de analizar el impacto ambiental que tendrá una empresa sobre el medio ambiente, la auditoría ambiental tiene en cuenta la salud y la seguridad de los trabajadores de dicha empresa.

De acuerdo a los Art. 60 y 61 del SUMA. Un año después de entrar en operación la actividad a favor de la cual se aprobó el EIA, el regulado deberá realizar una Auditoría Ambiental de Cumplimiento con su plan de manejo ambiental y con las normativas ambientales vigentes. La Auditoría Ambiental de Cumplimiento con el plan de manejo ambiental y con las normativas ambientales vigentes incluirá la descripción de nuevas actividades de la organización cuando las hubiese y la actualización del plan de manejo ambiental de ser el caso. En lo posterior, el regulado, deberá presentar los informes de las auditorías ambientales de cumplimiento con el plan de manejo ambiental y con las normativas ambientales vigentes al menos cada dos años, contados a partir de la aprobación de la primera auditoría ambiental. En el caso de actividades reguladas por cuerpos normativos especiales, el regulado presentará la auditoría ambiental en los plazos establecidos en esas normas, siempre y cuando no excedan los dos años. Estas auditorías son requisito para la obtención y renovación del permiso de descarga, emisiones y vertidos.

Existen otros documentos importantes tales como:

- Plan nacional de desarrollo 2013-2015
- Plan Nacional Minero (versión borrador VII)
- Plan de ordenamiento territorial del cantón Cuenca

Una apreciación comparada de la legislación ecuatoriana con normativas internacionales podría formar parte de una próxima fase del estudio. Esta comparación permitiría hacer recomendaciones que fortalezcan la aplicación de la normativa para el tratamiento de temas tales como pasivos ambientales, evaluación integral de los componentes de un proyecto, presentación de planes de cierre en el estudio ambiental, derechos de la naturaleza, entre otros.

## 2 Componentes del medio ambiente

### 2.1 UBICACIÓN DE LOS PROYECTOS

La minería de oro se ha desarrollado durante siglos en las montañas de Ecuador. Diferentes documentos estiman el potencial aurífero del país. Los yacimientos minerales auríferos están relacionados con la tectónica de placas de los Andes, responsable de la creación de la Cordillera Real y de episodios de volcanismo posteriores. En consecuencia, los yacimientos de oro se ubican en la sierra, según una dirección S-N.

La parte Sur de esta cinta, donde anomalías geoquímicas han sido observadas, es la más investigada (Figura 1). En efecto, durante los últimos años se han llevado a cabo varios proyectos de exploración, algunos de cuales se encuentran en fase de exploración avanzada. Mapas de la Fundación para la investigación Geológica en el Ecuador y de la Cámara de la Pequeña Minería del Ecuador (FUNGEOMINE y CAPEMINE) indican la presencia de recursos potenciales de oro en la Cordillera Real al Oeste de Cuenca, en los sectores de Quimsacocha y Molleturo. Las concesiones vigentes en el cantón de Cuenca se pueden ver en la Figura 2.

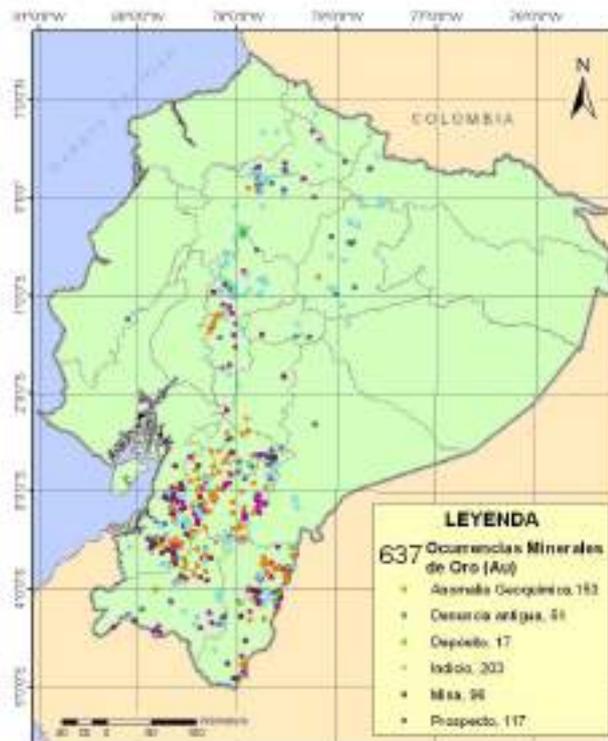


Figura 1 : Occurencias minerales de Oro en Ecuador (Fuente:Mapamundi-Internet)



Tres sitios de proyectos mineros han sido visitados durante la misión BRGM.

Estos son:

- El proyecto Río Blanco, manejado por la empresa San Luis Minerales (International Minerals Corporation –IMC)
- El proyecto Quimsacocha, manejado por la empresa IAMGOLD
- El proyecto GAMA, manejado por la empresa CORNERSTONE.

Estos proyectos se encuentran cerca de la línea de separación de la cuenca pacífica y de la cuenca amazónica. La temperatura promedio es del orden de 8°grados y las precipitaciones del orden de 1000 mm anuales. Los sitios están ubicados en las zonas donde nacen los ríos Cañar y Balao en el lado pacífico y el ríos Irquis, afluente del río Tarqui en el lado amazónico. Los caminos de acceso atraviesan el Río Yanuncay, utilizado como fuente de captación para el sistema de abastecimiento de la red de agua potable de la ciudad de Cuenca (330 000 hab.). Se supone también que estos áreas son zonas de recarga de aguas subterráneas.

Los Andes son el resultado del movimiento de las placas tectónicas, que ocurre desde el período Mesozoico. Los Andes se han levantado por la subducción de placas oceánicas por debajo de la placa Sudamericana. BRGM ha llevado a cabo una síntesis de la geología de los Andes que se puede encontrar en el sitio (<http://gisandes.brgm.fr/gis.htm>).

Las rocas encontradas en los sitios son de tipo volcánico. En estas rocas, los yacimientos de oro son de tipo epitermal<sup>2</sup>: son el resultado de depósitos de metales debido a la circulación de fluidos calientes. Los fluidos circulan hacia la superficie a través de fracturas en las rocas y la mineralización a menudo se presenta en esos conductos (mineralización controlada estructuralmente). Generalmente forman vetas de relleno con metales preciosos y cuarzo.

Los tres sitios se ubican a más de 3000 metros sobre el nivel del mar. A esta altura, el ecosistema que prevalece es el páramo. Según Alain Winckell éste “es el dominio de una vegetación natural herbácea perenne adaptada al entorno climático: temperaturas bajas con fuerte contraste cotidiano y heladas nocturnas, asoleamiento irregular pero muy intenso en periodos cortos y humedad acentuada”. Según la enciclopedia libre Wikipedia, "el páramo es un ecosistema montano intertropical con predominio de vegetación tipo matorral (arbustos)". Se ubica desde altitudes de aproximadamente 3000 msnm hasta los 4000 o 5000 msnm Paisajes de páramo también se encuentran presentes en los Andes del norte en Venezuela, Colombia, Ecuador y Perú y algunas regiones de Centroamérica.

---

<sup>2</sup> Los depósitos epitermales son aquellos en los que la mineralización ocurrió dentro de 1 a 2 Km de profundidad desde la superficie terrestre y se depositó a partir de fluidos hidrotermales calientes.



Figura 3 : Ubicación de los proyectos mas avanzados (Fuente ETAPA)

Las exploraciones se encuentran en distintos grados de avance:

- El proyecto Río Blanco (IMC) es el más avanzado. Dispone de estudios de factibilidad para la fase de explotación actualizado en 2009. Prevé una explotación por mina subterránea, reservas de 2.1 Mt a una tasa de 8.8 g/t Au y 62 g/t Ag, llegando después de 8 años a una producción total estimada a 605.000 onzas de Oro y 4.3 Millones onzas de plata. Los estudios de impacto ambiental de fase de explotación y de beneficio están en proceso de aprobación
- El proyecto Quimsacocha (IAMGOLD) está en fase de exploración avanzada. Un estudio de pre factibilidad fue llevado a cabo en 2009. Los hallazgos de la compañía IAMGOLD han permitido delinear un depósito de oro-cobre-plata de más de 1.5 km de largo. La estimación proyectó un contenido de 2.8 millones de onzas de oro y 18.2 millones de onzas de plata. El proyecto de IAMGOLD es el más grande de los tres proyectos. Los estudios de impacto ambiental y las auditorías ambientales anuales se refieren a la fase de exploración. Todavía, el estudio de impacto ambiental normativo no ha sido presentado y el diseño de la fase de explotación no está completamente definido.
- El proyecto Gama (Cornerstone) es el menos avanzado de los tres. En junio 2011, el Ministerio de Medio Ambiente de Ecuador ha concedido la licencia ambiental para la exploración avanzada de las concesiones Loma, Quinuas Aguarongos y Gama Norte. Los resultados de prospección minera avanzada

realizados en el sector de Aguarongos obtenidos hasta ahora no permiten evaluar un contenido de oro bastante importante para la elaboración de un proyecto avanzado.

El trabajo de análisis del BRGM se limita a los dos primeros proyectos, para los cuales existen bastantes documentos. El proyecto Gama no se encuentra sufijamente desarrollado para que se haya elegido planos de explotación.



*Figura 4 : Zona del proyecto Río Blanco ( IMC)*



*Figura 5 : Zona de exploración del proyecto GAMA (CORNERSTONE)*



*Figura 6 : Camino abierto en el páramo (Fuente: BRGM)*

### 3 Proyecto Río Blanco.

La información sobre el proyecto Río Blanco, proviene de diferentes documentos y en particular del estudio regulatorio de impacto ambiental pero también de las conversaciones con los líderes del proyecto minero y especialistas de la Universidad de Cuenca y de ETAPA.

#### 3.1 CONTEXTO AMBIENTAL

##### 3.1.1 Ubicación

El proyecto Río Blanco se ubica aproximadamente a 50 km al noroeste de la ciudad de Cuenca en las parroquias de Molleturo y Chaucha, cantón Cuenca, provincia de Azuay (Figura 3). La zona del proyecto se encuentra en un área principalmente de páramo abierto (Figura 4), entre las cotas 3,000 y 4,000 metros sobre el nivel del mar. El proyecto minero ocupará un área total de aproximadamente 2 km<sup>2</sup> en los sectores altos de las cuencas del Río Blanco (tributario del sistema Miguir - El Chorro) al lado norte y el río Canoas al lado sur. Actualmente, el acceso principal a la zona del proyecto es por la vía Cuenca - Molleturo hasta su desvío a San Pedro de Yumate, y luego por un camino de 29 km de largo hasta el campamento Río Blanco. La concesión minera abarca una extensión total de 5 800 hectáreas mineras contiguas.

	NOMBRE	AREA
1	Miguir	2130 has
2	San Luis A2	270 has
3	Canoas 1	459 has
4	Canoas	2940 has
<b>Total</b>	<b>Proyecto Río Blanco</b>	<b>5799 has</b>

Tabla 2 : Area del proyecto Río Blanco (Fuente : Ficha Tecnica, Es.I.A., IMC)



Figura 7 : Concesión minera IMC (fuente : ETAPA)

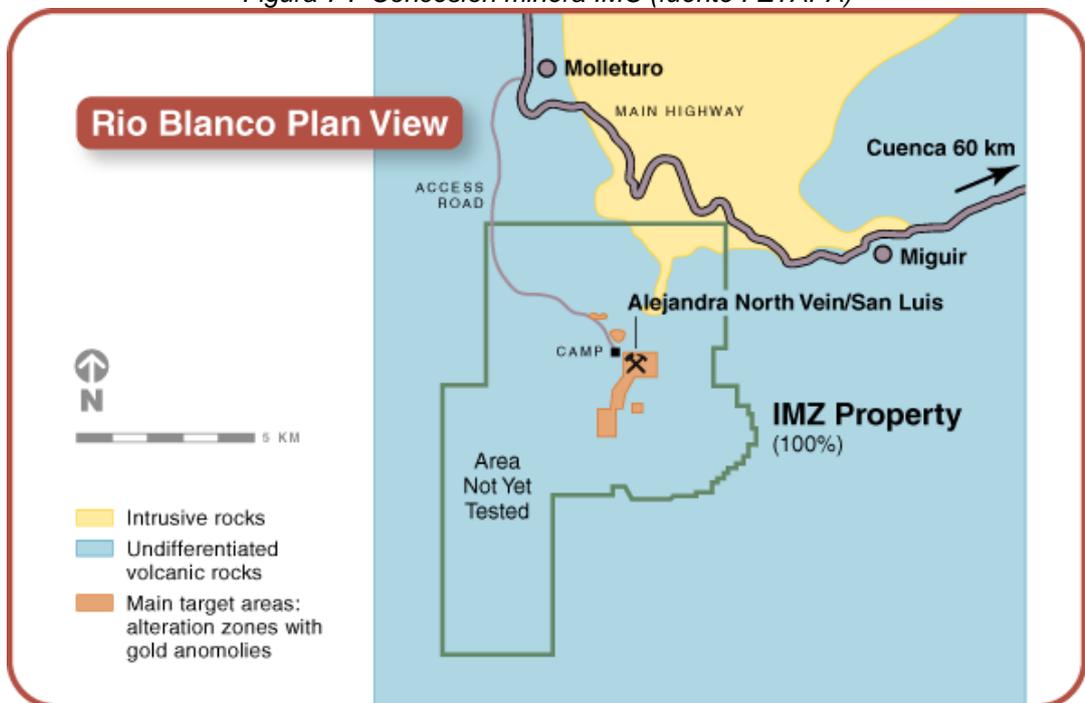


Figura 8 : Ubicación del proyecto Río Blanco (fuente: IMC)

### 3.1.2 **Clima**

El proyecto Río Blanco registra datos meteorológicos desde 2004. Algunos datos sintéticos se encuentran en el capítulo 5, Línea base, del EIA.

La precipitación promedio está estimada de 800 mm en la estación meteorológica establecida en Río Blanco, con una variación entre 644 mm y 1307 mm durante los cinco años calendario completos de registros (2005-2009). La precipitación total anual del año 2005 fue de 644 mm, para el año 2006 de 934 mm, para el 2007 fue de 734 mm, para el 2008 fue de 1307 mm, y para el 2009 fue de 846 mm.

Los datos de temperatura del aire registrados por la estación meteorológica del campamento Río Blanco desde abril 2004 a junio 2010 presentan un valor media mensual de 6.8 °C, con poca variación estacional (5.8 a 8.2 °C). Las temperaturas bajo cero no son muy frecuentes (ocurrieron 25 días en 6 años con un mínimo de -2.3°C).

El aire es muy húmedo: La humedad relativa media mensual es de alrededor del 81%, con valores de promedio máximo de 93% y promedio mínimo de 61%.

La dirección principal donde provienen los vientos es Sur-Oeste. Los vientos de mayor intensidad provienen del Oeste.

La evapotranspiración potencial anual en el área del proyecto está estimada por la compañía Terrambiente Consultores en aproximadamente 900 mm. Es decir que la recuperación de agua por evaporación y transpiración de la vegetación es del mismo orden que la cantidad de lluvia que cae. Sin embargo, la distribución desigual de lluvia durante el año hace que el agua se almacena en los suelos y se infiltra en el sub suelo durante los meses húmedos.

Esos datos meteorológicos constituyen la base de los cálculos de balance hídrico, influyen en la estimación de la recarga a los aguas subterráneas y en la interpretación de las relaciones mientras aguas superficiales y aguas subterráneas. Es decir que la calidad y la cantidad de los registros es capital. Una descripción crítica del sistema de adquisición y un control de la homogeneidad de los datos nos parece necesario antes de utilizar los registros en los modelos.

### 3.1.3 **Suelos**

El suelo es un sistema dinámico donde constantemente ocurren una serie de cambios en su composición, propiedades y condición energética. Corresponde generalmente a un espesor menos de 2m. Por debajo, el sub-suelo se encuentra en el dominio de la geología.

A través de la información de la química y propiedades físicas de muestras de suelo colectadas durante el desarrollo de diversos trabajos de investigación: excavación de calicatas, perforación de pozos, se ha determinado una nomenclatura específica para los tipos de suelos que se distribuyen en las cercanías del proyecto. Dos órdenes de suelos son predominantes: los entisoles y los inceptisoles.

- Los entisoles se caracterizan por suelos inmaduros. Tienen poca o ninguna evidencia de desarrollo, sin definición de horizontes debido al corto tiempo de acción de los factores formadores, la saturación del agua por periodos prolongados o su ubicación en pendientes elevadas.
- Los inceptisoles son suelos minerales jóvenes más desarrollados que los entisoles. Se encuentran también alfisoles, de extensión limitada, que presentan un buen grado desarrollo pedogenetico<sup>3</sup>.

Los suelos de Río Blanco parecen menos ricos en materia orgánica que los suelos de Quimsacocha

También, los documentos presentan datos geoquímicos de análisis de suelo, datos geotécnicos y clasificación textural de las muestras. La información es abundante, sin embargo se necesita profundizar en lo referente a las propiedades de retención de agua.

### 3.1.4 Geología

La geología de los sitios está dominada por rocas volcánicas. Río Blanco está ubicado en el sector sur-oeste de la Cordillera Occidental en un área que se caracteriza por la presencia de un basamento continental casi completamente cubierto por las rocas volcánicas del Grupo Saraguro. Al interior de este Grupo se encuentra la formación Río Blanco, capa de roca andesítica<sup>4</sup> de geometría compleja, más o menos horizontal (Figura 9).

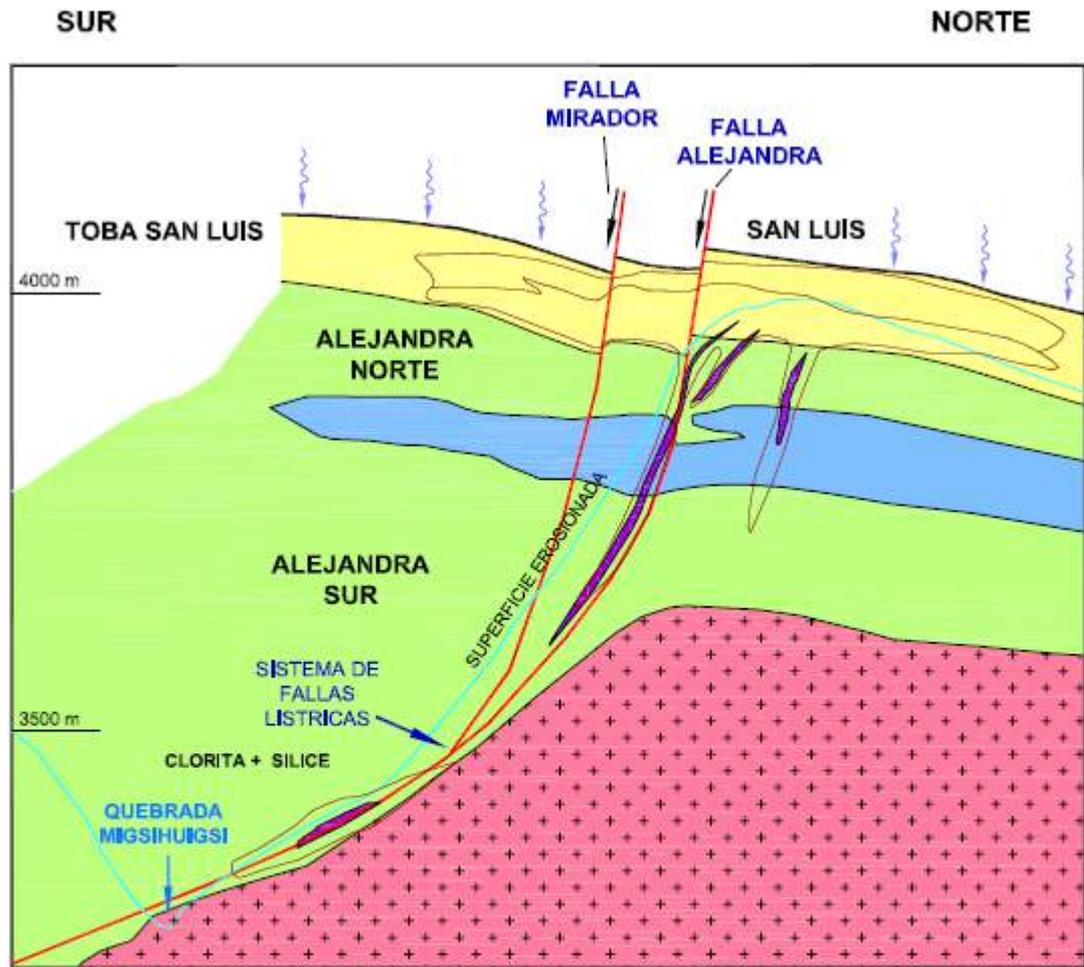
El área de Río Blanco está dominada estructuralmente por fallas<sup>5</sup> con rumbo noroeste, y fracturas relacionadas. Estos conjuntos de fallas actuaron como conductos a través de los cuales circularon fluidos hidrotermales, con la resultante producción de intensa zonas de alteración y mineralización.

---

<sup>3</sup> Un proceso pedogenetico es toda acción que se produce en el suelo por intercambios de materia y energía entre sus propios componentes y con su medio ambiente y que, con el tiempo, provoca cambios en la composición, en las propiedades físicas, químicas, biológicas, mineralógicas y/o estructurales, que pueden ser observados y/o medidos in situ o en muestras aisladas.

<sup>4</sup> Roca andesítica, de la familia de la andesita: Roca volcánica compuesta de cristales de andesina, se encuentra principalmente en la Cordillera de los Andes, desde donde toma su nombre.

<sup>5</sup> Una falla es una grieta en la corteza terrestre. El plano de la falla tiene una dirección (rumbo) y una pendiente (buzamiento). Los rumbos de fallas están derivados de la dirección de las tensiones mecánicas de la corteza terrestre (debido a la tectónica de placas). En muchos casos se encuentran fracturas conjugadas. Son como "familias" de fracturas.



**SIMBOLOGIA**

	Halo de Illita		Grupo de Saraguro		Veta
	Andesita		Diorita		Zona steam heated
	Infiltración agua superficial				

Figura 9 : Modelo geológico simplificado del deposito de Río Blanco (EIA)

### **3.2 GENERALIDADES**

Este capítulo pretende proveer una revisión técnica del estudio de impacto ambiental (EslA) del proyecto Río Blanco (entre comillas, el texto que proviene del estudio de impacto ambiental). Este informe no discute todos los aspectos del EslA, sino que se enfoca en asuntos relacionados con los posibles impactos más importantes y las buenas prácticas internacionales para mitigarlos.

Conceptualmente la EslA es un análisis sistemático, reproducible e interdisciplinario de los impactos potenciales, tanto de una acción propuesta como de sus alternativas, en los atributos físicos, biológicos, culturales y socioeconómicos de un área geográfica en particular.

Los beneficios esperados del EslA son los siguientes

- Potencialmente filtra proyectos ambientalmente inapropiados
- Propone diseños modificados a fin de reducir impactos ambientales
- Identifica las alternativas ambientalmente más adecuadas
- Predice los efectos significativos adversos de proyectos potenciales
- Identifica las medidas de mitigación para evitar, reducir o contrarrestar impactos mayores
- Compromete e informa a las comunidades e individuos potencialmente afectados
- Influye la toma de decisiones

### **3.3 COMPONENTES DEL PROYECTO**

Las componentes claves del proyecto minero de explotación y sus criterios de diseño se describen en las secciones del EIA. Estos componentes comprenden:

- Mina subterránea.
- Acopios de mineral, suelo excavado y desechos de roca.
- Campamentos temporales y permanentes.
- Sistemas de manejo de aguas superficiales.
- Laboratorio y otras instalaciones auxiliares.
- Caminos internos.



Figura 10: Componentes del proyecto Río Blanco (Fuente: IMC)

### Comentario

La descripción del proyecto propuesto debe incluir todas las actividades, etapas y los aspectos involucrados en cuanto a infraestructura complementaria como la línea de transmisión eléctrica, red vial y también demanda de bienes y servicios. **Los impactos globales potenciales de un proyecto minero, sobre los diversos componentes de los ecosistemas, deben ser integrados en un solo documento.** Si todos los componentes del proyecto no se consideran, es difícil evaluar los impactos residuales finales del proyecto.

En la actualidad, los estudios sobre el impacto de los diferentes componentes de un proyecto minero se presentaron a las autoridades de forma independiente el uno del otro, ello dificulta tener una visión global de la importancia de los impactos ambientales de los proyectos.

#### 3.3.1 La mina

El método de minería puede ser de cielo abierto o subterráneo. Este quedará determinado en gran medida por las características físicas del yacimiento y la geología, tales como la profundidad hasta el yacimiento, topografía superficial, estructura geológica y ubicación.

**El depósito de oro/plata de Río Blanco se explotará usando una mina subterránea.**

Estos métodos de explotación permiten la extracción de forma altamente selectiva del mineral, minimizando los volúmenes de roca estéril que se extraerán desde la mina.

El acceso al depósito de mineral se logra mediante un túnel. Los conductos, o socavones verticales conducen a una red horizontal de túneles que tienen acceso directo al mineral. Por el método minero de excavación de galerías, secciones o bloques de roca son retirados en pilas verticales que crean una cavidad subterránea la que se rellena posteriormente con un agregado de cemento y roca de desecho.

**Comentario:**

La mina subterránea genera menos impactos ambientales, menos contaminación sonora, visual –por el polvo en suspensión- e impacta más débilmente las especies vegetales y animales existentes en el lugar de la explotación que la mina al cielo abierto. También hay menor necesidad de vertederos cercanos e incluso posibilidad de utilizar los estériles como relleno de los huecos de interior.

**Las tareas de rehabilitación requeridas al finalizar la explotación son mucho mayores en el caso de la minería a cielo abierto.**

En todos los casos, la elección del método de extracción depende de varios parámetros (técnica, económica y ambiental). Esta elección debe estar claramente indicada en el capítulo del Estudio de Impacto Ambiental respecto a las alternativas.

**Por lo expresado anteriormente, las minas a cielo abierto en contextos ecológicos sensibles tal como el páramo deben ser totalmente prohibidas.**

Esta conclusión se basa en estudios de caso de la rehabilitación de varias minas en el mundo.

Los cálculos de los posibles caudales de infiltración de agua a la mina se podrían revisar. Presentados en el capítulo 4.1 del EIA, parecen muy teóricos porque se basan sobre un modelo matemático utilizado sin ajuste / validación.

### 3.3.2 La planta de procesamiento

Los textos en cursiva que siguen son extractos del EIA.

*“El proceso seleccionado para la planta de extracción de 800 t / d de oro y de plata se compone de trituración y cribado en dos etapas, almacenamiento de mineral fino, pulverización y clasificación en una sola etapa, lixiviación con cianuro, espesamiento y filtración de lodos de descarga de lixiviación. Los residuos de la lixiviación serán tratados para destruir el cianuro residual, que se clasifica para eliminar limos y utilizado según lo requerido para rellenar el subsuelo. Los residuos que no sean devueltos al subsuelo serán transferidos a un embalse alineado. Una solución de lixiviación cargada será aclarada antes de la inyección de polvo de zinc y nitrato de plomo para precipitar el oro y la plata. Los precipitados serán recogidos en una prensa filtro, secados y fundidos para producir barras doré que contengan oro y plata y un bajo contenido de impurezas.”*

**Comentario**

El proceso de tratamiento es el acostumbrado y como todas las plantas de lixiviación de minerales de oro con soluciones cianuradas, generan volúmenes importantes de residuos normalmente con valores de pH elevados. Los efluentes líquidos de estos procesos, contienen elementos tales como cianuro de sodio, compuestos de cianuro de alta solubilidad, con metales pesados, que deben tener un tratamiento adecuado debido a su toxicidad.

Existen documentos de referencia, especificando cuáles son las mejores técnicas disponibles para gestionar los residuos mineros en sus diversas etapas, por ejemplo, documentos europeos como los BREFs<sup>6</sup>.



Figura 11: Planta de procesamiento (Fuente: IMC)

---

<sup>6</sup> BREF : Documento de la comisión europea (directiva IPPC) que detalle las mejores técnicas disponibles.

### **3.3.2.1 El cianuro:**

*“El cianuro de sodio se recibirá en sacos de seguridad de 1 t o tambores de 50 kg. Se almacenará en el área de la planta en una plataforma de concreto circundada por un canal. Se mezclará inicialmente a una concentración del 10% del peso con solución de proceso estéril. Luego se diluirá a una concentración típica de 0.48 g/l de cianuro y se bombeará a los circuitos de molienda y lixiviación.*

*El transporte y manipulación del cianuro se hará de acuerdo con el código de buenas prácticas de cianuro.”*

#### **Comentario**

Entre los reactivos utilizados durante el procesamiento, el cianuro es potencialmente el más tóxico y más conocido. La toxicidad de los cianuros solubles sobre las especies vivas es también bien conocida.

