



DIRECCIÓN PROVINCIAL DE GESTIÓN AMBIENTAL MINERA

**ANÁLISIS DE LAS PROPUESTAS DE DISEÑO DE CIERRE DEL
DIQUE DE COLAS Y OBRAS ANEXAS QUE REALICE MINERA ALUMBRERA**

ESTABILIDAD QUÍMICA

PROVINCIA DE CATAMARCA



INFORME FINAL

MAYO 2017

IATA S A
I N G E N I E R Í A

ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN.....	7
2.	ANÁLISIS DE DOCUMENTACIÓN ANTECEDENTE.....	7
2.1	Análisis de antecedentes proporcionados por SEM-DiPGAM	7
2.2	Análisis de antecedentes de otras fuentes.....	12
3.	ANÁLISIS DE LA CARACTERIZACIÓN Y EVOLUCIÓN QUÍMICA DE LAS COLAS.....	15
3.1	Antecedentes anteriores a 2016.....	15
3.2	Antecedentes año 2016.....	17
3.3	Consideraciones acerca de un Programa de Muestreo de Colas para la actual etapa del proyecto minero	18
3.4	Conclusiones y recomendaciones	19
4.	ANÁLISIS DEL MANEJO Y CAPTACIÓN DE LOS APORTES.....	20
5.	ANÁLISIS DEL DISEÑO FINAL, MATERIALES Y MÉTODOS DE TRABAJO PARA LA COBERTURA Y REVEGETACIÓN DEL DIQUE DE COLAS	20
5.1	Comentario preliminar: marco conceptual, alcances y metodología.....	21
5.2	Aspectos relativos al componente de revegetación	24
5.2.1	Síntesis del análisis del material antecedente y de lo actuado	24
5.2.1.1.	Primera etapa.....	24
5.2.1.2.	Segunda etapa	30
5.2.1.3.	Tercera etapa	31
5.2.2	Análisis de documentación adicional de fecha reciente	34
5.2.3	Reseña de las observaciones relevantes realizadas por IATASA	41
5.2.3.1	Acerca de los objetivos de la revegetación	41
5.2.3.2	Metodología de revegetación	43
5.2.3.3	Calidad y disponibilidad del material de cobertura.....	45
5.3	Aspectos relativos al sistema de cobertura en relación al componente de revegetación	46
5.3.1	Análisis de material reciente	46
5.3.2	Reseña de las observaciones relevantes	47

5.3.2.1	Acerca de los objetivos del sistema de cobertura deL Dique de Colas	47
5.3.2.2	Acerca de la metodología proyectada para la cobertura	48
5.3.2.3	Acerca de la calidad y disponibilidad del sustrato a utilizar para la cobertura	49
5.3.2.4	Actividades experimentales de campo.....	49
5.3.2.5	Acerca de las Labores de mantenimiento, evaluación de resultados y monitoreo	51
5.4	Conclusiones y sugerencias	52
5.5	Cuadro sinóptico/tabla sintética de conclusiones y propuestas sobre cobertura y revegetación no calificadorio y centrado en análisis de procedimientos aplicados y recomendables	57
5.6	Aspectos relativos al sistema de cobertura en relación a la estabilidad química de las colas depositadas.....	67
5.6.1	Requerimientos operativos previos a la colocación de la cobertura del material aluvial de Tampa Tampa	67
5.6.2	Requerimientos operativos durante las maniobras de colocación de la cobertura del material aluvial de Tampa Tampa	70
5.6.3	Requerimientos operativos de mantenimiento posteriores de la colocación de la cobertura de material aluvial de Tampa Tampa	70
5.6.4	Talud del muro de cierre	70
5.6.5	Obras de ingeniería hidráulica etapa cierre y post-cierre de mina	71
5.6.6	Conclusiones y/o recomendaciones	71
6.	ANÁLISIS DE LA EVOLUCIÓN DE LA PLUMA DE DISPERSIÓN, BASADO EN EL SISTEMA DE RETROBOMBEO Y EN EL COMPORTAMIENTO DEL AGUA SUBTERRÁNEA, EN RELACIÓN CON LA DISTRIBUCIÓN DE POZOS PARA CUMPLIR CON LA FINALIDAD DE MANTENER LA PLUMA DE AGUAS DE PROCESO DENTRO DE LOS LÍMITES DEBIDOS	74
6.1	Síntesis de la naturaleza geológica e hidrogeológica del área donde está emplazado el Dique de Colas y como ambas variables, el ambiente natural (geología e hidrogeología) y el proyecto (Dique de Colas) interactúan y como han condicionado el diseño e implementación de los Programas de Control Ambiental vigentes (PCA) durante la etapa de explotación y las previsiones para la etapa de cierre y post-cierre de mina	75

6.2	Síntesis e interpretación de los datos de análisis químicos de aguas superficiales y subterráneas efectuados hasta la actualidad (Programas de Control Ambiental Calidad de Agua en el Río Vis Vis)	78
6.2.1	Elementos mayoritarios (PCA Calidad de Aguas en Vis Vis)	78
6.3	Análisis de la eficiencia del sistema de retrobombeo como variable de diseño de ingeniería que permite captar el agua de la pluma de agua de proceso dentro de los límites de la concesión mineral luego del cese de las operaciones mineras.....	78
6.3.1	Requerimientos relativos a la concentración de sulfatos a alcanzar en la etapa de cierre y post-cierre de mina	79
6.3.2	Requerimientos referidos a la secuencia de desinfectación de los pozos de retrobombeo en la etapa de cierre y post-cierre de mina	79
6.3.3	Requerimiento de obras de ingeniería hidráulica etapa cierre y post-cierre de mina	80
6.4	Participación de IATASA en la campaña de monitoreo de aguas superficiales y subterráneas Quebrada de Vis Vis – Campo del Arenal y monitoreo isotópico-hidroquímico de Quebrada Vis Vis	81
6.4.1	Monitoreo de calidad de aguas superficiales y subterráneas según PCA actualmente en revisión	81
6.4.2	Monitoreo isotópico – hidroquímico quebrada de Vis Vis	82
7.	ANÁLISIS DEL DISEÑO FINAL DE LA SISTEMATIZACIÓN DE LA CUENCA HÍDRICA ASOCIADA AL SISTEMA DE DEPOSICIÓN DE LAS COLAS, INCLUYENDO LOS APORTES DE CURSOS DE AGUA NATURAL QUE INGRESAN A LA OBRA EN FUNCIÓN DEL CIERRE DE LA MISMA.....	83
8.	ANÁLISIS DEL CONJUNTO DE DRENAJES LATERALES Y DE FUNDACIÓN DE LA PRESA QUE COLECTAN LAS FILTRACIONES CONDUCENTES AL SISTEMA DE CAPTACIÓN DE DRENAJES AGUAS ABAJO DEL DIQUE	88
9.	ANÁLISIS DE LA EVOLUCIÓN DEL DISEÑO DEL VERTEDERO.....	92
10.	INTEGRACIÓN DE TODOS LOS ASPECTOS EVALUADOS EN FUNCIÓN DE LA EVALUACIÓN DEL PLAN DE CIERRE DEFINITIVO	93
11.	VIAJES	94
12.	ANEXOS.....	101

Tablas

TABLA 3. 1 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	19
TABLA 5. 1 ANTECEDENTES AÑO 2011	25
TABLA 5. 2 ANTECEDENTES AÑO 2012	25
TABLA 5. 3 ANTECEDENTES AÑO 2013	26
TABLA 5. 4 ANTECEDENTES AÑO 2014	26
TABLA 5. 5 ANTECEDENTES AÑO 2015	26
TABLA 5. 6 ANTECEDENTES AÑO 2016.....	27
TABLA 5. 7 ENSAYOS DE REVEGETACIÓN REALIZADOS	28
TABLA 5. 8 MEDIOS DE IMPLANTACIÓN Y CUIDADOS.....	29
TABLA 5. 9 ASPECTOS A PROFUNDIZAR POR LA EMPRESA.....	30
TABLA 5. 10 SÍNTESIS DE ESTUDIOS REALIZADOS	30
TABLA 5. 11 RECOMENDACIONES POR PARTE DE IATASA	31
TABLA 5. 12 PRUEBAS EJECUTADAS.....	32
TABLA 5. 13 ASPECTOS A PREVER CONSIDERAR EN EL PROYECTO DE COBERTURA Y REVEGETACIÓN	33
TABLA 5. 14 CONCLUSIONES A LAS QUE SE LLEGA EN ESTE ESTUDIO	34
TABLA 5. 15 SÍNTESIS DE ACCIONES PARA EL PLAN DE CIERRE	40
TABLA 5. 16 CUADRO RESUMEN	57
TABLA 5. 17 CONCLUSIONES Y/O RECOMENDACIONES.....	71
TABLA 6. 1 CONCLUSIONES Y/O RECOMENDACIONES	81
TABLA 7. 1. COMPARACIÓN DE VALORES DE PRECIPITACIÓN MENCIONADOS EN DISTINTOS ANEXOS. FUENTE: PLAN CIERRE DE MINA - RES. SEM 396-2016.	92
TABLA 7. 2. LONGITUD DE CAUCE PRINCIPAL, TIEMPO DE CONCENTRACIÓN Y VELOCIDAD MEDIANTE TRASLADO. FUENTE: ESTUDIOS DE ESTABILIDAD Y PLAN DE CIERRE CONCEPTUAL PARA EL AUMENTO DE LA COTA FINAL DEL DIQUE DE COLAS A 2347 M – KNIGHT-PIÉSOLD 2015.	84
TABLA 7. 3. CÁLCULOS DE VERIFICACIÓN REALIZADOS. FUENTE: ELABORADO POR IATASA.	94
TABLA 8. 1. CAUDAL PROMEDIO AFORADO DEL DREN DE MURO Y DREN DE FUNDACIÓN DURANTE LAS ETAPAS 17 Y 18 SOBRE LA BASE DE DATOS DE MINERA ALUMBRERA PROVISTOS POR LA DIPGAM.	89
TABLA 8. 2. PERMEABILIDADES ADOPTADAS PARA LOS MATERIALES DE LA PRESA SOBRE LA BASE DEL INFORME FINAL “CONSULTORIA TÉCNICA DE INGENIERÍA DE OBRAS MINERAS: DIQUE DE COLAS EN BAJO LA ALUMBRERA” – IATASA 2014.	90
TABLA 8. 3. COTA PELO DE AGUA LIBRE PROMEDIO DE LA LAGUNA SOBRENADANTE DURANTE ETAPAS 17 Y 18 SOBRE LA BASE DE DATOS DE MINERA ALUMBRERA PROVISTOS POR LA DIPGAM.	99
TABLA 8. 4. CAUDAL ESPECÍFICO DEL DREN DE MURO DURANTE LAS ETAPAS 17 Y 18 SOBRE LA BASE DE DATOS DE MINERA ALUMBRERA PROVISTOS POR LAS DIPGAM.ETAPA	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
TABLA 8. 5. COMPARACIÓN ENTRE LOS CAUDALES DEL DREN DE FUNDACIÓN DE LOS MODELOS ELABORADOS POR IATASA Y LOS OBTENIDOS SOBRE LA BASE DE DATOS DE MINERA ALUMBRERA PROPORCIONADOS POR LA DIPGAM PARA LAS ETAPAS 17 Y 18.....	92
TABLA 11. 1. MINUTA DE REUNIÓN	94
TABLA 11. 2. MINUTA DE REUNIÓN	95
TABLA 11. 3. MINUTA DE REUNIÓN	96
TABLA 11. 4. MINUTA DE REUNIÓN	96

TABLA 11. 5. MINUTA DE REUNIÓN	97
TABLA 11. 6 MINUTA DE REUNIÓN	98
TABLA 11. 7 MINUTA DE REUNIÓN	99
TABLA 11. 8 MINUTA DE VIAJE	99
TABLA 11. 9 MINUTA DE REUNIÓN	100

Figuras

- FIGURA 6. 1. VISTA DE ESTRUCTURA, AVENAMIENTO Y UBICACIONES DE PB24, PB29 Y MWS24. FUENTE: ELABORADO POR IATASA CON UBICACIONES DE POZOS DE RETROBOMBEO PROVISTAS POR DIPGAM.
- FIGURA 6. 2. IDEM FIGURA 6.1 CON UBICACIÓN DE LA PLUMA DE AGUAS DE PROCESO (COLOR AZUL) Y DE MEZCLA (COLOR VIOLETA). FUENTE: ELABORADO POR IATASA CON UBICACIONES DE POZOS DE RETROBOMBEO PROVISTAS POR DIPGAM; Y DISTRIBUCIÓN DE LA PLUMA DE AGUAS DE PROCESO Y MEZCLA OBTENIDA DE LA RESPUESTA CÉDULA DE NOTIFICACIÓN N° 154/16 – DICIEMBRE 2016.
- FIGURA 6.3. VISTA REGIONAL DE LOS POZOS Y PUNTOS DE AGUAS SUPERFICIALES MONITOREADOS ACTUALMENTE Y DEL MARCO GEOLÓGICO-ESTRUCTURAL REGIONAL. FUENTE: ELABORADO POR IATASA CON UBICACIONES DE POZOS DE RETROBOMBEO Y MONITOREO Y DE PUNTOS SUPERFICIALES DE MONITOREO PROVISTAS POR DIPGAM.
- FIGURA 6.4. VISTA DE LOS POZOS DE RETROBOMBEO MONITOREADOS Y NO MONITOREADOS. SE MUESTRAN TAMBIÉN LOS POZOS DE EMERGENCIA (VERDE). FUENTE: ELABORADO POR IATASA CON UBICACIONES DE POZOS DE RETROBOMBEO PROVISTAS POR DIPGAM.
- FIGURA 8. 1. CAUDALES DE LOS VERTEDEROS DEL DREN DE MURO Y DREN DE FUNDACIÓN Y COTA DE PELO DE AGUA LIBRE DE LA LAGUNA SOBRENADANTE DURANTE LA CONSTRUCCIÓN DE LAS ETAPAS 17 Y 18. FUENTE: ELABORADO POR IATASA CON INFORMACIÓN DE MINERA ALUMBRERA PROVISTA POR LA DIPGAM.
- FIGURA 8. 2. CAUDALES DE LOS VERTEDEROS DEL DREN DEL DIQUE DE COLAS Y DREN DE FUNDACIÓN EN FUNCIÓN DEL NIVEL DE AGUA DE LA LAGUNA SOBRENADANTE DURANTE LA CONSTRUCCIÓN DE LAS ETAPAS 17 Y 18. FUENTE: ELABORADO POR IATASA CON INFORMACIÓN DE MINERA ALUMBRERA PROVISTA POR LA DIPGAM.
- FIGURA 8. 3. SECCIÓN TRANSVERSAL ETAPA 17. COTA DE CORONAMIENTO 2338,9M. FUENTE: ELABORADO POR IATASA CON INFORMACIÓN OBTENIDA DEL INFORME DE CONSTRUCCIÓN ETAPA 17 – KNIGHT-PIÉSOLD (2015).
- FIGURA 8. 4. SECCIÓN TRANSVERSAL ETAPA 18. COTA DE CORONAMIENTO 2343M. FUENTE: ELABORADO POR IATASA CON INFORMACIÓN OBTENIDA DEL INFORME DE CONSTRUCCIÓN ETAPA 18 – KNIGHT-PIÉSOLD (2016).
- FIGURA 8. 5. RED DE ESCURRIMIENTO EN TODO SU DESARROLLO DURANTE LA CONSTRUCCIÓN DE LA ETAPA 17. FUENTE: ELABORADO POR IATASA.
- FIGURA 8. 6. RED DE ESCURRIMIENTO EN DETALLE DE LA ZONA DE LA PRESA DURANTE LA CONSTRUCCIÓN DE LA ETAPA 17. FUENTE: ELABORADO POR IATASA.
- FIGURA 8. 7. RED DE ESCURRIMIENTO EN TODO SU DESARROLLO DURANTE LA CONSTRUCCIÓN DE LA ETAPA 18. FUENTE: ELABORADO POR IATASA.
- FIGURA 8. 8. RED DE ESCURRIMIENTO EN DETALLE DE LA ZONA DE LA PRESA DURANTE LA CONSTRUCCIÓN DE LA ETAPA 18. FUENTE: ELABORADO POR IATASA.

FIGURA 8. 9. LÍNEAS DE CORRIENTES Y EQUIPOTENCIALES, SECCIONES Y CAUDALES ESPECÍFICOS DEL DREN DE FUNDACIÓN Y LOS POZOS DE RETROBOMBEO DURANTE LA ETAPA 17. FUENTE: ELABORADO POR IATASA. FUENTE: ELABORADO POR IATASA.

FIGURA 8. 10. LÍNEAS DE CORRIENTES Y EQUIPOTENCIALES, SECCIONES Y CAUDALES ESPECÍFICOS DEL DREN DE FUNDACIÓN Y LOS POZOS DE RETROBOMBEO DURANTE LA ETAPA 18. FUENTE: ELABORADO POR IATASA.

FIGURA 11. 1. RECORRIDO 10/08/2016 DURANTE LA MAÑANA. FUENTE: IATASA.

FIGURA 11. 2. PRUEBAS DE REVEGETACIÓN EN BOTADERO PUENTE. FUENTE: IATASA.

FIGURA 11. 3. COBERTURA CON MATERIAL BARREN CORE EN BOTADERO PUENTE. FUENTE IATASA.

FIGURA 11. 4. RECORRIDO 10/08/2016 DURANTE LA TARDE. FUENTE: IATASA.

FIGURA 11.5. POSIBLE ZONA DE UBICACIÓN (AL SUR) DEL VERTEDERO DE DESCARGA. FUENTE: IATASA.

FIGURA 11. 6 CORONAMIENTO DEL DIQUE DE COLAS. POSIBLE ZONA DE UBICACIÓN DE FREATÍMETROS. FUENTE: IATASA.

FIGURA 11. 7 DESLIZAMIENTOS SUPERFICIALES EN EL ESPALDÓN DE AGUAS ABAJO DE LA PRESA. FUENTE: IATASA.

FIGURA 11. 8 VERTEDERO DE AFORO DEL AGUA CAPTADA POR EL DREN DE MURO. ZONA CERCANA A LA DCP. FUENTE: IATASA.

FIGURA 11. 9 VERTEDERO DE AFORO DEL AGUA CAPTADA POR EL DREN DE FUNDACIÓN. ZONA CERCANA A LA DCP. FUENTE: IATASA.

FIGURA 11. 10 QUEBRADA EN MARGEN DERECHA. FUENTE: IATASA

DIQUE DE COLAS
MINA BAJO LA ALUMBRERA – PROVINCIA DE CATAMARCA
Informe Final – 20 de Mayo 2017

1. INTRODUCCIÓN

El objetivo del trabajo es contribuir a garantizar la estabilidad química del Dique de Colas hasta su etapa de post-cierre, a partir de un seguimiento minucioso y continuo de las variables operacionales de la Obra.

El alcance de este Informe Final, consiste en la recopilación y análisis de antecedentes en todo lo relacionado a los aspectos ambientales de controles específicos vinculados con el Dique de Colas de esta explotación minera, y analizar el comportamiento de la cobertura de material a disponer sobre las colas, el análisis del sistema de retrobombeo y ubicación de la pluma con aguas de proceso del Dique de Colas y el análisis del diseño de la Sistematización de la Cuenca Hídrica donde se halla emplazada la estructura en consideración.

2. ANÁLISIS DE DOCUMENTACIÓN ANTECEDENTE

El análisis de antecedentes comprende los provenientes de los envíos efectuados por la DiPGAM y de otros recopilados por IATASA relacionados con la temática abordada (ver Anexo 1 para un listado detallado de todos los documentos revisados).

2.1 ANÁLISIS DE ANTECEDENTES PROPORCIONADOS POR SEM-DIPGAM

Se han revisado y analizado documentos provistos por la Dirección Provincial de Gestión Ambiental Minera (DiPGAM) para la verificación de la estabilidad química del dique de colas. A continuación se resumen los aspectos principales de la información estudiada.

Se analizó toda la documentación provista referente a los *Programas de Control Ambiental del componente Sistema de Manejo de Colas*, sus respectivas resoluciones SEM aprobatorias y su evolución en el tiempo desde su entrada en vigencia a partir del año 2010, según se detalla a continuación:

Programa de Control Ambiental Perforación de pozos de retrobombeo y de monitoreo en la quebrada de Vis Vis: Se analizó

información de perforaciones realizadas para monitoreo de aguas subterráneas (denominadas MW) y para el sistema de retrobombeo (denominadas PB). Se estudiaron los perfiles de los pozos y se ubicaron las perforaciones sobre imágenes satelitales de Google Earth.

Programa de Control Ambiental Monitoreo de aguas para determinar metales trazas en el río Vis Vis: Se revisó información referente al programa de monitoreo ambiental de metales trazas, cuya función es evaluar tendencias en el comportamiento de metales traza (fracción disuelta) en diferentes puntos de la cuenca del río Vis Vis. **Programa de Control Ambiental Monitoreo de calidad de aguas en Vis Vis:** Se analizó información referente al programa de monitoreo trimestral de calidad de aguas.

Programa de Control Ambiental Sistema de retrobombeo de pozos: Se revisó información referente al programa del sistema de retrobombeo.

Programas de Control Ambiental Construcción del Dique de Colas y Monitoreo del Dique de Colas: Se revisó información referente al programa de construcción y monitoreo del Dique de Colas. El objetivo de este monitoreo es garantizar la estabilidad del cierre, para lo cual se evalúa el comportamiento del murallón, determinando la inexistencia de movimientos en el cerramiento y midiendo parámetros que permiten calcular y controlar las infiltraciones y las presiones hidrostáticas existentes en las distintas elevaciones y capas de la estructura del dique. Se estudiaron lecturas de piezómetros instalados en la presa, lectura de flujos en vertederos de filtración del dren y lecturas topográficas de prismas instalados en el espaldón del dique, siendo los datos más modernos los correspondientes al mes de Septiembre de 2015. También se revisaron informes de la supervisión de construcción.

Programa de Control Ambiental Revegetación del Dique de Colas: Se analizó información referente al programa de revegetación del Dique de Colas (áreas planas), cuyo principal objetivo es desarrollar la metodología adecuada para la revegetación con especies nativas en las áreas planas rehabilitadas del Dique de Colas y de esta manera prevenir la erosión y promover la formación de suelo y restauración del paisaje natural de la zona. Se cuentan con resultados trimestrales (e informes anuales) de monitoreos de supervivencia y crecimiento de las especies ensayadas, hasta un informe global del intervalo 2010-2015. Este tema tendrá un mayor desarrollo por parte de especialistas en el apartado 5.

Programas de Control Ambiental Sistema de cobertura del Dique de Colas y Material aluvial de Tampa Tampa: Se analizó información referente al programa del sistema de cobertura del Dique de Colas, cuyo principal objetivo es verificar el desempeño de una prueba de cobertura de material

aluvial sobre las colas, evaluando su comportamiento hidráulico de almacenamiento y liberación de humedad, evitando la percolación del agua sobre el material cubierto. El sistema de cobertura se diseña para, el control de polvo y erosión, provisión de un medio de crecimiento para el establecimiento de vegetación sostenible y principalmente la estabilización química del material depositado evitando la exposición de las colas a las condiciones atmosféricas. Se cuentan con resultados trimestrales (e informes anuales) de monitoreos de celdas de prueba de coberturas, con datos hasta Enero de 2016. Por otro lado, también se cuenta con datos de un programa de pruebas cinéticas, desde 1999 cuando se inician los ensayos, compuestos por celdas y piletas. Además, se revisaron las caracterizaciones geotécnicas y ambientales del material aluvial del abanico de Tampa Tampa, que será utilizado en la cobertura. Este tema tendrá un mayor desarrollo por parte de especialistas en el apartado 5.

Minera Alumbraera – Estudio de Erosión Hídrica en la Cuenca del Río Vis Vis en Relación a la Capacidad de Almacenamiento del Dique de Colas, Agosto 2014, Golder Associates S.A.: en este documento se ha realizado un análisis enfocado en evaluar la capacidad de transporte y producción de sedimentos de las cuencas tributarias al Dique de Colas, que proporcionan flujo y sedimentos a la cubeta del dique. En el periodo de post-cierre, los sedimentos se acumularán, y potencialmente irían quitando capacidad de almacenamiento en la cubeta. El análisis realizado consistió en evaluar la capacidad de transportar sedimentos, a través de varias metodologías, y evaluar la disponibilidad de sedimentos en las cuencas aportantes. Este documento de significativa importancia se analiza como parte de los temas hidráulicos y de erosión hídrica para el cierre.

Determinación de Precipitaciones y Caudales de diseño - Estudio Hidrológico de Crecidas - Proyecto de Cierre Botaderos y Dique de Colas – Alumbraera, Octubre 2012, Golder Associates S.A.: este documento antecedente tiene como objetivo realizar un estudio hidrológico para la estimación de caudales máximos de crecidas para el diseño de obras hidráulicas como parte del plan de cierre, referido a la cuenca de aporte sobre el área del Dique de Colas, para diferentes períodos de retorno. Se ha realizado lo siguiente: análisis de los registros de precipitaciones de la cuenca, determinación de tormenta de diseño, análisis de frecuencias, determinación de caudales de crecidas y verificación de resultados asociados a la respuesta hidrológica de la cuenca (hidrogramas y volúmenes de escorrentía). Este documento de significativa importancia se analiza al estudiar los temas hidráulicos y de erosión hídrica.

Recalibración del modelo de flujo y transporte de solutos Quebrada de Vis Vis – Minera Alumbraera, Abril 2010, Australasian Groundwater & Environmental Consultants Pty Ltd (AGE): este trabajo incluye lo siguiente: revisión de los modelos hidrogeológicos y de transporte de solutos anteriores; recalibración del modelo según los datos obtenidos desde 2005 utilizando los valores reales de bombeo en los pozos del sistema de retrobombeo y asumiendo la concentración de los solutos (SO₄) en la fuente (Dique de Colas) de 2.500 mg/l; ejecución de la simulación predictiva hasta 2017 utilizando los actuales valores de bombeo del sistema de retrobombeo; realización de la simulación predictiva correspondiente al período comprendido entre 2018 y 2025 y optimización al momento de la puesta fuera de servicio del sistema de retrobombeo. Tras una amplia revisión del modelo anterior de AGE, se introdujeron modificaciones en relación con la grilla del modelo, el método para simular la percolación y división por zonas de las propiedades hidráulicas del acuífero, con el objeto de mejorar el desempeño y la exactitud del modelo. Estos cambios han sido documentados en las secciones pertinentes de este informe. Este documento, de significativa importancia, se está considerando junto con otros previos relacionados al comportamiento hidrogeológico regional y en el sector, para utilizarlo como conocimiento del comportamiento hidrogeológico del área, al estudiar distintos aspectos como la distribución de la pluma mineralizada, límites y barreras hidrogeológicas, etc.

Revisión del modelo geotécnico - Mina La Alumbraera, Febrero 2011, E-Mining Technology S.A.: este documento consiste en una revisión geotécnica del Pit con el propósito de reconocer la factibilidad de cumplimiento de las fases previstas y visualizar oportunidades de mejora. Se revisó y analizó integralmente la información y modelos geotécnicos disponibles, reconociendo las actuales y potenciales problemáticas. Este informe se utiliza como parte del conocimiento general del modelo geológico-estructural de la zona.

Plan de Cierre de Mina - Resolución SEM 396-2016, Noviembre 2016, Minera Alumbraera YMAD-UTE: en este documento y sus anexos se describen los criterios, medidas, acciones y programas de monitoreo que deben contemplarse en la etapa de cierre y **post**-cierre sobre las instalaciones principales, instalaciones complementarias e instalaciones auxiliares de Minera Alumbraera. La revisión del mismo se centró en lo relativo al Dique de Colas y sus componentes.

Informe de construcción Etapa 18 (Knight-Piesold), Diciembre 2016:
Informe de construcción Etapa 18 del Dique de Relaves: información de material utilizado, programa de movimiento de tierra, sección transversal de la presa y programas de instrumentación geotécnica (ubicación piezómetros en

sección y planta) al de la presa y programas de instrumentación geotécnica (ubicación piezómetros en sección y planta).

Por otro lado, se revisaron modelos hidrogeológicos de transporte de masa (HydroGEO 1995-1997, IATASA 1999, y AGE 2002), como así también los comentarios de profesionales que analizaron y evaluaron la validez de estos modelos, que serán tenidos en cuenta para la evaluación de la estabilidad química del Dique de Relaves. Se analizaron datos referentes a las filtraciones del Dique de Relaves, así como su predicción a partir de los modelos hidrogeológicos revisados.

En los análisis se tuvieron en cuenta las distintas actualizaciones del informe de impacto ambiental y sus respectivas resoluciones SEM aprobatorias, con el consecuente análisis de las obligaciones emergentes para la empresa minera en cada una de las actualizaciones.

Se estudiaron también las investigaciones realizadas para la caracterización geoquímica y ambiental de las colas.

Se revisaron, además, informes de estabilidad y plan conceptual de cierre para el dique de colas presentados a la fecha.

Se analizaron otras mediciones realizadas, como el oxígeno presente en los poros del material del muro del Dique de Colas.

Se analizaron estudios de investigación realizados por diversos profesionales: estudios isotópicos e hidroquímicos de aguas, estudios de las relaciones entre las manifestaciones de aguas termales y las estructuras geológicas (en particular, fracturas) presentes en el área, estudio de geología de detalle en la quebrada Vis Vis, estudios geofísicos de prospección y para reconocimiento de estructuras geológicas, informes de hidroquímica de las aguas de la cuenca del río Vis Vis e informes de peligro sísmico para el proyecto Alumbraera.

Dentro de los aspectos legales se revisaron todas las resoluciones y decretos provistos referentes a la creación de la DiPGAM, a la creación del Registro Único de Consultores Minero Ambientales y las resoluciones SEM específicas para el proyecto Alumbraera de aprobación de los Informes de Impacto Ambiental y sus correspondientes Declaraciones de Impacto Ambiental, como así también de la validación y aprobación de los respectivos Programas de Control Ambiental específicos del proyecto Alumbraera.

Se analizó en forma detallada el contenido de la resolución SEM 396/16 que aprueba la Guía para la elaboración del plan de cierre para la industria minera en la provincia de Catamarca.

Se revisó el informe de la Auditoría de Control de la Gestión Ambiental Gubernamental requerido por la Auditoría General de la Nación a la Autoridad de Aplicación en 2015 en donde se requiere diversa documentación y especificaciones sobre la gestión ambiental del proyecto Alumbraera y el control y fiscalización ambiental ejercidos por la Autoridad de Aplicación.

Por otro lado, se revisaron las respuestas de Minera Alumbraera a la solicitud de información y aclaraciones por parte de DiPGAM, incluidas en la Cédula de Notificación 154/16. Estas respuestas se han analizado y han sido tenidas en cuenta en la realización del presente informe.

Se revisó y analizó, además, el “Informe de impacto ambiental. Proyecto Bajo La Alumbraera. Ampliación de actividades. Sitio de extracción y Obras Anexas en Bajo El Durazno - Fase 1”.

2.2 ANÁLISIS DE ANTECEDENTES DE OTRAS FUENTES

Personal de IATASA recopiló estudios, trabajos y guías metodológicas de cierre de mina para su aplicación en la evaluación de la estabilidad química del Dique de Relaves. A continuación se resumen los aspectos principales y su relevancia para estos estudios:

Decreto Supremo Nº 248 - Reglamento para la aprobación de proyectos de diseño, construcción, operación y cierre de los depósitos de relaves (Ministerio de Minería de la República de Chile) – 2007: se describen los aspectos necesarios que deben contemplarse para diseñar, construir, operar y cerrar (temporalmente o permanentemente) depósitos de relaves, según el Ministerio de Minería de la República de Chile. Este documento puede ser utilizado como guía y conocimiento general de los procedimientos de cierre de un depósito de relaves.

Sánchez, L. E., 1995. Drenaje de minas a cielo abierto. Aspectos Geológicos de Protección Ambiental, Volumen I, UNESCO: se describe la problemática del drenaje de minas y el diseño de un sistema de drenaje para recolectar, transportar y depositar finalmente las aguas de escurrimiento superficial de modo que la integridad de los terrenos y las características de los cuerpos de agua receptores sean preservadas. Este documento puede proveer conocimiento general sobre el tratamiento de los fluidos presentes en el depósito de relaves.

Guía Ambiental Para el Cierre y Abandono de Minas. Ministerio de Energía y Minas de Perú: este documento proporciona una visión general de objetivos, criterios y tecnologías disponibles para el cierre de minas y su

propósito, y brinda pautas para planificar el establecimiento de criterios para el cierre de minas específicos para cada yacimiento minero en vista de los problemas ambientales variables y complejos relacionados con la minería en las diversas regiones geográficas. El diseño de cierre de minas es una actividad específica para cada yacimiento y debe tomar en consideración el clima, la hidrogeología, la sensibilidad del medio ambiente y el uso final que se le dará a la tierra una vez concluidas las actividades mineras. Este documento puede ser utilizado como guía y conocimiento general de los procedimientos de cierre de una mina.

Guía metodológica para el cierre de faenas mineras. Acuerdo marco de producción limpia sector gran minería, buenas práctica y gestión ambiental. Ministerio de Minería de la República de Chile, 2002: este documento tiene como propósito orientar a los operadores mineros y/o titulares de proyectos mineros en la elaboración de “Planes de Cierre de Faenas Mineras”. Estos planes son una herramienta que permite identificar y cuantificar los impactos ambientales negativos generados en la etapa de cierre de una mina, así como definir medidas de acción presentes y futuras para prevenirlos, minimizarlos y/o mitigarlos y desarrollar un cronograma de ejecución de las medidas proyectadas, de forma de dar cumplimiento al marco jurídico ambiental que aplique para la etapa de cierre del sitio. Este documento puede ser utilizado como guía y conocimiento general de los procedimientos de cierre de una mina.

Guía para la elaboración y revisión de planes de cierres de minas. Proyecto de asistencia al sector público minero metalúrgico del Perú Per-Can, Convenio de Perú – British Columbia Canadá y la Agencia Canadiense de Desarrollo Internacional (CIDA), Ministerio de Energía y Minas (Perú) y Ministerio de Energía y Minas de Columbia Británica (Canadá), 2002: este documento tiene como finalidad orientar a la industria minera y a las autoridades ambientales de aplicación de Perú en la implementación de un enfoque estandarizado para la elaboración y revisión de los planes de cierre de minas en las diferentes etapas del desarrollo minero (preparación de un plan inicial, desarrollo de los planes finales cuando la vida útil de la mina se acerca a su fin, hasta la etapa post-cierre con la preparación de informes de mantenimiento y monitoreo). Este documento puede ser utilizado como guía y conocimiento general de los procedimientos de cierre de una mina.

Muñoz, J. O., 2008. Planes de Cierre Mineros – Curso Resumido. Temas Ambientales: en este documento se destacan los aspectos principales a tener en cuenta al desarrollar planes de cierre de minas. Entre estos aspectos se encuentran el drenaje y tratamiento de lixiviados ácidos,

estabilización de labores mineras, aspectos hidrológicos superficiales e hidrogeológicos, manejo de suelos contaminados, manejo de depósitos de relaves, aspectos socio-económicos y aspectos legales. Este documento puede ser utilizado como guía y conocimiento general de los procedimientos de cierre de una mina, y en particular en lo que refiere a la estabilización y protección de desechos minero-metalúrgicos.

Valenzuela, L., 2015. Tailings Dams and Hydraulic Fills. The 2015 Casagrande Lecture. Geotechnical Synergy in Buenos Aires 2015: en este documento se describen presas de relleno hidráulico y se citan ejemplos de su uso alrededor del mundo. Además, se describen presas de relaves, se citan ejemplos y se discuten problemas comunes a estas. Se considera el comportamiento geotécnico de suelos granulares bajo presiones confinantes altas, el cual es importante comprender debido a las alturas elevadas que pueden alcanzar las presas. Además, se describen consideraciones a tener en cuenta en el análisis de la estabilidad y deformación de presas de relaves. Este documento será tenido en cuenta como conocimiento general y, en particular, tendrá relevancia en la auscultación del dique.

Curso Knight Piesóld de presas de relaves. Asistencia en Catamarca por parte de IATASA del Ing. Luis Sortheix, 2004: se describen y caracterizan los tipos de residuos que se generan en los procesos mineros y los aspectos y criterios que deben contemplarse para el diseño de las instalaciones destinadas a su almacenamiento (presa de relaves y botaderos de estéril). Este documento puede ser utilizado como guía y conocimiento general de las características y comportamiento de los materiales que se generan en los procesos mineros (se adjuntan algunas filmas – ver Anexo 2).

Review of tailings management guidelines and recommendations for improvement. International Council on Mining and Metals (ICMM), Diciembre 2016: Revisión de guías de manejo de colas, recomendaciones y conclusiones. Se hace mención a los últimos accidentes mundiales de ruptura de diques de colas. Este documento será tenido en cuenta como conocimiento general y, en particular, tendrá relevancia en la auscultación del dique.

Planning for Closure 2016 – First International Congress on Planning for Closure of Mining Operations: Trabajos presentados en el congreso de planeamiento de cierre de minas, celebrado en Santiago de Chile, en Noviembre de 2016. Estos trabajos serán tenidos en cuenta como conocimiento general y de los avances en la temática.

3. ANÁLISIS DE LA CARACTERIZACIÓN Y EVOLUCIÓN QUÍMICA DE LAS COLAS

Se han revisado, integrado y sintetizado todos los antecedentes de documentación provistos por la DIPGAM referentes a la caracterización y evolución química de las colas con el objetivo de:

- a. clarificar la información disponible acerca de la caracterización y evolución química de las colas hasta la actualidad
- b. evaluar qué aportes concluyentes derivan de estos antecedentes.

3.1 ANTECEDENTES ANTERIORES A 2016

Se encuentra documentada la caracterización de las colas mediante ensayos estáticos y cinéticos (celda de humedad 1 y pileta de lixiviación 1) sobre muestras de colas para determinar el potencial de lixiviación de ácido en los siguientes documentos:

- Dique de Colas y Evaluación de Riesgos Potenciales de Generación de Drenaje Ácido (Minera Alumbraera).
- Análisis de datos de pruebas cinéticas a enero 2000 para siete celdas de humedad y cuatro piletas de prueba (Minera Alumbraera, abril 2000).
- Presentación trimestral de Minera Alumbraera sobre el drenaje ácido de roca (Minera Alumbraera, julio 2000).
- Reseña sobre el Drenaje Ácido de Rocas (Minera Alumbraera, marzo 2001).
- Creación de un modelo sobre el potencial de Drenaje Ácido de Roca en Bajo de la Alumbraera (Minera Alumbraera, diciembre 2000).
- Informe resumido sobre del Drenaje Ácido de Roca (Minera Alumbraera, junio 2002).
- Informe semestral – Drenaje Ácido de Rocas (Minera Alumbraera, marzo 2003).
- Informe semestral Drenaje Ácido de Rocas (Minera Alumbraera, febrero 2004).

Están documentados los datos de los ensayos cinéticos dentro de la información antecedente desde el año 2000 hasta el 2007, bajo el formato de Informes DAR (drenaje ácido de roca) presentados a la Autoridad de Aplicación

con frecuencia trimestral y/o semestral, además de las determinaciones previas realizadas dentro del Informe de Impacto Ambiental (Knight Piésold, 1995) para determinar las características químicas de los depósitos de colas, cuyos resultados indicaron que las colas son potencialmente generadoras de ácido (PGA) y que los metales contenidos no sufrirían lixiviación por aportes pluviales, de escurrimiento fluvial o de aguas de deshielo.

En el año 2008 se presentaron los estudios de Mesh y O’Kane (Abril 2008 y Agosto 2008) que se realizaron con dos objetivos: 1) la caracterización geoquímica de las colas para evaluar su potencial de generación de ácido y 2) la predicción (modelación) de la evolución química del agua intersticial en las colas en condiciones futuras (al cese de la operación minera). Para la concreción de las dos fases de este estudio se obtuvieron muestras *in situ* en el Dique de Colas a diferentes profundidades y en colas de diferente antigüedad de deposición en el dique. En el año 2011, y a pedido de la Autoridad de Aplicación, se realizó la evaluación de los informes presentados por Mesh y O’Kane (2008), a cargo de la Universidad de Nacional de Tucumán (Hidalgo, Fernández, Sesma y Puchulu, 2011) y en ambos informes los autores observan varias inconsistencias metodológicas (métodos de toma de muestras en campo, criterios de selección de muestras para envío a laboratorio, método de tratamiento de la muestra en laboratorio, métodos de análisis químicos, certificación del laboratorio, QA/QC en todas las instancias, entre otros) que hicieron que los autores de ambos estudios no sean concluyentes en su totalidad en base a los objetivos planteados.

Esta documentación es concluyente sobre las muestras de colas analizadas y obtenidas del dique de colas activo y a escala operativa que fueron clasificadas como PGA y cuando fueron irrigadas artificialmente en piletas de campo, se clasificaron como de naturaleza ácida. La incidencia de la irrigación de las colas aceleraría el inicio de las condiciones de acidez. Mesh y O’Kane (2008) en su informe no es concluyente sobre: a) el momento en que se iniciarían las condiciones de generación de drenaje ácido en condiciones naturales de meteorización en el dique de colas (en caso de ocurrir este fenómeno); b) si existe una vinculación o condicionamiento entre el momento de la colocación del material de cobertura, con respecto al inicio de las condiciones de generación de drenaje ácido (en caso de ocurrir este fenómeno) y c) la predicción (modelación) de la evolución química (parámetros químicos indicadores y/o esperables en función del tiempo) del agua intersticial en las colas en condiciones futuras (al cese de la operación minera).

Todos los estudios realizados y disponibles de caracterización de colas (hasta 2008) y siempre con el objetivo de su clasificación PGA/no PGA se refieren a las colas provenientes de la planta del concentrador de oro y cobre.

No se dispuso de información documentada del efluente (colas) de la planta de molibdeno que entró en operación en el año 2008, ni del efluente (colas) proveniente del yacimiento Bajo del Durazno en actividad a partir de 2015. IATASA no ha encontrado estudios que analicen, en términos de caracterización química, el aporte de estos nuevos efluentes al dique de colas y su incidencia en la composición química final de las colas depositadas, y del agua intersticial de las colas.

3.2 ANTECEDENTES AÑO 2016

El Plan de Cierre de Mina (Minera Alumbraera, 2016) no contiene aportes inéditos referente a la caracterización y evolución química de las colas. Este documento presenta, nuevamente, los estudios realizados hasta el año 2008 (que ya habían concluido en clasificar a las colas como PGA), sugiriendo la probabilidad de que puedan generar DAR (drenaje ácido de roca) en el tiempo, una vez expuestas a las condiciones climáticas superficiales y su posterior oxidación (apartado 7.2.2 Justificación de Medidas de Cierre, Procesos DAR o DAM, del Plan de Cierre de Minera Alumbraera, 2016).

Se ha analizado la documentación provista por la DiPGAM, CN DiPGAM 154/16 y Respuesta CN DiPGAM 154/16, donde se solicita la información disponible sobre las características físico-químicas de las colas a la salida de la planta concentradora (estado líquido), en el ingreso al dique de colas (estado líquido) y en el dique una vez sedimentadas (estado sólido). En la respuesta se indica que se dispone de datos para uno de los puntos de muestreo solicitados, es decir a la salida de la planta concentradora y que los mismos han sido colectados durante la etapa de operación minera con una frecuencia anual. En dicha respuesta, se adjuntan los datos del último muestreo correspondiente al mes de Noviembre de 2016 (una muestra). Sobre este informe de laboratorio IATASA menciona que el mismo no parece concordar con el punto de muestreo donde ha sido tomado, en base a su estado físico: a la salida de la planta concentradora la muestra obtenida debería ser en estado líquido (con un alto contenido de sólidos en suspensión), envasada en botella para el envío a su análisis en laboratorio, y el laboratorio indica que la muestra recibida es sólida o “aparentemente seca” y que ha sido recibida en un sobre con envoltura de papel aluminio y plástico. Asimismo, no está indicado el objetivo de este muestreo, se menciona que *“Minera Alumbraera realiza el muestreo de las colas a la salida de la Planta Concentradora para realizar la completa determinación de su composición, de manera anual”*. IATASA indica que este dato aislado genera interrogantes y no permite hacer ninguna conclusión. IATASA requiere solicitar más información y especificaciones concretas a Minera Alumbraera,

para comprender exactamente qué tipo de muestreo es el que se ha venido realizando en las colas de forma anual durante la etapa de operación de la mina, qué objetivos tuvo ese muestreo y qué parámetros fueron seleccionados para muestrear y sus fundamentos; qué tipo de muestra se obtiene (sólida o líquida), qué laboratorio las analiza, etc.; y, eventualmente, solicitar todos los protocolos de muestreo para poder evaluar los resultados y sus tendencias.

3.3 CONSIDERACIONES ACERCA DE UN PROGRAMA DE MUESTREO DE COLAS PARA LA ACTUAL ETAPA DEL PROYECTO MINERO

En el mes de Noviembre de 2016 personal de IATASA junto con el equipo de profesionales y técnicos de la DiPGAM, participó de la campaña de toma de muestras de las colas programada por personal de la DiPGAM. Se contó también con la presencia de personal de la empresa Minera Alumbraera.

Se tomaron 5 muestras en total: ACQC001 (efluente de la planta de molibdeno); ACQ002 (efluente planta concentrador), ACQ003 y ACQ004 (efluente en el canal federal) y ACQ005 (colas sólidas de una antigüedad aproximada de 10 años). Las muestras fueron enviadas para su análisis químico al laboratorio.

La caracterización química del efluente (colas) a la salida de la planta concentradora (estado líquido) durante los años de operación minera y con los parámetros adecuados de análisis físico-químico, podría haber complementado los datos obtenidos de los estudios realizados en los diversos ensayos realizados en las colas para determinar su PGA, sobre todo hacer un seguimiento, en caso de que hubiese habido o no variaciones químicas importantes a la salida de planta, durante los años de operación minera. Este enfoque de análisis no ha sido realizado durante la etapa de explotación, y si bien como fue mencionado en el apartado 3.2 existen datos anuales de un muestreo anual que lleva a cabo la empresa, Minera Alumbraera debería evaluar si los mismos podrían ser pertinentes y concluyentes para poder vincularlos.

Al presente estado de avance del proyecto minero, en fase prevista de cese de operaciones durante el año 2018 (de acuerdo al Plan de Cierre, Minera Alumbraera, 2016), IATASA no considera prioritario ni relevante abocarse al análisis del efluente (en su punto de emisión), al no tener certeza de que los datos que fueron colectados por la empresa hayan tenido este objetivo y así sirvan para evaluar tendencias en el tiempo.

Sin embargo, IATASA considera relevante prever un muestreo de caracterización físico-química de las colas ya sedimentadas en el cuenco del dique, con fines agronómicos (como es sugerido en el apartado 5.6) para

definir las características de la matriz edáfica que conformarán las colas sedimentadas junto con la cobertura de material aluvial de Tampa Tampa, con la finalidad de optimizar la revegetación de la superficie final del dique de colas.

3.4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Esquemáticamente se presentan en la Tabla 3.1 las conclusiones y recomendaciones.

Tabla 3.1 Conclusiones y recomendaciones.

CONCLUSIONES Y/O RECOMENDACIONES	OBSERVACIONES Y/O DEFINICIONES FALTANTES
Las colas provenientes de la planta concentradora de cobre y oro fueron clasificadas como PGA en ensayos y estudios documentados hasta el año 2008 y cuando fueron irrigadas fueron clasificadas como ácidas (apartado 7.2.2 Justificación de Medidas de Cierre, Procesos DAR o DAM, del Plan de Cierre de Minera Alumbraera, 2016).	Esta información es concluyente. Se ha trabajado durante toda la etapa de explotación en función de esta clasificación del efluente minero, para lo cual IATASA observa que se implementaron como medidas de control ambiental los PCA vigentes.
Muestreo de caracterización físico-química de las colas ya sedimentadas en el dique, con fines agronómicos	Se considera relevante para definir las características de la matriz edáfica que conformarán las colas sedimentadas junto con la cobertura de material aluvial de Tampa, a fines de optimizar la revegetación de la superficie final del dique de colas. Definir el programa de muestreo e incluir en el cronograma de tareas.

4. ANÁLISIS DEL MANEJO Y CAPTACIÓN DE LOS APORTES

Se ha revisado el documento Plan Cierre de Mina - Res. SEM 396-2016, mencionado en el punto “2. Análisis de documentación antecedente”, y a partir de su análisis surgen los comentarios que se presentan a continuación.

Las cuencas de aporte al Dique de Colas identificadas en el Anexo 7.3.2 D son diferentes a las del Anexo 7.3.2 C, se han subdividido las cuencas 3 y 7. Deberían ser las mismas en ambos Anexos.

En el Anexo 7.3.2 D, para la estimación de arrastre de sedimentos se emplean las fórmulas de Van Rijn y Meyer Peter Müller, se debería describir el material y justificar la aplicabilidad de dichas fórmulas. Se deberían solicitar las referencias de los trabajos de ambos autores. En la página 6 de 9 del mencionado Anexo, se presenta la fórmula de Isbich para estimar la velocidad crítica, se debería también referenciar. La estimación de gasto sólido para un evento de crecida de 25 años de recurrencia no queda claramente justificada, ya que el aporte de sedimentos será un proceso continuo y debería analizarse a partir de una transformación lluvia caudal de tipo continua y no sólo con un evento aislado. En la página 8 de 9 del mencionado Anexo 7.3.2 D, se indica que los volúmenes de aportes de sedimentos estimados con la fórmula de Meyer Peter Müller, han sido considerados para el diseño de las obras de control de sedimentos; se debería indicar cuáles son dichas obras y la efectividad de las mismas.

5. ANÁLISIS DEL DISEÑO FINAL, MATERIALES Y MÉTODOS DE TRABAJO PARA LA COBERTURA Y REVEGETACIÓN DEL DIQUE DE COLAS

Este informe está orientado a contribuir con las acciones que desarrolla la SEM-DiPGAM de la Provincia de Catamarca, destinadas a favorecer el control de la estabilidad química de la presa de relaves a partir de la optimización de la cobertura, la revegetación y la recomposición biótica.

Se tomaron en cuenta para su elaboración los antecedentes analizados en el Anexo 1 y la bibliografía que se describe en el Anexo 4.

El trabajo que ahora se presenta es una sistematización, con una estructuración integradora de las observaciones y comentarios a los que se ha arribado en cada una de las instancias de revisión, con un reordenamiento en su estructura expositiva y con el propósito de que se constituya en un aporte propositivo para la gestión futura de las actividades en desarrollo por la

DiPGAM, a las cuales está dirigida en el marco del Plan de Cierre de Minera Alumbraera.

Los apartados que integran este capítulo reconocen pues el mismo marco analítico al que se ha incorporado un proceso integrador de los elementos en revisión y una presentación sintética para constituirse en herramienta operativa y soporte de la toma de decisiones para la formulación y ejecución de ese Plan de Cierre.

5.1 COMENTARIO PRELIMINAR: MARCO CONCEPTUAL, ALCANCES Y METODOLOGÍA

El marco conceptual adoptado para este capítulo, que a su vez ha determinado la adecuación de las pautas metodológicas, se sustenta en un conjunto de premisas que involucran tanto el objeto mismo de evaluación (la revegetación en un proceso de Cierre de Mina) cuanto los alcances que se han dado a la tarea y sus limitaciones: las tareas de revegetación, están acotadas al área de disposición de relaves, lo cual significa un recorte operativo de un sistema mayor. Asimismo, también es un recorte metodológico y operativo la consideración exclusiva y excluyente de la revegetación como elemento integrante de un proceso de restauración ambiental más amplio, que incluye componentes y funciones que es posible separar en un proceso analítico pero que reconocen una impronta sistémica, razón por la cual se ha integrado en este ítem la consideración conjunta del elemento vegetación como la del soporte edáfico, insoslayable, no ya en razón de considerar requerimientos para lograr la estabilidad física y química del Dique de Relaves, sino por las implicancias, ya del funcionamiento del sistema suelo - agua – planta – aire, que constituye la unidad.

Estas premisas se señalan en los siguientes puntos:

- **La revegetación es sólo una de las acciones** a llevar a cabo en un Plan de Cierre Minero que tiene estrechas interacciones con otras orientadas a la recomposición o rehabilitación integral de ambientes alterados por las actividades.
- La revegetación es sin duda un **componente estructurador** del sistema a rehabilitar, pero también interdependiente del sustrato edáfico y del clima, en una suerte de interacción de diferentes grados ya que es uno de los factores formadores de suelos, y asimismo demandante de soporte físico y nutriente.

- En este orden es que se entiende necesario integrar a las observaciones sobre revegetación, cuestiones relativas a las características físico-químicas del material de relave y del material a emplear en la cobertura, ya que ambos materiales constituirán la matriz edáfica de la vegetación.
- **La revegetación tiene funciones diferenciadas** conforme sean los objetivos que se le atribuyan, los que a su vez son múltiples y no siempre concurrentes.
- Uno de los objetivos centrales considera al proceso de revegetación como un elemento orientado a **la estabilización física y química de la cobertura y material subyacente de un dique de colas**. Desde este objetivo resultaría indiferente el origen de las especies vegetales que se apliquen si se prioriza la función estabilizadora de la vegetación en el menor tiempo posible.
- Otro objetivo contempla la revegetación como parte de un proceso de recomposición o de rehabilitación en los términos de la Ley 24585, que define etapas sucesivas de exigencia creciente al hablar de recomposición, como el conjunto de acciones de protección del ambiente que comprenden la mitigación, la rehabilitación o restauración de la afectación, según corresponda. En cambio se entiende la rehabilitación como un escalón de mayor complejidad al definirlo como la acción de restablecimiento de la función productiva o aptitud potencial de un recurso hídrico o del suelo. Sin embargo en ambos casos la concepción del bien a recuperar es sistémica al comprender a los componentes bióticos y abióticos, su estructura y función, y es este el marco considerado, refiriendo nuestros comentarios sobre lo actuado en el mismo.
- Estos dos objetivos pueden ser concurrentes, pero en términos temporales el cumplimiento de las metas que se planteen pueden, no obstante, diferir. Es allí donde adquiere relevancia la priorización casuística de esos objetivos y la compatibilización de acciones que puedan satisfacer propósitos múltiples en el marco de un programa de trabajo integrador. Así por ejemplo, la revegetación en términos de rehabilitación se entiende como uno de los componentes de un sistema complejo al que se busca restaurar en su función productiva y aptitud en “su ambiente” y en ese contexto se prioriza la selección de especies nativas aún cuando su eficiencia para lograr la estabilidad de relaves pueda resultar menor que con el empleo de especies exóticas.

- En ambas situaciones la vegetación y su desarrollo dependen de factores ambientales comunes, en particular la matriz edáfica o, en rigor, el “sustrato de cultivo” sustitutivo de un suelo en su verdadera concepción, esto es el que reconoce un determinado desarrollo pedogenético.
- Esta nueva matriz, puede contener además de sustancias nocivas presentes en el sitio con anterioridad al emprendimiento minero, otras tales como los metabolitos derivados del mismo como las empleadas en los procesos de extracción, que pueden ser fitotóxicas, o generar una modificación al ecosistema que dificulte o impida la recomposición de las comunidades preexistentes.
- El marco conceptual valora la propiedad de bioacumulación de sustancias recalcitrantes por parte de especies nativas o exóticas en tanto su empleo esté contenido en un plan coherente y en las buenas prácticas en la materia. Esta cuestión adquiere relevancia cuando la revegetación se asume más que como un mero proceso de estabilización física y química de los materiales acumulados en las colas, como un elemento estructurante en la rehabilitación ambiental, cuestión que involucra a la nueva matriz edáfica (se denomina matriz edáfica al sistema constituido por el material de relave sedimentado y el material aluvial e inertes que se utilizan como cobertura del Dique de Relave y soporte de la vegetación que sobre ésta se implante), que se genera a partir del material de relave, y los empleados en la cobertura, así como a la acción en el tiempo de los agentes climáticos y de la misma vegetación como uno de los factores formadores del suelo, y las consecuencias en la fauna nativa y en la actividad pastoril.
- Se asigna particular importancia a la definición del uso a futuro o de restricciones de uso del área final resultante del Dique de Colas.
- **Se entiende relevante la mejor delimitación posible de los objetivos de revegetación**, esto es si están dirigidos a facilitar la estabilización física y química del material de relave que incluya tanto la disminución de procesos erosivos como reducción de la infiltración del agua superficial y de agentes contaminantes o, la neutralización de procesos formadores de ácidos, o bien que tengan un marco más amplio como el que define la Ley 24585 y se refiere a los alcances de un Plan de Manejo Ambiental.

A partir de estos supuestos conceptuales se desarrolló una propuesta metodológica, por parte de IATASA, que contiene las siguientes instancias secuenciales o simultáneas:

- Revisión y sistematización de los antecedentes de lo actuado en el caso y compilación de los documentos en cuadros de síntesis de contenidos.
- Identificación y sistematización de los interrogantes que generó la revisión del material.
- Recepción, análisis y respuesta a los interrogantes que sobre el particular ha formulado el equipo técnico de la DiPGAM.
- Visitas de reconocimiento de campo y reuniones conjuntas de intercambio de conocimientos DiPGAM – ALUMBRERA – IATASA.
- Interacción con el equipo técnico de la DiPGAM y búsqueda de resolución a los interrogantes planteados de aportes al proceso que se lleva adelante para el cierre del Dique de Relaves de la Alumbraera.
- Relevamiento bibliográfico orientado a contextualizar el proceso de extracción minera local y aportar elementos comparativos con la situación nacional en desarrollo minero, normas regulatorias y procedimiento, mejores prácticas con énfasis en material relativo al cierre de minas dando lugar a una recopilación de material nacional e internacional.
- Integración de lo actuado en un informe de situación y formulación de conclusiones y recomendaciones.

5.2 ASPECTOS RELATIVOS AL COMPONENTE DE REVEGETACIÓN

5.2.1 SÍNTESIS DEL ANÁLISIS DEL MATERIAL ANTECEDENTE Y DE LO ACTUADO

5.2.1.1. PRIMERA ETAPA

Se analizaron entre otros los informes trimestrales, anuales y globales, como así también los documentos recibidos sobre Revegetación del Dique de Colas e Informe de Golder sobre Diseño Conceptual de Cobertura en el Dique de Colas y Botaderos, remitidos por la DiPGAM bajo los siguientes aspectos:

La restauración de la vegetación, en base a tareas de estudio e identificación de la flora del lugar, la recolección y el tratamiento de semillas, reproducción de ejemplares a partir de semillas, recolección de ejemplares existentes en el lugar, estudio de mejoras para las acciones de crecimiento.

Medio de implantación, particularidades de los suelos para arraigo de las especies, tareas de composición de los suelos.

Y bajo los siguientes conceptos expresados en los informes citados en las siguientes tablas (Tablas 5.1 a 5.6):

Tabla 5.1 Antecedentes Año 2011

Año	Nº	Fecha	Nombre
2011	1º	22-agos.	Revegetación Dique de Colas Rev. 2
	2º	22-agos.	Cronograma de Actividades Revegetación
	3º	27-nov.	Antecedentes Revegetación
	4º	19-agos.	Organigrama Revegetación

Tabla 5.2 Antecedentes Año 2012

Año	Nº	Fecha	Nombre
2012	5º	30-ener.	Informe de Colas
	8º	14-agos.	DiPGAM 81-12
	9º	3-sept.	PCA Revegetación Dique de Colas 01-2012
	6º	11-abr.	Informe Trimestral Dique de Colas
	7º	26-jun.	Informe Trimestral Revegetación Marzo-Mayo 2012
	11º	2-oct.	Informe Trimestral Revegetación junio-agosto STF 2012
	13º	24-dic.	Informe Trimestral Dique de Colas setiembre-noviembre 2012
	12º	22-nov.	Informe Anual Revegetación dique de Colas sep.-nov. 2012

Tabla 5.3 Antecedentes Año 2013

Año	Nº	Fecha	Nombre
2013	10º	20-may.	RES SEM N°330-13 Revegetación Dique de Colas
	14º	18-mar.	Informe Trimestral Dique de Colas dic.2012/febr.-2013
	15º	27-jun.	Informe Trimestral Revegetación Marzo-Mayo 2013
	16º	2-oct.	Informe Trimestral Revegetación junio-agosto 2013
	17º	24-ener.	Informe Trimestral Dique de Colas setiembre-noviembre 2013
	18º	6-marzo	Informe Anual Revegetación Dique de Colas diciembre 2012-noviembre 2013

Tabla 5.4 Antecedentes Año 2014

Año	Nº	Fecha	Nombre
2014	92º-	20-oct.	Informe Golder- Ingeniería de Detalle de Rehabilitación de Dique de Colas y Botadero- Diseño Conceptual de Coberturas en el Dique de Colas y Botaderos
	19º	6-marz.	Informe Trimestral Dique de Colas diciembre-enero-febrero 2014
	20º	24-jul.	Informe Trimestral Revegetación marzo-abril- mayo 2014
	21º	22-oct.	Informe Trimestral Revegetación junio-julio- agosto 2014
	22º	12-febr.	Informe Trimestral Dique de Colas setiembre-octubre-noviembre 2014
	23º	9-abr.	Informe Anual 2014 Revegetación Dique de Colas

Tabla 5.5 Antecedentes Año 2015

Año	Nº	Fecha	Nombre
2015	25º	29-jun.	Informe Análisis Tisulares
	24º	5-may.	Revegetación Dique de Colas Informe Trimestral diciembre-enero-febrero 2015
	26º	14-jul.	Informe Trimestral Revegetación marzo-abril- mayo 2015
	27º	24-sep.	Informe Trimestral jun-jul-agosto 2015 Revegetación Dique de Colas
	28º	11-dic.	Informe Trimestral Dique de Colas setiembre-octubre-noviembre 2015 revegetación Dique de Colas

Tabla 5.6 Antecedentes Año 2016

Año	Nº	Fecha	Nombre
2016	29º	3-febr.	Informe Global Revegetación Dique de Colas

Con los siguientes resultados:

- La aplicación del fertilizante urea aumenta la mortalidad en las especies estudiadas.
- El uso de urea, no se traduce en diferencias significativas en el crecimiento.
- El uso de hidrogel no genera aumentos significativos en ninguno de los parámetros de crecimiento medidos en las especies estudiadas.
- El factor de mayor importancia en la supervivencia y crecimiento de las especies analizadas es el agua.
- El uso de diferentes tipos de cobertura para semillas de especies nativas, no genera diferencias significativas en la supervivencia de las plántulas.
- Por lo tanto, el uso de fertilizantes, geles y cubiertas no genera diferencias significativas en los índices y parámetros estudiados, en consecuencia, no se justifica su uso.

Conclusiones generales de los informes analizados en esta etapa por IATASA:

Sobre la base de la documentación presentada, se entiende la importancia del tema de la revegetación del cuenco del Dique de Colas por muchos aspectos, todos los cuales confluyen en premisa a las acciones de reparación ambiental. Si bien no es posible una vuelta al origen, el objetivo es encarar acciones sostenibles en el tiempo, que controlen los efectos de la actividad minera y que las mismas se retroalimenten.

La revegetación no es un hecho aislado, sino que por el contrario es factible por acciones previas programadas, ya ensayadas por varios años y su éxito será generador de la preservación y de la remediación del sitio. Para que esto suceda, es necesaria, la elección de las especies convenientes a implantar y de una interface entre la vegetación y las colas; su disposición va a garantizar tanto estanqueidad, como un medio de arraigo para la vegetación.

Con el concepto de la importancia de la revegetación, se determinan en los informes tareas a implementar, cronogramas, acciones y responsabilidades tendientes a garantizar la revegetación del Dique de Colas, con la premisa de la restauración ambiental/paisajística y de estabilización de la cobertura de la Presa de Relaves, para lo cual se han seleccionado especies a reproducir y la determinación de factores que puedan colaborar con el éxito de la revegetación.

Se destaca que:

- Las autóctonas del lugar son las apropiadas, pero los aportes extras de fertilizantes y riegos no las han favorecido.
- Sería necesaria la incorporación de una capa de suelo fértil sobre el material de la presa, ya que se verificó que las raíces no lo penetran y tampoco germinan las semillas aplicadas por siembra directa sobre él, y bajo este aspecto se realizaron ensayos con espesor de capa aluvial.

En los documentos se reafirman los conceptos que justifican la revegetación y las acciones necesarias para su factibilidad. Se determinan las normas que regularan los monitoreos y el equipo responsable.

Las pruebas tienden a prever las medidas más convenientes para mejor garantizar el éxito de la revegetación, lo cual genera garantías respecto de la perdurabilidad de la cobertura, aislación de las colas, la recomposición paisajística y el nuevo equilibrio eco-sistémico.

El análisis de la documentación presentada se analiza según el siguiente cuadro (Tabla 5.7):

Tabla 5.7 Ensayos de revegetación realizados

Especies seleccionadas para la revegetación	Resultados de los ensayos
Estudio de la flora del lugar Recolección de semillas y ejemplares. Ensayos de vivero Ensayos de ubicación en la presa	<ul style="list-style-type: none"> • La aplicación de urea aumenta la mortalidad en las especies estudiadas y no se observan diferencias sustantivas de crecimiento • El uso de Hidrogel no genera aumentos significativos en ninguno de los parámetros de crecimiento medidos en las especies estudiadas. • El factor de mayor importancia en la supervivencia y crecimiento de las especies analizadas es el agua. • El uso de diferentes tipos de cobertura para semillas de especies nativas, no genera diferencias significativas en la supervivencia de las plántulas.

	<p>Por lo tanto, el uso de fertilizantes, geles y cubiertas no genera diferencias significativas en los índices y parámetros estudiados, en consecuencia, no se justifica su uso.</p> <p>Algunos ejemplares han desarrollado el sistema radicular de forma lateral, por la incapacidad de las raíces de penetrar las colas.</p>
--	---

Algunos ejemplares ubicados sobre la presa de relaves han alcanzado menor grado de desarrollo de aquellas ubicadas en viveros, lo cual puede deberse a un posible efecto tóxico sobre las plantas por acumulación de metales pesados en los tejidos. Esto se produce como consecuencia de un aumento de su bio-disponibilidad debido al bajo pH que presentan las colas y su posible ascenso por capilaridad.

Se comprobó en tres especies ubicadas en el sitio de la mina, la presencia más alta de Cu en sus componentes en relación a las mismas especies, en Los Nacimientos (fuera del sitio de mina). El sustrato de las plantas muestra concentraciones altas de cobre. Por las mayores concentraciones de Cu en la especie *Zucagnia Punctata* (jarilla Macho), se considera que la misma puede ser utilizada como bioremediadora.

Estas especies vegetales en el Dique de Colas, tuvieron la capacidad de absorber metales y sobrevivir a la absorción de cobre en sus raíces y tallos y poder perpetuarse en el sitio.

Asimismo, se encontraron ejemplares de *Pappophorum caespitosum* y *Cercidium praecox*, comidas por los animales domésticos.

Por otro lado, se ha sintetizado el medio de implantación y sus cuidados, según la siguiente tabla (Tabla 5.8):

Tabla 5.8 Medios de implantación y cuidados

Medios de implantación y cuidados
Tipos de suelo para la germinación en viveros.
Tipos de suelos a ubicar en la presa para proliferación de las especies seleccionadas para la re-vegetación.

Sobre estos aspectos se considera importante la profundización en los siguientes temas (Tabla 5.9):

Tabla 5.9 Aspectos a profundizar por la empresa

Aspectos a profundizar	
A. Restauración morfológico paisajística	Contemplar la posibilidad de generar formas rugosas y desniveles
B. Perdurabilidad de las capas protectoras	Tener en cuenta la vida útil de la membrana geotextil, por condiciones propias y por situaciones climáticas
C. Reposición de aportes	Monitoreo del terreno y otros elementos aportados sobre el cuenco de la presa y su reposición.
D. Perdurabilidad de la cobertura vegetal	Permanencia de la cubierta vegetal y reposición de pérdidas de masa vegetal.
E. Mediciones	Se recomienda realizar mediciones en adelante a una tasa anual para los ensayos “Diciembre 2010”y “Abril 2011”, ya que las especies vegetales se han establecido y adaptado.

5.2.1.2. SEGUNDA ETAPA

Se analizan aquí las tareas, ensayos y estudios enfocados en revegetación en el cuenco Presa de Relaves, incluidos los requerimientos del suelo para la supervivencia de los ejemplares y la aislación de las colas.

Dichos estudios, ya realizados, se sintetizan en el siguiente cuadro (Tabla 5.10):

Tabla 5.10 Síntesis de estudios realizados

Especies seleccionadas para la revegetación	<ul style="list-style-type: none"> a. Estudio de la flora del lugar: b. Recolección de semillas y ejemplares: c. Ensayos de vivero: d. Ensayos de ubicación en la presa
Ensayo Diciembre 2010.	Uso de Fertilizante
Ensayo Abril 2011.	Uso de Hidrogel
Ensayo Diciembre 2012	Cobertura Geo-Textil y Material Aluvial. Pruebas de Siembra Directa aportes de urea e hidrogel
Desarrollo de técnicas de revegetación sobre Dique de Colas de MAA - Ma2013-” realizado por Ausenco Vector, con fecha 30/01/2012	Ensayos de implantación de plantines y siembra de semillas en Dique de Colas Ensayo de fertilización y riego

Conclusiones

A partir de la documentación revisada, IATASA sugiere reiterar que:

- Las especies autóctonas del lugar son apropiadas, y los aportes extras de fertilizantes y riegos no las han favorecido.
- Sería necesaria la incorporación de una capa de suelo fértil sobre el material de la presa (relaves), ya que se verificó que las raíces no lo penetran, y tampoco germinan las semillas aplicadas por siembra directa sobre él. Teniendo en cuenta este aspecto, se realizaron ensayos con una cubierta de capa aluvial.

En los documentos se reafirman los conceptos que justifican la revegetación y las acciones necesarias para su factibilidad. Se determinan las normas que regularán los monitoreos y el equipo responsable.

Las pruebas tienden a prever las medidas más convenientes para garantizar el éxito de la revegetación, lo cual genera garantías respecto a la perdurabilidad de la cobertura, aislación de las colas, la recomposición paisajística y el nuevo equilibrio eco-sistémico.

Recomendaciones y nuevas consultas (Tabla 5.11)

Tabla 5. 11 Recomendaciones por parte de IATASA

Restauración morfológico - paisajística	Se sugiere el modelado de la superficie del cuenco.
Perdurabilidad de cubiertas protectoras	Contemplar la posible pérdida de cobertura y la migración de elementos por efectos físicos y climáticos.
Reposición de aportes	Mantener las condiciones de suelo favorables para el recubrimiento efectivo del cuenco en la presa.
Perdurabilidad de la cobertura vegetal	Conservar y mejorar el potencial de mejoras adquirido en cuanto a la reforestación.

5.2.1.3. TERCERA ETAPA

Sobre la base de la documentación presentada a la DiPGAM por la minera correspondiente a las acciones a implementar por el Plan de Cierre de la Mina se menciona:

Los estudios, investigaciones y pruebas de campo relacionados a los principales componentes de la mina (**Anexo 2-2** del Plan de Cierre, Minera Alumbraera, 2016) son los siguientes:

- Rehabilitación progresiva de Botaderos de Estéril.

- Sistema de coberturas de Botaderos de Estéril.
- Sistema de coberturas del Dique de Colas.
- Revegetación de Botaderos y Dique de Colas.

Las actividades de ingeniería y rehabilitación realizadas son:

- Obtención y transporte de material estéril benigno (Talud del muro de cierre) y material aluvial de Tampa Tampa (Superficie de colas) para la construcción de las coberturas.
- Diseño final y construcción del sistema de manejo de agua superficial.
- Estabilización (Nivelación) de las superficies del terreno, control de erosión y adecuación de la red de drenaje.
- Revegetación de la superficie.
- Revisión y adaptación de la actual red de monitoreo de aguas subterráneas.
- Revisión y adaptación de los actuales sistemas de control de estabilidad del dique.
- Compra y colocación de cartelera.
- Escarificación y cierre de caminos que no se utilizarán.

Pruebas de Revegetación para coberturas del Dique de Colas y Botaderos (Tabla 5.12)

Tabla 5.12 Pruebas ejecutadas

2004 – 2005: Etapa inicial de los estudios sobre revegetación en MAA.	Comprende la construcción de viveros, laboratorio, estudio de la flora local y tareas de germinación.
2005 – 2008: Continúa la investigación acerca de las especies que se encuentran en el sitio de mina.	2º relevamiento de la flora, estudio de factibilidad de germinación, elaboración de la guía y reproducción.
2008-2009: Participación de investigadores del CONICET (Instituto de Zonas Áridas de Argentina) en los programas de revegetación de MAA	Pruebas en viveros, pruebas de diferentes técnicas en viveros, relevamientos para la distribución a campo y plantación en botaderos.
2010 – 2013: Pruebas en campo de revegetación durante la operación con la participación de investigadores del CONICET (instituto de Zonas áridas de Argentina)	Ensayos de resistencia, con diferentes sustratos y ensayos en diversos sectores.
2014 – 2015: Relevamientos y análisis estadísticos de las pruebas de revegetación en campo.	Armado de banco de germoplasma, recolección de semillas, mantenimiento de viveros, selección de sustratos y tareas de revegetación.

Consideraciones

Se observa en el documento del Plan de Cierre la necesidad de reiterar la importancia de una reparación ambiental/paisajística de la Presa de Relaves, detallando la importancia de desarrollar sobre la Presa de Relaves, una revegetación “que ayude a alcanzar la estabilidad de los suelos y a recuperar la capacidad de soporte de la vida silvestre”, con especies preferentemente autóctonas del lugar, implantada sobre un suelo de aporte del tipo aluvial, considerando la importancia de la flora para la recuperación del hábitat natural.

Se destaca una preferencia de acción a realizar a partir de las aéreas de borde y finalizando con las áreas centrales una vez que estas hayan perdido la humedad.

Se destaca sobre la base de los estudios precedentes la importancia de las capas de recubrimiento de la presa y la función de las mismas, para que no exista migración de sustancias tanto desde las colas hacia la capa de arraigo, como desde el exterior hacia las colas, entendiéndose que una capa de suelo granular evitaría el ascenso por capilaridad y una membrana geotextil no tejida evitaría tanto el ascenso de sales como el aporte de aguas a las colas.

En diversos estudios presentados por MAA, se ha definido:

- la importancia de aislar los materiales depositados en el cuenco de la Presa de Relaves,
- la factibilidad de la supervivencia de especies,
- se han detallado las características de las especies factibles de incorporar,
- la capacidad de yacimientos para el suelo de aporte sobre la presa (cuenco).

Se considera oportuno que Minera Alumbraera prevea la presentación detallada y puesta en acción de un proyecto de cobertura y revegetación, en el que se consideren (Tabla 5.13):

Tabla 5.13 Aspectos a prever considerar en el proyecto de cobertura y revegetación

Tipo y espesores de cobertura	Se considera necesario unificar el criterio de cobertura de la presa, en cuanto a materiales y espesores y analizar el tema del impacto producido por la movilización del material.
Recomposición de morfología y relieve	Contemplar el modelado de la superficie del cuenco de la Presa, como parte importante para la recuperación ambiental.

Detallado del parcelado del plan de acción	Desarrollar un plan de trabajos, en el que se detallen las acciones de relleno y revegetación que se amalgamen en un proyecto de recomposición ambiental.
Empleo de especies exóticas y/o nativas	Definir los condicionantes y/o ventajas de distintas especies, factibles de emplearse para bio-remediación o restauración del paisaje.
Seguimiento, reparación y perdurabilidad de las capas protectoras de cobertura.	Observar las condiciones de las capas y los planes de restauración.
Seguimiento y monitoreo de vegetación	Establecer un plan que detecte anomalías en la recomposición y corrección de acciones.

Las conclusiones se detallan en la siguiente tabla (Tabla 5.14):

Tabla 5. 14 Conclusiones a las que se llega en este estudio

Conclusiones
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Establecer un proyecto acotado ▪ Cuantificar los elementos ▪ Especificar los porcentajes de degradación de los elementos incorporados ▪ Detallar las acciones intermedias a realizarse antes del 2023 ▪ Establecer un cronograma de acciones detallado y medidas de mitigación que garanticen el éxito del Plan de Cierre de la MAA, en un solo y definitivo documento.

5.2.2 ANÁLISIS DE DOCUMENTACIÓN ADICIONAL DE FECHA RECIENTE

Este apartado comprende observaciones derivadas del siguiente material de informes, mencionado en la sección 2:

- Secretaria de Minería de la Provincia de Catamarca, Resolución S.E.M. N° 396/16, Guía para la Elaboración del Plan de Cierre para la Industria Minera en la Provincia de Catamarca, del 1 de junio de 2016.
- CÉDULA DE NOTIFICACIÓN DIPGAM - NOTA DEPE N° 154/16 - DEL 25.NOV.16
- YMAD-UTE, RESPUESTA A NOTA DEPE N°154/16;
- YMAD-UTE. PLAN DE CIERRE – Versión 1 V1.R0 -Nov.2016., S/; RESOL. S.E.M.396/16 – Comentarios finales.
- Resolución S.E.M. N° 396/16, Guía para la Elaboración del Plan de Cierre para la Industria Minera en la Provincia de Catamarca,

○ **Secretaría de Minería de la Provincia de Catamarca, Resolución S.E.M. Nº 396/16, Guía para la Elaboración del Plan de Cierre para la Industria Minera en la Provincia de Catamarca, del 1 de junio de 2016.**

Según lo dispuesto por la Secretaría de Minería (SEM) por Resolución S.E.M. Nº 396/16, en la que se aprueba la Guía para la Elaboración del Plan de Cierre para la Industria Minera en la Provincia de Catamarca, el 1º de junio de 2016, se asumen para la Minera Alumbreira los lineamientos a seguir para el Plan de Cierre.

En efecto, entre los *VISTOS* de esta Norma se destaca...” *La necesidad de complementar el marco regulatorio establecido por la Ley Nº 24.585, en el ámbito de Cierre de Mina, para efectos de su implementación, sin perjuicio de otras normas especiales que se dicen respecto de la misma Ley...*”

Se define en el texto legal “*Que las actividades concernientes al cierre de las labores mineras e instalaciones de la Industria Minera son parte del ciclo de su vida útil, y deben ser ejecutadas por la Empresa Minera antes del término de sus operaciones, de manera tal que, al cese de éstas, se encuentren implementadas las condiciones de Estabilidad Física, Química y Estructural en el lugar en que operó la Minera.*”

De este modo la Provincia de Catamarca, a partir de la Sanción de esta Resolución, responde a lo determinado en el Art.16º de la Ley Nº 24585, que establece que se deben reglamentar los procedimientos, métodos y estándares requeridos conducentes a la protección ambiental, indicando además en el Art. 15º los parámetros a adoptar como procedimientos técnicos de muestreo y análisis.

A su vez se expresa en el ARTICULO 7º, correspondiente a las Medidas de Cierre, “*El Plan de Cierre, debe ser elaborado a nivel de factibilidad, en base a la estructura señalada en el Anexo 1 del presente reglamento. Debe ser ejecutado en forma progresiva durante la vida útil de la operación minera, al término de la cual se debe cerrar el resto de la áreas, labores e instalaciones que por razones operativas no hubieran podido cerrarse durante la etapa productiva o comercial, de forma tal que se garantice el cumplimiento efectivo de los siguientes objetivos: Estabilidad física, química y estructural a largo plazo, Rehabilitación de las áreas afectadas, Uso alternativo de áreas o instalaciones.*” Establece en el Art. 8º: “*el titular deberá cumplir con las medidas de cierre progresivo establecidas en el Plan de Cierre...*” y en el Art. 9º dispone que “*se deberán presentar ante la Dirección Provincial de Gestión Ambiental Minera, un informe semestral...*”

Por su parte señala en el Art.11º que, “*si se modificase más del 50% del contenido del Plan de Cierre, por sugerencia de partes, (de la Empresa o de la DiPGAM), o por procesos de mejora continua, la Empresa deberá presentar una nueva versión para su aprobación, por parte de la Autoridad de Aplicación....*”.

El Plan deberá actualizarse cada dos años a partir de la aprobación.

Se define en el ITEM III GLOSARIO, como Estabilidad Química, a la “*Situación de control en agua, aire y suelo, de las características químicas que presentan los materiales contenidos en las obras o depósitos de una Industria Minera, cuyo fin es evitar, prevenir o eliminar, si fuere necesario, la reacción química que causa acidez, evitando el contacto del agua con los residuos generadores de ácidos que se encuentren en obras o depósitos de relaves, botaderos, depósito de estériles y ripios de lixiviación*”.

Así mismo se detalla en el índice del Plan de Cierre, que se deberá incluir:

- Un Plan de Obras, acciones y/o medidas propuestas, programa de seguimiento o monitoreo de variables ambientales, de prevención de riesgos y de seguridad relevante y el plazo estimado de ejecución.
 - Condiciones del sitio del proyecto para posibilitar la valoración de la afectación a los medios físico, biológico, socio-económico y social.
 - Incluir en la estabilización geoquímica, la consideración de la forma del terreno, la revegetación y la rehabilitación de hábitats.
- **CÉDULA DE NOTIFICACIÓN DiPGAM - NOTA DEPE N° 154/16 - DEL 25/11/16.**

De la nota se extraen los siguientes puntos relativos al tema de revegetación de la presa:

Pág. 1) Antecedentes: los lugares Inspeccionados en la presente inspección fueron los siguientes:

-Pruebas de Revegetación y Cobertura de material Estéril en Botadero Puente.

Pág. 1) Resultados constatados en la presente inspección fueron los siguientes:

-No se encuentra en el campo con un programa de revegetación definido, sino que se continúa con prueba y ensayos.

- La revegetación debe cumplir con el proceso de conducción para que su evolución sea independiente.

- Es conveniente realizar acciones de contingencia ante escenarios de fitotoxicidad, que perjudiquen la cobertura vegetal a implementar.

- La cobertura cierre debe ser realizada en un plazo de hasta 10 años, caso contrario se originaría el desarrollo de colas fuertemente ácidas cerca de la superficie.

-Considerar el volumen de materia de cobertura que estará ausente a causa de los taludes definidos para su construcción.

-Analizar el posible sesgo de análisis de humedad que provocaría el uso de geotextil en las tomas de datos de las pruebas de cobertura.

-Analizar la efectividad a largo plazo de los 30 cm de drenaje considerando la vida útil del geotextil, en las condiciones de diseño planteadas para el ensayo.

-Se puede aportar al componente social a partir de la generación de germoplasma en las comunidades.

Pág. 2) Se solicita a la empresa Minera Alumbra Ltd.:

h) Efectuar previsiones de contingencia ante escenarios de fitotoxicidad que perjudiquen la cobertura vegetal a implementar.

i) Considerar el volumen de material de cobertura que estará ausente a causa de los taludes definidos para su construcción.

j) Analizar el posible sesgo del análisis de humedad que provocaría el uso de un geotextil.

k) Analizar la efectividad a largo plazo de los 30 cm de drenaje considerando la vida útil del geotextil en las condiciones de diseño planteadas para el ensayo.

l) Presentar planos con las secciones y etapas constructivas correspondientes a la construcción de la etapa 18.

m) Informar en tiempo real a esta autoridad de aplicación sobre la ejecución de nuevos trabajos, avances, mejoras y/o actividades realizadas.

En síntesis, la **Nota DEPE 154/6**, destaca en lo relativo a revegetación, los siguientes aspectos resultantes de la inspección:

- Inexistencia de un programa de revegetación. limitándose las actividades de este componente a la continuación de pruebas y ensayos piloto.
- Preocupación por la eventual fitotoxicidad que pueda presentar el material de relave y de cobertura con el consecuente efecto negativo sobre la cobertura vegetal implantada.

- Importancia asignada a la participación de la comunidad en la formación de un banco de germoplasma

- **Respuesta CN DIPGAM 154/16 – Secretaría de Minería de Catamarca**

En relación al tema que nos ocupa, se destacan y transcriben las siguientes respuestas por parte de Minera Alumbra a los requerimientos de DiPGAM en la Cédula de Notificación 154/16:

“h) Efectuar previsiones de contingencia ante escenarios de fitotoxicidad que perjudiquen la cobertura vegetal a implementar.

En un depósito de colas antiguas, en las cabeceras del dique, se encuentra una prueba de campo de cobertura, la cual consiste en una capa de cobertura aluvial de 0,5 m de 25 x 25 m de lados (que fue oportunamente informada a la SEM), colocada directamente sobre colas, de manera similar a la cobertura que se realizará sobre la superficie de las colas del dique al Cierre de Minas; en la misma se encuentra instalada un tanque enterrado a manera de lisímetro.

De acuerdo con la inspección realizada en campo el día lunes 12/12/2016, se observa que en la cobertura de material aluvial realizada en el año 2003, se ha establecido de manera espontánea (ver foto), una capa de vegetación natural compuesta principalmente por gramíneas (*Pappophorum* sp, *Stipa* sp) y subarbustos (*Senecio subulatus*) y esporádicamente se observan arbustos leñosos como *Grabowskia* sp, *Gochnatia* sp, *Larrea* sp).

En la superficie de la cobertura no se observa presencia de depósitos de sales que sugieran la migración por capilaridad de aguas de las colas. Las plantas muestran un buen estado de salud, y no muestran síntomas de intoxicación por metales, se puede observar un buen desarrollo de las plantas, cumpliendo las mismas con las etapas de su ciclo fenológico.

De esta manera se puede ver que luego de 13 años de instaladas las pruebas, las mismas no sufrieron los efectos de capilaridad de las aguas de proceso, que provocaría la afectación de los materiales de la cobertura y de la vegetación asociada.

Para verificar el contenido de sales en el perfil del suelo, en los próximos meses se podrá realizar una calicata excavada en los materiales de la cobertura y visualizar el estrato de las colas cubiertas.

i) Considerar el volumen de material de cobertura que estará ausente a causa de los taludes definidos para su construcción.

El talud del Dique será definido de manera previa al cierre de operaciones del Dique de Colas, por lo que en esas instancias se tendrá en cuenta el volumen requerido necesario para la rehabilitación de este sector del Dique.

j) Analizar el posible sesgo del análisis de humedad que provocaría el uso de un geotextil.

La utilización de geotextil en las pruebas de campo de los diferentes diseños de coberturas, tuvo la finalidad de verificar la influencia que tiene la colocación de este material en la migración de los materiales finos de la cobertura. Asimismo en los resultados analizados de las 3 celdas de prueba sobre los materiales del dique de colas, se observa de manera leve, un mayor contenido de humedad por arriba del geotextil, lo que indicaría la influencia de la presencia del geotextil.

k) Analizar la efectividad a largo plazo de los 30 cm de drenaje considerando la vida útil del geotextil en las condiciones de diseño planteadas para el ensayo.

Las pruebas de los diferentes diseños de cobertura y entre ellas el diseño con una capa granular de 30 cm para evitar los efectos de la capilaridad de los materiales cubiertos, fueron diseñadas para un período limitado de años y para conocer la respuesta al período de lluvias de las diferentes alternativas de cobertura.

l) Presentar planos con las secciones y etapas constructivas correspondientes a la construcción de la etapa 18.

Los planos se encuentran en revisión por parte de la empresa que elabora el informe final de construcción (Knight Piésold). Estimamos contar con la revisión final de dicha documentación durante el mes de enero próximo, la cual se les enviará ni bien sea recibida.”

En suma, IATASA concluye que el Informe YMAD-UTE debería ser actualizado en cuanto al aspecto relativo a la potencial fitotoxicidad del material de relave mencionando en los resultados obtenidos en una prueba de campo de cobertura, valiéndose además como único elemento de juicio de la inspección ocular de las especies vegetales desarrolladas y su estado fisiológico.

Con relación a la inexistencia de un Programa de Revegetación, IATASA no ha encontrado respuestas en este mismo texto, lo cual deberá ser complementado con actividades que puedan significar por ejemplo la participación social en la generación de un banco de germoplasma.

○ **YMAD-UTE. PLAN DE CIERRE – Versión 1 V1.R0 -Nov.2016., S/; RESOL. S.E.M.396/16 – Comentarios finales por parte de IATASA**

En este contexto es oportuno señalar que el **PLAN DE CIERRE –MAA – Versión 1 V1.R0 -Nov.2016.**, respondería parcialmente a lo determinado por la Resolución S.E.M. 396/16. Se entiende que, por lo menos en lo relativo a revegetación y rehabilitación ambiental, se tratara de una primera aproximación al objetivo de formulación de un Plan de Cierre en los términos que establece esa norma legal tanto como las concepciones que en términos usuales debe comprender un PLAN DE ACCIÓN, como elemento rector y guía de las acciones y objetivos a que está dirigido.

Resulta así en cambio una síntesis de lo actuado y una definición inicial de conceptos y objetivos parciales que contribuirán a la formulación más precisa del Plan de Cierre.

La tabla 5.15 proporciona una síntesis de estas recientes actuaciones:

Tabla 5. 15 Síntesis de acciones para el plan de cierre

<p>Cédula de Notificación DIPGAM 25 de Noviembre de 2016, por NOTA D.E.P.E. N° 110-16.</p>	<p>Respuesta CN DIPGAM 154/16 por parte de Minera Alumbraera</p>
<p>h) Efectuar provisiones de contingencia ante escenarios de fitotoxicidad que perjudiquen la cobertura vegetal a implementar.</p>	<p>En un depósito de colas antiguas, en las cabeceras del dique, se encuentra una prueba de campo de Cobertura, la que consiste de capa de cobertura aluvial de 0,5 m de 25 x 25 m de lados, (que fue oportunamente informada a la SEM), colocada directamente sobre colas, de manera similar a la cobertura que se realizará sobre la superficie de las colas del dique al Cierre de Minas; en la misma se encuentra instalada un tanque enterrado a manera de lisímetro.</p> <p>De acuerdo con la inspección realizada en campo el día lunes 12/12/2016, se observa que en la cobertura de material aluvial realizada en el año 2003, se ha establecido de manera espontánea (ver foto), una capa de vegetación de natural compuesta principalmente por gramíneas (Pappophorum sp, Stipa sp) y subarbustos (Senecio subulatus) y esporádicamente se observan arbustos leñosos como Grabowskia sp, Gochnatia sp, Larrea sp).</p> <p>En la superficie de la cobertura no se observa presencia de depósitos de sales que sugieran la migración por capilaridad de aguas de las colas. Las plantas muestran un buen estado de salud, y no muestran síntomas de intoxicación por metales, se puede observar un buen desarrollo de las plantas, y que las mismas están cumpliendo con las etapas de su ciclo fenológico.</p> <p>De esta manera se puede ver que luego de 13 años de instaladas las pruebas, las mismas no sufrieron los efectos de capilaridad de las aguas de proceso, que provocaría la afectación de los materiales de la cobertura y de la vegetación</p>

	asociada. Para verificar el contenido de sales en el perfil del suelo, en los próximos meses se podrá realizar una calicata excavada en los materiales de la cobertura y en las colas cubiertas.
i) Considerar el volumen de material de cobertura que estará ausente a causa de los taludes definidos para su construcción.	El talud del Dique será definido de manera previa al cierre de operaciones del Dique de Colas, por lo que en esas instancias se tendrá en cuenta el volumen requerido necesario para la rehabilitación de este sector del Dique.
j) Analizar el posible sesgo del análisis de humedad que provocaría el uso de un geotextil.	La utilización de geotextil en las pruebas de campo de los diferentes diseños de coberturas, tuvo la finalidad de verificar la influencia que tiene la colocación de este material en la migración de los materiales finos de la cobertura. Asimismo en los resultados analizados de las 3 celdas de prueba sobre los materiales del Dique de Colas, se observa de manera leve, un mayor contenido de humedad por arriba del geotextil, lo que indicaría la influencia de la presencia del geotextil.
k) Analizar la efectividad a largo plazo de los 30 cm de drenaje considerando la vida útil del geotextil en las condiciones de diseño planteadas para el ensayo.	Las pruebas de los diferentes diseños de cobertura y entre ellas el diseño con una capa granular de 30 cm para evitar los efectos de la capilaridad de los materiales cubiertos, fueron diseñadas para un período limitado de años y para conocer la respuesta al período de lluvias de las diferentes alternativas de cobertura.
l) Presentar planos con las secciones y etapas constructivas correspondientes a la construcción de la etapa 18.	Los planos se encuentran en revisión por parte de la empresa que elabora el informe final de construcción (Knight Piésold).

5.2.3 RESEÑA DE LAS OBSERVACIONES RELEVANTES REALIZADAS POR IATASA

5.2.3.1 ACERCA DE LOS OBJETIVOS DE LA REVEGETACIÓN

Los objetivos primarios del Cierre de Minas vinculados a revegetación son, en lo sustantivo, los que siguen (pág. 17 del Plan de Cierre, Minera Alumbraera 2016):

- ***Recuperación de la capacidad de soporte de vida silvestre de las áreas intervenidas.***
- ***Recomposición o equilibrio de la red hidrográfica. Lograr un paisaje compatible con el entorno***

En el informe principal entre los criterios de cierre (ítem 3.3 pág. 17 a 19 del Plan de Cierre) se lee:

“Se revegetarán aquellas superficies que queden expuestas a procesos erosivos severos o puedan convertirse en fuentes importantes de emisión de polvo.

Solo se utilizarán especies nativas para revegetación para promover una vegetación sostenible en el tiempo, totalmente adaptada a las características climáticas y calidad de suelo del área. Las actividades de revegetación se realizarán en la medida de las posibilidades que ofrece el entorno, siempre que sea factible técnicamente, siendo la naturaleza del sustrato el principal condicionante.”

IATASA advierte aquí una inconsistencia en los objetivos y criterios de actuación que da lugar a los siguientes interrogantes:

- **¿La revegetación contará además con el empleo de especies exóticas colonizadoras que faciliten en un proceso de sucesión secundaria el establecimiento de especies nativas?**
- **¿Se restringirán las plantaciones a los sitios con mayor vulnerabilidad con respecto a la erosión eólica o hídrica?**
- **¿Existe una evaluación acerca del comportamiento de las especies empleadas en la revegetación ante la eventual presencia de agentes potencialmente contaminantes en matriz edáfica o el agua superficial, tal que se afecte el desarrollo de algunas de las especies reinstaladas?**
- **¿No existe aquí un cierto grado de ambigüedad en cuanto a que por un lado se propone “recuperar la capacidad de sostenimiento de vida silvestre de las áreas intervenidas” y por otra parte se expone que...”Las actividades de revegetación se realizarán en la medida de las posibilidades que ofrece el entorno, siempre que sea factible técnicamente, siendo la naturaleza del sustrato el principal condicionante”?**
- **¿No sería deseable contar ya con una propuesta técnica que dé algún nivel mayor de certidumbre sobre los resultados esperados?**

5.2.3.2 METODOLOGÍA DE REVEGETACIÓN

El ANEXO 2.2.4 (PCA de Revegetación), que expone las metodologías propuestas de revegetación para el Dique de Colas y Botaderos reitera en su Alcance la función estabilizadora del material de cobertura que se espera cumpla la vegetación, para lo cual se estarían desarrollando pruebas experimentales de obtención de semillas, siembra y plantación. Este PCA menciona asimismo las áreas del dique de colas revegetadas en los años 2010 y 2011 e incluye un cronograma tentativo de actividades sin datar.

Dado que las actividades experimentales para la revegetación se habrían iniciado en el año 2004 (ensayos de germinación y siembra, plantaciones, ensayos con fertilizantes y enmiendas, reproducción de ejemplares en vivero, obtención de compost, etc.), y se cuenta con resultados sobre el particular, IATASA considera necesario, que Minera Alumbraera, a escasos años vista del probable cierre de la mina, proporcione la siguiente información:

- **Cantidad de ejemplares por especie** obtenidos en condiciones de ser trasplantados.
- Datos cuantitativos específicos del **material almacenado en el banco de germoplasma** que conserve su capacidad germinativa.
- Justificación o **criterios adoptados para la selección de las especies** para revegetación enumeradas en el ítem 5.1 del Anexo 2.2.4 del Plan de Cierre (PCA de Revegetación).
- Características fisiológicas de las especies elegidas en cuanto a, entre otros aspectos: **requerimientos de calidad del suelo y profundidad de exploración del sistema radicular, tolerancias a la salinidad y rango de pH aceptable**, comportamiento ante la eventual presencia de las sustancias contenidas en la Tabla 7 del Anexo IV de la Ley 24585, requerimientos hídricos en cantidad y estacionalidad.
- Información según los **parámetros de monitoreo** expuestos en el punto 5.2 del Anexo 2.2.3 del Plan de Cierre (PCA Cobertura del Dique de Colas) o en caso que no se disponga de la totalidad de ellos, de los que se hayan empleado para el seguimiento de las áreas revegetadas en los años 2010 y 2011.
- **Estimación del tiempo que demandaría** lograr la cobertura vegetal necesaria para el cumplimiento de las metas previstas de protección.
- Hipótesis de alternativas **para la protección de la cobertura** del dique de no alcanzarse las metas previstas, así como las medidas transitorias

a ser implementadas para otorgar esa protección, en el tiempo que lleve consolidar la cobertura vegetal necesaria.

- Indicar si la metodología de revegetación incluye también la **definición de áreas de plantación y criterios de selección y distribución de especies**, y en caso que no sea así especificar qué subcomponente del Programa define este aspecto.

En caso afirmativo y sin desmedro del PCA – Programa de Revegetación de Botaderos y Dique de Colas – ANEXO 2.2.4., IATASA sugiere incorporar al mismo procedimientos de espacialidad, progresividad y control de gestión que se detallan:

- Delimitar áreas, parcelas o unidades operativas de revegetación y definir los métodos de plantación por área.
- Elaborar un esquema espacial de distribución de especies en cartografía a escala de semi-detalle (Escala 1:50.000 a 1:20.000).
- Determinar las prioridades de actuación para las parcelas de revegetación conforme ocurra el avance de las mejores condiciones de consolidación del material de relave, según la definición de los parámetros de cobertura.
- Asignar recursos suficientes para la implementación del monitoreo y estudio propuesto en el ítem 5.2 del ANEXO 2.2.3. del Plan de Cierre (PCA Cobertura del Dique de Colas) en los términos en que está diseñado.
- Definir el método y sitio de acumulación transitoria de ejemplares en condiciones de ser trasplantados o en proceso de formación (vivero, zonas adjuntas, etc.) y el sistema de mantenimiento.
- Llevar un registro de los ejemplares en almacenamiento (inventario de especies y ejemplares) y sistema de registro de sus condiciones vitales y requerimientos de cultivo, que contenga además un inventario de las cantidades totales de ejemplares por especie en condiciones de ser plantadas
- Elaboración de un plan de manejo de las parcelas revegetadas conforme los usos previstos o posibles.
- Elaboración de un plan de reposición de especies perdidas.

5.2.3.3 CALIDAD Y DISPONIBILIDAD DEL MATERIAL DE COBERTURA

Uno de los aspectos a considerar del proceso de revegetación lo constituye la disponibilidad, constitución y calidad del material de cobertura que proporciona el horizonte de cultivo para las especies vegetales con la función de favorecer la estabilidad física y química de la cobertura. En este sistema no puede dejar de tratar además el efecto del material de cola en un eventual contacto con el sistema radicular, dado que no se estaría trabajando con compartimentos estancos sino con horizontes interactuantes probablemente sujetos a la penetración radicular y otros factores ambientales.

En el Informe de Golder y Asociados, de octubre de 2014 (Diseño Conceptual de cobertura en el Dique de Colas y Botaderos), se referencia un estudio de SGS sobre los materiales de Tampa Tampa en estos términos: *“El estudio de SGS concluyó que no existen evidencias de sectores impactados por actividades antrópicas, industriales-mineras ni por dispersión eólica de finos desde el Dique de Colas en el área de muestreo de Tampa-Tampa, aguas arriba del Dique de Colas”. Asimismo, se concluyó que “el material del abanico aluvial de Tampa-Tampa presenta características geotécnicas y ambientales aceptables para su utilización en la rehabilitación de colas, utilizando este material como cobertura de suelo con aptitudes para implantación de vegetación natural, con algunas correcciones por la presencia de sulfatos”.*

Los mismos estudios son citados en el Anexo 7-3-1- pág. 30 del Plan de Cierre, de esta forma: *“Posteriormente, SGS en enero de 2010 desarrolló el informe de Muestreo, Clasificación, Cartografía de Suelos y Caracterización Ambiental del Abanico Aluvial de Tampa Tampa (Ref. 15), estableciendo que “este material presentaba características geotécnicas y ambientales aceptables para su utilización como material de cobertura para la rehabilitación del Dique de Colas, presentando aptitud para implantación de vegetación natural, con algunas correcciones por la presencia de salinidad alta”.*

Lo controversial tiene su origen en la información disponible tanto en cuanto al diseño en su perfil horizontal como en la caracterización de los materiales a emplear. En este punto se hará referencia principalmente al caso del Dique, guardando coherencia con lo tratado en los anteriores informes. Para ello se hará referencia en primer término al ANEXO 2-2-3 PCA (Sistema de Cobertura de Dique de Colas) señalando como en los puntos anteriores las dudas o los requerimientos de mayor información.

En el documento se manifiesta que...” *El sistema de cobertura se diseña para el control de polvo y erosión, **provisión de un medio de crecimiento para el establecimiento de vegetación sostenible** y principalmente la estabilización química del material depositado, evitando la exposición de las colas a las condiciones atmosféricas...”.*

IATASA observa que, en la caracterización del material de cobertura, se ha puesto énfasis en la determinación de parámetros físico - mecánicos orientados a la prevención de la infiltración, la oxidación, la erosión hídrica, entre otros, algunos de los cuales son comunes a la determinación de aptitud de un suelo para la implantación de vegetación, pero no son suficientes para prever las potencialidades y restricciones de esos materiales para la implantación de vegetación.

En mérito a lo expuesto se deben destacar los siguientes aspectos de los que sería recomendable ampliar la información.

- No se encuentra aún una evaluación de los materiales y de su distribución en profundidad, tal que se arribe, al menos, a la definición de la capacidad de uso del sitio en función de la matriz edáfica, como una aproximación a su aptitud para sostener una cubierta vegetal. Si bien se han efectuado desde el año 2004 una serie de ensayos experimentales que incluyen diferentes sistemas de implantación de vegetación como de comportamiento a diferentes sustratos, abonos, fertilizantes y enmiendas, esto **debería complementarse con una investigación específica orientada a determinar la capacidad de la matriz edáfica para el cultivo de vegetales.**

5.3 ASPECTOS RELATIVOS AL SISTEMA DE COBERTURA EN RELACIÓN AL COMPONENTE DE REVEGETACIÓN

5.3.1 ANÁLISIS DE MATERIAL RECIENTE

Este apartado comprende observaciones derivadas del siguiente material documental.

- CÉDULA DE NOTIFICACIÓN DIPGAM - NOTA DEPE N° 154/16 - DEL 25/11/16.
- YMAD-UTE, RESPUESTA CN DIPGAM 154/16.
- YMAD-UTE, PLAN DE CIERRE –MAA – Versión 1 V1.R0 -Nov.2016., S/; RESOL. S.E.M.396/16

La **Nota DEPE 154/6**, destaca en lo relativo al sistema de cobertura los siguientes aspectos resultantes de la inspección, los que se comparten:

- La cobertura de cierre debe ser realizada en un plazo de entre 7 y 10 años, a fin de asegurar el adecuado secado de las colas.
- Se recomienda un programa detallado de caracterización de la superficie de cierre de las colas una vez que cesen las operaciones.

- El volumen de material de cobertura que estará ausente a causa de los taludes de las celdas de ensayo podría introducir un sesgo en la medición, subestimando la capacidad de retención.
- Analizar el posible sesgo del análisis de humedad que provocaría el uso de un geotextil en las tomas de datos de las pruebas de cobertura.
- Analizar la efectividad a largo plazo de los 30 cm de drenaje (barrera capilar) considerando la vida útil del geotextil en las condiciones planteadas para el ensayo

Respecto de dichas observaciones, YMAD-UTE responde:

- “El talud del Dique será definido de manera previa al cierre de operaciones del Dique de Colas, por lo que en esas instancias se tendrá en cuenta el volumen requerido necesario para la rehabilitación de este sector del Dique.” Al respecto, IATASA considera que resulta necesario aclarar que la observación original estaba dirigida al sesgo que podrá darse en las lecturas de los ensayos de cobertura.
- “La utilización de geotextil en las pruebas de campo de los diferentes diseños de coberturas, tuvo la finalidad de verificar la influencia que tiene la colocación de este material en la migración de los materiales finos de la cobertura. Asimismo en los resultados analizados de las 3 celdas de prueba sobre los materiales del dique de colas, se observa de manera leve, un mayor contenido de humedad por arriba del geotextil, lo que indicaría la influencia de la presencia del geotextil.” Dicha respuesta se considera satisfactoria.
- “Las pruebas de los diferentes diseños de cobertura y entre ellas el diseño con una capa granular de 30 cm para evitar los efectos de la capilaridad de los materiales cubiertos, fueron diseñadas para un período limitado de años y para conocer la respuesta al período de lluvias de las diferentes alternativas de cobertura”. IATASA considera que esta respuesta no satisface la observación efectuada, habida cuenta de que no hace referencia a la efectividad de la barrera capilar a largo plazo, dada la posibilidad de deterioro del material grueso de dicha capa de 30 cm deberían aportarse mayores precisiones respecto de la vida útil de dicha barrera capilar.

5.3.2 RESEÑA DE LAS OBSERVACIONES RELEVANTES

5.3.2.1 ACERCA DE LOS OBJETIVOS DEL SISTEMA DE COBERTURA DEL DIQUE DE COLAS

Los objetivos planteados para el cierre del Dique de Colas consisten en garantizar la seguridad para las personas y el ambiente. En relación con los

objetivos específicos del sistema de cobertura, como componente de la totalidad de las medidas previstas para el cierre del dique, se pretende reducir el contacto de las colas con el oxígeno atmosférico para evitar la oxidación, mitigar el ingreso de agua de precipitación y servir de soporte para las tareas de revegetación. Al respecto, se considera que los objetivos, en tanto actúan como criterio de aceptabilidad de medidas de cierre, son los correctos, aunque se vislumbra la necesidad de poner énfasis en el adecuado monitoreo de las distintas variables para garantizar que los objetivos propuestos tiendan a cumplirse con el paso del tiempo.

5.3.2.2 ACERCA DE LA METODOLOGÍA PROYECTADA PARA LA COBERTURA

Las obras proyectadas por la empresa contemplan la modificación de la superficie de colas, de modo que la escorrentía generada por precipitaciones sea manejada en forma separada para aguas de precipitación directa sobre la superficie del Dique y aguas de flujos provenientes de las quebradas tributarias al Dique.

Minera Alumbra propone emplazar una capa de cobertura sobre las colas con el objetivo de evitar la generación de aguas contactadas en el cuenco del dique, amortiguando los eventos de precipitación mediante un sistema “store and release”.

Para asegurar la efectividad, se deberá asegurar la adecuada deshidratación de las colas antes del inicio de las tareas de cobertura.

Entre las distintas configuraciones de cobertura ensayadas se observaron diferencias significativas de desempeño, no resultando comprensible, al cierre del presente informe, la configuración definitiva que se pretende instalar y la justificación correspondiente.

Se prevé un manejo independiente para las aguas no contactadas (provenientes de las quebradas afluentes al Dique) y aquellas aguas de precipitación directa sobre la superficie del Dique, lo que se lograría a través de una serie de canalizaciones, según la propuesta de Minera Alumbra.

IATASA observa que los ensayos y modelos de cobertura se realizaron considerando únicamente el aporte hídrico directo por precipitación sobre la superficie del cuenco del dique, con lo que la eficacia del sistema de cobertura estará estrechamente vinculada a la funcionalidad de dichas canalizaciones, pues de otra manera se generaría un aporte extraordinario que no podría ser manejado. Ante eventos de precipitación extremos, se proyecta que el manejo de las aguas se realizará a través de un sistema de cobertura que favorece la

evaporación y un vertedero de descarga. En esta situación, los canales internos ya no contarán con mantención, pudiendo quedar cubiertos con sedimentos, por lo que en tal escenario no existiría separación entre las aguas provenientes de las quebradas y las que caigan directamente sobre la cubeta. Este factor hace necesario garantizar adecuados mecanismos de mantenimiento a largo plazo, al menos durante la etapa de post cierre.

Asimismo, se espera minimizar la erosión de las obras remanentes y del suelo circundante, procurando tomar las medidas tendientes a lograr la estabilidad física de las mismas. Al respecto, IATASA observa que la aptitud de la cobertura para el sostenimiento de vegetación saludable en el largo plazo será un factor clave para evitar el surgimiento de procesos erosivos.

5.3.2.3 ACERCA DE LA CALIDAD Y DISPONIBILIDAD DEL SUSTRATO A UTILIZAR PARA LA COBERTURA

Se observaron una serie de aspectos asociados a la aptitud del material Tampa Tampa. Estas variables requerirán un estudio más exhaustivo, habida cuenta de la heterogeneidad observada en dicho material no solo en los distintos sectores en los que se dispone, sino también en los distintos horizontes que lo componen. En caso de confirmarse la aptitud del material, Minera Alumbraera deberá efectuar los ajustes procedimentales necesarios para lograr su homogeneización, previo a su instalación.

5.3.2.4 ACTIVIDADES EXPERIMENTALES DE CAMPO

En la sección 7.2.2 Justificación de Medidas de Cierre del Plan de Cierre (Minera Alumbraera, 2016), se efectúa una reseña sobre las distintas modalidades de ensayo implementadas para la cobertura de dique de colas, comprendiendo la primera serie de ensayos (Celda TP1 y TP2) y de la segunda serie (Celda TP7, TP8 y TP9). Del análisis de los resultados surge que la primera serie de ensayos no logra satisfacer adecuadamente los objetivos que el sistema de cobertura persigue. Respecto de la segunda serie de ensayos, y aún tratándose de un período de prueba de un alcance temporal limitado, que no refleja las condiciones extremas a las que la cobertura estaría sometida en eventos de precipitación extraordinaria, los resultados muestran que en las celdas TP7 y TP8 existe un excedente de infiltración que no solo logra alcanzar las colas sino también atravesarlas en su capa de ensayo (1 m de espesor) para ser luego registrado como percolación en los lisímetros dispuestos a tal fin.

La única configuración de cobertura que no registró percolación en los lisímetros fue la de la celda TP9, constituida por 0,3 m de barrera capilar, geotextil, y 0,5m de material aluvial Tampa Tampa. A partir de dichos resultados IATASA observa que, adoptando un criterio conservador que tendería a compensar el limitado alcance temporal de los ensayos, la configuración de cobertura más recomendable es la de la celda TP9.

No obstante, en el mismo apartado, en relación con las Conclusiones Generales sobre las pruebas de cobertura de MAA, se establece que los espesores finales de cobertura a aplicar y su metodología de disposición, forman parte del diseño final de cierre de ambos componentes. En el Plan de Cierre (Minera Alumbraera, 2016) se observa que el espesor final a adoptar y la metodología de disposición de los materiales de cobertura están en sintonía con la factibilidad técnica y económica de su aplicación: espesor de cobertura para superficie del cuenco del Dique de Colas: 0,5m, para botaderos (superficies planas): 1,0m y en taludes de botaderos 15m en su parte inferior.

Dicha consideración de diseño se sustenta en el estudio de Modelación Hidrogeológica efectuada por Golder en 2016, el cual ajusta las variables en función de las mediciones registradas en los ensayos. A partir del mismo se establece que para los modelos de colas con cobertura de material aluvial, se estiman percolaciones por debajo de 4%, inclusive para las simulaciones con año húmedo. Los valores se encuentran dentro del orden de magnitud estimado mediante el balance de agua de las celdas TP7 y TP8. Diferencias entre el modelo numérico y el balance de agua son consideradas insignificantes. Al no existir diferencias significativas entre ambas configuraciones (N°3 y N°4), desde un punto de vista numérico se tiene que a partir de un espesor de 0,5 m de material aluvial, se obtendría una reducción de infiltración casi completa gracias a un comportamiento del tipo “store and release” deseado, y que en la práctica estaría siendo cubierto en gran parte por los propios relaves bajo la cobertura.

Al respecto IATASA considera que cabe realizar las siguientes observaciones:

- Todos los ensayos conducidos han demostrado factibilidad técnica, no solo en términos de disponibilidad de material de cobertura, sino también de viabilidad de construcción de la misma.
- La factibilidad económica no debiera ser un factor a considerar en esta instancia del análisis, toda vez que el objeto del Plan de Cierre bajo evaluación, en lo concerniente al cierre del Dique de Colas, consiste en garantizar la estabilidad física y química.

Para prever el comportamiento de los sistemas en escenarios climáticos y geológicos extraordinarios, se recomienda efectuar ensayos de menor escala, en los que se simulen dichas condiciones extremas.

IATASA no considera acertada la decisión de adoptar una cobertura de solo 0,5 m de material aluvial, la cual va en contradicción con los resultados de los ensayos.

5.3.2.5 ACERCA DE LAS LABORES DE MANTENIMIENTO, EVALUACIÓN DE RESULTADOS Y MONITOREO

La construcción de canales internos y bermas de separación y protección conducirán el agua no contactada y evitarán que entren en contacto con las colas. De acuerdo al Plan de Cierre (Minera Alumbraera, 2016), estos canales internos son de carácter temporal, ya que a largo plazo, los canales no tendrán mantención y sedimentos que puedan provenir de las quebradas afluentes al dique ingresarán por los canales hacia la cubeta, lo que por otra parte aumentará el espesor de material de cobertura al interior del dique.

IATASA observa que el carácter temporal del sistema de canalización, y la variación del aporte hídrico que esto supone, no formó parte de los supuestos considerados para los ensayos de cobertura, ni para la modelación de cobertura. Es auspicioso que el diseño considere una condición de no mantenimiento a largo plazo, ya que ésta es la situación que efectivamente se presentará en éste o cualquier otro plan de cierre de una operación minera. No obstante, dicha consideración debe evaluarse de manera sistémica con el diseño de los distintos componentes del cierre, a fin de identificar sus implicancias a largo plazo.

Si bien el Plan de Cierre considera el monitoreo de agua subterránea aguas abajo del Dique de Colas, dicho monitoreo tendrá una capacidad sumamente limitada para detectar anomalías en el funcionamiento del sistema de cobertura en los primeros años de la etapa de Post cierre. Es por ello que un Plan de Monitoreo que pretenda efectivamente determinar desvíos, con miras a identificar la necesidad de implementar eventuales medidas correctivas, deberá contar ineludiblemente con un componente de monitoreo directo del sistema de cobertura. A tal efecto, la modalidad de monitoreo aplicada en los ensayos de cobertura, a través de la cual se midió y registró el nivel de humedad, ésta y la succión por medio de pozos de monitoreo, pareciera ser un formato efectivo que podría aplicarse para el monitoreo de la cobertura efectivamente aplicada sobre el dique.

5.4 CONCLUSIONES Y SUGERENCIAS

La documentación analizada y los restantes elementos de juicio aplicados al caso (reconocimiento de campo, reuniones de intercambio técnico, consulta de material bibliográfico), permiten confirmar la oportunidad y necesidad de proceder a la reparación ambiental del territorio afectado a la actividad industrial desarrollada por Minera Alumbraera, particularizando en este trabajo a las acciones centradas en la rehabilitación de las áreas planas del Dique de Relaves.

Uno de los aspectos de esta reparación ambiental es alcanzar la estabilidad química de la presa dentro de lo cual este apartado se aboca a las acciones de la revegetación, desde un enfoque sistémico e integrador que involucra varios aspectos interactuantes, entre ellos:

- premisas ambientales y/o paisajísticas,
- la adecuación del cuerpo receptor en todas sus matices ,
- la generación de condiciones beneficiosas para la supervivencia y propagación de los elementos bióticos,
- la flexibilidad de un plan a seguir y su consecuente programa de actividades, especialmente secuencia y paulatinidad de la implementación de las acciones que sean operantes en escenarios ambientales diversos, durante un prolongado período de tiempo.

Asumiendo la imposibilidad de una vuelta al origen, el objetivo es la implementación de acciones sostenibles en el tiempo, que controlen, mitiguen y neutralicen los efectos ambientales de la actividad minera y que las mismas se retroalimenten.

Se entiende que las tareas de revegetación requieren de una profunda interpretación del medio en que se llevarían a cabo las mismas y la generación de nuevas situaciones ambientales.

En este contexto la revegetación no es un hecho aislado, sino que por el contrario, es factible por acciones previas programadas ya ensayadas por varios años y promotor de la remediación del sitio.

Partiendo de la premisa de otorgar importancia a la estanqueidad de las colas, en las cuestiones relativas a la revegetación, las acciones se concentran en las recomendaciones que siguen:

- Se sugiere incorporar al análisis de factibilidad el empleo de especies exóticas colonizadoras que faciliten, en un proceso de sucesión secundaria, el establecimiento de especies nativas.

- Se estima conveniente investigar la respuesta de las especies empleadas en la revegetación ante la eventual presencia de agentes potencialmente adversos en matriz edáfica o el agua superficial.
- Sería deseable contar con una propuesta técnica que otorgue algún nivel mayor de certidumbre sobre los resultados esperables y factibles para la recuperación de la capacidad de sostenimiento de vida silvestre de las áreas intervenidas.
- Se recomienda instrumentar un registro de ejemplares por especie en condiciones de ser trasplantados. El mismo debería contener los datos cuantitativos específicos del material almacenado en el banco de germoplasma que conserve su capacidad germinativa.
- Evaluar y sistematizar los requerimientos de cultivo y características fisiológicas de las especies elegidas en cuanto a, entre otros aspectos: calidad de suelo y profundidad de exploración del sistema radicular, tolerancias a la salinidad y rango de pH aceptable, comportamiento ante la eventual presencia de las sustancias contenidas en la Tabla 7 del Anexo IV de la Ley 24585, requerimientos hídricos en cantidad y estacionalidad.
- Definir como instrumento de un plan de revegetación áreas, parcelas o unidades operativas y definir los métodos de plantación por área.
- Elaborar un esquema espacial de distribución de especies en cartografía a escala de semidetalle (Escala 1:50.000 a 1:20.000).
- Llevar un registro de los ejemplares en almacenamiento (inventario de especies y ejemplares) que dé cuenta de sus condiciones vitales y requerimientos de cultivo, que contenga además un inventario de las cantidades totales de ejemplares por especie en condiciones de ser plantadas
- Indicar si la metodología de revegetación incluye también la definición de áreas de plantación y criterios de selección y distribución de especies, y en caso que no sea así especificar qué subcomponente del Programa define este aspecto.
- Determinar las prioridades de actuación para las parcelas de revegetación conforme se determine el avance de las mejores condiciones de consolidación del material de relave
- Llevar a cabo una investigación específica orientada a determinar la capacidad de la matriz edáfica para el cultivo de la vegetación que

incluya al menos los siguientes parámetros: CE, CIC, pH, Materia orgánica, N, P, K y metales pesados en el horizonte superficial.

- En relación con el espesor de cobertura, los 0,5 m aquí proyectados no se condicen con los ensayos de campo efectuados, en los que se llegaron a testear coberturas de 1 m de espesor y de 0,8 m, esta última compuesta de 0,5 m de material aluvial y 0,3 m de material grueso que opera como una barrera capilar. En dichos ensayos, los mejores resultados se observaron en la celda de 0,8 m, y en todos los casos la cobertura se instalaba sobre una capa de geotextil no tejido.
- Sobre el diseño del vertedero de emergencia y su respectivo canal de evacuación, es dable remarcar que el efectivo mantenimiento inicial de los canales, a fin de evitar afectaciones a su integridad y su colmatación, constituye un factor de suma relevancia para asegurar el correcto funcionamiento del sistema de cobertura.
- Si bien todos los estudios efectuados sobre el material Tampa Tampa darían cuenta de su aptitud en términos de incapacidad de generación de DAR, es importante considerar también su función como soporte de vegetación. A tal efecto, deberían obtenerse mayores precisiones sobre las correcciones por salinidad, a fin de evaluar la efectiva aptitud para el mantenimiento de la vegetación a largo plazo.
- En relación a la variabilidad del material Tampa Tampa en los horizontes identificados, se recomienda efectuar los ajustes procedimentales necesarios para lograr la homogeneización del material, previo a su colocación sobre las colas.
- El Plan de Cierre debería conceptualizar que la consolidación de la superficie en el cuenco de la presa es paulatina y se estabiliza como superficie irregular. Se considera importante cuantificar la superficie sobre la cual operar las acciones y el volumen de material a movilizar, como así también el tipo de relieve final a adoptar.
- La recomposición paisajística debería concebirse, desde el punto de vista ambiental. El vasto plano subhorizontal de la superficie del cuenco de la presa se contrapone con la morfología del entorno, y un manejo de la rugosidad del relieve final generaría el doble efecto de retener partículas movilizadas por la erosión eólica y al mismo tiempo posibilitaría el arraigo de ejemplares con requerimiento de suelos más profundos.

- Un relieve irregular de la cobertura, dado que las especies factibles de implantar y/o que se reproduzcan espontáneamente tienen diferente porte, facilitaría el arraigo de ejemplares de mayor porte en zonas de mayor espesor de cobertura, así mismo las áreas que se consoliden con niveles más bajos podrían ser receptoras de mayor cobertura y así tendrían mejores posibilidades de arraigo de ejemplares.
- Se considera conveniente evaluar la hipótesis respecto de la distribución espacial de las especies vegetales conforme a los patrones de distribución espacial de las comunidades vegetales preexistentes.
- Desde el punto de vista de la cobertura, la generación de una cobertura irregular, con el debido aislamiento de las colas haría posible un mejor manejo de la capacidad del yacimiento de material aluvial de Tampa Tampa, con ahorro de material en zonas predeterminadas.
- Las condiciones climáticas del lugar de implantación exponen a la presa a situaciones de vientos intensos en condiciones de aridez, con la consecuente erosión eólica. En consecuencia, los aportes naturales de suelos y consecuentemente de vegetación se verán perjudicados para su estabilización como capa protectora sobre la presa, aún con la incorporación de una membrana de tipo geotextil como interfase entre el sustrato para arraigo de la vegetación y los depósitos de granulado grueso.
- Se considera conveniente profundizar sobre el tema del uso de membrana geotextil, no tejida y la disposición de capa del material granular grueso sobre la membrana, para contribuir al control de la erosión eólica y la interrupción de la capilaridad, dado que las experiencias internacionales demuestran utilidad en esa práctica, en particular en las áreas con pendientes y las zonas áridas.
- Dado que naturalmente las condiciones climáticas podrían perjudicar el plan de mejoras ambientales propuestas para la presa, se considera necesario cuantificar porcentajes necesarios de la reposición de suelos en caso de pérdidas por erosión, verificadas en las tareas de monitoreo previstas en este aspecto. Como así también verificar la existencia de un volumen suficiente del material aluvial a utilizar en la cobertura, teniendo en cuenta posibles reposiciones.

- Se estima relevante el volumen total de material de cobertura necesario, y por lo tanto, los efectos del transporte y disposición del mismo en el ambiente receptor y en el sitio de origen.
- En tanto que las condiciones climáticas podrían perjudicar el plan de mejoras ambientales propuestas para la presa, se considera importante la reposición de la cobertura en caso de mermas, las tareas de monitoreo previstas bajo este aspecto y el plazo de ejecución de las mismas.
- Se sugiere implementar el seguimiento conforme a un parcelado de la presa a los fines de acotar las acciones a seguir para monitorear la integridad de las coberturas y su restablecimiento en caso de que se vea afectada.
- En la efectividad de las tareas de revegetación, es relevante el concepto de reposición de ejemplares que no proliferen y el conocimiento de un plan de revegetación.

5.5 CUADRO SINÓPTICO/TABLA SINTÉTICA DE CONCLUSIONES Y PROPUESTAS SOBRE COBERTURA Y REVEGETACIÓN NO CALIFICATORIO Y CENTRADO EN ANÁLISIS DE PROCEDIMIENTOS APLICADOS Y RECOMENDABLES

En la siguiente tabla se resume lo expuesto anteriormente (Tabla 5.16):

Tabla 5. 16 Cuadro resumen

Componente Revegetación		
Aspecto	Observaciones – Hallazgo	Recomendación
Especies vegetales	Las especies consideradas en los ensayos son en su totalidad nativas. Si bien desde el punto de vista ecológico dicha definición podría resultar adecuada, a los fines de favorecer una más efectiva colonización vegetal de la superficie del dique, podría no resultar tan efectivo.	Incorporar el análisis de factibilidad del empleo de especies exóticas colonizadoras que faciliten en un proceso de sucesión secundaria el establecimiento de especies nativas.
	No se observó una metodología totalmente eficaz para el seguimiento y monitoreo de la efectividad de las distintas acciones de reproducción de ejemplares vegetales.	Instrumentar un registro de ejemplares por especie en condiciones de ser trasplantados. El mismo debería contener los datos cuantitativos específicos del material almacenado en el banco de germoplasma que conserve su capacidad germinativa.
Potencial de	Los ensayos se efectuaron sin considerar escenarios de afectación por sales, metales o acidez, lo cual puede no ser	Investigar la respuesta de las especies empleadas en la revegetación ante la eventual presencia de agentes

Componente Revegetación		
Aspecto	Observaciones – Hallazgo	Recomendación
crecimiento	representativo de la condición a largo plazo.	potencialmente contaminantes en la matriz edáfica o el agua superficial.
	No se observó una completa caracterización del material Tampa Tampa en lo concerniente a su aptitud para soportar las necesidades de nutrientes de las distintas especies vegetales consideradas.	Llevar a cabo una investigación específica orientada a determinar la capacidad de la matriz edáfica para el cultivo de la vegetación que incluya al menos los siguientes parámetros: CE, CIC, pH, Materia orgánica, N, P, K y metales pesados en el horizonte superficial.
	No se observó un completo registro para el seguimiento de los factores que pudieran afectar la germinación, desarrollo y crecimiento de ejemplares vegetales. En virtud de ello, resultará sumamente difícil realizar las correcciones procedimentales necesarias para incrementar la efectividad del plan de revegetación.	<p>Evaluar y sistematizar los requerimientos de cultivo y características fisiológicas de las especies elegidas en cuanto a, entre otros aspectos: calidad de suelo y profundidad de exploración del sistema radicular, tolerancias a la salinidad y rango de pH aceptable, comportamiento ante la eventual presencia de las sustancias contenidas en la Tabla 7 del Anexo IV de la Ley 24.585, requerimientos hídricos en cantidad y estacionalidad.</p> <p>Llevar un registro de los ejemplares en almacenamiento (inventario de especies y ejemplares) que dé cuenta de sus condiciones vitales y requerimientos de cultivo.</p>
Interacción con el medio natural	Los ensayos se basaron exclusivamente en la tolerancia de las especies implantadas, sin considerar enteramente su	Contar con una propuesta técnica que otorgue algún nivel mayor de certidumbre sobre los resultados

Componente Revegetación		
Aspecto	Observaciones – Hallazgo	Recomendación
	interacción con la fauna silvestre de la zona.	esperables y factibles para la recuperación de la capacidad de sostenimiento de vida silvestre de las áreas intervenidas.
<p>Desarrollo de un plan integral de revegetación</p> <p>Componente social</p> <p>Estructuración del plan de revegetación</p>	No se observaron definiciones protocolizadas respecto de la segmentación espacial a considerar en un eventual cronograma vinculado al plan de revegetación.	<p>Indicar si la metodología de revegetación incluye también la definición de áreas de plantación y criterios de selección y distribución de especies, y en caso de que no sea así especificar qué subcomponente del Programa define este aspecto.</p> <p>Definir como instrumento de un plan de revegetación áreas, parcelas o unidades operativas y definir los métodos de plantación por área.</p>
	No se observó una programación planimétrica.	Elaborar un esquema espacial de distribución de especies en cartografía a escala de semidetalle (Escala 1:50.000 a 1:20.000).
	Las tareas de revegetación a llevar a cabo no prevén una articulación programada en el tiempo, respecto del subcomponente de cobertura, el cual depende a su vez del secado de las colas.	Determinar las prioridades de actuación para las parcelas de revegetación conforme se determine el avance de las mejores condiciones de consolidación del material de relave.
	No se encuentra en el campo con un programa de revegetación definido, sino que se continúa con prueba y ensayos.	Se considera conveniente la elaboración de un plan de acción y sus características morfológicas y de ubicación de zonas plantadas y de generadoras de semillas, para

Componente Revegetación		
Aspecto	Observaciones – Hallazgo	Recomendación
		poder evaluar la <i>distribución espacial de las especies vegetales</i> conforme a patrones de distribución espacial de las comunidades vegetales preexistentes, si bien se expresa la premisa de que el resultado final sea el de: <i>“lograr un paisaje compatible con el entorno, en aquellos sectores intervenidos durante la etapa productiva del proyecto.”</i>
	La revegetación debe cumplir con el proceso de conducción para que su evolución sea independiente	<p>Se entiende que la revegetación de la presa es un tema en sí mismo y que debería de contemplar y controlar diversos aspectos.</p> <p>Por lo tanto las tareas previas de estudio y puesta en acción, involucran ciclos vitales que son independientes de las tareas de ingeniería.</p>
	Pueden ocurrir situaciones de fitotoxicidad, que perjudiquen la cobertura vegetal a implementar.	Se considera conveniente un plan de monitoreo, a fin de verificar las condiciones de sanidad de los ejemplares, a fin de posibilitar correcciones sobre el plan de reforestación.
	Se puede aportar al componente social a partir de la generación de germoplasma en las comunidades.	Para poder avanzar sobre las acciones y dado que las especies a incorporar requieren de ciclos biológicos, se considera relevante definir la acción de la comunidad local para la generación del germoplasma.

Componente Revegetación		
Aspecto	Observaciones – Hallazgo	Recomendación
	Parcelado	<p>Dada la vastedad de la superficie de la Presa de Relaves y la paulatina consolidación de los materiales depositados en ella, se considera necesario para realizar la protección de la misma, la división en áreas mensurables para secciones de trabajo y de sectores a intervenir en cuanto a distribución, traslado y acopio, de tal manera que sea factible la distribución de la cobertura, así como:</p> <p>La ubicación de membrana geotextil no tejida, en caso de adoptarse el criterio de su utilización, según las recomendaciones para su distribución, a los fines de evitar la degradación de la misma por la exposición.</p> <p>El material pétreo, en caso de adoptarse ese criterio, a los fines definir cantidades a transportar y a disponer.</p> <p>El material aluvial, a los fines de prever su transporte desde el yacimiento, el acopio y distribución.</p> <p>De tal forma la determinación de la maquinaria, vehículos y herramientas necesarias para las tareas, se estructurará de la manera más conveniente y eficiente, tanto sobre la presa como para atenuar los efectos de la movilización y traslado de los materiales de cobertura</p>

Componente Revegetación		
Aspecto	Observaciones – Hallazgo	Recomendación
	Patrones de diseño	<p>Establecer un proyecto acotado de medidas concretas, para salvaguardar el ambiente.</p> <p>Se considera conveniente y recomendable la elaboración de patrones de diseño paisajístico, que tiendan a ordenar el diseño restaurador del paisaje.</p> <p>Los mismos podrían contemplar:</p> <p>Patrón para zonas llanas con herbáceas, gramíneas y arbustos de pequeño porte. En este patrón sería posible considerar el mínimo de cobertura posible, para el arraigo manual y espontáneo de ejemplares de menor porte.</p> <p>Patrón para áreas deprimidas, con terminación en la rasante, de manera de generar en un plano horizontal, un volumen para albergar ejemplares de mediano porte con distribución horizontal, ya sea por distribución espontánea o manual.</p> <p>Patrón para áreas deprimidas con mayor volumen de cobertura, de manera tal de generar una mayor profundidad de cobertura para ejemplares de mayor porte, organizando también una rugosidad en la superficie. En este patrón sería posible considerar que por efecto eólico y de asoleamiento, los laterales de la rugosidad tenderán a generar efectos diferentes, ya sea por acumulación de partícula volátiles, por erosión de las mismas, por la</p>

Componente Revegetación		
Aspecto	Observaciones – Hallazgo	Recomendación
		<p>vegetación que puedan albergar y con el consecuente establecimiento de vida animal.</p> <p>Patrón para áreas más elevadas, con poca profundidad de cobertura, para ejemplares de poco porte. En este patrón, también sería posible considerar que por efecto eólico y de asoleamiento, los laterales de la rugosidad tenderán a generar efectos diferentes, ya sea por acumulación de partícula volátiles, por erosión de las mismas, por la vegetación que puedan albergar y con el consecuente establecimiento de vida animal</p>
	Morfología	<p>Con la utilización y combinación de los patrones de diseño, sería posible materializar en forma normalizada una nueva morfología de la presa. La morfología se iría materializando a medida que se vayan estabilizando las colas, lo cual se produce desde los bordes hacia el centro.</p> <p>De tal manera que en parte las formas se impulsan de manera programada por el hombre y en parte la naturaleza responde y genera nuevas realidades.</p>
Configuración de cobertura	En relación con el espesor de cobertura, los 0,5 m proyectados no se condicen con los ensayos de campo efectuados, en los que se llegaron a testear coberturas de 1 m de espesor y de 0,8 m, esta última compuesta de 0,5 m de material aluvial y 0,3 m de material grueso que opera como una barrera	Reevaluar las distintas alternativas ensayadas, considerar la realización de nuevos ensayos a pequeña escala (columnas) considerando escenarios extremos, y definir criterios de aceptabilidad y costo-efectividad a los fines de soportar la toma de decisión respecto de la mejor

Componente Revegetación		
Aspecto	Observaciones – Hallazgo	Recomendación
	capilar. En dichos ensayos, los mejores resultados se observaron en la celda de 0,8 m, y en todos los casos la cobertura se instalaba sobre una capa de geotextil no tejido.	alternativa.
	Los ensayos efectuados se realizaron sobre un período de tiempo limitado que no es representativo de la perpetuidad en la que las colas estarán en el lugar.	Se recomienda efectuar ensayos de menor escala, a fin de prever comportamiento de los sistemas en escenarios climáticos y geológicos extraordinarios, en los que se simulen dichas condiciones extremas.
	Dada la predicción de posible presencia de metales en colas acidificadas, sumada a la posibilidad de migración capilar ascendente, podría producirse una significativa afectación del componente de revegetación.	Se recomienda efectuar previsiones de contingencia ante escenarios de fitotoxicidad que perjudiquen la cobertura vegetal a implantar.
Sistema de canalizaciones	El diseño del sistema de canalizaciones no pareciera contemplar el deterioro ocasionado por los procesos erosivos que efectivamente ocurrirán con el transcurso de los años. Un sistema con falencias estructurales dependerá fuertemente de un prolongado y costoso plan de mantenimiento.	El efectivo mantenimiento de los canales a fin de evitar afectaciones a su integridad y su colmatación, constituye un factor de suma relevancia para asegurar el correcto funcionamiento del sistema de cobertura.
	El sistema de desvío de agua no contactada parece estar diseñado para responder sólo ante eventos de precipitación ordinarios.	El tiempo de retorno de 25 años contemplado para el vertedero de emergencias se considera insuficiente, por lo que se recomienda revisar su diseño, así como el del sistema de canalización, asegurando un TR no menor a 100 años, considerando eventos de precipitación extrema.