**En efecto la compañía minera se compromete a adoptar las normas que rigen el manejo adecuado de cianuro. Se trata de una buena práctica.**

El "Código Internacional para el Manejo del Cianuro para la Fabricación, el Transporte y el Uso del Cianuro en la Producción de Oro" (Código) es un programa voluntario de la industria para compañías mineras de oro diseñado por una Comisión Directiva de múltiples partes interesadas bajo el amparo del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEP) y el Consejo Internacional de Metales y el Medio Ambiente (ICME).

El objetivo del Código es mejorar el manejo del cianuro utilizado en la minería del oro y ayudar en la protección de la salud humana y en la reducción de impactos ambientales. **Las compañías mineras de oro, los fabricantes de cianuro y los transportistas de cianuro que se conviertan en signatarios del Código deben ordenar una auditoría de sus operaciones cada tres años por parte de un tercero independiente, a fin de demostrar su cumplimiento del Código.** Las operaciones que cumplen con los requisitos del Código reciben certificación. **Los resultados de las auditorías son publicados** para informar a las partes interesadas sobre la situación de las prácticas de manejo del cianuro en operaciones certificadas.

Dada la cantidad de cianuro utilizado que normalmente se utiliza en los proyectos mineros y los peligros potenciales en el caso de que falle la instalación, todos los sitios mineros deben implementar un sistema de gestión de prevención de riesgos para los trabajadores y el medio ambiente, en particular el medio ambiente acuático.

El establecimiento de la planta también debe tener en cuenta factores técnicos, económicos y de parámetros ambientales (por ejemplo, ubicación en una zona menos sensible).

### 3.3.2.2 Destrucción de cianuro

*“La descarga del filtro de correa, reconvertida en pulpa con un 40% de sólidos por peso, será bombeada a un circuito de destrucción de cianuro. Este comprenderá dos estanques (4.5 m de diámetro x 5.5 m de altura) con agitación mecánica que operarán en serie, con un tiempo de residencia combinado de dos horas. La pulpa de relave del filtro de correa se mezclará con metabisulfito de sodio, sulfato de cobre, lechada de cal y aire para destruir el cianuro residual. La pulpa resultante, que contiene menos de 1 mg/l de cianuro WAD, será bombeada a la presa de relaves o a la planta de relleno en pasta, según lo necesario. El área de destrucción de cianuro estará circundada por un canal y todo el derrame será bombeado al primer estanque reactor.”*

#### Comentario

Hoy, no existe una alternativa al uso de cianuro, desde un punto de vista técnico y ambiental.

**La destrucción o reciclaje del cianuro son buenas prácticas.** El proceso de destrucción de cianuro está bien conocido. El principal tratamiento químico de descontaminación de aguas cianuradas se basa en la oxidación de los complejos cianurados presentes en solución para lograr compuestos menos tóxicos como el cianato y la precipitación de los metales pesados una vez liberados.

**Aunque se alcanzan los límites deseados en el caso del cianuro, los efluentes resultantes continúan teniendo concentraciones de subproductos nocivos para los organismos vivos** como cianato, tiocianato, sulfato, amonio, nitrato, algo de cianuro libre y una elevada concentración de cobre que pueden ser tóxicos a organismos acuáticos.

Sin embargo, como veremos más adelante, el diseño de la presa está concebido para evitar cualquier descarga de residuos líquidos en el medio ambiente y una parte de estos serán reutilizados como relleno de los huecos de minas.

Esta técnica es general y puede, debido a la mezcla de los residuos con el cemento, inducir un efecto positivo neutralizante para las venidas de aguas ácidas, y reducir los circuitos hidráulicos en los trabajos subterráneos.

### 3.3.2.3 Control de los derrames en la planta

*“Todas las áreas individuales del proceso serán rodeados con canales y se dotarán de bombas de sumidero para el control en caso de derrames operacionales. Se instalará una piscina de contención de derrames de emergencia aguas abajo del área de la planta de proceso para contener el agua de lluvia y/o la descarga producida en caso de falla de un estanque de solución de lixiviación. La piscina tendrá una capacidad de 10,000 m<sup>3</sup>. Las soluciones y lechadas que llegan a esta piscina se reciclarán al circuito de proceso. La piscina de almacenamiento tendrá dimensiones tales de contener la escorrentía de la precipitación desde el área de la planta durante un*

*evento equivalente a la precipitación máxima en 24 horas, con un período de retorno de 100 años. Cualquier desborde producido en caso de la ocurrencia de un evento magnitud más alta será canalizado al depósito de relaves, desde donde se bombeará de vuelta a la planta para su reusó.”*

## **Comentario**

**Las medidas de control de los derrames son buenas prácticas.** Las principales cuestiones asociadas con el manejo de las aguas pluviales incluyen separar el agua limpia de la sucia, minimizar la escorrentía, evitar la erosión de las superficies terrestres expuestas, evitar la sedimentación de los sistemas de drenaje y minimizar la exposición de las zonas contaminadas a las aguas pluviales. Un buen diseño es necesario, pero la gestión diaria de las instalaciones también es crucial, y se basa en la profesionalidad de los equipos en el sitio.

Los derrames son el resultado de prácticas inadecuadas para el almacenamiento de combustibles y sustancias líquidas por empresas mineras, sustancias químicas, incluyendo corrosivos, sustancias tóxicas e hidrocarburos, pueden escapar de las instalaciones de almacenamiento de diversas maneras, tales como:

- Falta de instalaciones de contención.
- Mala construcción o deterioro de las instalaciones de contención
- Operaciones inadecuadas del mantenimiento de equipos
- Prácticas deficientes en el mantenimiento de las instalaciones
- Daño por accidente

Las zonas implicadas en los proyectos mineros pueden potencialmente contaminar grandes extensiones de suelos y, después, aguas superficiales y subterráneas.

### **3.3.3 Depósito de Relaves**

#### **3.3.3.1 Técnica de almacenamiento de los desechos**

*“Aproximadamente el 50% de los relaves producidos en la planta de beneficio de Río Blanco no se devolverá a la mina subterránea. Todos los relaves que no se utilicen como relleno en pasta se almacenarán en un depósito de relaves tipo relleno de valle. La línea central del depósito cruzará la cabecera de la Quebrada Río Blanco. La capacidad detrás del muro del depósito será suficiente para almacenar hasta 1.5 millones de toneladas de relaves. Esto excede el volumen requerido para el proyecto Río Blanco en su configuración actualmente propuesta. El sitio del depósito presenta varias características inherentemente ventajosas. La cuenca aguas arriba de la ubicación del depósito es pequeña (<20 km<sup>2</sup>), lo que se traduce en un mínimo volumen de escorrentía de agua superficial que se requiere desviar. El área del depósito y la presa cubrirá sólo 0.25 kilómetros cuadrados”.*

## **Comentario**

**La presa de Río Blanco es pequeña, por lo tanto la primera prioridad debería ser asegurar que todos los diseños tengan como base los más altos estándares, asegurar la revisión e inspección periódica de las condiciones de seguridad, realizar una evaluación sobre la forma cómo el sistema de manejo está siendo implementado en la práctica, y asegurar el cumplimiento de inspecciones frecuentes por parte de las personas correctamente calificadas.**

Los yacimientos de minerales de alto grado consisten en su mayoría de materiales no metálicos que contienen con frecuencia metales tóxicos (tal como arsénico).

Si un proyecto minero incluye la extracción de algunos millones de toneladas métricas de mineral metálico, entonces el proyecto generará una cantidad similar de relaves. Una de las cuestiones centrales que determinará si un proyecto minero es ambientalmente aceptable es la forma como una empresa minera realiza el depósito final de este alto volumen y material tóxico. **A largo plazo, la meta del depósito y manejo de relaves es prevenir la movilización y liberación en el ambiente de los compuestos tóxicos que se encuentran en los relaves.** Más, debido a que los relaves están compuestos por partículas finas, cuando se secan pueden ser fuentes de graves problemas de polvo.

Los depósitos de relaves son proclives a las filtraciones, que pueden generar la contaminación de aguas subterráneas y de superficie y en casos peores, pueden presentar fallas catastróficas. La ubicación de grandes instalaciones de almacenamiento de relaves es una decisión de uso del territorio que efectivamente tiene consecuencias permanentes. **Si la instalación se encuentra mal diseñada, mal construida o mal ubicada, lluvias, inundaciones o terremotos pueden causar fallas durante y después de finalizar las operaciones.**

Por lo general, las principales empresas internacionales contratan consultores calificados. Esto no significa que nunca se producirán errores al comienzo, los que son provocados por una mala elección del recinto o defectos en el diseño. **Pero al menos éstos pueden ser reducidos al mínimo si las empresas siguen la última mejor práctica y utilizan un comité independiente de revisión del diseño.**

**La presa de Río Blanco es una pequeña presa, por tanto la primera prioridad debería ser asegurar que todos los diseños tengan como base los más altos estándares, asegurar la revisión e inspección periódica de las condiciones de seguridad, realizar una evaluación sobre la forma cómo el sistema de manejo está siendo implementado en la práctica, asegurar el cumplimiento de inspecciones frecuentes por parte de las personas correctamente calificadas.**

#### **Una alternativa: depósitos de relaves en pasta**

Los relaves en pasta corresponden a una mezcla de agua con sólido que contiene abundante partículas finas y un bajo contenido de agua, de modo que esta mezcla tenga una consistencia espesa.

Cuando se deposita la pasta de relaves en superficie, una muy pequeña fracción de agua podrá drenar o infiltrarse, ya que la mayor parte de la humedad está retenida en la pasta debido a la tensión superficial de la matriz de suelo fino.

Con la alternativa de pasta no se requiere una solución tipo embalse. Para faenas de pequeña escala, la pasta puede ser transportada en camiones desde las instalaciones de operación y descargadas en el lugar de depósito final. Una vez depositada, se deja secar y se puede acopiar. **Esta forma de acumular, permite minimizar la superficie de suelo cubierto con relaves, realizar un cierre progresivo y al cese de operaciones, el depósito puede ser dejado sin requerir medidas adicionales de cierre.**

**En los depósitos de relaves en pasta se reducen significativamente lo siguiente:**

- La necesidad de diseñar y construir grandes depósitos.
- El volumen de materiales involucrados en la construcción de depósitos.
- Los riesgos de falla geomecánica asociados a las presas convencionales.
- Los riesgos de generación de aguas ácidas y lixiviación de metales.
- El manejo del volumen de agua clara.
- Las pérdidas de agua por infiltración y evaporación.
- La superficie de suelo para disponer los relaves, optimizando el uso del suelo.

### **3.3.3.2 Emplazamiento de la presa**

*“Después de un exhaustivo análisis de alternativas, se recomendó un sitio en la cabecera de la Quebrada Río Blanco, sujeto a la realización satisfactoria de una serie de estudios de seguimiento sísmicos, geológicos, hidrológicos y biológicos.*

*“El sitio está cubierto principalmente por pastizales de páramo.*

*Un estudio hidrológico detallado del sitio de relaves ha sido realizado por WMC (Informe 3400/R2 2006). Estos confirman que los flujos de la Quebrada son efímeros o intermitentes dentro de los límites del área de los relaves.”*

*“El depósito de relaves de Río Blanco será una instalación con cero descargas. La base total del depósito será impermeabilizada con una lámina de arcilla o suelo fino compactado, encima de la cual se instalará una geomembrana impermeable. Todo el resto de la escorrentía de la cuenca y agua subterránea será canalizado alrededor (en drenes de desvío) o por debajo (a través de un drén de descarga) del área de relaves. Por lo tanto, se mantendrán las condiciones hidrológicas naturales de la cuenca y, particularmente, los flujos de aguas abajo.”*

*“Se proveerán sistemas de detección de derrames bajo el revestimiento y se construirán pozos de monitoreo aguas abajo del depósito de relaves para asegurar la integridad del revestimiento.”*

*“Todas las tuberías hacia y desde el depósito de relaves se instalarán en un canal de contención secundario completamente revestido.”*

*“Al cierre de las operaciones, se permitirá que el área de relaves desagüe mediante evaporación. En caso necesario, el excedente de agua se tratará para cumplir los requisitos de calidad de aguas abajo, después de lo cual se liberará. La tierra vegetal apilada se colocará encima de los relaves y se nivelará para conducir*

los caudales hacia la cara de la presa. A continuación, esta superficie se plantará con semillas de pastos/arbustos nativo.



Figura 12: La zona del futuro depósito de relaves (Foto BRGM)

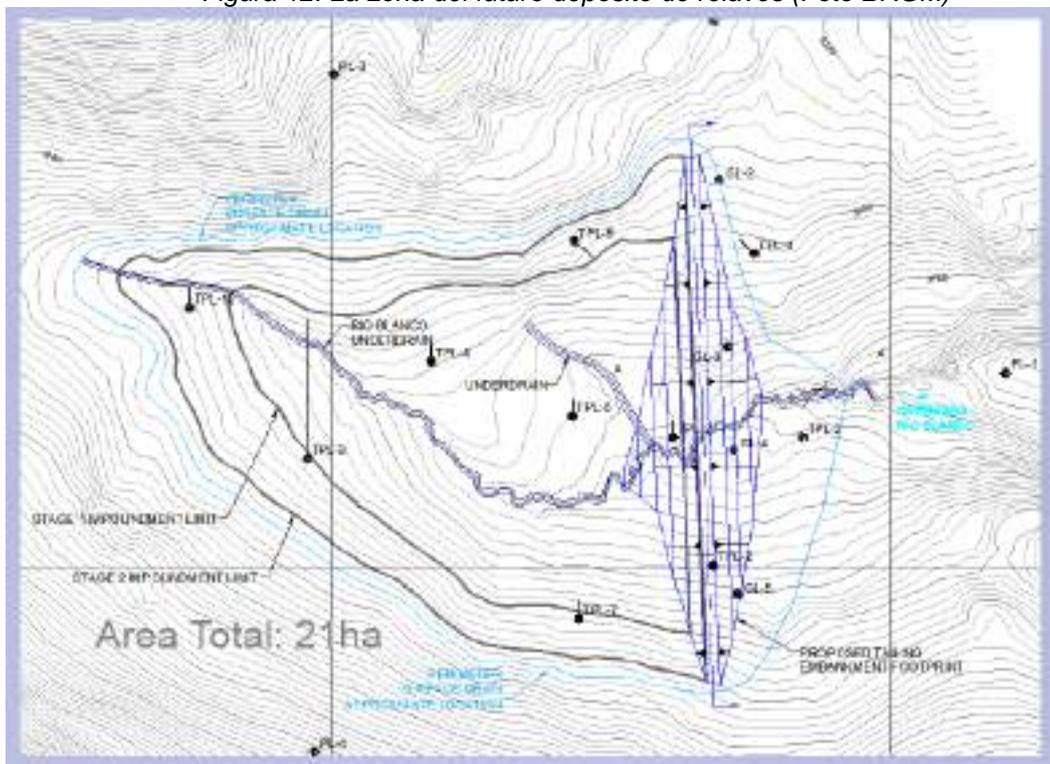


Figura 13: Mapa del deposito de relaves (Fuente: IMC)

## Comentario

El contenido del análisis de alternativas debe ser incorporado en el estudio de impacto ambiental. Falta una tabla que resuma los puntos positivos y negativos de cada alternativa, con una descripción de las razones de la elección realizada.

De hecho, el sitio de la presa aguas arriba de la cuenca en la parte superior permite limitar los impactos sobre los flujos superficiales.

**Las medidas propuestas en el estudio como drenes de desvío laterales, geomembrana impermeable, red de drenes para las aguas debajo de la geomembrana, corresponden a buenas prácticas.**

El estudio detallado del sitio de relaves por WMC<sup>7</sup>, mencionado en el EsIA, ha sido entregado a los expertos. La evaluación hidrológica del sitio se basa sobre 7 piezómetros de varias profundidades seguidos durante 9 meses (una medida por mes), lo que parece muy corto y de frecuencia insuficiente para sacar conclusiones (ver § 3.4).

Con este tipo de presa, se necesita un tiempo para que los desechos se consoliden y se pueda intervenir para rehabilitar. **No hemos visto un calendario** que describa la secuencia temporal de las medidas para rehabilitar el sitio.

El cálculo del balance hídrico debe permitir saber en cuánto tiempo el depósito se secará y si es necesario establecer una planta de tratamiento de las aguas. Se necesitan datos climáticos fiables. Eso justifica un análisis crítico del sistema de adquisición y de los datos registrados.

**El sistema de monitoreo de la calidad de las aguas superficiales debajo de la presa y de las aguas subterráneas debe basarse en un conocimiento hidrogeológico de la zona. El monitoreo propuesto es muy general.** Una red de monitoreo de la calidad del agua debe ser justificada sobre la base de los datos recogidos durante la evaluación del estado inicial del medio ambiente. La ubicación de cada punto de monitoreo y mediciones debe ser descrito en la evaluación de impacto.

La ubicación de la presa debe basarse en criterios técnicos, económicos y medioambientales. Si varios proyectos debían desarrollarse en la zona, se deben considerar los impactos acumulativos. Una planificación del Territorio sería una manera de evitar una gran presión ambiental. Aumento de la sinergia entre los proyectos (vías, redes eléctricas, campamentos, etc.) debe tenerse en cuenta en el estudio de factibilidad del proyecto

---

<sup>7</sup> Water Management Consultants

### 3.3.3.3 Metodología de construcción del muro

“El muro será una estructura con un núcleo de arcilla y relleno de tierra, construido en dos etapas. La primera tendrá una altura máxima de coronamiento de 15 m a y será capaz de almacenar aproximadamente 0.7 millones de toneladas. La etapa segunda y final tendrá una altura máxima de 20 m para una capacidad de 0.8 millones de toneladas. El depósito de relaves propuesto está dimensionado de manera de almacenar la escorrentía derivada de la precipitación máxima probable (PMP). La configuración del muro está diseñado para un evento sísmico con una aceleración lateral de 0.6 g. Esta cifra excede en gran medida la carga de diseño máxima estipulada para cualquier entorno sísmico de Ecuador. Supera en más de un factor de 2 la carga de diseño de aceleración lateral recomendada para una Zona Sísmica Clase II, tal como el sitio del depósito de relaves de Río Blanco (0.25 g).”

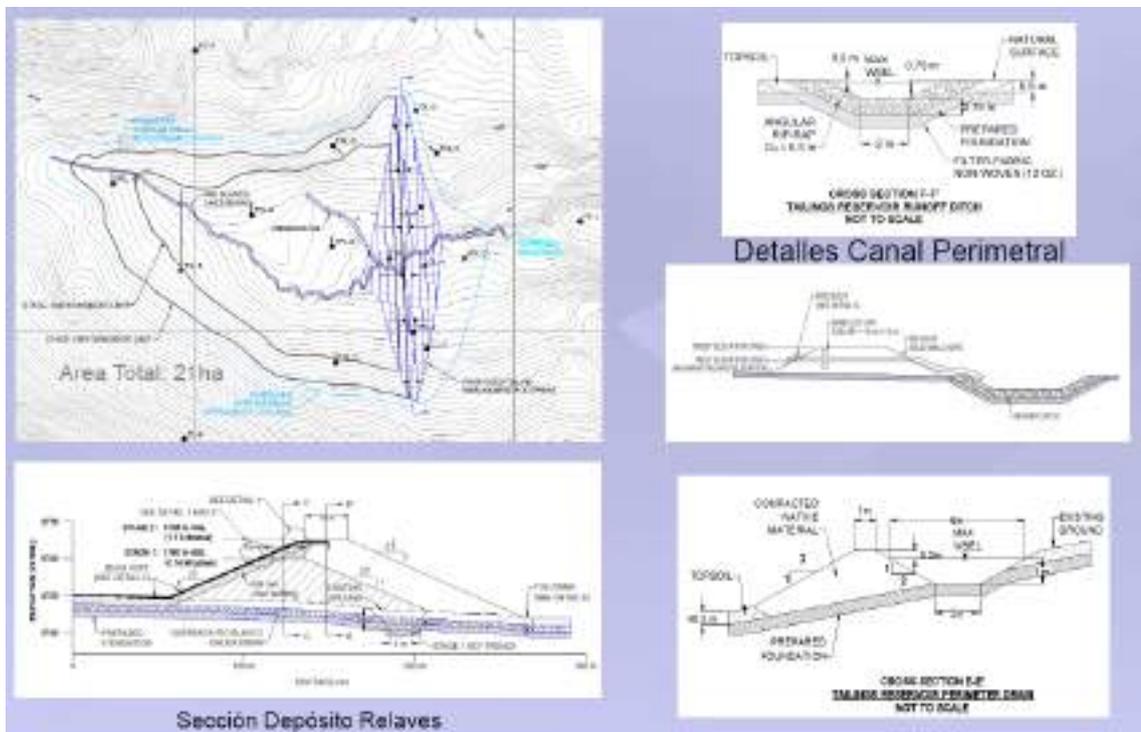


Figura 14: Diseño del depósito de relaves (Fuente: IMC)

#### Comentario

La construcción del muro de la presa, por etapas, se produce regularmente durante el desarrollo de un proyecto minero.

El método utilizado es el método aguas abajo: la construcción se inicia con un muro de partida de material de empréstito compactado. Cuando el muro se ha peraltado lo suficiente, se efectúa el levante del muro, hacia aguas abajo.

Las arenas se pueden disponer en capas inclinadas, según el manto del talud del muro de partida, o bien, disponerlas en capas horizontales hacia aguas abajo del muro de partida.

**Este método de aguas abajo**, es correcto, pero **requiere disponer de un gran volumen de arenas que permita lograr muros más estables y resistentes desde un punto de vista sísmico.**

El monitoreo y control operacional es capital y en particular el control del nivel freático en el muro.

La empresa debería contar obligatoriamente con un manual de emergencia del depósito de relaves de modo que les permita enfrentar en forma exitosa las situaciones adversas.

Si la causa de la emergencia se debe a fenómenos naturales extremos imprevistos, como sismos, nevazones, lluvias intensas, erupciones volcánicas u otros, que impidan una operación normal o pongan en peligro la vida de las personas o el medio ambiente, deberán suspenderse las operaciones de deposición de relaves, hasta que las condiciones de seguridad del depósito se restablezcan.

**El plan de contingencia, que discutiremos adelante, debe incluir la probabilidad de accidentes y las consecuencias aguas abajo del sitio a través de la cuenca.**

Un aspecto muy importante es el factor de seguridad para los eventos sísmicos debido al hecho de que los muros de relaves tienen mayor probabilidad de colapsar cuando su compactación es deficiente. Las aceleraciones sísmicas pueden producir un mecanismo de cuña deslizante en los muros así como zonas de licuefacción.

### 3.3.4 El Drenaje Acido de Rocas (DAR)

#### 3.3.4.1 Potencial de generación de drenaje en Río Blanco

*“En este informe se presentan los resultados de las pruebas estáticas y cinéticas para una serie de muestras de roca estéril y mineral que ayudan a la caracterización de los probables riesgos de DAR y lixiviación de metales que podrían preverse en caso del avance del proyecto a la etapa de explotación. Los datos presentados apoyan las siguientes conclusiones:*

- *Todos los datos para los materiales de roca estéril sugieren un contraste con respecto al potencial de DAR entre dos grupos principales de roca estéril. Los tipos de material estéril de brecha argílica y sulfurada pueden clasificarse como **muy reactivos, con un potencial de generación de químicas de las aguas de contacto de pH 3 o posiblemente inferior.** Los materiales caracterizados por una alteración a biotita-clorita y propilítica más débil generalmente presentan **un bajo potencial neto de generación de DAR.***
- *Las concentraciones de **elementos tales como As y Hg**, movilizados a partir de los materiales argílicos durante el contacto agua-roca a corto plazo, exceden las concentraciones de las asociaciones menos reactivas (por ejemplo, propilíticas) en 1 a 2 órdenes de magnitud. Sin embargo, las concentraciones en las soluciones de lixiviación de éstos y prácticamente todos los demás elementos de interés normativo o toxicológico suelen ser bajas, dado el régimen de pH de las soluciones generadas.*
- *Los materiales de mineral fresco, extraídos de una muestra compuesta total, exhiben características derivadas de las pruebas estáticas que son consistentes con un débil potencial neto de generación de ácidos. **“A partir de los datos disponibles, el As parece constituir el principal riesgo.”***

## Comentario

Hemos resaltado en negrita elementos importantes en el texto del párrafo precedente.

**Generalmente el problema ambiental más importante y persistente relacionado con la minería es el Drenaje Acido de Rocas (DAR). En los lugares en que se produce este problema puede tener un fuerte impacto sobre los ecosistemas.**

El DAR se caracteriza por los bajos valores de pH (formación de ácidos) y las altas concentraciones en metales pesados disueltos; el ácido sulfúrico disuelve fácilmente metales como hierro, cobre, aluminio y plomo. Uno de los aspectos más serios del drenaje de ácido es su persistencia en el medio ambiente. Este es un proceso que se produce en la naturaleza

El DAR no se produce en todas las minas. Incluso en zonas ricas en sulfuro, los suelos circundantes pueden tener cualidades 'absorbentes' que ayudan a neutralizar el ácido.

El DAR puede ser tratado de manera activa o pasiva. El tratamiento activo implica instalar una planta de tratamiento de agua. El objetivo del tratamiento pasivo es desarrollar un sistema operativo automático que pueda tratar los residuos sin que sea necesaria una intervención continua del hombre. **El tratamiento es necesario durante las fases de desmantelamiento, cierre y posterior al cierre de la mina.**

Las empresas mineras deben elaborar e implementar métodos de caracterización geoquímica de los minerales y de los residuos para canalizar adecuadamente los materiales potencialmente generadores de ácido y programas de manejo de DAR. En el caso de Río Blanco, los estudios se realizaron y el riesgo de DAR es bajo pero hay que mantener un control permanente así como un monitoreo de las concentraciones de arsénico y mercurio en las aguas.

Diversos estudios llevados a cabo durante la ejecución del estudio de impacto ambiental, permiten evaluar el riesgo y aplicar medidas preventivas La prevención es muy importante, porque una vez que la producción de ácido de mina comienza, el drenaje puede durar largos periodos de tiempo, dependiendo de la cantidad de sulfuros presentes y en contacto con el agua.

### 3.3.4.2 El relleno

*“Los relaves lixiviados, lavados y destoxificados se usarán para producir el relleno en pasta requerido dentro de la mina. Aproximadamente la mitad de los relaves se devolverán a las labores subterráneas en esta forma. Una bomba de alta presión entregará la mezcla de relleno hidráulico cementado a la mina y también lavará la línea con agua de proceso siempre que se deje fuera de servicio durante un período de tiempo prolongado. El área estará circundada por un canal y todo el derrame será bombeado al depósito de relaves final”*

## Comentario

La técnica de rellenopresenta varias ventajas.El método de extracción con el llenado de los vacíos de la mina, con una mezcla de relaves y cemento, **limita el movimiento del agua en la mina**. Además, el relleno con cemento tiene un potencial químico para **neutralizar parcialmente la potencial producción de ácido**.

Los estudios preliminares y el monitoreo de la calidad del agua durante la operación de la mina verificarán los resultados de los estudios.

### **3.3.4.3 Tratamiento de las aguas de la mina**

*“El manejo de las filtraciones que entrarían en la mina se efectuará a través de una de las siguientes dos opciones: a) el bombeo de las filtraciones desde un sumidero en el Nivel 3600 a través del pique central hasta la superficie, y su descarga final en el depósito de relaves, o*

*b) la descarga del agua acumulada en el sumidero en el Nivel 3600 a través de una bocamina para su tratamiento en un sistema pasivo.*

*En el Capítulo 3 se describe un sistema de tratamiento pasivo, diseñado específicamente para modificar las características de calidad de las aguas mineras hasta un nivel que permitirá su descarga a la Quebrada Migsihuigsi. Los resultados de un modelo predictivo del comportamiento del sistema pasivo de tratamiento se presenta en el Capítulo 3, mientras las predicciones de los impactos potenciales de las descargas de agua de mina tratada en la cuenca Migsihuigsi – Canoas se presenta en el Capítulo 5. En base de ambos análisis, se predice que las condiciones de línea base no serán afectadas.”*

#### **Comentario**

El uso de un modelo predictivo es importante, pero igualmente importante es el monitoreo de la calidad del agua sobre una base regular. La calidad puede variar dependiendo de la zona de depósito mineral operada.

**El sistema de tratamiento pasivo está bien conocido, pero tiene dos limitaciones: la una referente a su fiabilidad a largo plazo y que este tratamiento no es adecuado para todos los tipos de agua.**

En efecto, la composición química del agua de la mina varía en función del contexto geológico. El tipo de tratamiento de agua, si es necesario, será diferente.