Componente Revegetación		
Aspecto	Observaciones – Hallazgo	Recomendación
	En relación con el carácter temporal del sistema de canalización interno del dique, podrían presentarse inconvenientes ocasionados por aportes hídricos no previstos al sistema de cobertura, que reduzcan su efectividad.	Se recomienda analizar la interacción de esta condición de operación temporal de los canales, a fin de identificar posibles conflictos con el resto de los componentes del plan de cierre. La misma consideración cabe para el vertedero de emergencia.
Material de cobertura	Los estudios efectuados sobre el material Tampa Tampa darían cuenta de su aptitud en términos de incapacidad de generación de DAR, pero es importante considerar también su función como soporte de vegetación.	Se recomienda analizar este punto procurando ofrecer mayores precisiones sobre las correcciones por salinidad que deberían efectuarse, a fin de evaluar la efectiva aptitud para el mantenimiento de la vegetación a largo plazo.
	Los muestreos dan cuenta de una significativa variabilidad del material Tampa Tampa en los horizontes identificados.	Se recomienda efectuar los ajustes procedimentales necesarios para lograr la homogeneización del material, previo a su colocación sobre las colas.
Monitoreo	El Plan de Cierre considera el monitoreo de agua subterránea aguas abajo del dique de colas, pero dicho monitoreo tendrá una capacidad sumamente limitada para detectar anomalías en el funcionamiento del sistema de cobertura en los primeros años de la etapa de Post cierre.	Un Plan de Monitoreo que pretenda efectivamente determinar desvíos con miras a identificar la necesidad de implementar eventuales medidas correctivas, deberá contar ineludiblemente con un componente de monitoreo directo del sistema de cobertura.
Uso futuro	Respecto de los criterios de cierre asociados al uso futuro, no se observa un componente basado en un estudio pormenorizado de potencialidades asociadas a necesidades o aspiraciones por parte de la comunidad.	Evaluar el área en términos de aptitud de uso potencial, a fin de contar con la información necesaria que permita eventuales procesos de planificación de refuncionalización de las áreas afectadas.

Componente Revegetación		
Aspecto	Observaciones – Hallazgo	Recomendación
Diseño de cobertura	La cobertura de cierre debe ser realizada en un plazo de hasta 10 años, caso contrario se originaría el desarrollo de colas fuertemente ácidas cerca de la superficie.	Detallar las acciones intermedias a realizarse antes del 2023 respecto del tema, entendiendo que la colonización espontánea sobre las colas, podría tener acciones de rebote con el ramoneo de los animales sobre esas plantas.
	Considerar el volumen de materia de cobertura que estará ausente a causa de los taludes definidos para su construcción.	Se considera conveniente cuantificar los volúmenes de cobertura.
	Analizar el posible sesgo de análisis de humedad que provocaría el uso de geotextil en las tomas de datos de las pruebas de cobertura.	Se considera conveniente evaluar el uso de la membrana como interfase.
	Analizar la efectividad a largo plazo de los 30 cm de drenaje considerando la vida útil del geotextil en las condiciones de diseño planteadas para el ensayo.	Se considera importante especificar la efectividad de la membrana geotextil.

5.6 ASPECTOS RELATIVOS AL SISTEMA DE COBERTURA EN RELACIÓN A LA ESTABILIDAD QUÍMICA DE LAS COLAS DEPOSITADAS

Se han revisado, integrado y sintetizado todos los antecedentes de documentación provistos por la DIPGAM en cuanto al objetivo de diseño del sistema de cobertura del dique de colas para asegurar la estabilización química de las colas sedimentadas. En este apartado se focaliza el análisis en el objetivo asignado al sistema de cobertura (resaltado a tal efecto) según lo expresado en el PCA *Sistema de Cobertura del Dique de Colas* en vigencia: ***“El sistema de cobertura se diseña para el control de polvo y erosión, provisión de un medio de crecimiento para el establecimiento de vegetación sostenible y **principalmente la estabilización química del material depositado evitando la exposición de las colas a las condiciones atmosféricas...**”***

Esta revisión y síntesis, permitió: 1) visualizar en forma integrada cuáles son los requerimientos operativos, que surgen de la documentación disponible que condicionarían la eficiencia del sistema de cobertura en su objetivo de diseño en lo referente a la estabilización química de las colas depositadas; y 2) definir qué interrogantes se plantean y/o definiciones deben precisarse aún en un *Plan de Cierre de Mina a nivel de ingeniería de detalle* en vistas al logro de este objetivo de diseño. Estos interrogantes y/o definiciones que requieren de precisión, IATASA las plantea a modo de conclusiones y/o recomendaciones en la Tabla 5.17 y se detallan en los siguientes apartados.

5.6.1 REQUERIMIENTOS OPERATIVOS PREVIOS A LA COLOCACIÓN DE LA COBERTURA DEL MATERIAL ALUVIAL DE TAMPA TAMPA

a) Humedad relativa residual de las colas depositadas: la cobertura de material aluvial de Tampa Tampa debe ser dispuesta sobre las colas depositadas, en las denominadas “áreas secas” (cercanas a la humedad mínima residual). Esta especificación de humedad mínima residual en las colas sedimentadas, antes de su recubrimiento, adquiere importancia en cuanto a la posibilidad de que se generen condiciones de acidez antes de la colocación de la cobertura, como había sido inferido, sin confirmación concluyente, por Mesh y O’Kane (2008). Si bien estos autores mencionan un plazo de secado de las colas de 7-10 años luego de ser depositadas en la cubeta del dique, la realidad operativa de su funcionamiento a lo largo de la operación de la mina, con zonas más y menos secas en función de la localización de las fases de llenado del dique, hace que esta estimación no haya sido concluyente sobre qué zonas del dique de colas pueden ser liberadas para ser cubiertas luego de un período de tiempo determinado, y se requiere una determinación de la humedad mínima residual en las colas depositadas mediante la

implementación de un programa de medición. Esta recomendación también había sido efectuada por Mesh y O’Kane (2008): *“se requerirá de un monitoreo destinado a confirmar que el nivel de deshidratación de las colas sea el adecuado para el inicio de las tareas de cobertura”*. En la documentación revisada no se han encontrado las especificaciones sobre este programa de medición y su integración al cronograma de tareas.

b) Consolidación de las colas depositadas: las colas sedimentadas deben estar totalmente consolidadas, previamente a la colocación de la cobertura de material aluvial de Tampa Tampa, para evitar asentamientos diferenciales y agrietamientos en la misma, que pudieran generar vías preferenciales de flujo de aguas superficiales sobre su superficie, y comprometer así la efectividad de la cobertura. Se indica que el tiempo que tardarían en producirse los asentamientos máximos no sería mayor a 5 años, una vez alcanzado el nivel máximo del depósito de relaves (Etapa 19 - año 2018), también se menciona en la documentación un período estimado de 8 años. Se requiere de la optimización del cálculo en la etapa final de la operación, tomando muestras de colas a diferentes profundidades, y recién terminado el proceso de compactación por peso propio y pérdida de humedad, efectuar ensayos edométricos y de permeabilidad para diferentes presiones de confinamiento. De la integración de ambas consideraciones, se identifica que es necesaria la confirmación del asentamiento total de las colas, previa colocación de la cobertura. En la documentación revisada no se han encontrado especificaciones y/o definiciones sobre estos programas y ensayos y su integración al cronograma de tareas.

c) Caracterización físico-química de las colas depositadas con fines agronómicos (revegetación): al ser parte de la matriz edáfica final sobre la cual crecerá la vegetación, se identifica la necesidad de llevar a cabo la caracterización físico-química de las colas depositadas orientada a determinar su capacidad para que cumpla con el objetivo de provisión de un medio de crecimiento para el establecimiento de vegetación sostenible. En la documentación revisada no se han encontrado especificaciones sobre este tipo de estudio de suelos.

d) Caracterización físico-química del material de Tampa Tampa con fines agronómicos (revegetación): al ser parte de la matriz edáfica final sobre la cual crecerá la vegetación, se identifica la necesidad de llevar a cabo la caracterización físico-química de mayor detalle del material de Tampa Tampa orientada a determinar su capacidad para que cumpla con el objetivo de provisión de un medio de crecimiento para el establecimiento de vegetación sostenible. En la documentación revisada, se ha encontrado un antecedente de estudio de suelos (caracterización físico-química) del material de Tampa Tampa (SGS, 2010), el cual debería ser ampliado y mejorado para hacer una caracterización físico-química de los sectores del abanico aluvial que efectivamente, proveerán las granulometrías para el material de cobertura de Tampa Tampa.

e) Trabajos y maniobras de movimientos de suelos sobre las colas depositadas y construcción de obras hidráulicas de cierre sobre su superficie: los trabajos y maniobras de movimientos de suelos previstas sobre las colas (movimientos de tierra, preparación de la superficie, reperfilamiento superficial de relaves, perfilamiento de los canales superficiales internos) no se han visto considerados en la documentación revisada como maniobras que pueden aumentar el agrietamiento de las colas, mayor exposición de las mismas a oxidación por remoción de su superficie, exposición a erosión eólica o hídrica durante la duración de las tareas, entre otras consideraciones. Se identifica la necesidad de prever evaluar la influencia de estos trabajos y maniobras de construcción sobre las colas depositadas y que sus conclusiones, sean incluidas en los procedimientos de construcción.

f) Clasificación y granulometría del material de cobertura de Tampa Tampa - Vinculación con el área de aporte/suministro de este material (el abanico aluvial de Tampa Tampa): se ha sintetizado toda la información que se ha encontrado en forma dispersa en la documentación analizada, a saber:

- el material de cobertura del Dique de Colas será suministrado por el abanico aluvial de Tampa Tampa que se encuentra al norte del Dique de Colas.
- el volumen total estimado para el abanico aluvial de Tampa Tampa es de 18.502.492 m³ (Plan de Cierre del Dique de Colas, Knight Piésold, 2016).
- el volumen que está previsto utilizar para cubrir las 941 ha finales del Dique de Colas es de 5.000.000 m³ (Plan de Cierre de Dique de Colas, Knight Piésold, 2016).
- en el abanico aluvial de Tampa Tampa se alcanzan espesores importantes de sedimentos hasta 40 m donde el material es generalmente bien graduado y evidencia un amplio rango de granulometrías (Plan de Cierre de Dique de Colas, Knight Piésold 2016). También se mencionan espesores en el centro del abanico aluvial de entre 10 y 20 m.
- el informe de Mesh y O’Kane (Abril 2008) concluyó que “las muestras de Tampa Tampa fueron uniformemente clasificadas como no PGA”, siendo este estudio el único documentado para la clasificación PGA/no PGA del material de cobertura.

5.6.2 REQUERIMIENTOS OPERATIVOS DURANTE LAS MANIOBRAS DE COLOCACIÓN DE LA COBERTURA DEL MATERIAL ALUVIAL DE TAMPA TAMPA

Control y aseguramiento de calidad de construcción: se indica la necesidad de un estricto control de calidad durante la colocación del material de cobertura y maniobras de perfilamiento del mismo para asegurar el espesor previsto. Se señala la necesidad de definir un programa de control y aseguramiento de calidad durante la construcción que considere la medición y documentación conforme a obra del espesor de la cobertura, la granulometría del material colocado (una definición sobre un máximo y un mínimo de tamaño de grano - curvas granulométricas) y sus especificaciones de diseño. Las precisiones de este programa de QA/QC de construcción no se encuentran detalladas en la documentación, si bien se confirma el requerimiento de granulometrías definidas y específicas para asegurar el rendimiento del sistema de cobertura.

5.6.3 REQUERIMIENTOS OPERATIVOS DE MANTENIMIENTO POSTERIORES DE LA COLOCACIÓN DE LA COBERTURA DE MATERIAL ALUVIAL DE TAMPA TAMPA

Trabajos y maniobras de movimientos de suelos sobre la cobertura de material de Tampa Tampa: una vez finalizada la colocación de la cobertura están previstos trabajos de mantención tales como: reperfilamiento de cobertura, si fuera necesario, de manera que no se produzcan contrapendientes o sectores planos en la superficie; limpieza de sedimentos en los canales internos; verificación del estado de la cobertura colocada y cualquier reparación vinculada a la cobertura o los canales internos. Se identifica la necesidad de evaluar la influencia de estos trabajos y maniobras de construcción sobre las colas depositadas, en cuanto a la remoción del material, posible agrietamiento, etc. y que sus conclusiones, sean incluidas en los procedimientos de construcción.

5.6.4 TALUD DEL MURO DE CIERRE

a) en la documentación analizada no se ha visto el tratamiento del sistema de cobertura, donde se incluyan las especificaciones del talud del muro de cierre, que además de la superficie de 941 ha finales previstas, conforman la totalidad de los componentes del Dique de Colas.

b) se ha sintetizado la información encontrada, en forma muy aislada y de escasa especificación, en toda la documentación para plantear los interrogantes y/o definiciones faltantes y los mismos se detallan en la Tabla 5.17.

5.6.5 OBRAS DE INGENIERÍA HIDRÁULICA ETAPA CIERRE Y POST-CIERRE DE MINA

El PCA *Sistema de Cobertura* para la etapa de cierre y post-cierre de mina, y la estabilidad física y química del Dique del Colas, están sujetos a las obras de ingeniería hidráulica de desvío de escorrentías superficiales, previstas para esta etapa del emprendimiento minero, a saber: obras de ingeniería de atenuación de crecidas, la construcción de un vertedero de emergencia y un canal evacuador, la construcción de canales internos dentro de la superficie final de cierre de colas depositadas.

Actualmente al continuarse con la actividad minera en Alumbraera, no se dispone del diseño de ingeniería de detalle de dichas obras.

5.6.6 CONCLUSIONES Y/O RECOMENDACIONES

Se ha identificado que estos requerimientos operativos deberían ser precisados y/o definidos como parte de *Plan de Cierre de Mina a nivel de Ingeniería de Detalle* que complemente el actual Plan de Cierre de Mina.

Esquemáticamente se presentan en la Tabla 5.17 a modo de conclusiones y/o recomendaciones los requerimientos que precisan avanzar en mayores definiciones para permitir el cumplimiento del objetivo fijado para el sistema de cobertura del dique de colas en las etapas de cierre y post-cierre de mina, para la totalidad de las instalaciones que componen el dique de colas: superficie final del cuenco en el cierre y talud de muro de cierre.

Tabla 5. 17 Conclusiones y/o recomendaciones

REQUERIMIENTO IDENTIFICADO	DEFINICIÓN FALTANTE
SUPERFICIE FINAL DE CIERRE (Etapa 19 - 2.347 m.s.n.m.- año 2018)	
Superficie a cubrir: 941 ha	Ninguna
Material a cubrir: colas depositadas	Ninguna
Clasificación PGA/no PGA: PGA	Ninguna
Humedad relativa residual de las colas depositadas	Diseñar el programa de medición e integrar al cronograma

REQUERIMIENTO IDENTIFICADO SUPERFICIE FINAL DE CIERRE (Etapa 19 - 2.347 m.s.n.m.- año 2018)	DEFINICIÓN FALTANTE
	de ejecución de tareas para poder liberar las áreas secas a ser cubiertas
Consolidación de las colas depositadas	Diseñar el programa de ensayos edométricos y de permeabilidad para poder liberar las áreas consolidadas a ser cubiertas e integrar al cronograma de ejecución de tareas
Caracterización físico-química de las colas depositadas con fines agronómicos (revegetación)	Diseñar el estudio de suelos e integrar al cronograma de ejecución de tareas
Trabajos y maniobras de movimientos de suelos sobre las colas depositadas y construcción de obras hidráulicas de cierre sobre su superficie	Evaluar la incidencia de los movimientos de las maquinarias en la superficie de las colas ya depositadas y adaptar los procedimientos de construcción
Material de cobertura: material aluvial de Tampa Tampa	Ninguna
Espesor de la cobertura: 0,5 m como mínimo	Revisar la pertinencia de este espesor de cobertura en base a lo comentado en el apartado 5.3
Volumen requerido de material de cobertura de Tampa Tampa: 5.000.000 m ³	Ninguna
Clasificación PGA/no PGA del material de cobertura de Tampa Tampa: no PGA.	Revisar la pertinencia de la clasificación del material aluvial de Tampa Tampa en base a la vinculación con su área de aporte (el abanico aluvial de Tampa Tampa) y a la granulometría de diseño requerida para el sistema de cobertura
Caracterización físico-química del material de cobertura de Tampa Tampa con fines agronómicos (revegetación)	Diseñar el estudio de suelos e integrar al cronograma de ejecución de tareas

REQUERIMIENTO IDENTIFICADO SUPERFICIE FINAL DE CIERRE (Etapa 19 - 2.347 m.s.n.m.- año 2018)	DEFINICIÓN FALTANTE
Control de calidad de construcción durante la colocación del material de cobertura de Tampa Tampa	Diseñar el programa de control, establecer las curvas granulométricas del material a utilizar, vincular esos resultados con el área de aporte/suministro (abanico aluvial de Tampa Tampa)
Trabajos y maniobras de movimientos de suelos sobre el material de cobertura de Tampa Tampa	Evaluar la incidencia de los movimientos de las maquinarias en la superficie de la cobertura y adaptar los procedimientos de construcción
REQUERIMIENTO IDENTIFICADO TALUD DEL MURO DE CIERRE	DEFINICION FALTANTE
Superficie a cubrir	No especificada
Material a cubrir: en la documentación se hace mención al material que constituye el talud del muro de cierre, como: Arenas de relaves, suelos aluviales naturales de la zona y roca estéril de la mina, según PCA Construcción y Monitoreo del Dique de Colas (vigente) y Knight Piésold (2016) Y también como: El muro del depósito fue diseñado como presa zonificada, utilizando rellenos de suelos naturales y enrocados, según Knight Piésold (2016)	Especificar de qué tipo de material se trata (ninguna especificación se refiere a su caracterización química, lo que resulta relevante en cuanto a su clasificación como PGA o no PGA)
Clasificación PGA/no PGA del material del talud	No especificada
Material de cobertura del talud: en la documentación se hace mención a la posible utilización de <i>roca estéril benigna</i> según Plan de Cierre de Mina (Minera Alumbraera, 2016)	No especificado. Se requiere especificación de la composición química de la roca estéril benigna. Esta terminología no indica composición química ni clasificación PGA/no PGA.
Clasificación PGA/no PGA del material de cobertura del talud	No especificado

REQUERIMIENTO IDENTIFICADO	DEFINICIÓN FALTANTE
SUPERFICIE FINAL DE CIERRE (Etapa 19 - 2.347 m.s.n.m.- año 2018)	
Espesor de la cobertura del talud: en la documentación se hace mención a un posible espesor de 15 m en la parte inferior, según Plan de Cierre de Mina (Minera Alumbraera, 2016)	No especificado. Dado que se trata de un talud se requiere de la especificación del espesor en función de su pendiente.
Volumen requerido de material de cobertura del talud	No especificado
REQUERIMIENTO IDENTIFICADO	DEFINICION FALTANTE
AMBAS INSTALACIONES	
Obras de ingeniería hidráulica etapa cierre y post-cierre de mina	Definir el diseño de ingeniería de detalle de estas obras

6. ANÁLISIS DE LA EVOLUCIÓN DE LA PLUMA DE DISPERSIÓN, BASADO EN EL SISTEMA DE RETROBOMBEO Y EN EL COMPORTAMIENTO DEL AGUA SUBTERRÁNEA, EN RELACIÓN CON LA DISTRIBUCIÓN DE POZOS PARA CUMPLIR CON LA FINALIDAD DE MANTENER LA PLUMA DE AGUAS DE PROCESO DENTRO DE LOS LÍMITES DEBIDOS

Se ha revisado y analizado toda la documentación disponible tanto en formato de informes y estudios, como en bases de datos e informes de laboratorio de parámetros químicos de análisis de muestras de agua, correspondientes a la etapa de explotación del proyecto minero desde el inicio de las operaciones hasta la actualidad.

Se ha realizado una síntesis integradora con el objetivo de identificar qué contribuciones relevantes ha hecho toda esta vasta documentación al análisis de la evolución de la pluma de dispersión de aguas de proceso durante la etapa de explotación minera hasta la actualidad (20 años) y qué consideraciones, mejoras y/o modificaciones de gestión ambiental deberían evaluarse para la etapa de cierre y post-cierre de mina, de forma tal de asegurar la estabilidad química del dique de colas y la protección de las aguas superficiales y subterráneas aguas abajo de la instalación, luego del cese de las operaciones mineras.

Esta síntesis integradora se presenta del siguiente modo:

1. Síntesis de la naturaleza geológica e hidrogeológica del área donde está emplazado el dique de colas y cómo ambas variables, el ambiente natural (geología e hidrogeología) y el proyecto (Dique de Colas) interactúan y, cómo han condicionado el diseño e implementación de los programas de control ambiental vigentes (PCA) durante la etapa de explotación y las previsiones para la etapa de cierre y post-cierre de mina.
2. Síntesis e interpretación de los datos de análisis químicos de aguas superficiales y subterráneas efectuados hasta la actualidad (Programas de Control Ambiental *Calidad de agua en el río Vis Vis* y *Metales trazas en el río Vis Vis*), las tendencias que indican estos datos y qué conclusiones pueden inferirse, qué limitaciones poseen y qué previsiones, modificaciones y/o mejoras podrían implementarse para optimizar los Programas de Control Ambiental y adaptarlos a la etapa de cierre y post-cierre de mina.
3. Análisis de la eficiencia del sistema de retrobombeo (*Programa de Control Ambiental Sistema de Retrobombeo*) como variable de diseño de ingeniería que permite captar el agua de la pluma de aguas de proceso dentro de los límites de la concesión minera durante la etapa de explotación y qué consideraciones, modificaciones y/o mejoras podrían implementarse para optimizar este programa y adaptarlo a la etapa de cierre y post-cierre de mina.

6.1 SÍNTESIS DE LA NATURALEZA GEOLÓGICA E HIDROGEOLÓGICA DEL ÁREA DONDE ESTÁ EMPLAZADO EL DIQUE DE COLAS Y COMO AMBAS VARIABLES, EL AMBIENTE NATURAL (GEOLOGÍA E HIDROGEOLOGÍA) Y EL PROYECTO (DIQUE DE COLAS) INTERACTÚAN Y COMO HAN CONDICIONADO EL DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE LOS PROGRAMAS DE CONTROL AMBIENTAL VIGENTES (PCA) DURANTE LA ETAPA DE EXPLOTACIÓN Y LAS PREVISIONES PARA LA ETAPA DE CIERRE Y POST-CIERRE DE MINA

En base a la documentación analizada, se pudo constatar que la red de pozos de monitoreo y retrobombeo y las estaciones de monitoreo de aguas superficiales, aguas abajo del dique de colas, ha sido diseñada teniendo en cuenta las características geológicas e hidrogeológicas de la zona que se encuentra ampliamente estudiada, con estudios de detalle, incluso previos al inicio de la operación del proyecto minero.

Los modelos hidrogeológicos y su calibración conforme a datos corroborados en el campo (obtenidos de los monitoreos de calidad de agua implementados según los

PCA vigentes, junto con el monitoreo isotópico-hidroquímico llevado a cabo por la empresa son las herramientas disponibles, que integran las principales características geológicas e hidrogeológicas de la zona y permiten hacer las evaluaciones más acertadas, si bien siempre poseen un grado de incertidumbre, como cualquier herramienta de modelación. En este sentido, la información hasta la fecha es de calidad y de detalle, siendo el último antecedente relevante el modelo hidrogeológico realizado por AGE (2010) *Recalibración del modelo de flujo y transporte de solutos quebrada de Vis Vis – Minera Alumbraera*.

De acuerdo con el Plan de Cierre de Mina (Minera Alumbraera, 2016), está en fase prevista de ejecución durante el presente año (2017) el modelo hidrogeológico integrado Vis Vis – Mina (open pit). Es esperable que este estudio aporte datos actualizados e integrados, que permitan: a) visualizar la pluma de dispersión de sulfatos con datos calibrados hasta 2017, y b) predecir las condiciones esperables luego del cese de las operaciones mineras, en cuanto al período estimativo de posible disminución de los valores de concentraciones de sulfatos y elaborar predicciones del retroceso de la pluma de agua de proceso luego del cese de las operaciones mineras, y c) visualizar la variación de otros parámetros químicos que caracterizan las aguas del proceso (como estroncio y molibdeno, por ejemplo).

Del último modelo hidrogeológico del open pit (MWH, 2014) incluido en el Plan de Cierre de Mina (Minera Alumbraera, 2016) y considerado en conjunto con el realizado por AGE en 2010, se puede interpretar, en principio, que existe independencia desde el punto de vista hidrogeológico entre el sistema que está asociado al dique de colas y el asociado con el open pit. Se señala en ambos casos que existe un límite entre ambos sectores determinado por el denominado “Complejo Falla Vizcachas”, que se dispone al Oeste del Dique de Colas y limita tanto la porción de cubeta donde se depositan las colas, como la presa en sí, las instalaciones de retrobombeo al pie de la presa y el sistema colector de drenaje (DCP) (Anexo 3, “Análisis de la información disponible sobre el escurrimiento subterráneo”). Sobre esta base IATASA considera que se podría descartar, en principio, la comunicación directa transversalmente al “Complejo Falla Vizcachas” de las aguas subterráneas entre la Instalación de Almacenamiento de Colas (TSF) y el sistema hidrogeológico entorno al open pit, ambos con escurrimiento regional hacia el SE.

En el presente estado de avance del proyecto minero, los controles geológicos, estructurales e hidrogeológicos condicionan la distribución de la pluma de aguas del proceso. Estos controles permiten inferir un escurrimiento subterráneo de dirección predominante SSE. IATASA observa dos situaciones diferenciadas hacia los extremos SSE y SSO, aguas abajo del dique de colas, a saber:

Aguas abajo del dique de colas y hacia el extremo SSE, los pozos PB25, PB27, PB16, y PB28, controlan e interceptan el avance de la pluma hacia el sur, siendo el

control hacia el E del escurrimiento subterráneo, de tipo estructural (falla Atajo). Los valores de concentraciones de sulfatos son decrecientes hacia el sur desde el espaldón del dique de colas (PB25) y hasta el pozo PB28, que es, actualmente, el punto extremo sur de avance de la pluma de aguas de proceso, con valores promedio de concentración de sulfatos de 1.500 ppm (datos 2013-2016).

Aguas abajo del dique de colas y hacia el extremo SSO, el control estructural predominante son las fallas y fracturas menores de rumbo NNO-SSE, las cuales facilitan a su vez, la dirección del escurrimiento subterráneo hacia el SSE. Este escurrimiento subterráneo, al pie del borde SO del espaldón, es interceptado por el pozo PB24. Hacia el SO, según los datos de los pozos de monitoreo MW25 y MW19, no se verifica el avance de la pluma en esa dirección, ya que el escurrimiento tiene dirección hacia el SSE y no hacia el SSO. En acuerdo con los controles geológicos, estructurales e hidrogeológicos, no debería producirse un avance de la pluma de aguas del proceso hacia el SSO del pozo PB24, es decir hacia el SSO del espaldón del dique de colas. Sobre la base de este análisis, en la actualidad, los puntos de control del avance de la pluma de sulfatos los constituyen, principalmente, las estaciones de monitoreo MW18 y MW21. Con la finalidad de establecer un control más ajustado del límite occidental de la pluma de aguas de proceso se propone realizar verificaciones adicionales, en una primera etapa, considerando las instalaciones actuales, que en este caso consistiría en retomar los monitoreos sistemáticos de calidad de agua en el PB29 existente.

Adicionalmente, en una segunda etapa, se propone incorporar en ese sector un pozo de monitoreo adicional, aquí denominado MWS24 (o como se acuerde con la SEM – DiPGAM dicha nomenclatura), que debería contribuir a reforzar el control del límite de la pluma en esa porción occidental. En las Figuras 6.1 y 6.2 se puede observar las ubicaciones de PB24, PB29 y el propuesto MWS24 con detalles de la estructura (Fallas y fracturas en trazos de color rojo) y geomorfología (Principales divisorias en color verde y avenamiento en color azul claro) del sector e incorporación del dibujo de la pluma de agua de proceso (Fig. 6.2).

En la Figura 6.3 se observan resaltados en forma esquemática los controles estructurales de la zona de emplazamiento del Dique de Colas que estarían enmarcando el escurrimiento superficial y subterráneo y, por ende, delimitando el avance de la pluma de aguas de proceso durante la etapa de explotación minera.

En conclusión, estos controles geológicos, hidrogeológicos y estructurales han condicionado el avance de la pluma de aguas de proceso durante la etapa de explotación minera, a los cuales se ha adicionado el Sistema de Retrobombeo, como variable de diseño de ingeniería para mantener la pluma de aguas de proceso dentro de los límites de la concesión minera durante los años de explotación. Estos controles seguirán vigentes durante la fase de cierre y post-cierre de mina, donde se

espera el retroceso de la pluma de aguas de proceso hasta alcanzar determinados valores para la concentración de sulfatos.

6.2 SÍNTESIS E INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS DE ANÁLISIS QUÍMICOS DE AGUAS SUPERFICIALES Y SUBTERRÁNEAS EFECTUADOS HASTA LA ACTUALIDAD (PROGRAMAS DE CONTROL AMBIENTAL CALIDAD DE AGUA EN EL RÍO VIS VIS)

Se han analizado y revisado en detalle todos los datos químicos provistos por la DiPGAM: bases de datos e informes evaluatorios, y todos los datos informados a la DiPGAM por la empresa: informes trimestrales y semestrales de los PCA Calidad de Aguas en Vis Vis y Metales traza en Vis Vis. También se tuvieron en cuenta las solicitudes referidas a datos de análisis químicos, que fueran realizadas por la DiPGAM en reuniones mantenidas con IATASA, sobre algunas estaciones de monitoreo específicas.

6.2.1 ELEMENTOS MAYORITARIOS (PCA CALIDAD DE AGUAS EN VIS VIS)

De acuerdo con lo señalado en el Plan de Cierre de Mina (Minera Alumbraera, 2016) y el Anexo 7-3, los parámetros químicos establecidos en las resoluciones SEM 232/09 y 240/09 para las estaciones de muestreo de agua superficial DS1, DS5, DS6 y DS8; son los **niveles de referencia de calidad de agua** que han sido fijados para la etapa de explotación minera. De los informes evaluatorios de la DiPGAM, surgen los valores fijados para las otras estaciones de muestreo en base a valores promediados años 1997-2007. En ambos casos estos valores están referidos a los parámetros: conductividad, sulfatos y cloruros.

En el documento Plan de Cierre de Mina (Minera Alumbraera, 2016) no se hacen especificaciones al respecto.

6.3 ANÁLISIS DE LA EFICIENCIAS DEL SISTEMA DE RETROBOMBEO COMO VARIABLE DE DISEÑO DE INGENIERÍA QUE PERMITE CAPTAR EL AGUA DE LA PLUMA DE AGUA DE PROCESO DENTRO DE LOS LÍMITES DE LA CONCESIÓN MINERAL LUEGO DEL CESE DE LAS OPERACIONES MINERAS

Luego del cese de las operaciones mineras, está prevista la progresiva desafectación de los pozos del sistema de retrobombeo aguas abajo del Dique de Colas. Se ha realizado la revisión, integración y síntesis de la documentación

referente a la desafectación de los pozos del sistema de retrobombeo, la cual, permitió definir qué requerimientos deben precisarse aún en un *Plan de Cierre de Mina a nivel de Ingeniería de Detalle* en vistas de optimizar el PCA Sistema de Retrobombeo vigente, y adaptarlo a la etapa de cierre y post-cierre de mina, mediante el Plan de Cierre.

6.3.1 REQUERIMIENTOS RELATIVOS A LA CONCENTRACIÓN DE SULFATOS A ALCANZAR EN LA ETAPA DE CIERRE Y POST-CIERRE DE MINA

No se indican (en toda la documentación disponible) los valores en cifras que se deben alcanzar. IATASA considera que debería establecerse en cifras concretas el valor indicador de concentración de sulfatos que permitiría la liberación del pozo a ser desafectado del sistema de retrobombeo, e indicar si ese valor es idéntico para todos los pozos de retrobombeo, o si varía según la ubicación de los mismos.

Se debería precisar el período de medición con valores de concentración constantes, luego del cual el pozo podría ser desafectado.

Como opciones a evaluar para considerar en la etapa de cierre y post-cierre para el Sistema de Retrobombeo, podrían citarse a modo de ejemplo algunas posibilidades: si se elaborará un programa específico de medición del parámetro sulfatos en todos los pozos de retrobombeo a partir del cese de las operaciones mineras; si habrá una variación en la frecuencia de medición (actualmente trimestral) del parámetro sulfatos en vistas de la desafectación de los pozos; si habrá una medición continua de este parámetro en boca de pozo con instrumental adaptado.

6.3.2 REQUERIMIENTOS REFERIDOS A LA SECUENCIA DE DESAFECTACIÓN DE LOS POZOS DE RETROBOMBEO EN LA ETAPA DE CIERRE Y POST-CIERRE DE MINA

Como antecedente más relevante disponible, referido a esta secuencia de desafectación de pozos de retrobombeo, se cita el informe Recalibración del modelo de flujo y transporte de solutos quebrada de Vis Vis - Minera Alumbra de Australasian Groundwater & Environmental Consultants Pty Ltd (2010), que tuvo por objetivo realizar una simulación predictiva de la dispersión de la pluma de sulfatos y una secuencia de desafectación tentativa de pozos. Este antecedente es el más actualizado, ya que no se realizaron otros posteriores de modelación hidrogeológica hasta la actualidad. Asimismo este informe recomienda que “se debería realizar una validación de las predicciones del modelo, y si fuera necesaria una recalibración del modelo dentro de unos cuatro años y otra vez al momento de la salida de servicio del TSF”. Se estima que el modelo hidrogeológico integrado Vis Vis – Mina (open pit), en fase prevista de ejecución durante el presente

año (2017) aporte datos actualizados, que permitan fundamentar una eventual secuencia de desafectación de pozos de retrobombeo en función del tiempo, en base a la concentración de sulfatos en el agua que se fije, para permitir la liberación de los pozos a ser desafectados del sistema de retrobombeo.

En la documentación más actualizada, se menciona la estimación de 8 años, propuesta por Minera Alumbreira y que está en evaluación al igual que el resto del contenido del Plan de Cierre presentado, como período de tiempo para la disminución de la concentración de sulfatos, pero la misma no está justificada o al menos referenciada a un estudio concluyente al respecto. De todas formas, analizando los datos de valores de concentración de sulfatos hasta la actualidad en los pozos de retrobombeo que cuentan con mediciones, se verifica un rango de valores estimativos promedio (2011-2016) entre 1486 y 2298 mg/l aproximadamente, lo cual hace inferir que el período de tiempo será variable también, para alcanzar la concentración que se fije para el parámetro, dependiendo de la concentración de sulfatos existente al cese de las operaciones mineras en cada uno de los pozos de retrobombeo a desafectar y de otras condiciones como por ejemplo el régimen pluvial de la zona y las características de permeabilidad del acuífero.

La liberación de los pozos de retrobombeo para ser desafectados del sistema, dependerá de la disminución de la concentración de sulfatos (y eventualmente de otros parámetros).

6.3.3 REQUERIMIENTO DE OBRAS DE INGENIERÍA HIDRÁULICA ETAPA CIERRE Y POST-CIERRE DE MINA

El Sistema de Retrobombeo para la etapa de cierre y post-cierre de mina, y la estabilidad física y química del dique del colas, están sujetos a las obras de ingeniería hidráulica de desvío de escorrentías superficiales, previstas para esta etapa del emprendimiento minero, a saber: obras de ingeniería de atenuación de crecidas, la construcción de un vertedero de emergencia y un canal evacuador, la eventual construcción de canales internos dentro de la superficie final de cierre de colas depositadas.

Aún no se dispone del diseño de ingeniería de detalle de dichas obras.

En la Tabla 6.1 se resumen las conclusiones y recomendaciones:

Tabla 6. 1 Conclusiones y/o recomendaciones

REQUERIMIENTO IDENTIFICADO	DEFINICIÓN FALTANTE
Aspectos relativos a la concentración de sulfatos a alcanzar en la etapa de cierre y post-cierre de mina	<p>Definir y expresar en valor numérico la concentración de sulfatos para desafectar todos los pozos de retrobombeo (línea de referencia). Definir el tiempo de verificación de estabilización de la medición de sulfatos para desafectar los pozos de retrobombeo</p> <p>Definir qué otros parámetros físico-químicos deberían ser verificados según legislación vigente u estándar de calidad de agua adoptado para la etapa de cierre y post-cierre, para desafectar todos los pozos de retrobombeo</p>
Aspectos referidos a la secuencia desafectación de los pozos de retrobombeo en la etapa de cierre y post-cierre de mina	Resultados previstos según el modelo hidrogeológico integrado Vis Vis-mina (en actual ejecución – año 2017)
Aspectos de obras de ingeniería hidráulica de desvío de escorrentías superficiales	Definir el diseño de ingeniería de detalle de estas obras

6.4 PARTICIPACIÓN DE IATASA EN LA CAMPAÑA DE MONITOREO DE AGUAS SUPERFICIALES Y SUBTERRÁNEAS QUEBRADA DE VIS VIS – CAMPO DEL ARENAL Y MONITOREO ISOTÓPICO-HIDROQUÍMICO DE QUEBRADA VIS VIS

En Noviembre 2016, junto con profesionales de la DiPGAM, personal de IATASA, participó de la campaña de monitoreo de calidad de aguas superficiales y subterráneas en la quebrada de Vis Vis y Campo del Arenal (según el PCA actualmente en revisión) y del monitoreo isotópico-hidroquímico quebrada de Vis Vis.

6.4.1 MONITOREO DE CALIDAD DE AGUAS SUPERFICIALES Y SUBTERRÁNEAS SEGÚN PCA ACTUALMENTE EN REVISIÓN

Se realizó el monitoreo en forma paralela por 2 equipos: personal de Medio Ambiente de Minera Alumbraera y personal de la DiPGAM. Ambos equipos trabajaron en forma independiente. Se constató la capacidad de entrenamiento e idoneidad en muestreo de campo de ambos equipos de trabajo y el conocimiento de las tareas a realizar: el cuidado y preparación del material de muestreo, la utilización de prácticas de preservación de las muestras, el registro de los datos en campo, la operación de los equipos de medición de campo, el lavado de los materiales para evitar contaminación cruzada, la adecuación a los protocolos de muestreo y control y

aseguramiento de calidad en todo el procedimiento de muestreo. Se constató también la capacidad de ambos equipos de trabajo para desplazarse en ambas áreas a muestrear, el cuidado de las instalaciones y el respeto de las normas de seguridad e higiene durante la ejecución de las tareas. Ambos equipos trabajan con equipamiento y tests de campo idénticos o similares, salvo el método de filtración de muestras en el campo y la concentración del ácido utilizado para preservar las muestras.

Personal de IATASA, participó de la campaña de toma de muestras, mediciones de campo y mediciones de caudales en las siguientes estaciones de muestreo:

- Campo del Arenal: río Los Nacimientos, río Las Cortaderas, CMW1, CMW2, PZ4, CMW3, PZ3, CMW4, CMW7, PZ2, PZ1, PW8, PW7, CMW5a,
- Quebrada de Vis Vis: MW32, MW33, PB25, PB24, DS8, DS7E, DS7, DS6 (Las Juntas)-DS5-DS4 (quebrada Huaico), DS1, Los Baños, DCP, LCD (sobrenadante Dique de Colas), T-6, PB27, PB16, MW28.

6.4.2 MONITOREO ISOTÓPICO – HIDROQUÍMICO QUEBRADA DE VIS VIS

Minera Alumbra, a través de un consultor externo (AQUACONSULT), está llevando a cabo desde el año 2004 y con frecuencia bianual, un monitoreo isotópico de las aguas superficiales y subterráneas de la quebrada de Vis Vis, que no forma parte de los PCA actualmente en revisión (Calidad de aguas quebrada Vis Vis y Metales Traza quebrada Vis Vis), pero que complementa la información que aportan los PCA, como herramientas de control ambiental de las aguas superficiales y subterráneas, aguas abajo del dique de colas. Hasta el presente la empresa cuenta con los datos de los años 2004, 2006, 2008, 2010, 2012 y 2014 de 28-29 puntos de muestreo. Los informes provistos a la DiPGAM de este monitoreo y que figuran como antecedentes para IATASA, se incluyen en el análisis de la información actualmente en curso, e integra la síntesis del apartado 6.2.

Durante la campaña de monitoreo de aguas superficiales y subterráneas según PCA vigente, se realizó la campaña de monitoreo isotópico quebrada Vis Vis, a cargo de personal de AQUACONSULT, y en presencia de personal de la empresa, de la DiPGAM y de personal de IATASA.

Personal de IATASA, pudo participar de la presentación en las oficinas de la mina, que realizó personal de AQUACONSULT, a la DiPGAM y en presencia de personal de la empresa, donde se presentó una síntesis del monitoreo isotópico-hidroquímico realizado hasta el año 2014 y las particularidades de la campaña 2016. Se resumen los tópicos centrales de la presentación realizada por AQUACONSULT:

- El monitoreo isotópico se ha realizado durante 10 años en 28-29 puntos de muestreo y con determinaciones isotópicas de ^{18}O , ^2H , ^{34}S , ^{13}C , ^3H .
- Los resultados hasta 2014 permiten concluir que el río Vis Vis no recibe ningún aporte de las aguas del Dique de Colas.
- Los resultados hasta 2014 permite concluir que el sistema de retrobombeo controla en forma eficiente la pluma de sulfatos de aguas del proceso.
- Con el análisis isotópico-hidroquímico se pueden diferenciar 2 tipos de aguas en la zona aguas abajo del Dique de Colas: *aguas del Dique de Colas* (aguas del proceso) que son sulfatadas cálcicas y *aguas termales* que son sulfatadas sódicas.

7. ANÁLISIS DEL DISEÑO FINAL DE LA SISTEMATIZACIÓN DE LA CUENCA HÍDRICA ASOCIADA AL SISTEMA DE DEPOSICIÓN DE LAS COLAS, INCLUYENDO LOS APORTES DE CURSOS DE AGUA NATURAL QUE INGRESAN A LA OBRA EN FUNCIÓN DEL CIERRE DE LA MISMA

Se ha revisado el documento Plan Cierre de Mina - Res. SEM 396-2016, mencionado en el punto “2. Análisis de documentación antecedente”, y a partir de su análisis surgen los comentarios que se presentan a continuación.

Se considera que el documento presenta un carácter descriptivo y general. En los casos en que se señalan algunas características de las obras que deberán ser realizadas en el proceso de cierre, las mismas no se encuentran debidamente justificadas.

En este sentido llama la atención que en el Punto 11 del Documento (“Bibliografía”) no se mencionen los siguientes Informes, aún cuando en los Anexos se hace referencia a algunos de ellos (Anexo 7.3.1):

- “INFORME DETALLADO DE DISEÑO SISTEMA DE MANEJO DE COLAS” Knight Piésold Ltd – 1997
- “ACTUALIZACIÓN ESTUDIO HIDROLÓGICO” Knight Piésold Ltd., Agosto 2008.
- “DETERMINACIÓN DE PRECIPITACIONES Y CAUDALES DE DISEÑO – Estudio Hidrológico de Crecidas – Proyecto de Cierre de Botaderos y Dique de Colas” – Golder Associates – Octubre de 2012.

- “ESTUDIO DE EROSIÓN HÍDRICA EN LA CUENCA DEL RÍO VIS VIS EN RELACIÓN A LA CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO DEL DIQUE DE COLAS” - Golder Associates – Agosto de 2014.

Por ejemplo, en la página 49 del “Plan de Cierre”, refiriéndose al Dique de Colas y a los datos de precipitación de 24 horas de duración, se efectúan las mismas consideraciones que en el Informe de Knight Piésold Ltd. de 1997.

“Informe Detallado de Diseño” (Knight Piésold, 1997)

En el mismo se efectúa un análisis del funcionamiento hidrológico del sistema durante los períodos de operación y cierre de la mina. No se cuenta con datos específicos de variables hidrológicas, más allá de algunos parámetros climáticos que permiten efectuar caracterizaciones generales y datos diarios de precipitación en la estación Santa María. Asimismo, se emplean datos de estaciones ubicadas al sur del Estado de Arizona en los EEUU. El empleo de dichos datos se justifica por medio de la consideración de que las características climáticas de ambas regiones (Minera Alumbraera, Catamarca y el Sur de Arizona) son similares. IATASA considera que tal justificación parece responder más a la necesidad de disponer de algún dato numérico para efectuar evaluaciones cuantitativas, que a una realidad física verificada.

En el Anexo 7.3.1, numeral 4.4.1 “Estudios específicos” (página 21 de 75), se señala que a raíz de comentarios efectuados por IATASA en el año 2014 y que fueron remitidos por la DiPGAM, el estudio del año 2008 “Actualización Estudio Hidrológico” fue complementado y se presenta el Cuadro 4.4.1, en el que se indican los valores de precipitación de 24 horas de duración estimados para el sector de Alumbraera para diferentes períodos de retorno. Los valores indicados en dicho cuadro difieren de los presentados en el 2008, algunos de ellos en forma significativa.

En el Anexo 7.3.2 Apéndice C, página 6 de 33, se presenta el Cuadro 2.5 en el que se indican valores de precipitación atribuidos a diferentes recurrencias, que difieren de los presentados en el Cuadro 4.4.1 del Anexo 7.3.1. A continuación se comparan ambos Cuadros (Tabla 7.1):

Tabla 7. 1. Comparación de valores de precipitación mencionados en distintos Anexos. Fuente: Plan Cierre de Mina - Res. SEM 396-2016.

Período de Retorno (años)	P (mm) en Alumbraera según Anexo 7.3.2 C	P (mm) en Alumbraera según Anexo 7.3.1
50	137,5	126,0
100	155,1	130,2

Período de Retorno (años)	P (mm) en Alumbraera según Anexo 7.3.2 C	P (mm) en Alumbraera según Anexo 7.3.1
200	173,6	140,6
1000	217,1	157,1
PMP	350,9	426,9

Los valores presentados en el Anexo 7.3.2 C, coinciden con los indicados en el documento del año 2008 “Actualización Estudio Hidrológico”, excepto el valor atribuido a la PMP, que en este último documento es de 411,90 mm.

Se debería presentar un Anexo con el detalle de los estudios hidrológicos realizados. Dicho Anexo debería ser integrador de los estudios antecedentes, teniendo en cuenta las modificaciones a los mismos que se consideraron necesarias.

En la Sección 5.0 “Evacuación de la Crecida Máxima Probable” del Anexo 7.3.2 C del Plan de Cierre (página 18 de 33) se presentan las características físicas de las cuencas que aportan al Dique de Colas y la estimación del tiempo de concentración de cada una de ellas, el que se señala que ha sido calculado mediante la fórmula de “California Culverts Practice”. Con respecto a este tema se reiteran los comentarios efectuados en la revisión, del documento SA 201-00001/31 – Rev.1 de Knight Piésold de julio de 2015:

Si se estima, a partir de los datos de longitud de cauce principal y tiempo de concentración presentados en el cuadro anterior, la velocidad media de traslado, la misma presenta una gran variabilidad, aún para cuencas con pendientes similares (Tabla 7.2).

Tabla 7. 2. Longitud de cauce principal, tiempo de concentración y velocidad mediante traslado. Fuente: ESTUDIOS DE ESTABILIDAD Y PLAN DE CIERRE CONCEPTUAL PARA EL AUMENTO DE LA COTA FINAL DEL DIQUE DE COLAS A 2347 m – Knight-Piésold 2015.

Long Cauce (km)	Tc (hrs)	V (m/s)
1,21	0,443	0,76
7,52	1,639	1,27

Long Cauce (km)	Tc (hrs)	V (m/s)
9,97	1,475	1,88
0,17	0,587	0,08
0,37	0,558	0,18
6,57	1,045	1,75
6,84	1,067	1,78
4,59	1,056	1,21
5,23	1,067	1,36

Esto resulta llamativo. Por otra parte en el Cuadro 5.1 se señala que la estimación de los tiempos de concentración ha sido realizada por medio de la fórmula del California Culverts Practice, pero no se presenta la fórmula utilizada.

Los cálculos realizados con la expresión correspondiente a unidades métricas:

$$T_c \text{ (hrs)} = (0,87075 \times L \text{ (km)}^3 / DH \text{ (m)})^{0,385}$$

dan resultados diferentes a los indicados en el Cuadro 5.1. Por otra parte, las pendientes presentadas en dicho Cuadro no son las que resultan de dividir el DH por la longitud del cauce. En la Tabla siguiente (Tabla 7.3) se resumen los cálculos de verificación realizados. Es posible observar que las velocidades medias se encuentran comprendidas en un rango diferente al del Cuadro 1 (1.30 a 2.38 m/s).

Tabla 7. 3. Cálculos de verificación realizados. Fuente: elaborado por IATASA.

Long Cauce (km)	DH (m)	Tc (hrs)	I (m/m)	V (m/s)
1,21	52	0,26	0,04	1,30
7,52	227	1,21	0,03	1,73
9,97	558	1,18	0,06	2,34
0,17	32	0,03	0,19	1,46
0,37	32	0,08	0,09	1,30

Long Cauce (km)	DH (m)	Tc (hrs)	I (m/m)	V (m/s)
6,57	490	0,77	0,07	2,38
6,84	485	0,81	0,07	2,35
4,59	265	0,64	0,06	1,98
5,23	214	0,81	0,04	1,79

Por lo expuesto se considera necesario rever el método de cálculo utilizado (verificar su aplicabilidad a zonas con las características fisiográficas de las cuencas en estudio) y calcular con otras metodologías a fin de lograr la estimación más representativa.

La metodología empleada para la determinación de los hidrogramas unitarios sintéticos (punto 5.1.3 del Anexo 7.3.2 C) no se encuentra debidamente justificada, ya que sólo se presenta una referencia bibliográfica que justificaría la adopción de ciertos parámetros. Debería presentarse el trabajo de Benítez y Arteaga. Asimismo, debería presentarse la totalidad de los parámetros físicos de cada cuenca involucrados en el cálculo y los resultados obtenidos. Por otra parte, no resulta claro por qué se recurre al hidrograma adimensional del SCS (año 1957) y no se emplean metodologías más recientes tales como el hidrograma unitario triangular (adaptación del adimensional realizada en el año 1972) o modelos matemáticos hidrológicos que permiten el uso de distintas metodologías para definir hidrogramas unitarios sintéticos.

En el Anexo 7.3.2 C se señala que para la determinación de la PMP efectiva (punto 5.1.4) se ha utilizado el método del Número de Curva (CN) del Soil Conservation Service sin embargo, no se indica el valor adoptado. A partir de la descripción que se presenta, es posible suponer que se ha adoptado un valor de CN de 86, el que resulta consistente con la lámina efectiva estimada para la PMP. No obstante ello, se debería indicar el valor adoptado. Por otra parte, la ecuación de la pérdida potencial máxima que se indica en la página 21 es la correspondiente a unidades inglesas. Se debería corregir la expresión. La distribución temporal adoptada para la PMP neta no se encuentra debidamente justificada, ya que sólo se presenta una referencia bibliográfica y una tabla que justificaría la misma. Se debería presentar algún detalle sobre las características de la región en la cual fue desarrollado el mencionado trabajo antecedente. Debe tenerse en cuenta que la presencia de la cordillera de Los Andes en algunos sectores limítrofes entre Chile y Argentina genera procesos climáticos muy diferentes a barlovento que a sotavento.

Las precipitaciones máximas de 24 horas de duración atribuidas a diferentes períodos de retorno en el Anexo 7.3.2 D coinciden con las presentadas en el Anexo 7.3.1, pero difieren de las indicadas en el Anexo 7.3.2 C. Se deberían unificar los valores justificando la adopción de los que resulten definitivos.

En el Anexo 7.3.2 D se presenta el valor del coeficiente CN empleado en el cálculo de la precipitación efectiva (81). Para la transformación lluvia – caudal se empleó el modelo HEC-HMS utilizando el Hidrograma Unitario de Snyder. No existe coincidencia entre los valores indicados en los Anexos 7.3.2 C y 7.3.2 D. Se deberían unificar criterios y valores.

Desde el punto de vista formal, se debería generar un único anexo para cada especialidad, por ejemplo “Hidrología e Hidráulica”. La presentación de numerosos anexos dificulta la identificación de los detalles de los cálculos realizados, los que muchas veces difieren de un anexo a otro.

Se debería generar un nuevo documento que contemplase la totalidad de los comentarios efectuados, en particular los relacionados con las inconsistencias técnicas detectadas.

8. ANÁLISIS DEL CONJUNTO DE DRENAJES LATERALES Y DE FUNDACIÓN DE LA PRESA QUE COLECTAN LAS FILTRACIONES CONDUCENTES AL SISTEMA DE CAPTACIÓN DE DRENAJES AGUAS ABAJO DEL DIQUE

De acuerdo con la información proporcionada por la DiPGAM, se cuenta con caudales registrados en los vertederos del dren de muro y dren de fundación del Dique de Colas correspondientes a la construcción de las etapas 17 y 18.

En las Figuras 8.1 y 8.2 se presentan gráficos donde se relaciona los caudales registrados en los vertederos del dren de muro y dren de fundación y el nivel de agua de la laguna de sobrenadante, durante la construcción de las etapas 17 y 18.

Como se puede observar en las figuras anteriores, los caudales medidos del dren de muro y dren de fundación se mantienen relativamente constantes (no se observa dependencia significativa entre las variables medidas) con la variación del nivel de agua de la laguna sobrenadante durante la construcción de la etapa 17 y 18, con caudales promedios similares para ambas etapas (ver Tabla 8.1).

Tabla 8. 1. Caudal promedio aforado del dren de Muro y dren de fundación durante las etapas 17 y 18 sobre la base de datos de Minera Alumbreira provistos por la DiPGAM.

Etapa	Caudal promedio aforado Dren de muro (l/seg)	Caudal promedio aforado Dren de muro (l/seg)
17	36	76
18	38	69

Teniendo en cuenta los datos disponibles, se evaluó el conjunto de drenajes laterales y de fundación de la presa, para las etapas 17 y 18, mediante un análisis de las redes de infiltración con el GeoStudio 2007: Seep/W.

Para la modelización se ingresó la geometría de la sección de la presa de la etapa 17 (ver figura 8.1) y la etapa 18 (ver figura 8.2).

Luego se modeló la estratificación de los relaves y las permeabilidades de cada material, teniendo en cuenta los modelos para el estudio de infiltraciones y posibilidad de sifonamiento en fundación y presa desarrollados por IATASA en el informe final del 13 de Noviembre de 2014 (“CONSULTORIA TÉCNICA DE INGENIERÍA DE OBRAS MINERAS: DIQUE DE COLAS EN BAJO LA ALUMBRERA”).

En estos modelos se utilizaron, para la estratificación del material de colas los datos aportados en el estudio realizado en el año 2013 (“Actualización Estudio Geotécnico Alumbreira Rev 1. (Ref. No. SA201-00001/37-01 Rev. 1)”), donde se tomó como referencia el sondeo 3 que coincide con la sección de máxima altura modelada. Según los estudios realizados en esta campaña se definió un estrato superior de 16m de espesor que mayoritariamente está compuesto por arenas limosas SM (según la clasificación SUCS). Subyacen limos de baja plasticidad de clasificación ML, en un espesor de 97m, asumiéndose que el estrato superior continuará hasta la cota final de coronamiento 2347m.

En cuanto a las permeabilidades, las mismas fueron obtenidas de los antecedentes disponibles. En el siguiente cuadro se informan las permeabilidades promedio y máxima (las celdas en verde indican los valores utilizados en los modelos):

Tabla 8. 2. Permeabilidades adoptadas para los materiales de la presa sobre la base del Informe Final “CONSULTORIA TÉCNICA DE INGENIERÍA DE OBRAS MINERAS: DIQUE DE COLAS EN BAJO LA ALUMBRERA” – IATASA 2014.

	K prom (cm/s)	K max (cm/s)
z 1	1*10 ⁻⁴	1*10 ⁻⁴
z 1 ^a	1*10 ⁻⁴	1*10 ⁻⁴
z 2	3*10 ⁻⁴	5*10 ⁻³
z 4	1*10 ⁻³	1*10 ⁻³
z 5	1*10 ⁻³	1*10 ⁻³
z 6	1*10 ⁻³	1*10 ⁻³
z 7	3*10 ⁻⁴	5*10 ⁻⁴
z 8	1*10 ⁻³	1*10 ⁻³
z 9	3*10 ⁻³	5*10 ⁻³
z 10	3*10 ⁻³	5*10 ⁻³
z 11	3*10 ⁻³	5*10 ⁻³
Relaves	Kh	Kv
SM	1,16*10 ⁻³	5,79*10 ⁻⁴
ML	1,04*10 ⁻³	5,21*10 ⁻⁴
Aluvión	3*10 ⁻³	5*10 ⁻³
Roca madre intacta	5*10 ⁻⁵	5*10 ⁻⁵

Con el objetivo de representar las condiciones durante la construcción de las etapas 17 y 18, los modelos se extendieron 1500 m hacia aguas arriba del cierre hasta alcanzar la laguna de sobrenadantes, donde se fijó el pelo de agua libre; y hacia aguas abajo hasta la zona de la Pileta Colectora de Drenaje (DCP).

La cota de pelo de agua libre de la laguna de sobrenadante se determinó, considerando una cota promedio representativa a lo largo de la construcción de las etapas 17 y 18 (ver Tabla 8.3).

Tabla 8. 3. Cota pelo de agua libre promedio de la laguna sobrenadante durante etapas 17 y 18 sobre la base de datos de Minera Alumbraera provistos por la DiPGAM.

Etapa	Cota pelo de agua libre en la laguna (m)
17	2331,94
18	2335,08

A su vez se incorporó a los modelos un caudal específico de extracción en la zona del dren de muro que simula su efecto. El cálculo de dicho caudal se efectuó teniendo en cuenta el caudal real promedio que escurrió por el dren aforado durante las etapas 17 y 18 (antes de verse en la DCP) y la longitud de desarrollo del dren estimada en 2.950m (ver Tabla 8.4).

Tabla 8. 4. Caudal específico del Dren de Muro durante las etapas 17 y 18 sobre la base de datos de Minera Alumbraera provistos por la DiPGAM.

Etapa	Caudal promedio aforado Dren de Muro (l/seg)	Longitud estimada del Dren de Muro (m)	Caudal específico Dren de Muro (l/seg/m)
17	36	2950	0,012
18	38		0,013

Para simular el efecto del bombeo de los pozos, se agregó a los modelos una altura piezométrica en la zona de de los pozos de retrobombeo, representativo del nivel dinámico de los mismos.

En las Figuras 8.5 a 8.8 se puede apreciar la red de escurrimiento en todo su desarrollo y en detalle de la zona de presa durante la construcción de la etapa 17 y 18.

Teniendo en cuenta las líneas de corrientes o vectores de velocidad, se determinó una sección representativa del caudal captado por el dren de fundación de la presa.

En las Figuras 8.9 y 8.10 se visualizan la sección trazada al pie de la presa y el caudal específico ($m^3/s/m$) obtenido del modelo.

Los caudales específicos del dren de fundación obtenidos del modelo, multiplicados por un el desarrollo de la presa adoptado de 550m (que es la longitud de los filtros de fundación), dan caudales similares para ambas etapas. Estos valores

son del orden del caudal promedio aforado por el dren de fundación durante la construcción de la etapa 17 y 18 (ver Tabla 8.5).

Tabla 8. 5. Comparación entre los caudales del dren de fundación de los modelos elaborados por IATASA y los obtenidos sobre la base de datos de Minera Alumbraera proporcionados por la DiPGAM para las etapas 17 y 18.

Etapa	Modelo		Caudal promedio aforado de dren de fundación (l/seg)
	q dren de fundación (l/seg/m)	Q dren de fundación (550m) (l/seg)	
17	0,124	68	76
18	0,128	70	69

Conclusiones y Recomendaciones:

Sobre la base de los datos disponibles y la modelización de la red de escurrimiento del Dique de Colas para la etapa 17 y 18, se analizaron los caudales del dren de muro y dren de fundación.

Los caudales obtenidos de un modelo bidimensional dieron valores similares para ambas etapas y son del orden de los caudales promedios aforados por el dren de muro y dren de fundación durante la construcción de la etapa 17 y 18.

9. ANÁLISIS DE LA EVOLUCIÓN DEL DISEÑO DEL VERTEDERO

Se ha revisado el documento Plan Cierre de Mina - Res. SEM 396-2016, mencionado en el punto “2. Análisis de documentación antecedente”, y a partir de su análisis surgen los comentarios que se presentan a continuación.

En la determinación del caudal de diseño del vertedero (punto 5.2 del Anexo 7.3.2 C) se ha tenido en cuenta el efecto de regulación en el embalse. Se considera que dicho efecto debería ser despreciado por varios motivos; entre otros, es probable que de acuerdo con los procesos de erosión y arrastre de sedimentos que se registran en la zona, se produzca una eventual acumulación de sedimentos a lo largo de los años previos a la aparición de la CMP. Estos aportes le quitarían (o eventualmente agotarían) capacidad de almacenamiento al embalse. Por otra parte, es lógico suponer que la CMP no se producirá en forma “aislada”, es decir que lo hará en un proceso húmedo que sería capaz de proveer volúmenes de agua capaces de colmatar el lago con anterioridad al arribo del pico de crecida.

En el Anexo 7.3.2 E, se diseña el vertedero y los canales interiores y de desvío. El caudal de diseño, atribuido a la crecida máxima probable (853 m³/s), difiere del

indicado, para el mismo evento, en el Anexo 7.3.2 C (750,94 m³/s). Se deberían unificar los valores, adoptando el que en definitiva corresponda al criterio de transformación lluvia – caudal que se considere más apropiado.

Existen diferencias entre las ecuaciones empleadas para el cálculo del vertedero en los Anexos 7.3.2 E (página 1 de 7) y 7.3.2 C (página 28 de 33). Se deberían compatibilizar.

Si bien en el Anexo 7.3.2 E (página 2 de 7) se describen, en forma general, las características geométricas del canal de descarga, las mismas se deberían presentar en figura y tabla. No se indica el coeficiente de rugosidad empleado en los cálculos.

En el Anexo 7.3.2 E (página 3 de 7) se indica que para el dimensionamiento de los canales interiores del Dique de Colas se ha considerado un “Coeficiente de Maning” de 0,035 (canales en roca). En primer término debería decir “Manning”; además, surgen dudas con respecto a la continuidad, a lo largo del tiempo, del canal “en roca”, ya que se entiende que se irá colmatando con sedimentos o no, de acuerdo con la efectividad de las obras de atenuación de crecidas. Se deberían detallar estos aspectos.

En el Anexo 7.3.2 K (página 3 de 7) se indica que la cota del pelo de agua para el paso de la CMP sería 2345.5 m.s.n.m (en la página 4 de 7 se aclara que es considerando una cobertura de 0,50 m), en tanto que en el Anexo 7.3.2 E (página 2 de 7) se adjudica al paso de dicho evento un nivel de 2345 m.s.n.m. Por otra parte, en la página 5 de 7 del Anexo 7.3.2 K (tercer párrafo) se indica un nivel de 2345 m.s.n.m. considerando una cobertura de 0,50 metros.

IATASA recomienda que la DiPGAM solicite la revisión, por parte de Minera Alumbra, en lo que se refiere a la totalidad de los aspectos técnicos involucrados, atendiendo a las observaciones realizadas por IATASA a los documentos antecedentes.

El documento resulta meramente descriptivo, sin precisar las dimensiones y características de las obras a realizar.

10. INTEGRACIÓN DE TODOS LOS ASPECTOS EVALUADOS EN FUNCIÓN DE LA EVALUACIÓN DEL PLAN DE CIERRE DEFINITIVO

Sobre la base de los distintos temas abordados en los capítulos precedentes, se puede mencionar la existencia de diferentes avances en el conocimiento de antecedentes, de los temas operativos y de controles que integran este estudio. Estos avances forman parte de los capítulos tratados para la estabilidad química de la Presa de Relaves en relación con el actual estado de desarrollo de la Mina en actividad y las etapas iniciadas para el Cierre de Mina. Sobre esta base se han

propuesto acciones y desarrollos que debería solicitar la SEM-DiPGAM en su carácter de autoridad de aplicación a la empresa, con la finalidad de procurar ir obteniendo más ordenamiento, conocimiento y especificidad para las futuras etapas de Cierre de Mina y Post Cierre que se continuarán complementando.

Por estos motivos, el plan de cierre presentado, Plan de Cierre de Mina (Minera Alumbraera, 2016), de acuerdo con la documentación disponible evaluada hasta el presente, se halla en un nivel general de prefactibilidad. Un aspecto de base destacable, a partir del conocimiento integrado alcanzado sobre los aspectos geológicos de influencia directa sobre el TSF (Instalación del Manejo de Colas) es que los mismos proporcionan una combinación de elementos geomorfológicos, litológicos, estructurales e hidrogeológicos favorables al emplazamiento del Dique de Colas. Este tema es de relevancia por sus implicancias para las etapas de Cierre de Mina y Post Cierre por lo que ha tenido en este informe un tratamiento en particular que se halla incluido en el Anexo 3: “ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN DISPONIBLE SOBRE EL ESCURRIMIENTO SUBTERRÁNEO”.

La Presa de Relaves se ubica sobre una porción limitada del cauce superior del río Vis Vis. Esta condición natural favorable, permite operar con las instalaciones de control en sectores definidos y acotados sobre el cauce del Vis Vis y terrazas cercanas, aguas abajo de la presa y en la porción correspondiente al sistema de retrobombeo, que constituyen las instalaciones activas del control de los efluentes (agua de proceso), los cuales se han mantenido dentro de la pertenencia minera.

Esta situación de control constituye el marco de referencia sustentable en el presente, para encarar durante el Cierre de Mina y Post Cierre, la reducción de la pluma de aguas de proceso y la consecuente progresiva desafectación de los pozos de bombeo del TSF (Instalación del Manejo de Colas).

11. VIAJES

A continuación se detallan los viajes realizados, temas tratados, fecha, lugar y presentes (Tablas 11.1 a 11.9):

Tabla 11. 1. Minuta de Reunión

Tema	Tareas relacionadas con medidas y controles desarrollados para la etapa de cierre de mina en Minera Alumbraera		
Fecha	Miércoles 1 de Junio de 2016	Hora	Mañana
Lugar	Dirección Provincial de Gestión Ambiental Minera (DiPGAM - Catamarca)		

Presentes	A. Velazco (DiPGAM) G. Maidana (DiPGAM) R. Micone (Secretario de Estado de Minería) E. Capdevila (IATASA) A. Massabie (IATASA)	
-----------	--	--

Temas tratados

- Etapas controladas por DiPGAM durante la actividad de minado en Mina Bajo de la Alumbraera y la participación de IATASA en 2014, en la revisión de aspectos ingenieriles (estabilidad) de la presa de relaves para el cierre de mina.
- Eventuales medidas adicionales a desarrollar si se produjera la explotación de la Mina Agua Rica con utilización parcial de las instalaciones existentes en Mina Bajo de la Alumbraera.
- Intercambio de ideas y propuestas.

Tabla 11. 2. Minuta de Reunión

Tema	General		
Fecha	Miércoles 1 de Junio de 2016	Hora	Mañana-Mediodía
Lugar	Dirección Provincial de Gestión Ambiental Minera (DiPGAM - Catamarca)		
Presentes	A. Velazco (DiPGAM) G. Maidana (DiPGAM) K. Gutiérrez (DiPGAM) M. F. Cambeses (DiPGAM) A. Morales Luna (DiPGAM)	E. Capdevila (IATASA) A. Massabie (IATASA) P. D'Agnillo (Minera Alumbraera) P. Sánchez (Minera Alumbraera) R. Masuchi (Minera Alumbraera) Ing. Zolorzano (Minera Alumbraera)	

Temas tratados

- Sobre las instalaciones de freatímetros recomendados por IATASA, en su informe de 2014, en la Presa de Relaves.
- Se acordó que la Minera presente una propuesta para encarar las instalaciones de freatímetros y realizar mediciones de subpresiones en pozos de retrobombeo cercanos al pie de la presa de relaves.

Tabla 11. 3. Minuta de Reunión

Fecha	Jueves 2 de Junio de 2016	Hora	9 – 12:30 hs.
Lugar	Salón Auditorio de OSDE en la ciudad de Catamarca		
Presentes	R. Micone (Secretario de Estado de Minería) – Expositor A. Velazco (DiPGAM) – Expositora J. Angera (Minera Alumbraera) – Expositor J. Montaldi (Minera Alumbraera) – Expositor A. Massabie (IATASA)	E. Capdevila (IATASA)	Funcionarios, autoridades, legisladores, periodistas y público en general.