### **3.3.5 Acopios Temporales de Suelo**

*“Debido al principio de utilizar los suelos excavados durante la construcción y operación del proyecto minero en la rehabilitación final de la faena, el diseño del proyecto incluye 3 acopios de almacenamiento de suelo y capa vegetal.*

*Acopio de suelo de las instalaciones permanentes: Al sur del muro del depósito de relaves se construirá un acopio para acomodar todo el suelo excavado de los sitios de las instalaciones permanentes del proyecto minero. Este suelo se guardará para su uso posterior en la rehabilitación final de la mina.*

*Durante la construcción, se realizará el desmonte de toda el área del depósito, retirando el suelo vegetal hasta una profundidad 0.3 m aproximadamente. Este material se apilará fuera del área del depósito y se usará para la recuperación al momento del cierre.*

*Todos los acopios de suelo tendrán sus propios sistemas de control de erosión y se contempla la construcción de drenajes perimetrales para evitar la descarga de sedimentos a los cursos superficiales naturales.”*

#### **Comentario**

La mina tiene una vida útil corta, pero se debe considerar la cuestión de las funciones ecológicas de los suelos que han sido almacenados durante varios años, especialmente en el caso de los suelos de páramo. De hecho, los suelos ocupados por las diferentes instalaciones (vías, edificios, planta, etc.) se degradarán y la rehabilitación después del cierre plantea cuestiones. Un estudio de manejo de suelo puede ayudar para abordar estas preguntas.

#### **3.3.6 Plan de protección de flora**

*“La zona del proyecto, y específicamente del área de implantación de mina y facilidades corresponde a una zona de páramo herbáceo únicamente. El área de remoción de cobertura vegetal se ha calculado en aproximadamente 20 ha, correspondientes a las zonas de la planta, bodegas, administración, vías, y demás facilidades relacionadas. En la fase de remoción de la cubierta vegetal o desbroce, se cortan y remueven todos los árboles, arbustos, epifitas, hierbas, y en ocasiones también se remueve la capa vegetal; este proceso origina cambios en la estructura del páramo herbáceo originando la afectación de la biota.”*

*“Debido a las condiciones ambientales de la vegetación que se encuentran en la zona de influencia del proyecto, es recomendable que su remoción se realice en base a una planificación detallada.”*

*“Es este sector la remoción de cobertura vegetal deberá ser realizada por medio de recate de vegetación en forma de champas. Estas serán depositadas en sitios adecuados, de baja pendiente, sin interrumpir flujos de agua superficiales, y en manera de stock para su posterior uso en la revegetación de los sitios cercanos de afectación”*

#### **Comentario**

De acuerdo con la literatura, todas las perturbaciones del suelo y de la vegetación asociada **resultan en una pérdida permanente de la estructura y la pérdida de funciones (infiltración y retención de agua)**. En nuestra opinión, sería necesario desarrollar, en el estudio de impacto, **un plan detallado de gestión** de los suelos y de la vegetación como examinar las posibilidades de **rehabilitación de las áreas degradadas** ya en las cercanías. Esto debe hacerse con el apoyo de especialistas.

#### **3.3.7 Infraestructura de Acceso del Proyecto**

“El camino de acceso actual del proyecto Río Blanco se extiende desde una ubicación en la carretera principal Cuenca – Molleturo cerca del poblado de San Pedro de Yumate. Este camino tiene aproximadamente 29 km de longitud y unas secciones que actualmente tienen una pendiente que supera el 8 %. Este camino de acceso se mejorará para acomodar con seguridad los vehículos pesados, o se reemplazará como ruta principal de acceso por un nuevo camino que se extendería entre el pueblo de Nipalay y el proyecto. En caso de avanzar esta opción, la tramitación del permiso de construcción se realizará en virtud de un EsIA independiente. Estos caminos interconectan las áreas de la mina, la planta y el campamento e incluirán caminos adecuados para el transporte del material estéril y el mineral entre las áreas de la mina y la planta.”

INTERNATIONAL MINERALS		PROYECTO RIO BLANCO	
Descripcion	Alternativa 1: Nipalay –Río Blanco	Alternativa 2: Yumate–Río Blanco	
Longitud (km)	12.5 km	19km (actual) 23km aprox. con variantes	
Gradiente Maxima (%)	9%	11%	
Ancho de calzada	5m	4m-5m	
Servidumbre de Tránsito	30m @ 12.5km	NO	
Levantamiento topografico	SI	Faja ancho 30m sobre eje de via	
Estudio Diseño Ingeniería: (preliminar)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• SI</li> <li>• Diseño eje Vertical</li> <li>• Diseño eje Horizontal</li> <li>• Sobreeanchos</li> <li>• Movimiento de Tierras</li> <li>• Estudio Geológico-Geotecnico</li> <li>• Diseño estructural Calzada</li> <li>• Estudio Hidrológico</li> </ul>	NO	
Estudio de Impacto Ambiental (borrador preliminar)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• SI</li> <li>• Se realizo difusión de TdRa del EIA Via Nipalay-RE.</li> <li>• Suspendido proceso difusión y participación Social por emisión de Mandato Minero.</li> </ul>	NO	

Figura 15 : Alternativas para las infraestructuras de acceso (Fuente:IMC)

### Comentario

La construcción de caminos de acceso – sean los necesarios para traer equipos pesados e insumos a la mina o para sacar los metales o minerales procesados (como en Quimsacocho)- puede tener impactos considerables en el ambiente especialmente si los caminos de acceso atraviesan zonas ecológicamente sensibles.

Es importante mencionar que la apertura de vías fomenta colonización de territorios con fines de producción agrícola y vivienda rural y que además afectan el modelo de planificación del territorio.

Un punto muy importante aquí, es **la interrupción de la circulación del agua**, aguas arriba y aguas abajo de las carreteras especialmente si se encuentran en una ladera. El impacto sobre el régimen hidrológico debe cuantificarse y mitigarse.

Cuando la propuesta de un proyecto minero incluye la construcción de caminos de acceso, entonces el Estudio de Impacto Ambiental (EIA) debería incluir una completa evaluación de los impactos ambientales y sociales de estos caminos.

Como se mencionó anteriormente, el concepto de **un estudio de impacto ambiental independiente no es adecuado** en el contexto de una evaluación general del proyecto. Por otra parte, el análisis de alternativas debe considerar los aspectos ambientales que son muy importantes en el caso estudiado.

### 3.3.8 El plan de cierre y rehabilitación

*“La planificación a partir de los riesgos brinda una base para calcular las consecuencias financieras del cierre. Como requisito clave, los Estándares de Cierre incluyen mecanismos para asegurar que los planes se corresponden con las previsiones de costos, que son revisadas regularmente para asegurar su exactitud y pertinencia. Los estándares reconocen que la planificación del cierre implica diversos grados de incertidumbre. Los planes y las estimaciones respectivas de costos pueden ser modificados por factores tales como variaciones en las condiciones del sitio y en los costos laborales y de equipos. La planificación del cierre es un proceso cuyos objetivos son adaptados a cada lugar, con revisiones, actualizaciones y auditorías periódicas obligatorias. Una dimensión fundamental es comprender las necesidades, aspiraciones y preocupaciones de los actores, en particular de los reguladores y las comunidades locales.”*



Figura 16: Plan de rehabilitación (Fuente:IMC)

### **Comentario**

Las minas mal cerradas y abandonadas constituyen un difícil problema de legado para los gobiernos, las comunidades y las compañías mineras y en última instancia, afectan la imagen de la industria minera en su totalidad.

Una planificación deficiente y una financiación inadecuada aumentan los costos de cierre y disminuyen la rentabilidad total, lo que obstaculiza la capacidad de una compañía para desarrollar nuevos proyectos.

Adoptar un enfoque más integrado de la planificación del cierre de la mina y hacerlo con tiempo pueden facilitar que el cierre y la terminación se realicen de forma eficaz y mitiguen los efectos negativos de cierres imprevistos o no planificados.

**Los principios del plan de cierre de Río Blanco, están en adecuación con las buenas prácticas, pero la descripción dada es muy general y se debería profundizar en actuaciones, especialmente respecto a la presa de relaves y establecer un calendario de acciones.**

**Es necesario que éstas sean las decisiones correctas desde un principio.** La mejor manera para hacerlo es mediante la elaboración de un plan de cierre al inicio de las operaciones. Ello puede orientar algunas decisiones durante la vida útil de la mina y así garantizar que éstas apunten hacia ese objetivo.

Uno de los objetivos es de alcanzar un punto donde la compañía haya resuelto los criterios de terminación de forma satisfactoria para la autoridad responsable.

**El plan inicial de cierre de la mina puede ser conceptual desde el inicio del proyecto y se puede reevaluar a un ritmo constante durante los últimos cinco años de la vida del proyecto. Es adecuado considerar una actualización formal de los planes de cierre de forma regular para incorporar nueva información, garantizar que los riesgos se han evaluado correctamente y que los cálculos de costos sean válidos.**

**La rehabilitación** es el proceso utilizado para reparar los impactos de la minería sobre el medioambiente. Los objetivos a largo plazo de la rehabilitación pueden variar desde la simple conversión de una zona a una situación estable y segura, hasta la restauración de las condiciones originales tan fielmente como sea posible para apoyar la futura sostenibilidad del lugar. Está claro que la cuestión de la irreversibilidad de los impactos en ciertas áreas (pérdida de las funciones del páramo) es importante y en este caso, ¿cuáles son las alternativas más adecuadas?

**La rehabilitación progresiva durante el tiempo de vida de la mina ayudará a reducir la responsabilidad de mantener el cuidado del lugar después del desmantelamiento de la mina, cuando no existen ingresos directos para compensar los gastos.**

La planificación **de la rehabilitación se lleva a cabo en las etapas iniciales de desarrollo** del proyecto en el contexto de los objetivos generales del cierre de la instalación. Es importante garantizar su financiamiento.

### 3.3.9 Estudio de alternativas

*“Como parte del Estudio de Factibilidad y el EIA, se ha considerado una serie de opciones alternativas de diseño de la mina para los aspectos claves del proyecto. La revisión tomó en cuenta las consecuencias ambientales, operacionales y económicas derivadas de cada alternativa. Se consideraron las siguientes alternativas de desarrollo críticas:*

- *Planta de Beneficio – en Río Blanco o fuera del lugar.*
- *Acceso a la Mina Subterránea – rampa o pique.*
- *Manejo de Depósito de Relaves – relaves húmedos o relaves en pasta.*
- *Campamento – en Río Blanco o fuera del lugar.”*

#### **Comentario**

Considerar alternativas es el "corazón" del proceso de EsIA para fomentar el desarrollo sostenible y mejorar la toma de decisiones para reconciliar las preocupaciones económicas, ambientales y sociales. Este requisito de considerar alternativas sólo concierne **las alternativas consideradas económicamente y técnicamente viables**. Teniendo en cuenta los requisitos de participación pública del proceso de EIA, también es importante que el proponente del proyecto solicite comentarios del público sobre el análisis de las opciones alternativas propuestas.

**Todos los EsIA para proyectos de minería deben incluir:**

- Alternativa de No Acción: el análisis de la alternativa de no acción, que representa el impacto razonable, proyectado hacia el futuro, de no tomar la acción propuesta. ¿Qué pasaría en el futuro si el proyecto o la acción no es aprobada o es retirada?
- Opciones razonables para el proyecto que sean técnica y económicamente viables que reduzcan los posibles impactos ambientales y socioeconómicos negativos, tales como alternativas en diseños, tecnología, diseño del sitio y opciones de diseño de instalaciones para la ubicación del proyecto incluyendo las propuestas hechas por los partes interesadas para modificaciones o nuevas opciones para el proyecto que tengan un menor impacto

Una exposición de las principales alternativas estudiadas y una justificación de las principales razones de la solución adoptada, debe tener en cuenta los efectos ambientales. Por ejemplo en el estudio de las alternativas de disposición de los relaves sólo los costos fueron considerados por Río Blanco. Esta deficiencia debería ser superada realizando el análisis de las alternativas, indicando **cual criterio se aplica para la elección de la ruta de la línea de alimentación**, cuyo estudio de impacto sobre el medio ambiente no parece disponible.

 <b>PROYECTO RIO BLANCO</b> <b>Alternativas Línea de Transmisión</b>			
Descripción	Alternativa A: Cuenca-Nipalay-Río Blanco	Alternativa B: S/E 5 Cuenca-Angas-Río Blanco (seleccionada)	Alternativa C: S/E Sinincay Cuenca-Angas-Río Blanco
Longitud (km)	50-53km	55km	70-75km
Capacidad / Transmisión	22 KV actual línea distribución- Molleturo	69KV/ 10MW	69KV / 10MW
Tipo de Estructuras	Actual: Postes	Torres, Postes H.A.	Torres, Postes H.A.
Perdidas de Carga	30.7% @ 5MW (EERC3 2006)	-	-
Afectación Areas Protegidas	Parque Nacional Cajas	-	-
Afectación Areas pobladas	Sayausi (principalmente)	Baños (periferia)	Ochoa Leon, Sayausi, Vistas Urb N.O Cuenca, San Joaquin.
Estudio de Conexión al SNI	NO	Realizado, incluye esta alternativa	Realizado, incluye esta alternativa
Estudio de Ingeniería	NO	Versos Preliminar (por concluir): • Selección de Ruta: ok • Levantamiento topográfico: ok • Estudio de suelos: ok • Diseño eléctrico: ok • Diseño Subestaciones: actualizar • Servidumbres de paso: actualizar Diseño Bahía de Salida: 0%	NO
Estudio de Impacto Ambiental	NO	Ver Borrador Preliminar, (por concluir): Línea Base: Actualizar Área de Influencia: actualizar Ident. Impactos: actualizar Plan de Manejo Ambiental: actualizar	NO

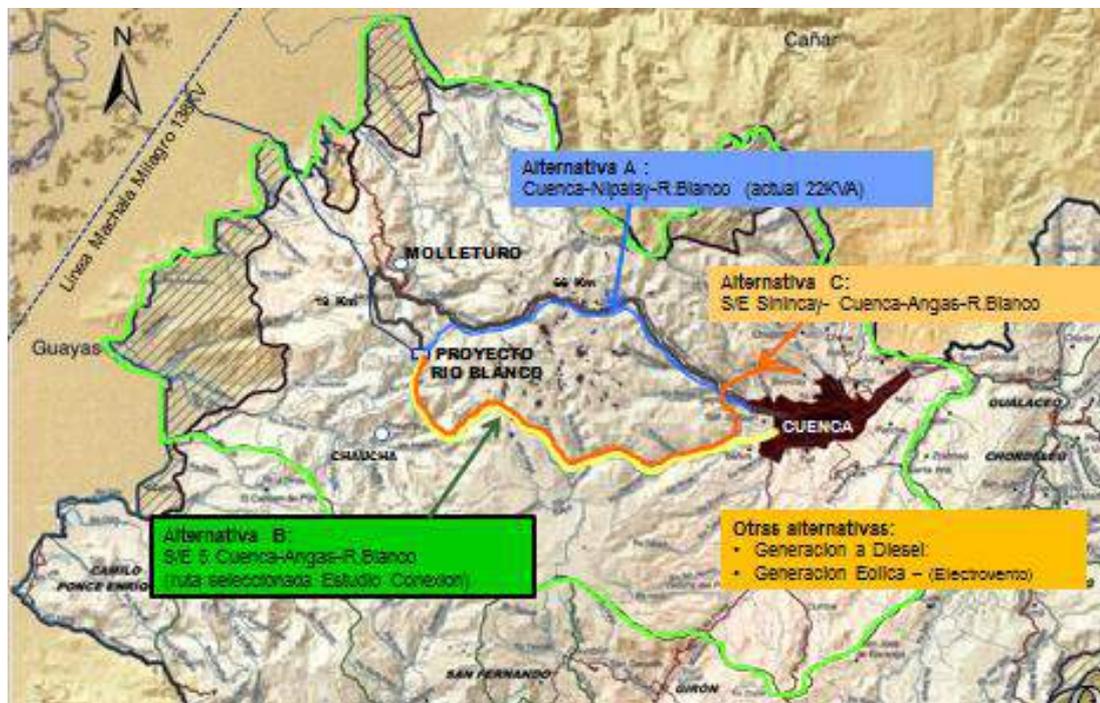


Figura 17: Alternativas: Línea de transmisión (Fuente: IMC)

### 3.3.10 Evaluación de riesgos, plan de contingencias

*“Los riesgos derivados de la explotación y beneficio de minerales, las estructuras de almacenamiento de relaves, los hidrocarburos, productos químicos y sustancias peligrosas utilizados en el desarrollo de la actividad minera, así como los corredores de transporte, interno de material triturado, logística y demás actividades misceláneas, son los elementos básicos que han sido tomados en cuenta para desarrollar el presente Plan de Contingencias.”*

#### **Comentario**

**La descripción general de los contenidos del plan, la organización y responsabilidades es coherente con la buena práctica, pero hace falta un análisis de probabilidad de ocurrencia de los riesgos.**

El promotor ha de presentar una descripción adecuada de los efectos significativos (directos, indirectos, secundarios, acumulativos, a corto, medio y largo plazo, permanentes y temporales, positivos y negativos) que puede tener un proyecto. Esta descripción debe incluir efectos causados por accidentes u otros incidentes excepcionales (es decir, catástrofes naturales como trombas de agua, terremotos o corrimientos de tierras) si procede.

Se debe evaluar la probabilidad de que se produzca un accidente, ya sea mediante un análisis cualitativo o cuantitativo. Los puntos a considerar son los siguientes:

- Probabilidad de que se produzcan eventos individuales;
- Probabilidad de que se produzcan eventos simultáneos
- Complicaciones resultantes de aspectos ambientales, como por ejemplo un terreno de difícil geografía, la cercanía de un río principal, condiciones de hielo o nieve, etc.

### 3.3.11 Los principales riesgos de los proyectos mineros que podrían dar lugar a una emergencia:

De la experiencia internacional, a continuación se indican los principales:

**Manejo de gran volumen de materiales:** En el año 2001, la Comisión Internacional de Grandes Presas emitió un boletín que estudiaba las causas, lecciones aprendidas y medidas de remediación tomadas con respecto a las fallas en las presas de relaves.

Los estudios realizados en las empresas mineras han resaltado la necesidad imperiosa del manejo eficiente del agua para la seguridad de la presa de relaves.

Lo usual es garantizar que no haya exceso de agua.

Sin embargo, muy poca agua puede dar como resultado playas secas y generar polvo.

El polvo puede afectar la salud si es inhalado, así como la flora debido a la acumulación de metales en las plantas.

#### **Comentario**

**El buen diseño de la presa y el monitoreo son las claves para una buena gestión y reducción del riesgo.**

### **Emisiones químicas**

Los combustibles y productos químicos que se utilizan en los emplazamientos mineros y metalúrgicos son con frecuencia sustancias peligrosas. Virtualmente el uso de todos éstos es común en otras industrias.

En la mayoría de los casos estos materiales peligrosos están bien controlados. Sin embargo, ocasionalmente pueden escapar mediante fugas, directamente o a través de cursos de agua contaminada o emisiones gaseosas.

### **El uso de cianuro**

El uso de cianuro está asociado con la minería aurífera, aunque es razonablemente común en otras industrias también. Una prioridad obvia debería contar con un plan de preparación y comunicación para casos de emergencia para todas las operaciones incluyendo e él manejo de cianuro. Se ha desarrollado un Código de Manejo de Cianuro Voluntario para la industria aurífera, el cual contiene un fuerte componente de preparación para emergencias.

### **Comentario**

**El sistema de manejo ambiental es la clave para aumentar la prevención de los riesgos de derrames. La compañía minera se compromete a adoptar las normas que rigen el manejo adecuado de cianuro.**

### **Liberación accidental de mercurio**

*“Se instalarán filtro-prensas en el circuito de clarificación para capturar el oro y la plata precipitados, más el zinc residual. La torta del filtro se recolectará en un remolque y se transportará a una cámara de vacío de retorta de mercurio. Aquí, la torta se calentará para volatilizar las cantidades de traza de mercurio que pudieran precipitar con los metales preciosos. Cabe señalar que este paso se incluye como **una medida de precaución** ante la presencia de elevados niveles de mercurio en muestras de superficie en zonas localizadas con plata de ley extremadamente alta, que se sabe que existen en el depósito. No se ha encontrado altos niveles de mercurio en el muestreo de las vetas en los testigos de perforación.”*

### **Comentario**

Es usual que el mercurio esté presente en la mena de oro [la mena contiene el mineral con el elemento de interés y la ganga la que no tiene interés económico]. Si bien las concentraciones pueden variar sustancialmente aun en un mismo yacimiento de mineral, se espera encontrar mercurio en los desechos de la minería de oro.

El mercurio que está presente en el mineral se evapora, especialmente en los tostadores, los cuales han sido una de las mayores fuentes de emisión de mercurio en la atmósfera.

En el proceso el mercurio también puede ser recuperado y almacenado.

**Como parte del depósito puede contener mercurio con alta concentración un seguimiento específico es necesario.**

### 3.3.12 Sistemas de Manejo Ambiental

La mayoría de las empresas mineras más importantes están comprometidas a mejorar continuamente su desempeño ambiental y social, y a menudo van más allá de las condiciones legales e incluyen códigos industriales voluntarios de buenas prácticas y sistemas de manejo. Las etapas de un sistema de manejo ambiental son las siguientes:

- Compromiso organizativo,
- Política ambiental,
- Evaluación de impacto socioeconómico,
- Evaluación de impacto ambiental,
- Consulta a la comunidad
- Objetivos y metas,
- Plan de manejo ambiental,

#### **A llevar a cabo durante la vida del proyecto**

- Manual ambiental y de documentación,
- Procedimientos de emergencia y control operativo,
- Capacitación,
- Seguimiento de emisiones y desempeño,
- Auditorías ambientales y de cumplimiento,
- Revisiones.

### **Comentario**

Para obtener todos los beneficios que presenta una EIA, ésta debería formar parte de **un sistema de manejo ambiental (SMA) que busque integrar responsabilidades ambientales en las prácticas de manejo diarias a través de cambios de la estructura, responsabilidades, procedimientos, procesos y recursos de la organización.**

El SMA es un ciclo reiterativo, en el que cada etapa se vuelve a visitar continuamente y se mejora en cada una de estas visitas. Aunque diseñado para ser una herramienta de las empresas, un sistema eficaz proporciona a la autoridad reguladora una manera fácil de controlar el cumplimiento.

### 3.3.13 El plan de monitoreo ambiental

Todas las promesas del EsIA corren el riesgo de ser una mera ilusión a menos que este también establezca las medidas mediante las que la compañía minera y/o los funcionarios del gobierno responsable monitorearán el desempeño del proyecto minero y su impacto sobre el ambiente.

El monitoreo es una parte importante de la implementación del proyecto.

El monitoreo sirve a tres propósitos: 1) asegura que las medidas de mitigación requeridas sean implementadas; 2) evaluar si las medidas de mitigación están efectivamente funcionando; y 3) validar la exactitud de los modelos o proyecciones que fueron usados durante el proceso de evaluación de impacto.

El programa de monitoreo debería ser parte del sistema completo del manejo ambiental de la compañía, y debería responder directamente a los problemas ambientales identificados en el EsIA realizado antes de que empiecen las operaciones. El programa de monitoreo debería ser desarrollado usando un conjunto de objetivos, los compromisos de la compañía y las condiciones existentes. El programa debería detallar el plan de trabajo, las responsabilidades del personal de la mina, las medidas tomadas para el monitoreo y los sistemas de reporte.

El Plan de Monitoreo Ambiental necesita ofrecer todos los detalles de donde, cuando, que y con qué frecuencia la compañía minera va a monitorear la calidad del agua, aire y suelo en las áreas adyacentes del proyecto minero y la cantidad de contaminantes en los efluentes y emisiones que la compañía está liberando en el ambiente. **El Plan de Monitoreo Ambiental de un EsIA debe también especificar de qué manera esta información será dada a los tomador es de decisión del gobierno y al público en general de tal forma que permita a los tomadores de decisión y al público determinar cada cierto tiempo que la compañía minera está cumpliendo con todas las promesas que el EsIA pueda contener y con toda la normatividad ambiental y los estándares a los que debe sujetarse.**

### 3.3.14 Impactos acumulativos y estrategia de desarrollo

La evaluación de impactos acumulativos es un instrumento de gestión ambiental, en efecto, la emisión que genere una actividad debería estar dentro de los límites máximos permisibles que establece la norma. Así lo garantizaría el correspondiente plan de manejo ambiental, contenido en el respectivo estudio de impacto ambiental. Pero es posible, que muchos proyectos localizados en el mismo lugar, todos ellos cumpliendo los límites máximos permisibles, generen efectos acumulativos, superando los estándares de calidad del agua en el área.

**En el proceso de la Evaluación de Impacto Ambiental, deben considerar diferentes tipos de efectos acumulativos; estos son la combinación de los efectos de más de un proyecto que se estén realizando simultáneamente, los efectos combinados de proyectos que se consideran en un lapso de tiempo, etc...**

Este punto es muy importante en el caso del desarrollo de la minería en la zona de páramo, por su fragilidad y su baja resiliencia<sup>8</sup>.

**Es necesario elaborar una planificación del desarrollo de esta minería y también tomar en cuenta la suma de los impactos de las otras actividades como la ganadería y la agricultura.**

---

<sup>8</sup> En ecología, la resiliencia es la capacidad de las comunidades de soportar perturbaciones.

La evaluación social y ambiental regional, sectorial o estratégica puede estar disponible para brindar una perspectiva adicional a la evaluación de impacto social y ambiental. La evaluación regional se realiza cuando se espera que un proyecto o serie de proyectos tengan un impacto regional significativo o que influyan en el desarrollo regional.

La evaluación sectorial es útil cuando se proponen varios proyectos en el mismo sector o en sectores relacionados.

La evaluación estratégica examina los impactos y riesgos asociados con una estrategia, política, plan o programa en particular, usualmente involucrando tanto al sector público como privado.

La evaluación regional, sectorial o estratégica puede resultar necesaria para evaluar y comparar el impacto de opciones alternativas de desarrollo. Se le presta particular atención a potenciales impactos acumulativos de múltiples actividades. Estas evaluaciones son típicamente ejecutadas por el sector público.

### **3.4 ANÁLISIS DE LOS DATOS SOBRE LAS AGUAS**

Este análisis se basa sobre los capítulos 5.1.11 y 5.1.12 del estudio de impacto ambiental de la fase de explotación, que constituyen el documento el más avanzado y el más completo sobre el asunto de las aguas superficiales y subterráneas.

#### **3.4.1 Aguas superficiales**

La red de monitoreo de aguas superficiales fue establecida en enero 2004. El EsIA presenta 24 estaciones de monitoreo hidrológico. La red cubre satisfactoriamente la superficie de la zona minería, con estaciones en todas las cuencas principales del área. Sin embargo las estaciones no son equipadas de instrumentos de control. IMC dice que no fueron autorizados a construir estaciones fijas. Las mediciones de caudal se hacen manualmente, con flujómetros<sup>9</sup>. La frecuencia de las mediciones ha variado entre semanal y trimestral. Algunas estaciones (H1 a H10) tienen una serie de datos que cubre 5 o 6 años con frecuencia de 15 días. Otras (estaciones RB) dan una idea aproximada del caudal.

Un ejemplo de las medidas de caudal esta dado en la Figura 18. La frecuencia se vuelve menos fuerte en los últimos años.

---

<sup>9</sup> Flujómetro: un instrumento de medida para la medición de caudal

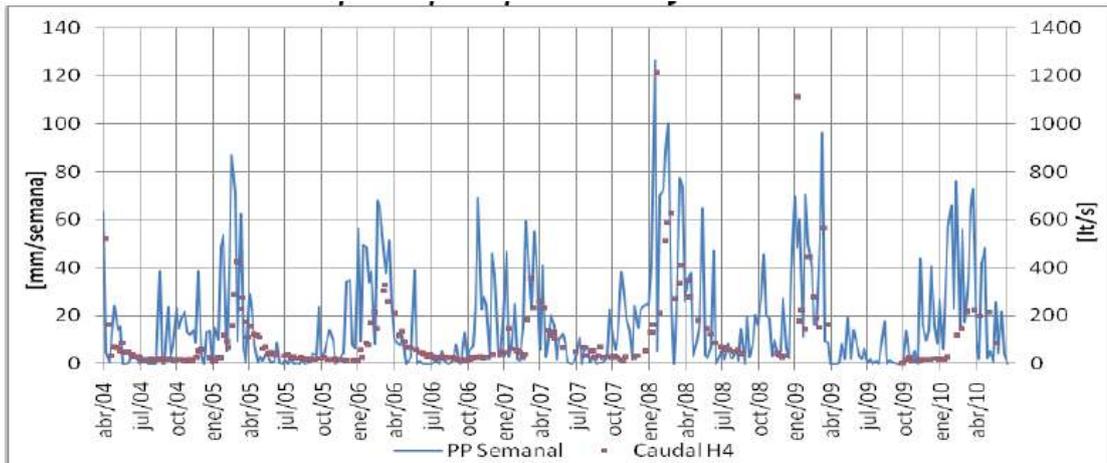


Figura 18 : Series de tiempo de precipitaciones y caudales medidos en H4

El EsIA asegura que la consistencia de los caudales medidos fue verificada usando comparación, correlación y análisis de doble masa (un cálculo de control de homogeneidad de datos) entre las estaciones, sin presentar los resultados. Los caudales fueron modificados de acuerdo con los coeficientes de corrección determinados en este análisis de datos. No hay ninguna indicación sobre la importancia de la corrección ni la fiabilidad de las medidas de terreno.