Temas tratados

- Inicio del Ciclo de Reuniones Informativas sobre el Cierre de Mina de Mina Bajo de la Alumbraera:
- Marco político y legal (SEM)
- Actividades de control en desarrollo (DiPGAM)
- Plan de cierre de Mina en desarrollo (Minera Alumbraera)
- Presentaciones detalladas de las tareas en desarrollo por parte de la SEM-DiPGAM y de la Empresa Minera Alumbraera desde las 9 hs. hasta las 12 hs. con un ciclo final de preguntas y respuestas sobre lo tratado

Tabla 11. 4. Minuta de Reunión

Tema	General		
Fecha	Jueves 2 de Junio de 2016	Hora	Tarde
Lugar	Dirección Provincial de Gestión Ambiental Minera (DiPGAM - Catamarca)		
Presentes	A. Velazco (DiPGAM) G. Maidana (DiPGAM) M. F. Cambeses (DiPGAM) A. Morales Luna (DiPGAM)	E. Capdevila (IATASA) A. Massabie (IATASA)	

Temas tratados

- Consideraciones sobre el desarrollo de los contratos recientemente iniciados con IATASA, relativos a AUSCULTACIÓN y ESTABILIDAD QUÍMICA de la Presa de Relaves.

- La DiPGAM entrega a IATASA información adicional relativa a los Contratos en curso.

Tabla 11. 5. Minuta de Reunión

Tema	Reunión por Reglamento de Cierre de Minas y Presas de Relaves, Visita a obra y Transferencia de conocimiento - Informe de Avance N°1		
Fecha	Lunes 8 a Viernes 12 de Agosto de 2016	Hora	Mañana y tarde
Lugar	Salón Auditorio de OSDE en la ciudad de Catamarca, Minera Alumbraera, Catamarca y Dirección Provincial de Gestión Ambiental Minera (DiPGAM - Catamarca)		
Presentes	R. Micone (Secretario de Estado de Minería) A. Velazco (DiPGAM) M. F. Cambeses (DiPGAM) G. Maidana (DiPGAM) Personal Minera Alumbraera E. Capdevila (IATASA) A. Massabie (IATASA) R. Barletta (IATASA) P. Chuchuy (IATASA) R. Palotta (IATASA) S. Fernandez (IATASA)		

Temas tratados

- Reunión por Reglamento de Cierre de Minas y Presas de Relaves.
- Mesa Interinstitucional e Interdisciplinaria – Cierre de Mina y Diques de Colas
- Visita a obra. Reunión en minera Alumbraera.
- En las Figuras 11.1 a 11.10 se presentan los recorridos efectuados durante la visita a obra y algunas fotos de la misma.

Tabla 11. 6 Minuta de Reunión

Tema	Presentación del Informe de Avance 2 y respuestas a consultas de DiPGAM-SEM sobre el Informe de Avance 1 realizadas en el mes de Noviembre		
Fecha	10 y 11 de Noviembre de 2016	9:00-13:00hs.	16:00-20:30hs.
Lugar	Dirección Provincial de Gestión Ambiental Minera (DiPGAM – SEM, Catamarca)		
Presentes	R. Micone (Secretario de Estado de Minería) A. Velazco (DiPGAM) M. F. Cambeses (DiPGAM) G. Maidana (DiPGAM) K. G. Gutierrez (DiPGAM) A. Morales Luna (DiPGAM) Otros profesionales y técnicos (DiPGAM) R. Barletta (IATASA) A. Massabie (IATASA) F. Nava (IATASA) S. Fernández (IATASA)		

Temas tratados

- Presentación sobre Hidrología e Hidráulica relacionada con la Presa de Relaves en vinculación con el plan de cierre propuesto inicialmente tanto en vinculación con Auscultación como Estabilidad Química. Sistema de retrobombeo..
- Respuestas e intercambio de opiniones sobre las consultas efectuadas para esta temática en particular.
- Presentación sobre aspectos geoquímicos y de muestreo de aguas y sedimento con vinculación a Estabilidad Química y Auscultación. Sistema de retrobombeo y monitoreo.
- Respuestas e intercambio de opiniones sobre las consultas efectuadas para esta temática en particular.
- Presentación sobre aspectos relativos a la estabilidad de la Presa de Relaves en las condiciones actuales. Sistema de retrobombeo.
- Respuestas e intercambio de opiniones sobre las consultas efectuadas para esta temática en particular.

Tabla 11.7 Minuta de Reunión

Tema	Plan Cierre de Mina - Res. SEM 396-2016		
Fecha	6 de Diciembre de 2016	15:30 hs.	17:30 hs.
Lugar	Servicio Geológico Minero Argentino (SEGEMAR), Secretaría de Minería de la Nación		
Presentes	R. Micone (Secretario de Estado de Minería de Catamarca) A. Velazco (DiPGAM) E. Capdevila (IATASA) A. Massabie (IATASA) R. Barletta (IATASA) D. Meilán (Secretario de Minería de la Nación) - Presencia parcial		

Temas tratados

- Entrega de Plan Cierre de Mina - Res. SEM 396-2016 y Anexos.

Tabla 11.8 Minuta de Viaje

Tema	Viaje de Silvia Fernández para toma de muestras realizadas en el mes de Noviembre		
Fecha	14 y 18 de Noviembre de 2016		
Lugar	Mina: Visita a obra		
Presentes	A. Morales Luna (DiPGAM) Cuatro técnicos de DiPGAM Personal de Medio Ambiente de Minera Alumbraera S. Fernández (IATASA)		

Temas tratados

- Toma de muestras en mina, revisión de protocolos.
- Verificar los procedimientos de muestreo en campo tanto de Minera Alumbraera como de la DiPGAM.
- Presentación sobre aspectos geoquímicos y de muestreo de aguas y sedimento con vinculación a Estabilidad Química y Auscultación.

- Respuestas e intercambio de opiniones sobre las consultas efectuadas para esta temática en particular.

Tareas realizadas:

- Día 1 - Lunes 14/11: muestreo trimestral de calidad de aguas en Vis Vis, realizado por DiPGAM y MINERA ALUMBRERA: 4 estaciones de muestreo.
- Día 2 - Martes 15/11: muestreo trimestral de calidad de aguas en Campo Arenal, realizado por DiPGAM y MINERA ALUMBRERA: 15 estaciones de muestreo. Luego muestreo de colas en 4 estaciones de muestreo.
- Día 3 - Miércoles 16/11: presentación de Paolo Bevacqua de ACQUACONSULT sobre el monitoreo isotópico a realizar para MINERA ALUMBRERA. Presentó las conclusiones de los estudios realizados hasta el 2014 y desde el 2004, y el monitoreo de 2016. Luego, muestreo trimestral e isotópico en Vis Vis: 8 estaciones de muestreo.
- Día 4 - Jueves 17/11: muestreo trimestral en Vis Vis e isotópico: 5 estaciones de muestreo.

Tabla 11.9 Minuta de Reunión

Tema	Presentación del Informe Final (preliminar)		
Fecha	26 de Abril de 2017		
Lugar	Dirección Provincial de Gestión Ambiental Minera (DiPGAM – SEM, Catamarca)		
Presentes	R. Micone (Secretario de Estado de Minería de Catamarca) y personal de la DiPGAM E. Capdevila (IATASA) A. Massabie (IATASA) R. Barletta (IATASA) S. Fernández (IATASA) R. Palotta (IATASA)		

Temas tratados

- Presentación informe final (preliminar) Química y Auscultación. Ver Anexo 3 – Transferencia de conocimientos (Abril 2017)

12. ANEXOS

Anexo 1 – Detalle de antecedentes analizados

Anexo 2 – Curso Knight Pièsold (2004)

Anexo 3 – Transferencia de conocimientos (Abril 2017)

Anexo 4 – Material bibliográfico de referencia

Figuras

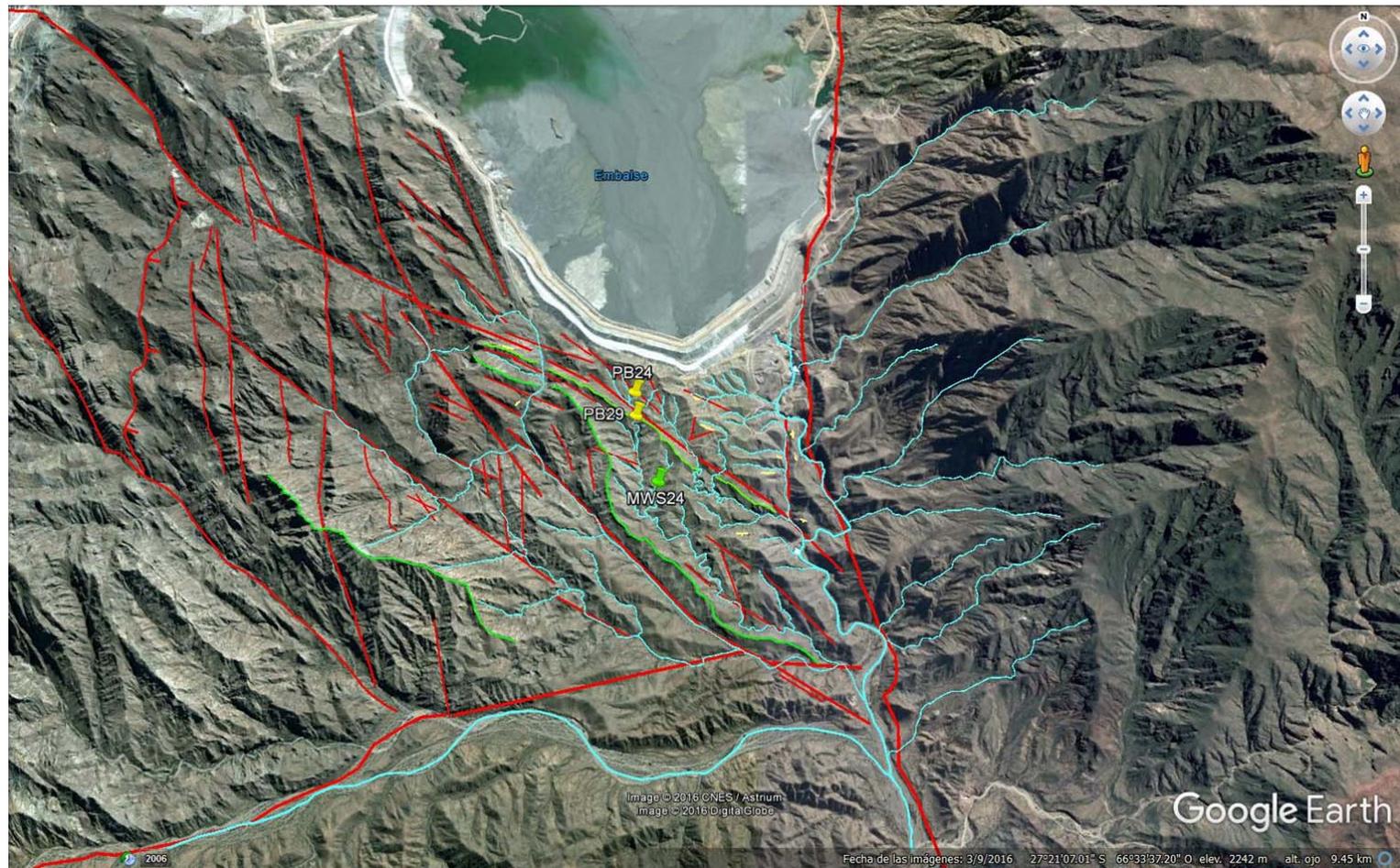


Figura 6. 1. Vista de estructura, avenamiento y ubicaciones de PB24, PB29 y MWS24. Fuente: elaborado por IATASA con ubicaciones de pozos de retrobombeo provistas por DiPGAM.

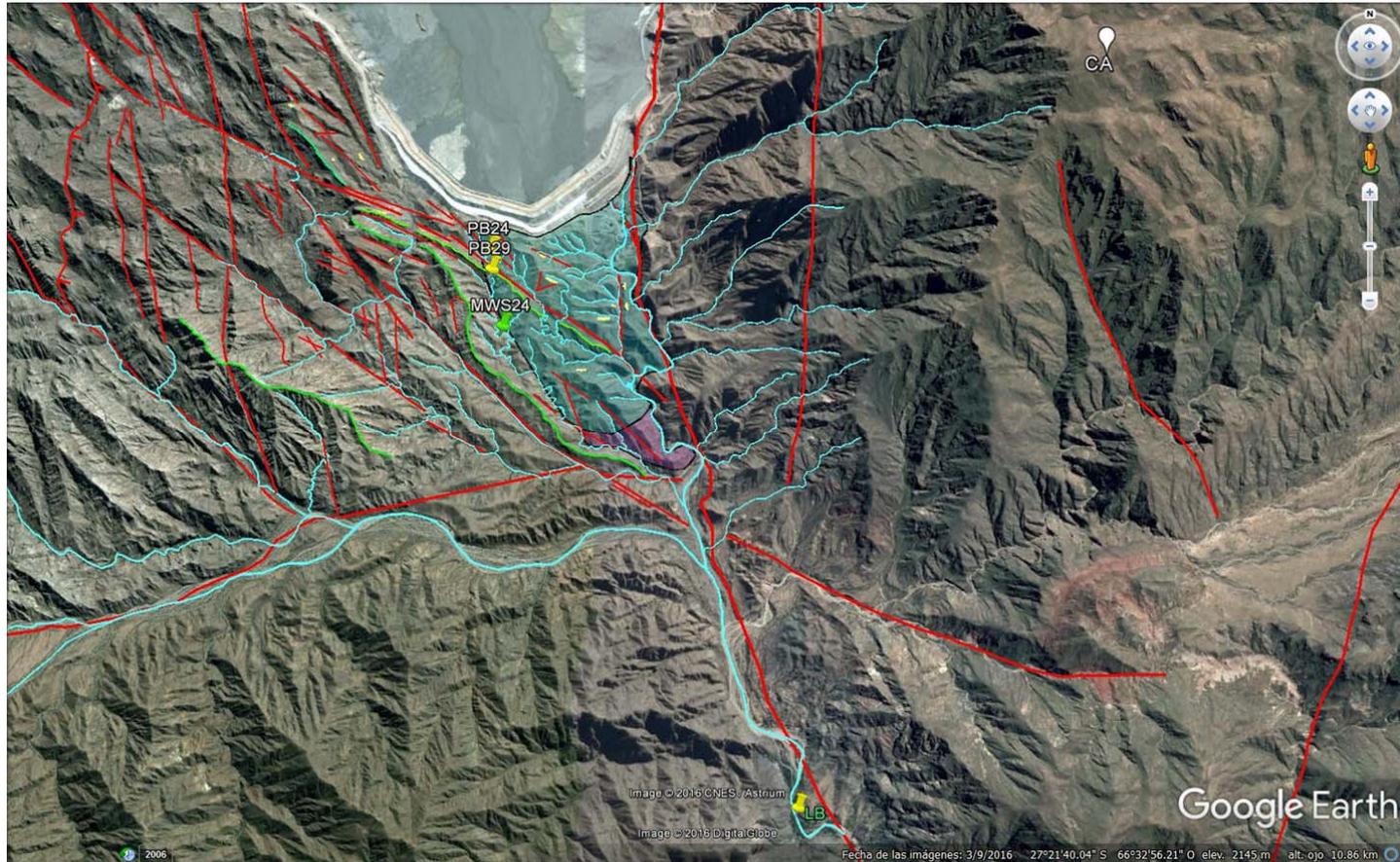


Figura 6. 2. Idem Figura 6.1 con ubicación de la pluma de aguas de proceso (color azul) y de mezcla (color violeta). Fuente: elaborado por IATASA con ubicaciones de pozos de retrobombeo provistas por DiPGAM; y distribución de la pluma de aguas de proceso y mezcla obtenida de la Respuesta Cédula de Notificación N° 154/16 – Diciembre 2016.

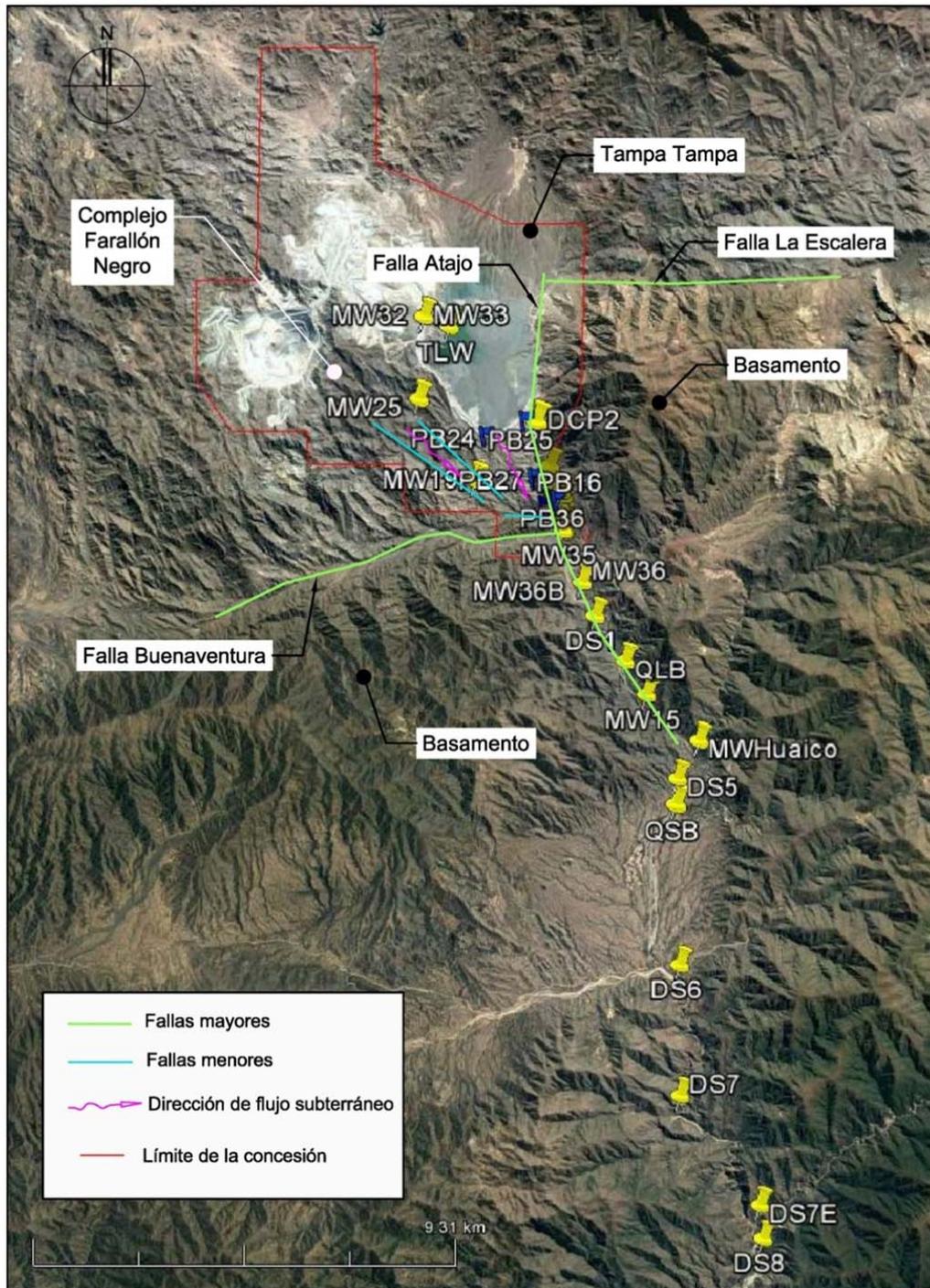


Figura 6.3. Vista regional de los pozos y puntos de aguas superficiales monitoreados actualmente y del marco geológico-estructural regional. Fuente: elaborado por IATASA con ubicaciones de pozos de retrobombeo y monitoreo y de puntos superficiales de monitoreo provistas por DiPGAM.

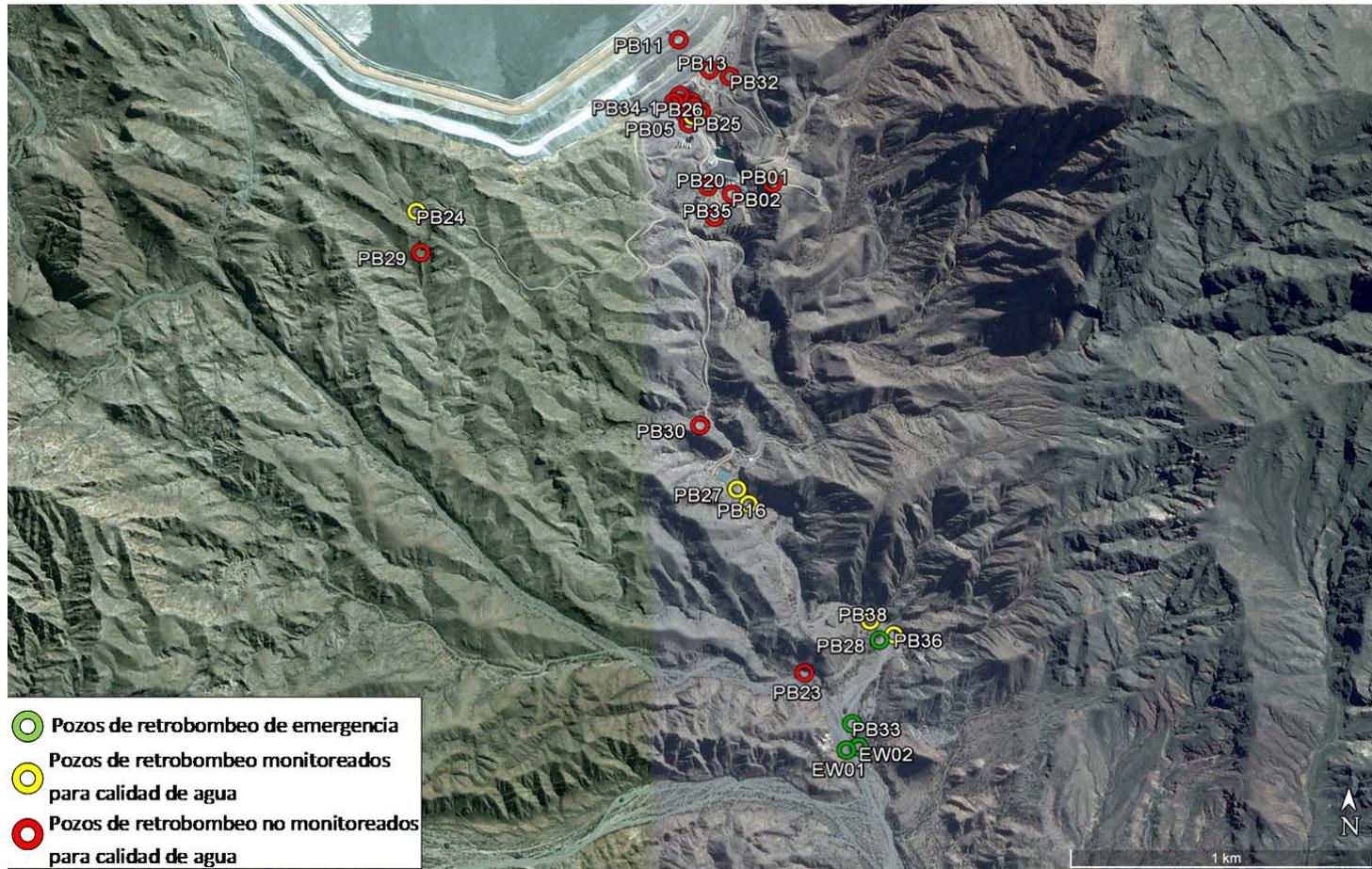


Figura 6.4. Vista de los pozos de retrobombeo monitoreados y no monitoreados. Se muestran también los pozos de emergencia (verde). Fuente: elaborado por IATASA con ubicaciones de pozos de retrobombeo provistas por DiPGAM.

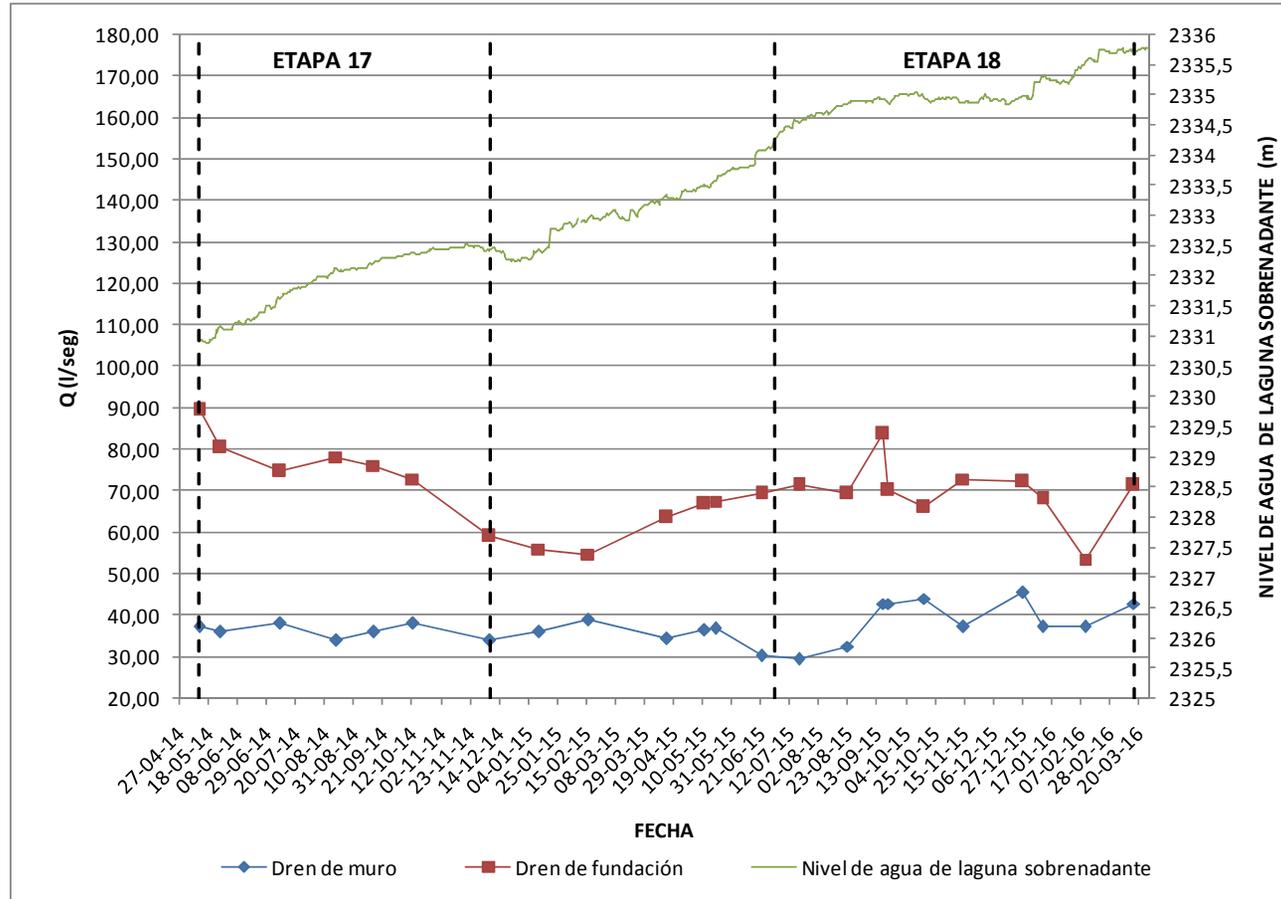


Figura 8. 1. Caudales de los vertederos del dren de muro y dren de fundación y cota de pelo de agua libre de la laguna sobrenadante durante la construcción de las etapas 17 y 18. Fuente: elaborado por IATASA con información de Minera Alumbreira provista por la DiPGAM.

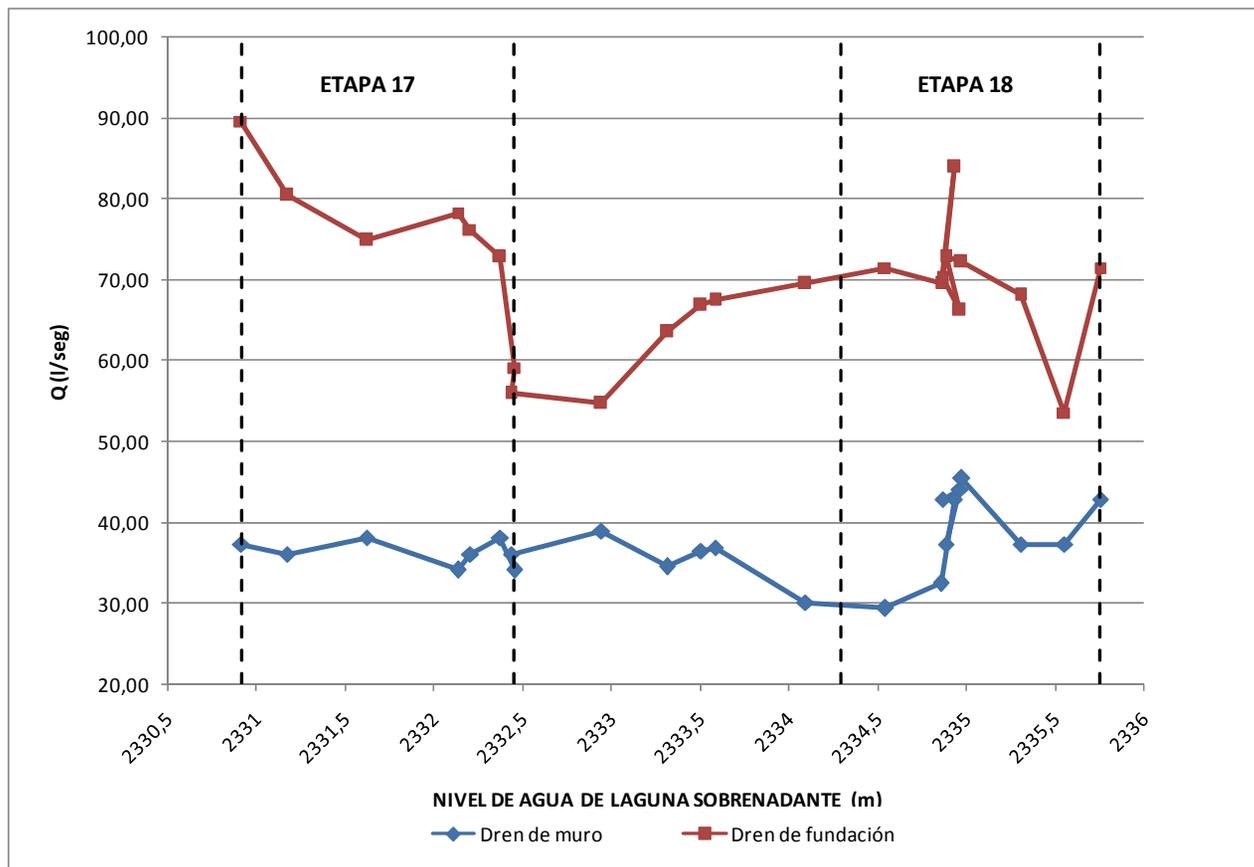


Figura 8. 2. Caudales de los vertederos del dren del dique de colas y dren de fundación en función del nivel de agua de la laguna sobrenadante durante la construcción de las etapas 17 y 18. Fuente: elaborado por IATASA con información de Minera Alumbraera provista por la DiPGAM.

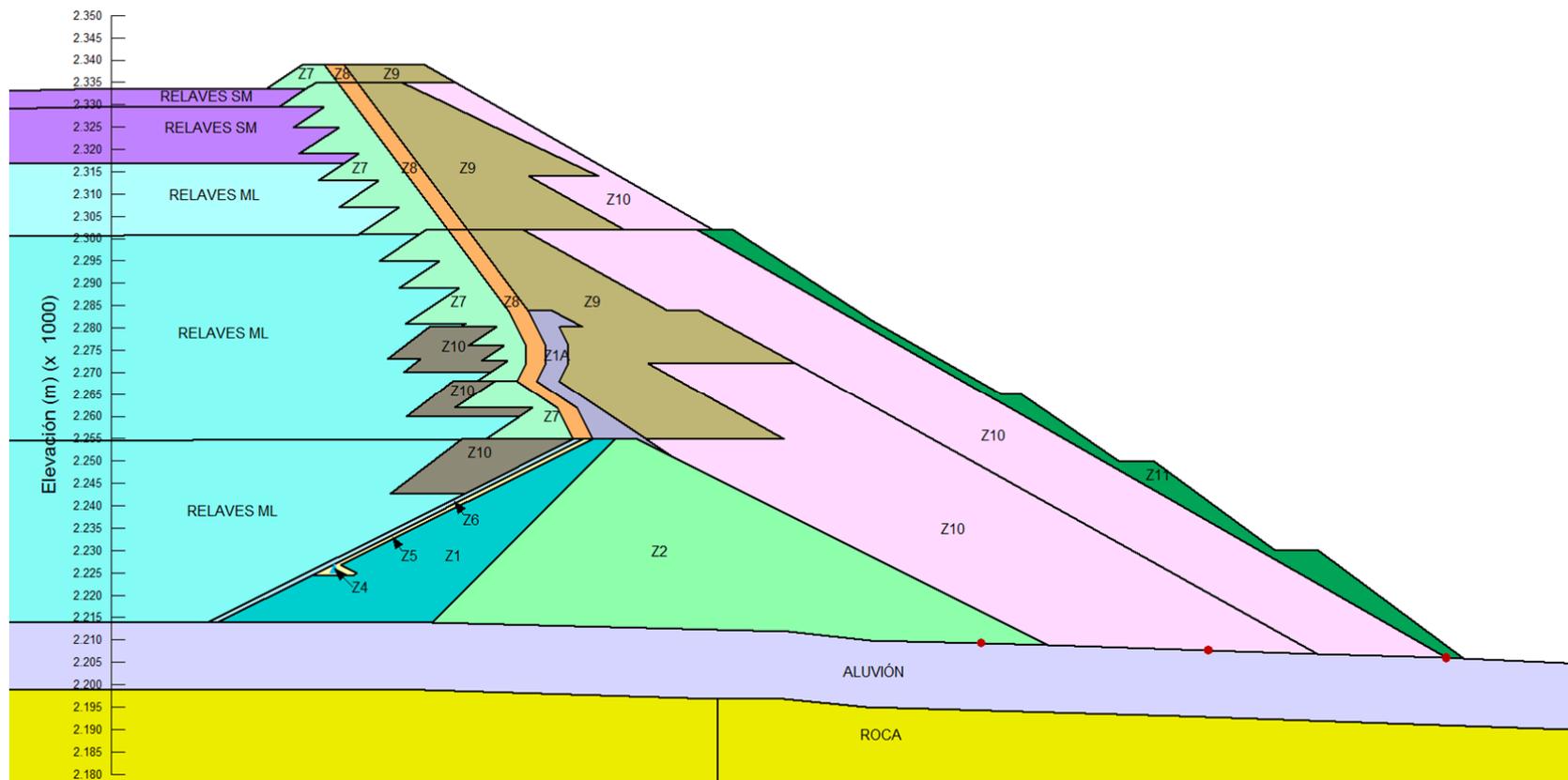


Figura 8. 3. Sección transversal etapa 17. Cota de coronamiento 2338,9m. Fuente: elaborado por IATASA con información obtenida del INFORME DE CONSTRUCCIÓN ETAPA 17 – Knight-Piésold (2015).

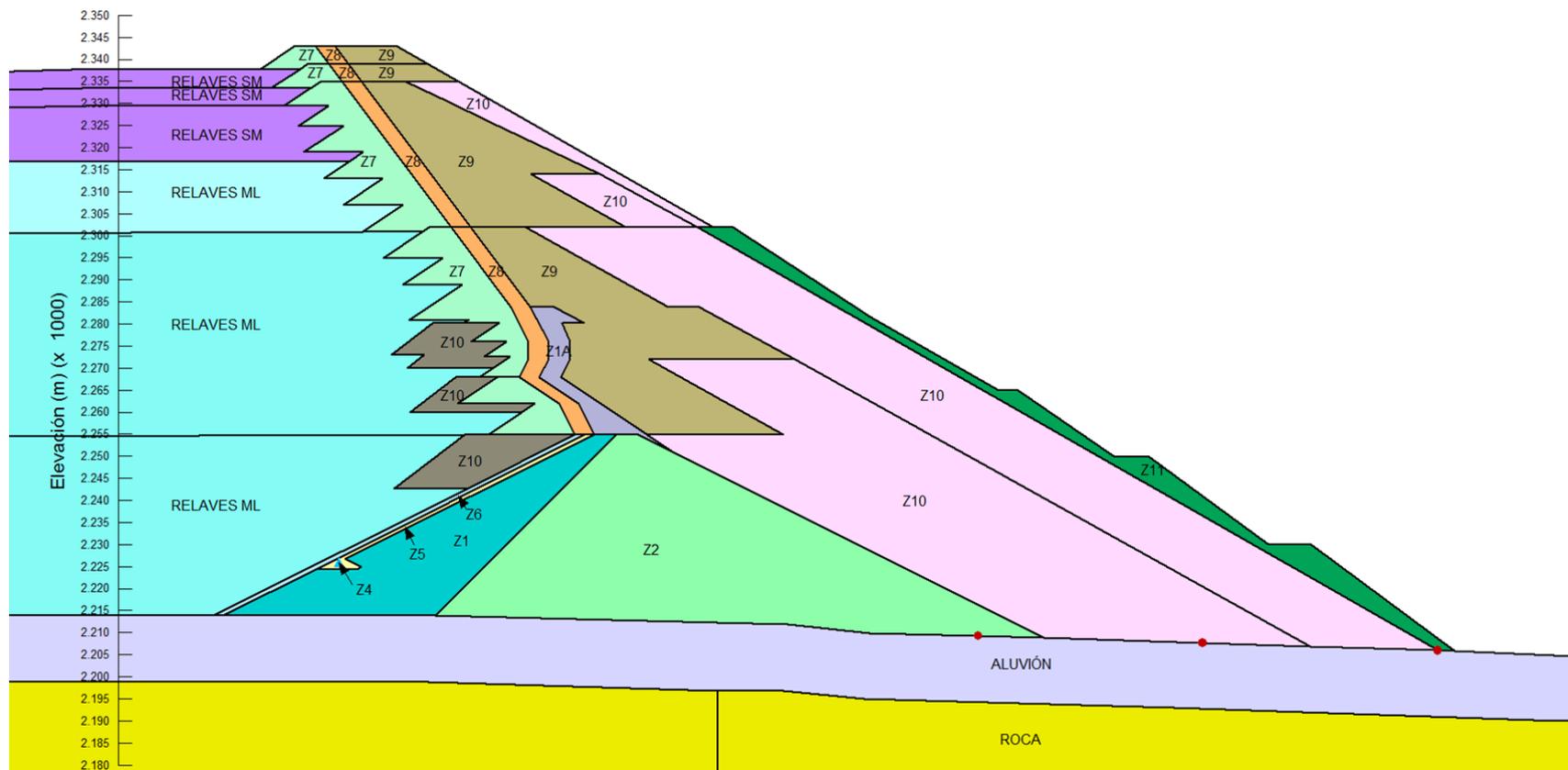


Figura 8. 4. Sección transversal etapa 18. Cota de coronamiento 2343m. Fuente: elaborado por IATASA con información obtenida del INFORME DE CONSTRUCCIÓN ETAPA 18 – Knight-Piésold (2016).

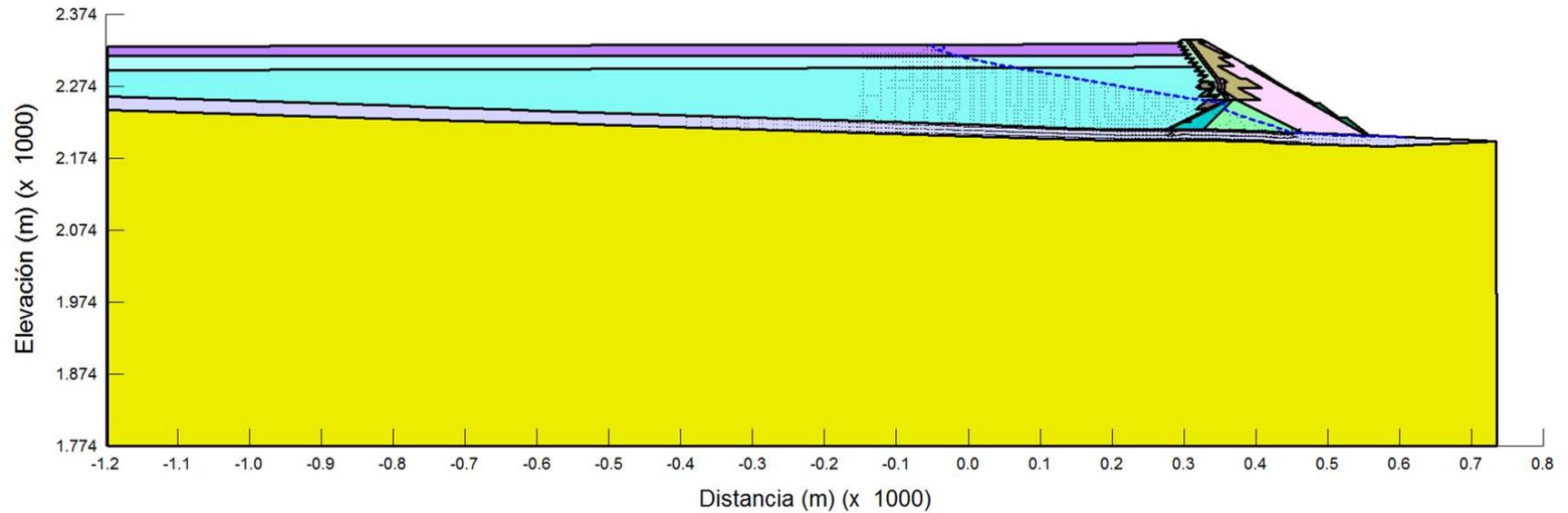


Figura 8. 5. Red de escurrimiento en todo su desarrollo durante la construcción de la etapa 17. Fuente: elaborado por IATASA.

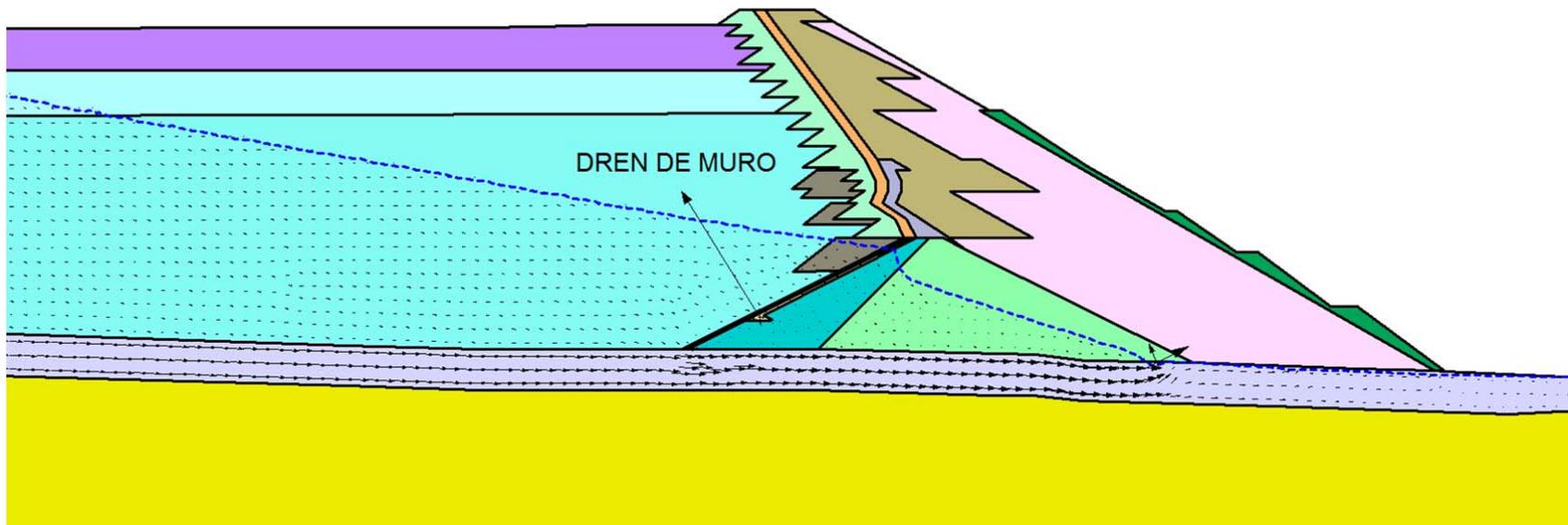


Figura 8. 6. Red de escurrimiento en detalle de la zona de la presa durante la construcción de la etapa 17. Fuente: elaborado por IATASA.

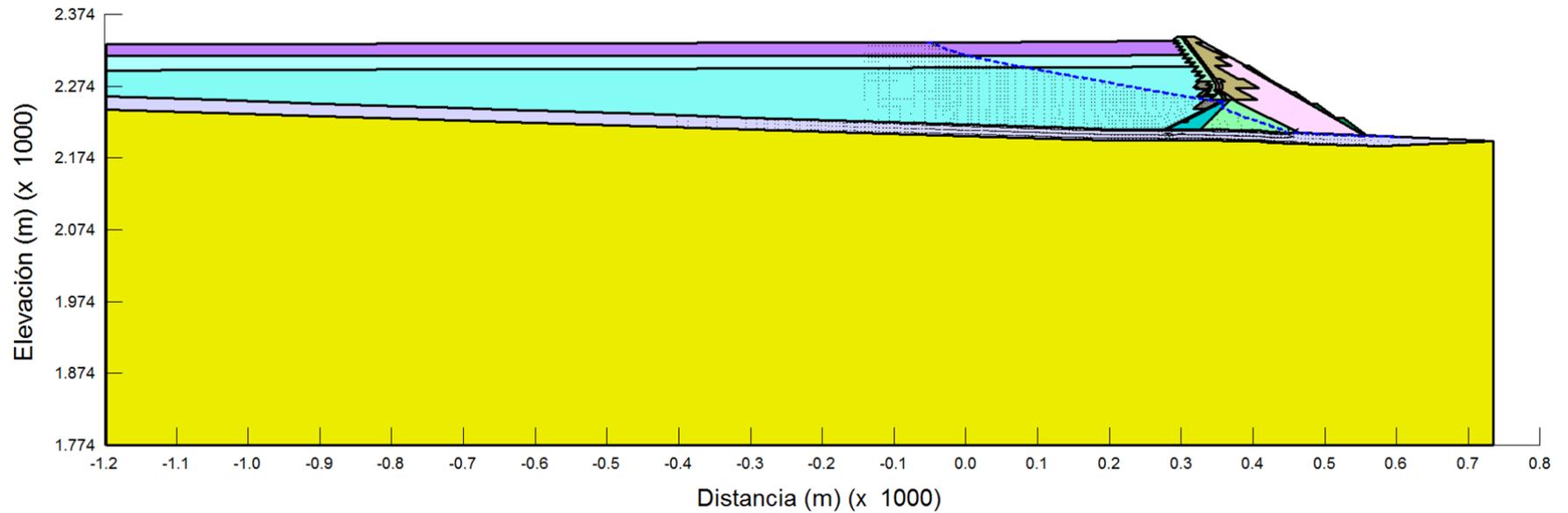


Figura 8. 7. Red de escurrimiento en todo su desarrollo durante la construcción de la etapa 18. Fuente: elaborado por IATASA.

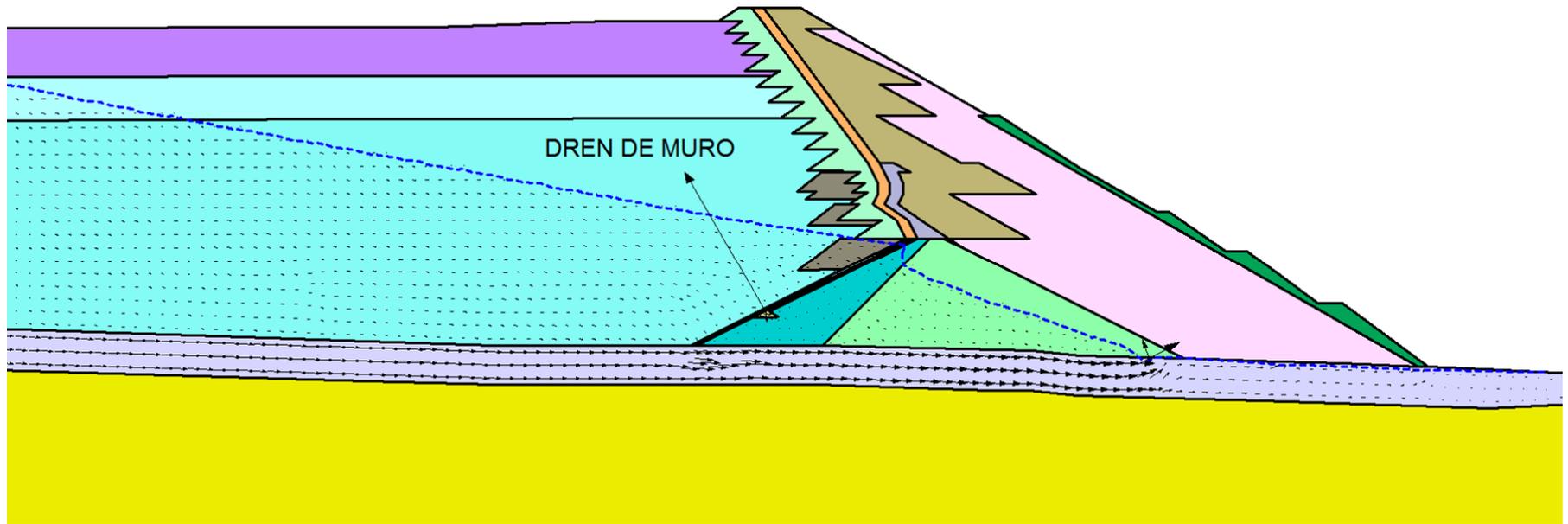


Figura 8. 8. Red de escurrimiento en detalle de la zona de la presa durante la construcción de la etapa 18. Fuente: elaborado por IATASA.

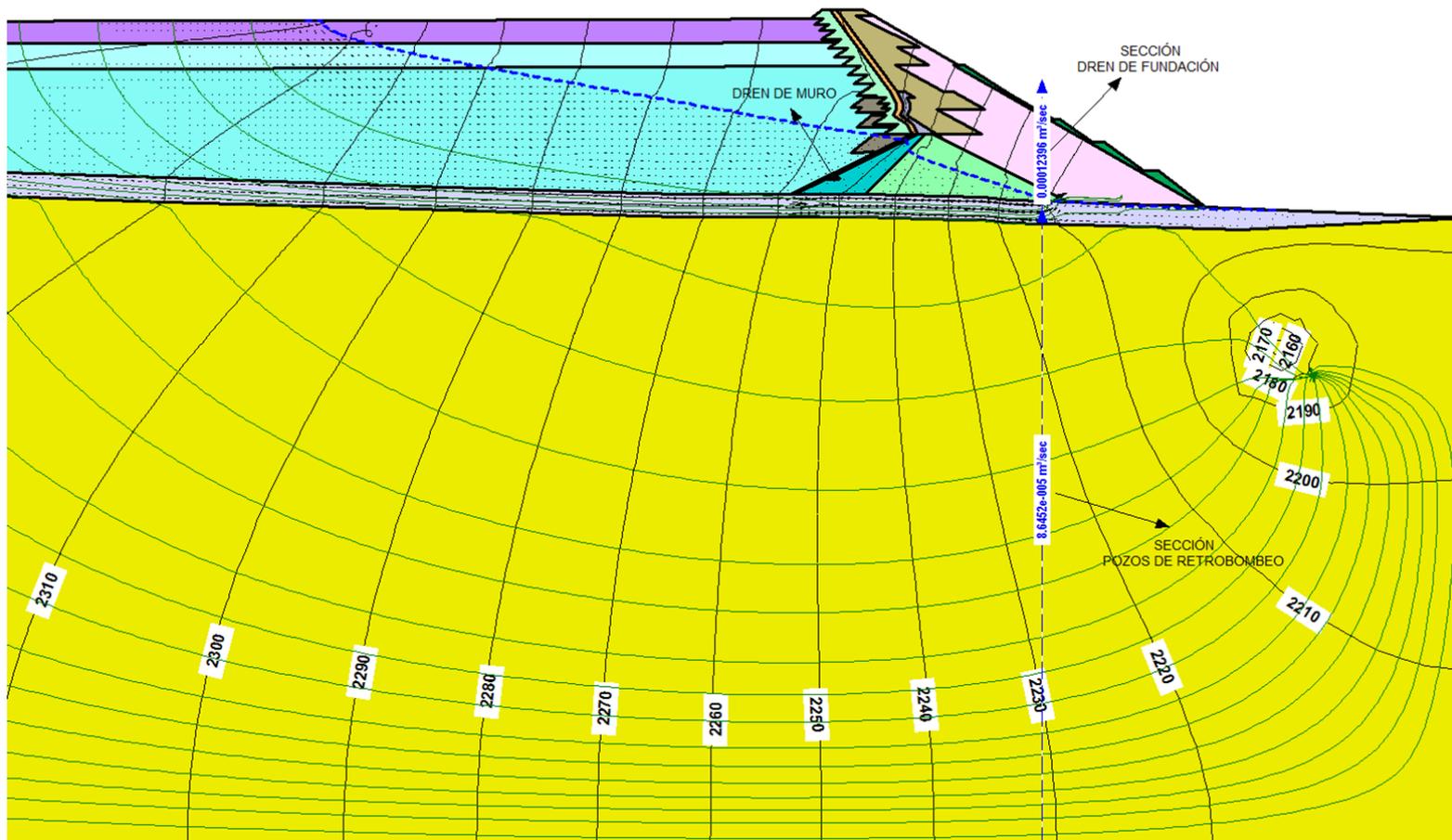


Figura 8. 9. Líneas de corrientes y equipotenciales, secciones y caudales específicos del dren de fundación y los pozos de retrobombeo durante la etapa 17. Fuente: elaborado por IATASA. Fuente: elaborado por IATASA.

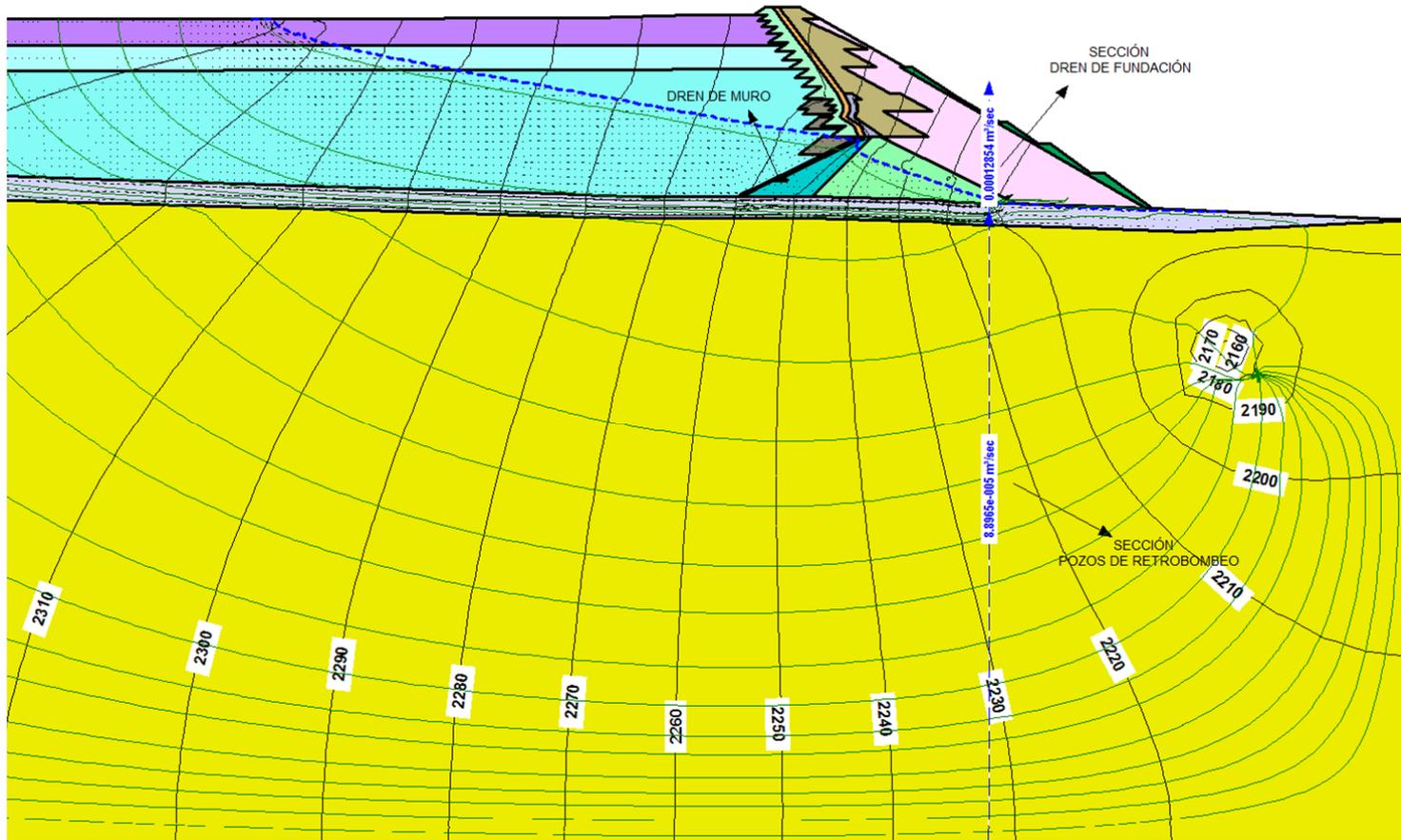


Figura 8. 10. Líneas de corrientes y equipotenciales, secciones y caudales específicos del dren de fundación y los pozos de retrobombeo durante la etapa 18. Fuente: elaborado por IATASA.



Figura 11. 1. Recorrido 10/08/2016 durante la mañana. Fuente: IATASA.



Figura 11. 2. Pruebas de revegetación en Botadero Puente. Fuente: IATASA.



Figura 11. 3. Cobertura con material *Barren Core* en Botadero Puente. Fuente: IATASA.



Figura 11. 4. Recorrido 10/08/2016 durante la tarde. Fuente: IATASA.



Figura 11.5. Posible zona de ubicación (al Sur) del vertedero de descarga. Fuente: IATASA.



Figura 11. 6 Coronamiento del Dique de colas. Posible zona de ubicación de freaímetros. Fuente: IATASA.



Figura 11. 7 Deslizamientos superficiales en el espaldón de aguas abajo de la presa. Fuente: IATASA.



Figura 11. 8 Vertedero de aforo del agua captada por el Dren de muro. Zona cercana a la DCP. Fuente: IATASA.



Figura 11.9 Vertedero de aforo del agua captada por el Dren de fundación. Zona cercana a la DCP. Fuente: IATASA.



Figura 11. 10 Quebrada en margen derecha. Fuente: IATASA.

Anexo 1

Detalle de antecedentes

Anexo 1 – Detalle de antecedentes analizados

a) Antecedentes proporcionados por SEM-DiPGAM

INFORME DE IMPACTO AMBIENTAL MINERA ALUMBRERA		
Cuerpo	Documento	Detalle
1	Primer Informe de Impacto Ambiental	Informe de impacto ambiental (actualización - etapa de explotación - 1998): cuatro cuerpos. Cuerpo 1: información general y resumen ejecutivo ; Cuerpo 2: área de infraestructura minera y zona de abastecimiento de agua; Cuerpo 3: línea de alta tensión y mineroducto; Cuerpo 4: área de infraestructura minera y zona de abastecimiento de agua.
9	Informe toma de muestras para ser sometidos a pruebas de lixiviación	Informe de toma de muestras de material de mina (estéril, baja ley y media ley) para pruebas en laboratorio (análisis petrográfico y análisis químicos).
11	Sistema de Manejo de Colas	Criterios de diseño del sistema de manejo de colas.
15	Actualización del Modelo de Transporte de Contaminantes del dique de colas y de las rocas estériles (Falta escanear 6 laminas)	Actualización del informe de impacto ambiental: resultados del modelo de transporte de contaminantes - acuífero freático (1998).
16	Calidad del Agua, Caudal Debajo de la Pileta de Colección de Agua de Vis Vis - 1999	Informe de calidad de agua y registro de mediciones de laboratorio en muestras de agua de los pozos MW7 y MW8: conductividad, sulfatos, pH y nivel de agua (1999).
	Notas para la Interpretación de los Gráficos sobre drenaje de ácidos	Gráficos, con notas, de potencial de drenaje ácido del material de mina.
	Información utilizada en el Modelo Matemático de Transporte de potenciales contaminantes.	Información utilizada (diseño del sistema de manejo de colas, análisis químicos, etc.) en el modelo matemático de transporte de potenciales contaminantes.
	Datos de Monitoreos de Mayo de 1999.	Datos de monitoreos de muestras de agua (mayo 1999, agosto 1999).
17	Datos de Monitoreos de 1997, 1998 y 1999.	Datos de monitoreos de muestras de agua (1997-1999).
19	Dique de Colas y Evaluación de Riesgos Potenciales de Generación de Drenaje Acido	Descripción del diseño del sistema de manejos de colas y evaluación de riesgos potenciales de generación de drenaje ácido de los materiales del espaldón del dique.
	Cuadro Aclaratorio de Lugares de Monitoreo y Parametros analizados - Nov de 1999	A pedido de la Dirección de Minería, se aclaran los lugares de monitoreo (tipo de monitoreo y observaciones) y los parámetros analizados (y el método empleado).
	Evaluación de las Estructuras Geológicas - Pozo N°7 Vis Vis	Mapeo geológico y descripción de la litología, estructuras y manantiales y filtraciones

INFORME DE IMPACTO AMBIENTAL MINERA ALUMBRERA

Cuerpo	Documento	Detalle
	- Steve Brown (falta Lamina con Interpretación Geológica Estructural Foja 2640)	de la zona entre el pozo de monitoreo MW7 y la localidad de Vis Vis (falta el mapa y los perfiles) - 1999.
	Estudio y Evaluación mediante Modelo Matemático del Ecurrimiento Subterráneo y del Control de la contaminación - IATASA Dic de 1999 (Falta Anexos Planos con laminas Fojas 2683 a 2688 - 2691 a 2697 - 2700 a 2701 - 2703 a 2706 - 2710 a 2737)	Informe con aspectos geológicos, hidrogeológicos, de diseño del sistema de manejo de colas y un modelo matemático hidrogeológico y de transporte de contaminantes (1999).
20-21	Filtraciones en el sector sudoeste del Dique de Colas	Resultados analíticos de muestras de agua aguas abajo de uno de los puntos de filtración.
	Relevamiento Magnético – Radiométrico e interpretación de Estructuras Geológicas, Región de Vis Vis, Al Sur de Bajo La Alumbreira	Informe de utilización de métodos geofísicos y digitales para el reconocimiento de estructuras geológicas.
	Plan Provisorio de cierre de la mina	Informe del plan provisorio de cierre de mina (2000): información general del área, información de los distintos sitios de la mina, programa de trabajos futuros.
	Nuevas Filtraciones en el sector sudoeste del Dique de Colas	Caudal, conductividad eléctrica, pH y temperatura de filtraciones al sudoeste del dique de colas.
	Análisis de filtraciones y análisis de calidad de Agua de la mina	Resultados analíticos de muestras de agua aguas de los puntos de filtración.
	Nuevas filtraciones: análisis flujo, pH, Conductividad Eléctrica, Tº	Análisis químicos y ubicaciones de filtraciones al sudoeste del dique de colas.
	Gráficos de Hydro – Geo Consultants	Análisis químicos (Estación 2 y 6) y orgánicos (TLW, MW8 y PB16) de muestras de agua.
	Informe a los pozos HON, MW7, MW8 y PB16	Evaluación de muestras de agua de distintos pozos y zonas de filtración. Comparación de valores de monitoreos con el modelo hidrogeológico desarrollado por IATASA en 1999 (2000).
	Análisis químicos QLB, CPW1, DS8, DS5	Análisis químicos de los puntos de monitoreo de aguas superficiales (QLB, CPW1, DS8 y DS5) - 2000.

INFORME DE IMPACTO AMBIENTAL MINERA ALUMBRERA

Cuerpo	Documento	Detalle
	Análisis de datos de pruebas cinéticas a enero 2000 para siete celdas de humedad y cuatro piletas de prueba (DAR)	Datos de pruebas cinéticas para análisis de potencial de drenaje ácido (2000).
	Monitoreo de oxígeno en el muro del Dique de Colas	Informe sobre monitoreo de oxígeno (información general, descripción de equipos de monitoreo) presente en los poros del material del muro del dique de colas (2000).
	Informe técnico de Pozo PB24	Perfil del pozo de retrobombeo PB24 y perfil eléctrico.
	Modelo geológico de agua subterránea – EN DESARROLLO	Programa de tareas para el desarrollo de modelo hidrogeológico.
22	Informe Drenaje ácido de Roca	Informe trimestral sobre pruebas cinéticas para análisis de potencial de drenaje ácido, descripción del sistema de cobertura y programa de investigación de Minera Alumbreira (2000).
	Informe de análisis realizados en nuevo flujo de agua	Informe de análisis de alcoholes en agua para determinar el origen de una filtración (2000).
	Propuesta de Deposición de residuos del laboratorio	Propuesta de deposición de residuos industriales en escombreras (2000).
	Resultados de análisis químicos	Resultados de análisis químicos de muestras de aguas superficiales y subterráneas (2000).
23-24-25-26	Estudio de Sistematización de Agua Dique de Colas	Informe de sistematización para las cuencas hidrológicas aguas arriba del dique de colas: alcance y criterios de diseño (2000).
	Resultados químicos de los monitoreos	Resultados de análisis químicos de muestras de aguas superficiales y subterráneas y planillas con datos de sitios de muestreo (2000).
	Water Resource Evaluation - Alumbreira - Septiembre 1995	Informe de evaluación del recurso hídrico: hidrogeología local y regional, conclusiones y recomendaciones (1995).
27-28-29-30	Construction water supply and operational Monitoring well Installations	Informe de construcción y operación de pozos de monitoreo de aguas subterráneas (PE, WW, MW, EC y ERC) (1996).
	Numerical model of potential contaminant transport in ground water from the tailing and waste rock areas	Informe de modelado numérico de transporte potencial de contaminantes en el agua subterránea en zonas de colas y escombreras (1997).
	Evaluación de la composición Química del agua	Informe de evaluación de la información hidrogeológica antecedente, de la composición química del agua y de modelos hidrogeológicos conceptuales y numéricos (2000).

INFORME DE IMPACTO AMBIENTAL MINERA ALUMBRERA

Cuerpo	Documento	Detalle
	Informe Hidrogeoquímico Cuenca vis vis	Es igual al informe "Evaluación de la composición Química del agua" anterior.
31	Modelo potencial Drenaje Acido de Roca - MAA 2000	Informe del modelo de manejo del drenaje ácido de roca y actualización en base a resultados de pruebas estáticas y cinéticas (2000).
	datos monitoreo Agosto de 2000	Resultados de laboratorio de monitoreo trimestral de aguas superficiales y subterráneas (08/2000).
	Datos monitoreos Noviembre de 2000 y Febrero de 2001	Resultados de laboratorio de monitoreo trimestral de aguas superficiales y subterráneas (11/2000 y 02/2001).
	datos monitoreo Mayo Agosto y noviembre de 2000 - Vis Vis	Resultados de laboratorio de monitoreo trimestral de aguas superficiales y subterráneas aguas abajo del dique de colas (05/2000, 08/2000 y 11/2001).
	Informe resumido sobre drenaje acido de rocas - Marzo de 2001	Informes sobre el drenaje ácido de rocas: avance de pruebas cinéticas, ode los resultados obtenidos y conclusiones (2001).
	Datos de monitoreo Mayo de 2001	Resultados de laboratorio de monitoreo trimestral de aguas superficiales y subterráneas (05/2001).
	datos de monitoreo agosto de 2001	Resultados de laboratorio de monitoreo trimestral de aguas superficiales y subterráneas (08/2001).
33	Actualizacion IIA de MAA del año 2002	Segunda actualización (10/2001) del informe de impacto ambiental - fase de explotación (debería ser primera actualización?)
34	datos pozos de monitoreo HON1-MW15 y MW16	Perfil de perforación, perfil geoelectrico, datos de bombeos y análisis químicos de pozos de monitoreo HON1, MW15 y MW16 (2001).
	datos monitoreo noviembre de 2001	Resultados de laboratorio de monitoreo trimestral de aguas superficiales y subterráneas (11/2001).
35	Modificaciones de la composición Hidroquímica en la Cuenca del Rio Vis Vis – Amanao – Febrero 2002	Informe de modificaciones en la composición hidroquímica de las aguas de la cuenca, evaluación de resultados de pruebas de drenaje ácido, conclusiones y recomendaciones (2001).
36	Simulación de Transportes de Contaminantes y Caudal de Agua Subterránea MAA – Febrero 2002	Informe de simulación de transportes de contaminantes y caudal de agua subterránea (2002).
38	Primera Actualización del IIA, del Yacimiento Bajo Alumbraera	Ampliación a la primera actualización del Informe de impacto ambiental (fase de explotación) - 2002.