La visita a Río Blanco no nos permitió observar cómo se hacen las mediciones en el campo, la adecuación de los puntos de medición con el método usado, ni cómo se calcula la transformación de la velocidad medida por el flujómetro en caudal. Se necesitaría más tiempo para hacer este análisis.

La calidad de los datos de caudal es importante para conocer la cantidad de agua superficial que existe en el sitio de Río Blanco antes de empezar la actividad minera. Este recurso de agua sirve para varios usuarios. Una estimación exacta de los flujos es necesaria para cuantificar el agua disponible para el abastecimiento de la mina sin debilitar el abastecimiento de la comunidades locales aguas abajo. También sirve para establecer el balance hídrico que permite la estimación del flujo de infiltración. No parece que se han hecho este cálculo.

La empresa IMC entregó un informe llamado “Evaluación hidrológica y ecológica del área de Taguarpamba” de noviembre 2006. El informe proporciona detalles de los estudios hidrológicos llevados a cabo en el área proyectada para la construcción de la presa de relaves. El estudio utilizó los datos de la estación H4 (enero 2004- mayo 2006) ubicado en la zona superior del Río Blanco para definir flujos mínimos (15 l/s) y máximos (437 l/s). Un modelo hidrológico fue utilizado considerando datos climáticos y parámetros específicos para modelar el caudal en varios periodos climáticos (secos y húmedos). Sin embargo, el informe no presenta la comparación entre los caudales modelados y los caudales observados, que permitiría la validación del uso del modelo. El informe concluye que la instalación del depósito retiene el agua en periodo húmedo

y sostiene el flujo en periodo seco (con cuantificación de esos flujos), pero las hipótesis y los parámetros del modelo no están descritos.

Falta también un análisis del flujo con los perfiles de los lechos de los ríos, medidas de caudales diferenciales (en diferentes puntos sobre el mismo Río para la determinación de zonas de pérdidas o de ingreso de agua). Las relaciones aguas superficiales – aguas subterráneas no están suficientemente estudiadas.

En conclusión, la calidad de los caudales medidos tiene que ser demostrada y controlada. Estaciones fijas podrían mejorar la precisión. Nos parece que los estudios hidrológicos deberían ser mucho más desarrollados.

### 3.4.2 Aguas subterráneas

La visita del 28 de junio a Río Blanco nos ha permitido ver que el sistema de control de las aguas subterráneas carece de puntos de observación y de monitoreo. Actualmente, siete piezómetros están seguidos.

Cuatro de ellos están ubicados en el área proyectada para la construcción de la presa de relaves. Tres de estos cuatros (PL2, PL3, PL4) son dobles, es decir que tapan dos profundidades distintas en un mismo lugar. Eso es una buena idea para identificar movimientos verticales. Han permitido demostrar la presencia de aguas subterráneas confinadas en la roca profunda y un nivel freático en el terreno superficial (0-40 m). Los pozos profundos reaccionan con inercia y retraso a los episodios lluviosos. Los piezómetros en el relleno superficial tienen una repuesta más rápida a la recarga pero la frecuencia de las mediciones (cada mes) no es suficiente para apreciar la relación lluvia-nivel freático. La circulación de las aguas subterráneas se hace de la periferia de la llanura hacia el centro y sigue los rumbos de flujos superficiales. Según los lugares, flujos verticales se harían hacia abajo (PL-2) o hacia arriba (PL-3). PL-3 se vuelve artesiano de marzo a agosto. Estos cuatro piezómetros caracterizan el flujo de las aguas subterráneas en una zona de extensión muy limitada, en el área de la presa (una zona de menos de 0.5x1 km). Se necesita ampliar este tipo de estudio a la escala de la zona minera.

Los niveles de agua han sido recogidos en los sondajes geotécnicos o en pozos de exploración. La profundidad del agua resulta difícil de interpretar en esos pozos donde no se conocen los niveles productores de agua. Los mapas de niveles de agua citados en el EsIA no se encuentran en el documento (faltan figuras). Niveles de agua en pozos de exploración no tienen mucho sentido: los pozos no son equipados para tapar un acuífero<sup>10</sup> predeterminado, no son verticales, pueden mezclar niveles productivos o estar colgados. El informe habla de niveles anómalos con diferencias de 100 m bajo niveles en sondajes adyacentes.

---

<sup>10</sup> Un acuífero corresponde a una o más formaciones geológicas en las cuales se encuentra agua y que son permeables permitiendo así el almacenamiento de agua subterránea.

Solo tres piezómetros (P1, P2 y P3) fueron construidos en el objetivo de medir aguas subterráneas. Están habilitados con rejilla a lo largo de aproximadamente 10 m hacia su base. Los tres son de profundidad similar (40 m). P1 ha estado seco desde que se perforó. P2 muestra una fluctuación de 3m mientras que P3 tiene una variación de nivel de 30m. El EslA concluye que el flujo en las andesitas está controlado por fracturas.

Sin duda, la caracterización de las aguas subterráneas es muy difícil en la zona, afectada por las fallas y las fracturas, los niveles arcillosos, la heterogeneidad de la roca volcánica, la amplia variación de nivel entre épocas secas y húmedas... pero los esfuerzos para caracterizar las aguas subterráneas requieren mayor profundidad. El número de piezómetros es insuficiente. Las profundidades de rejillas deben ser definidas en relación con el corte geológico. Las rocas acuíferas deben ser identificadas y, luego, los pozos deben ser perforados para caracterizar niveles únicos.

Las investigaciones hidrogeológicas no permiten determinar si las secuencias de material no consolidado que se extiende sobre el basamento andesítico están saturadas o no. El EslA dice (p.115): "no está claro si los niveles de agua medidos reflejan un nivel freático suspendido". Esta determinación es importante para las obras en las galerías.

Las aguas subterráneas no solo se caracterizan por sus niveles de agua sino por la permeabilidad de sus acuíferos, la velocidad de sus flujos y la calidad de las aguas. Los piezómetros, de diámetro de 2 pulgadas, no permiten bajar una bomba para hacer pruebas de bombeos. Ninguna prueba ha sido realizada en el área. Sin embargo valores de permeabilidad se usan en los modelos realizados, como el modelo que estima las entradas de agua durante las obras de perforación de las galerías.

**En conclusión, la información sobre las aguas subterráneas debería ser más detallada y consistente. No se logra identificar los acuíferos ni prever cual serán los impactos a largo plazo en los recursos de agua subterránea.**

## 4 Proyecto Quimsacocha.

Este proyecto se encuentra actualmente en una fase de exploración de manera que la compañía no ha alcanzado aún el estudio de impacto ambiental normativo. La información proporcionada a continuación se basa en las presentaciones y discusiones con los responsables del proyecto minero Quimsacocha. Puede ser que el diseño de éste evolucione en el futuro.

### 4.1 CONTEXTO AMBIENTAL

#### 4.1.1 Ubicación

El proyecto minero Quimsacocha (Figura 19) está situado a unos 30 km al suroeste de la ciudad de Cuenca, en la provincia del Azuay. El proyecto se ubica a una altitud en el rango de 3500 a 3900 msnm y ocupa un área de 12,500 ha. Las concesiones mineras están ubicadas en un área declarada como “bosque y vegetación protectores” de la cuenca del río Paute, microcuenca de los ríos Yanuncay e Irquis; y en la cuenca hidrográfica del río Jubones La mayor parte de la concesión corresponde a cobertura de páramo típico de los Andes ecuatorianos. El remanente corresponde a zonas de chaparros y áreas de ganadería.



Figura 19 : Ubicación del proyecto Quimsacocha( fuente:IAMGOLD)



*Figura 20 : Zona del proyecto Quimsacocha (photo Brgm)*

#### **4.1.2 Clima**

La precipitación media anual parece un poco más débil en el sitio Río Blanco que en el sitio Quimsacocha. En Quimsacocha, está estimada entre 1060 y 1600 mm anuales (PROMAS). Existe un patrón estacional de la precipitación con un periodo seco de mayo a septiembre y uno lluvioso de octubre a abril. La temperatura promedio está alrededor de 8 grados. La evapotranspiración potencial anual se puede estimar en Río Blanco en aproximadamente 900 mm.

#### **4.1.3 Suelos**

Los suelos que predominan en Quimsacocha son los andosoles (o andisoles) e histosoles, formados a partir de la acumulación de cenizas volcánicas y materia orgánica, con una densidad aparente muy baja y una alta capacidad de retención de agua. El andosol es una categoría del sistema de clasificación de suelos que agrupa suelos de origen volcánico de colores oscuros y muy porosos. El histosol es un tipo de suelo caracterizado por ser fuertemente orgánico, incluso turboso. Los andosoles e histosoles presentan características muy particulares tanto físicas como químicas, por lo tanto PROMAS señala que los métodos utilizados para la determinación de algunas de sus propiedades no necesariamente serían los adecuados.

#### 4.1.4 Geología

La estratigrafía local en Quimsacocha se limita a las rocas volcanoclásticas<sup>11</sup> y flujos de lava que pertenecen a las formaciones de Turi, Turupamba, Quimsacocha y Tarqui. Estas formaciones son en la forma de flujos radiales hacia una zona de caldera<sup>12</sup>. Las formaciones Quimsacocha y los niveles superiores de Turi son los niveles principales de alteración y de mineralización.

## 4.2 PRESENTACIÓN DEL PROYECTO

El proyecto minero se encuentra ubicado en la cordillera Occidental a 35 km al SO de la ciudad de Cuenca, a una altura de 3750 m.

El cuerpo mineralizado tiene una dimensión de 1300m de largo por 400 m de ancho aproximadamente, el mismo que será extraído por el método subterráneo.

El cuerpo mineral Quimsacocha se encuentra ubicado en el Cantón Cuenca. Ocupa una superficie de 300 hectáreas a una profundidad promedio de entre 80 a 150 m.

## 4.3 COMPONENTES DEL PROYECTO

El minado del depósito de Quimsacocha será de manera subterránea con un sistema de corte y relleno que consiste en

- Cámaras de producción a lo largo del cuerpo mineralizado y relleno con material cementado
- Posterior corte de pilares y relleno con material no cementado

### Áreas requeridas para producción y procesamiento

- Accesos a Rampa de Explotación 2 ha
- Área destinada para proceso de molienda, concentración y sector administrativo 4.3 Has.

---

<sup>11</sup> Rocas volcanoclásticas son aquellas producidas por actividad volcánica, generalmente explosiva, seguida de una remoción o un retrabajo de material. Tienen aspecto similar a las rocas clásticas, debido a que se transportan, depositan y acumulan por procesos similares a dichas rocas, aunque el proceso original que produce los materiales es volcánico.

<sup>12</sup> El cráter por el que brota el material volcánico se suele mantener en forma de depresión, incluso cuando el volcán está dormido, como resultado del hundimiento de la lava en la chimenea eruptiva. A veces se hunde tan profundamente que el cono volcánico se derrumba y cae al interior de la chimenea, donde forma una depresión mucho mayor llamada caldera, en ocasiones de varios kilómetros de diámetro.

- Área destinada a relaves 9 Has.
- Zona de tratamiento de aguas 4.5 Has

Total de área superficial a ser intervenida para el proyecto minero: 20 Has

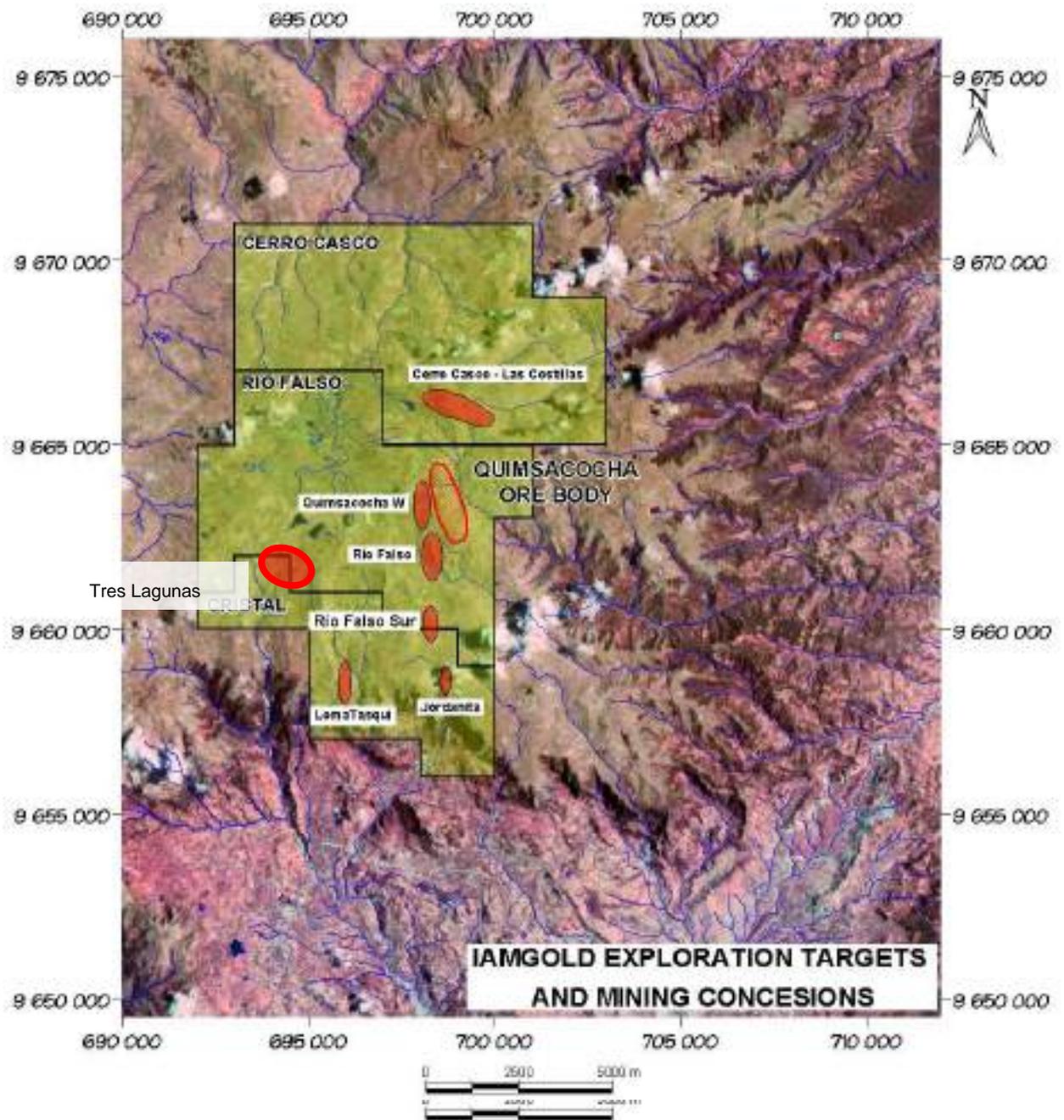


Figura 21 : Mapa de los concesiones mineras (Fuente:Iamgold)

Hay muchas similitudes entre los dos proyectos (Río Blanco y Quimsacocha), porque son dos minas de oro, pero el proyecto Quimsacocha tiene tres particularidades específicas:

- La planta no se colocará cerca de la mina y esta planta va a producir concentrados que serán procesados a nivel local o enviados al extranjero por vía marítima (ver Figura 27). Al principio, no habrá ningún uso de cianuro en la zona de la mina.
- La empresa minera tiene la intención de utilizar la técnica de depósitos de relaves en pasta que tiene muchas ventajas. Ella se describe más adelante en el texto, como una alternativa a al depósito de relaves convencional (elegido en el caso del proyecto Río Blanco).
- la presencia a pocos kilómetros de una gran área de alta vulnerabilidad, de humedales y lagunas, con una posibilidad de comunicación hidrogeológica, a pesar de la diferencia de elevación entre las lagunas y los trabajos de la futura minasubterránea.



*Figura 22: Sección que muestra la sucesión: roca erosionada, suelo negro y vegetación herbácea del páramo (Foto BRGM)*



*Figura 23 :La zona del proyecto Quimsacocha (Foto BRGM)*



*Figura 24: Páramo y ganadería (Foto BRGM)*



*Figura 25: La zona de las Lagunas (Foto BRGM)*



*Figura 26 : El modelo de la planta (Foto BRGM)*

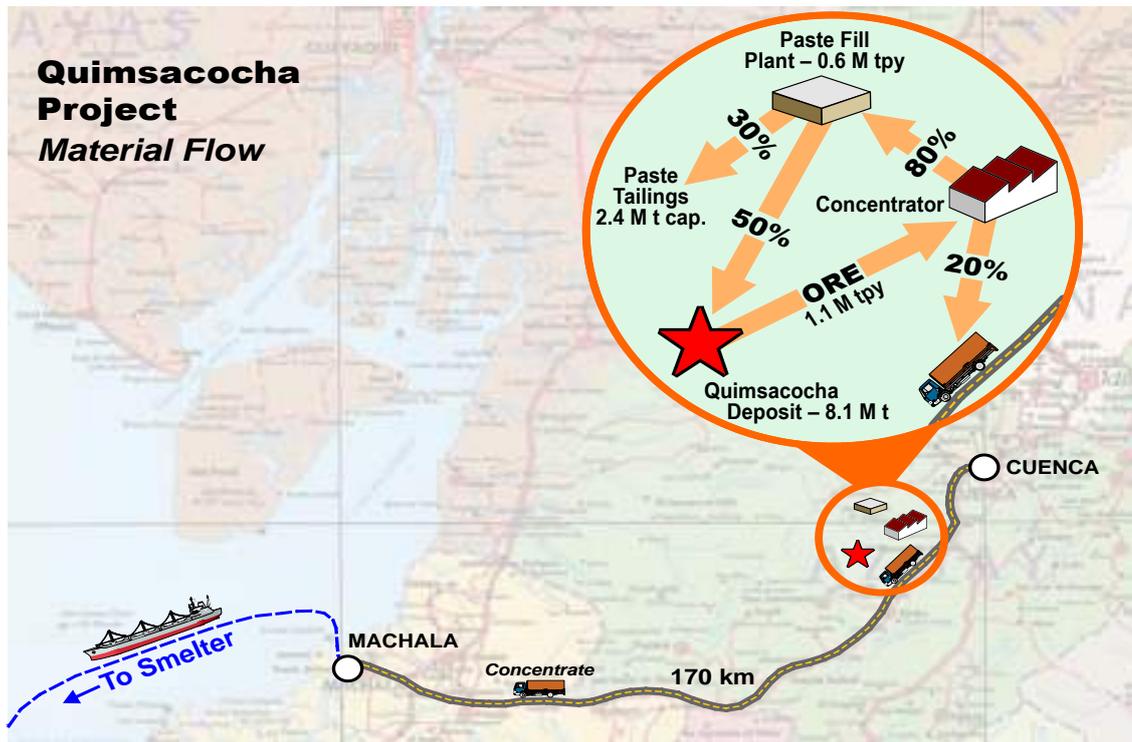


Figura 27 : Flujo de materiales (Fuente: lamgold)

## 4.4 ANÁLISIS DE LOS DATOS SOBRE LAS AGUAS

### 4.4.1 Aguas superficiales

Una parte de la zona se define como un antiguo volcán cuya caldera debido a la topografía y la alta precipitación almacena aguas superficiales. Algunas lagunas se encuentran y varios arroyos tienen su origen en este reservorio natural. La red hidrográfica está densa.

Faltan documentos sintéticos para presentar el trabajo hecho sobre el asunto de las aguas superficiales, sin embargo una red de monitoreo existe y varios estudios fueron llevados a cabo.

La Universidad de Cuenca está encargada del monitoreo del sitio. La calidad de las aguas superficiales esta seguida en 11 puntos (1 punto abandonado debido a actos vandálicos):

- 7 puntos de muestreo en la área de influencia de la mina
- 4 puntos en la zona abajo

Cuatro años de monitoreo con una frecuencia mensual durante los 3 primeros años y trimestral durante el cuarto año son registradas. El convenio para el cinco año está “en stand-by”.

Estudios sobre los suelos fueron llevados a cabo con calicatas y barrenas. Llegan a caracterizar los suelos de la zona de influencia del proyecto minero: 83% de ellos son andosoles y 9% son histosoles, concentrados en zonas cóncavas. Los estudios no se limitan a establecer una línea de base. El impacto de la ganadería y también del cambio de vegetación con la introducción del pino está estudiado.

Las mediciones hidroclimáticas están hechos en 8 pluviómetros y una estación meteorológica completa en Quimsacocha. Aseguran la registración de la lluvia y de los parámetros que permiten la computación de la evapotranspiración. Estaciones fijas han estado construidas para la medición del caudal de los ríos, equipada con vertederos y equipos automáticos (cada 5 a 15 minutos). Los organismos universitarios hacen un control de calidad de datos

En algunas cuencas “piloto” la Universidad ha construido un observatorio eco hidrológico con equipos modernos y de alta calidad (Estación meteo Campbell, pluviógrafo y disdrómetro laser, TDR para la medición de la humedad del suelo etc...).

El trabajo hecho y presentado por la Universidad parece serio e interesante y se debería continuar. Sin embargo no fue posible revisar en detalle estos estudios. Eso necesita más tiempo e intercambios con los autores.

#### 4.4.2 Aguas subterráneas.

Los estudios relacionados con las aguas subterráneas son escasos. Las aguas subterráneas no son identificadas todavía en la zona minera. Según la empresa lamgold, las aguas subterráneas no parecen ser una preocupación para la explotación minera. La roca dacítica<sup>13</sup> ubicada por encima de las galerías es una roca muy compacta casi impermeable.

Sin embargo, los alrededores de la caldera tienen probablemente rocas fracturadas por donde el agua puede percollar.

Profesionales el grupo de suelos de la Universidad de Cuenca realizaron un análisis de los isotopos estables del agua. Estudiando la señal isotópica en las aguas de lluvia y las manantiales a diferentes alturas, muestra que existe una relación entre la lluvia y los manantiales con un tiempo de residencia del agua en el subsuelo superior a un año. Los isotopos indican que una infiltración ocurre y que una circulación subterránea existe: penetración de agua meteórica (lluvia) y salida en otros lugares abajo, como se dibuja en la Figura 28.

---

<sup>13</sup> La dacita es una roca volcánica con alto contenido de hierro. Su composición se encuentra entre las composiciones de la andesita y de la riolita.

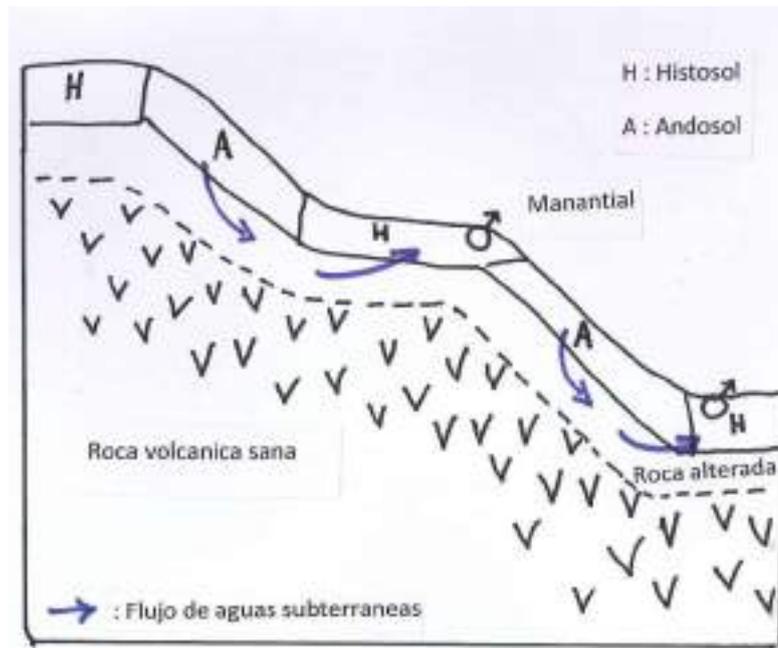


Figura 28 : modelo conceptual de circulación subterránea (Fuente: BRGM)

## **5 Conclusiones y Síntesis de las primeras recomendaciones**

### **5.1 COMENTARIO RELATIVO A LA HIDROGEOLOGIA**

La geología de los sitios parece bien conocida. Las rocas volcánicas que caracterizan el sector sur-oeste de la cordillera occidental donde se ubican los sitios mineros son descritas con detalles en los estudios, particularmente las partes mineralizadas. Por supuesto, las compañías son especialistas de este dominio.

Existen también, registros de parámetros climáticos y medidas de caudales de las aguas superficiales. Un examen crítico de esos datos es necesario antes de utilizarlos en modelos matemáticos.

Se notan esfuerzos para caracterizar el medio ambiente y las compañías entregaron muchos documentos para demostrar sus preocupaciones sobre este tema. Trabajos realizados por las universidades, aunque limitados por diferentes circunstancias, se mostraron muy interesantes. Sin embargo la descripción hidrogeológica, relacionada a la circulación de las aguas subterráneas, se encuentra muy poco detallada. Además, de los diálogos, reuniones y alcances de información que tuvimos durante esta misión, no se conoció mayores informes y/o estudios referidos al tema.

Las rocas volcánicas, donde se encuentran los yacimientos de oro, son heterogéneas: Sus propiedades pueden cambiar rápidamente en el espacio, debido al modo de depósito geológico. Tobas, pómez, lavas, por ejemplo, son rocas de características hidrogeológicas muy variables. La presencia de fracturas y de vetas puede actuar sobre la circulación de las aguas subterráneas.

Los suelos del páramo están clasificados por los expertos pero, no están bien caracterizados en relación con la circulación del agua y la recarga de las capas freáticas. La presencia de aguas subterráneas no se identifica claramente.

¿Qué cantidad se filtra a través de esos suelos? ¿Cómo fluyen las aguas subterráneas? ¿Cuál es la calidad de esta agua?

La caracterización de los flujos subterráneos necesita más estudios. La dificultad del tema hace que las respuestas a las preguntas no se pueden dar sin actuaciones reflexivas y colaborativas. Algunas ideas se dan en las recomendaciones.

## 5.2 COMMENTARIOS RELATIVOS A LOS PROYECTOS MINEROS

En general y sin entrar en detalles, el contenido del estudio de impacto ambiental del proyecto Río Blanco es consistente con las normas internacionales. Sin embargo, se puede hacer reservas sobre los siguientes puntos:

- Línea base y estudio de los impactos sobre las aguas subterráneas
- Consideración de opciones alternativas
- Nivel de detalle de los diferentes planes de gestión ambiental

En el caso de Quimsacocha, debido a la fase en la que se encuentra el proyecto, no tenemos documentos oficiales como el estudio de impacto sobre el medio ambiente para llevar a cabo un análisis.

Los dos proyectos actualmente en desarrollo son individualmente pequeños proyectos, debido a su tamaño y gracias a la mina en operación subterránea. Sin embargo, dada la vulnerabilidad y la importancia del páramo, la vigilancia, el seguimiento y auditorías por autoridades independientes son absolutamente necesarios.

Por lo tanto las empresas deben implementar las mejores prácticas internacionales en la minería y también implementar un sistema de gestión ambiental con protocolos muy estrictos adaptados a la vulnerabilidad del páramo.

**Las distintas opciones tomadas por ambas empresas con respecto a la tecnología de eliminación de los relaves y la implementación de la planta de tratamiento, demuestran que es necesario que el análisis de alternativas se lleve a cabo, teniendo en cuenta todos los aspectos medioambientales y socioeconómicos.**

**Un análisis integral de los riesgos y de los impactos, teniendo en cuenta todos los componentes del proyecto minero, completaría este análisis de las opciones alternativas.**

Dada la heterogeneidad de los datos disponibles y de que los distintos proyectos se encuentran en diversas fases de ejecución, las recomendaciones son de carácter general y se aplican a todos los proyectos mineros en la zona.

**Los párrafos siguientes de este capítulo son un resumen de todos los comentarios y recomendaciones.**

## **La mina**

Los depósitos de oro/plata se explotarán usando una mina subterránea.

La mina subterránea genera menos impactos ambientales que la mina al cielo abierto. Las tareas de rehabilitación requeridas al finalizar la explotación son mucho mayores en el caso de la minería a cielo abierto.

Por tanto la mina a cielo abierto en un contexto ecológico sensible como el páramo debe ser totalmente prohibida.

---

## ***La planta de beneficio***

El proceso de tratamiento es el acostumbrado y como todas las plantas de lixiviación de minerales de oro con soluciones cianuradas, generan volúmenes importantes de residuos normalmente con valores de pH elevados. Los efluentes líquidos de estos procesos, contienen elementos tales como cianuro de sodio, compuestos de cianuro de alta solubilidad, con metales pesados, potencialmente tóxicos, que deben tener un tratamiento adecuado.

Hay documentos de referencia, especificando cuáles son las mejores técnicas disponibles para gestionar los residuos mineros (por ejemplo, documentos europeos como los BREFs<sup>14</sup>). Estos documentos detallan cuáles son las mejores técnicas disponibles para todas las etapas de residuos mineros, producidos por diferentes tipos de minas.

Dada la fragilidad y la importancia del páramo, es necesario para el futuro operador de la minería considerar la posibilidad de construir la planta en las zonas menos sensibles de abajo.

---

## ***El cianuro:***

En efecto la compañía minera se compromete a adoptar las normas que rigen el manejo adecuado de cianuro. Esta es una buena práctica.

---

<sup>14</sup> Cf. el sitio <http://eippcb.jrc.es/reference/>

Las compañías mineras de oro, los fabricantes de cianuro y los transportistas de cianuro que se conviertan en signatarios del Código para el manejo de cianuro deben ordenar una auditoría de sus operaciones cada tres años por parte de un tercero independiente, a fin de demostrar su cumplimiento del Código. Los resultados de las auditorías son publicados.

### ***Destrucción de cianuro***

La destrucción o reciclaje del cianuro son buenas prácticas. Aunque se alcanzan los límites deseados en el caso del cianuro, los efluentes resultantes continúan teniendo concentraciones de subproductos nocivos para los organismos vivos, que requieren seguimiento.

---

### ***Control de los Derrames en la Planta***

Las medidas de control de los derrames son buenas prácticas.

---

### ***Depósito de Relaves***

La ubicación de la presa debe basarse en criterios técnicos, económicos y medioambientales. Si varios proyectos debían desarrollarse en la zona, se deben considerar los impactos acumulativos. Una planificación del Territorio sería una manera de evitar una gran presión ambiental. Aumento de la sinergia entre los proyectos (vías, redes eléctricas, campamentos, etc.) debe tenerse en cuenta en el estudio de factibilidad del proyecto

### ***Técnica de almacenamiento de los desechos***

Si la instalación se encuentra mal diseñada, mal construida o mal ubicada, lluvias, inundaciones o terremotos pueden causar fallas durante y después de finalizadas las operaciones.

Pero al menos éstos pueden ser reducidos al mínimo si las empresas siguen la última mejor práctica y utilizan un comité independiente de revisión del diseño.

La presa de Río Blanco es una pequeña presa, por tanto la primera prioridad debería ser asegurar que todos los diseños tengan como base los más altos estándares y asegurar la revisión e inspección periódica de las condiciones de seguridad, una evaluación sobre la forma cómo el sistema de manejo está siendo implementado en la práctica, como asegurar la realización de inspecciones frecuentes por parte de las personas correctamente calificadas.

## **Una alternativa: depósitos de Relaves en Pasta**

Esta forma de acumular, permite minimizar la superficie de suelo cubierto con relaves, realizar un cierre progresivo y al cese de operaciones, el depósito puede ser dejado sin requerir medidas adicionales de cierre.

Cabe señalar que el proyecto Quimsacocha tiene la intención de utilizar esta técnica, se considera una buena práctica.

## **Emplazamiento de la presa**

Las medidas proponen en el estudio; drenes de desvío laterales, geomembrana impermeable, red de drenes para las aguas debajo de la geomembrana, corresponden a las buenas prácticas.

No hemos visto un calendario que debe revelar la secuencia temporal de las medidas para rehabilitar el sitio.

El sistema de monitoreo de la calidad de las aguas superficiales debajo de la presa y de las aguas subterráneas debe basarse en un conocimiento hidrogeológico de la zona. El monitoreo propuesto es demasiado general.

## ***Metodología de construcción del muro***

Este método de aguas abajo requiere disponer de un gran volumen de arenas y permite lograr muros resistentes más estables del punto de vista de la resistencia sísmica.

El plan de contingencia debe incluir la probabilidad de accidentes y las consecuencias aguas abajo del sitio a través de la cuenca.

---

## **El Drenaje Acido de Rocas (DAR)**

### ***Potencial de generación de drenaje***

El problema ambiental más importante y persistente relacionado con la minería es el drenaje ácido de rocas (DAR). En los lugares en que se produce este problema puede tener un fuerte impacto sobre los ecosistemas. Su tratamiento es necesario durante las fases de desmantelamiento, cierre y posterior al cierre de la mina.

En el caso de Río Blanco, los estudios se realizaron, y el riesgo de DAR parece bajo pero hay que mantener un control permanente así como un monitoreo de las concentraciones de arsénico y mercurio en las aguas porque son elementos peligrosos.

### ***Tratamiento de las aguas de la mina***

El sistema de tratamiento pasivo es bien conocido, pero debe tener en cuenta sus limitaciones: este tratamiento no es adecuado para todos los tipos de agua y no es totalmente fiable a largo plazo.

---

### **Acopios Temporales de Suelo**

La mina tiene una vida útil corta, pero se debe considerar la cuestión de las funciones ecológicas de los suelos que han sido almacenados durante varios años, especialmente en el caso de los suelos de páramo. Se podría estudiar un plan de manejo de este suelo.

---

### **Plan de protección de flora**

De acuerdo con la literatura, todas las perturbaciones de suelo y la vegetación asociada, resulta en una pérdida permanente de la estructura y la pérdida de funciones (infiltración y retención de agua). En nuestra opinión, sería necesario desarrollar, en el estudio de impacto, un plan detallado de gestión de los suelos y de la vegetación así como examinar las posibilidades de rehabilitación de áreas ya degradadas en las inmediaciones. Esto debe hacerse con el apoyo de especialistas.

---

### **La red vial**

Es importante mencionar que la apertura de vías afecta la circulación del agua superficial y sub-superficial. El impacto sobre el régimen hidrológico debe cuantificarse y mitigarse.

Cuando la propuesta de un proyecto minero incluye la construcción de caminos de acceso, entonces el Estudio de Impacto Ambiental (EslA) debería incluir una completa evaluación de los impactos ambientales y sociales de estos caminos.

Como se mencionó anteriormente, el concepto de un estudio de impacto ambiental, independiente no es adecuado en el contexto de una evaluación general del proyecto.

Por otra parte, el análisis de alternativas debe considerar los aspectos ambientales, que son muy importantes aquí.  
Además, nuevas carreteras fomentan colonización de territorios con fines de producción agrícola y vivienda rural y afectan el modelo de planificación del territorio.

---

### **El plan de cierre y rehabilitación**

Los principios del plan de cierre de Río Blanco, están en adecuación con las buenas prácticas, pero la descripción es muy general, debiendo profundizarse en actuaciones respecto a la presa de relaves y establecer un calendario de tallado de acciones.

La planificación de la rehabilitación se lleva a cabo en las etapas iniciales de desarrollo del proyecto en el contexto de los objetivos generales del cierre de la instalación.

---

### **Estudio de Alternativas**

Considerar alternativas es el "corazón" del proceso de EsIA para fomentar el desarrollo sostenible y mejorar la toma de decisiones para reconciliar las preocupaciones económicas, ambientales y sociales. Este requisito de considerar alternativas sólo concierne a examinar las alternativas consideradas económica y técnicamente viables.

Allí es necesario por tanto incorporar en el análisis de las alternativas variables sociales, ambientales de planificación y sostenibilidad, de riesgos, entre otros. En particular; un discusión de la elección de la ruta de la línea de alimentación y su impacto ambiental se debería considerar.

**El análisis de alternativas se aplica a todos los componentes del proyecto mina, campamentos, plantas de beneficio, relaves, vías, redes eléctricas, etc.**

---

### **Evaluación de riesgos, plan de contingencias**

La descripción general de los contenidos del plan, la organización y responsabilidades es coherente con la buena práctica, pero le falta un análisis de probabilidad de ocurrencia de los riesgos.

### **Los principales riesgos que podrían dar lugar a una emergencia:**

El buen diseño de la presa y el monitoreo son la claves para una buena gestión y reducción del riesgo.

El sistema de manejo ambiental es la clave para aumentar la prevención de los riesgos de derrames. La compañía minera se compromete a adoptar las normas que rigen el manejo adecuado de cianuro.

Un seguimiento específico es necesario como parte del depósito puede contener mercurio con superior concentración.

---

### **Sistemas de Manejo Ambiental**

Para obtener todos los beneficios que presenta una EIA, ésta debería formar parte de un sistema de manejo ambiental (SMA) que busque integrar responsabilidades ambientales en las prácticas de manejo diarias a través de cambios de la estructura, responsabilidades, procedimientos, procesos y recursos de la organización.

---

### **El plan de monitoreo ambiental**

El Plan de Monitoreo Ambiental de un EsIA debe también especificar de qué manera esta información será alcanzada a los tomadores de decisión del gobierno y al público en general de tal forma que permita a los tomadores de decisión y al público determinar cada cierto tiempo que la compañía minera está cumpliendo con todas las promesas que el EsIA pueda contener y con toda la normatividad ambiental y los estándares a los que debe sujetarse.

---

### **Impactos acumulativos y estrategia de desarrollo**

Es necesario de elaborar una planificación del desarrollo de esta minería y también tomar en cuenta la suma de los impactos de las otras actividades como la ganadería y la agricultura.

La evaluación social y ambiental regional, sectorial o estratégica puede estar disponible para brindar una perspectiva adicional a la evaluación de impacto social y ambiental.

Se le presta particular atención a potenciales impactos acumulativos de múltiples actividades.

### 5.3 RECOMENDACIONES (HOJA DE RUTA)

A continuación se exponen recomendaciones para los dos temas abordados por los especialistas: hidrogeología y problemáticas ambientales mineras.

#### 5.3.1 Recomendaciones relativas a las aguas

De la información que se tiene, el estudio de Impacto Ambiental (EIA) del proyecto Río Blanco no dispone de estudios y datos necesarios para definir adecuadamente las líneas de base de punto cuantitativo y cualitativo de las aguas. Es especialmente débil en la definición de los acuíferos, de los flujos subterráneos y de la velocidad del agua subterránea.

Los estudios del proyecto Quimsacocha, aunque no son todavía sintetizados en un estudio de impacto ambiental por la etapa en la cual se encuentra el proyecto, parecen elaborados con sentido. Sin embargo falta todavía una comprensión de los flujos de agua en el subsuelo.

**En cada proyecto, se debe llevar a cabo un estudio particular de las aguas subterráneas** que permita identificar y caracterizar los acuíferos. ¿Cuáles son las capas geológicas que contienen las aguas subterráneas en las concesiones mineras? ¿Qué cantidad de agua se infiltra? ¿Cuáles son las direcciones de los flujos subterráneos? ¿Cuál es la extensión de las zonas de circulación de aguas subterráneas?

El estudio debería empezar por las áreas de los proyectos mineros pero no se limitara a ellas. De la misma manera que la red de monitoreo de las aguas superficiales se extiende en las cuencas potencialmente afectadas por la actividad minera, las aguas subterráneas deben ser estudiadas a una escala adecuada. La forma y extensión de los acuíferos, la comunicación con otros acuíferos (vertical o lateral), la conexión con las aguas superficiales son temas que pueden necesitar una **ampliación de las zonas de investigación**.

Para identificar la presencia de aguas subterráneas **un inventario de manantiales es necesario**. También, aforos diferenciales (medición del caudal de los ríos en varios puntos de un mismo cauce para identificar pérdidas o entradas de agua) pueden permitir demostrar la contribución subterránea al flujo. La ubicación de los puntos identificados debe ser comparada a un mapa geológico detallado, fotografías aéreas o satélites. Esta comparación podría explicar porque sale el agua en estos lugares.

Las aguas subterráneas y las aguas superficiales son generalmente conectadas, el **monitoreo de los caudales de los ríos en varios puntos**, incluido los más lejanos debe seguir y ser desarrollado. Vertederos, escalas, registro automático de nivel o de velocidad y computación del caudal permiten un análisis de la relación aguas superficiales-aguas subterráneas. Un modelo global podrá probablemente usar los datos para la **computación de los términos del balance hídrico y particularmente la infiltración**.

Los piezómetros pueden proporcionar información de primera importancia. **La fluctuación de nivel de aguas subterráneas tiene que ser seguida, por lo menos, durante un ciclo hidrológico completo** en varios puntos, para establecer la influencia de la lluvia sobre las aguas subterráneas. Con un modelo se podrá intentar la estimación de la recarga necesaria para provocar la fluctuación observada.

Los isótopos son una otra herramienta para identificar aguas subterráneas. Con **los isótopos estables de la molécula de agua** ( $^{18}\text{O}$  y  $^2\text{H}$ ) se puede conocer la altura de la lluvia que recargó el sistema acuífero. Con **los gases de la familia de los CFC**, se puede estimar el edad del agua, el tiempo de residencia del agua en el subsuelo. Se puede llevar investigaciones también con otros tipos de trazadores geoquímicos naturales.

Los **trazadores artificiales** son utilizados para definir la velocidad de los flujos subterráneos y algunos parámetros característicos del acuífero como la porosidad o la dispersión. Se puede inyectar un trazador en un pozo mientras bombeando en otro o seguir su restitución en un manantial.

Para el caso particular de Río Blanco, si bien existe cierta cantidad de piezómetros implementados, estos no parecen suficientes, para las tareas, además el diseño del tipo de pozo -su excesivo diámetro, estructura- no son los más adecuados. **Se requieren más pozos de observación** adecuadamente posicionados en las cuencas. Reproducimos en el anexo2 recomendaciones para pozos de control.

El estudio de las aguas subterráneas requiere la perforación de pozos: **pozos de observación y también pozos de ensayos para hacer pruebas de bombeo**, o ensayos hidráulicos de otro tipo, en cuanto las capas acuíferas sean identificadas. En conclusión se requiere un estudio general de las aguas subterráneas que comprende:

- Trabajo de campo (inventario de manantiales, geología)
- Análisis químicos e isotópicos (relaciones aguas subterráneas/aguas superficiales)
- Desarrollo de la red hidrológica, aforos, monitoreo
- Perforación de piezómetros, monitoreo
- Perforación de pozos, ensayos
- Otro tipos de investigaciones como trazados, análisis de fotografías aéreas, etc...

Esos estudios son de la competencia de ingenieros de oficina de proyectos con formación académica en hidrología y/o ingeniería civil. También pueden llevarse a cabo por investigadores de las universidades locales. Los expertos de BRGM pueden ayudar en cualquier asunto de estos temas.

### 5.3.2 Recomendaciones relativas al componente ambiental de la minería

Se expresaron reservas respecto de los proyectos mineros en el capítulo precedente. Información adicional sobre esos asuntos es requerida. En particular, se debe examinar alternativas y justificar las elecciones con respecto a la tecnología de eliminación de los relaves y la implementación de la planta de tratamiento. Se propone el uso de las mejores técnicas y tecnologías disponibles. El Estudio de Impacto Ambiental tiene que ser un documento único y completo, tratando todos los aspectos ambientales para una comprensión global. Debería formar parte de un sistema de manejo ambiental (SMA).

Se necesita un control riguroso de los documentos emitidos por las empresas, por expertos independientes. Con el desarrollo de los proyectos, la cantidad de documentos técnicos se va a multiplicar. Las autoridades tendrán interés en reforzar equipos de auditores. La formación de ellos es indispensable. No solo se requiere la conformidad de los documentos, sino también el control de las obras en el terreno, para averiguar que los diseños previstos están bien realizados. El desarrollo tendrá que ser transparente. El papel de los expertos consistirá también en la traducción de los documentos técnicos en informes que sean de forma clara y comprensible para todos.

Instancias del gobierno y de la región necesitarán elaborar una planificación del desarrollo de la minería con asociaciones y expertos, tomando en cuenta la suma de los impactos de los proyectos potenciales y considerando otras actividades como la ganadería y la agricultura.

### 5.3.3 Planificación técnica y del territorio

Siguen algunas proposiciones de criterios y recomendaciones de futuras medidas y/o acciones que se extiendan algunas, incluso más allá de las concesiones mineras.

Las recomendaciones anteriores se referían a buenas prácticas que deban ser implementadas por las empresas mineras. Las decisiones tomadas y el contenido detallado de los estudios hidrológicos deben indicarse claramente en el documento clave que es el Estudio de Impacto Ambiental. Sin embargo, un proyecto minero es parte de una estrategia y gestión de la tierra definida por las autoridades nacionales y regionales. Esto podría involucrar lo siguiente:

A corto plazo:

- **1) Desarrollo de una evaluación ambiental estratégica regional.** Estudio de valoración regional sobre implicaciones y oportunidades para la región y el sector. Es un instrumento que permite el desarrollo de políticas públicas y que definiría con mayor precisión los ámbitos de información de base requeridos.
- **2) Desarrollo de una red de monitoreo ambiental a la escala del territorio** (no solo de las concesiones mineras o de sus cuencas). Se trata de establecer/fortalecer estaciones fijas para la medición de caudales y realizar pozos de control para el seguimiento de las aguas subterráneas. La red de

monitoreo ambiental debe ser divisada en red de observación de la cantidad y de la calidad de las aguas superficiales y subterráneas.

- **3) Desarrollo de un estudio de ordenación minero-ambiental.** Estudio que **analizando la información de base** considere las diversas variables -del medio físico, potencial geológico minero del territorio y un análisis de la actividad minera y sus implicaciones-, determine una zonificación territorial con criterios de exclusión y condicionantes para los proyectos.

A medio plazo

- **Desarrollo de una base de información del territorio. -Partiendo de las necesidades identificadas en la evaluación estratégica-** Establecimiento de una red de datos sobre las particularidades del territorio de montaña, que incluya medidas de la red de monitoreo de las aguas superficiales y subterráneas en el territorio, el inventario exhaustivo de las fuentes y de los pozos y una base documental completa que permite planes de gestión de agua<sup>15</sup>.
- **Actuaciones de reforma y ajuste de cuerpos legislativos y normativos.-** Desarrollar marcos jurídicos conforme los requerimientos.
- **Desarrollo de un programa de control ambiental y seguimiento de pasivos mineros.-** Enfocado a un estricto control de los proyectos mineros –incluyendo pequeña minería- que además considere estrategias para la recuperación de zonas afectas por pasivos ambientales y establezca criterios de monitoreo y seguimiento.
- **Desarrollo de un plan de inversiones en investigación y desarrollo minero.-** Que fomente investigación geológica y de yacimientos, modelos de explotación, tecnologías de aprovechamiento, Mejores Técnicas Disponibles – MTD-, Best Available Techniques reference documents BREF´s-, gestión y valoración de residuos, manejo de pasivos mineros, transformación de materias primas, eficiencia y rentabilidad del sector – sistemas integrales de gestión empresarial, responsabilidad social corporativa, Análisis Ciclo de Vida – ACV-, entre otros-.
- **Desarrollo de “Know how”,** fomentando investigación en todos los campos: geológica y de yacimientos, modelos de explotación, tecnologías, manejo social, etc.

---

<sup>15</sup>En Francia, BRGM desarrolló el banco de datos sobre el sub-suelo, que contiene los pozos >10m en el territorio francés (<http://infoterre.brgm.fr>); el banco de datos sobre los acuíferos (<http://www.sandre.eaufrance.fr/atlascatalogue/>), y en cada región de Francia, un sitio internet donde se puede conseguir datos sobre las aguas subterráneas (por ejemplo <http://sigesaqi.brgm.fr/>): base documental (tesis, informes etc); material para escuelas y estudiantes, consultación de datos tal como niveles de agua en la red de monitoreo, mapas, profundidad del agua subterránea en cualquier punto, etc. . También desarrollo una base de datos de la calidad química del agua en el territorio francés donde se puede consultar las análisis de los pozos de agua potable (<http://www.adeseaufrance.fr>).



## 6 Conclusión general

Actividades extractivas mineras metálicas en Ecuador existen desde siglos pero a escala de minería artesanal. La explotación por empresas multinacionales de mayor tamaño y métodos modernos es un eje de producción nuevo para todos –gobierno, compañías y población. La minería industrial es una actividad que por los precedentes negativos -impactos sociales y ambientales fundamentalmente- ocasionados en varios países, mantiene cierta resistencia social para su avance en el país.

Estos precedentes y la particularidad de sus intervenciones – actuaciones en subsuelo, drenajes ácidos, uso de compuestos químicos peligrosos, generación de relaves entre otras- obligan a establecer desde el inicio una muy rigurosa secuencia de actuaciones, que debe partir de un profundo conocimiento de las implicaciones sobre el territorio y que además debería también iniciar considerando los errores y experiencias de gobiernos y localidades alrededor del mundo, para que en conocimiento de realidades objetivas, se puedan establecer estrategias acertadas de intervención en los diversos ámbitos.

El desarrollar un conocimiento de las implicaciones sobre el territorio involucra disponer de información detallada del subsuelo, del ecosistema del páramo y sus interdependencias con los núcleos de población que reside en las zonas medias y bajas, así como de un análisis de los riesgos naturales y riesgos de la actividad contrastado con las prioridades sociales y ambientales de la región/país.

Este informe, resultado de una primera misión de evaluación establece las primeras conclusiones y recomendaciones en torno al conocimiento hidrogeológico y ambiental de las dos zonas donde el desarrollo minero se encuentra más avanzado. Examina los principales estudios y propone un programa de actuaciones con estudios que deben realizarse tanto en las cuencas afectadas como a escala cantonal o nacional.

Se debe aclarar cual parte de las actuaciones corresponden a decisiones que deben ser impulsadas por el gobierno central, conforme lo establece la Constitución por ser parte de un sector estratégico, y cual otra parte tendrá que ser realizada por estructuras locales. Parece evidente que ninguna de las propuestas se hará eficientemente sin un diálogo entre el gobierno central y la municipalidad de forma tal que permita analizar propuestas conforme el ámbito de competencias establecido solventando desajustes e identificando actuaciones concurrentes.

Se necesita también el desarrollo de competencias humanas, mientras la identificación y el establecimiento de convenios con expertos, fomento de talentos humanos sobre asuntos tal como tecnologías y técnicas extractivas, subsuelo, aguas subterráneas, establecimiento de políticas públicas, gestión social, planeamiento estratégico, etc. Tales acuerdos podrían implementarse mediante, por ejemplo la creación de proyectos de investigación académica en colaboración con Francia, así como talleres de formación financiados por organismos multilaterales como el Banco Mundial.

Finalmente, no se debe olvidar el papel que tiene la población, que deberá estar correctamente informada. Las decisiones tendrán que dejar un espacio de involucramiento de la población, partiendo de una representatividad adecuada con selección de núcleos centrales tal como universidades, cámaras de producción, asociaciones profesionales y demás.

## ANNEXOS

## Anexo 1

### LA EMPRESA



<b>Razón social:</b>	Bureau de Recherches Géologiques et Minières <b>BRGM</b>
<b>Estatuto jurídico:</b> comercial	EPIC: Establecimiento Público de carácter industrial y comercial
<b>Fecha de fundación:</b>	1959, decreto n° 59-1205 del 23 de octubre de 1959, modificado por n° 66-849 del 14 de noviembre de 1966, n° 77-976 del 22 de agosto de 1977, n° 84-450 del 14 de junio 1984, n° 98-561 del 1 de julio de 1998, 99-47 del 22 de enero de 1999 y n° 2004-991 del 22 de septiembre de 2004 y n° 2006-402 del 4 de abril de 2006 y n° 2009-1317 del 27 de octubre de 2009.
<b>Capital social:</b>	Sin objeto
<b>Presidente:</b>	Jean-François ROCCHI
<b>Director General Delegado:</b>	François DESMARCQ
<b>Sede social:</b>	Tour Mirabeau 39-43 Quai André Citroën 75739 PARIS Cedex 15 -FRANCE
<b>Teléfono:</b>	(33) 1 40 58 89 00
<b>Fax:</b>	(33) 1 40 58 89 33
<b>Sitio Web:</b>	<a href="http://www.brgm.fr">www.brgm.fr</a>
<b>Centro científico y técnico y servicios centrales:</b>	3 Avenue Claude Guillemin BP 36009 45060 Orléans Cedex 2 - FRANCE
<b>Teléfono:</b>	(33) 2 38 64 34 34
<b>Fax:</b>	(33) 2 38 64 35 18
<b>Otros establecimientos:</b> metropolitanas,	implantación en las 22 regiones administrativas metropolitanas, 4 en los DOM (Departamentos franceses de ultramar) y 1 antena en los TOM (Territorios franceses de ultramar)
<b>NIF:</b>	58205614900419 <b>RM:</b> 58 B 5614 Paris
<b>Código APE/NAF:</b>	8301/742Z
<b>Banco:</b>	SOCIETE GENERALE 14 avenue des Droits de l'Homme - 45000 Orléans código banco 3003 – código taquilla 01540, cuenta n° 002 00 27 669 Certificado de Identificación
<b>Bancaria 86</b>	
<b>Seguro:</b>	AXA CORPORATE SOLUTION N. 150 155 182 20 7 rue Jules Lefebvre 75426 Paris Cedex 9
<b>Plantilla:</b>	1008 personas

## Reparto del volumen de negocios

	2009	2010	2011
	(Millones de €)		
<b>7 Actividad total</b>	140.72	137.5	134.71
<i>Actividad de servicio</i>	28.35	14.71	12.17
<i>Investigación Científica</i>	44.40	45.78	45.33
<i>Apoyo a las políticas públicas</i>	44.34	48.84	50.80
<i>Antiguas minas</i>	23.43	27.45	25.06
<i>(ENAG) Escuela Nacional de aplicaciones geociencias</i>	0.20	0.72	1.35

## Reparto de la actividad 2009 por campo (en M€)

	M€	%
<b>Geología</b>	11.88	9
Recursos minerales	9.07	7
Geothermia	7.42	5
Almacenamiento de CO <sub>2</sub>	5.48	4
Agua	23.35	17
Post-minería :	25.06	19
Riesgos naturales	17.16	13
Sitios y suelos contaminados, gestión de los residuos	17.36	13
Metrología	2.89	2
Sistemas de información	7.58	6
Otras actividades	1.37	1

## SUS OBJETIVOS

---

El BRGM tiene dos objetivos relevantes:

8  **Entender** los fenómenos geológicos, desarrollar metodologías y nuevas técnicas, producir y difundir datos pertinentes y de calidad.

9  **Poner a disposición** las herramientas necesarias para la gestión del suelo, del subsuelo y de los recursos, para la prevención de los riesgos naturales y de las contaminaciones, para las políticas públicas de ordenación territorial.

10 Primera especialista francesa del suelo y del subsuelo, el BRGM pone al servicio de sus clientes y colaboradores, Estados, comunidades territoriales o locales, organismos públicos, empresas, una competencia pluridisciplinar en los siguientes campos:

- el conocimiento geológico de los territorios,
- la exploración de los recursos minerales,
- el descubrimiento y la gestión de las aguas subterráneas,
- la protección del medio ambiente y la lucha contra la contaminación,
- la ordenación territorial y los riesgos naturales
- el estudio del subsuelo necesario para el éxito de los proyectos de ingeniería civil.

## LAS CUATRO MISIONES DEL BRGM

---

### La investigación científica

La investigación del BRGM se desarrolla en tres campos: el conocimiento geológico y la comprensión mediante la observación y la modelización de los procesos vinculados al suelo y al subsuelo, los desarrollos al servicio de las políticas públicas, las transferencias de tecnologías y de innovaciones hacia la industria.

Esta actividad se realiza a través de los proyectos con co financiaciones múltiples (regionales, Europa), de las cooperaciones con agencias de objetivos (ANDRA, Agencia francesa para la Gestión de los Desechos Radioactivos, y ADEME, Agencia para la Gestión de Energía y

Ambiente), de la implicación en el funcionamiento de las redes tecnológicas (Ministerio francés de Investigación), de un desarrollo sensible de las investigaciones bajo contrato industrial. En total, el BRGM está implicada en unos sesenta proyectos de investigación.