INFORME DE IMPACTO AMBIENTAL MINERA ALUMBRERA

Cuerpo	Documento	Detalle
45	Monitoreo trimestral Febrero 2002.	Resultados de laboratorio de monitoreo trimestral de aguas superficiales y subterráneas (02/2002).
	Evaluación de informe: Simulación de Transporte de contaminantes y caudal de agua subterráneas.	Evaluación del "Informe de simulación de transportes de contaminantes y caudal de agua subterránea (2002)" (2002).
	Informe resumido sobre drenaje ácido de roca.	Informe semestral (01/2002-06/2002) del programa de drenaje ácido de rocas (2002).
	Monitoreo trimestral.	Resultados de laboratorio de monitoreo trimestral de aguas superficiales y subterráneas (05/2002 y 08/2002).
	Estudio de una cobertura para escombreras/colas y diseño y construcción de las escombreras.	Informe del avance de los estudios para coberturas de escombreras y colas (2002).
	Perforación de los pozos: MW17; MW18; MW19	Perfil de perforación, perfil geoeléctrico, datos de ensayos de bombeo y análisis químicos de pozos de monitoreo MW17, MW18 y MW19 (2002).
	Filtraciones en el sector sudoeste del Dique de Colas	Resultados de análisis químicos en muestras de aguas de filtraciones (2000).
	Informe Técnico pozo PB 24 - Steve Brown - Julio de 2000	Perfil de perforación y perfil geoeléctrico de la perforación de retrobombeo PB24 (2000).
	ubicación construcción y diseño de perforaciones recomendadas en modelo matemático	Informe de ubicación y diseño de sondeos de monitoreo MW17, MW18 y MW19 (2002).
46	Anexo II Monitoreo trimestral Noviembre 2002	Resultados de laboratorio de monitoreo trimestral de aguas superficiales y subterráneas (11/2002).
	Datos monitoreo Agosto de 2000	Resultados de laboratorio de monitoreo trimestral de aguas superficiales y subterráneas (08/2002).
	Datos pozos de monitoreo MW17-MW18-MW19 y MW21 - Vis Vis	Perfil de perforación, análisis químicos, datos de ensayos de bombeo y resultados de perfilajes de pozo de sondeos de monitoreo MW17, MW18, MW19 y MW21 (2003).
47	Anexo II- Relevamiento Geofísico	Anexo al Informe de Impacto de Ambiental de Relevamiento geofísico: relevamiento electromagnético del suelo aguas abajo del dique de colas
48	Informe semestral –Drenaje Acido de Rocas	Informe semestral de avance de ensayos para drenaje ácido de rocas y evaluación de resultados obtenidos; informe de estudio de coberturas para escombreras y dique de colas (2003).

INFORME DE IMPACTO AMBIENTAL MINERA ALUMBRERA

Cuerpo	Documento	Detalle
49	Puntos de muestreos de las aéreas de Tampa Tampa y escombreras para su caracterización geoquímica y parámetros ambientales	Informe de ubicación de puntos de muestreo en las áreas de Tampa Tampa y escombreras para caracterización ambiental y geoquímica (2003): análisis químicos, planillas de coordenadas y caudales de cauces y arroyos. Informes de los pozos PB23, MW25 y MW26 (perfiles de perforación, ensayos de bombeo y perfilajes). Informe semestral (08/2003) de drenaje ácido de rocas. Programa de estudio de partículas de polvo suspendido. Informe de monitoreos (análisis químicos) de las aguas de los cursos que cruza el mineraloducto.
51	Informe Semestral Drenaje ácido de Rocas	Informe semestral (09/2003) de drenaje ácido de rocas.
	Ref. Nota SEM N° 009/04- Metodología de Muestreo y análisis de agua.	Nota sobre la metodología de muestreo y análisis de agua.
	Monitoreo Trimestral-Febrero 2004.	Resultados de laboratorio de monitoreo trimestral de aguas superficiales y subterráneas (02/2004).
	Monitoreo Semestral de Ríos	Informe de monitoreos (análisis químicos) de las aguas de los cursos que cruza el mineraloducto (02/2004).
53	Ref. Nota SEM N° 058/04 Manual de Monitoreo de aguas superficiales y Subterráneas Norma EPA 540-00-003	Manual de monitoreo de aguas superficiales y subterráneas (adecuación a la Norma EPA 540-00-003).
	Informe Semestral DAR.	Informe semestral (07/2004) de drenaje ácido de rocas.
54	Segunda Actualización de IIA-Ampliación	Segunda actualización (10/2001) del informe de impacto ambiental - fase de explotación.
55	Segundo Monitoreo Trimestral	Resultados de laboratorio de monitoreo trimestral de aguas superficiales y subterráneas (06/2004).
	Monitoreo Semestral de Ríos	Informe semestral de monitoreos (análisis químicos) de las aguas de los cursos que cruza el mineroducto (06/2004).
	Hojas de seguridad de los productos químicos usados en el proceso	Hojas de seguridad de los productos químicos usados en el proceso y diagrama de flujo con las cantidades promedio usadas en el proceso (2004).
	Tercer Monitoreo Trimestral	Resultados de laboratorio de monitoreo trimestral de aguas superficiales y subterráneas (09/2004).
	Hoja de Seguridad de Floculante	Hoja de seguridad del floculante utilizado en la etapa final de espesamiento (2004).

INFORME DE IMPACTO AMBIENTAL MINERA ALUMBRERA

Cuerpo	Documento	Detalle
	Cobertura para dique de Colas y Escombreras Pruebas de Campo	Informe de resultados de los ensayos de campo de cobertura para diques de colas y escombreras (11/2004), caracterización química promedio del concentrado de procesado y análisis químico del agua de filtrado de la Planta de Filtros (drenada por los filtros de presión, previo al ingreso a tratamiento).
	Tipos de Agua que ingresan al Dique de Colas	Análisis químicos de muestras de agua del dique de relaves (TLW), agua de la pileta de captación de drenajes del sistema de retrobombeo (DCP) y agua de dos pozos del sistema de retrobombeo (PB24 y PB16), entre 2001 y 2004.
	Análisis de la fracción líquida de las colas	Resultados de análisis químicos de la fracción líquida de las colas (2005).
	Nota de análisis de evolución de sulfatos	Nota en la cual se analizan resultados en muestras de agua subterránea y superficial, en particular el aumento de la concentración de sulfatos en determinados puntos aguas abajo del dique de colas.
	Informe Semestral de DAR	Informe semestral (fines de 2004) de las actividades realizadas para el estudio del drenaje ácido de rocas.
	Monitoreo Trimestral-Diciembre de 2004	Resultados de laboratorio de monitoreo trimestral de aguas superficiales y subterráneas (12/2004).
56	Estudio Isotópico y Geoquímico en Aguas superficiales y subterráneas en la cuenca del río vis vis- Prospección Geofísica Planicie Tampa Tampa y Quebrada Vis Vis- Repetido	Informes de los estudios isotópicos de las aguas superficiales y subterráneas en la Quebrada Vis Vis (2004).
	Monitoreo Trimestral-Febrero 2005	Resultados de laboratorio de monitoreo trimestral de aguas superficiales y subterráneas (02/2005).
	Monitoreo Semestral de ríos	Informe semestral de monitoreos (análisis químicos) de las aguas de los cursos que cruza el mineroducto (01/2005).
57	Prospección geofísica planicie tampa tampa y quebrada vis vis	Informe de prospección geofísica en la planicie Tampa Tampa y en la Quebrada Vis Vis (12/2004): sondeos eléctricos verticales y perfiles con electromagnetómetro (faltan planos).
58	Segundo Monitoreo Trimestral 2005	Resultados de laboratorio de monitoreo trimestral de aguas superficiales y subterráneas (06/2005).

INFORME DE IMPACTO AMBIENTAL MINERA ALUMBRERA

Cuerpo	Documento	Detalle
	Tercer Monitoreo Trimestral 2005	Resultados de laboratorio de monitoreo trimestral de aguas superficiales y subterráneas (09/2005).
	Cuarto Monitoreo Trimestral 2005	Resultados de laboratorio de monitoreo trimestral de aguas superficiales y subterráneas (11/2005).
	Primer Monitoreo trimestral 2006	Resultados de laboratorio de monitoreo trimestral de aguas superficiales y subterráneas (03/2006).
	Informe semestral de ríos	Informe semestral de monitoreos (análisis químicos) de las aguas de los cursos que cruza el mineroducto (12/2005).
	Primer Monitoreo Trimestral 2006	Resultados de laboratorio de monitoreo trimestral de aguas superficiales y subterráneas (03/2006).
	Caracterización mineralógica de las colas	Composición química promedio del concentrado (colas) de la mina (2006).
	Informe del Programa de Termistores	Informe de actualización del programa de termistores (2006): resultados, conclusiones y recomendaciones.
	Informe del Programa de Revegetación	Informe de evaluación del Programa de revegetación (2006).
	Pruebas de Campo del sist de recubrimiento del dique de colas y escombreras de minera alumbreira LTD	Informe de monitoreo del segundo año (2004-2005) de las pruebas de campo del sistema de recubrimiento del dique de colas y escombreras.
	Informe de Actualización de Caracterización de rocas-Test Columnas-Piletas-Celdas de humedad Minera Alumbreira LTD.	Informe de actualización de pruebas de drenaje ácido de rocas.
	Segundo monitoreo trimestral 2006-Mayo 2006	Resultados de laboratorio de monitoreo trimestral de aguas superficiales y subterráneas (07/2006).
59	Tercer Monitoreo trimestral 2006 y Monitoreo Semestral de ríos - Julio 2006	Resultados de laboratorio de monitoreo trimestral de aguas superficiales y subterráneas (08/2006 y 09/2006) e informe semestral de monitoreos (análisis químicos) de las aguas de los cursos que cruza el mineroducto (08/2006). .
60	2006 IIA Etapa Explotación Catamarca 3º Actualización FINAL	Tercera actualización (12/2006) del informe de impacto ambiental - fase de explotación.
66	Sistema de manejo de colas	Informe del sistema de manejo de colas: plan de contingencias, medición de niveles del dique de colas y de agua fresca y resultados de monitoreos trimestrales (primer,

INFORME DE IMPACTO AMBIENTAL MINERA ALUMBRERA

Cuerpo	Documento	Detalle
		segundo y tercer trimestre de 2007) de aguas superficiales y subterráneas.
	Cobertura de dique de colas	Síntesis de los monitoreos del primer y segundo trimestre de 2007 de los ensayos de terreno del sistema de cobertura del dique de colas y escombreras.
	DAR	Informe de actualización (10/2007) de los ensayos de drenaje ácido de rocas.
71	Sistema de manejo de colas	Plan de contingencia (04/2008), caudales de pozos del sistema de retrobombeo y resultados de monitoreos de aguas superficiales y subterráneas.
	Cobertura y DAR	Informe de caracterización geoquímica de las colas (2008), informe de monitoreo del año 4 de ensayos de campo del sistema de cobertura del dique de colas y escombreras (2008), informe de monitoreo de termistores y de ensayos de drenaje ácido de roca (2008).
73	Investigación Vis Vis	Informe de la situación al 2005 del nivel de base ambiental y parámetros geoquímicos entre Mina Alumbreira y Río El Candado (Depto. Andalgá).
74	Sistema de manejo de colas	Resultados de mediciones de caudales de pozos del sistema de retrobombeo y resultados de monitoreos de aguas superficiales y subterráneas.
	Cierre de Dique de colas	Informes del segundo semestre (2008) de ensayos de prueba del sistema de cobertura de colas y escombreras, de ensayos de drenaje ácido de roca, de cobertura de escombreras (taludes), de erosión de laderas de escombreras y de extracción del material aluvial de Tampa Tampa.
76	Calidad de agua Vis vis	Cuarta actualización (12/2008) del informe de impacto ambiental - fase de explotación. Informe del estudio ambiental de aguas, sedimentos fluviales, suelo y polvo atmosférico (2008).
77	Sistema de manejo de colas	Resultados de mediciones de caudales de pozos del sistema de retrobombeo, resultados de monitoreos de aguas superficiales y subterráneas, actualización del estudio hidrológico (08/2008), informe de estabilidad sísmica del sistema de disposición de relaves (11/2008) y estudio del peligro sísmico para el proyecto Alumbreira (11/2008).
78	Programa de Cobertura 2009	Programa de tareas para los ensayos de campo para el sistema de cobertura de colas y escombreras (2009).

INFORME DE IMPACTO AMBIENTAL MINERA ALUMBRERA

Cuerpo	Documento	Detalle
	Revegetación	Programa de tareas para los ensayos de campo para los trabajos de revegetación (2009).
	Estudio Peligro sísmico dique	Estudio del peligro sísmico para el proyecto Alumbreira (11/2008).
79	Sistema de manejo de colas - abril 2009	Resultados de mediciones de caudales de pozos del sistema de retrobombeo y resultados de monitoreos de aguas superficiales y subterráneas (2009).
	Revegetación y cobertura - 2009	Informes de avance (2009) de los estudios de revegetación y cobertura de colas y escombreras realizados.
80	Prog. De monitoreo de Metales traza en Vis Vis	Metodología de muestreo, preservación, conservación y de análisis a aplicar en el monitoreo de aguas superficiales y subterráneas en la Quebrada de Vis Vis, para la determinación de metales traza, utilizada por el Laboratorio CORPLAB (2009).
	Metales traza en Vis Vis	Resultados de las primeras cuatro campañas para determinación de metales traza en aguas subterráneas y superficiales (2009).
	Segundo monitoreo semestral julio 2009	Informe semestral de monitoreos (análisis químicos) de las aguas de los cursos que cruza el mineroducto (07/2009).
82	Trimestral de mina agosto 2009	Resultados de laboratorio de monitoreo trimestral de aguas superficiales y subterráneas (08/2009).
	Trimestral de mina de noviembre 2009	Resultados de laboratorio de monitoreo trimestral de aguas superficiales y subterráneas (11/2009).
	Manual de mon. de aguas sup. y sub. (CORPLAB)	Manual de monitoreo de aguas superficiales y subterráneas (CORPLAB) para determinación de metales traza. Resultados de análisis de laboratorio (06/2009-10/2009).
	Monitoreo trimestral de mina año 2010 de febrero	Resultados de laboratorio de monitoreo trimestral de aguas superficiales y subterráneas (03/2010).
83	Segundo mon. trimestral de Vis Vis 2010	Resultados de laboratorio de monitoreo trimestral de aguas superficiales y subterráneas (05/2010). Informe semestral de monitoreos (análisis químicos) de las aguas de los cursos que cruza el mineroducto (06/2010).
	Segundo Monitoreo semestral de ríos año 2010	Resultados de laboratorio de monitoreo trimestral de aguas superficiales y subterráneas (10/2009).

INFORME DE IMPACTO AMBIENTAL MINERA ALUMBRERA

Cuerpo	Documento	Detalle
85	PCA Recuperación de top soil de tampa-tampa	Quinta actualización del informe de impacto ambiental (2012): programa de control ambiental de recuperación de Top Soil abanico aluvial de Tampa-Tampa, actividades realizadas y conclusiones.
	PCA sistema de cobertura de Botaderos	Quinta actualización del informe de impacto ambiental (2012): programa de control ambiental del sistema de cobertura de botaderos, actividades realizadas y conclusiones.
	Revegetación de botaderos	Quinta actualización del informe de impacto ambiental (2012): programa de control ambiental de revegetación de botaderos, actividades realizadas y conclusiones.
	Rehabilitación Progresiva de Botaderos	Quinta actualización del informe de impacto ambiental (2012): programa de control ambiental de rehabilitación progresiva de botaderos, actividades realizadas y conclusiones.
	Monitoreo de Temp. De Botaderos	Quinta actualización del informe de impacto ambiental (2012): programa de control ambiental de monitoreo de temperatura de botaderos, actividades realizadas y resultados.
	Monitoreo de botaderos	Quinta actualización del informe de impacto ambiental (2012): programa de control ambiental de monitoreo de botaderos (estabilidad), actividades realizadas y conclusiones.
	Control de consumo de agua retro bombeo	Quinta actualización del informe de impacto ambiental (2012): programa de control ambiental de control de consumo de agua del sistema de retrobombeo (volúmenes recuperados), actividades realizadas y resultados.
	Monitoreo calidad de agua de Vis Vis	Quinta actualización del informe de impacto ambiental (2012): programa de control ambiental de monitoreo de calidad de agua, actividades realizadas y resultados.
	Perf. de Pozos de retro bombeo y monitoreo Vis vis	Quinta actualización del informe de impacto ambiental (2012): programa de control ambiental de pozos de retrobombeo y monitoreo, actividades realizadas y resultados.
	Revegetación de diques de cola	Quinta actualización del informe de impacto ambiental (2012): programa de control ambiental de revegetación de del dique de colas, actividades realizadas y resultados.
Sistema de cobertura de Dique de Colas	Quinta actualización del informe de impacto ambiental (2011): programa de control ambiental del sistema de cobertura del dique de colas, actividades realizadas,	

INFORME DE IMPACTO AMBIENTAL MINERA ALUMBRERA		
Cuerpo	Documento	Detalle
		Conclusiones y resultados.
	Sistema de retrobombeo	Quinta actualización del informe de impacto ambiental (2011): programa de control ambiental del sistema de retrobombeo, actividades realizadas y resultados.
86	IIA año 2012. Quinta actualización	Quinta actualización del informe de impacto ambiental (2012).
92	Rpta a Cédula de Notificación Inspección Ambiental: - Estudios de Estabilidad y Plan Conceptual de Cierre para el Dique de Colas con la Cota de Coronamiento 2347,-Diseño de Cobertura en Dique de Colas y Botaderos,-Muestreo, Clasificación y Cartografía de Suelos Caracterización Ambiental, Abanico aluvial Tampa Tampa, -Plano de los cauces que aportan caudal al dique de colas,- Monitoreo de bajo el Durazno y Tampa Tampa.	Estudios de Estabilidad y Plan Conceptual de Cierre para el Dique de Colas con la Cota de Coronamiento 2347 (2011, borrador). Diseño de Cobertura en Dique de Colas y Botaderos. Informe de muestreo, clasificación y cartografía de suelos y caracterización ambiental del abanico aluvial Tampa Tampa. Plano de los cauces que aportan caudal al dique de colas. Monitoreo de niveles de agua de bajo el Durazno y Tampa Tampa (respuesta a DiPGAM).
93	Respuesta a informe de IATASA	Respuesta a consultas y observaciones realizadas por DiPGAM al informe de IATASA (2014).
95	Ampliación- Respuesta a Informe de Iatasa	Ampliación a respuesta a consultas y observaciones realizadas por DiPGAM al informe de IATASA (2014).
96	Rpta CN 152-15. versión final	Respuestas a consultas y observaciones realizadas por DiPGAM.
	Anexo 2.a SA201-00001-31 rev 1 (Construcción Cota 2347)	Estudios de Estabilidad y Plan Conceptual de Cierre para el Dique de Colas con la Cota de Coronamiento 2347 (07/2015)

Documentos PCA SISTEMA DE COBERTURA DE DIQUE DE COLAS		Detalle
1	Versión 01 Revisión 00 Sist de Cobert Dique	Programa de control ambiental (2010-2012) de la prueba de cobertura de material aluvial sobre la colas.
2	Resolución SEM 342 10	Resolución de la Secretaría de Estado de Minería: aprobación del Programa de Control Ambiental.
3	Alumbrera Tailings Characterization Report April 8 08-2 Final	Informe de caracterización geoquímica de las colas: composición geoquímica de las colas, análisis de la potencial cobertura de las colas, calidad de agua (2008).

Documentos PCA SISTEMA DE COBERTURA DE DIQUE DE COLAS		Detalle
4	Final Draft Alumbarrera Tailings Porewater Modeling Report Aug 08	Informe de modelado de la composición química de las aguas intersticiales de los relaves, en el período inmediato luego del cierre de la mina y un cierto período posterior al cierre, y evaluación del potencial de migración ascendente de precipitados (o 'sales') en el material de recubrimiento de las colas (2008).
5	Memorandum Técnico_Cobertura Dique de Colas_RevFinal	Memoria técnica del monitoreo del sistema de coberturas, instalado para evaluar el rendimiento de la cobertura (datos obtenidos en estas áreas de prueba: temperatura, succión, contenido volumétrico de agua e índices de infiltración monitoreados a distintas profundidades en la cobertura de material aluvial y en los relaves).
6	Final Draft Alumbarrera Tailings Porewater Modeling Report Aug 08	Informe de modelado de la composición química de las aguas intersticiales de los relaves, en el período inmediato luego del cierre de la mina y un cierto período posterior al cierre, y evaluación del potencial de migración ascendente de precipitados (o 'sales') en el material de recubrimiento de las colas (2008).
7	Final Draft Alumbarrera Tailings PoreWater Modeling Report_Spanish version	Informe de modelado de la composición química de las aguas intersticiales de los relaves, en el período inmediato luego del cierre de la mina y un cierto período posterior al cierre, y evaluación del potencial de migración ascendente de precipitados (o 'sales') en el material de recubrimiento de las colas (2008).
8	01_Informe Trimestral Enero - Marzo 2011	Informe trimestral del monitoreo del sistema de coberturas en las áreas de prueba TP1 y TP2 (04/2011).
9	Trimestral 2_Dique de Colas_Rev 0	Informe trimestral del monitoreo del sistema de coberturas en las áreas de prueba TP1 y TP2 (07/2011).
10	10921C1059 MT030 Dique de Colas Rev C	Informe trimestral del monitoreo del sistema de coberturas en las áreas de prueba TP1 y TP2 (08/2011).
11	MT 036_Cobertura Dique de Colas_3er Trim 2011_Rev B_MAA	Informe trimestral del monitoreo del sistema de coberturas en las áreas de prueba TP1 y TP2 (10/2011).
12	Alumbarrera Tailings Characterization Report April 8 08-2 Fina	Informe de caracterización geoquímica de las colas: composición geoquímica de las colas, análisis de la potencial cobertura de las colas, calidad de agua (2008).
13	Evaluación Informe - Geoquímica de las Colas	Evaluación del informe "12 - Alumbarrera Tailings Characterization Report April 8 08-2 Final".
14	Evaluación Informe - Prediction of the Tailings	Evaluación del informe "6 - Final Draft Alumbarrera Tailings Porewater Modeling Report

Documentos PCA SISTEMA DE COBERTURA DE DIQUE DE COLAS		Detalle
		Aug 08".
15	Final Draft Alumbarrera Tailings Porewater Modeling Report Aug	Informe de modelado de la composición química de las aguas intersticiales de los relaves, en el período inmediato luego del cierre de la mina y un cierto período posterior al cierre (08/2008).
16	01_ Informe Anual 2011- Sistema de Cobertura de Dique de Col	Informe anual (2011) del sistema de cobertura del dique de colas: detalle de actividades realizadas, resultados obtenidos, etc.
17	4to Trimestre Sistema Cobertura Dique Colas	Informe trimestral del monitoreo del sistema de coberturas en las áreas de prueba TP1 y TP2 (02/2012).
18	109 21C 1059_MT 053_Dique_Rev 0	Informe trimestral del monitoreo del sistema de coberturas en las áreas de prueba TP1 y TP2 (04/2012).
19	2012_09_10_Respuesta Cedula de Notificacion N° 102-12 SEM N° 342-10	Nota de respuesta a observaciones de DiPGAM: se justifican los motivos de las correcciones de valores de temperatura reportados en informes trimestrales N° 4 de 2010 y N° 1 de 2011.
20	2012_10_31_Recepción DiPGAM Rev 01 PCA Cobertura Dique de Colas	Nota de envío de informe de monitoreo trimestral.
21	2013_01_22_Notificación DiPGAM N°005-13 Aprobación y Requerimiento	Nota de requerimiento a Minera Alumbarrera: informa que la versión del Programa de Control Ambiental "Sistema de Cobertura Dique de Colas" presentada el 12 de sept de 2012 se considera válida y solicita presentar en 10 días hábiles "La nueva versión del Programa de Control ambiental y sus correspondientes informes trimestrales"
22	2013_02_02_Memo_CN_N°005-13_10921C1059_Informe Octubre 2012_Rev B	Informe trimestral del monitoreo del sistema de coberturas: diseño de nuevas áreas de prueba (02/2013).
23	2013_02_02_Rpta_CN_N°005-13_MT_068_109 21C 1059_RPT 068	Informe de ingeniería de detalle de rehabilitación de diques de colas - botaderos (08/2012).
24	2013_02_04_109 21C 1059_MT_ 76 Rev1. pdf	Informe de evaluación de alternativas de diseño de celdas de cobertura para botaderos y dique de colas (11/2012).
25	2013_02_04_Memo_CN_N°005-13_10921C1059_Informe Diciembre 2012_Rev B	Informe trimestral de monitoreo del sistema de coberturas: ajustes al diseño de pruebas de la cobertura (02/2013).
26	2013_02_04_Memo_CN_N°005-13_10921C1059_Informe Junio 2012_Rev B	Informe trimestral de monitoreo del sistema de coberturas: definición preliminar de nuevas pruebas (02/2013).

Documentos PCA SISTEMA DE COBERTURA DE DIQUE DE COLAS		Detalle
27	2013_03_31_Rpta a CN DiPGAM N° 032-13 PCA Sist Cobertura Dique de Colas V02 R00	Programa de control ambiental (2012-2014) de la prueba de cobertura de material aluvial sobre la colas.
28	RES SEM 852-13	Resolución de la Secretaría de Estado de Minería: aprobación del Programa de Control Ambiental.
29	2013_04_16_Doc 085_Informe Anual 2012 Cobertura Diques_Rev.0 - Firmado	Informe anual (2012) del sistema de cobertura del dique de colas: detalle de actividades realizadas, resultados obtenidos, etc.
30	Infor.(Enero-Marzo) Cobertura Dique	Informe trimestral de monitoreo del sistema de coberturas: supervisión de la construcción de las celdas de prueba de cobertura para colas (08/2013).
31	109 21C 1059_RPT 097_Informe Dique de Colas.Rev0	Informe final de la supervisión de la construcción de las celdas de cobertura del dique de colas: actividades realizadas y conclusiones (09/2013).
32	10921C1059_ Informe trimestral (Julio-Septiembre) Rev 0 - Dique	Informe trimestral de monitoreo del sistema de coberturas: supervisión de la construcción de las celdas de prueba de cobertura para colas (11/2013).
33	Inf Semestral-Sist de Cobertura de Dique de Colas-agos13-enero14	Informe semestral del monitoreo del sistema de cobertura del dique de colas (08/2013 - 01/2014).
34	Inf Anual-Sist de Cobertura de Dique de Colas-Enero-agos13	Informe anual (2013) del sistema de cobertura del dique de colas: detalle de actividades realizadas.
35	Inf Smestral Sept 2014-Enero 2015 Sist Cob DC	Informe semestral del monitoreo del sistema de cobertura del dique de colas (09/2014 - 01/2015).
36	Infor Semestral Feb-Ago 2014 Sist Cob DC	Informe semestral del monitoreo del sistema de cobertura del dique de colas (02/2015 - 08/2015).
37	Infor Anual 2014. Sist Cob DC	Informe anual (2014) del sistema de cobertura del dique de colas: detalle de actividades realizadas, comentarios, etc.
38	PCA Sistema de Cobertura Dique de Colas V3 R0	Programa de control ambiental (2015-2017) de la prueba de cobertura de material aluvial sobre la colas.
39	Inf Semestral Feb-Jul 2015 sSist Cob dique de Colas	Informe semestral del monitoreo del sistema de cobertura del dique de colas (02/2015 - 07/2015).
40	Informe Semestral Dique Agos-Enero 2016	Informe semestral del monitoreo del sistema de cobertura del dique de colas (08/2015 - 01/2016).

Documentos PCA REVEGETACIÓN DEL DIQUE DE COLAS		Detalle
1	Revegetación del Dique de Colas Rev 2	Programa de control ambiental de la revegetación del dique de colas (no dice vigencia).
2	Cronograma de Actividades Revegetación	Cronograma de actividades de revegetación.
3	01_2011_11_27_Antecedentes_Revegetación_Colas_Vector	Informe antecedente de revegetación: ensayos para determinar técnica de revegetación teniendo en cuenta el material de fundación, en áreas de prueba (2011).
4	Organigrama_Revegetación_Dique de Colas	Organigrama del proyecto de revegetación: describe roles y responsabilidades dentro del Proyecto.
5	Informe Dique de Colas_VF	Informe de revegetación: ensayos para determinar técnica de revegetación teniendo en cuenta el material de fundación, en áreas de prueba (2012).
6	Informe trimestral dique de colas_Dic2011Ene Feb 2012_VF	Informe trimestral de revegetación: resultados de los monitoreos de supervivencia y crecimiento registrados de las especies ensayadas, datos meteorológicos (12/2011 - 01 y 02/2012).
7	2012_06_26_Informe Trimestral Revegetación Marzo a Mayo 2012 TSF	Informe trimestral de revegetación: resultados de los monitoreos de supervivencia y crecimiento registrados de las especies ensayadas, datos meteorológicos (03, 04 y 05/2012).
8	DiPGAM 81_12	Respuesta a consultar y requerimientos de la DiPGAM.
9	PCA Revegetación del Dique de Colas Rev 01 2012 - 2014	Programa de control ambiental de la revegetación del dique de colas (2012-2014).
10	RES SEM N 330-13 Revegetación Dique de Colas	Resolución de la Secretaría de Estado de Minería: aprobación del Programa de Control Ambiental.
11	2012_09_30_Informe Trimestral Revegetación Junio - Agosto 2012 TSF	Informe trimestral de revegetación: resultados de los monitoreos de supervivencia y crecimiento registrados de las especies ensayadas, datos meteorológicos (06, 07 y 08/2012).
12	2012_11_21_Informe Anual Revegetación Dique de Colas 2012	Informe anual de revegetación: resultados de los monitoreos de supervivencia y crecimiento registrados de las especies ensayadas, datos meteorológicos (2012).
13	2012_12_22_Informe Trimestral Dique de colas_Sept_Nov_2012	Informe trimestral de revegetación: resultados de los monitoreos de supervivencia y crecimiento registrados de las especies ensayadas, datos meteorológicos (09, 10, 11 y primera semana de 12/2012).
14	2013_03_18_Informe Trimestral Dique de colas_Dic_2012_Feb_2013	Informe trimestral de revegetación: resultados de los monitoreos de supervivencia y crecimiento registrados de las especies ensayadas, datos meteorológicos (12/2012,

Documentos PCA REVEGETACIÓN DEL DIQUE DE COLAS		Detalle
		01 y 02/2013).
15	Info trimestral periodo Marzo -Mayo 2013_RF	Informe trimestral de revegetación: resultados de los monitoreos de supervivencia y crecimiento registrados de las especies ensayadas, datos meteorológicos, inicio ensayo de dinámica de agua en cobertura de geo- textil y material aluvial (03, 04 y 05/2013).
16	Informe trimestral periodo Junio-Agosto 2013_RF	Informe trimestral de revegetación: resultados de los monitoreos de supervivencia y crecimiento registrados de las especies ensayadas, datos meteorológicos, segunda etapa ensayo de dinámica de agua en cobertura de geo- textil y material aluvial (06, 07 y 08/2013).
17	Infor Trimestral Septiembre - Noviembre 2013	Informe trimestral de revegetación: resultados de los monitoreos de supervivencia y crecimiento registrados de las especies ensayadas, datos meteorológicos, tercera etapa ensayo de dinámica de agua en cobertura de geo- textil y material aluvial (09, 10 y 11/2013).
18	Informe anual Dique de colas Diciembre 2012 - Noviembre 2013	Informe anual de revegetación: resultados de los monitoreos de supervivencia y crecimiento registrados de las especies ensayadas, datos meteorológicos, ensayo de dinámica de agua en cobertura de geo- textil y material aluvial (2013).
19	Informe dique de colas Dic enero feb 2014	Informe trimestral de revegetación: resultados de los monitoreos de supervivencia y crecimiento registrados de las especies ensayadas, datos meteorológicos (12/2013, 01 y 02/2014).
20	Informe Trimestral Dique de colas Marzo Abril Mayo 2014	Informe trimestral de revegetación: resultados de los monitoreos de supervivencia y crecimiento registrados de las especies ensayadas, datos meteorológicos (03, 04 y 05/2014).
21	Trimestral Dique de Colas	Informe trimestral de revegetación (06, 07 y 08/2014).
22	4° informe Dique de Colas Set-oct- Nov 2014	Informe trimestral de revegetación: resultados de los monitoreos de supervivencia y crecimiento registrados de las especies ensayadas (09, 10, 11 y 12/2012).
23	Informe Anual 2014 Revegetación en Dique de Colas	Informe anual de revegetación: tareas para ejecución de ensayos, resultados de los monitoreos de supervivencia y crecimiento registrados de las especies ensayadas (2014).
24	Revegetación en Dique de Colas-1 Informe trimestral 2015	Informe trimestral de revegetación: resultados de los monitoreos de supervivencia y

Documentos PCA REVEGETACIÓN DEL DIQUE DE COLAS		Detalle
		crecimiento registrados de las especies ensayadas (12/2014, 01 y 02/2015).
25	Informe Análisis Tisulares	Informe: análisis de metales en tejidos de especies de plantas en Bajo de la Alumbreira y zonas aledañas (Cu, Mo y Se).
26	2do inf trimestral Marz-Abr-Mayo 2015	Informe trimestral de revegetación: resultados de los monitoreos de supervivencia y crecimiento registrados de las especies ensayadas (03, 04 y 05/2015).
27	Informe Trimestral Junio -Julio-Agosto 2015 Revg Dique de colas	Informe trimestral de revegetación: tareas para ejecución de ensayos, resultados de los monitoreos de supervivencia y crecimiento registrados de las especies ensayadas (06, 07 y 08/2015).
28	Inf Trimest Sept-Oct-Nov 2015 -Revegetación Dique de Colas	Informe trimestral de revegetación: resultados de los monitoreos de supervivencia y crecimiento registrados de las especies ensayadas (09, 10 y 11/2015).
29	Informe Global REVEGETACION EN DIQUE DE COLAS	Informe final de revegetación: tareas realizadas en la ejecución de ensayos, resultados y conclusiones finales (2010-2015).

Documentos PCA CONSTRUCCIÓN Y MONITOREO DE DIQUE DE COLAS		Detalle
1	CAUDALES VERTEDEROS	Planillas de caudales vertederos (12/5/2013 a 7/12/2014).
2	Niveles de Agua - Grafico	Niveles de agua del dique de relaves (1/1/2006 a 1/1/2015).
3	Niveles de Agua	Niveles de agua del dique de agua fresca (FWD) y de relaves (1/2/2006 a 31/12/2014).
4	Planilla de lectura de piezómetros	Historial de lecturas de piezómetros (12/5/2013 a 7/12/14).
5	Informe KP41421 14-3 TMS	Informe de estudios realizados para investigar el estado de las colas depositadas para determinar rigidez, resistencia y resistencia a la licuefacción (10/2001): ensayos de campo (SPT, SCPTU) y de laboratorio en relaves.
6	Niveles de Agua	Niveles de agua del dique de agua fresca (FWD) y de relaves (1/2/2006 a 31/1/2015).
7	PCA dique - 01-11-15	Programa de control ambiental.
8	Caseta 3 - Esquema de ubicación de prismas	Esquema de ubicación de prismas.
9	Caseta 3 - Registro de lecturas	Registros de lecturas de la Caseta 3.
10	Lectura de vertederos - 2015-09-21_B	Planillas de caudales vertederos (12/5/2013 a 21/9/2015).

Documentos PCA CONSTRUCCIÓN Y MONITOREO DE DIQUE DE COLAS		Detalle
11	Niveles de Agua 2015-09-22 - Grafico	Niveles de agua del dique de relaves (1/1/2006 a 1/7/2015).
12	Niveles de Agua 2015-09-22	Niveles de agua del dique de agua fresca (FWD) y de relaves (1/2/2006 a 21/9/2015).
13	Planilla de lectura de piezómetros - FWD	Historial de lecturas de piezómetros (12/5/2013 a 21/9/15) del dique de agua fresca.
14	Planilla de lectura de piezómetros - TMS	Historial de lecturas de piezómetros (12/5/2013 a 21/9/15) del dique de relaves
15	SA201.00001.46-350 Rev 0 (Etapa 17)	Informe de construcción Etapa 17 del dique de relaves: información de material utilizado, programa de movimiento de tierra, sección transversal de la presa y programas de instrumentación geotécnica (ubicación piezómetros en sección y planta)

Documentos PCA Control de consumo Agua Retrobombeo		Detalle
1	PCA Control de consumo Agua Retrobombeo	Programa de control ambiental para el sistema de retrobombeo.
2	RESUMEN DE ACTIVIDADES	Resumen de actividades realizadas: volumen extraído entre 10/2011 y 3/1012 32.577.593m3 (7417m3/hora).
3	ANEXO 4 CONSUMO	Detalle del agua recuperada por día entre 10/11 y 3/12.
4	GRAFICA TOTAL (CONSUMOS DE AGUA RECUPERADA)	Agua recuperada entre 10/11 y 3/12.
5	Anexos 1,2,3,4	Anexo 1: procedimientos escritos de trabajo seguro; Anexo 2: plano del sistema de agua recuperada; Anexo 3: descripción de los equipos; Anexo 4: detalle del agua recuperada por día entre 4/11 y 9/11.
6	Semestrales	Informes técnicos (de actividades y de recuperación de agua diaria) semestrales: 10/13 - 03/14; 10/12 - 03/13; 10/14 - 03/15.
7	Informe Minera Alumbarrera-Rev0	Estudio sobre el acueducto existente para el transporte de agua del DCP hasta la laguna del dique de cola.
8	Informes MAA	Informe sobre mantenimiento y acciones tomadas en las instalaciones de MAA referentes al plan de control.

Documentos Perforación en Quebrada Vis Vis		Detalle
1	Resolución y versión Actual del PCA	Programa de control ambiental para la ejecución de perforaciones de pozos de retro-bombeo y de monitoreo en la quebrada Vis Vis.
2	Hojas Seguridad Eco Minera	Hojas de datos de seguridad de los materiales empleados en las perforaciones.
3	Perfiles de pozos	Perfiles de pozos de monitoreo (MW37, 38, 5, 7, 8, 15, Huaico, 17, 18, 19, 21, 25, 26, 27, 28, 30, 31, 31A, 34, 35, 35bis, Atajo, 36, 36B, 37, 38 y 40; ERC3; HON1), de emergencia (EW01 y 02) y de retro-bombeo (PB36, 29, 23, 1, 2, 5, 6, 11, 12, 13, 16, 20, 30, 24, 33, 34-1, 34-2, 25, 26, 27, 28, 32, 31, 36, 37 y 35).
4	Procedimientos	Metodologías de "Gestión de residuos en Mina", "Procedimientos de perforaciones" y "Reportes de incidentes ambientales".
5	Protocolo de Cierre PB36	Informe que muestra el estado del sitio de la perforación PB36 luego de finalizar las actividades de perforación y puesta en marcha de la perforación de retrobombeo.
6	Protocolo de Cierre MW37	Informe que muestra el estado del sitio de la perforación MW37 luego de finalizar las actividades de perforación e instalación del piezómetro.
7	Cierre de plataforma MW36	Informe que muestra el estado del sitio de la perforación MW36 y 36B luego de finalizar las actividades de perforación.
8	Cierre Plataforma PB35	Informe que muestra el estado del sitio de la perforación PB35 luego de finalizar las actividades de perforación.
9	Est y análisis avala la decisión de baja el Pozo PB33	Informe (1/7/15) en el que se justifica el estado de <i>stand by</i> en que se encuentra el pozo PB33, ya que la química de las muestras de agua subterránea tomadas muestran la nula influencia de aguas de proceso. Además, al parar el bombeo, se evitan gradientes hidráulicos que provoquen el avance de la pluma mineralizada.
10	evolución y eficiencia del sistema de Retrobombeo	Informe (12/2013) en el que se analiza la evolución y eficiencia del sistema de retrobombeo para el período 02/2013-07/2013. Se concluye que el sistema es eficiente, ya que mantiene la pluma mineralizada en las zonas cercanas al dique.
11	Informe Derrame de Lodo de Plataforma de Perforación	Informe sobre un derrame de lodo ocurrido en la perforación de monitoreo MW36. Se concluye que "Las características del lodo (MSDS) son inocuas para la salud humana y el medio ambiente."
12	Informe equipo perforaciones	Característica de los equipos utilizados en la ejecución de las perforaciones PB35, MW36 y MW36B.

Documentos Perforación en Quebrada Vis Vis		Detalle
13	Planilla de coord Vis Vis	Planilla de coordenadas (faltan algunos pozos, y algunas coordenadas tienen errores, según los "Perfiles de pozo").
14	Pozos Qda Vis Vis	Imagen satelital que muestra la ubicación de pozos de monitoreo (MW) y retrobombeo (PB) en la Quebrada Vis Vis.
15	Pozos Vis Vis - Coordenadas	Planilla de coordenadas (faltan algunos pozos, y algunas coordenadas tienen errores, según los "Perfiles de pozo").
16	Pozos Vis Vis	Imagen satelital que muestra la ubicación de pozos de monitoreo (MW) y retrobombeo (PB) en la Quebrada Vis Vis.

Documentos Sistema de Retrobombeo		Detalle
1	Sistema de Retro-bombeo de Pozos	Programa de control ambiental (PCA) del Sistema de Retrobombeo de pozos (2014-2016).
2	Retrobombeo MAA	Registros de volúmenes extraídos en los pozos de retrobombeo (1997-2010).
3	Semestre Octubre 2010 – Abril 2011	Registros de volúmenes extraídos en los pozos de retrobombeo (10/2010-03/2011).
4	Semestre Abril – Octubre 2011	Registros de volúmenes extraídos en los pozos de retrobombeo (04/2011-10/2011).
5	Semestral_Retrob_Oct2011-Marzo2012	Registros de volúmenes extraídos en los pozos de retrobombeo (10/2011-03/2012).
6	Semestral_Retrob_Abril-sept2012	Registros de volúmenes extraídos en los pozos de retrobombeo (04/2012-09/2012).
7	Semestral_Retrob_Oct2012-Marzo2013	Registros de volúmenes extraídos en los pozos de retrobombeo (10/2012-03/2013).
8	Semestral_Retrob_Abril-Sept_2013	Registros de volúmenes extraídos en los pozos de retrobombeo (04/2013-09/2013).
9	Semestral_Retrob_Oct2013-Marzo2014	Registros de volúmenes extraídos en los pozos de retrobombeo (10/2013-03/2014).
10	Semestral_Retrob_Abril_Sept_2014	Registros de volúmenes extraídos en los pozos de retrobombeo (04/2014-09/2014).
11	Semestral_Retrob_Oct_2014_Marzo_2015	Registros de volúmenes extraídos en los pozos de retrobombeo (10/2014-03/2015).
12	Semestral_Retrob_Abril_Sept_2015	Registros de volúmenes extraídos en los pozos de retrobombeo (04/2015-09/2015).
13	Componentes del sistema	Informe del estado físico y de funcionamiento de los drenes del dique de colas, la laguna colectora de drenaje (DCP), pileta de Vis Vis, pozos de retrobombeo y Seepage.
14	ESQUEMA DE RETRO-BOMBEO	Esquema del Sistema de retro-bombeo.

Documentos Sistema de Retrobombeo		Detalle
15	Permanent pumpback system wellfield and booster pump station layout	Esquema del Sistema de retro-bombeo.
16	Permanet pumpback system flowsheet	Diagrama del flujo del Sistema de retro-bombeo de pozos.
17	Tipología	Informe acerca de los nombres correctos y/o equivalencia de los pozos de retrobombeo y aclaración acerca de cómo se realiza la lectura de la variable totalizador (lectura directa realizada en el caudalímetro).
18	Informe parada línea de alta tensión	Monitoreo del funcionamiento del sistema de retro-bombeo durante la interrupción por 12 horas del suministro eléctrico por corte de línea de alta tensión 33 kv proveniente de El Bracho.
19	Diseño y Construcción	Reporte de diseño y construcción del sistema de retro-bombeo (02/1998): funcionamiento, caudales, etc.

Documentos PCA Monitoreo de Calidad de Agua en Vis Vis		Detalle
1	PCA Monit agua VisVis - V01-R00	Programa de control ambiental (PCA) del Sistema de Retrobombeo de pozos (2010-2012). Coordenadas de puntos superficiales de muestreo de aguas.
2	resol SEM N°356-10 - PCA Mon Calidad de Agua en Vis Vis - V01-R00	Resolución de la Secretaría de Estado de Minería: aprobación del Programa de Control Ambiental.
3	Antecedentes de Monit Trimestrales Vis vis desde Feb-2001 a Nov-2009	Registros de monitoreo de aguas (2001-2009): alcalinidad, conductividad, sulfatos, cloruros, etc.
4	Datos Monitoreos Trimestrales en Vis Vis de Feb-Mayo-AgosNov de 2010	Registros de monitoreo de aguas (2010): alcalinidad, conductividad, sulfatos, cloruros, etc.
5	Informe Semestral Vis Vis Mayo-Octubre de 2011	Registros de monitoreo de aguas (2011): alcalinidad, conductividad, sulfatos, cloruros, etc. Informe semestral.
6	Informe Semestral Vis Vis Octubre 2011-Febrero 2012	Registros de monitoreo de aguas (2011-2012): alcalinidad, conductividad, sulfatos, cloruros, etc. Informe semestral.
7	Informe Ampliatorio Vis Vis periodo 2011	Ampliación informe de registros de monitoreo de aguas (2012): respuestas a consultas.
8	PCA Monit Agua Vis Vis - V01-R01	Programa de control ambiental (PCA) del Sistema de Retrobombeo de pozos (2012-

Documentos PCA Monitoreo de Calidad de Agua en Vis Vis		Detalle
		2014).
9	Informe Semestral Vis Vis Feb 2012-Agos 2012	Registros de monitoreo de aguas (2012): alcalinidad, conductividad, sulfatos, cloruros, etc. (falta el "Informe final", están los datos)
10	Informe Semestral Vis Vis Oct2010-Abr2011	Informe semestral de monitoreo de aguas (10/2010-04/2011).
12	PCA Monit Agua en Vis Vis - V01-R02	Programa de control ambiental (PCA) del Sistema de Retrobombeo de pozos (2012-2014).
13	Resol SEM N°882-13-PCA Mon Calidad de Agua en Vis Vis - V01 -R02	Resolución de la Secretaría de Estado de Minería: aprobación del Programa de Control Ambiental.
14	GEOLOGÍA DE DETALLE EN LA QUEBRADA DE VIS VIS	Informe geológico de detalle de la quebrada del río Vis Vis: estratigrafía, hidrogeología, geoquímica de aguas superficiales y subterráneas, perfiles y mapa geológico (1:20.000).
15	Informe Semestral Calidad Agua Vis Vis Nov2012-Abr2013	Registros de monitoreo de aguas (2012-2013): alcalinidad, conductividad, sulfatos, cloruros, etc. Informe semestral.
16	Informe Semestral Calidad Agua Vis Vis Abr2013-Sept2013	Registros de monitoreo de aguas (2013): alcalinidad, conductividad, sulfatos, cloruros, etc. Informe semestral.
17	Informe Semestral Calidad Agua Vis Vis Agos2013-Nov2013	Registros de monitoreo de aguas (2013): alcalinidad, conductividad, sulfatos, cloruros, etc. Informe semestral.
18	Informe Semestral Calidad Agua Vis Vis Dic2013-Mayo2014	Registros de monitoreo de aguas (2013-2014): alcalinidad, conductividad, sulfatos, cloruros, etc. Informe semestral.
19	Informe Semestral Calidad Agua Vis Vis Jun2014-Nov2014	Registros de monitoreo de aguas (2014): alcalinidad, conductividad, sulfatos, cloruros, etc. Informe semestral.
20	PCA Monit Agua en Vis Vis - V01-R03	Programa de control ambiental (PCA) del Sistema de Retrobombeo de pozos (2015-2017).
21	Informe Semestral Calidad Agua Vis Vis Dic2014-Mayo2015	Informe semestral de monitoreo de aguas (09/2015).

Documentos PCA Monitoreo Para determinar Metales Traza en Vis Vis		Detalle
1	PCA Monit Met Traza - V01-R00	Programa de control ambiental (PCA) del Sistema de Retrobombeo de pozos (2010-

Documentos PCA Monitoreo Para determinar Metales Traza en Vis Vis		Detalle
		2012).
2	Res SEM N°353-10 - PCA Monit Met Traza - V01-R00	Resolución de la Secretaría de Estado de Minería: aprobación del Programa de Control Ambiental.
3	Antecedentes Monit Metales Traza desde jun2009 a Dic2010	Registros antecedentes de monitoreo de aguas: dos campañas, 2009 y 2010.
4	Informe Semestral Met Traza Vis Vis - Mayo - Oct2011	Registros de monitoreo de aguas (2011). Informe semestral.
5	Informacion Complementaria Inf Semestrales	Respuestas a comentarios de DiPGAM al informe semestral de monitoreo de aguas del 2011.
6	Informe Semestral Met Traza Vis Vis -Oct2011-Abr2012	Registros de monitoreo de aguas (10/2011-04/2012). Informe semestral.
7	Estudio Iotopico y Geoquimico Qda Vis Vis 2004-2006-2008 y 2010	Informes de los estudios isotópicos de las aguas superficiales y subterráneas en la Quebrada Vis Vis (2004, 2006, 2009 y 2010). Se concluye que el sistema de retrobombeo es eficaz en controlar la pluma mineralizada.
8	Informe Sem Met Traza Vis Vis - Oct2011-Abr2012 - PCA Monit Met Traza - V01-R02	Análisis de los resultados del monitoreo de aguas (semestre Octubre/2011–Abril/2012). Informe semestral.
9	Res SEM N° 1413-13 - PCA Monit Met Traza - V01-R02	Resolución de la Secretaría de Estado de Minería: aprobación del Programa de Control Ambiental.
10	ESTUDIO DE LAS RELACIONES ENTRE LAS MANIFESTACIONES DE AGUAS TERMALES DE MAA CON LA ESTRUCTURA GEOLOGICA	Informe de la relación entre los afloramientos de aguas termales (manantiales) y las estructuras geológicas. Modelo hidrogeológico conceptual. Mapa geológico (escala 1:10.000).
11	Informe Semestral Met Traza Vis Vis -Mayo2012-Oct2012	Registros de monitoreo de aguas (05/2012 - 10/2012). Informe semestral.
12	Informe Semestral Met Traza Vis Vis -Nov2012-Abr2013	Registros de monitoreo de aguas (11/2012 - 04/2013). Informe semestral.
13	Informe Semestral Met Traza Vis Vis -Abr2013-Oct2013	Registros de monitoreo de aguas (04/2013 - 10/2013). Informe semestral.
14	Informe Semestral Met Traza Vis Vis -Oct2013-Marzo2014	Registros de monitoreo de aguas (10/2013 - 03/2014). Informe semestral.
15	Estudio Iotopico y Geoquimico Qda Vis Vis 2012	Protocolo de muestreo para el estudio isotópico de las aguas superficiales y subterráneas en la Quebrada Vis Vis (2012).
16	Datos Perforacion MW38 Qda de Buenaventura	Perfil del sondeo de monitoreo MW38. Protocolo de cierre de actividad en perforación MW38 (informe que muestra las condiciones del sitio luego de terminada la perforación e instalación del piezómetro correspondiente).

Documentos PCA Monitoreo Para determinar Metales Traza en Vis Vis		Detalle
17	Informe Semestral Met Traza Vis Vis -Abr2014-Sep2014	Registros de monitoreo de aguas (04/2014 - 09/2014). Informe semestral.
18	Informe Semestral Met Traza Vis Vis -Oct2014-Marzo2015	Registros de monitoreo de aguas (10/2014 - 03/2015). Informe semestral.
19	Informe Semestral Met Traza Vis Vis -Abr2015-Sep2015	Registros de monitoreo de aguas (04/2015 - 09/2015). Informe semestral.

Otros documentos	Detalle
Minera Alumbreira – Estudio de Erosión Hídrica en la Cuenca del Río Vis Vis en Relación a la Capacidad de Almacenamiento del Dique de Colas, Agosto 2014, Golder Associates S.A	Análisis enfocado en evaluar la capacidad de transporte y producción de sedimentos de las cuencas tributarias al Dique de Colas, que proporcionan flujo y sedimentos a la cubeta del dique.
Determinación de Precipitaciones y Caudales de diseño - Estudio Hidrológico de Crecidas- Proyecto de Cierre Botaderos y Dique de Colas – Alumbreira, Octubre 2012, Golder Associates S.A	Estudio hidrológico para la estimación de caudales máximos de crecidas para el diseño de obras hidráulicas como parte del plan de cierre, referido a la cuenca de aporte sobre el área del Dique de Colas, para diferentes períodos de retorno: análisis de los registros de precipitaciones de la cuenca, determinación de tormenta de diseño, análisis de frecuencias, determinación de caudales de crecidas y verificación de resultados asociados a la respuesta hidrológica de la cuenca (hidrogramas y volúmenes de escorrentía).
Cédula de Notificación 154-16 DiPGAM	Solicitud de información y aclaraciones de la DiPGAM a Minera Alumbreira.
Rpta CN 154-16	Respuesta a la solicitud de información y aclaraciones de DiPGAM, incluidas en la Cédula de Notificación 154-16.
Informe de impacto ambiental. Proyecto Bajo La Alumbreira. Ampliación de actividades. Sitio de extracción y Obras Anexas en Bajo El Durazno - Fase 1	Se describe el medio físico en donde se implanta Bajo El Durazno (flora, fauna, geología, hidrología, etc.), el proyecto, los impactos durante las etapas de construcción y operación, el plan de manejo ambiental (medidas y acciones de prevención y mitigación del impacto ambiental, y rehabilitación, restauración o recomposición del medio alterado, según correspondiere) y el plan de acción frente a contingencias ambientales.
Informe de construcción Etapa 18 (Knight-Piesold), Diciembre 2016.	Informe de construcción Etapa 18 del dique de relaves: información de material utilizado, programa de movimiento de tierra, sección transversal de la presa y programas de instrumentación geotécnica (ubicación piezómetros en sección y

Otros documentos	Detalle
	planta) al de la presa y programas de instrumentación geotécnica (ubicación piezómetros en sección y planta).
Revisión del modelo geotécnico - Mina La Alumbraera, Febrero 2011, E-Mining Technology S.A.	Revisión geotécnica del Pit con el propósito de reconocer la factibilidad de cumplimiento de las fases previstas y visualizar oportunidades de mejora. Revisión y análisis integral de la información y modelos geotécnicos disponibles, reconociendo las actuales y potenciales problemáticas.
Plan de Cierre de Mina - Resolución SEM 396-2016, Noviembre 2016, Minera Alumbraera YMAD-UTE	Descripción de los criterios, medidas, acciones y programas de monitoreo que deben contemplarse en la etapa de cierre y post-cierre sobre las instalaciones principales (Dique de Colas, Botaderos de Estéril y Open Pit), instalaciones complementarias (planta de proceso, instalaciones de suministro, infraestructura de servicio y obras lineales) e instalaciones auxiliares (almacenamiento de residuos peligrosos, almacenamiento de residuos industriales y vertedero controlado) de Minera Alumbraera.

b) Antecedentes de otras fuentes (recopilados por IATASA)

Documento	Detalle
Decreto Supremo Nº 248 - Reglamento para la aprobación de proyectos de diseño, construcción, operación y cierre de los depósitos de relaves (Ministerio de Minería de la República de Chile) – 2007	Descripción de los aspectos necesarios que deben contemplarse para diseñar, construir, operar y cerrar (temporalmente o permanentemente) depósitos de relaves, según el Ministerio de Minería de la República de Chile.
Sánchez, L. E., 1995. Drenaje de minas a cielo abierto. Aspectos Geológicos de Protección Ambiental, Volumen I, UNESCO	Descripción de la problemática del drenaje de minas y el diseño de un sistema de drenaje para recolectar, transportar y depositar finalmente las aguas de escurrimiento superficial de modo que la integridad de los terrenos y las características de los cuerpos de agua receptores sean preservadas.

Documento	Detalle
<p>Guía Ambiental Para el Cierre y Abandono de Minas. Ministerio de Energía y Minas de Perú</p>	<p>Visión general de objetivos, criterios y tecnologías disponibles para el cierre de minas y su propósito, y brinda pautas para planificar el establecimiento de criterios para el cierre de minas específicos para cada yacimiento minero en vista de los problemas ambientales variables y complejos relacionados con la minería en las diversas regiones geográficas. El diseño de cierre de minas es una actividad específica para cada yacimiento y debe tomar en consideración el clima, la hidrogeología, la sensibilidad del medio ambiente y el uso final que se le dará a la tierra una vez concluidas las actividades mineras.</p>
<p>Guía metodológica para el cierre de faenas mineras. Acuerdo marco de producción limpia sector gran minería, buenas práctica y gestión ambiental. Ministerio de Minería de la República de Chile, 2002</p>	<p>Tiene como propósito orientar a los operadores mineros y/o titulares de proyectos mineros en la elaboración de “Planes de Cierre de Faenas Mineras”. Estos planes son una herramienta que permite identificar y cuantificar los impactos ambientales negativos generados en la etapa de cierre de una mina, así como definir medidas de acción presentes y futuras para prevenirlos, minimizarlos y/o mitigarlos y desarrollar un cronograma de ejecución de las medidas proyectadas, de forma de dar cumplimiento al marco jurídico ambiental que aplique para la etapa de cierre del sitio.</p>
<p>Guía para la elaboración y revisión de planes de cierres de minas. Proyecto de asistencia al sector público minero metalúrgico del Perú Per-Can, Convenio de Perú – British Columbia Canadá y la Agencia Canadiense de Desarrollo Internacional (CIDA), Ministerio de Energía y Minas (Perú) y Ministerio de Energía y Minas de Columbia Británica (Canadá), 2002</p>	<p>Tiene como finalidad orientar a la industria minera y a las autoridades ambientales de aplicación de Perú en la implementación de un enfoque estandarizado para la elaboración y revisión de los planes de cierre de minas en las diferentes etapas del desarrollo minero (preparación de un plan inicial, desarrollo de los planes finales cuando la vida útil de la mina se acerca a su fin, hasta la etapa post-cierre con la preparación de informes de mantenimiento y monitoreo).</p>
<p>Muñoz, J. O., 2008. Planes de Cierre Mineros – Curso Resumido. Temas Ambientales</p>	<p>Se destacan los aspectos principales a tener en cuenta al desarrollar planes de cierre de minas. Entre estos aspectos se encuentran el drenaje y tratamiento de lixiviados ácidos, estabilización de labores mineras, aspectos hidrológicos superficiales e hidrogeológicos, manejo de suelos contaminados, manejo de depósitos de relaves, aspectos socio-económicos y aspectos legales.</p>

Documento	Detalle
Valenzuela, L., 2015. Tailings Dams and Hydraulic Fills. The 2015 Casagrande Lecture. Geotechnical Synergy in Buenos Aires 2015.	Descripción de presas de relleno hidráulico y ejemplos de su uso alrededor del mundo. Además, se describen presas de relaves, se citan ejemplos y se discuten problemas comunes a estas. Se considera el comportamiento geotécnico de suelos granulares bajo presiones confinantes altas, el cual es importante comprender debido a las alturas elevadas que pueden alcanzar las presas. Además, se describen consideraciones a tener en cuenta en el análisis de la estabilidad y deformación de presas de relaves.
Planning for Closure 2016 – First International Congress on Planning for Closure of Mining Operations	Trabajos presentados en el congreso de planeamiento de cierre de minas, celebrado en Santiago de Chile, en Noviembre de 2016.
Curso Knight Piesóld de presas de relaves. Asistencia en Catamarca por parte de IATASA del Ing. Luis Sortheix, 2004	Se describen y caracterizan los tipos de residuos que se generan en los procesos mineros y los aspectos y criterios que deben contemplarse para el diseño de las instalaciones destinadas a su almacenamiento (presa de relaves, botaderos de estéril).
Review of tailings management guidelines and recommendations for improvement. International Council on Mining and Metals (ICMM). Diciembre 2016.	Revisión de guías de manejo de colas, recomendaciones y conclusiones. Se mencionan los últimos accidentes mundiales de ruptura de diques de colas.

Anexo 2
Páginas curso Knight-Pièsold (2004)

WASTE DUMP DESIGN

(Traducción realizada por I.A.T.A.S.A.)

DISEÑO DE BOTADERO DE RESIDUOS

Texto original de Knight Piésold Consulting, traducción al idioma español por parte de I.A.T.A.S.A.; cualquier discrepancia entre éstos prevalecerá el primero.

Knight Piésold
CONSULTING

Factors Affecting Dump Stability

(Traducción realizada por I.A.T.A.S.A.)

FACTORES QUE AFECTAN LA ESTABILIDAD DEL BOTADERO

Texto original de Knight Piésold Consulting, traducción al idioma español por parte de I.A.T.A.S.A.; cualquier discrepancia entre éstos prevalecerá el primero.

Knight Piésold
CONSULTING

Factors Affecting Dump Stability

- **Dump Configuration**

- **Height**

- Dump heights can range from 20m - 400m

- **Volume**

- Small dumps < 1 million m³
- Medium dumps > 1 million m³ and < 50 million m³
- Large Dumps > 50 million m³

(Traducción realizada por I.A.T.A.S.A.)

FACTORES QUE AFECTAN LA ESTABILIDAD DEL BOTADERO

- **Configuración del Botadero**

- **Altura**

- *Las alturas de los botaderos pueden variar de 20m – 400m*

- **Volumen**

- *Botaderos pequeños < 1 millón de m³*
- *Botaderos medianos > 1 millón de m³ y < 50 millones de m³*
- *Botaderos grandes > 50 millones de m³*

Texto original de Knight Piésold Consulting, traducción al idioma español por parte de I.A.T.A.S.A.; cualquier discrepancia entre éstos prevalecerá el primero.

Knight Piésold
CONSULTING

Factors Affecting Dump Stability

- **Dump Configuration**

- **Slope Angle**

- Slope Angle of repose, on average 37°.
 - Reclaimed slope if revegetation is planned 26°.
 - Slopes steeper than 37° can occur if dump has significant fines or very large angular boulders.
 - Steep slope angles with very fine materials or material that degrades or slakes will reduce with time

(Traducción realizada por I.A.T.A.S.A.)

FACTORES QUE AFECTAN LA ESTABILIDAD DEL BOTADERO

- **Configuración del Botadero**

- **Ángulo de talud**

- *Ángulo de talud de reposo, 37° en promedio.*
 - *Talud requerido si se planea revegetación 26°.*
 - *Talud más empinado que 37° se puede producir si el botadero tiene finos significativos o bloques angulares muy grandes.*
 - *Ángulos de talud pronunciados con materiales muy finos o material que se degrada se reducirán con el tiempo.*

Texto original de Knight Piésold Consulting, traducción al idioma español por parte de I.A.T.A.S.A.; cualquier discrepancia entre éstos prevalecerá el primero.

Knight Piésold
CONSULTING

Factors Affecting Dump Stability

- **Foundation Conditions**

- **Competent.** Rock or soil foundation which is at least as strong as the waste rock and insensitive to pore pressure generation and strength reduction on loading.

(Traducción realizada por I.A.T.A.S.A.)

FACTORES QUE AFECTAN LA ESTABILIDAD DEL BOTADERO

- **Condiciones de fundación**

- **Competente.** *Roca o suelo de fundación que es al menos tan fuerte como la roca residual e insensible a la generación de presión de poro y a la reducción de la resistencia en carga.*

Texto original de Knight Piésold Consulting, traducción al idioma español por parte de I.A.T.A.S.A.; cualquier discrepancia entre éstos prevalecerá el primero.

Knight Piésold
CONSULTING

Factors Affecting Dump Stability

- **Foundation Conditions**
 - **Intermediate.** Foundation Material which will consolidate and gain strength with time. May be subject to strength loss if loaded and sheared too rapidly

(Traducción realizada por I.A.T.A.S.A.)

FACTORES QUE AFECTAN LA ESTABILIDAD DEL BOTADERO

- **Condiciones de fundación**
 - **Intermedia.** Material de fundación que se consolidará y ganará resistencia con el tiempo. Puede estar sujeto a pérdida de resistencia si es cargado y cizallado demasiado rápidamente.

Texto original de Knight Piésold Consulting, traducción al idioma español por parte de I.A.T.A.S.A.; cualquier discrepancia entre éstos prevalecerá el primero.

Knight Piésold
CONSULTING

Factors Affecting Dump Stability

- **Foundation Conditions**

- **Weak.** Foundation material which cannot be loaded beyond a limiting shear stress, and does not gain strength at a significant rate by consolidation.
- Includes clay layers within a foundation
- Includes soil layers subject to potential liquefaction

(Traducción realizada por I.A.T.A.S.A.)

FACTORES QUE AFECTAN LA ESTABILIDAD DEL BOTADERO

- **Condiciones de fundación**

- ***Débil.** Material de fundación que no puede ser cargado más allá de una tensión de corte limitante y no gana resistencia por consolidación a una velocidad significativa.*
- *Incluye capas de arcilla dentro de una fundación.*
- *Incluye capas de suelo sujeto a potencial licuefacción.*

Texto original de Knight Piésold Consulting, traducción al idioma español por parte de I.A.T.A.S.A.; cualquier discrepancia entre éstos prevalecerá el primero.

Knight Piésold
CONSULTING

Factors Affecting Dump Stability

- **Waste Rock Material Properties**

- See previous slide on rock strength
- Most favorable material is hard durable coarse rock little to no fines. Typically associated with metal mines.
- Least favorable material is overburden, soft, degradable rock with significant fines such as mudstone or shale. Typically associated with coal mining

(Traducción realizada por I.A.T.A.S.A.)

FACTORES QUE AFECTAN LA ESTABILIDAD DEL BOTADERO

- ***Propiedades del material de la roca residual***

- *Ver diapositiva anterior sobre la resistencia de la roca.*
- *El material más favorable es la roca dura, durable y gruesa, con poco a ningún fino. Típicamente asociado con minas de metal.*
- *El material menos favorable es roca de tapada, blanda, degradable con significativos finos, como arcillas o lutitas. Típicamente asociado con la minería del carbón.*

Texto original de Knight Piésold Consulting, traducción al idioma español por parte de I.A.T.A.S.A.; cualquier discrepancia entre éstos prevalecerá el primero.

Knight Piésold
CONSULTING

Factors Affecting Dump Stability

- **Method of Construction**

- Dumps usually constructed in lifts either ascending up slope or descending down slope.
- Upslope construction more stable as toe of each lift supported on previous lift.
- Construction method chosen based on haulage distance and accessibility.
- Stability can be enhanced by use of, terracing, restriction of lift height, dumping in direction of valley contours instead of down slope.

(Traducción realizada por I.A.T.A.S.A.)

FACTORES QUE AFECTAN LA ESTABILIDAD DEL BOTADERO

- **Método de construcción**

- *Botaderos usualmente contruidos en elevaciones, ya sea, ascendiendo o descendiendo el talud.*
- *La construcción ascendiendo el talud es más estable, cada elevación apoyada sobre la elevación anterior.*
- *Método de construcción elegido en función de la distancia de transporte y la accesibilidad.*
- *La estabilidad se puede mejorar mediante el uso de envolturas alrededor, terrazas, restricción de altura de elevación, vertido en dirección de las curvas de nivel del valle en lugar de en talud descendente.*

Texto original de Knight Piésold Consulting, traducción al idioma español por parte de I.A.T.A.S.A.; cualquier discrepancia entre éstos prevalecerá el primero.