## Apoyo a las políticas públicas

La actividad de Servicio público agrupa el conjunto de las acciones de peritaje, de vigilancia y de estudios realizados para apoyar a las políticas públicas. Estas actividades están financiadas sea por una dotación presupuestaria sea por contratos con servicios del Estado, de las colectividades, de los establecimientos públicos o de las empresas y actores del mundo económico.

Cuatro tipos de acciones :

- Observación del suelo y del subsuelo: capitalización y difusión del conocimiento (bases de datos consultables en Internet).
- Realización de estudios metodológicos y de síntesis.
- Suministro de un peritaje público independiente.
- Formación y transferencia de saber.

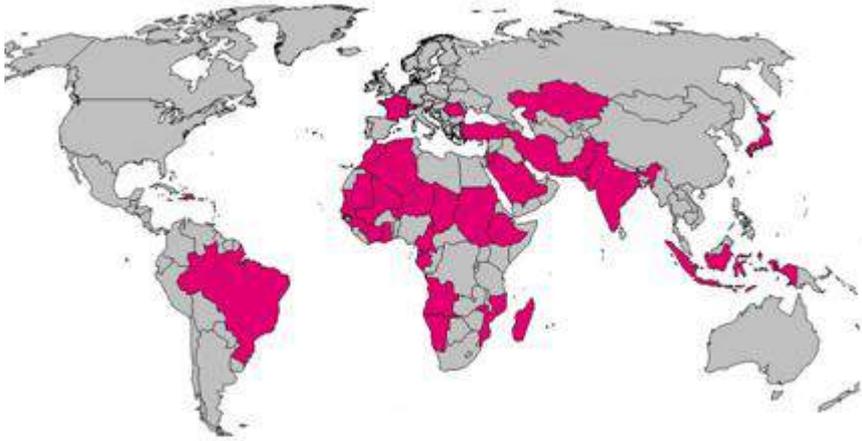
## Cooperación internacional y ayuda al desarrollo

Al extranjero como en Francia, el BRGM aporta su conocimiento y su pericia principalmente en los campos de infraestructura y de cartografía geológicas, de los riesgos naturales, de los recursos minerales y de las aguas subterráneas. Varios ejes de intervención :

contribución a la política de cooperación francesa;

- apoyo a las políticas públicas de los Estados;
- intensificación de las cooperaciones regionales;
- prestaciones para las empresas en los campos del medio ambiente, de las minas y de la energía; participación a los trabajos de instancias geológicas internacionales, apoyo a las políticas de la Unión Europea.

### **Actividad internacional por país**



### Seguridad de las antiguas implantaciones mineras

La misión del BRGM es administrar, reparar y vigilar las instalaciones sometidas al código del medio ambiente que se encuentran en centros mineros sea explotados o que lo hayan sido, sea que figuran en la lista establecida por los ministros encargados de las minas, del medio ambiente y del presupuesto.

También se encarga de administrar y mantener las instalaciones hidráulicas de seguridad y los equipos de prevención y de vigilancia de los riesgos mineros que pertenecen al Estado o que le fueron transferidos.

## ORGANIZACIÓN DE LA PRODUCCIÓN

Las prestaciones del BRGM abarcan el conjunto de las ciencias de la tierra. Los principales servicios prestados son los **estudios**, los **peritajes**, la **elaboración de programas** y la **puesta a disposición de personal especializado**. A petición del comitente, el BRGM puede asegurar la dirección de obra de todo o parte de las obras que se le confían.

### Los medios humanos

El BRGM dispone de una plantilla de 1008 agentes entre los que más de la mitad son ingenieros, geólogos y ejecutivos que se desarrollan prácticamente en todos los campos de las ciencias de la Tierra y que numerosas organizaciones internacionales solicitan a diario como peritos :

- geólogos y geólogos mineros, hidrogeólogos, geotécnicos, geofísicos,
- químicos, geoquímicos, mineralurgistas,
- informáticos científicos,
- economistas...

## Los principales medios materiales

Los principales medios materiales de producción son equipos de laboratorio y de terreno y material informático:

- equipos de análisis cualitativo y cuantitativo de rocas, minerales, suelos, aguas y gases: difractómetro X, microsondas y microscopios electrónicos, espectrómetros de absorción, de emisión por plasma y de fluorescencia X, espectrómetros de masa (en particular ICP-MS), cromatógrafos, etc.;
- equipos de laboratorio de petrografía y bioestratigrafía;
- medios de pruebas geotécnicas en laboratorio: mecánica de las rocas y de los suelos,
- cadena de tratamiento y de restitución de imágenes por satélite (I<sub>2</sub>S);
- medios de pruebas geotécnicas in situ, en particular: material para la medida de las limitaciones naturales por estimulación hidráulica de fisuras en perforación (hasta 1 000 m de profundidad), equipos para la medida de pequeñas permeabilidades (hasta  $K = 10^{-13}$  m/s) en perforación profunda, unidad móvil para la radiografía de los testigos de sondeo, digitalización y tratamiento de las imágenes;
- equipos para la investigación y la prospección geofísica de suelo, no siendo sísmica pesada: métodos gravimétrico, magnético, eléctrico, electromagnético, sísmico;
- equipo de sísmica de reflexión de alta resolución off-shore;
- equipo vibrocore off-shore;
- laboratorio y fabrica piloto de tratamiento de minerales;
- materiales de producción (Dibujo y Cartografía Asistida por Ordenador) y de impresión de mapas geológicos;
- programas de modelización, de procesamiento y de interpretación de datos;
- red de computo y de informática científica (30 millones de instrucciones por segundo) completada con 80 ordenadores - estaciones de trabajo y 1 100 microordenadores entre los que 650 están conectados a la red teleinformática;

## CALIFICACIONES Y CERTIFICACIONES

---

Con la constante preocupación de adaptarse a las exigencias de sus interlocutores y clientes, Poderes públicos y sociedad civil y de satisfacerlos con productos conformes a sus expectativas, el BRGM se comprometió, en el 2002, en un proceso de certificación, que se inscribe en el marco de la norma internacional ISO 9001:V2000. La puesta por obra de un sistema de gestión de la calidad se acabó a finales de 2004 y el BRGM obtuvo la certificación

Impactos ambientales de la posible actividad minera en el canton de Cuenca (Ecuador).

ISO 9001. La totalidad de las actividades e implantaciones de la BRGM estaba concernida por este proyecto.

Hoy día, la actividad de elaboración y de producción de mapas geológicos, que ya era titular de la certificación ISO 9002 desde 1999, ha sido certificada conforme a la nueva norma ISO 9001:2000 y una parte de los laboratorios de análisis tiene la acreditación COFRAC.

### **Certificación de Calidad**

El BRGM ha obtenido la calificación ISO 9001 versión 2000 el 22 de diciembre de 2004 y la Documentación del Sistema de Gestión de la Calidad (SGC) se puede consultar ante la Delegación de Calidad del BRGM.



# Certificat

Certificate

N° 2004/23739d

AFNOR Certification certifie que le système de management mis en place par :  
AFNOR Certification certifies that the management system implemented by:

## BRGM

pour les activités suivantes :  
for the following activities:

**RECHERCHE, CONSEIL, EXPERTISE ET MAITRISE D'OUVRAGE  
DANS LES DOMAINES DE LA GEOLOGIE, DE L'EAU, DE LA GEOTHERMIE,  
DE LA METROLOGIE, DES RISQUES NATURELS, DES RESSOURCES MINERALES,  
DE L'APRES-MINE, DES DECHETS ET SOLS POLLUES,  
DES SYSTEMES D'INFORMATION NUMERIQUE, DU STOCKAGE DU CO2.**

**RESEARCH, CONSULTING, EXPERT APPRAISAL AND PROJECT OWNERSHIP  
RELATING TO GEOLOGY, WATER, GEOTHERMICS, METROLOGY,  
NATURAL HAZARDS, MINERAL RESOURCES, POST MINING, WASTE  
AND CONTAMINATED SOILS, DIGITAL INFORMATION SYSTEMS AND CO2 STORAGE.**

a été évalué et jugé conforme aux exigences requises par :  
has been assessed and found to meet the requirements of:

## ISO 9001 : 2008

et est déployé sur les sites suivants :  
and is developed on the following locations:

**Siège social : Tour Mirabeau 38/43, quai André Citroën FR-75739 PARIS CEDEX 15**

**Centre scientifique et technique et services centraux :  
3, avenue Claude Guillemin BP 36009 FR-45060 ORLEANS CEDEX 2**

**(Liste des sites certifiés en annexes n°1 à 4 / List of certified locations on appendices n°1 to 4)**

Ce certificat est valable à compter du (année/mois/jour)  
This certificate is valid from (year/month/day)

**2010-12-07**

Jusqu'à  
Until

**2013-12-06**

Directrice Générale d'AFNOR Certification

Managing Director of AFNOR Certification

F. MÉAUX

AFNOR Certification est accréditée par le Comité Français d'Accréditation (Cofrac) pour les activités de certification de systèmes de management de la norme ISO 9001:2008. AFNOR Certification est accréditée par le Comité Français d'Accréditation (Cofrac) pour les activités de certification de systèmes de management de la norme ISO 9001:2008.

AFNOR Certification est accréditée par le Comité Français d'Accréditation (Cofrac) pour les activités de certification de systèmes de management de la norme ISO 9001:2008. AFNOR Certification est accréditée par le Comité Français d'Accréditation (Cofrac) pour les activités de certification de systèmes de management de la norme ISO 9001:2008.



# Certificat

Certificate

N° 2004/23739d

AFNOR Certification certifie que le système de management mis en place par :  
AFNOR Certification certifies that the management system implemented by:

## BRGM

pour les activités suivantes :  
for the following activities:

**RECHERCHE, CONSEIL, EXPERTISE ET MAITRISE D'OUVRAGE  
DANS LES DOMAINES DE LA GEOLOGIE, DE L'EAU, DE LA GEOTHERMIE,  
DE LA METROLOGIE, DES RISQUES NATURELS, DES RESSOURCES MINERALES,  
DE L'APRES-MINE, DES DECHETS ET SOLS POLLUES,  
DES SYSTEMES D'INFORMATION NUMERIQUE, DU STOCKAGE DU CO2.**

**RESEARCH, CONSULTING, EXPERT APPRAISAL AND PROJECT OWNERSHIP  
RELATING TO GEOLOGY, WATER, GEOTHERMICS, METROLOGY,  
NATURAL HAZARDS, MINERAL RESOURCES, POST MINING, WASTE  
AND CONTAMINATED SOILS, DIGITAL INFORMATION SYSTEMS AND CO2 STORAGE.**

a été évalué et jugé conforme aux exigences requises par :  
has been assessed and found to meet the requirements of:

## ISO 9001 : 2008

et est déployé sur les sites suivants :  
and is developed on the following locations:

**Siège social : Tour Mirabeau 38/43, quai André Citroën FR-75739 PARIS CEDEX 15**

**Centre scientifique et technique et services centraux :  
3, avenue Claude Guillemin BP 36009 FR-45060 ORLEANS CEDEX 2**

**(Liste des sites certifiés en annexes n°1 à 4 / List of certified locations on appendices n°1 to 4)**

Ce certificat est valable à compter du (année/mois/jour)  
This certificate is valid from (year/month/day)

**2010-12-07**

Jusqu'à  
Until

**2013-12-06**

Directrice Générale d'AFNOR Certification

Managing Director of AFNOR Certification

F. MÉAUX

AFNOR Certification est une marque déposée de AFNOR Certification. Toute réimpression ou utilisation non autorisée sans la permission écrite de AFNOR Certification est formellement interdite. Toute réimpression ou utilisation non autorisée sans la permission écrite de AFNOR Certification est formellement interdite.

AFNOR Certification est une marque déposée de AFNOR Certification. Toute réimpression ou utilisation non autorisée sans la permission écrite de AFNOR Certification est formellement interdite. Toute réimpression ou utilisation non autorisée sans la permission écrite de AFNOR Certification est formellement interdite.

## **Anexo 2**

# **CONSTRUCCION Y DISEÑO DE POZOS DE CONTROL**

El presente documento se ha tomado de la "Guía Metodológica para la toma de muestras" elaborada por IHOBE, S.A. en el marco de la Política para la Protección del Suelo de la Comunidad Autónoma del País Vasco.

Impactos ambientales de la posible actividad minera en el canton de Cuenca (Ecuador).

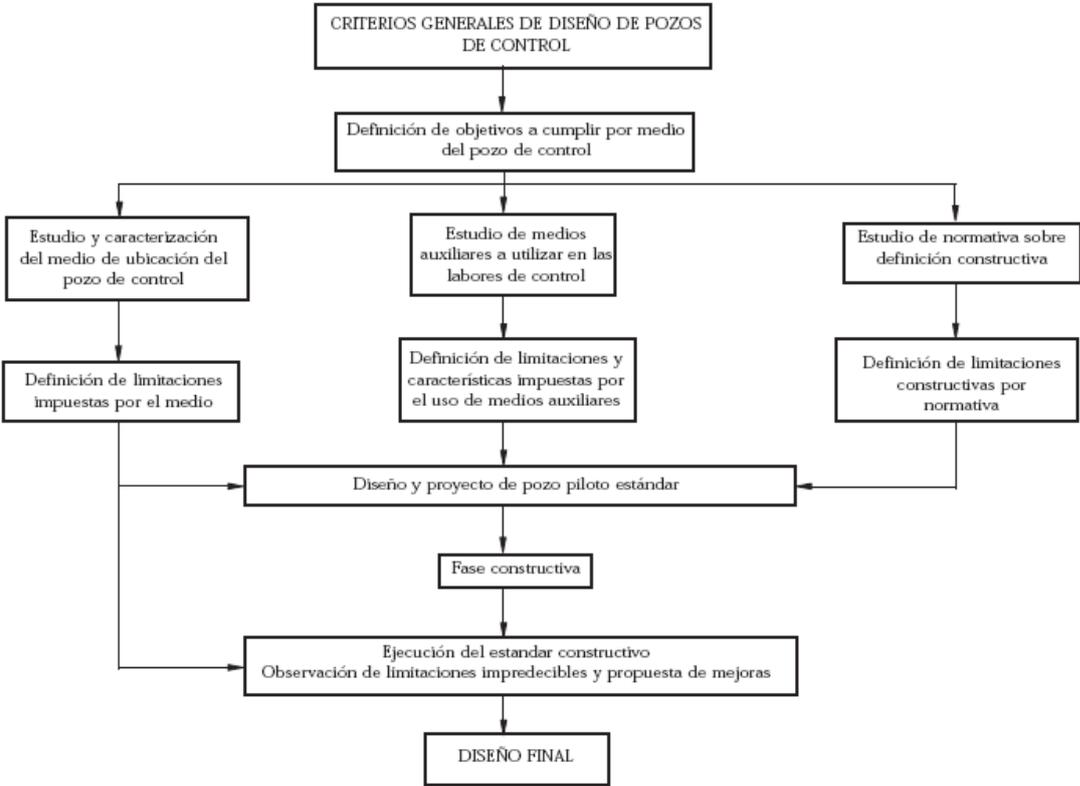
# POZOS DE CONTROL

## 1. INTRODUCCIÓN

A menudo, dentro de los objetivos principales de los proyectos de investigación de suelos contaminados se incluyen el conocimiento y la situación de los fluidos presentes en los mismos. La perforación de un sondeo no suministra suficiente información acerca de estos objetivos, ya que tras su ejecución, las condiciones estructurales y físicas del suelo habrán sido alteradas, y por tanto el medio acuoso que pueda estar en contacto con él puede encontrarse en diferentes condiciones que las originales. Es por ello necesario llevar a cabo una serie de operaciones tras la ejecución de un pozo que permitan posteriormente extraer muestras representativas. Los pozos de control permiten obtener una serie de registros puntuales y/o continuos de los parámetros hidráulicos o de calidad físico/química o el muestreo de los fluidos, en cuyo caso funcionan simplemente como un pozo de captación. También es posible enfocar su uso hacia la creación de barreras hidráulicas de contención o hacia la recuperación de espacios contaminados.

En definitiva, los pozos de control son construcciones que pueden llevarse a cabo a partir de una perforación ya realizada o diseñarse especialmente, y que requieren de una serie de operaciones complejas de acondicionamiento del pozo para que el control y el muestreo de los fluidos presentes en el suelo se pueda considerar representativo.

En el Cuadro N° 1 se presentan los criterios generales de diseño de los pozos de control, marcando los estudios y limitaciones que han de tenerse en cuenta para el proyecto del pozo piloto.



Cuadro N° 1. Criterios generales de diseño de los pozos de control

## 2. CONSTRUCCIÓN DE POZOS DE CONTROL

### 2.1. PROCEDIMIENTOS GENERALES

Antes de llevar a cabo la construcción de un pozo de control se deben seguir una serie de pautas o procedimientos que permitan alcanzar los objetivos previstos, lo cual exige una preparación y una planificación previa al comienzo de los trabajos.

Los programas de muestreo que incluyan la ejecución e instalación de pozos de control deben ser supervisados y planificados por profesionales experimentados, en función de los múltiples factores que pueden encontrarse relacionados con las actividades que conlleva una investigación de estas características.

En cualquier caso, la planificación, selección y ejecución de un pozo de control debe incluir los siguientes puntos:

- Revisión histórica de toda aquella información geológica, hidrogeológica del emplazamiento o lugar donde se prevea ejecutar el pozo de control. Esta revisión incluirá todo tipo de publicaciones, fotos aéreas, datos de calidad de las aguas, inventario de puntos de aguas en las cercanías, mapas, etc. Las fuentes de información serán diversas: organismos regionales y locales, inventarios o registros de confederaciones hidrográficas, bases de datos de organismos diversos, etc.
- Evaluación e identificación de los problemas de accesibilidad de los equipos de sondeo, ubicación previa de los puntos de sondeo, localización de las fuentes de abastecimiento de aguas o de energía cercanas, preparación de una zona de almacenamiento de equipos.
- Preparación y solicitud de permisos para realizar la investigación.
- Localización de posibles redes de distribución de aguas, electricidad, gas, etc. en el área de perforación, tanto de tipo subterráneo como aéreas, y anotación en mapas de la zona. Este hecho debe ser posteriormente consultado y corroborado sobre el terreno por personal perteneciente al emplazamiento o mediante adquisición de información local.
- Preparación de un Plan de Seguridad específico para el emplazamiento (*Ver Guía Técnica de Seguridad para la Investigación y Recuperación de Suelos Contaminados*).
- Selección del método a emplear de perforación, desarrollo y muestreo que va a ser empleado.
- Determinación de las especificaciones de diseño del pozo/s de control (ej. tipo de revestimiento, tipo de tubos piezométricos, diámetro de entubado y abertura del filtro, longitud e intervalo previsto de filtro, tipo de filtro anular, etc.).
- Preparación y ubicación de zonas de depósito y almacenamiento de los materiales extraídos de los sondeos, tanto sólidos, como líquidos.
- Preparación de un plan de trabajo durante la ejecución de los sondeos, incluyendo una estimación del tiempo necesario para llevar a cabo todas las actividades relacionadas con éste. Información a los diferentes equipos de trabajo de los cronogramas de actuación previstos.
- Movilización de todas las partes, equipos, y personal implicado en la ejecución del pozo de control para el comienzo de los trabajos.

Tras realizarse las actividades anteriormente descritas, el equipo de sondeos y todo aquel equipamiento accesorio debe ser descontaminado por medio de agua caliente a presión, para extraer cualquier tipo de restos que pudieran encontrarse de anteriores investigaciones. Esta operación deberá ser seguida igualmente entre cada uno de los puntos de perforación que se lleven a cabo, así como tras la finalización de los trabajos.

## **2.2. CONSTRUCCIÓN DEL POZO DE CONTROL**

La construcción del pozo de control se llevará a cabo a través de diferentes fases, siendo todas importantes para la consecución de los objetivos. Estas fases deberán seguirse con rigurosidad, aunque las características de los diferentes emplazamientos impidan la estandarización del diseño y construcción de un pozo de control. En cualquier caso, se describirán estas fases en base a aquellos factores y condicionantes más característicos.

Las fases constructivas de un pozo de control son las siguientes:

- Perforación del pozo. Esta fase ya ha sido descrita en el capítulo 3, donde aparecen reflejados aquellos equipos y métodos más utilizados para esta actividad.
- Limpieza de la perforación tras su ejecución, aunque en ocasiones se realiza simultáneamente a las labores de perforación.
- Entubado, equipamiento (diseño e instalación del filtro de grava, colocación de elementos accesorios) y acabado (cementación, sellado y acabado final) del pozo de control. La entubación es diferente a la realizada durante las labores de perforación para impedir colapsos de las paredes, contaminación cruzada, etc.

### **2.2.1. Limpieza del pozo de control**

Las operaciones propias de la perforación del pozo habrán producido cambios de tipo estructural en los suelos inmediatamente adyacentes a la perforación (erosión, compactación), además de que los detritus producto de la perforación se acumularán en el fondo del pozo. Esto hace necesaria la limpieza del pozo antes de proceder a la instalación o entubado y el resto de fases constitutivas del proceso de construcción. Estas labores de limpieza producirán agitación en el entorno del pozo, por lo que deberá ser evitada la movilización de contaminantes debido a esta actividad, en aquellos casos en que exista esta posibilidad.

A continuación se citan el ámbito de aplicación y la metodología de trabajo de las técnicas mecánicas de limpieza de mayor utilización, obviándose las de tipo químico por los efectos medioambientales negativos que producen en el entorno del pozo.

#### ***Limpieza durante la perforación mediante la batería de perforación***

Realmente no es considerada una técnica de limpieza, pero debe ser incluida, ya que corresponde con la propia limpieza que realiza la batería de perforación (ej. en perforación mediante coronas y tomamuestras Shelby) en el fondo del sondeo entre cada maniobra ejecutada. De este modo, los detritus van quedando en la parte del tubo tomamuestras más alta, de donde no se escoge muestra. Igualmente, se aconseja por ello el desecho de las partes de terreno en contacto con el muestreador. Esta limpieza es también importante en los casos de aumento del diámetro de perforación por encamisado del sondeo, que genera detritus al introducir el revestimiento, los cuales deben ser posteriormente extraídos tras la bajada

de éste, mediante una o más maniobras, hasta que el sondeo alcance de nuevo la profundidad original de perforación.

### ***Limpieza con válvulas o cucharas***

Esta técnica permite la eliminación de detritus de perforación en el transcurso de ésta y tras su finalización. Es utilizado con sondas de perforación a percusión y tiene una baja incidencia en el entorno del pozo.

La metodología consiste en la introducción en el pozo de una cuchara provista de una válvula en su extremo inferior, que recoge el detritus y lo retira fuera del pozo.

El principal inconveniente radica en que no limpia las paredes del sondeo, que pueden estar parcialmente cegadas por la acción compactadora del trépano.

### ***Limpieza mecánica con agua o lodo***

Se aplica a perforaciones realizadas con equipos de rotación. Para su ejecución se necesita llenar el pozo de agua o lodo una vez finalizada la perforación. A continuación se lleva a cabo la limpieza del pozo mediante circulación del fluido, para lo cual se bombea fluido limpio al interior del pozo, lo que origina el desplazamiento del que se encuentra cargado de detritus. Este se recoge posteriormente en una balsa de decantación y se reintroduce una vez limpio.

Debe tenerse en cuenta que este método de limpieza no es recomendable en zonas fracturadas o de extrema permeabilidad, en las que se producen pérdidas totales de circulación.

### ***Limpieza con aire a alta presión***

Se aplica cuando la perforación se ha llevado a cabo por métodos de rotación. La limpieza del pozo se lleva a cabo mediante la circulación de aire a presión lo que provoca una importante movilización en el entorno del pozo, motivo por el que su uso está restringido a determinados casos como por ejemplo en zonas de pérdidas totales de circulación.

## **2.2.2. Entubado, equipamiento y acabado del pozo de control**

### ***Colocación y características del entubado***

Una vez finalizada la limpieza del sondeo debe colocarse la tubería de revestimiento del pozo para mantener la estabilidad permanente de las paredes del mismo, además de constituirse en el posterior vehículo de observación y toma de muestras.

Aunque las técnicas de entubación tienen algunas diferencias en función de cual haya sido el método de perforación del pozo, en general los procesos a seguir son similares.

En ocasiones durante la ejecución de la perforación en seco se ha ido colocando una entubación temporal, para impedir el derrumbe de las paredes del pozo debido a la falta de cohesión de las formaciones atravesadas, o para prevenir posible contaminación de capas adyacentes. Cuando a continuación se va a realizar una entubación permanente se debe proceder a la retracción o retirada de la entubación temporal. El proceso de retracción se llevará a cabo de la siguiente manera:

- Si el pozo se va a equipar con macizo o filtro de grava, la retracción de la camisa (o entubación simultánea) no comenzará hasta que se inicie la fase de engravillado. Tras el engravillado de la zona más profunda del sondeo, se irá extrayendo el revestimiento o camisa lentamente para no producir la subida simultánea de la tubería piezométrica. La extracción de cada tramo de camisa producirá un asentamiento de la grava en el fondo, por lo que esta operación de engravillado se deberá realizar simultáneamente a la retracción de la camisa hasta que el macizo de grava suba hasta la profundidad requerida.
- Si no se va a equipar un macizo de grava en el anular del pozo, la retracción de la camisa comenzará tan pronto como la columna de perforación llegue al fondo del sondeo.

El proceso del entubado se resume generalmente en los siguientes pasos característicos:

- Elección de los tramos de tubería filtro o ciega y diseño de la columna del entubado acorde con las características del medio y los objetivos posteriores del pozo de control.
- Limpieza de los segmentos de tubería filtro y ciega con agua libre de contaminación.
- Acople de las herramientas del segmento de fondo de la entubación o zapata de la misma e introducción en el pozo sujetando su extremo superior con una mordaza.
- Colocación del tubo en posición vertical para el enganche o enrosque del siguiente segmento. Las roscas no deben ser forzadas en ningún momento.
- Enganche con el extremo inferior de la siguiente sarta de tubos y así sucesivamente hasta completar toda la columna en el interior del pozo.

Fuera de esta descripción general quedan los métodos especiales de entubación como la entubación de los pozos de hinca. En este método de perforación, la propia entubación definitiva va penetrando en el terreno según avanza el proceso de perforación.

Las características del entubado también constituirán uno de los factores a tener en cuenta, debiendo elegirse aquel más apropiado para los objetivos y condicionantes de la investigación. Entre las principales características se encuentran las siguientes:

- **Material constituyente**

Los tubos de los pozos de control han sido tradicionalmente de tipo metálico, aunque progresivamente se ha ido abandonando el uso de este material debido a que con el paso del tiempo las condiciones del medio pueden provocar su corrosión y deterioro. Actualmente, los materiales más utilizados para los tubos de pozos de control se han dirigido hacia el acero inoxidable, PVC, U-PVC y PEAD (polietileno), e incluso se han desarrollado en Teflón y fibra de vidrio. La elección del material constitutivo del entubado ha de realizarse en base a varios factores como coste económico, idoneidad de los materiales según las características del medio de instalación, normas de fabricación, método de instalación, diámetro del pozo, uso futuro, tipo de contaminación presente, etc. En el Cuadro N° 2 adjunto se describen las características comparativas de diferentes materiales que componen los tubos piezométricos.

Impactos ambientales de la posible actividad minera en el canton de Cuenca (Ecuador).