Knight Piésold
CONSULTING

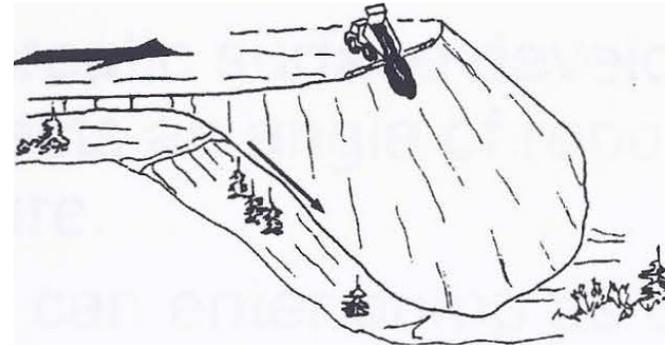
I) Initiate dumping in area of flattest slope

Vertido inicial en las áreas de pendientes más suaves



II) Advance dump in a direction perpendicular to contours.

Avance de vertido en dirección perpendicular a las curvas de nivel



III) Extend dump parallel to the contours

Vertido extendido paralelo a las curvas de nivel

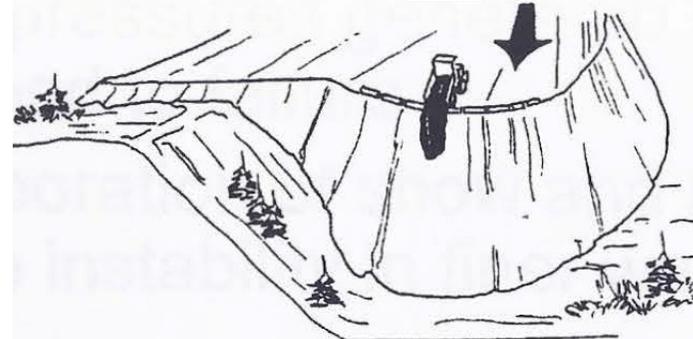


FIG. 7.2 RECOMMENDED SEQUENCE FOR ADVANCEMENT OF DUMPS OVER STEEP TERRAIN

FIG. 7.2 SECUENCIA RECOMENDADA DE AVANCE DE BOTADEROS SOBRE TERRENO EMPINADO

Texto original de Knight Piésold Consulting, traducción al idioma español por parte de I.A.T.A.S.A.; cualquier discrepancia entre éstos prevalecerá el primero.

Factors Affecting Dump Stability

- **Piezometric and Climatic Conditions**

- If a phreatic surface develops in a dump and if it intersects an angle of repose slope, this can result in failure.
- Water can enter dump as direct infiltration, flowing streams or groundwater seepage.
- Pore pressures generated in the foundation soils can lead to failure.
- Incorporation of snow and ice in the dump can cause instability in finer waste dumps.

(Traducción realizada por I.A.T.A.S.A.)

FACTORES QUE AFECTAN LA ESTABILIDAD DEL BOTADERO

- **Condiciones piezométricas y climáticas**

- *Si se desarrolla una superficie freática en un botadero y si intercepta un ángulo de talud de reposo, esto puede resultar en falla.*
- *El agua puede entrar en el botadero como infiltración directa, corrientes fluidas o filtraciones de agua subterránea.*
- *Presiones de poro generadas en los suelos de fundación pueden conducir a la falla.*
- *Incorporación de nieve y hielo en el botadero puede causar inestabilidad en botaderos de residuos más finos.*

Texto original de Knight Piésold Consulting, traducción al idioma español por parte de I.A.T.A.S.A.; cualquier discrepancia entre éstos prevalecerá el primero.

Knight Piésold
CONSULTING

Factors Affecting Dump Stability

- **Dumping Rate**

- High rates of dumping may result in generation of excess pore pressures in foundation materials.
- Slower rates of dumping allows for dissipation of pore pressures.
- Slower rates of dumping allows foundation to consolidate and gain strength.

(Traducción realizada por I.A.T.A.S.A.)

FACTORES QUE AFECTAN LA ESTABILIDAD DEL BOTADERO

- ***Velocidad de vertido***

- *Altas velocidades de vertido pueden resultar en generación de exceso de presiones de poros en los materiales de fundación.*
- *Velocidades de vertido más lentas permiten la disipación de la presión de poros.*
- *Velocidades de vertido más lentas permiten que la fundación se consolide y gane resistencia*

Texto original de Knight Piésold Consulting, traducción al idioma español por parte de I.A.T.A.S.A.; cualquier discrepancia entre éstos prevalecerá el primero.

Knight Piésold
CONSULTING

Factors Affecting Dump Stability

- **Seismicity and Dynamic loading**
 - Most significant impact is potential liquefaction of foundation soils.
 - Some saturated fine grained waste materials can also liquefy.

(Traducción realizada por I.A.T.A.S.A.)

FACTORES QUE AFECTAN LA ESTABILIDAD DEL BOTADERO

- ***Sismicidad y carga dinámica***
 - *El impacto más significativo es la potencial licuefacción de los suelos de la fundación.*
 - *Algunos residuos de grano fino también pueden licuarse.*

Texto original de Knight Piésold Consulting, traducción al idioma español por parte de I.A.T.A.S.A.; cualquier discrepancia entre éstos prevalecerá el primero.

Knight Piésold
CONSULTING

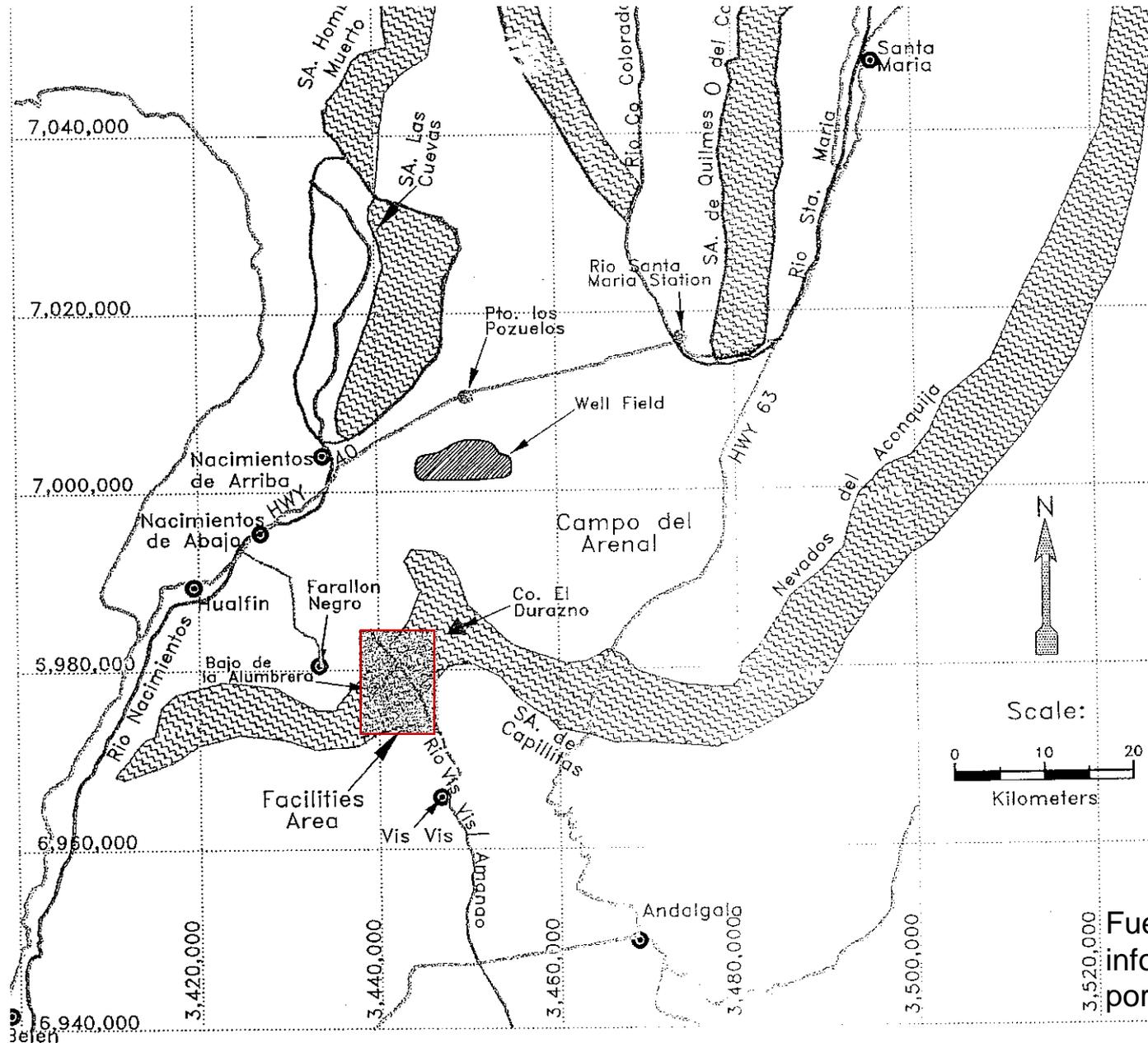
Anexo 3

Transferencia de conocimientos (Abril 2017)

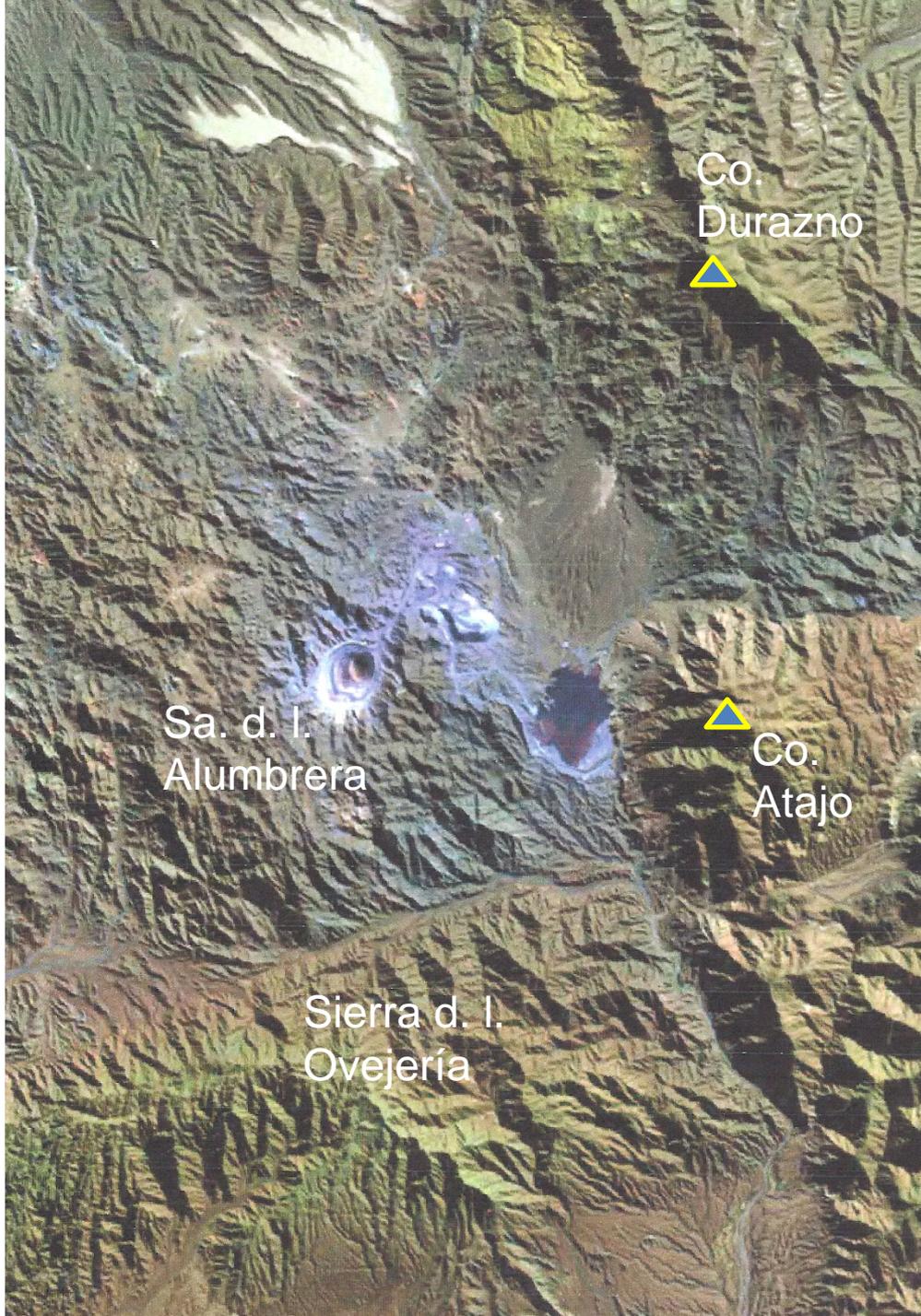
ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN DISPONIBLE SOBRE EL ESCURRIMIENTO SUBTERRÁNEO

CONSIDERACIONES SOBRE FACTORES
TOPOGRÁFICOS Y GEOLÓGICOS
RELACIONADOS CON LA
HIDROGEOLOGÍA VINCULADA CON
LA PRESA DE RELAVES

UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LA PERTENENCIA



Fuente: IATASA con información provista por DiPGAM



LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA LOCAL

ETAPA INICIAL DE ACTIVIDAD
Y PRINCIPALES ELEMENTOS
OROGRÁFICOS DEL ENTORNO

CARACTERÍSTICAS TOPOGRÁFICAS DEL ENTORNO VECINO

LA PRESA Y CUENCO RECEPTOR DE LOS RELAVES SE LOCALIZA EN UNA DEPRESIÓN NATURAL



T.T.

Q. Escalera

Sa. d. l.
Alumbreira

R. Seco

V.
V.

Fuente: IATASA

Image © 2014 CNES / Astrium

© 2014 Geo / Spot Image

RELIEVE DEL MACIZO ROCOSO ENTORNO A LA PRESA DE RELAVES

N

S

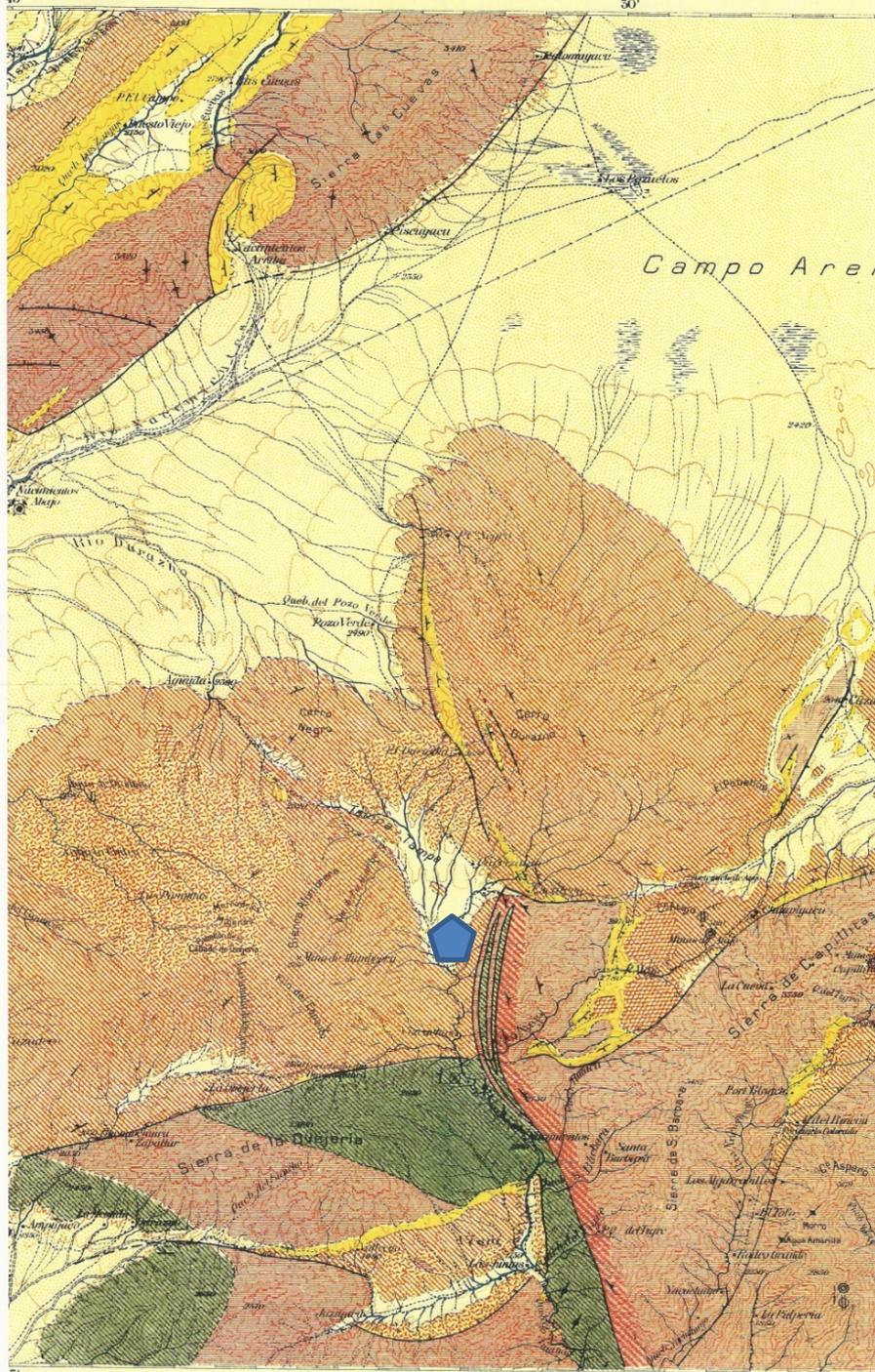


RELIEVE DEL MACIZO ROCOSO ENTORNO A LA PRESA DE RELAVES



CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS DEL EMPLAZAMIENTO

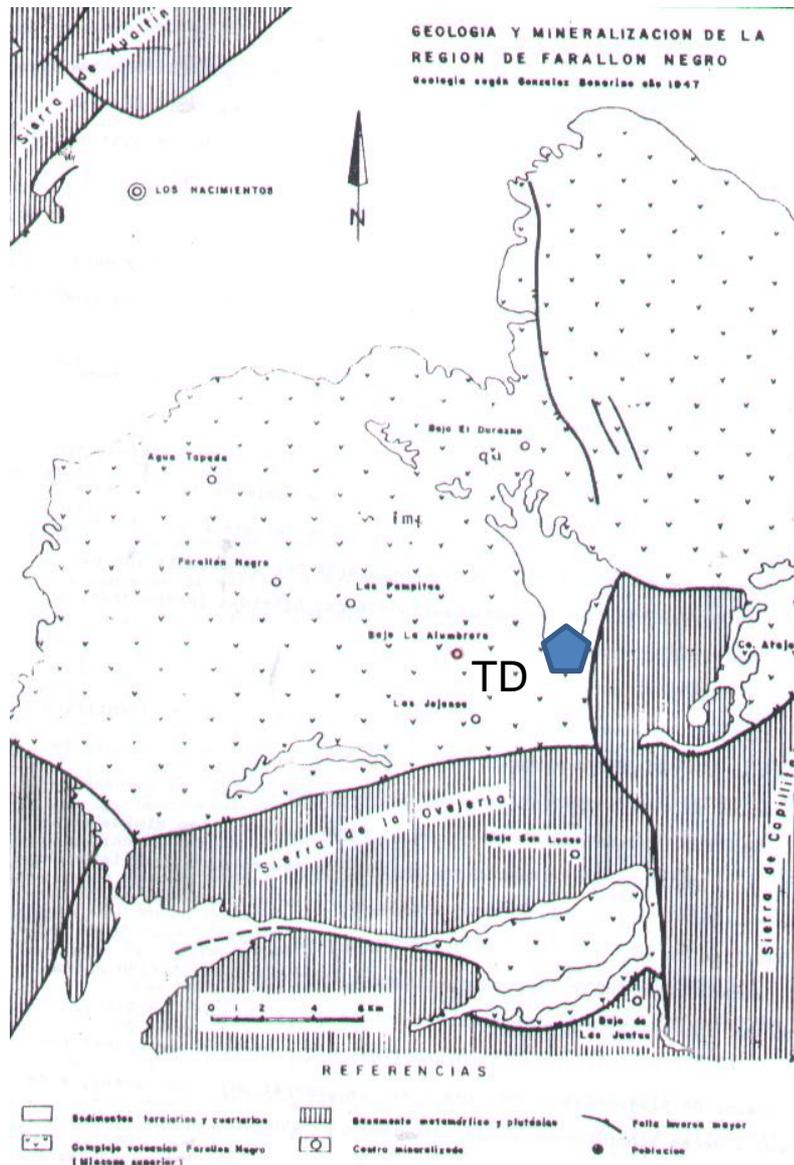
- Ubicación de la Presa de Relaves en relación con las unidades geológicas regionales



UBICACIÓN DE LA PRESA DE RELAVES EN EL MARCO MORFOESTRUCTURAL

Fuente: González Bonorino, F. 1950. Descripción geológica de las Hojas 12d (Capillitas) y 13d (Andalgalá). Dirección General de Industria Minera. Boletín 70, 100 p., Buenos Aires.

VISTA REGIONAL, FALLA ATAJO, FALLA BUENAVENTURA Y PRESA DE RELAVES



Fuente: González, O.E. 1975. Geología y alteración en el cobre porfídico "Bajo la Alumbra", República Argentina. 2º Congreso Ibero-Americano de Geología Económica, Actas 247- 270, Buenos Aires.

CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS DE LAS PRINCIPALES UNIDADES DEL SECTOR

MACIZO ROCOSO ANDESÍTICO ENTORNO A LA PRESA DE RELAVES



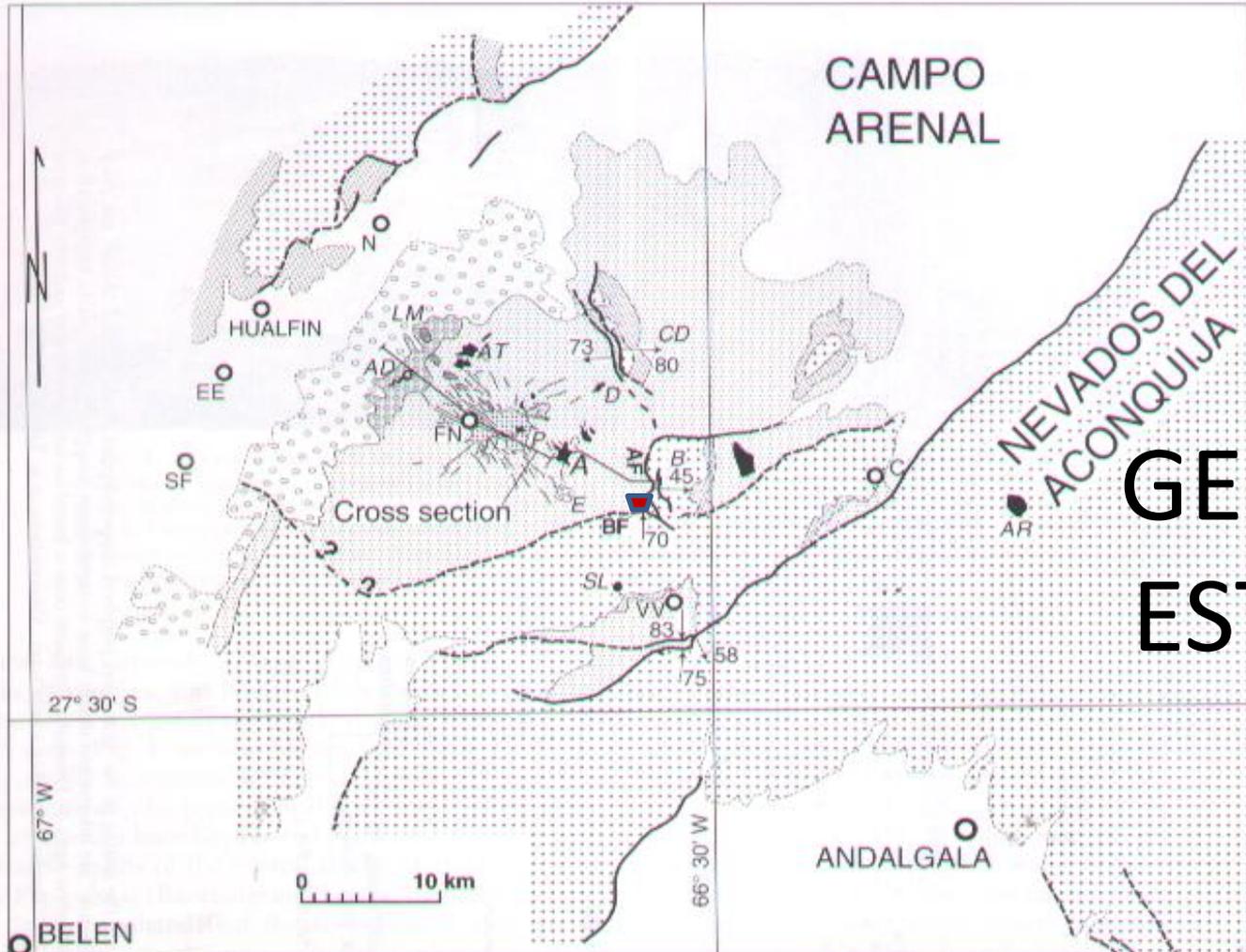
MACIZO ROCOSO (BASAMENTO) ENTORNO A LA PRESA DE RELAVES

ENE

OSO



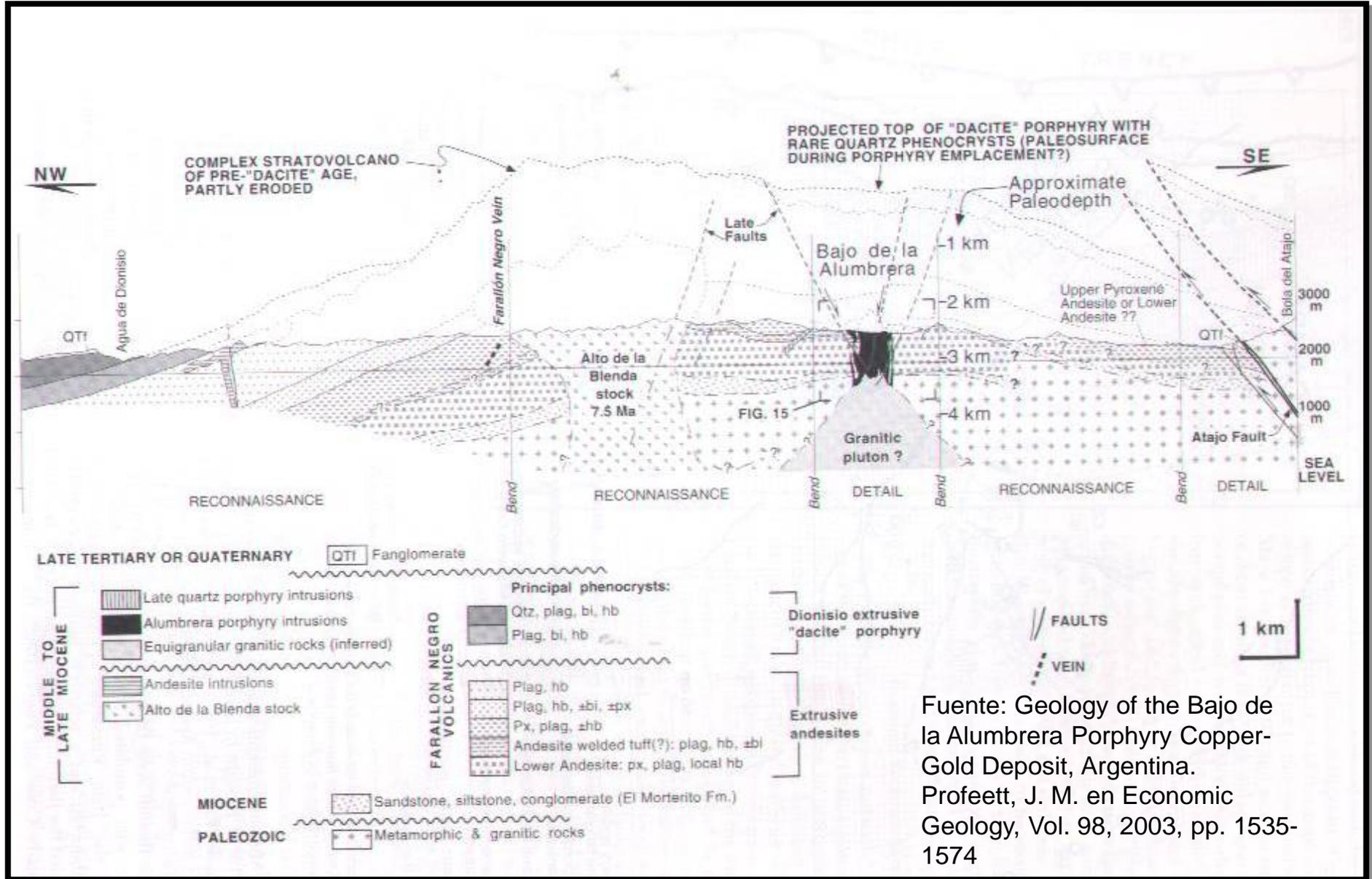
MARCO GEOLÓGICO Y ESTRUCTURA



- | | | | | | |
|--|---|--|--|--|---|
| | Late Tertiary and/or Pleistocene fanglomerate | | Miocene andesite dikes | | Town or Pueblo (C = Capillitas; EE = El Eje; FN = Farallón Negro; N = Nacimientos; SF = San Fernando; VV = Vis Vis) |
| | Coarsely porphyritic dacitic to rhyolitic intrusions | | Miocene andesites | | Spring |
| | Late Miocene felsic porphyry intrusions | | Miocene sedimentary rocks (El Morterito Fm.) | Prospects, mines and other localities: | |
| | Late Miocene felsic porphyry intrusive breccia | | Paleozoic metamorphic and granitic rocks | A = Alumbrera; AD = Agua de Dionisio; | AR = Agua Rica; AT = Agua Tapada; B = Bola del Atajo; CD = Cerro Durazno; |
| | Late Miocene "dacitic" porphyry volcanics of Agua de Dionisio | | Veins | D = El Durazno; E = Espanto; LM = Loma Morada; P = Las Pampitas; SL = Bajo de San Lucas. | |
| | Alto de la Blende stock (Miocene) | | Faults (AF = Atajo Fault; BF = Buenaventura Fault) | | |

Fuente: Geology of the Bajo de la Alumbrera Porphyry Copper-Gold Deposit, Argentina. Profett, J. M. en Economic Geology, Vol. 98, 2003, pp. 1535-1574

CORTE GEOLÓGICO DEL COMPLEJO VOLCÁNICO FARALLÓN NEGRO-BAJO DE LA ALUMBRERA

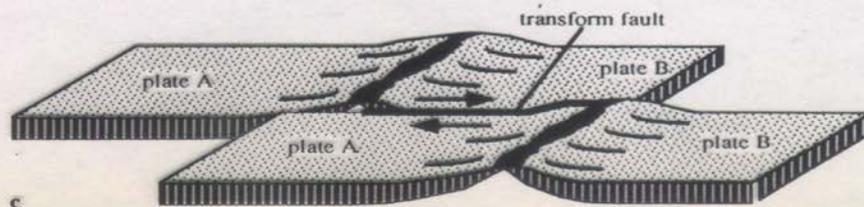
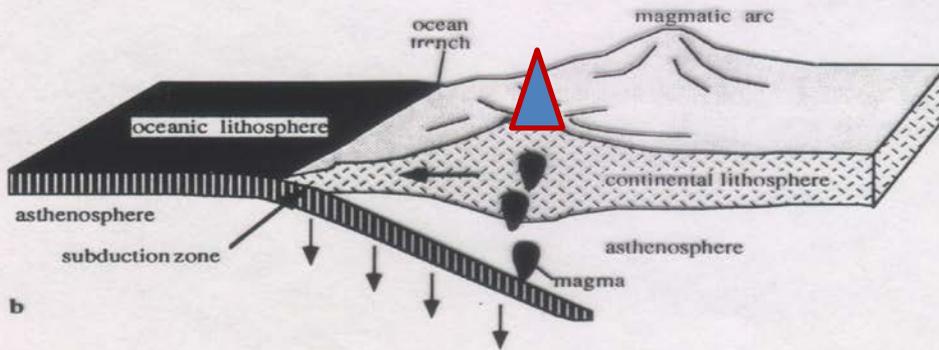
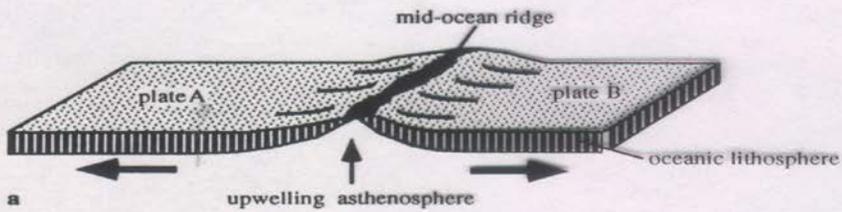
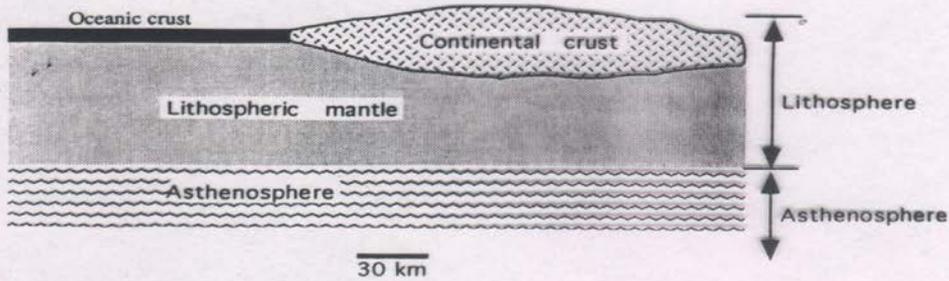


Fuente: Geology of the Bajo de la Alumbreira Porphyry Copper-Gold Deposit, Argentina. Profeett, J. M. en Economic Geology, Vol. 98, 2003, pp. 1535-1574

MARCO GEOTECTÓNICO DEL EMPLAZAMIENTO

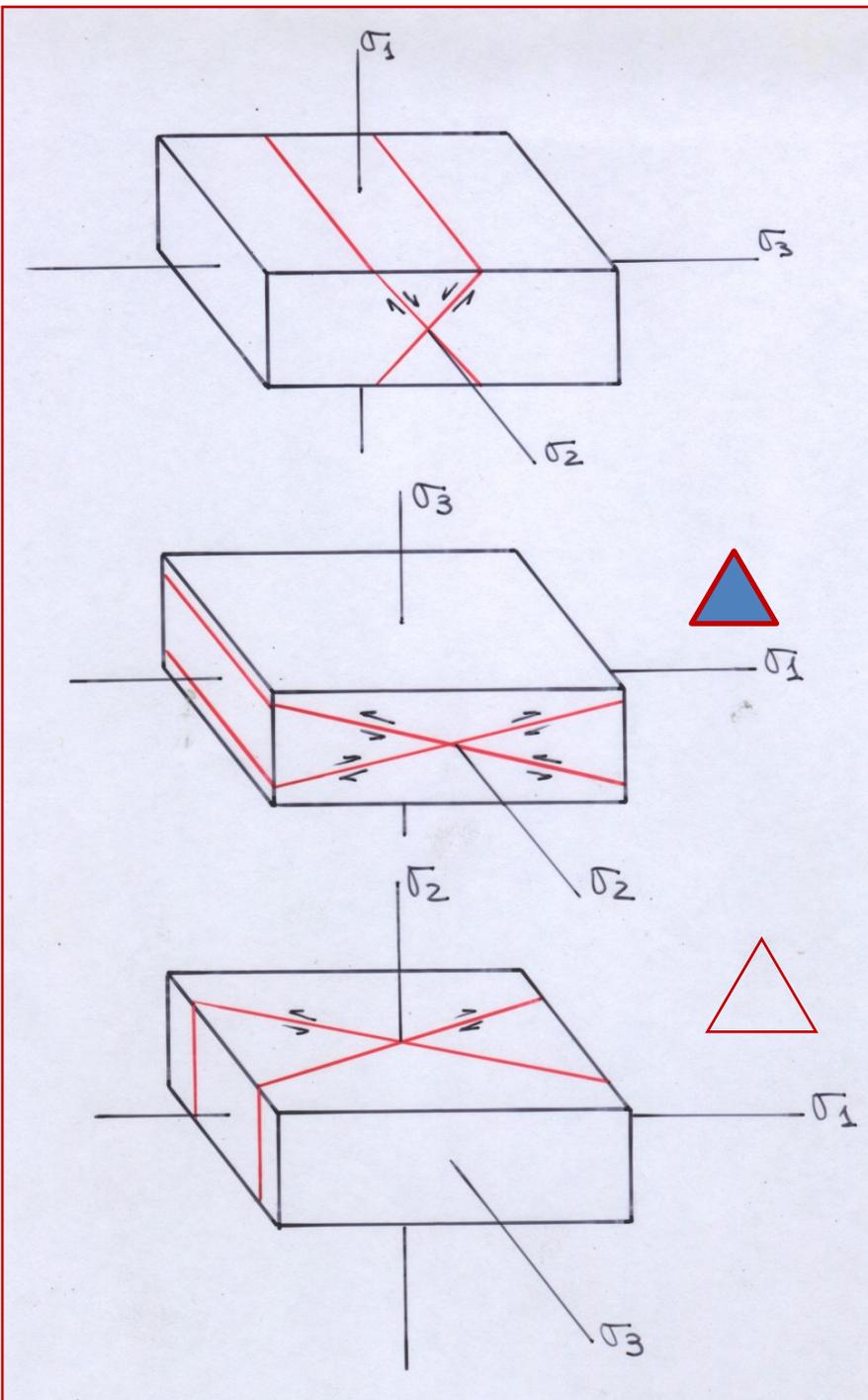
LITÓSFERA Y CORTEZA

TERRESTRE



TECTÓNICA EN LÍMITES DE

PLACAS LITOSFÉRICAS

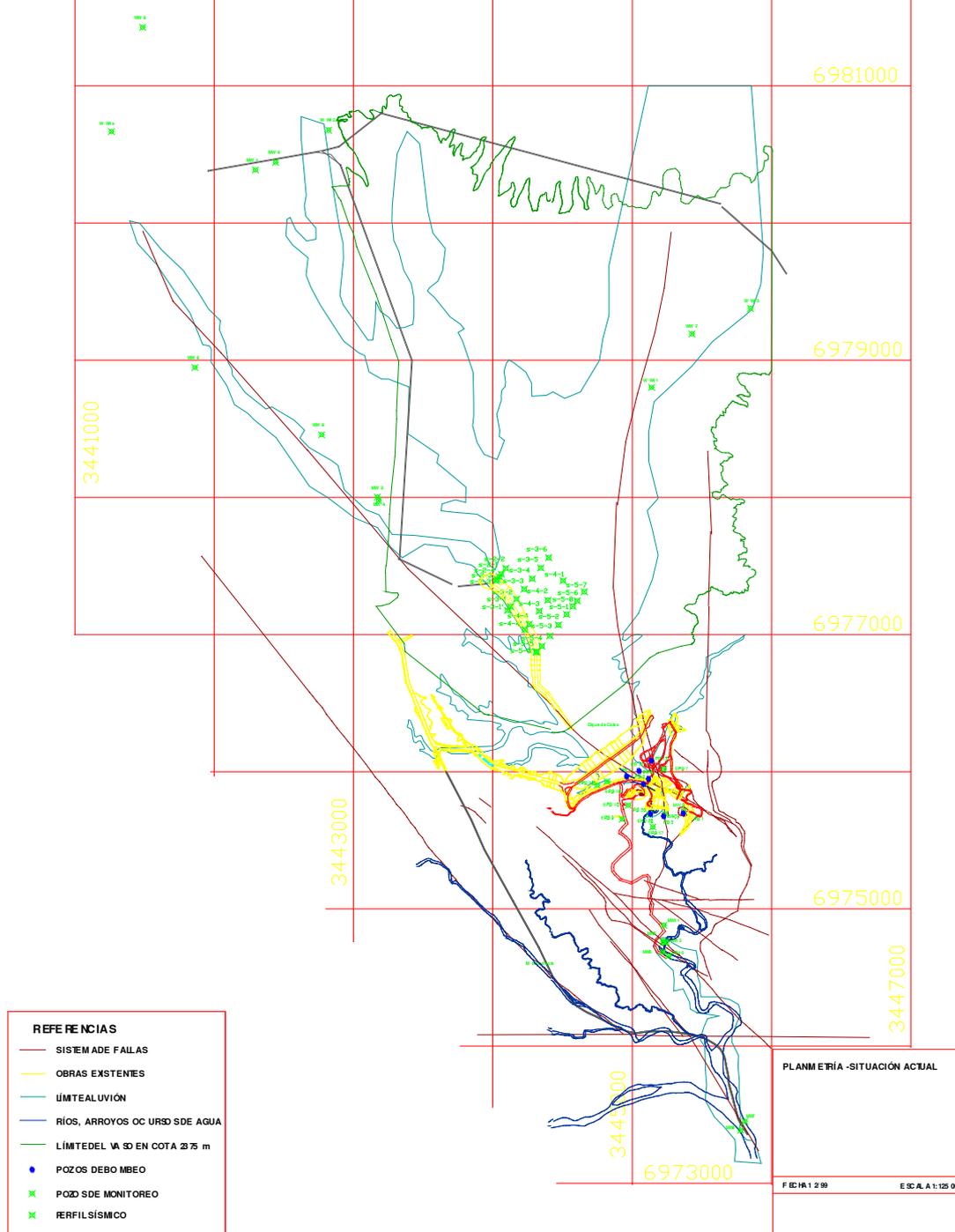


DINÁMICA DE LOS ESFUERZOS CORTICALES EN LA REGIÓN Y FALLAMIENTO PREDOMINANTE

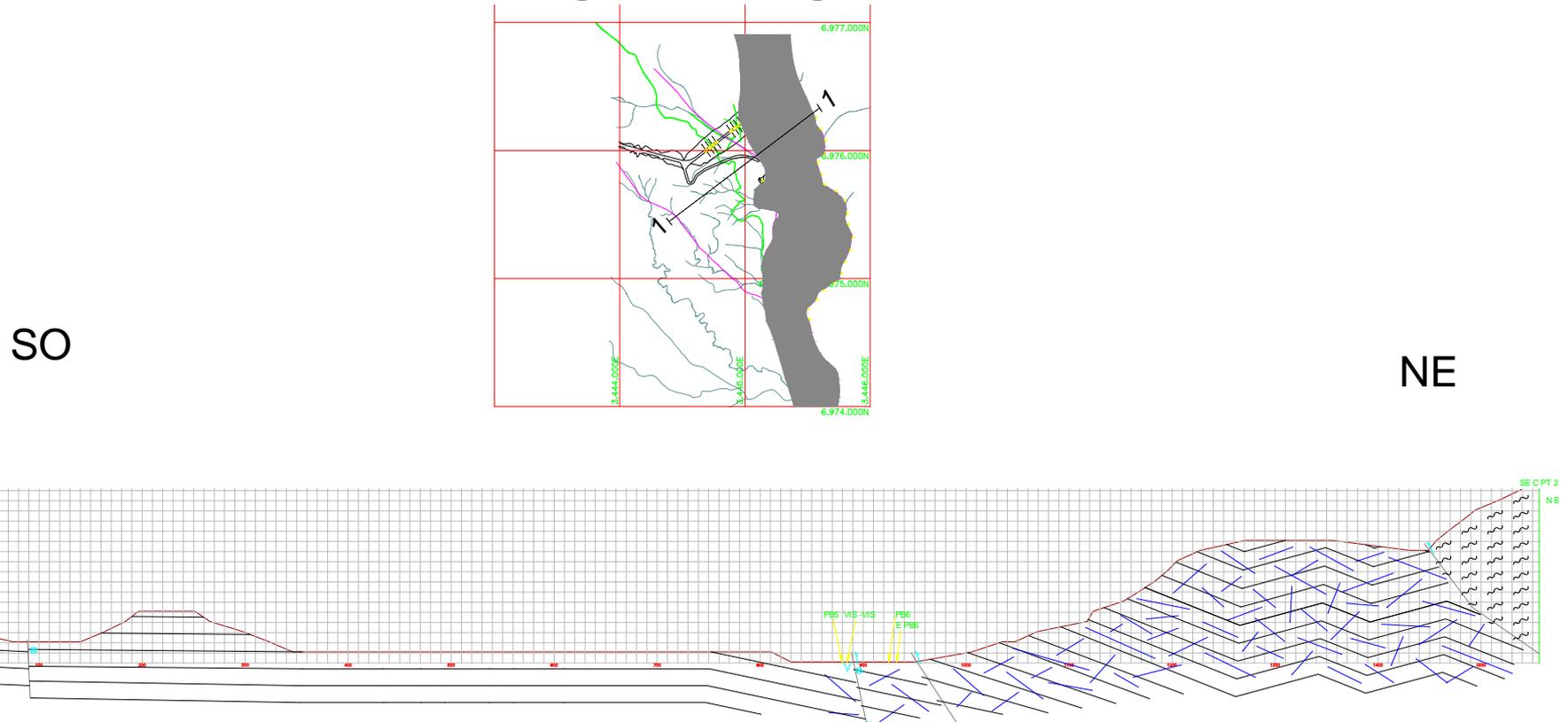
**CONTROLES DEL ESCURRIMIENTO Y
LÍMITES EN LOS MODELOS
HIDROGEOLÓGICOS
DESARROLLADOS PREVIAMENTE**

Bosquejo estructural.

Fuente: Estudio y Evaluación mediante Modelo Matemático del Ecurrimiento Subterráneo y del Control de la contaminación - IATASA 1999

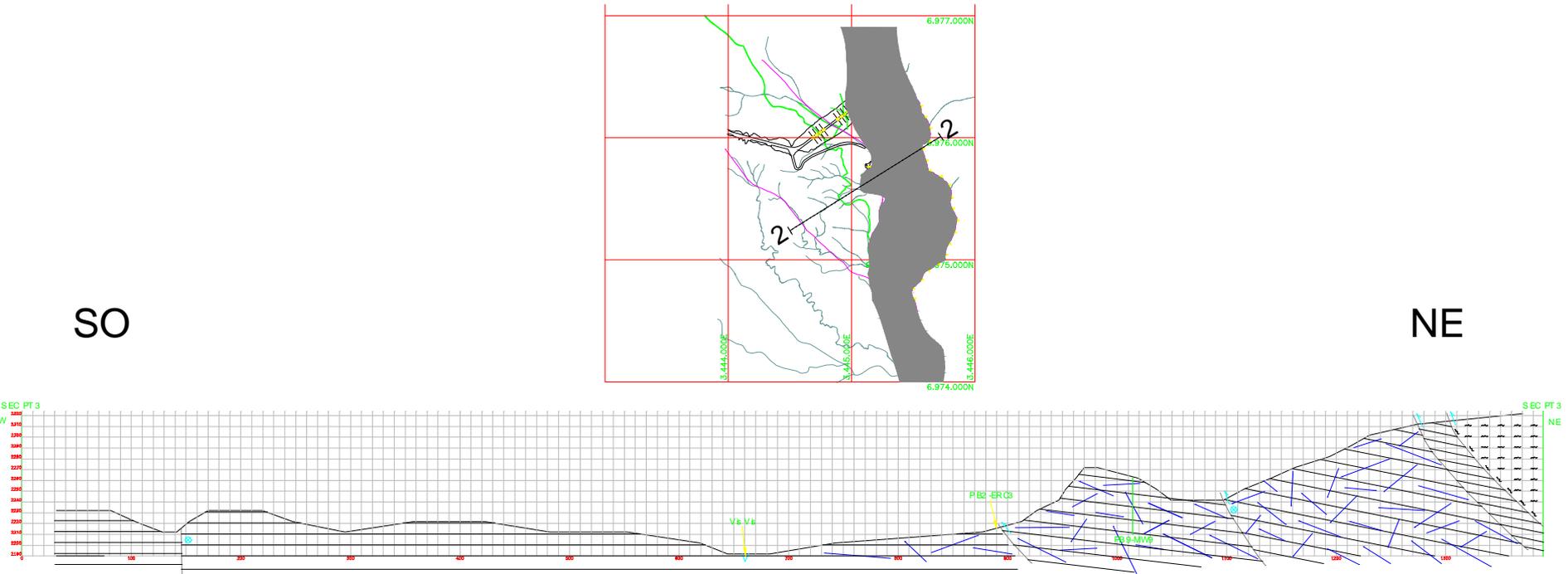


Perfil geológico 1-1.



Fuente: Estudio y Evaluación mediante Modelo Matemático del Esguerrimieuto Subterráneo y del Control de la contaminación - IATASA 1999

Perfil geológico 2-2



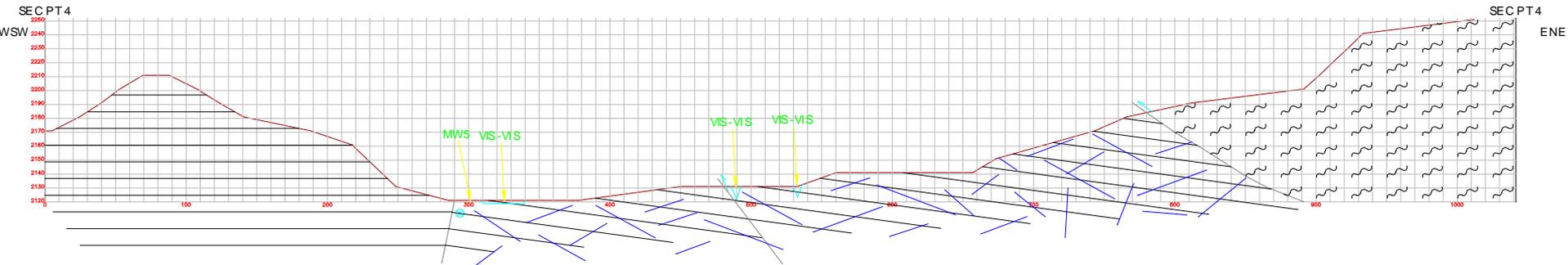
Fuente: Estudio y Evaluación mediante Modelo Matemático del Esgurrimiento Subterráneo y del Control de la contaminación - IATASA 1999

Perfil geológico 3-3.

SO

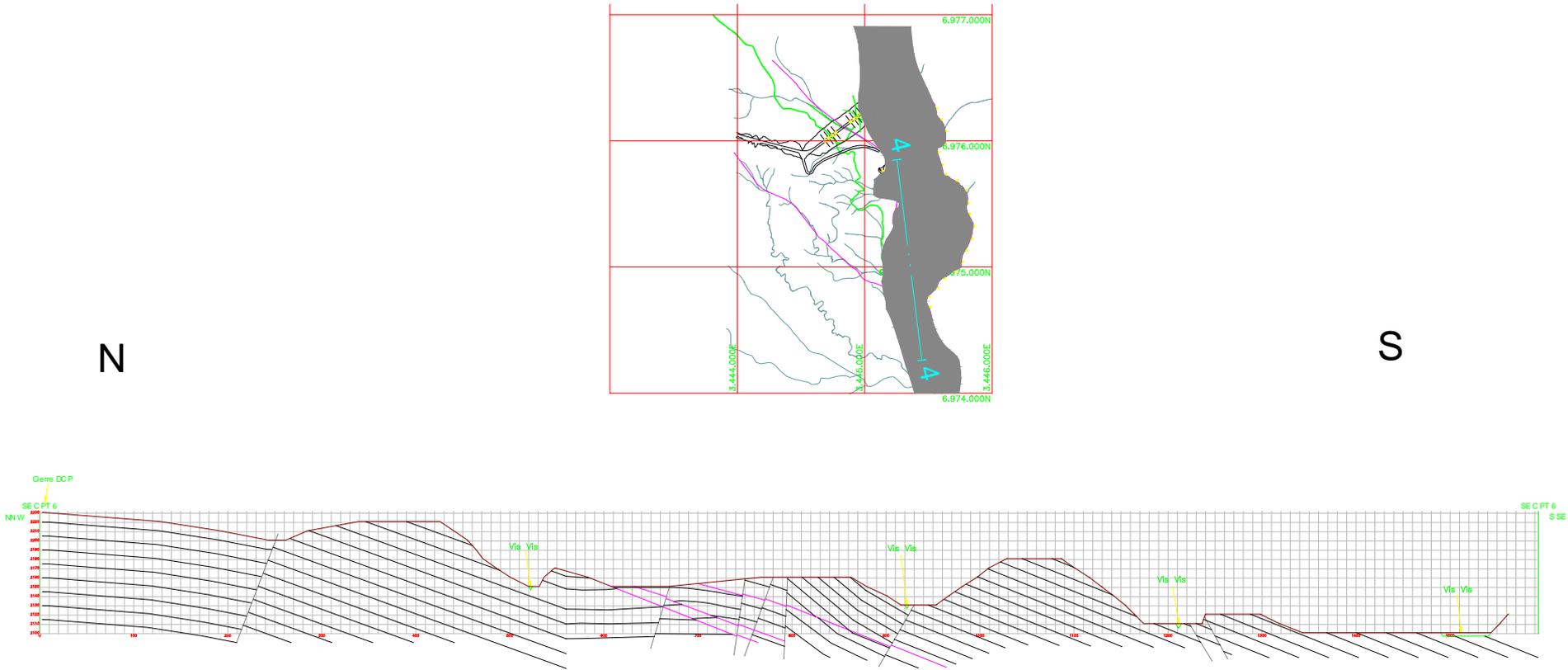


NE

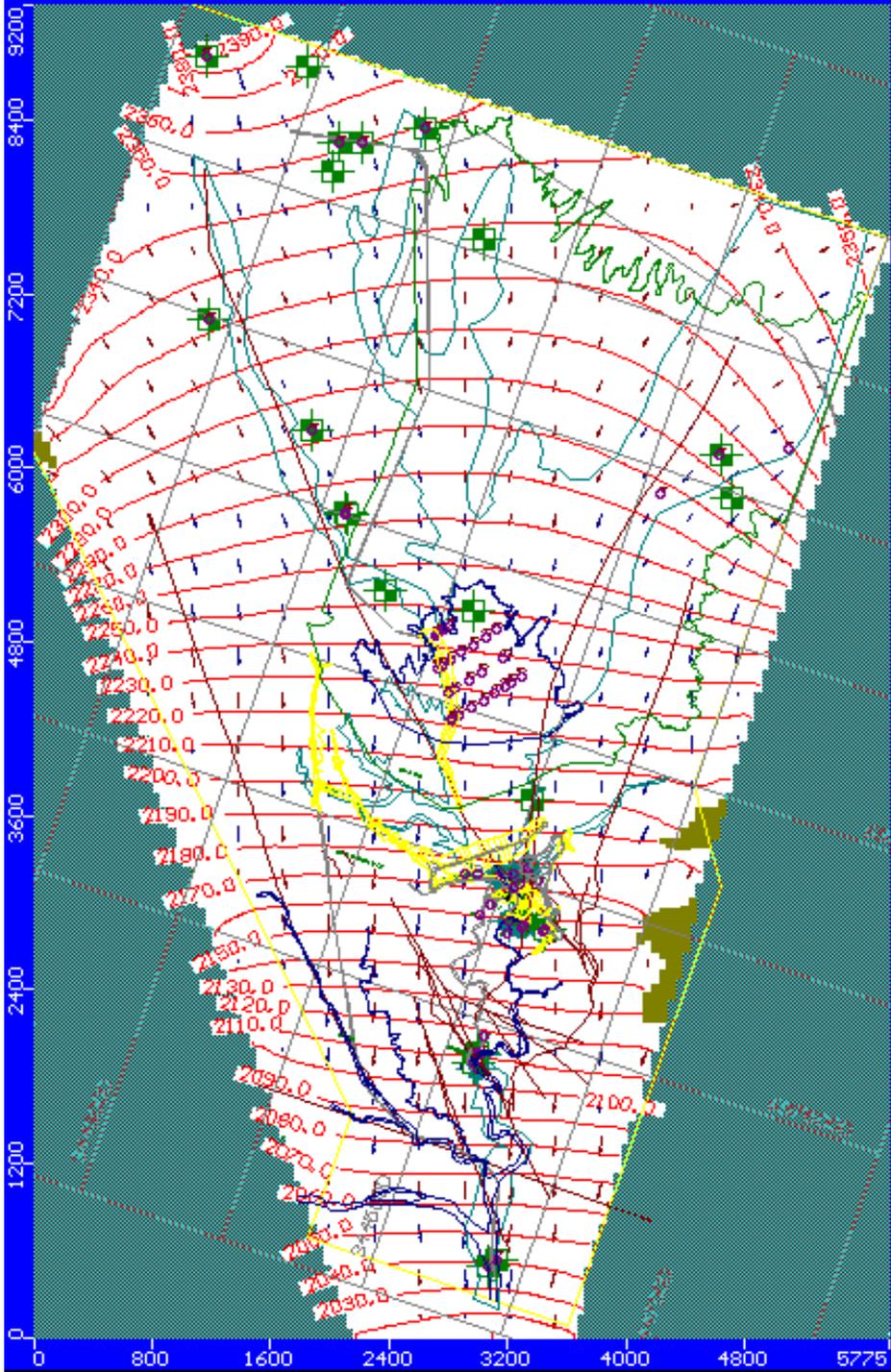


Fuente: Estudio y Evaluación mediante Modelo Matemático del Esgurrimiento Subterráneo y del Control de la contaminación - IATASA 1999

Perfil geológico 4-4.

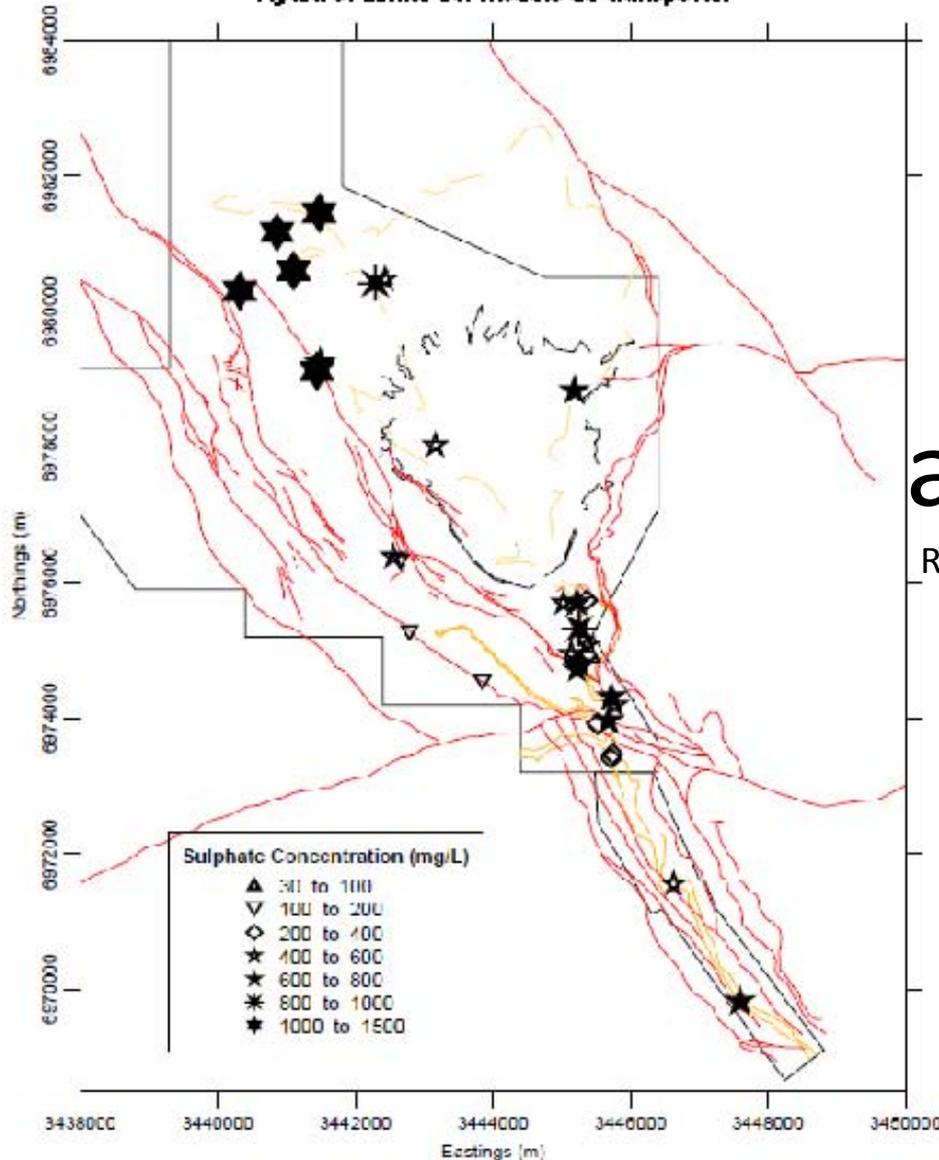


Fuente: Estudio y Evaluación mediante Modelo Matemático del Esgurrimento Subterráneo y del Control de la contaminación - IATASA 1999



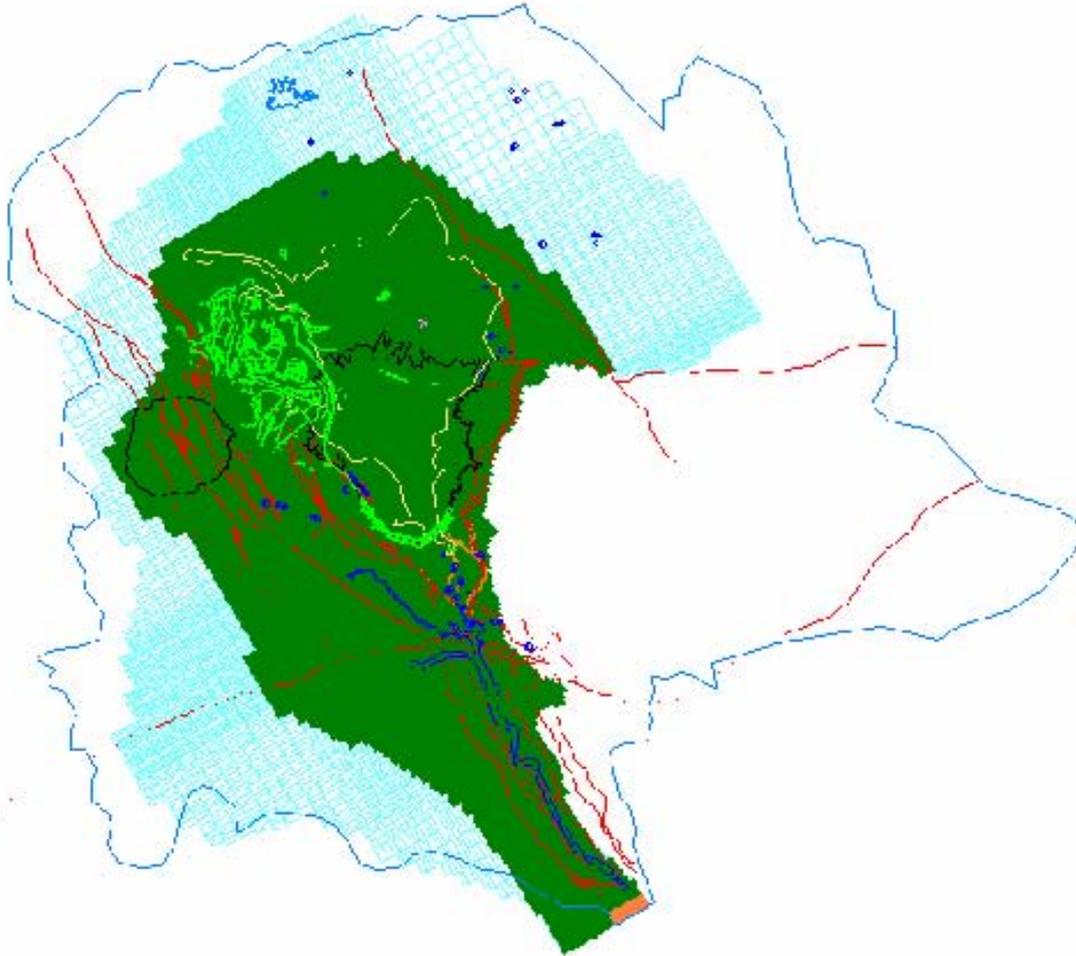
**Bosquejo del
modelo de
flujo.** Fuente: Estudio y
Evaluación mediante Modelo
Matemático del
Escorrimento Subterráneo y
del Control de la
contaminación - IATASA 1999

Figura 8: Límite del modelo de transporte.



Bosquejo estructural antecedente.

Fuente:
Recalibración del modelo de flujo y transporte
de solutos Quebrada de
Vis Vis – Minera Alumbrera, Abril 2010,
Australasian Groundwater &
Environmental Consultants Pty Ltd (AGE)



Área Modelada.

Fuente: Recalibración del modelo de
flujo y transporte de solutos
Quebrada de
Vis Vis – Minera Alumbrera, Abril
2010, Australasian Groundwater &
Environmental Consultants Pty Ltd
(AGE)



Bosquejo del modelo de flujo con fuerte control geológico.

Fuente:

Recalibración del modelo de flujo y transporte de solutos Quebrada de Vis Vis – Minera Alumbrera, Abril 2010, Australasian Groundwater & Environmental Consultants Pty Ltd (AGE)

-LEGEND-

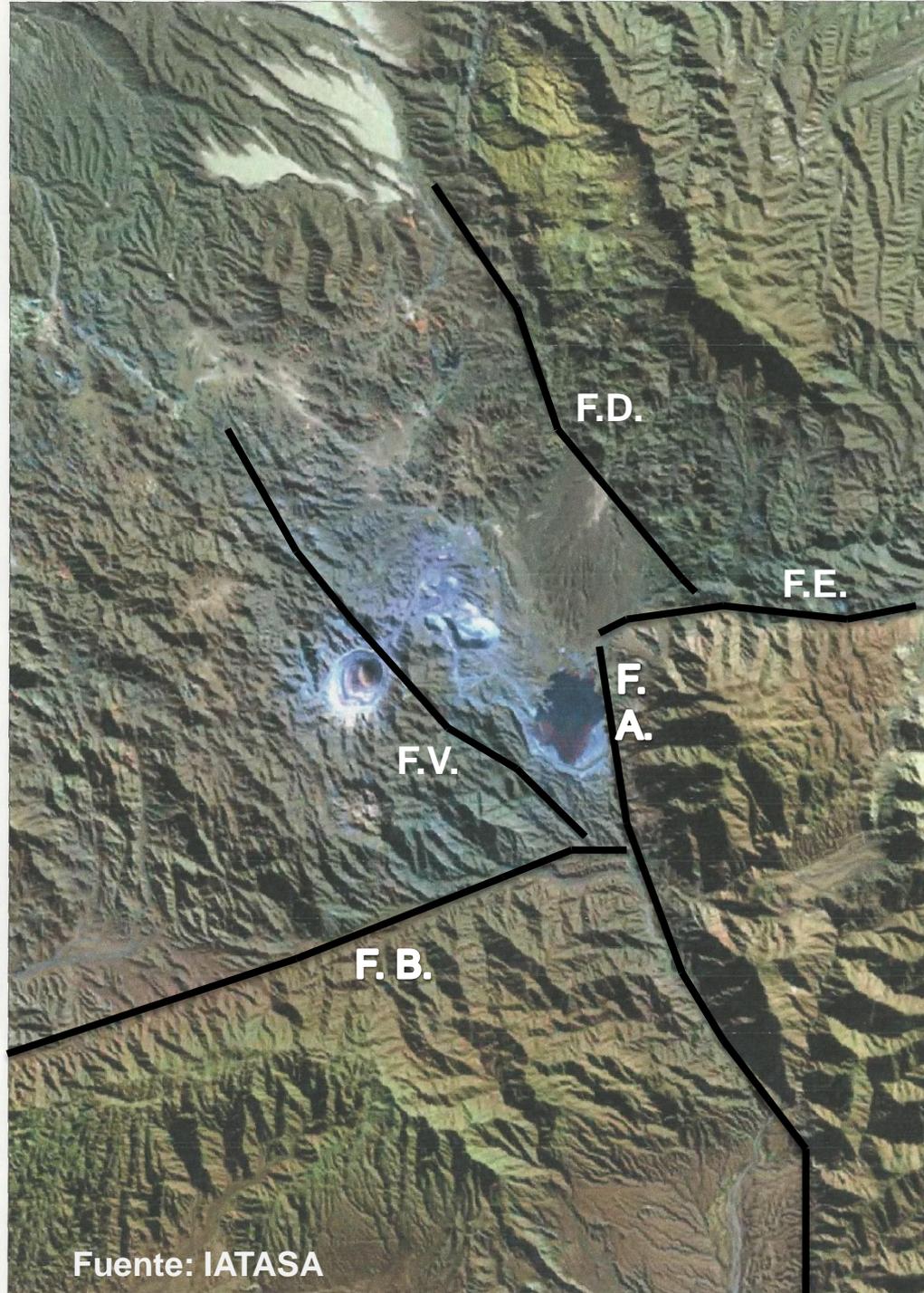
Steady-state Sampling Point



AUSTRALASIAN GROUNDWATER & ENVIRONMENTAL CONSULTANTS PTY LTD

28 JAMES STREET BOWEN HILLS QLD 4804 AUSTRALIA

REVISIÓN DE LOS ANTECEDENTES
APLICADOS A LA HIDROGEOLOGÍA
RELACIONADA A LA PRESA DE RELAVES

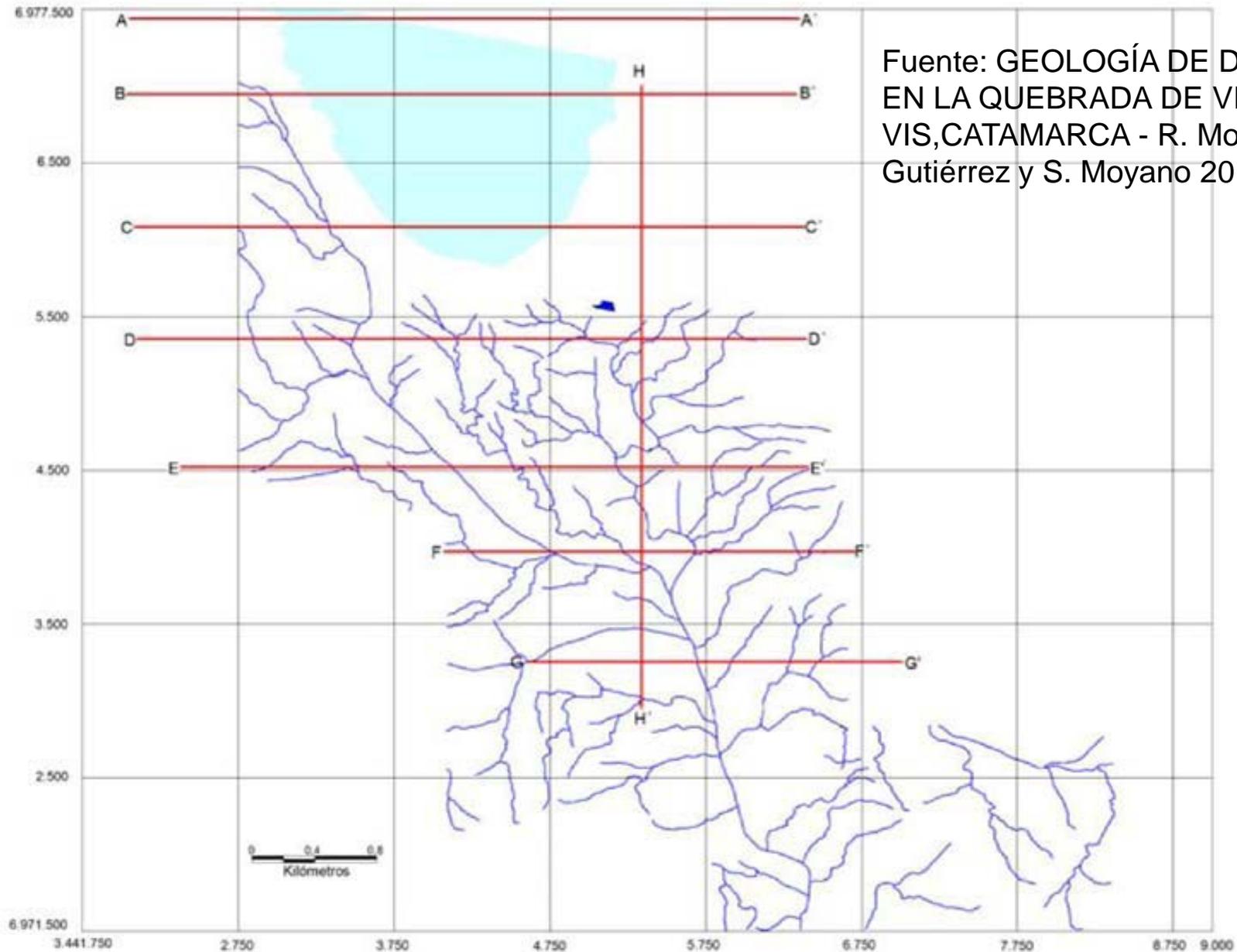


Fuente: IATASA

FALLAS PRINCIPALES ENTORNO A LA PRESA DE RELAVES

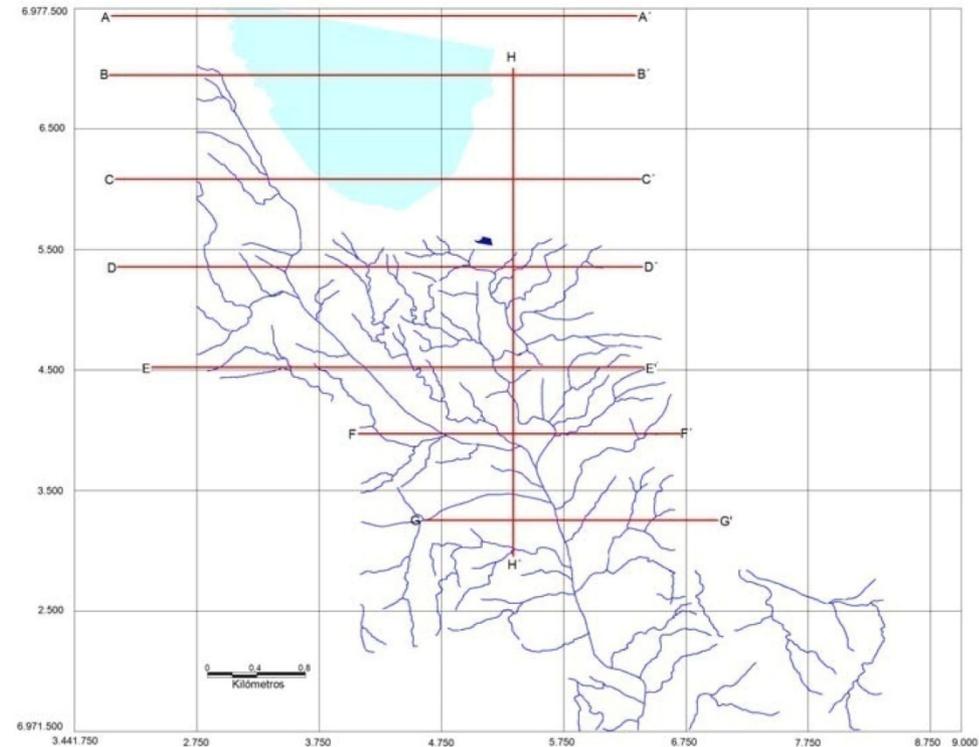
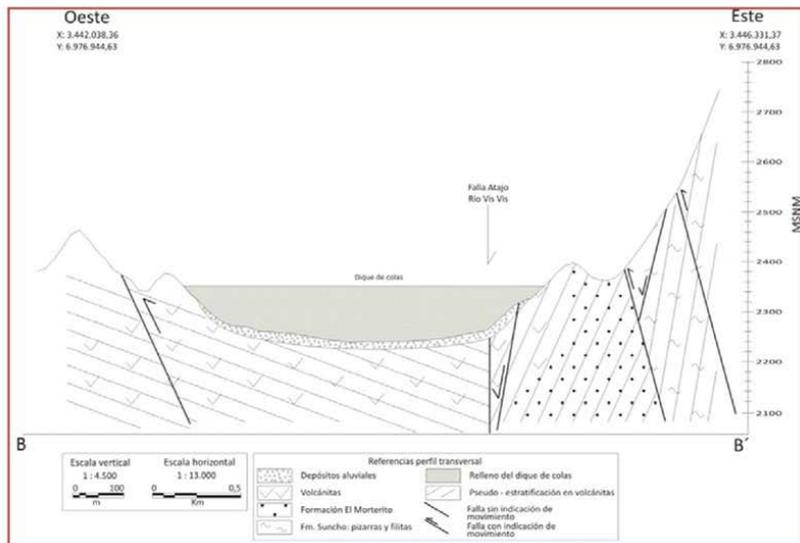
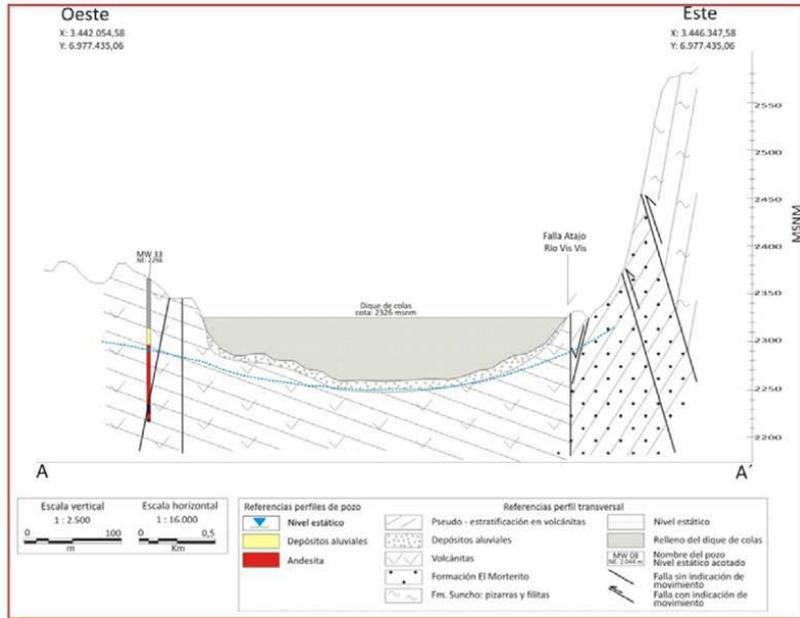
**BOSQUEJOS ESTRUCTURALES
SEMIDETALLADOS ENTORNO A LA PRESA
DE RELAVES, CUENCO RECEPTOR Y
AGUAS ABAJO – QUEBRADA VIS VIS
DONDE SE LOCALIZA LA PLUMA DE
AGUAS DE PROCESO Y DE MEZCLA**

Perfiles geológicos.



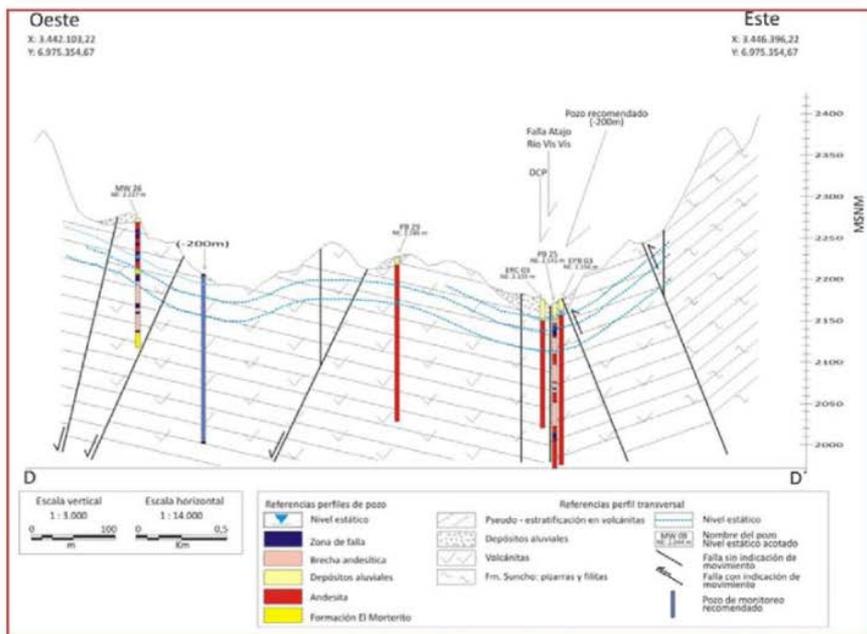
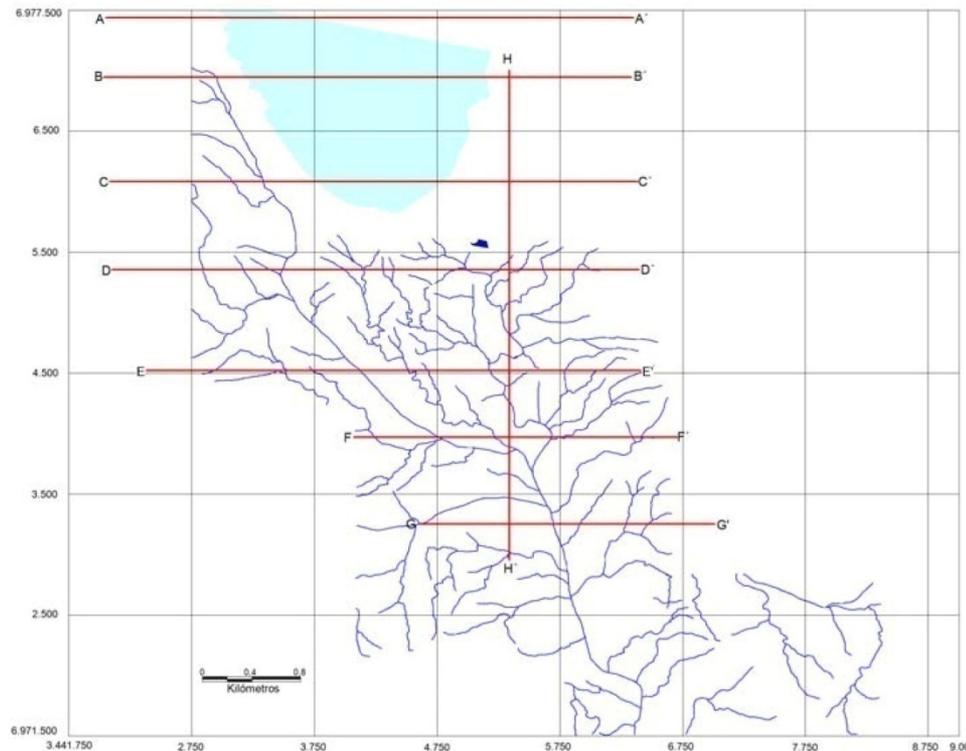
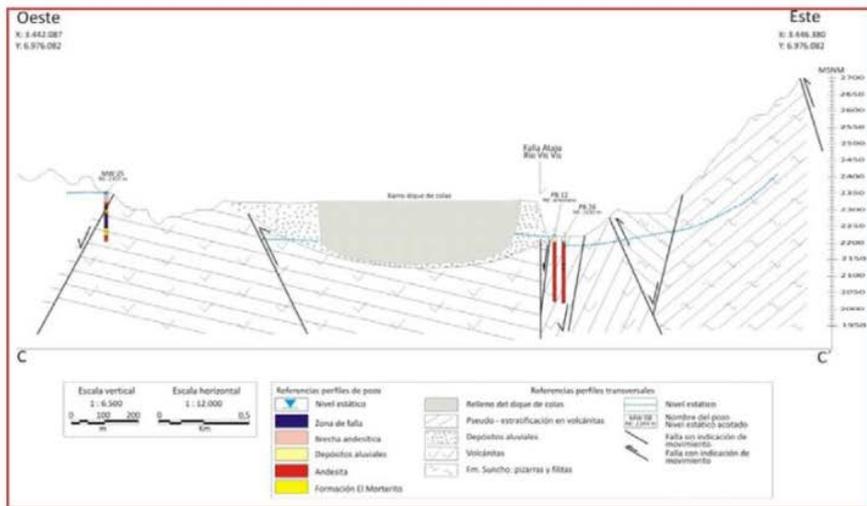
Fuente: GEOLOGÍA DE DETALLE
EN LA QUEBRADA DE VIS
VIS, CATAMARCA - R. Mon, A. A.
Gutiérrez y S. Moyano 2011

Perfiles geológicos A-A' y B-B'.



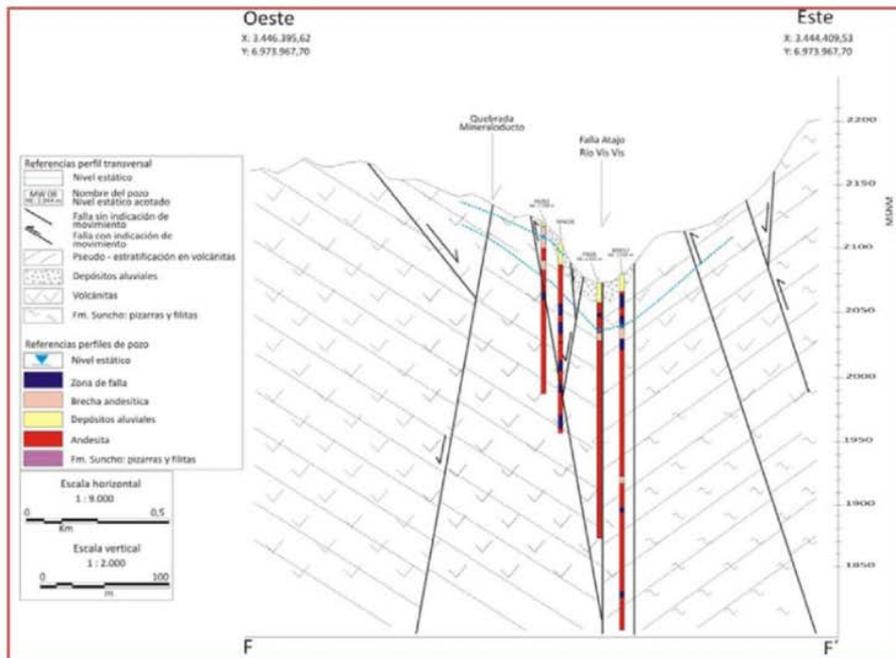
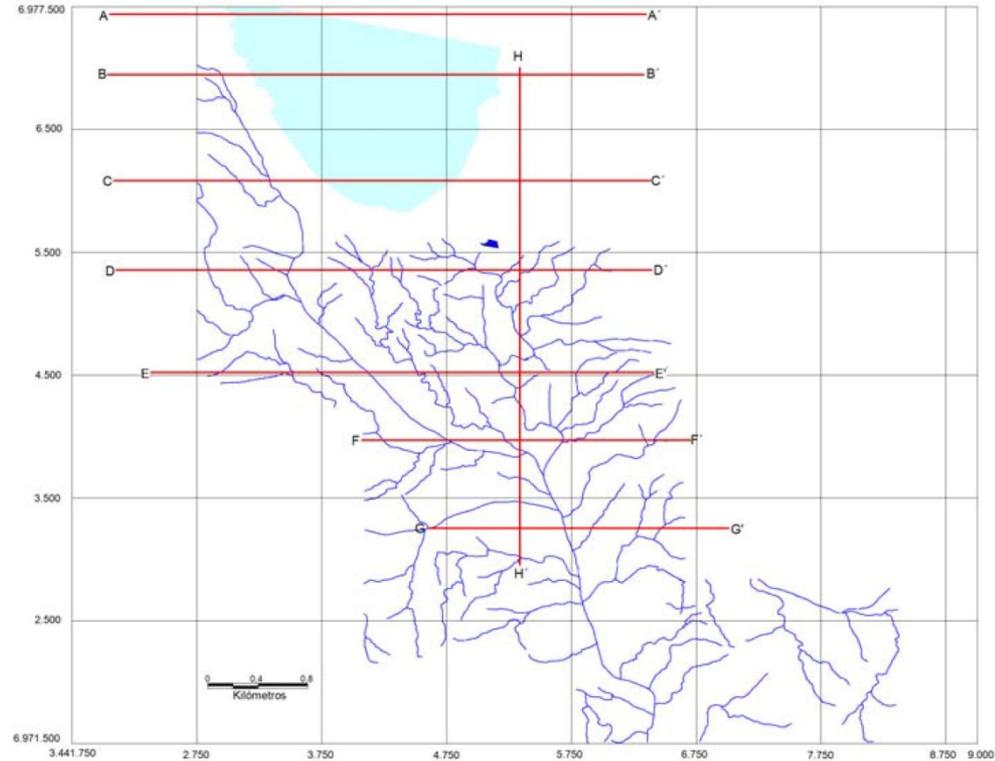
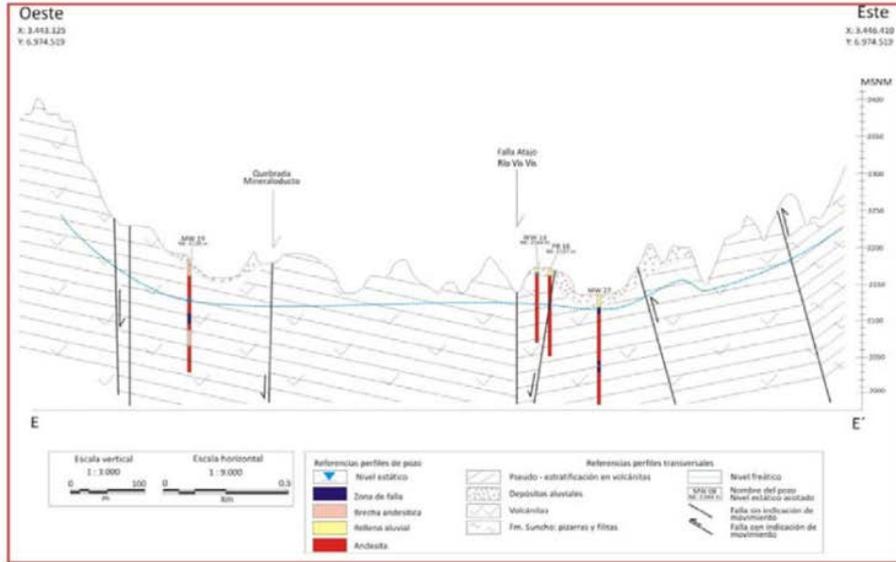
Fuente: GEOLOGÍA DE DETALLE
EN LA QUEBRADA DE VIS
VIS, CATAMARCA - R. Mon, A. A.
Gutiérrez y S. Moyano 2011

Perfiles geológicos C-C' y D-D'.



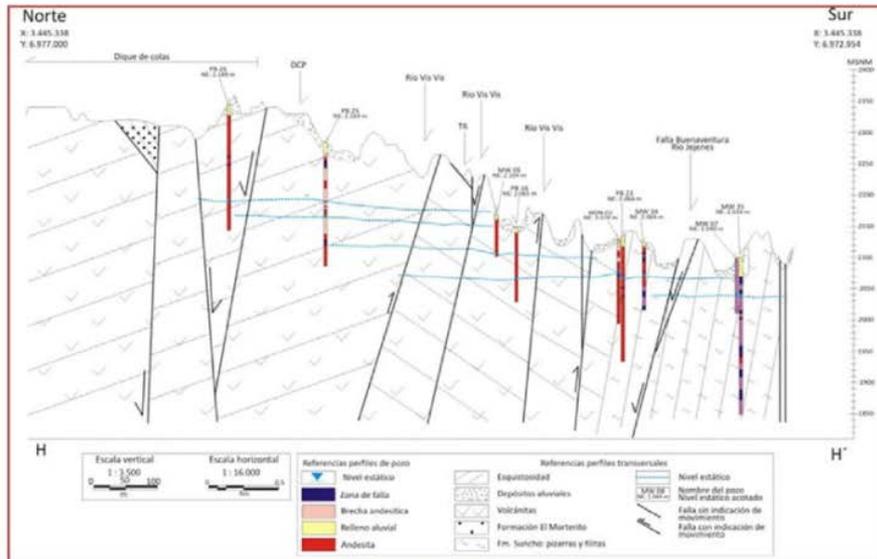
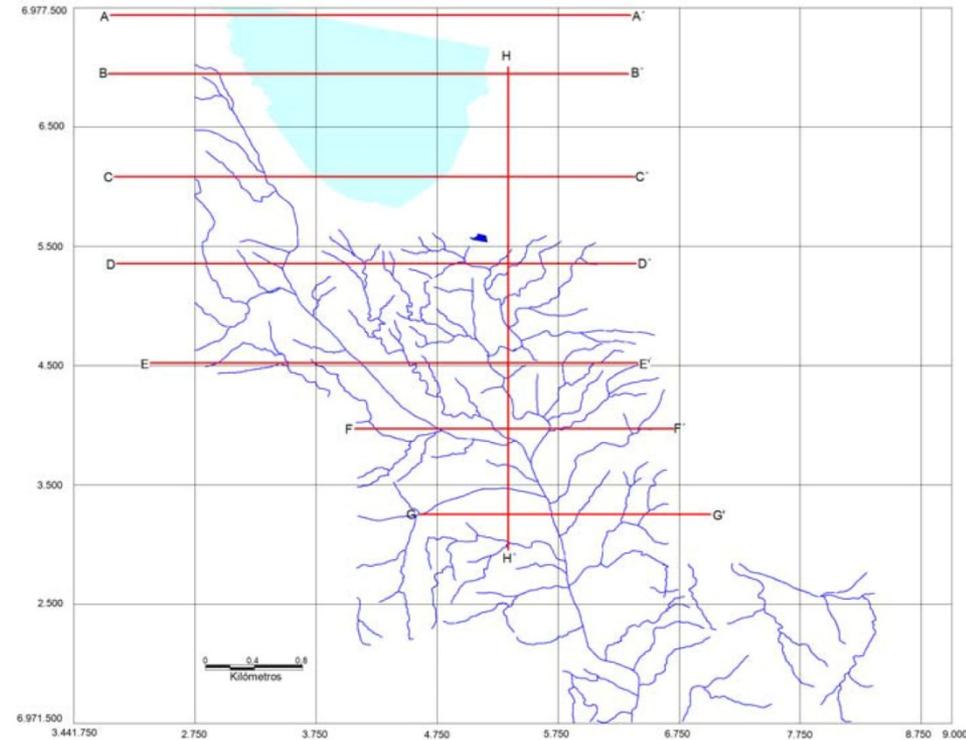
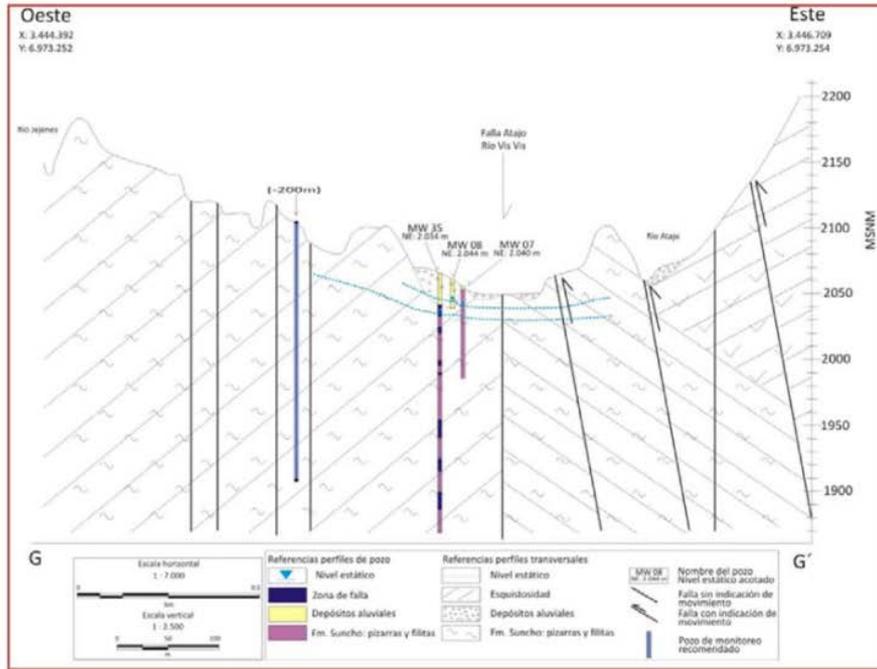
Fuente: GEOLOGÍA DE DETALLE EN LA QUEBRADA DE VIS VIS, CATAMARCA - R. Mon, A. A. Gutiérrez y S. Moyano 2011

Perfiles geológicos E-E' y F-F'.



Fuente: GEOLOGÍA DE DETALLE EN LA QUEBRADA DE VIS VIS, CATAMARCA - R. Mon, A. A. Gutiérrez y S. Moyano 2011

Perfiles geológicos G-G' y H-H'.



Fuente: GEOLOGÍA DE DETALLE
EN LA QUEBRADA DE VIS
VIS, CATAMARCA - R. Mon, A. A.
Gutiérrez y S. Moyano 2011

**CONTROL SOBRE EL ESCURRIMIENTO
SUBTERRÁNEO DE LA ESTRUCTURA DE
FALLAS AGUAS ABAJO DE LA PRESA DE
RELAVES – QUEBRADA VIS VIS**

ESQUEMA GENERAL DE CIRCULACIÓN DE AGUA SUBTERRÁNEA PROFUNDA Y CONTROL POR FALLA.

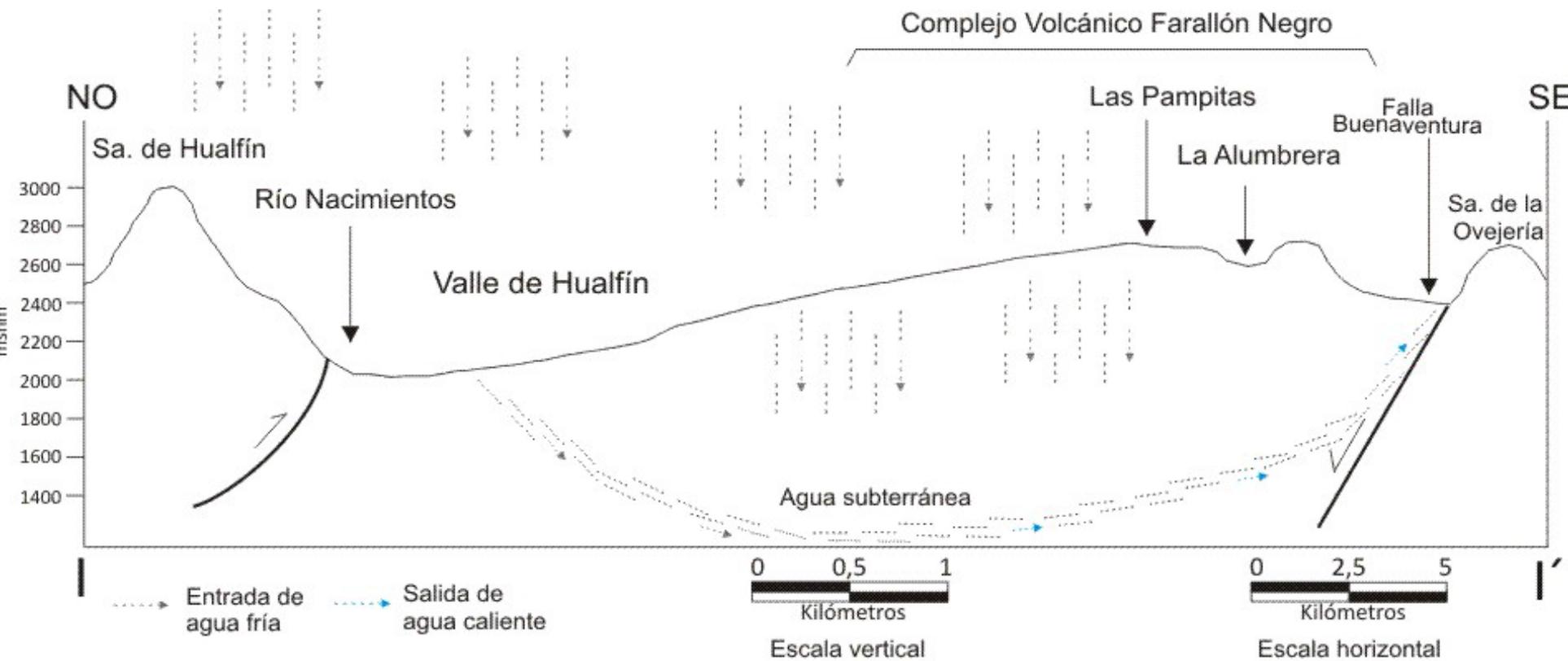


Figura 95: Esquema del origen y circulación del agua termal en la zona de Vis Vis

Fuente: GEOLOGÍA DE DETALLE EN LA QUEBRADA DE VIS VIS, CATAMARCA - R. Mon, A. A. Gutiérrez y S. Moyano 2011

EJEMPLO DE SUPERFICIE DE FALLA EN EL MACIZO ROCOSO DE MINA LA ALUMBRERA, ANISOTROPÍA PLANAR QUE CONTROLA EL ESCURRIMIENTO SUBTERRÁNEO

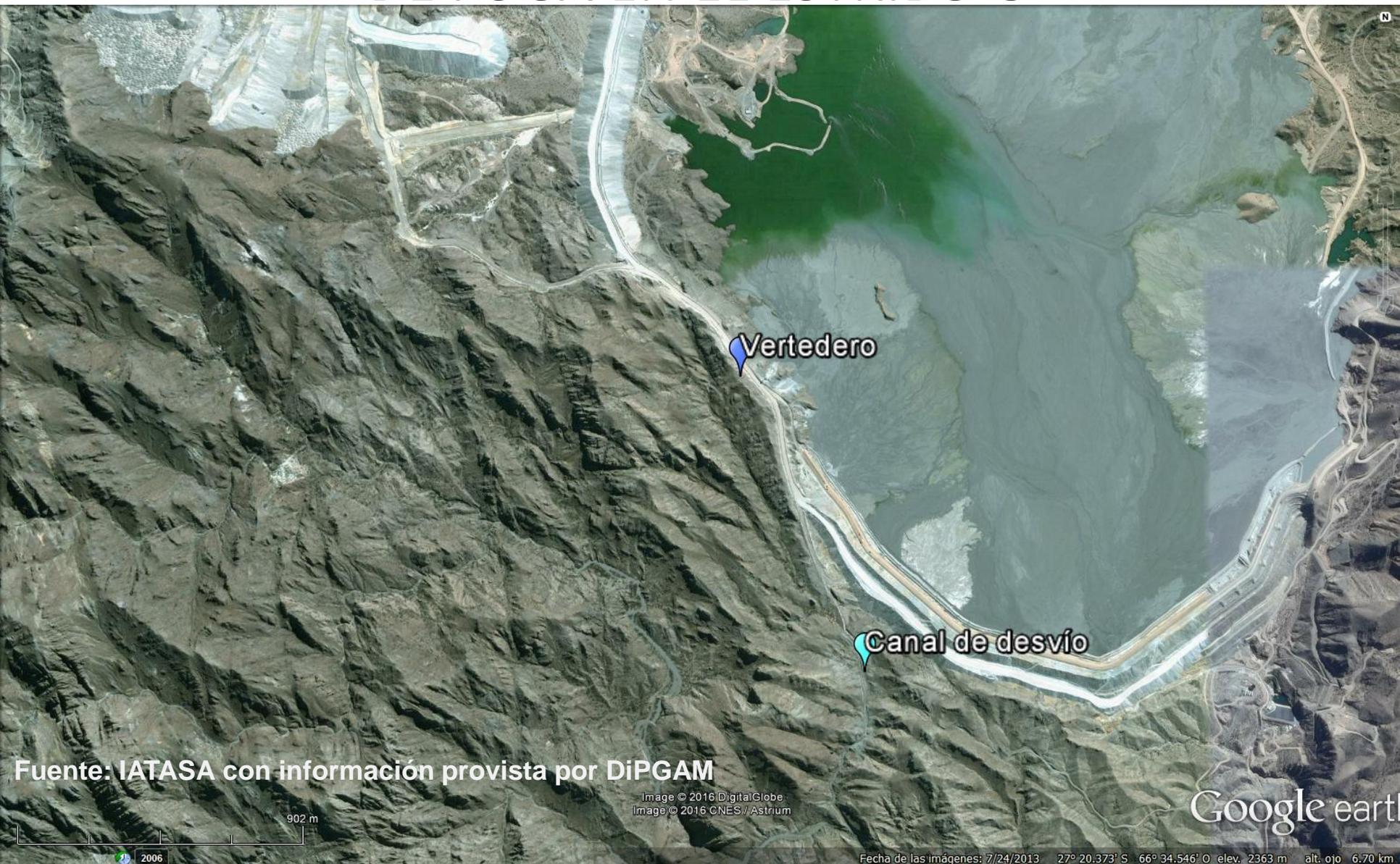


Fuente: IATASA

FRENTE DEL Co.ATAJO - ZONA DE FALLA ATAJO CONTROL ORIENTAL DEL ESCURRIMIENTO



UBICACION APROXIMADA DEL VERTEDERO Y CANAL DE FUGA EN EL ESTRIBO O



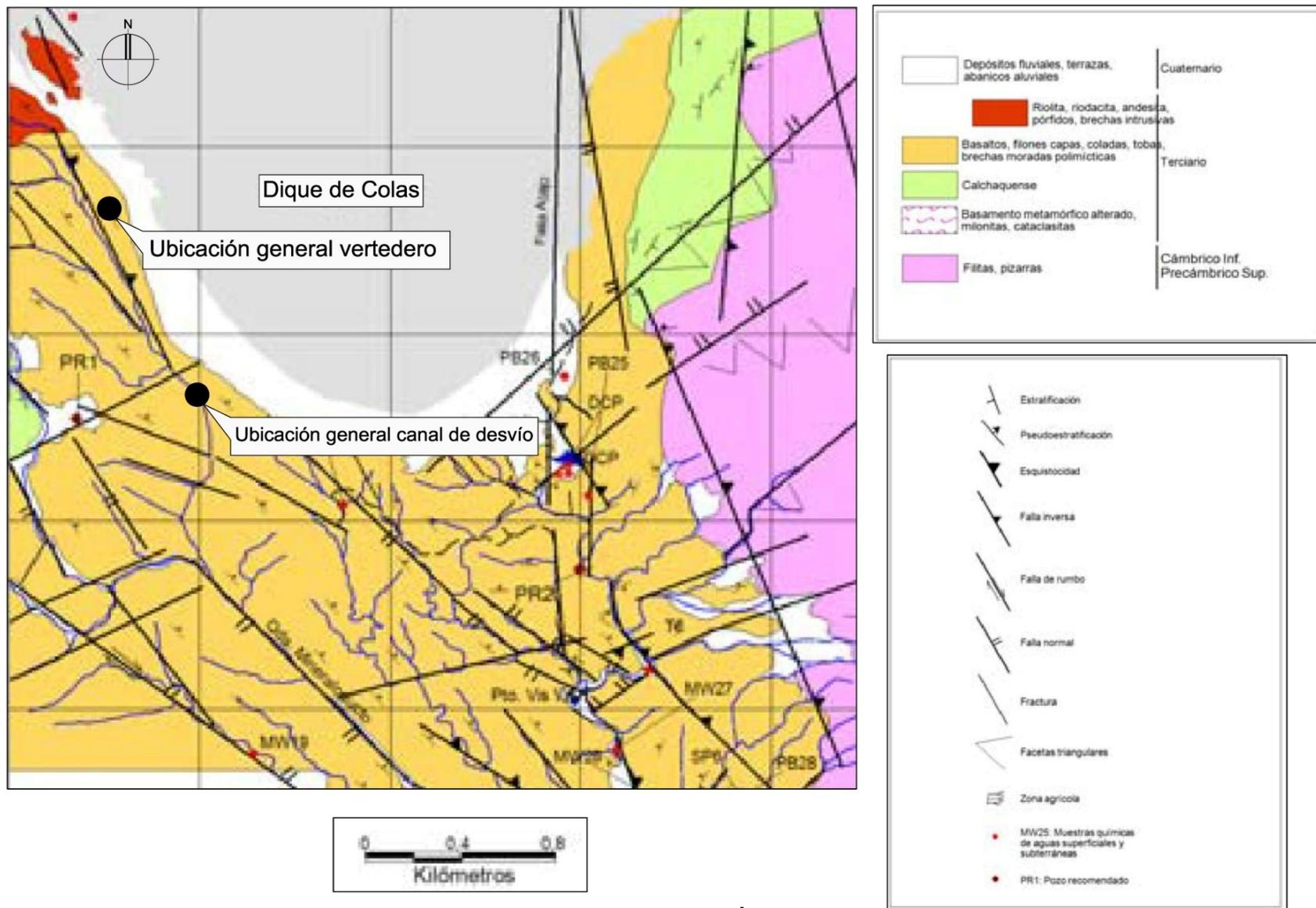
Fuente: IATASA con información provista por DiPGAM

Image © 2016 DigitalGlobe
Image © 2016 CNES / Astrium

Google earth

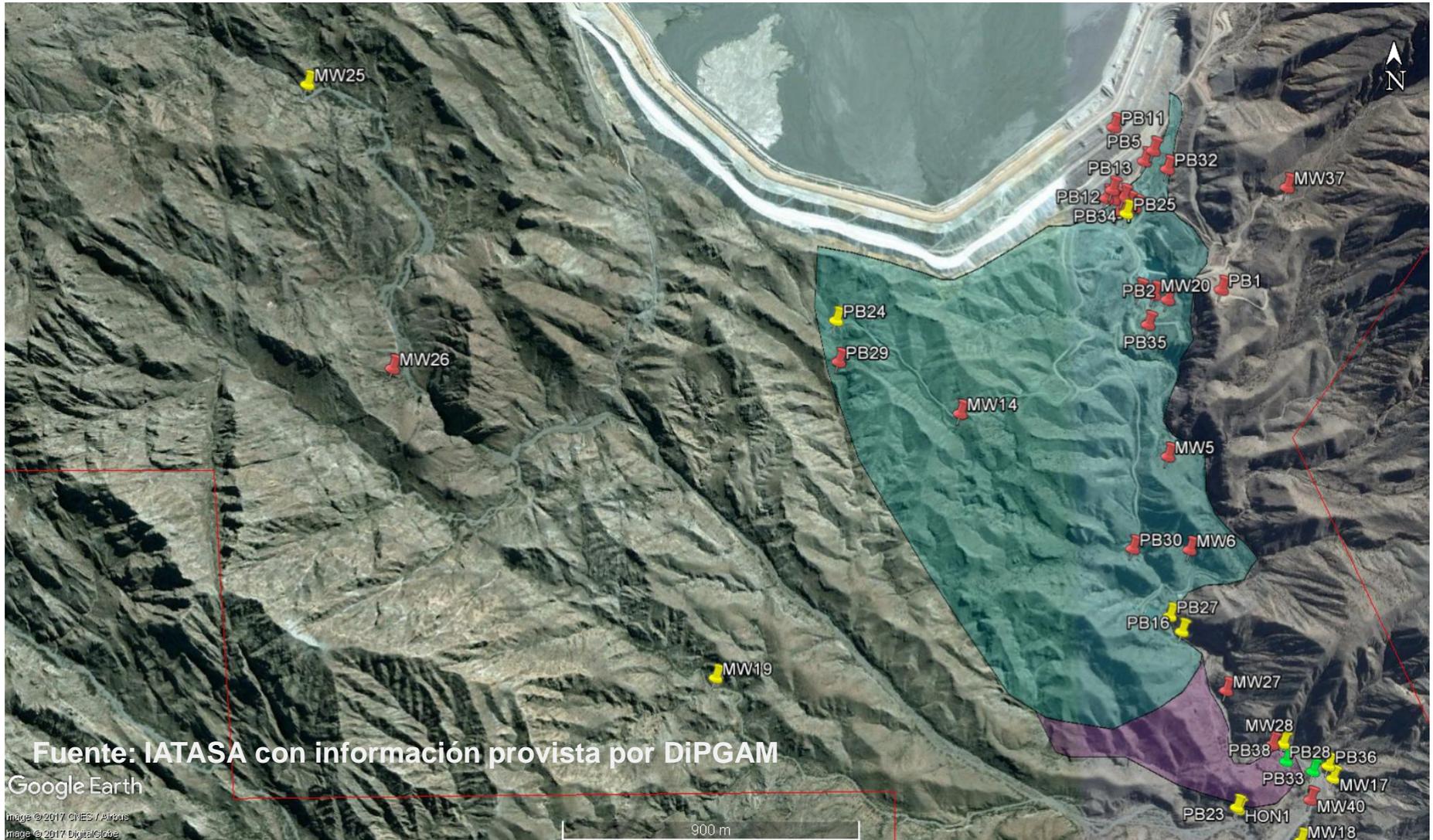
Fecha de las imágenes: 7/24/2013 27° 20.373' S 66° 34.546' O elev. 2363 m alt. ojo 6.70 km

UBICACIÓN APROXIMADA DEL VERTEDERO Y CANAL DE FUGA SOBRE MAPA GEOLÓGICO EN EL ESTRIBO O



Fuente: IATASA a partir del mapa geológico incluido en GEOLOGÍA DE DETALLE EN LA QUEBRADA DE VIS VIS, CATAMARCA - R. Mon, A. A. Gutiérrez y S. Moyano 2011

SECTOR AGUAS ABAJO DE LA PRESA DE RELAVES CON LA PLUMA (EN ROJO) POZOS NO MONITOREADOS Y EN AMARILLO MONITOREADOS)



Fuente: IATASA con información provista por DiPGAM

Google Earth

Image © 2017 CNES / Airbus
Image © 2017 DigitalGlobe

900 m

ESTRUCTURA Y POZOS CONSIDERADOS EN EL FLANCO OESTE

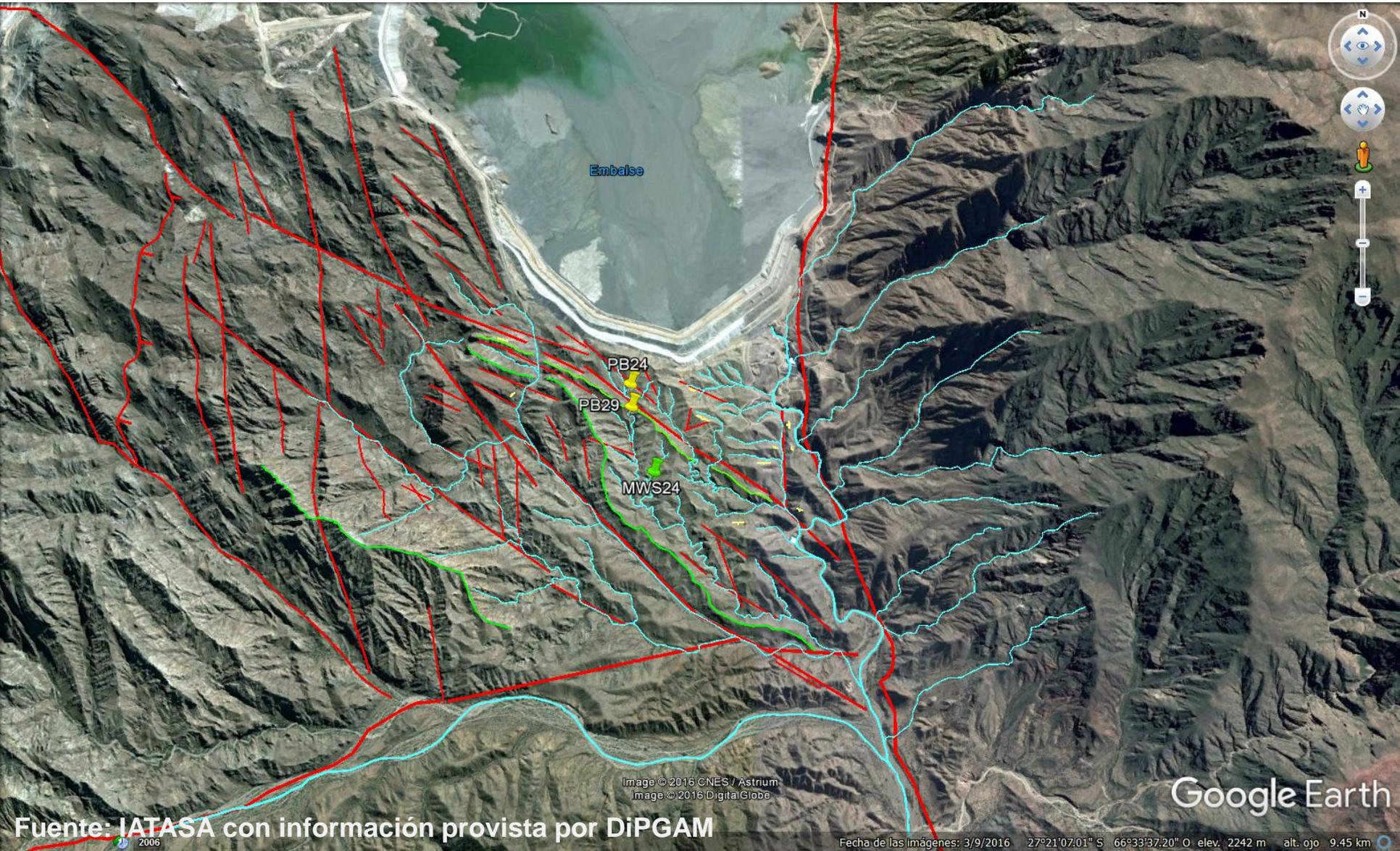


Image © 2016 CNES / Astrium
Image © 2016 DigitalGlobe

Google Earth

Fuente: IATASA con información provista por DiPGAM

2006
Fecha de las imágenes: 3/9/2016 27°21'07.01" S 66°33'37.20" O elev. 2242 m alt. ojo 9.45 km

VISTA GENERAL DE LA ESTRUCTURA, GEOMORFOLGÍA Y PLUMA AB DE LA PRESA CON POZOS CONSIDERADOS EN EL FLANCO O

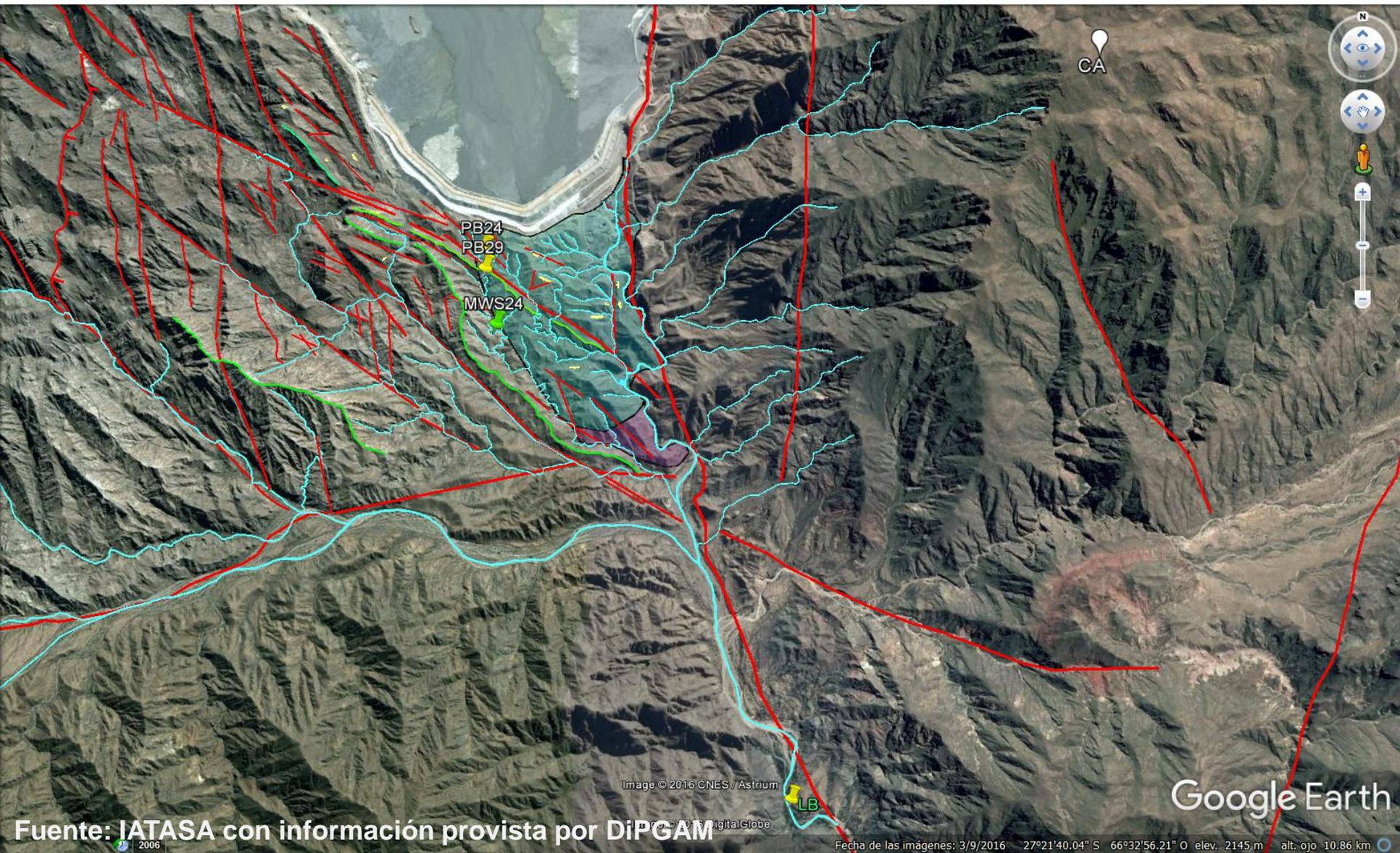


Image © 2016 CNES / Astrium

© 2016 DigitalGlobe

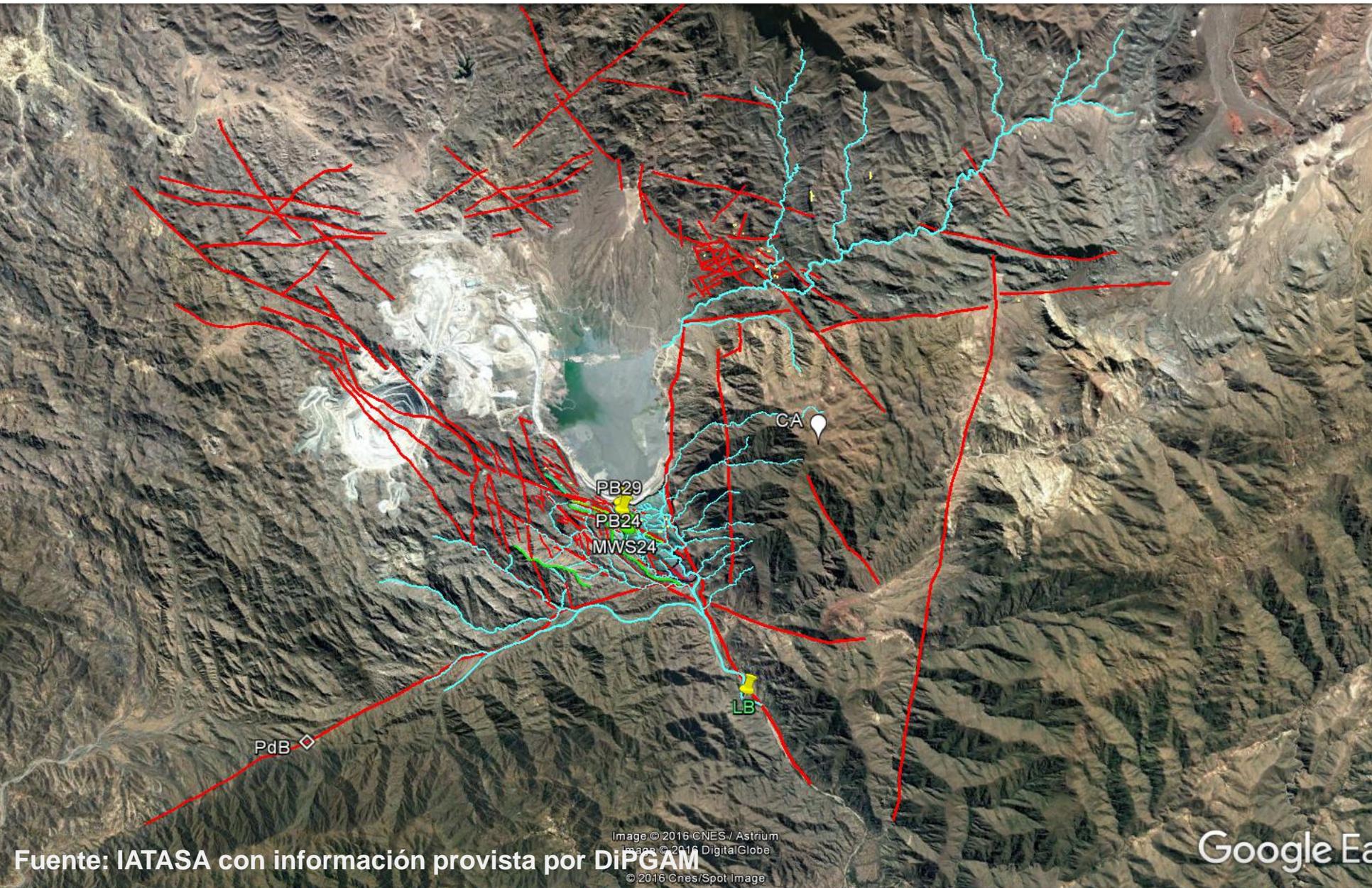
Google Earth

Fecha de las imágenes: 3/9/2016 27°21'40.04" S 66°32'56.21" O elev. 2145 m alt. ojo 10.86 km

Fuente: IATASA con información provista por DiPCAM

2006

MARCO ESTRUCTURAL, PLUMAS Y POZOS CONSIDERADOS EN EL FLANCO O

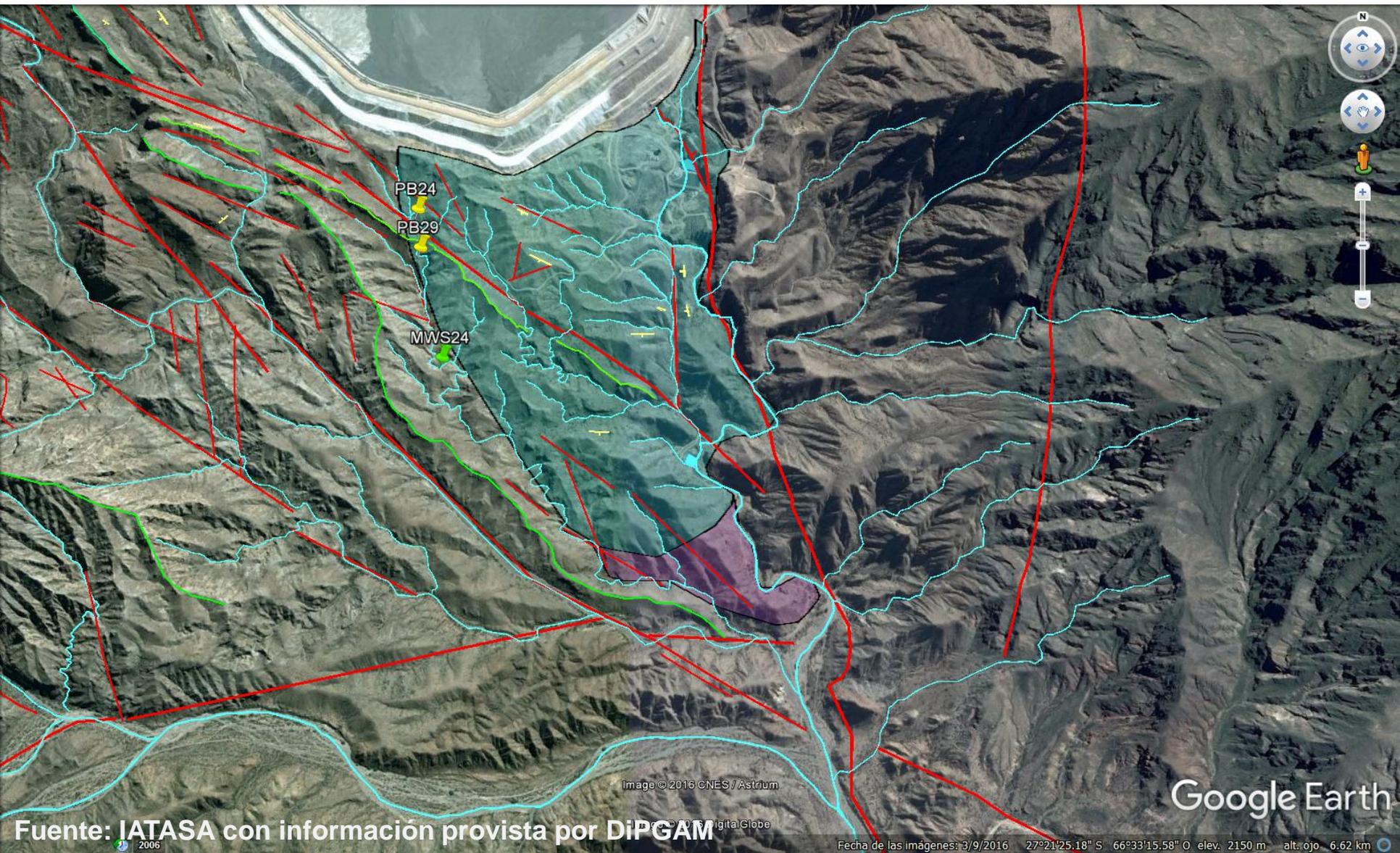


Fuente: IATASA con información provista por DIPGAM

Image © 2016 CNES / Astrium
Image © 2016 DigitalGlobe
© 2016 Cnes/Spot Image

Fecha de las imágenes: 3/9/2016 27°20'27.06" S 66°32'53.09" O elev. 2467 m alt. ojo 28

DETALLE DE ESTRUCTURA, GEOMORFLOGÍA Y PLUMA AB DE LA PRESA CON POZOS CONSIDERADOS EN EL FLANCO O



**ANÁLISIS DE LAS PROPUESTAS DE DISEÑO DE
CIERRE DEL DIQUE DE COLAS Y OBRAS ANEXAS
QUE REALICE MINERA ALUMBRERA**

ESTABILIDAD QUÍMICA

DIPGAM

INFORME FINAL PRELIMINAR

IATASA

26 de Abril de 2017

3. ANÁLISIS DE LA CARACTERIZACIÓN Y EVOLUCIÓN QUÍMICA DE LAS COLAS

CONCLUSIONES Y/O RECOMENDACIONES	OBSERVACIONES
<p>Las colas provenientes de la planta concentradora de cobre y oro fueron clasificadas como PGA en ensayos y estudios documentados hasta el año 2008</p>	<p>Esta información es concluyente. Se ha trabajado durante toda etapa de explotación en función de esta clasificación del efluente minero, para lo cual se implementaron como medidas de control ambiental los PCA vigentes</p> <p>Para la etapa de cierre y post-cierre de mina, esta condición del efluente minero (PGA) continuará siendo un impacto ambiental potencial, para lo cual deberán seguir activos los PCA con las modificaciones, definiciones y/o ampliaciones a incluir en un <i>Plan de Cierre de Mina de ingeniería de detalle</i></p>
<p>No hay documentación concluyente sobre el momento en que se iniciarían las condiciones de generación de drenaje ácido en condiciones naturales de meteorización en el Dique de Colas (en caso de ocurrir este fenómeno); sobre si existe una vinculación o condicionamiento entre el momento de la colocación del material de cobertura con respecto al inicio de las condiciones de generación de drenaje ácido (en caso de ocurrir este fenómeno); sobre la predicción (modelación) de la evolución química (parámetros químicos indicadores y/o esperables en función del tiempo) del agua intersticial en las colas en condiciones futuras (al cese de la operación minera)</p>	<p>No es viable estimar tiempos de inicio de condiciones de DAR, ya que no hay datos al respecto</p>

3. ANÁLISIS DE LA CARACTERIZACIÓN Y EVOLUCIÓN QUÍMICA DE LAS COLAS

<p>Al Dique de Colas a partir del año 2008 se adiciona el vertido de las colas de la planta de molibdeno y en 2015 las provenientes de la explotación del yacimiento Bajo del Durazno</p> <p>No hay ninguna documentación que registre el análisis de una eventual modificación en las colas sedimentadas</p>	<p>No es viable ninguna correlación ya que no hay datos al respecto</p>
<p>No hay aportes inéditos en el Plan de Cierre de Mina (Minera Alumbreira, 2016) sobre la evolución química de las colas</p>	<p>Ninguna</p>
<p>No se considera prioritario ni relevante realizar el muestreo de colas (salida de planta concentradora de oro y cobre y/o planta de molibdeno) a este estado de avance del proyecto minero</p>	<p>Ninguna</p>
<p>No está prevista la estabilización química del efluente (colas) ni en la zona de vertido, ni en la zona de disposición final (Dique de Colas), ni en los cuerpos receptores (aguas superficiales y subterráneas en el cuerpo receptor) mediante la utilización de sustancias químicas luego del cese de las operaciones mineras</p>	<p>La estabilidad química de las colas para la etapa de cierre y post-cierre de mina, será gestionada ambientalmente, a través de los PCA vigentes para la etapa de explotación minera, <i>con las modificaciones, definiciones y/o ampliaciones a incluir en un Plan de Cierre de Mina de ingeniería de detalle</i></p>

5.6 ASPECTOS RELATIVOS AL SISTEMA DE COBERTURA EN RELACION A LA ESTABILIZACIÓN QUÍMICA DE LAS COLAS DEPOSITADAS

<u>REQUERIMIENTO IDENTIFICADO</u> SUPERFICIE FINAL DE CIERRE (Etapa 19 - 2.347 m.s.n.m.- año 2018)	<u>DEFINICIÓN FALTANTE</u>
Superficie a cubrir: 941 ha	Ninguna
Material a cubrir: colas depositadas	Ninguna
Clasificación PGA/no PGA: PGA	Ninguna
Humedad relativa residual de las colas depositadas	Diseñar el programa de medición e integrar al cronograma de ejecución de tareas para poder liberar las áreas secas a ser cubiertas
Consolidación de las colas depositadas	Diseñar el programa de ensayos edométricos y de permeabilidad para poder liberar las áreas consolidadas a ser cubiertas e integrar al cronograma de ejecución de tareas
Caracterización físico-química de las colas depositadas con fines agronómicos (revegetación)	Diseñar el estudio de suelos e integrar al cronograma de ejecución de tareas
Trabajos y maniobras de movimientos de suelos sobre las colas depositadas y construcción de obras hidráulicas de cierre sobre su superficie	Evaluar la incidencia de los movimientos de las maquinarias en la superficie de las colas ya depositadas y adaptar los procedimientos de construcción

5.6 ASPECTOS RELATIVOS AL SISTEMA DE COBERTURA EN RELACION A LA ESTABILIZACIÓN QUÍMICA DE LAS COLAS DEPOSITADAS

Material de cobertura: material aluvial de Tampa Tampa	Ninguna
Espesor de la cobertura: 0.5 m como mínimo	Revisar la pertinencia de este espesor de cobertura en base a lo comentado en el apartado 5.3
Volumen requerido de material de cobertura de Tampa Tampa: 5.000.000 m ³	Ninguna
Clasificación PGA/no PGA del material de cobertura de Tampa Tampa: no PGA.	Revisar la pertinencia de la clasificación del material aluvial de Tampa Tampa en base a la vinculación con su área de aporte (el abanico aluvial de Tampa Tampa) y a la granulometría de diseño requerida para el sistema de cobertura
Caracterización físico-química del material de cobertura de Tampa Tampa con fines agronómicos (revegetación) <u>EN REVISION AÚN</u>	Diseñar el estudio de suelos e integrar al cronograma de ejecución de tareas
Control de calidad de construcción durante la colocación del material de cobertura de Tampa Tampa	Diseñar el programa de control, establecer las curvas granulométricas del material a utilizar, vincular esos resultados con el área de aporte/suministro (abanico aluvial de Tampa Tampa)
Trabajos y maniobras de movimientos de suelos sobre el material de cobertura de Tampa Tampa	Evaluar la incidencia de los movimientos de las maquinarias en la superficie de la cobertura y adaptar los procedimientos de construcción

5.6 ASPECTOS RELATIVOS AL SISTEMA DE COBERTURA EN RELACION A LA ESTABILIZACIÓN QUÍMICA DE LAS COLAS DEPOSITADAS

<u>REQUERIMIENTO IDENTIFICADO</u> TALUD DEL MURO DE CIERRE	<u>DEFINICION FALTANTE</u>
Superficie a cubrir	No especificada
<p>Material a cubrir: en la documentación se hace mención al material que constituye el talud del muro de cierre, como:</p> <ul style="list-style-type: none"> Arenas de relaves, suelos aluviales naturales de la zona y roca estéril de la mina, según PCA Construcción y Monitoreo del Dique de Colas (vigente) y Knight Piésold (2016) <p>Y también como:</p> <ul style="list-style-type: none"> El muro del depósito fue diseñado como presa zonificada, utilizando rellenos de suelos naturales y enrocados, según Knight Piésold (2016) 	Especificar de qué tipo de material se trata (ninguna especificación se refiere a su caracterización química ni vinculante con su su clasificación como materiales PGA o no PGA)
Clasificación PGA/no PGA del material del talud	No especificada
Material de cobertura del talud: en la documentación se hace mención a la posible utilización de <i>roca estéril benigna</i> según Plan de Cierre de Mina (Minera Alumbrera, 2016)	No especificado. Se requiere especificación de la composición química de la roca estéril benigna. Esta terminología no indica composición química ni clasificación PGA/no PGA.
Clasificación PGA/no PGA del material de cobertura del talud	No especificado
Espesor de la cobertura del talud: en la documentación se hace mención a un posible espesor de 15 m en la parte inferior, según Plan de Cierre de Mina (Minera Alumbrera, 2016)	No especificado. Dado que se trata de un talud se requiere de la especificación del espesor en función de su pendiente.
Volumen requerido de material de cobertura del talud	No especificado

5.6 ASPECTOS RELATIVOS AL SISTEMA DE COBERTURA EN RELACION A LA ESTABILIZACIÓN QUÍMICA DE LAS COLAS DEPOSITADAS

<u>REQUERIMIENTO IDENTIFICADO</u> <u>AMBAS INSTALACIONES (superficie final +talud)</u>	<u>DEFINICION</u> <u>FALTANTE</u>
Obras de ingeniería hidráulica etapa cierre y post-cierre de mina	Definir el diseño de ingeniería de detalle de estas obras

6. ANÁLISIS DE LA EVOLUCIÓN DE LA PLUMA DE DISPERSIÓN, BASADO EN EL SISTEMA DE RETROBOMBEO Y EN EL COMPORTAMIENTO DEL AGUA SUBTERRÁNEA, EN RELACIÓN CON LA DISTRIBUCIÓN DE POZOS PARA CUMPLIR CON LA FINALIDAD DE MANTENER LA PLUMA DE AGUAS DE PROCESO DENTRO DE LOS LÍMITES DEBIDOS .