T ipo	V entajas	Desventajas
<b>PVC</b> (Clorur o de polivinilo)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ligero</li> <li>- Excelente resistencia química frente álcalis débiles, alcoholes, hidrocarburos alifáticos y aceites</li> <li>- Buena resistencia química frente ácidos minerales fuertes, ácidos oxidantes concentrados y álcalis fuertes</li> <li>- Fácil de obtener</li> <li>- Bajo precio en comparación con el acero inoxidable y el teflón</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Más débil, menos rígido y más sensible a cambios de temperatura que los materiales metálicos.</li> <li>- Puede absorber alguno de los constituyentes del agua subterránea</li> <li>- Puede reaccionar con el agua subterránea y liberar algunos constituyentes</li> <li>- Pobre resistencia química a ketones, esterés e hidrocarburos aromáticos</li> </ul>
<b>Polipr opileno</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ligero</li> <li>- Excelente resistencia química a ácidos minerales</li> <li>- De buena a excelente resistencia química frente a álcalis, alcoholes, ketones y esterés</li> <li>- Buena resistencia química a los aceites</li> <li>- Resistencia química media a ácidos oxidantes concentrados, hidrocarburos alifáticos e hidrocarburos aromáticos</li> <li>- Bajo precio en comparación con el acero inoxidable y el teflón</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Más débil, menos rígido y más sensible a cambios de temperatura que los materiales metálicos</li> <li>- Puede reaccionar con el agua subterránea y liberar algunos constituyentes</li> <li>- Pobre manejabilidad y difícilmente ranurable</li> </ul>
<b>Teflón</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ligero</li> <li>- Muy resistente a los golpes</li> <li>- Notable resistencia a ataques químicos, insoluble en sustancias orgánicas excepto en unos pocos disolventes fluorados</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Baja resistencia a la tracción y al deterioro comparado con otros plásticos</li> <li>- Caro en relación con otros plásticos y el acero inoxidable</li> </ul>
<b>Kynar</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mayor dureza y resistencia al agua que el teflón</li> <li>- Resistencia a la mayoría de disolventes químicos</li> <li>- Más barato que el teflón</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- No es fácil de obtener</li> <li>- Pobre resistencia química a ketones y acetona</li> </ul>
<b>Acer o</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Duro y rígido. Su sensibilidad a cambios de temperatura no suele suponer un problema</li> <li>- Fácil de obtener</li> <li>- Bajo precio en relación al acero inoxi- dable y el teflón</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Más pesado que los plásticos</li> <li>- Puede reaccionar con el agua subterránea y liberar algunos constituyentes</li> <li>- No es tan resistentes químicamente como el acero inoxidable</li> </ul>
<b>Acer o inoxidable</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Muy duro en un amplio rango de temperaturas</li> <li>- Excelente resistencia a la corrosión y a la oxidación</li> <li>- Fácil de obtener</li> <li>- Precio moderado para el entubado</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Más pesado que los plásticos</li> <li>- Puede corroerse y liberar algo de cromo en aguas muy ácidas</li> <li>- Puede actuar como catalizador en algunas reacciones orgánicas</li> <li>- Las rejillas son mucho más caras que las de plástico</li> </ul>

**Cuadro N° 2. Características comparativas de diferentes materiales que componen los tubos piezométricos**

- **Ranuración del tubo-filtro**

Los filtros, cuya ranuración se elige en función del filtro de grava y granulometría del suelo, se encuentran en ranuraciones desde 0,2 a 6 mm, debiendo venir ranurados mecánicamente de fábrica. Este hecho permite conocer exactamente el área libre para cada diámetro nominal. Además, se evita el uso en obra de herramientas cortantes o punzantes para llevar a cabo las ranuraciones.

- **Diámetro Nominal**

La elección del Diámetro Nominal de instalación de tuberías y filtros ha de hacerse con arreglo a los siguientes factores:

- Diámetro de perforación.
- Tipo de operaciones a realizar en el interior del pozo de control.
- Profundidad del sondeo.

Como principio de trabajo, sólo en casos excepcionales o por modificaciones debidas a imposibilidades técnicas el diámetro de entubación se elegirá en función del diámetro de perforación. Resulta más apropiado la elección del diámetro de perforación después de definir cuales van a ser los objetivos a cubrir por el pozo de control y que características de equipamiento permitirán la obtención de dichos objetivos. Con la profundidad del sondeo aumenta además la tensión de carga de los tubos que produce la sarta del entubado. Los diámetros de los tubos piezométricos dependen de los fabricantes y marcas, aunque existen estándares de fabricación tales como DN-50, DN-80, etc. Deben consultarse estas medidas antes de la adquisición de los tubos piezométricos, ya que puede diferir el diámetro nominal de las medidas exactas de diámetro externo del tubo (OD) y de diámetro interno (ID), que será el que nos defina los equipos de muestreo o medición que después se podrán introducir en el pozo de control.

- **Tipo de conexión entre tubos**

Existen multitud de tipos de conexión entre los segmentos del entubado (abridados, abotargados, roscados, etc.), siendo los más utilizados los tubos roscados. El tipo de conexión debe proporcionar una buena impermeabilidad de la unión, una suficiente resistencia a la tracción y asegurar la verticalidad del sondeo. En cualquier caso, las uniones no deben ser soldadas o pegadas, evitándose en todo momento el uso de agentes químicos que pudieran influir en posteriores determinaciones.

Aunque la elección de las características del entubado parezca complicada, una gran parte de éstas vienen dadas conjuntamente en base a los objetivos del sondeo, y otras se encuentran ajustadas desde su fabricación a las características requeridas para un pozo de control, por lo que es importante que el entubado cumpla las normas DIN correspondientes.

A continuación se proporcionan algunas recomendaciones de cara a conseguir una estandarización de equipamientos del mayor grado posible:

- La realización de desarrollos por sobrebombeo o ensayos de bombeo requiere normalmente el uso de bombas de al menos 4", por lo que se recomienda el equipamiento de tuberías de 5", pues aunque existen actualmente bombas sumergibles de reducido diámetro, es posible que en función del caudal que sea necesario desarrollar y de la profundidad del pozo resulten finalmente insuficientes para realizar las actividades antes mencionadas.

- La introducción de tomamuestras, sondas multiparamétricas, etc., requiere un diámetro de entubación de al menos 2".
- Los diámetros mayores de tuberías proporcionan una mayor resistencia a ésta frente a la tensión de carga y a la presión lateral producida por el filtro de grava y el propio acuífero (colapsamiento), ya que aumenta el espesor del entubado, pudiendo utilizarse en sondeos de mayor profundidad.

Como recomendación general puede concluirse que un pozo de control entubado con pequeños diámetros ofrecerá siempre menores posibilidades de estudio y mayores dificultades de operación, aunque los costes asociados a la perforación y la propia entubación sean menores que con mayores diámetros.

### ***Equipamiento del pozo de control***

Tras la introducción en el hueco de la perforación del entubado, se deberá proceder al equipamiento del pozo, lo que incluirá todos aquellos elementos auxiliares al entubado que proporcionarán al pozo de control las características finales de éste, para que pueda ser posteriormente utilizado según los objetivos de la investigación. Estos elementos auxiliares son de muy diversa índole y aplicación, aunque se describirán a continuación los más comúnmente empleados en esta fase. Entre ellos se deben mencionar:

#### **• Tapones de fondo**

La función de los tapones de fondo es el cierre inferior de las columnas de entubación contribuyendo a que una vez terminado el pozo de control, todos los flujos que en él convergen sean horizontales. Asimismo, evita la entrada de finos, lodos, etc., por el fondo del pozo. Pueden ser preferentemente roscados (de PVC, Polipropileno, HDPE) o de madera no roscados. Se colocarán antes de la bajada del entubado en el tramo que se vaya a instalar en el fondo de la perforación.

#### **• Centrador es**

Los centradores confieren verticalidad y centran la columna de entubación en el interior del pozo. Su instalación facilita además las labores de cementación y engravillado. Pueden ser de PVC o acero y su colocación se recomienda cada 10 m de columna de entubación evitando fijarlos sobre tramos filtrantes. En pozos de control de poca profundidad su uso no es frecuente.

#### **• Filtro de grava**

El filtro de grava será colocado en el espacio anular entre el entubado y las paredes de perforación del pozo de control, tras su ejecución. Como precaución durante la colocación del filtro, las entubaciones existentes en las paredes del pozo han de ser retraídas simultáneamente al depósito de la grava. Del mismo modo, en pozos situados en suelos contaminados, resulta prioritario no potenciar la migración de sustancias contaminantes. Por tanto, se evitará el uso de técnicas que impliquen aplicación de flujos ya sea de lodos, agua o aire a presión elevada. Por otra parte, la segregación de la grava en caso de un vertido desde superficie por gravedad será mayor si toda la grava se vierte de una vez. Una dosificación de vertido de larga duración hace que las segregaciones sean de menor importancia.

Los filtros de grava presentan una serie de ventajas y desventajas que hay que tener en cuenta a la hora de diseñar cualquier pozo. Sin embargo, en pozos de control se recomienda su instalación de forma sistemática, usándose grava silíceo lavada y calibrada con el mayor grado de redondez posible.

Las principales ventajas que presenta la instalación de macizos de grava en pozos de control son las siguientes:

- Aumento de la permeabilidad en todo el espacio anular relleno por el macizo de grava.
- Produce un efecto de filtrado sobre los fluidos que acceden al pozo de control.
- Proporciona estabilidad a las paredes de la perforación.
  - Su instalación es además imprescindible en acuíferos no consolidados arenosos ya que si no se instalara acabaría cegando el pozo debido al acceso de arenas al interior del mismo.

Los principales inconvenientes que presenta la instalación de macizos de grava en pozos de control son las siguientes:

- Mayor costo de la perforación.
- Costo del propio material y su transporte.

La selección del filtro se considera esencial a la hora de la construcción de éste, y debe ser acorde con las características del medio circundante.

Como ocurre en otras fases constructivas de un pozo de control, la heterogeneidad de las situaciones a la hora de diseñar un filtro de grava, hace imposible la estandarización del mismo.

Por tanto, cada caso conlleva un proceso de selección que podremos sub-dividir en 3 fases:

- **Selección del tipo de material a utilizar .**

Este material debe cumplir las siguientes premisas:

- Mineralogía silíceas con un contenido en  $\text{SiO}_2 > 97\%$  y ausencia de partículas calcáreas. (proporciona estabilidad ante posibles contaminantes)
- Buena redondez y esfericidad.
- Buen grado de selección. Uniformidad.
- Buena limpieza. Ausencia de finos.

- **Selección granulométrica.** Los métodos de selección de granulometría de un filtro de grava se basan en que el filtro retenga un elevado porcentaje de partículas del suelo que potencialmente pueden acceder al pozo de control. Una buena selección granulométrica se basa por tanto en análisis granulométricos de la zona del pozo donde se van a instalar los filtros, y condicionará la ranuración de las rejillas o tuberías filtrantes que se coloquen.

- **Selección de espesor del filtro de grava.** Puesto que la teoría de diseño de la gradación de los filtros de grava se basa exclusivamente en la retención mecánica de las partículas del suelo, el espesor de filtro teóricamente necesario deberá ser sólo 2 ó 3 veces el tamaño de grano. En la práctica se ha demostrado que 1 cm. de filtro bien seleccionado consigue la retención perseguida sea cual sea la velocidad de flujo a través de él.

- **Reducciones**

En principio, no se contempla la ejecución de pozos de control telescópicos, pero si por cualquier causa extraordinaria se equipa algún pozo de control telescópico, el paso entre 2 diferentes diámetros de tubería se hace por medio de reducciones. Se recomienda que las reducciones sean de PVC o HDPE con uniones roscadas. Estas tuberías de tipo telescópico son más aplicables a

estudios realizados en vertederos o en lugares de relleno no compactado, ante la posterior compactación que puede sufrir el suelo.

### ***Acabado del pozo de control***

El acabado del pozo de control se denomina a todas aquellas operaciones que permitirán que tras su ejecución se encuentre en perfectas condiciones de uso y preparado para cumplir con los objetivos bajo los que fue diseñado.

Las operaciones normalmente necesarias para llevar a cabo estos objetivos, además de proporcionar al pozo de control seguridad ante agentes externos, son las siguientes:

- **Cementación y sellado**

Se define la cementación como la colocación y el fraguado de suspensiones de cemento en determinadas zonas de un pozo y con la principal finalidad de unir la tubería ciega de un pozo con las paredes del sondeo rellenando el espacio anular y otros espacios existentes.

Mediante el relleno se consigue:

- Aislar las zonas no productoras del pozo. Con ello se evita el paso a través del espacio anular de las diversas formas de contaminación por fluidos superficiales. Adicionalmente, se evitan los desprendimientos del terreno hacia las zonas de admisión.
- Evitar siempre que interese la comunicación entre acuíferos. Bien para sellar acuíferos contaminados que puedan ejercer inyección «in ascensum» o «in descensum» en acuíferos no contaminados, o bien para impedir la conexión sistemática entre acuíferos de potencial hidráulico, características hidroquímicas o nivel de contaminación diferentes.

- Material de inyección. Mezcla y dosificación

Para la realización de cementaciones, se usan suspensiones de cemento o suspensiones de cemento-bentonita, ambas en agua. En condiciones excepcionales, se utilizan áridos como arena para lograr el cierre de fracturas sin que haya una pérdida excesiva del fluido.

Las suspensiones de cemento-bentonita son más estables que las de cemento y aún cuando la adición de bentonita disminuye algo la resistencia, reduce la retracción y favorece la manejabilidad de la suspensión, por lo que resulta recomendable el uso de este tipo de suspensiones.

La dosificación de la suspensión es muy variable aunque como regla general se admite como objetivo la consecución de densidades de suspensión en torno a 1,9 g/cm<sup>3</sup>. También habrá que tener en cuenta la adición de aceleradores y retardadores del fraguado (Cl<sub>2</sub> Ca, Cl Na, lignosulfatos, etc.).

No siempre se puede determinar con exactitud el volumen necesario de mezcla. Porque con frecuencia irregularidades y pérdidas en el anular requieren que el vertido de volúmenes sea 2 y 3 veces superiores al volumen teórico.

Las aguas que se utilicen para las mezclas deben corresponder con una calidad similar a la de aguas potables.

- Procedimientos de cementación

Antes de acometer la cementación, habrá que tener en cuenta que ésta se asienta casi siempre sobre espesores anulares rellenos de grava silíceo y que a veces, un espesor reducido de anular donde se ha colocado un filtro o macizo de grava, se encuentra aislado por zonas cementadas según el proyecto de cementación. Debido a ello, las zonas de unión entre el macizo de grava y la cementación se sellarán según la secuencia de capas que se indica a continuación.

Por último, y entre la zona cementada y el colchón de arena se coloca un sello de bentonita granular (pellets) también de espesor variable. La bentonita es un material expansible y se emplea también para el aislamiento de zonas que se pretende no estén en contacto con la tubería filtro. No se empleará bentonita en polvo, ante la posibilidad de que pueda flotar en caso de existir agua en el espacio anular y aislar zonas no deseadas. Los sellos de bentonita deberán tener un espesor mínimo de 0,5 m.

Aunque la cementación de pozos de control medioambiental, puede llevarse a cabo por diferentes procesos, el método de cementación recomendado es el de inyección con tubería a través del espacio anular, en el cual la cementación se hace a través de una tubería de inyección de 1,5 ó 2" de diámetro. El extremo inferior de la tubería de inyección se coloca a 30-40 cm del límite inferior de la zona a cementar y se procede a cementar con lo que el anular sufrirá un relleno en sentido ascendente. Siempre se debe cerrar la parte superior del entubado o boca con un tapón roscado para evitar cualquier posible entrada de los materiales sellantes en el interior de la tubería.

La inyección se puede producir por gravedad pero se prefiere el bombeo que facilita cementaciones más rápidas.

#### • **Acabado final**

El acabado final de un pozo de control determinará el aspecto que va a presentar y será importante en cuanto que permitirá aumentar la operatividad de éste, ante posibles daños que pudiera sufrir en el futuro.

Existen diversos elementos de cierre de boca de los pozos de control. En función del tipo de acabado que se de al pozo podrá elegirse entre tapas de cierre, tubos de cierre, arquetas y registros.

##### - Tapas de cierre

Deberán estar provistas de algún mecanismo de apertura y cierre mediante llaves para impedir el acceso al interior del pozo de control de personas ajenas a su utilización. En cualquier caso serán roscadas o abridadas para su unión al tramo superior de la columna de entubación.

##### - Tubos de cierre

Si la boca del pozo de control se coloca elevada sobre el nivel del suelo, se recomienda que el metro superior de la columna de entubación sea de acero constituyendo un tubo de cierre.

El uso de acero en lugar de PVC se justifica por su mayor robustez, para dotar al cierre del pozo de cierto grado de protección frente a golpes accidentales o actos vandálicos.

##### - Arquetas y registros

En caso de que la boca del pozo de control se sitúe a nivel de la superficie del suelo o por encima de ésta, el pozo estará provisto de una arqueta o registro de cierre de acero, fundición, polietileno, hormigón, poliéster prensado, etc. La arqueta o registro se embutirá sobre una solera de hormigón y tendrá un ancho de luz suficiente para permitir la apertura y cierre de la tapa de cierre del pozo, y para permitir la entrada en el pozo de bombas, tomamuestras y cuantos elementos auxiliares sean necesarios. A ser posible, las arquetas serán sifónicas.

Si el pozo de control se encuentra en una zona de fácil acceso para maquinaria pesada, la arqueta o registro se deberá elegir con una capacidad de carga a rotura suficiente y será debidamente señalizada.

En los casos de cerrarse el pozo por debajo de la rasante, se utilizarán para su cierre una tapa roscada de PVC o acero y se alojará en una pequeña arqueta de hormigón cúbica o rectangular cerrada en superficie por un registro de fundición, acero, hormigón o plástico con cierre sifónico, que debe ser capaz de soportar cargas procedentes del tráfico de vehículos pesados.

## **2.3. TIPOS DE POZOS DE CONTROL**

Se ha descrito hasta el momento la construcción de un típico pozo de control, aunque el diseño final de éste pueda diferir en función de los objetivos de su construcción y de las operaciones que vayan a ser realizadas posteriormente en éste. De este modo es posible describir diversos tipos de pozos de control en función de sus características.

### **2.3.1. Pozo de control tipo**

Los pozos de control tipo presentan la posibilidad de diseñar la profundidad de los rangos o intervalos de control y seguimiento que se desea, pero una vez elegido este intervalo y completada la construcción del pozo no será posible realizar determinaciones a otras profundidades. Este hecho puede suponer un problema si la instalación del tubo-filtro piezométrico se ha realizado en un intervalo reducido, que posteriormente resulte insuficiente para medir las fluctuaciones estacionales del freático o incluso suponga en periodos prolongados de sequía la desaparición del agua en el pozo de control. En cualquier caso, la instalación y diseño del filtro piezométrico debe realizarse de forma que estos posibles cambios no inhabiliten el posterior uso del pozo de control, mediante el conocimiento de aquellos factores que pueden afectar al área donde va a ser instalado.

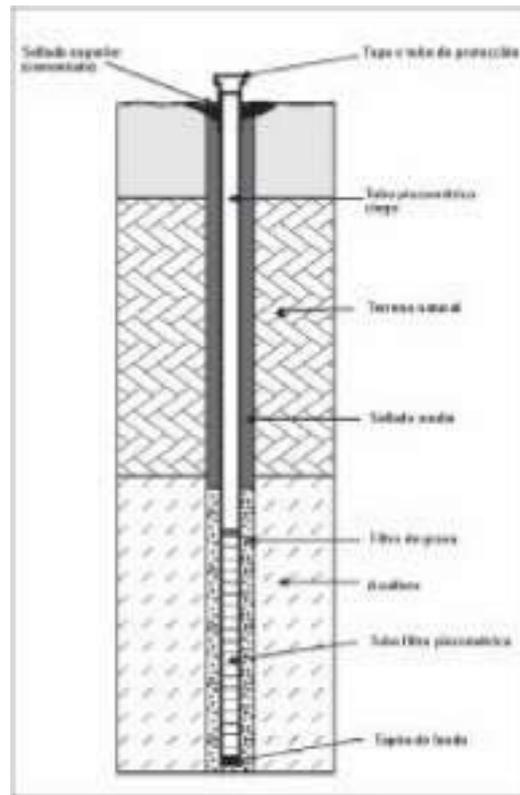


Figura N° 1. Pozo de control tipo.

Un caso especial podrían constituirlo aquellos pozos de control construidos para la el seguimiento de aguas contaminadas en las cuales el contaminante pueda formar una fase diferenciada con el agua (ej. aguas contaminadas por hidrocarburos). En este caso, será necesario instalar el sellado, filtros de grava e intervalos de filtro de entubación en base a la presencia de fase libre sobre la lámina de agua.

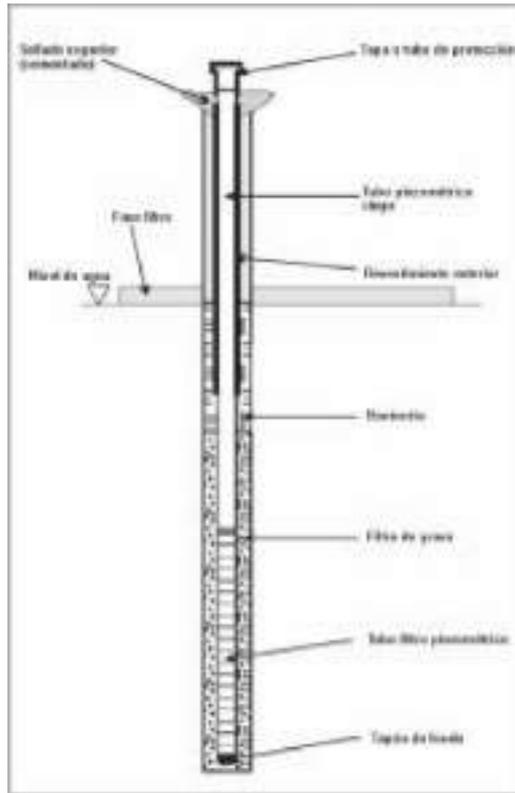


Figura N° 2. Pozo de control para aguas subterráneas con fase libre.

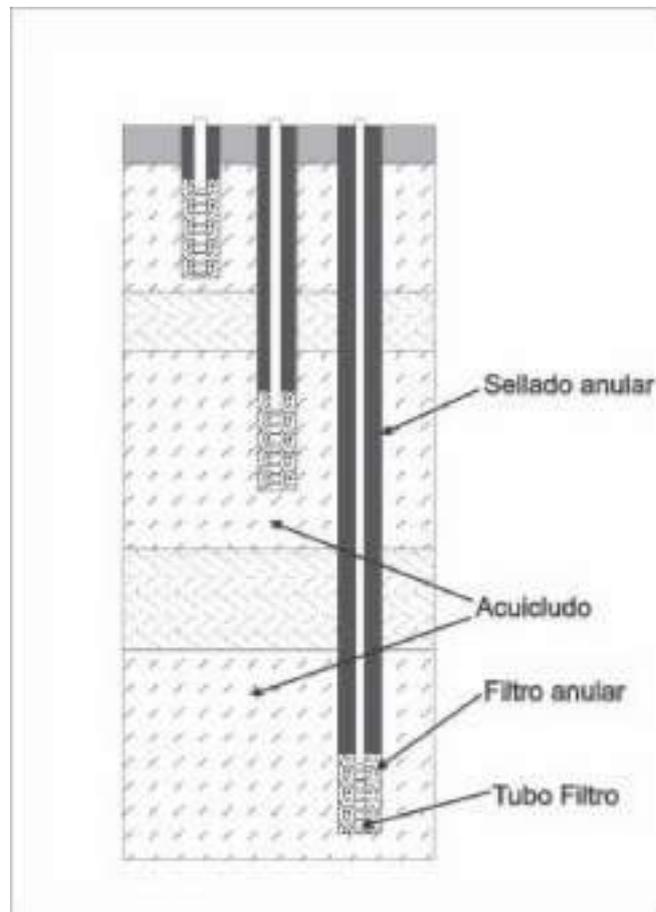
### 2.3.2. Grupo de pozos de control

Cuando no es posible o se considera inadecuada la información que puede obtenerse de un único pozo de control en una zona, es posible llevar a cabo la instalación o construcción de pozos de control de mayor complejidad. En estos pozos es posible realizar la determinación y caracterización de diferentes parámetros de calidad de las aguas, a diferentes profundidades o en distintas capas del terreno, de modo separativo e independiente.

Los diseños de pozos de control de tipo más complejo comúnmente utilizados pueden centrarse en los siguientes:

- **Racimo de Pozos de Control**

Este tipo de medición múltiple se corresponde en realidad con la construcción y diseño de pozos simples pero situados en un área reducida, en los cuales el intervalo de filtro ha sido situado a diferentes profundidades en cada uno de ellos, siendo el resto del tubo piezométrico de tipo ciego. De este modo es posible el control y seguimiento de los parámetros objetivo y la realización de todos los ensayos requeridos, en una zona de influencia que puede considerarse única a efectos del estudio, pero a diferentes profundidades.



*Figura N° 3. Racimo de Pozos de control.*

- Pozos de control anidados

En este caso los diferentes tubos piezométricos se instalarán en el mismo hueco de perforación, por lo cual será necesario sellar convenientemente mediante bentonita el espacio anular entre los diferentes intervalos de filtro de cada uno de ellos. Este sistema tiene la desventaja de que es necesario realizar una perforación de gran diámetro, por lo que los costes aumentan en gran medida, además de dificultar todas

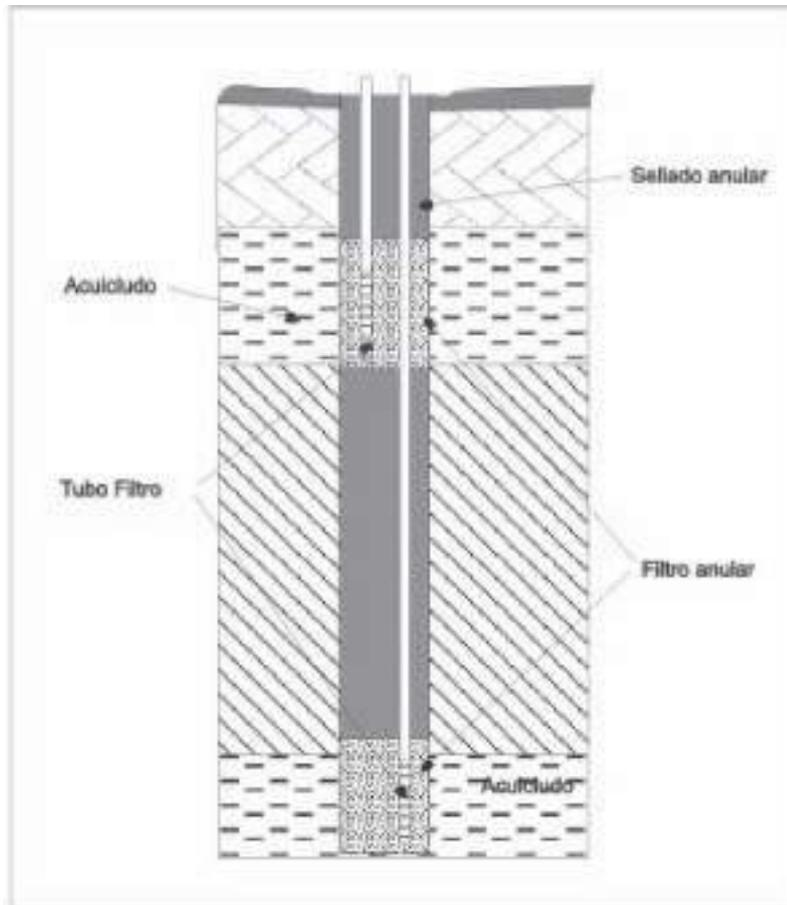


Figura N° 4. Pozos de control anidados.

las operaciones relacionadas con la perforación. Del mismo modo, el diseño de los diferentes intervalos de filtro es difícil, y en especial el posterior engravillado, cementado y sellado de los intervalos requeridos, ya que la separación debe ser realizada a las profundidades correctas para evitar la conexión posterior de distintos niveles acuíferos.

### 2.3.3. Pozo de control individual con muestreadores a diferentes profundidades

Estos pozos de control representan un tipo especial de diseño de pozos, en el cual se instalan en la parte interna del tubo piezométrico una serie de equipos muestreadores en línea y a diferentes profundidades, los cuales extraen muestras independientes y únicamente de la zona donde están situados, encontrándose entre ellos los sellos de bentonita anulares. Cada zona de muestreo se compone (en el interior del tubo piezométrico) de un punto de bombeo, de unos paquetes superior e inferior de sellado interior del tubo piezométrico (que son inflados hidráulicamente aislando unas zonas de otras) y de un medidor de la presión de sellado. De este modo, es posible seleccionar en que zona se quiere bombear o

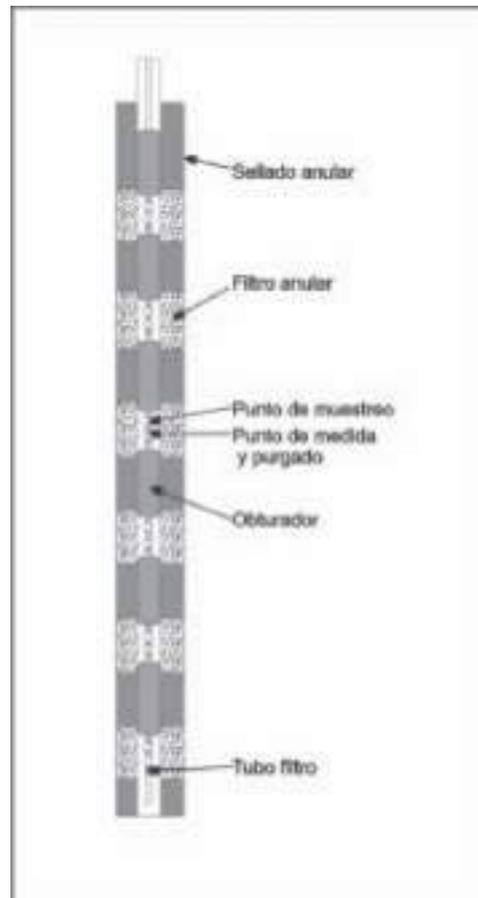


Figura N° 5. Pozo de control de multimuestreo. Fuente: catálogo WestBay

extraer la muestra, existiendo además registradores de datos disponibles para la medición en continuo de las zonas deseadas.

### 3. ENSAYOS DE CAMPO DURANTE LA CONSTRUCCIÓN DE POZOS DE CONTROL

Durante la construcción de un pozo de control es posible llevar a cabo diversos ensayos que proporcionen información previa acerca de las características hidráulicas del acuífero sobre el cual se van a realizar posteriores determinaciones.

Los ensayos generales más empleados en las investigaciones de suelos contaminados son los ensayos de permeabilidad. La permeabilidad o conductividad hidráulica es la facilidad por la cual un material (en

este caso serían los materiales constituyentes del terreno) deja pasar el agua a su través. Los ensayos de permeabilidad en pozos de control durante su construcción representan las condiciones del acuífero en las proximidades de la zona abierta de la perforación, aunque debe considerarse para su posterior interpretación que pueden verse afectados por múltiples factores tales como el tipo de sistema de perforación empleado, la utilización o no de lodos de perforación, el tipo de acuífero, la heterogeneidad de los materiales circundantes, etc.

En cualquier caso proporcionan información que puede ser útil, aunque no debe ser determinante. Para todos ellos existen fórmulas de aplicación comúnmente aceptadas de los datos extraídos durante los ensayos, que permiten el cálculo de la permeabilidad del terreno. Los métodos más tradicionales dentro de estos ensayos son los siguientes:

### 3.1. ENSAYO DE PERMEABILIDAD LUGEON

Los ensayos Lugeon son realizados normalmente en terrenos rocosos consolidados y su base es la medición del volumen inyectable en un tramo de longitud conocida de la perforación y bajo una presión determinada. Es necesario por tanto que los terrenos sean muy poco permeables, ante la posibilidad de pérdidas de presión o pérdida de carga. Se emplea para ellos un equipo donde debe incluirse como mínimo:

- Bomba de inyección de al menos 100 l/min a una presión de 10 kg/cm<sup>2</sup>.
- Doble obturador del hueco de perforación. Los obturadores deben tener una longitud de al menos 5 veces el diámetro de la perforación.
- Manómetro.
- Medidor de caudal.
- Cronómetro.

Durante el ensayo se inyecta el agua a presión conocida y se anota el volumen introducido en tiempos conocidos. Este agua se introducirá entre el espacio de la perforación determinado por los obturadores que limitan la capa del terreno en la cual se realiza el ensayo. Normalmente se realizan escalones de presión a 15, 30 y 45 psi, que deben ser mantenidas durante al menos 10 minutos. Los datos del caudal o el volumen de agua introducido por tiempo, proporcionará información acerca de la permeabilidad del sustrato. De este modo, si los escalones de presión aumentan sin un incremento de caudal significativo, nos encontraremos ante una formación de tipo muy impermeable. Cuando el volumen introducido de agua vaya aumentando con la presión significará que éste es menos impermeable. Habrá que impedir alcanzar la presión de rotura de los materiales durante la realización de éstos ensayos, lo que es observable por la bajada repentina de la lectura de presión en el manómetro.

Este tipo de ensayos requieren normalmente del encamisado de las paredes por encima de los obturadores, para impedir el paso del agua a través de éstos, ya que el cierre tiene que ser hermético.

La permeabilidad en estos ensayos será proporcional al caudal introducido por metro de longitud y unidad de presión, de modo que:

$$K = \frac{V}{t \cdot \lambda \cdot P}$$

donde  $\lambda$  = longitud del tubo filtrante.

V = volumen de agua introducido. t = tiempo. P = presión.

### 3.2. ENSAYO DE PERMEABILIDAD LEFRANC

Los ensayos Lefranc se realizan preferentemente en terrenos de tipo no consolidado. El sondeo debe estar revestido para no provocar los derrumbes de las paredes, excepto en el punto o tramo donde se realizará el ensayo de permeabilidad. Se introducirá un volumen de agua conocido en un tiempo determinado mediante una bomba de pistón a través de un conducto o por el interior del varillaje, de forma que llegue hasta la parte del tramo a ensayar. El agua introducida podrá salir, o bien a través de los materiales que conforman las paredes del sondeo, o bien a través del espacio anular existente entre el revestimiento y el tubo de introducción del agua, hasta llegar a un depósito exterior (ver Figura N° 6). El volumen de agua que realmente se ha perdido a través de las paredes de la perforación será el que proporcione información acerca de la permeabilidad relativa del sustrato. Este será la diferencia entre el volumen introducido total y el de retorno al depósito exterior.

La fórmula general sería la siguiente:

$$K = \frac{V}{2 \pi \cdot d \cdot h_m \cdot t}$$

donde V = volumen de agua introducido. t = tiempo.

d = diámetro de la cámara de inyección.

$h_m$  = presión de inyección medida en altura de agua sobre el nivel estático del agua.

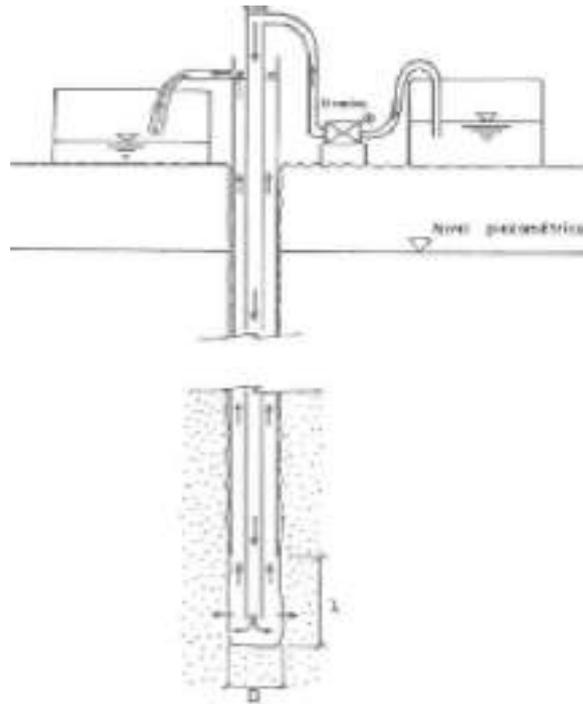


Figura N° 6. Ensayo de Lefranc. Fuente: Custodio/Llama

### 3.3. ENSAYO DE PERMEABILIDAD GILG-GAVARD

El método Gilg-Gavard se centra en la introducción de agua en la perforación hasta la boca de ésta y en la posterior medida de los descensos del nivel que se producen con el tiempo. Son aplicables principalmente a terrenos poco permeables o de permeabilidad media. Estos ensayos pueden ser de dos tipos:

- método de nivel variable, en el cual se llena la perforación de agua hasta la boca y se registra posteriormente el descenso del nivel de agua mediante sondas de nivel, en intervalos de tiempo que permitan después elaborar gráficas de descenso y hallar la permeabilidad del sustrato ensayado. Normalmente se registran datos hasta que la tasa de descenso es muy reducida o insignificante. Este ensayo es quizás el más sencillo de llevarse a cabo al no ser necesario un gran equipamiento accesorio para su realización. La fórmula general sería la siguiente:

$$K = \frac{1,308 \cdot d^2 \cdot Dh}{A \cdot h_m \cdot Dt}$$

donde: Dh = descenso del nivel en el intervalo Dt .

A = coeficiente dependiente de la longitud del tubo filtrante ( $\lambda$ ) y del diámetro del tubo ranurado (d).

d = diámetro del sondeo.

$h_m$  = altura media del nivel de agua en el intervalo Dt.

- método a nivel constante, en el cual el caudal introducido es el que proporciona los datos principales para la determinación de la permeabilidad. En este método el agua se introduce de

forma que el nivel de agua se mantenga constante en la boca de la perforación por periodos no menores a 10 minutos. Por tanto deberán ser cuidadosamente registrados los volúmenes introducidos mediante depósitos aforados o medidor de caudal, así como los tiempos en que se introducen estos volúmenes.

$$K = \frac{Q}{600 A \cdot h_m}$$

donde: A = coeficiente dependiente de la longitud del tubo filtrante ( $\lambda$ ) y del diámetro del tubo ranurado (d). Q = caudal introducido.  $h_m$  = altura media del nivel de agua en el intervalo Dt.

Como es posible apreciar, los test de permeabilidad se fundamentan en las pérdidas de agua relativas a través de los materiales en contacto con la perforación. Unos son de tipo más complejo que otros, pero la selección del método más conveniente vendrá sobretodo definido por el tipo de terreno y su composición, ya que no todos los métodos serán aplicables a todos los terrenos. Del mismo modo y como ya se ha señalado, los resultados de un ensayo de estas características no describen con exactitud las características reales de los materiales atravesados, debiendo ser tratados con la consiguientes precauciones. Los ensayos descritos presentan además un problema relacionado con la posible contaminación presente en los terrenos perforados, ya que el agua introducida efectuará el lavado de partículas contaminantes presentes en los materiales con los que haya tenido contacto, siendo necesaria posteriormente el tratamiento de ese agua (agua en depósitos de retorno, etc.) y la limpieza de los depósitos de control.

### 3.4. SLUG-TEST

Este test o método es actualmente muy aplicado en los ensayos de campo, y representa la introducción o extracción instantánea de un volumen conocido de agua o de un cilindro sólido de volumen conocido, que provocará un cambio o fluctuación del nivel de agua. Por tanto, se pueden citar dos alternativas o métodos para este test:

- Slug-out, en el cual se mide el cambio provocado en el nivel de agua por la remoción de un volumen de agua determinado o de un cilindro sólido (normalmente de PVC) que había sido anteriormente introducido. Estos volúmenes (slug) deben ser extraídos con la mayor rapidez posible, ya que el ensayo se fundamenta en la medición de los cambios en el nivel de agua provocados respecto a los niveles de partida en un tiempo determinado.
- Slug-in, en el cual el procedimiento es el inverso, introduciéndose en este caso el volumen conocido de agua (similar al Gilg-Gavard en sus fundamentos) o de sólido de PVC en la perforación, y midiéndose el ascenso que se provoca a continuación.

Este tipo de ensayos presentan las siguientes ventajas, sobretodo aplicables cuando se utiliza como agente que provoca los cambios de nivel, el cilindro de PVC de volumen conocido:

- rapidez con que puede realizarse el ensayo.
- evita la introducción o extracción de agua, y la posterior posibilidad de tener que gestionar la posible agua contaminada.
- posibilidad de extraer datos fiables debido a la utilización de registradores que miden las variaciones del nivel de agua de forma continuada y precisa (el registro del mayor número posible de mediciones en los primeros momentos tras la extracción o introducción del cilindro se considera de gran importancia, ya que es cuando se producen las mayores diferencias de nivel).

- provoca escaso estrés hidráulico de la formación o materiales circundantes a la perforación, al no ser sometidos a presiones diferenciales.
- necesidad de escaso equipamiento accesorio al ensayo.

Por el contrario presenta las limitaciones de que al no ser un método en continuo o que provoque cambios en un tiempo prolongado, estima realmente la conductividad hidráulica en el área inmediatamente circundante a la perforación, además de que el coeficiente de almacenamiento no es generalmente determinable mediante este método.

Los slug tests utilizan un transductor de presión conectado a un registrador en continuo de la presión. El transductor convierte las presiones que registra en niveles de agua, por lo que tras la medición del suficiente número de registros, es posible determinar la tasa de cambio que produce la introducción del sólido en los niveles de agua.

Existen diversos métodos de interpretación de los slug-test, siendo los más utilizados los establecidos por Bower and Rice, Horslev, y Cooper et al.. El método más simple de interpretación es el método de Horslev, cuya expresión es la siguiente:

$$K = \frac{r^2 \cdot \ln(L/R)}{2L \cdot T_0} \quad \text{para } L/R > 8$$

- donde:
- r = radio del revestimiento.
  - L = longitud de tubo-filtro piezométrico.
  - R = radio del filtro de grava.
  - T<sub>0</sub> = valor de t en una representación semilogarítmica de H-h/H-H<sub>0</sub> frente al tiempo, donde: H-h/H-H<sub>0</sub>=0,37
  - H<sub>0</sub> = nivel de agua a t=0.
  - h = registros de nivel de agua a t>0.

## 4. DESARROLLO DE POZOS DE CONTROL

Como ocurre con la construcción de pozos de control, a la hora de desarrollarlos no hay técnicas perfectas ni reglas válidas para todos los casos.

Se entiende por desarrollo o estimulación de un pozo al conjunto de técnicas físico-químicas aplicadas tras la construcción del mismo y cuyo objetivo es eliminar las perturbaciones provocadas en el proceso de perforación y estabilizar la zona circundante al pozo. El proceso de desarrollo conlleva a su finalización el restablecimiento de la conductividad hidráulica original del terreno en el pozo de control, y la remoción de los finos existentes que puedan entrar en el entubado o se encuentren en el filtro de grava.

El término estimulación a su vez, implica una mejora en el rendimiento de un pozo. En el caso de un pozo de control, únicamente tiene sentido el desarrollo ya que la obtención de altos rendimientos de caudal no forma parte de los objetivos. En aquellos casos en que se prevea la posterior utilización del pozo de control como pozo de recuperación sí interesará conseguir un mayor rendimiento del pozo. Tan solo serán aplicables técnicas mecánicas o físicas estando totalmente descartados los métodos de desarrollo químico.

La aplicación de técnicas de desarrollo en pozos de control tiene evidentes desventajas. Por un lado, todo desarrollo mecánico provocará una agitación física del medio que a menudo es indeseable y siempre inevitable, por otro lado la eficacia de los métodos mecánicos a la hora de eliminar finos no es total por lo que a menudo se llevan a cabo desarrollos incompletos.

En la medida de lo posible, el desarrollo de un pozo debe asegurar la extracción de muestras de agua representativas de la unidad hidrogeológica en estudio.

### 4.1. MÉTODOS O SISTEMAS DE DESARROLLO DE POZOS DE CONTROL

A continuación, se citan algunos de los principales métodos de desarrollo de pozos de control, los cuales tienen el objetivo común de la limpieza y estabilización de las condiciones originales existentes en el sustrato.

#### 4.1.1. Sobrebombeo con bombas sumergibles

Es la técnica más común y probablemente la más recomendable. La bomba se desciende al nivel manométrico de bombeo previsto y se inicia un bombeo escalonado con bajos regímenes de bombeo que se aumentarán en progresivos escalones hasta lograr un sobrebombeo. El escalonamiento puede llevarse a cabo de 2 maneras:

- Por medio de un variador de frecuencia.
- Sin variador de frecuencia bombeando a régimen continuo y estrangulando con una válvula la descarga de la impulsión.

Se recomienda el segundo método por ser menor el costo del material empleado.

En la utilización de esta técnica hay que tener en cuenta que una excesiva presencia de finos podrá perjudicar a la bomba por abrasión de sus partes menos resistentes, aunque hay numerosas bombas sumergibles que ya han superado ese problema.

Existen en el mercado bombas de 3" y hasta 2" que pueden utilizarse, sin embargo sus capacidades son muy limitadas recomendándose el uso de una bomba de 4".

Durante esta técnica será recomendable la medición de los caudales extraídos y de los niveles de descenso del agua, que podrán ser empleados posteriormente en el momento de la toma de muestras. Por supuesto, todos los materiales (bomba, tubos de aspiración, conexiones, etc.) deben encontrarse limpios y ausentes de contaminación. Es recomendable la utilización de tubos de teflón para extraer el agua al exterior.

#### **4.1.2. Bombeos de desarrollo con aire**

El bombeo de desarrollo con aire ("Air-lift") es un método muy utilizado, que consiste en la inyección en el fondo del pozo de aire a presión. Provoca un flujo ascendente de burbujas que afectan al filtro de grava y al entorno del pozo.

La inyección se lleva a cabo por medio de tubos eyectores que se descienden al pozo de control, colocándose un poco por encima del filtro, siendo los sedimentos extraídos fuera del sondeo. Es importante que la inyección no se realice a la altura del filtro del entubado, ya que podría causar la colmatación de éste por los finos presentes. Es una técnica de uso restringido debido a la agitación que provoca y a que favorece la dispersión de sustancias contaminantes.

#### **4.1.3. Bombeo de vacío**

Es una técnica introducida recientemente para su aplicación en pozos de control.

Para efectuar el vacío se usan unidades portátiles especialmente diseñadas, denominadas agujones ("stingers"). Son piezas cilíndricas de PVC de 1" de diámetro que se bajan a un pozo de control unidas a una manguera de vacío.

El agua no asciende como una fase única sino que lo hace en forma de emulsión aire-agua. Según desciende el nivel piezométrico en el interior del pozo ha de ir descendiendo poco a poco el stinger.

Esta técnica tampoco evita que haya una cierta agitación mecánica en el entorno del pozo y presenta la desventaja de que no es muy efectiva en ciertas profundidades.

#### **4.1.4 Bombeo de pulso mecánico**

Es una técnica basada en un sobrebombeo con una bomba que funciona elevando el caudal por impulsos. En principio no supone una mejora sustancial a cualquier sobrebombeo.

#### **4.1.5 Lavado e inyección**

Una pieza que sufre un movimiento simultáneo descendente y giratorio emite una inyección de agua, aire o mezcla a presiones elevadas (hasta 10 kg/ cm<sup>2</sup> aprox.). Es una técnica bien desarrollada para pozos de agua pero poco recomendable en pozos de control medio ambientales.

Algunos han desarrollado una variante aplicada a la Ingeniería Medioambiental llamada Cilindro Inyector (Daugherty y Paczkowski).

Esta técnica consiste en la colocación de una bomba sumergible y una herramienta de inyección sobre ella para que actúen conjuntamente. No es una técnica que obtenga grandes resultados.

#### 4.1.6 Bombeo mediante bailer

Se realiza mediante la repetida introducción de un tomamuestras de válvula o bola en el pozo y la posterior extracción del agua contenida en él. Este método no es aplicable en pozos que posean una gran recarga, pero por el contrario es recomendable para aquellos en los cuales la recuperación del nivel es muy baja.

## 4.2. PROCEDIMIENTOS Y RECOMENDACIONES DE ACTUACIÓN

El desarrollo de un pozo de control debe llevarse a cabo a través de unos procedimientos que aseguren que la actividad se ha realizado de forma correcta. A continuación se resumen los **procedimientos** más generales:

- Tras abrir el pozo de control se deben registrar algunas medidas iniciales tales como: nivel de agua, profundidad final del sondeo, pH, temperatura del agua y conductividad. Los equipos de medida in-situ (conductivímetro, pHmetro, etc.) deberán haber sido calibrados con anterioridad a la toma de registros.
- Se marcará el punto de medición o punto de referencia (por ejemplo, boca del pozo) mediante algún tipo de señal indeleble. Este punto servirá además para la posterior nivelación del pozo de control, en caso de ser necesario.
- Los equipos que vayan a ser utilizados durante el desarrollo del pozo de control serán cuidadosamente limpiados, previniendo el aporte de contaminación cruzada al pozo. En la medida de lo posible, y en dependencia de la técnica empleada, los accesorios o equipos empleados serán de un sólo uso (ej. tubos de aspiración, bailers, etc.).
- En caso de sospecharse la existencia de contaminación en el agua, se deberá disponer de containers o depósitos adecuados para el almacenamiento de ésta durante su extracción.
- Tras la preparación de los equipos e introducción en el pozo de control, se comenzará el desarrollo de éste, que será diferente en función de la técnica empleada.
- Durante el desarrollo se tomarán medidas del tiempo de extracción de agua, caudal de extracción, conductividad, pH y se observará la disminución de finos en el efluente.
- Se deberá continuar el desarrollo hasta que el agua extraída esté limpia y carente de finos. Se considera que un pozo ha sido convenientemente desarrollado cuando la conductividad y pH presentan valores estables. Los valores finales registrados de los diferentes parámetros serán debidamente anotados.
- Tras el desarrollo del pozo se deberá de nuevo limpiar todo el material utilizado para esta actividad

Algunas **recomendaciones** básicas a seguir durante el desarrollo de un pozo de control son las siguientes:

- El desarrollo del pozo de control debe ser llevado a cabo lo más pronto posible tras su finalización, aunque siendo rigurosos se deberá esperar al menos 48 horas tras la cementación del terreno superficial, para no provocar movimientos o inestabilidad en la instalación.
- La elección de los equipos que se van a emplear durante el desarrollo dependen básicamente del diámetro del pozo, de la profundidad a la que se encuentre el nivel de agua y del método elegido.
  - Se deben preparar para la realización del desarrollo formatos tipo en los cuales se reflejará la identificación del pozo, fecha de instalación, fecha del desarrollo, medidas realizadas de los diferentes parámetros (antes, durante y al término de la actividad), cantidad de agua extraída, caudales de extracción empleados, y descripción del sistema o método empleado.
- Si es posible, se medirá en pozos de control o en puntos de agua cercanos la afección que puede producir la extracción del agua en el pozo que se está desarrollando, registrándose posibles fluctuaciones de los niveles de agua antes y después de la actividad en estos puntos de observación.
- No debe ser añadida agua al pozo de control para ayudar a su desarrollo. Sólo en caso de que se considere absolutamente necesario extraer los finos presentes y de que la cantidad de agua extraída sea insuficiente a causa de la permeabilidad del sustrato (nula recuperación) o de que el filtro se encuentre colmatado de finos, será posible introducir pequeñas cantidades de agua potable en el pozo. Si el caudal de extracción de agua aumenta tras esta operación, será necesario extraer 5 veces el agua introducida anteriormente.
- En caso de que no quiera favorecerse la dispersión en un medio de las sustancias contaminantes local o extensamente contenidas en él, habrá que extremar las precauciones durante cualquiera de los métodos de desarrollo citados, incluso no llegar a desarrollar los pozos de control que se puedan construir.
- El desarrollo de un pozo es una herramienta válida siempre y cuando la propia actividad no pueda generar desplazamientos del filtro de grava, o creación de canales y huecos en éste, por lo que debe ser realizado mediante técnicas lo menos agresivas posible.
- Tras la realización del desarrollo del pozo es recomendable realizar un test de recuperación, midiéndose los ascensos respecto al tiempo. Estos datos podrán ser de utilidad posteriormente para determinar caudales máximos de bombeo, conos de depresión provocados por el bombeo, así como otros parámetros hidráulicos de interés.

Los datos obtenidos durante el desarrollo del pozo de control servirán además a posteriori para conocer los caudales más aconsejables bajo los cuales se deben extraer las muestras de agua.

## **Anexo 3**

# **LISTADO DE DOCUMENTOS EMPLEADOS**

Impactos ambientales de la posible actividad minera en el canton de Cuenca (Ecuador).

Compañía	Proyecto	Autor	Año	Título	Sub-título	Ref del informe
Cornerstone	Proyecto Minero Gama	Consultoría, Ingeniería y Gestión CINGE Cía. Ltda.	2010	AUDITORIA AMBIENTAL		
Cornerstone	Proyecto Minero Gama	Hedenquist Consulting, Inc.	2007	Update on the Gama and Yanasacha epithermal gold prospects,	Shyri property, Azuay Province, southern Ecuador	
Cornerstone	Cañaribamba	Hedenquist Consulting, Inc.	2007	Update on the Cañaribamba epithermal gold prospect, southern	Shyri, Azuay Province, south Ecuador	
International Minerals Corporation	RIO BLANCO	Water Management Consultants Ltda	2007	Analysis of Downstream Impacts of Treated Mine Water Discharge	Río Blanco Project, Ecuador	3399/R 7 Draft
International Minerals Corporation	RIO BLANCO	Water Management Consultants Ltda	2006 ?	Baseline Hydrological, Hydrochemical Characterization Río Blanco Project		3392/R 2
International Minerals Corporation		Fungeomine y Capemine	2008	Mapa del Potencial Aurífero Primario de la republica de Ecuador		
International Minerals Corporation	RIO BLANCO	Terrambiente Consultores Cía. Ltda	2011	Estudio de Impacto Ambiental, fase de explotación	Línea base ambiental	IM011-02
International Minerals Corporation	RIO BLANCO	Water Management Consultants Ltda	2005	Groundwater monitoring piezometers completion diagrams		3400/
IAMGOLD	Quimsacocha	IAMGOLD Technical Services	2009	Quimsacocha Gold Project, Azuay Province, Ecuador	Technical Report	NI-43-101
IAMGOLD	Quimsacocha	IAMGOLD Technical Services	2009	Actualización del plan de Manejo Ambiental	Áreas mineras "Cerro Casco y Río falso"	
		PROMAS	?	Estado del conocimiento de la hidrología y de la calidad de agua i suelo de los Paramos en el Suroeste del Ecuador.	Estado del Arte. Resumen Línea Base Calidad de Agua.	

Cuenca - Alcaldía		Water Management Consultants Ltda	2006	Caracterización geoambiental de la roca.	Proyecto Río Blanco, Ecuador	3399/R 6
IAMGOLD	Quimsacocha	Water Management Consultants Ltda	?	Resumen Tratamiento de Agua de Mina	Cap 4.1 EIA	
IAMGOLD	Quimsacocha	Water Management Consultants Ltda	?	Evaluación hidrológica y ecológica del área de Taguarpamba,	Río Blanco, Ecuador	3400/R 3
IAMGOLD	Quimsacocha	Alexandra Velasguy	2010	Análisis geospacial y estadístico preliminar de la actividad minera en los paramos del Ecuador		
IAMGOLD	Quimsacocha	Eduardo Guerrero	2009	Implicaciones de la minería en los paramos de Colombia, Ecuador y Peru	Documento de trabajo	
IAMGOLD	Quimsacocha	Terrambiente Consultores Cía. Ltda	?	Estudio de Impacto Ambiental, fase de explotación	Áreas de influencia y áreas sensibles	IM011- 02
IFS (International Foundation for Science)		Terrambiente Consultores Cía. Ltda	?	Estudio de Impacto Ambiental, fase de explotación	Evaluación de impactos ambientales	IM011- 02
International Minerals Corporation	RIO BLANCO	Terrambiente Consultores Cía. Ltda	?	Estudio de Impacto Ambiental, fase de explotación	Plan de manejo ambiental	IM011- 02
International Minerals Corporation	RIO BLANCO	PROMAS	2009	Informe de Hidrología. Segundo año	Anexo 1: Estudio preliminar de aguas subterráneas	
International Minerals Corporation	RIO BLANCO	Iñiguez V., Crespe P., Borja P. (PROMAS)	?	Analysis of the effect of land use on the hydrology of hillslopes in the paramo	Report 1st IFS grant	IFS W/4207
International Minerals Corporation	RIO BLANCO	Water Management Consultants Ltda	?	Rock Geoenvironmental Characterization, Río Blanco Project, Ecuador		
International Minerals Corporation	RIO BLANCO	Water Management Consultants Ltda	2011	Análisis de Resultados del Informe Annual de Monitoreo de Agua, Aire y Suelo	Río Blanco	

International Minerals Corporation	RIO BLANCO	Water Management Consultants Ltda	?	Base de Datos de Monitoreo Cualitativo y cuantitativo de Piezómetros		
International Minerals Corporation	RIO BLANCO	Water Management Consultants Ltda	2012	Informe Anual Monitoreo Agua	San Luis Minerales S.A,	
					Proyecto Rio Blanco,	
					Gruntec Cía. Ltda.	
International Minerals Corporation	RIO BLANCO	PROMAS	?	Línea base en hidrología para los paramos de Quimsacocha y su área de influencia	Tomo II: hidrología	
International Minerals Corporation	RIO BLANCO	Alcaldía de Cuenca (Equipo tecnico) / Universidad del Azuay (IERSE)	?	Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial		
International Minerals Corporation	RIO BLANCO	Terrambiente Consultores Cía. Ltda	2011	EIA Fase de e beneficio		IM011-02
International Minerals Corporation	RIO BLANCO	Ambigest Cia Ltda	2005	Estudio Ampliatorio de Impacto Ambiental, fase de explotación	Áreas Cerro Falso. Fase de exploración avanzada	
Proyecto Paramo Andino			2007	NEW TARGETS AT IAMGOLD'S	Press Release	
Proyecto Paramo Andino			2011	QUIMSACOCCHA PROJECT SHOW PROMISE		
				Informe trimestral de cumplimiento del plan de manejo ambiental	Oct-nov-dec 2011	







Géosciences pour une Terre durable

**brgm**

**Centre scientifique et technique  
Service eau**

3, avenue Claude-Guillemin  
BP 36009 – 45060 Orléans Cedex 2 – France – Tél. : 02 38 64 34 34