- PCA CALIDAD DE AGUAS VIS VIS (COMPONENTES/ELEMENTOS MAYORITARIOS-MINORITARIOS - mg/l)
- PCA METALES TRAZAS VIS VIS (COMPONENTES/ELEMENTOS TRAZAS- ug/l)

DE LA GEOLOGÍA A LA HIDROQUÍMICA

ROCA → MINERAL → CATIONES/ANIONES (HIDROQUÍMICA)

- PROFFETT (2003): Rocas: ANDESITAS Y DACITAS VOLCÁNICAS INTRUIDAS POR PÓRFIDOS (QUE SON LOS QUE CONTIENEN LA MINERALIZACIÓN), en este caso Au-Cu-Mo (de valor económico) + otros elementos.
- HORNBLENDA $\text{Ca}_2(\text{Mg,Fe,Al})_5(\text{Al,Si})_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$
- BIOTITA $\text{K}(\text{Mg, Fe})_3\text{AlSi}_3\text{O}_{10}(\text{OH, F})_2$
- PLAGIOCLASA $(\text{Na,Ca})(\text{Si,Al})_3\text{O}_8$
- PIROXENO $(\text{Ca,Mg,Fe,Mn,Na,Li})(\text{Al, Mg, Fe, Mn,Cr,Sc,Ti})(\text{Si, Al})_2\text{O}_6$

6. ANÁLISIS DE LA EVOLUCIÓN DE LA PLUMA DE DISPERSIÓN, BASADO EN EL SISTEMA DE RETROBOMBEO Y EN EL COMPORTAMIENTO DEL AGUA SUBTERRÁNEA, EN RELACIÓN CON LA DISTRIBUCIÓN DE POZOS PARA CUMPLIR CON LA FINALIDAD DE MANTENER LA PLUMA DE AGUAS DE PROCESO DENTRO DE LOS LÍMITES DEBIDOS .

- FELDESPATO POTÁSICO: $(K, Na, Ca, Ba, NH_4)(Si, Al)_4O_8$
- CALCOPIRITA $CuFeS_2$ – PIRITA FeS_2 .- y también BORNITA $Cu_5 Fe S_4$ – CALCOSINA–COVELITA
- MAGNETITA Y HEMATITA $Fe^{2+}(Fe^{3+})_2O_4$ – Fe_2O_3
- YESO $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ Y ANHIDRITA $CaSO_4$ con sulfuros (pirita, molibdenita (MoS_2) y calcopirita
- **ALTERACIONES HIDROTERMALES:**
 - ▶ **POTÁSICA**
De feldespato potásico fino más cuarzo y con biotita secundaria.
 - ▶ • **CUARZO–MAGNETITA**
Alteración masiva de magnetita que precedió la mineralización. Cuando la mineralización está presente está siempre asociada a venillas de cuarzo.
 - ▶ • **PROPILÍTICA**
Se encuentra formando un halo alrededor del bajo y está definida principalmente por la presencia de epidoto, clorita, magnetita y carbonatos. Dentro del halo periférico, cuanto más cerca del centro intrusivo, la presencia de epidoto se hace más notoria.
Epidoto: $Ca_2Fe^{3+}Al_2(Si_2O_7)(SiO_4)O(OH)$ y clorita $(Mg, Fe)_3(Si, Al)_4O_{10}(OH)_2 \cdot (Mg, Fe)_3(OH)_6$
No hay sulfuros asociados a este tipo de alteración.
 - ▶ • **DESTRUCTIVA DE FELDESPATOS**
Venas de esfarelita o blenda (ZnS) y galena (PbS) como parte de este tipo de alteración.

6. ANÁLISIS DE LA EVOLUCIÓN DE LA PLUMA DE DISPERSIÓN, BASADO EN EL SISTEMA DE RETROBOMBEO Y EN EL COMPORTAMIENTO DEL AGUA SUBTERRÁNEA, EN RELACIÓN CON LA DISTRIBUCIÓN DE POZOS PARA CUMPLIR CON LA FINALIDAD DE MANTENER LA PLUMA DE AGUAS DE PROCESO DENTRO DE LOS LÍMITES DEBIDOS

- ▶ VENAS TARDÍAS DE YESO Y ANHIDRITA CON PIRITA, MOLIBDENITA Y CALCOPIRITA (falla YESO)

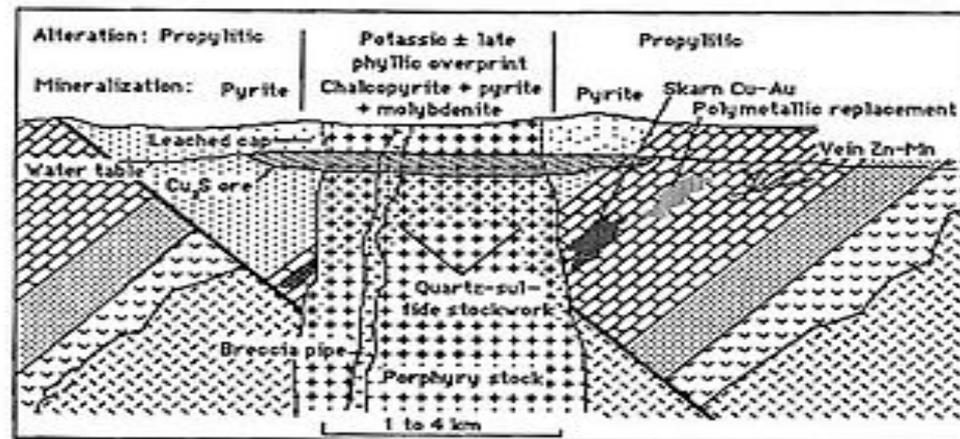


Figure 50. Cartoon cross section illustrating generalized model for porphyry Cu deposits showing relation of ore minerals, alteration zoning, supergene enrichment and associated skarn, replacement, and vein deposits.

Fuente: Dennis P. Cox, 1986 - "Descriptive model of porphyry Cu," in *Mineral Deposit Models*, US Geological Survey Bulletin 1693, p.79

<https://pubs.usgs.gov/bul/1693/report.pdf>

Informe Final Preliminar
Estabilidad Química - IATASA-
26 de Abril de 2017

6. ANÁLISIS DE LA EVOLUCIÓN DE LA PLUMA DE DISPERSIÓN, BASADO EN EL SISTEMA DE RETROBOMBEO Y EN EL COMPORTAMIENTO DEL AGUA SUBTERRÁNEA, EN RELACIÓN CON LA DISTRIBUCIÓN DE POZOS PARA CUMPLIR CON LA FINALIDAD DE MANTENER LA PLUMA DE AGUAS DE PROCESO DENTRO DE LOS LÍMITES DEBIDOS .

- ❑ 1995 IIA Knight Piésold: se estima que no habrá lixiviación de metales.
- ❑ Ubaldini (2002): informe hidroquímico focalizado en los elementos trazas (metales)
- ❑ Analiza los ensayos de celdas y piletas: lo de celdas no son concluyentes, la pileta P1: permite “inferir” algunas tendencias, sin bien no son datos concluyentes:

pH

Mayoritarios: SO₄ y Cl y Ca, Na, Mg, K

Minoritarios y trazas (METALES): Al, As, Cd, Cu, Mn, Pb, Se, Zn

SO₄: 2600–1600–2400 mg/l

Cl:–

Ca, Mg, Na

La presencia de SO₄ y Ca como mayoritarios muestran con claridad la presencia de yeso.

Y en la pileta irrigada el pH= 3.5 y el alto contenido en sulfatos (?) indicaría la presencia de los mismos, provenientes de los sulfuros.

METALES

- ▶ Al : mayores a 50 mg/l
- ▶ Mn: mayores a 25 mg/l

- ▶ Cu: 1–150 ug/l As: 2 ug/l
- ▶ Cd: 2–3 ug/l Pb: 20 ug/l
- ▶ Se: 5 ug/l Zn: menores a 1000 ug/l o entre 1000–2000 ug/l

Informe Final Preliminar
Estabilidad Química – IATASA–
26 de Abril de 2017

6. ANÁLISIS DE LA EVOLUCIÓN DE LA PLUMA DE DISPERSIÓN, BASADO EN EL SISTEMA DE RETROBOMBEO Y EN EL COMPORTAMIENTO DEL AGUA SUBTERRÁNEA, EN RELACIÓN CON LA DISTRIBUCIÓN DE POZOS PARA CUMPLIR CON LA FINALIDAD DE MANTENER LA PLUMA DE AGUAS DE PROCESO DENTRO DE LOS LÍMITES DEBIDOS .

Buscar

Tabla Periódica de los Elementos

Wikipedia
Propiedades
Orbitales
Isótopos
 Weight
 Nombres
 Electrones
 Ancho

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	H 1.00794	Atómico Sim Peso																He 4.002602
2	Li 6.941	Be 9.012182	<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;"> C Sólido Hg Líquido H Gaseoso Rf Desconocido </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;"> Metales Alcalinos Alcalinotérreos Lantánidos Actinidos Metales de transición Metales del bloque p Metaloides No metales </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;"> No metales Halógenos Gases nobles </div> </div>										B 10.811	C 12.0107	N 14.0067	O 15.9994	F 18.99840	Ne 20.1797
3	Na 22.98976	Mg 24.3050	Al 26.98153	Si 28.0855	P 30.97376	S 32.065	Cl 35.453	Ar 39.948										
4	K 39.0983	Ca 40.078	Sc 44.95591	Ti 47.867	V 50.9415	Cr 51.9961	Mn 54.93804	Fe 55.845	Co 58.93319	Ni 58.6934	Cu 63.546	Zn 65.38	Ga 69.723	Ge 72.64	As 74.92160	Se 78.96	Br 79.904	Kr 83.798
5	Rb 85.4678	Sr 87.62	Y 88.90585	Zr 91.224	Nb 92.90638	Mo 95.96	Tc (98)	Ru 101.07	Rh 102.9055	Pd 106.42	Ag 107.8682	Cd 112.411	In 114.818	Sn 118.710	Sb 121.760	Te 127.60	I 126.9044	Xe 131.293
6	Cs 132.9054	Ba 137.327	57-71	Hf 178.49	Ta 180.9478	W 183.84	Re 186.207	Os 190.23	Ir 192.217	Pt 195.084	Au 196.9665	Hg 200.59	Tl 204.3833	Pb 207.2	Bi 208.9804	Po (209)	At (210)	Rn (222)
7	Fr (223)	Ra (226)	89-103	Rf (267)	Db (268)	Sg (271)	Bh (272)	Hs (270)	Mt (276)	Ds (281)	Rg (280)	Cn (285)	Uut (284)	Uuq (289)	Uup (288)	Uuh (293)	Uus	Uuo (294)

Las masas atómicas entre parentesis se corresponden con las de aquellos isótopos que son más estables o más abundantes.

Tabla Periódica Diseño e Interface de Copyright © 1997 Michael Dayah. <http://www.ptable.com/> Last updated December 12, 2009

57	La 138.9054	58	Ce 140.116	59	Pr 140.9076	60	Nd 144.242	61	Pm (145)	62	Sm 150.36	63	Eu 151.964	64	Gd 157.25	65	Tb 158.9253	66	Dy 162.500	67	Ho 164.9303	68	Er 167.259	69	Tm 168.9342	70	Yb 173.054	71	Lu 174.9668
89	Ac (227)	90	Th 232.0380	91	Pa 231.0358	92	U 238.0289	93	Np (237)	94	Pu (244)	95	Am (243)	96	Cm (247)	97	Bk (247)	98	Cf (251)	99	Es (252)	100	Fm (257)	101	Md (258)	102	No (259)	103	Lr (262)

Fuente: <http://www.ptable.com/>

6. ANÁLISIS DE LA EVOLUCIÓN DE LA PLUMA DE DISPERSIÓN, BASADO EN EL SISTEMA DE RETROBOMBEO Y EN EL COMPORTAMIENTO DEL AGUA SUBTERRÁNEA, EN RELACIÓN CON LA DISTRIBUCIÓN DE POZOS PARA CUMPLIR CON LA FINALIDAD DE MANTENER LA PLUMA DE AGUAS DE PROCESO DENTRO DE LOS LÍMITES DEBIDOS .

Analizando los datos de muestras de calidad de agua en el Vis Vis (a ese momento):

- ❑ Aguas del proceso: ~ pH 7.5, predominancia de SO₄, Ca, Na. Metales: Sr (que es aportado por el yeso, o por carbonatos, o por sustitución de K en feldspatos) y luego Al-Mn, y otros elementos trazas (metales) y Mo. Valores de Sr ~ 5000 ug/l y de Mo ~ 100 ug/l.

(Zn: 10-20 ug/l)

- ❑ Aguas termales MW8-MW35 – DS1 (Los Baños): pH ~ 7.5, As, F, Zn, Li y Ba
- ❑ Aguas al sur de DS1 hasta Amanao: pH >8, As (~50 ug/l)
- ❑ Fe: se detecta en valores mayores a 300 ug/l (por ejemplo 488 ug/l en Amanao).

6. ANÁLISIS DE LA EVOLUCIÓN DE LA PLUMA DE DISPERSIÓN, BASADO EN EL SISTEMA DE RETROBOMBEO Y EN EL COMPORTAMIENTO DEL AGUA SUBTERRÁNEA, EN RELACIÓN CON LA DISTRIBUCIÓN DE POZOS PARA CUMPLIR CON LA FINALIDAD DE MANTENER LA PLUMA DE AGUAS DE PROCESO DENTRO DE LOS LÍMITES DEBIDOS .

¿Qué estoy buscando?

¿Cómo detecto condiciones de DAR con el análisis de los datos de los monitoreos de aguas?



6. ANÁLISIS DE LA EVOLUCIÓN DE LA PLUMA DE DISPERSIÓN, BASADO EN EL SISTEMA DE RETROBOMBEO Y EN EL COMPORTAMIENTO DEL AGUA SUBTERRÁNEA, EN RELACIÓN CON LA DISTRIBUCIÓN DE POZOS PARA CUMPLIR CON LA FINALIDAD DE MANTENER LA PLUMA DE AGUAS DE PROCESO DENTRO DE LOS LÍMITES DEBIDOS .

- ▶ Ejemplo Mina Delnite (Canadá) (Fuente: Prediction Manual for Drainage Chemistry from sulphidic geologic minerals, 2009 www.mend-nedem.org)

pH	6.8–7.8	PCA Vis Vis
Fe (ug/l)	35000	300–400 DCP: 800–1200
SO4 (mg/l)	1900–2600	100–2600
Zn (ug/l)	1500	DCP: 40–80 MW8: 200–600 DS1: <20 DS8: 10–40 *
Ni (ug/l)	4750	–
Cu (ug/l)	200	Todos no se detecta o decenas de ug/l
Pb (ug/l)	1000	Todos no se detecta
As (ug/l)	45000	Todos <120
Co (ug/l)	–	–

6. ANÁLISIS DE LA EVOLUCIÓN DE LA PLUMA DE DISPERSIÓN, BASADO EN EL SISTEMA DE RETROBOMBEO Y EN EL COMPORTAMIENTO DEL AGUA SUBTERRÁNEA, EN RELACIÓN CON LA DISTRIBUCIÓN DE POZOS PARA CUMPLIR CON LA FINALIDAD DE MANTENER LA PLUMA DE AGUAS DE PROCESO DENTRO DE LOS LÍMITES DEBIDOS .

Conceptos generales de metales y toxicidad

Entre los 106 elementos (conocidos por el hombre) que necesitamos para sostener la vida, 84 son metales, por lo que no es de extrañar que las posibilidades de contaminación metálica en el ambiente sean numerosas.

Entre los metales pesados los más importantes en cuestión de salud son el mercurio, el plomo, el cadmio, el níquel, el cromo y el zinc. Algunos elementos intermedios como el arsénico y el aluminio, los cuales son muy relevantes desde el punto de vista toxicológico, se estudian habitualmente junto a los metales pesados.

En síntesis: Hg, Pb, Cd, Ni, Cr, Zn, As, Al

6. ANÁLISIS DE LA EVOLUCIÓN DE LA PLUMA DE DISPERSIÓN, BASADO EN EL SISTEMA DE RETROBOMBEO Y EN EL COMPORTAMIENTO DEL AGUA SUBTERRÁNEA, EN RELACIÓN CON LA DISTRIBUCIÓN DE POZOS PARA CUMPLIR CON LA FINALIDAD DE MANTENER LA PLUMA DE AGUAS DE PROCESO DENTRO DE LOS LÍMITES DEBIDOS .

- ▶ **Zn, As** justamente no están vinculados al proceso minero, de ninguna manera pueden ser indicadores. Las variaciones son de origen natural (en este caso termal) como lo son otros elementos As, F, Zn, Li y Ba.
- ▶ **Sulfatos** en aguas dulces la concentración normal de SO₄: puede variar entre 2 y 150 mg/l. En aguas salinas asociado al Ca puede llegar a 5.000 mg/l. Asociado con Mg²⁺ y Na en salmueras puede alcanzar hasta 200 .000 mg/l.
- ▶ Las aguas naturales no contienen cantidades altas de sulfatos, en cantidades apreciables pueden tener efectos sobre el sabor y actuar como laxantes, especialmente en consumidores no habituales al agua de estas condiciones. La reglamentación técnico-sanitaria española establece como valor orientador de calidad 250 mg/l y como límite máximo tolerable 400 mg/l, concentración máxima admisible. No se tiene información sobre el riesgo de altas concentraciones de este parámetro en agua de riego. Agua con una concentración de sulfatos menores a 600 mg/L es considerada una agua buena. Agua con una concentración superior a 750 mg/L tiene un efecto laxante.
- ▶ **Mn** Ley 24585/95 (no) sugerido por la OMS 500 ug/l (consumo humano): DCP 2000–3000 ug/l/PB25=1900 ug/l
- ▶ **Mo** Ley 24585/95: para ganado 500 ug/l, 10 irrigación. OMS (consumo humano): 70 ug/l
PB25=92 ug/l, DCP 70–73 ug/l, TLW= 300 ug/l
- ▶ **Sr** : DCP 7000 ug/l, DS1: 2900 ug/l no hay nivel guía para consumo humano.

6. ANÁLISIS DE LA EVOLUCIÓN DE LA PLUMA DE DISPERSIÓN, BASADO EN EL SISTEMA DE RETROBOMBEO Y EN EL COMPORTAMIENTO DEL AGUA SUBTERRÁNEA, EN RELACIÓN CON LA DISTRIBUCIÓN DE POZOS PARA CUMPLIR CON LA FINALIDAD DE MANTENER LA PLUMA DE AGUAS DE PROCESO DENTRO DE LOS LÍMITES DEBIDOS .

- ▶ El PCA Sistema de Retrobombeo está funcionando para mantener la pluma de dispersión de sulfatos (y otros elementos asociados) que caracterizan las aguas del proceso minero, dentro de los límites de la concesión minera, y en la etapa de explotación que está prevista que finalice en 2018.
- ▶ El PCA Sistema de Retrobombeo se estima requiere de modificaciones y/o definiciones para la etapa de cierre y post-cierre de mina (informe de auscultación).
- ▶ Los PCA de Calidad de Aguas y Metales Trazas en Vis Vis vigentes han funcionado como medidas de monitoreo de aguas, en el río Vis Vis, es decir aguas abajo del dique de colas, para la etapa de cierre y post-cierre de mina.
- ▶ Ambos PCA (Calidad de Aguas y Metales Trazas en Vis Vis) se estima requieren de modificaciones y/o definiciones para la etapa de cierre y post-cierre de mina a fin de optimizarlos para dicha etapa, en base a toda la experiencia adquirida en 20 años de implementación, para repetir aciertos y corregir errores (concepto de mejora continua).

HACIA LOS PCA CALIDAD DE AGUAS VIS VIS Y METALES TRAZAS VIS VIS ETAPA CIERRE Y POST CIERRE DE MINA

- ▶ PCA CALIDAD DE AGUAS VIS VIS (interpretación y tabla de trabajo; fuente: información provista por DiPGAM)

Pozo de retrobombeo - Pozo de monitoreo - Punto de muestreo superficial		Variables indicadoras			Variable complementaria	Fuente
		Conductividad ($\mu\text{S/cm}$)	Sulfatos (mg/l)	Cloruros (mg/l)	Alcalinidad (mg/l)	
TLW		3486-4832	1864-2165	228-289	17-39	DiPGAM
DCP 2		3625-4770	1836-2098	225-291	73-113	DiPGAM
PB2 - PB25		3397-4796	1522-2346	250-354	66-104	DiPGAM
PB16 - PB27		2601-3688	1021-1670	193-278	87-116	DiPGAM
PB28		2055-3009	711-1152	145-214	82-105	DiPGAM
PB24		3558-4255	1734-1976	239-277	107-129	DiPGAM
MW33		2192-3520	882-1503	88-151	79-136	DiPGAM
T6		3946-4887	1795-2203	266-390	-	DiPGAM
MW25		729-838	133-166	31-44	185-212	DiPGAM
MW19		531-614	77-99	26-44	118-132	DiPGAM
HON1		1641-2238	566-851	122-171	60-89	DiPGAM
MW17		1482-1914	468-663	93-143	100-128	DiPGAM
MW18		1623-1888	518-699	117-146	73-95	DiPGAM
MW21		1234-1477	300-441	68-113	139-225	DiPGAM
MW30		No especificado				
MW35		No especificado				
MW7		1335-1550	320-386	85-136	196-300	DiPGAM
MW8		1980-2480	484-617	160-240	301-389	DiPGAM
MW15	Rango de variabilidad histórica	2167-2428	551-700	171-201	298-339	DiPGAM
	Rango de alerta	2560	773	217	(VM-2 ds) 278	
	Máximo no superable	2690	848	232	(VM-3 ds) 257	
DS1	Rango de variabilidad histórica	1934-2272	527-688	151-186	-	Res SEM 232-09
	Rango de alerta	2272-2441	688-768	186-203	-	
	Máximo no superable	2609	849	220	-	
DS4		No especificado				
DS5	Rango de variabilidad histórica	1940-2274	555-697	139-191	-	Res SEM 232-09
	Rango de alerta	2274-2441	697-769	191-216	-	
	Máximo no superable	2609	840	243	-	
DS6	Rango de variabilidad histórica	1773-2108	485-637	119-168	-	Res SEM 232-09
	Rango de alerta	2108-2275	637-713	168-193	-	
	Máximo no superable	2443	789	218	-	
DS7		1657-1985	492-622	122-161	-	DiPGAM
DS8	Rango de variabilidad histórica	1315-1725	347-512	92-134	-	Res SEM 240-09
	Rango de alerta	1725-1930	512-594	134-155	-	
	Máximo no superable	2135	676	176	-	
QLB		1396-2098	412-513	186-229	-	DiPGAM

HACIA LOS PCA CALIDAD DE AGUAS VIS VIS Y METALES TRAZAS VIS VISETAPA CIERRE Y POSTCIERRE DE MINA

- ▶ **TABLA EJEMPLO – HERRAMIENTA DE TRABAJO: PARA ANALISIS DE FORMATO DE PRESENTACIÓN DE DATOS QUÍMICOS (Fuente: LEY 24.585/95 e información provista por DiPGAM).**

Ley 24.585/95 ANEXO IV ($\mu\text{g/l}$ salvo pH)	Agua potable	Vida acuática en agua dulce	Bebida de ganado (¿total?)	Irrigación	Zona del dique de colas (Aguas contactadas - Aguas del proceso minero = EFLUENTE INDUSTRIAL) NORTE	Río Vis Vis – MW8 – DS1 (Los Baños) CENTRO	Río Vis Vis hasta Amanao SUR
pH	6.5-8.5	6.5-9.0	6.5-8.5	6.5-8.5	Muro y sector norte: 7.3 PB28: 7.5	7.25	≥8 (8.1-8.4)
STD	1×10^6	1×10^6	1×10^6	1×10^6	Muro y sector norte: $3,9 \times 10^6$ PB28: 2.5×10^6	1.6×10^6	$0.7-1.6 \times 10^6$
O ₂	5000	5000	5000	5000	Muro y sector norte: 3500-5000 PB28-MW17:4400	2638	DS1: 4720 DS8: 7000
Aluminio total	200		5000	5000	disuelto o total?	idem	idem
Antimonio total	10	16					
Arsénico total	50	50	500	100	¿disuelto o total?	idem	idem
Bario total	1000				¿disuelto o total?	idem	idem
Berilio total	0.039		100				
Boro total		750	5000	500			
Cadmio total	5	0.2	20	10	disuelto o total_ no se detecta/limite de detección?	idem	idem
Cianuro total	100	5					
Cinc total	5000	30	50	2000	¿disuelto o total?	idem	idem
Cobalto			1000	50			
Cobre total	1000	2	1000	200	disuelto o total?	idem	idem
Cromo total	50	2	1000	100	disuelto o total_ Mayormente no se detecta/limite de detección?_	Idem	Idem

HACIA LOS PCA CALIDAD DE AGUAS VIS VIS Y METALES TRAZAS VIS VISETAPA CIERRE Y POSTCIERRE DE MINA

Cromo ⁺⁶	50						
Fluoruro	1500						
Flúor			1000	1000			
Manganeso total		100			¿disuelto o total?	idem	idem
Mercurio total	1	0.1	2	2	disuelto o total? no se detecta/limite de deteccion	idem	idem
Molibdeno			500	10	¿disuelto o total? Otro standard.	idem	idem
Níquel	25	25	1000	200	disuelto o total? Mayormente no se detecta/limite de detección?	idem	idem
Nitrato	10000						
Nitrato	1000						
Paladio				5000			
Plata total	50	0.1					
Plomo total	50	1	100	200	disuelto o total?	idem	idem
Selenio total	10		50	20	Disuelto o total /no se detecta/limite de deteccion	idem	idem
Uranio total	100	20	200	10			
Vanadio total		100	100	100			

As	Cd	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Zn
Arsenic	Cadmium	Chromium	Copper	Mercury	Manganese	Nickel	Lead	Zinc



Portable Laboratory Metal Analyser PDV 6000 ULTRA

Fuente:

http://www.modernwater.com/assets/downloads/Brochures/MW_Factsheet_PD6000ultra_LowRes.pdf

Informe Final Preliminar
Estabilidad Química – IATASA-
26 de Abril de 2017

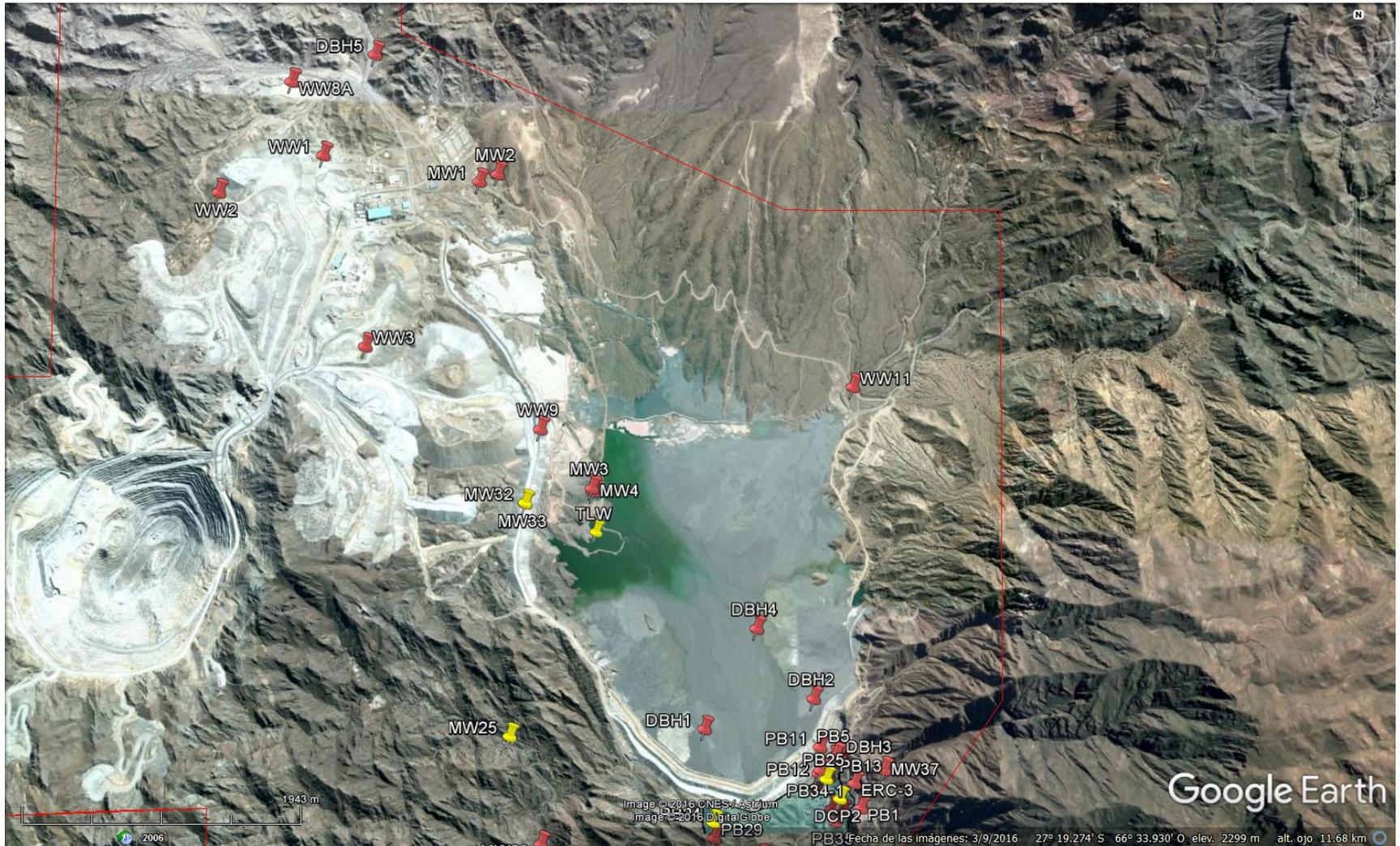


Figure 2
Galo tailings
deposit before rehabilitation (left)
and after rehabilitation (right).
Source: Anglo Gold Ashanti courtesy.



Fuente: www.ec.gc.ca/lcpe-epa/documents/codes/mm/mm-eng.pdf

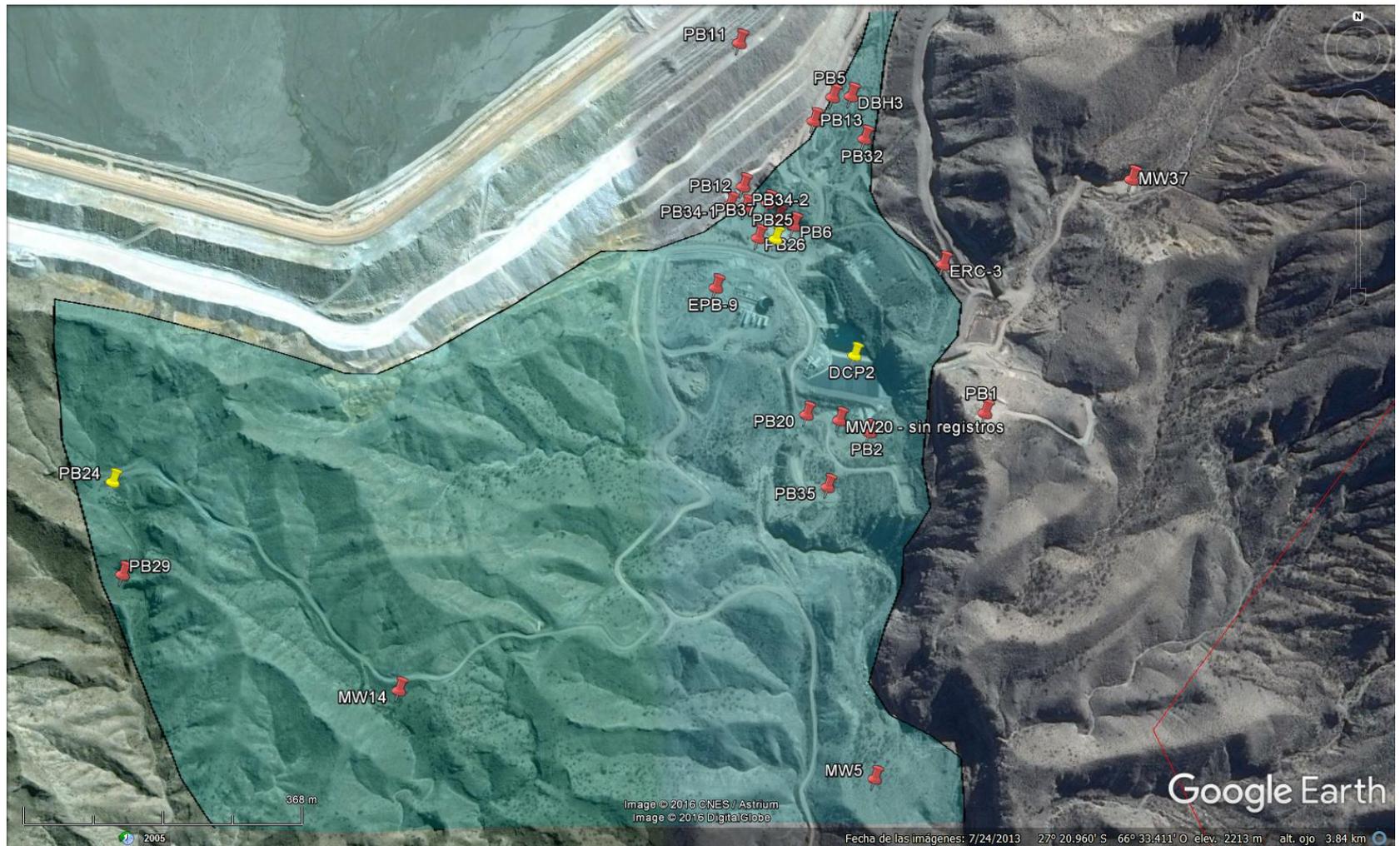
UBICACIÓN DE POZOS Y PUNTOS SUPERFICIALES DE MONITOREO (EN ROJO NO MONITOREADOS Y EN AMARILLOS MONITOREADOS SEGÚN PCA)



Fuente: elaborado por IATASA con información provista por DiPGAM

Informe Final Preliminar
Estabilidad Química – IATASA–
26 de Abril de 2017

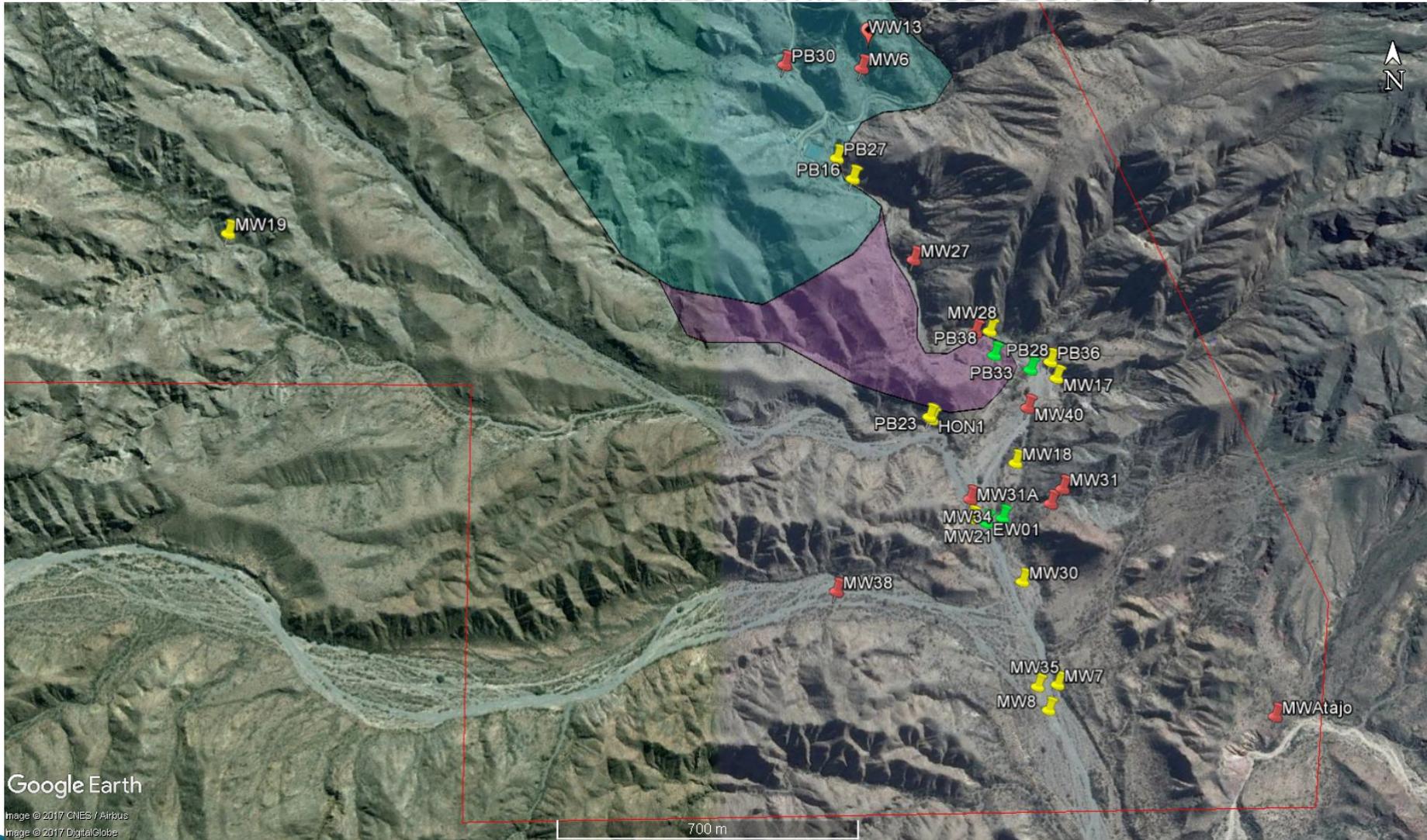
UBICACIÓN DE POZOS Y PUNTOS SUPERFICIALES DE MONITOREO (EN ROJO NO MONITOREADOS Y EN AMARILLOS MONITOREADOS SEGÚN PCA)



Fuente: elaborado por IATASA con información provista por DiPGAM

Informe Final Preliminar
Estabilidad Química - IATASA-
26 de Abril de 2017

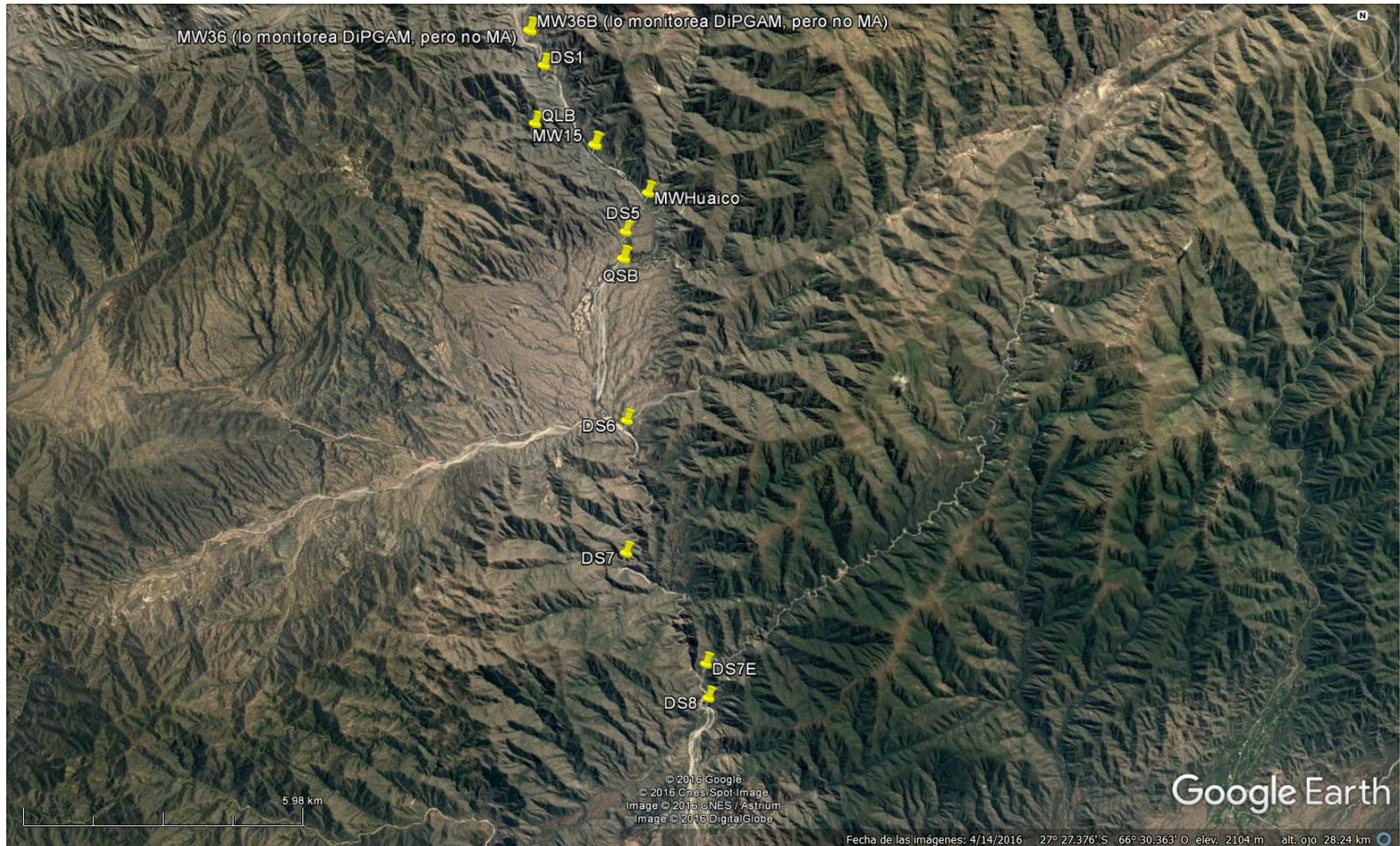
UBICACIÓN DE POZOS Y PUNTOS SUPERFICIALES DE MONITOREO (EN ROJO NO MONITOREADOS Y EN AMARILLOS MONITOREADOS SEGÚN PCA)



Fuente: elaborado por IATASA con información provista por DiPGAM

Informe Final Preliminar
Estabilidad Química - IATASA-
26 de Abril de 2017

UBICACIÓN DE POZOS Y PUNTOS SUPERFICIALES DE MONITOREO (EN ROJO NO MONITOREADOS Y EN AMARILLOS MONITOREADOS SEGÚN PCA)



Fuente: elaborado por IATASA con información provista por DiPGAM

Informe Final Preliminar
Estabilidad Química – IATASA–
26 de Abril de 2017



DIRECCIÓN PROVINCIAL DE GESTIÓN AMBIENTAL MINERA

ANÁLISIS DE LAS PROPUESTAS DE DISEÑO DE CIERRE DEL
DIQUE DE COLAS Y OBRAS ANEXAS QUE REALICE MINERA ALUMBRERA
ESTABILIDAD QUÍMICA

PROVINCIA DE CATAMARCA

**ANÁLISIS DEL DISEÑO FINAL, MATERIALES Y MÉTODOS DE
TRABAJO PARA LA COBERTURA Y REVEGETACIÓN DEL
DIQUE DE COLAS**

ABRIL 2017

IATASA
INGENIERÍA

ESQUEMA DE LA PRESENTACIÓN

1. MARCO CONCEPTUAL APLICADO AL ANÁLISIS DE LO ACTUADO

COMENTARIO INICIAL Y SUPUESTOS BÁSICOS
DETERMINANTES REGULATORIOS DEL MARCO CONCEPTUAL

2. CRITERIOS METODOLOGICOS Y PRODUCTOS

3. OBSERVACIONES PRINCIPALES E INTERROGANTES ACERCA DE LO ACTUADO

4. CONCLUSIONES Y SUGERENCIAS

5. ALGUNOS ENFOQUES CONCEPTUALES Y METODOLÓGICOS

6. EJEMPLOS DE RESTAURACIÓN AMBIENTAL EN CIERRE DE MINAS

1. MARCO CONCEPTUAL APLICADO AL ANÁLISIS DE LO ACTUADO

COMENTARIO INICIAL



CEDULA DE NOTIFICACION DiPGAM
DEPARTAMENTO EVALUACIÓN DE PROGRAMAS ESPECIALES N° 154/16

- 
- No se cuenta en campo con un programa de revegetación definido, sino que se continúa con pruebas y ensayos.
 - La revegetación debe cumplir con el proceso de conducción para que su evolución sea independiente.

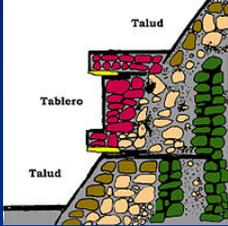
- 
- La cobertura de cierre debe ser realizada en un plazo de hasta 10 años, caso contrario se originaría el desarrollo de colas fuertemente acidas cerca de la superficie.

- 
- h) Efectuar previsiones de contingencia ante escenarios de fitotoxicidad que perjudiquen la cobertura vegetal a implementar.

SUPUESTOS BÁSICOS

- **La revegetación es sólo una de las acciones de un Plan de Cierre Minero.**
- **El sistema a rehabilitar (SISTEMA AGUA-SUELO-PLANTA-AIRE) es un sistema complejo regido por la interacción de componentes bióticos y abióticos.**
- **La vegetación es un componente estructurador del sistema a rehabilitar interdependiente del sustrato edáfico y del clima .**

- **La revegetación tiene funciones diferenciadas , múltiples y no siempre concurrentes en el logro de los objetivos que se planteen**

<p>FUNCIÓN A</p>	<p>estabilización física y química de la cobertura y material subyacente de un dique de colas o botaderos</p>	<p>INSTRUMENTO DEL CIERRE</p>	
<p>FUNCION B</p>	<p>integración de un proceso de RECOMPOSICIÓN o de REHABILITACION en los términos de la Ley 24.585</p>	<p>OBJETIVO DEL CIERRE</p>	

Fuente: IATASA

- **Los tiempos para arribar a diferentes objetivos demandan tiempos también diferentes.**
- **La matriz edáfica, o soporte de la vegetación, puede ser suelo natural , suelo artificial producto de la alteración de la matriz edáfica original por actividades antrópicas, o sustratos elaborados para funciones de sostén vegetal.**
- **La restauración de un sitio requiere la definición del uso a futuro o de restricciones de uso del mismo .**
- **En todos los casos se necesita la mejor delimitación posible de los objetivos de revegetación/restauración, y su potencial desarrollo en el tiempo.**

DETERMINANTES REGULATORIOS DEL MARCO CONCEPTUAL

- EI MARCO CONCEPTUAL DE TRABAJO ADOPTADO es el que define la Ley 24.585 la que se refiere a los alcances de un PLAN DE MANEJO AMBIENTAL en los siguientes términos:
- *“Plan en el que se presenten organizadas, según etapas y cronología de ejecución, las medidas y acciones de prevención y mitigación del impacto ambiental, y rehabilitación, restauración o recomposición del medio alterado, según correspondiere, desde el inicio de la construcción de la infraestructura para la explotación hasta el cierre temporario o abandono del yacimiento. De acuerdo al tipo de explotación y el grado de riesgo o peligrosidad deberá incluir un Plan de Monitoreo de las emisiones sólidas, líquidas y gaseosas, según resultare necesario” LEY 24.585 - Glosario*

DETERMINANTES REGULATORIOS DEL MARCO CONCEPTUAL

Fuente: Resolución S.E.M.N° 330/2013

5.4.1 Objetivos del programa

Conforme lo expuesto en el Documento 1 Código: CM-Diq-7. Revegetación del Dique de Colas – Áreas Planas Versión: 01 Revisión: 00 Ítem 2.1 se definen como objetivos del Programa *“desarrollar la metodología adecuada para la revegetación con especies nativas en las áreas planas rehabilitadas del Dique de Colas y de esta manera prevenir la erosión y promover la formación de suelo y restauración del paisaje natural de la zona”*. Este propósito es luego consagrado posteriormente en los considerandos de la Res. SEM N°330/13 que aprueba la Versión 01 Rev. 01 del mismo. En razón de no existir otras normas regulatorias nacionales o provinciales que los modifiquen en sus contenidos y alcances, y que los mismos son adoptados por una norma legal emanada de las autoridades competentes se considera que es el marco referencial para el análisis de estas actuaciones.

DETERMINANTES REGULATORIOS DEL MARCO CONCEPTUAL

Fuente: Resolución S.E.M.N° 396/2016

VISTO:

La necesidad de complementar el marco regulatorio establecido por la ley N° 24.585, en el ámbito de Cierre de Mina, para efectos de su implementación, sin perjuicio de otras normas especiales que se dicten respecto de la misma Ley, y;

CONSIDERANDO:

Que las actividades concernientes al cierre de las labores mineras e instalaciones de la Industria Extractiva Minera son parte del ciclo de su vida útil, y deben ser ejecutadas por la Empresa Minera antes del término de sus operaciones, de manera tal que, al cese de éstas, se encuentren implementadas las condiciones de Estabilidad Física, Química y estructural en el lugar en que operó la Minera.

Que es necesario establecer las normas que regulen el Cierre de las Labores e Instalaciones mineras, de conformidad con la ley N° 24.585, necesarias para la prevención y control de los riesgos sobre la vida, la salud y la seguridad de las personas y el medio ambiente, y que pudieran derivarse del Cese de las Operaciones de las Actividades Mineras e instalaciones mineras.

Que debe protegerse la vida, la salud y seguridad de las personas y la protección del medio ambiente, mediante la importancia de mitigar y/o compensar los efectos que se derivan del desarrollo de la Industria Extractiva Minera, en los lugares en que ésta se realiza, procurando asegurar la Estabilidad Física, Química y estructural de los mismos, en conformidad a la normativa ambiental vigente, como así también identificar y cuantificar económicamente las medidas de acción que deban ser desarrolladas durante la vida útil de la misma, a fin de mitigar los efectos antes señalados.

DETERMINANTES REGULATORIOS DEL MARCO CONCEPTUAL

EL SECRETARIO DE ESTADO DE MINERIA RESUELVE:

ARTÍCULO 1°.- Aprobar la “Guía para la elaboración del plan de cierre para la industria minera en la provincia de Catamarca” que conforman la presente Resolución.-

ARTÍCULO 2°.- La presentación del Plan de Cierre de Minas es una obligación exigible a todo titular de concesión actividad minera o autorizado por cualquier medio a realizar tareas mineras de sustancias de todas las categorías previstas en el Código de Minería, que se encuentre en operación, que inicie operaciones mineras o las reinicie después de haberlas suspendido o paralizado antes de la vigencia de la presente, y no cuenten con un Plan de Cierre de Minas aprobado por la Secretaría de Estado de Minería.-

- **Rehabilitación:** Acción de restablecimiento de la función productiva o aptitud potencial de un recurso hídrico o del suelo.

2. CRITERIOS METODOLOGICOS Y PRODUCTOS

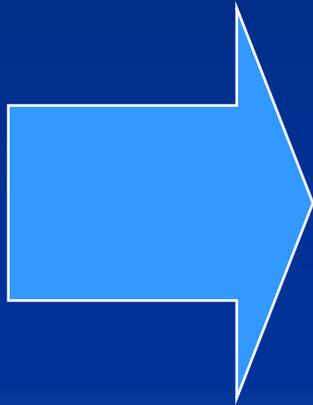


UNA RESPUESTA AL MARCO REGULATORIO



Plan de Cierre de Mina
Minera Alumbra YMAU - UTE

ALGUNOS CRITERIOS PARA EL
CIERRE DE MINA



Calidad de suelos: Evitar impactos negativos en la calidad de los suelos, causados por sustancias líquidas, residuos de cualquier categoría u otros insumos que provengan de la etapa de operación o cierre.

Calidad de los hábitats, flora y fauna: Realizar acciones que permitan la recuperación natural de los hábitats. Cuando sea posible propiciar la revegetación de áreas intervenidas durante la etapa de producción.

Paisaje y morfología: Realizar tareas tendientes a recuperar áreas perturbadas, teniendo en cuenta las condiciones de base del sitio. Se deberá considerar configuraciones del terreno armónicas con el paisaje y la morfología del entorno.

Posibles cambios químicos o lixiviación de metales no deben poner en peligro la salud de las personas, fauna o modificar la calidad del agua, aguas abajo del proyecto.

Recuperación de la capacidad de sostenimiento de vida silvestre de las áreas intervenidas

Se revegetarán aquellas superficies que queden expuestas a procesos erosivos severos o puedan convertirse en fuentes importantes de emisión de polvo.

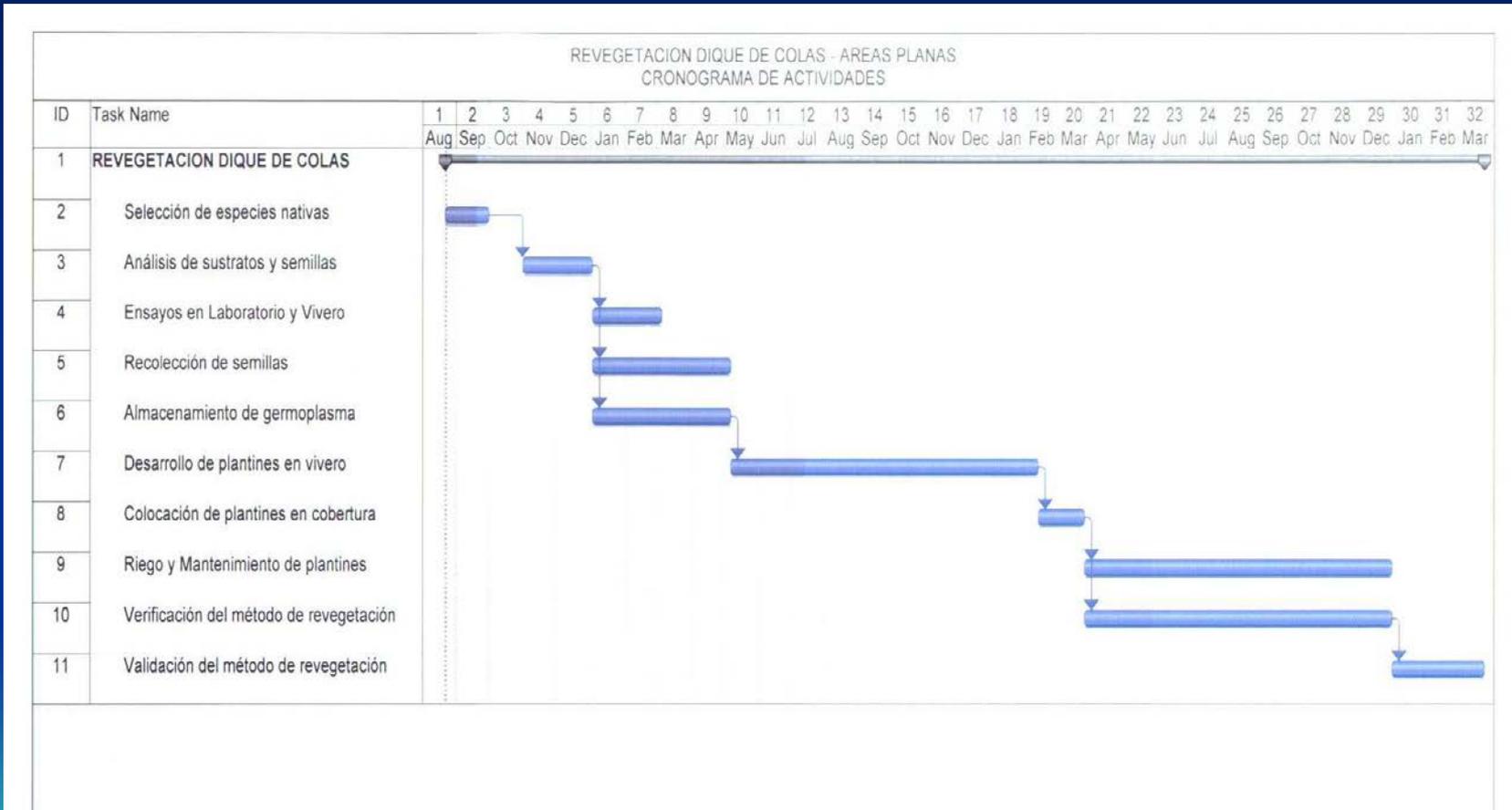
Solo se utilizarán especies nativas para revegetación para promover una vegetación sostenible en el tiempo, totalmente adaptada a las características climáticas y calidad de suelo del área. Las actividades de revegetación se realizarán en la medida de las posibilidades que ofrece el entorno, siempre que sea factible técnicamente, siendo la naturaleza del sustrato el principal condicionante.

**3. OBSERVACIONES PRINCIPALES E
INTERROGANTES ACERCA DE LO
ACTUADO
PROGRAMA DE REVEGETACIÓN**



3. OBSERVACIONES PRINCIPALES E INTERROGANTES LOS AVANCES

PROGRAMA DE REVEGETACIÓN MAA CRONOGRAMA

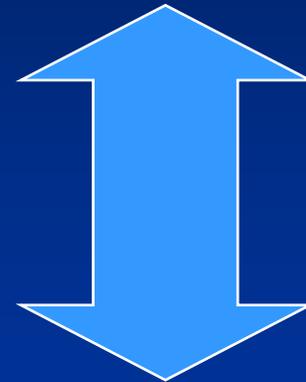


Fuente: información provista por la DiPGAM

3. OBSERVACIONES PRINCIPALES E INTERROGANTES - LAS ACCIONES

DETALLE DE TAREAS SEGUN CRONOGRAMA V01 -Rev00

1	REVEGETACION DIQUE DE COLAS
2	Selección de especies nativas
3	Análisis de sustratos y semillas
4	Ensayos en Laboratorio y Vivero
5	Recolección de semillas
6	Almacenamiento de germoplasma
7	Desarrollo de plantines en vivero
8	Colocación de plantines en cobertura
9	Riego y Mantenimiento de plantines
10	Verificación del método de revegetación
11	Validación del método de revegetación



2008-----2015



2016

3. OBSERVACIONES PRINCIPALES E INTERROGANTES – LAS ACCIONES

Programa de Revegetación de Áreas Rehabilitadas en Minera Bajo de la Alumbraera.

Etapas y Desarrollo del Proyecto

ETAPAS Actividades realizadas

ETAPA I (Noviembre 2008 – Diciembre 2009)

- Caracterización del suelo;
- Caracterización de la vegetación;
- Establecimiento de pruebas de plantación orientativas;
- Producción de plantas en vivero;

ETAPA II (Febrero 2010 – Diciembre 2011)

- Establecimiento y seguimientos de ensayos experimentales;
- Elaboración de una metodología de revegetación masiva en zonas áridas de botaderos;

ETAPA III (Enero 2012 – Diciembre 2012)

- Revegetación progresiva y seguimiento de las plantaciones establecidas durante los años pasados.

3. OBSERVACIONES EFECTUADAS E INTERROGANTES – LAS ACCIONES

Programa de revegetación de botaderos: Estudios y actividades preliminares

Producción de plantas en vivero



Fuente:
información
provista por la
DiPGAM

3. OBSERVACIONES EFECTUADAS E INTERROGANTES – LAS ACCIONES

Programa de revegetación de botaderos: Estudios y actividades preliminares



Fuente:
información
provista por
la DiPGAM

3. OBSERVACIONES EFECTUADAS E INTERROGANTES – ENSAYOS A CAMPO

Foto: plantación de Abril 2010 en Barren Core



Ausenco
Vector

Programa de Revegetación de Áreas Rehabilitadas en Minera Bajo de la Alumbrera I. Septiembre 2010

Fuente: información provista por la DiPGAM

LOS INTERROGANTES

- **QUÉ OBJETIVOS SE PLANTEA EL PROGRAMA Y CUALES SON LAS PRIORIDADES: ESTABILIDAD FÍSICO-QUÍMICA VS. RESTAURACIÓN AMBIENTAL**
- **CUÁLES SON LAS METAS A ALCANZAR Y LAS ETAPAS DE TRABAJO QUE DEMANDAN**
- **CON QUE HORIZONTES TEMPORALES SE PLANTEAN ESTOS OBJETIVOS**
- **CUÁLES SON LOS PATRONES DE – DISEÑO DE DISTRIBUCIÓN DE VEGETACIÓN EN CONCORDANCIA CON LOS OBJETIVOS QUE SE PLANTEEN**
- **QUE CRONOGRAMA DE REVEGETACIÓN - RESTAURACIÓN ESTÁ VIGENTE**
- **CUALES LOS RECURSOS NECESARIOS BIÓTICOS Y ABIÓTICOS**
- **CUÁL ES EL PLAN DE PLANTACIÓN EN BASE AL CUAL SE DISEÑARÁN LAS ACTIVIDADES CULTURALES**
- **CORRESPONDIENTES; PREPARACIÓN DEL SUSTRATO, PLANTACIÓN, MANTENIMIENTO, MONITOREO**

LOS INTERROGANTES

- **CUAL ES LA METODOLOGÍA DE REVEGETACIÓN EXPRESADA EN TÉRMINOS DE : FORMAS DE PROPAGACIÓN (SIEMBRA-TRASPLANTE) Y EL GRADO DE CRECIMIENTO DE LOS EJEMPLARES ; UNIDADES ÁREAS/TIEMPO;**
- **COMO SE CONSIDERAN LOS PATRONES DE PAISAJE LOCALES CAPACES DE INTEGRAN EL RELIEVE-MICRORELIEVE ZONAL**
- **QUE MEDIDAS SE PREVEEN PARA CONTROL DE LA EROSIÓN EÓLICA E HÍDRICA**
- **CUÁLES SON LAS ESPECIES ESCOGIDAS Y CON QUÉ CRITERIO DE SELECCIÓN SE HA OPERADO**
- **CUALES SON LOS SUPUESTOS DE COBERTURA VEGETAL A ALCANZAR**
- **SE HAN DEFINIDO ÁREAS OPERATIVAS DIFERENCIADAS**
- **PARA QUE PATRÓN DE USO FUTURO SE HA PREVISTO EL DISEÑO DE LA PLANTACIÓN**
- **QUE HIPOTESIS DE PERDIDA DE EJEMPLARES Y DE REPOSICIÓN SE ESPERA**

4. CONCLUSIONES Y SUGERENCIAS

COMPONENTE REVEGETACIÓN	
Hallazgo	Recomendación
Las especies consideradas en los ensayos son en su totalidad nativas..	Incorporar el análisis de factibilidad del empleo de especies exóticas colonizadoras que faciliten en un proceso de sucesión secundaria el establecimiento de especies nativas.
No se observó un método unívoco para el seguimiento y monitoreo de la efectividad de las distintas acciones de reproducción de ejemplares vegetales.	Instrumentar un registro de ejemplares integral por especie en condiciones de ser trasplantados. Llevar registro del material almacenado en el banco de germoplasma que conserve su capacidad germinativa.
Los ensayos se efectuaron sin considerar suficientes escenarios de afectación por sales, metales o acidez, lo cual puede no ser representativo de la condición a largo plazo.	Investigar la respuesta de las especies empleadas en la revegetación ante la eventual presencia de agentes potencialmente contaminantes en la matriz edáfica o el agua superficial.
No observó una adecuada representatividad de la caracterización del material Tampa Tampa en lo concerniente a su aptitud para soportar las necesidades diferenciales de requerimientos de las distintas especies vegetales consideradas.	Ampliar la investigación específica orientada a determinar la capacidad de la matriz edáfica para el cultivo de la vegetación que incluya al menos los siguientes parámetros: CE, CIC, pH, Materia orgánica, N, P, K y metales pesados en el horizonte superficial ampliando la representatividad de las muestras.
No se observó un completo registro de requerimientos para el cultivo de las especies escogidas.	Evaluar y sistematizar los requerimientos de cultivo y características fisiológicas de las especies elegidas en cuanto a, entre otros aspectos: calidad de suelo y profundidad de exploración del sistema radicular, tolerancias a la salinidad y rango de pH aceptable, comportamiento ante la eventual presencia de las sustancias contenidas en la Tabla 7 del Anexo IV de la Ley 24.585, requerimientos hídricos en cantidad y estacionalidad.

<p>No se observó un método unívoco para el seguimiento y monitoreo de la efectividad de las distintas acciones de reproducción de ejemplares vegetales.</p>	<p>Instrumentar un registro de ejemplares integral por especie en condiciones de ser trasplantados. Llevar registro del material almacenado en el banco de germoplasma que conserve su capacidad germinativa.</p>
<p>Los ensayos se efectuaron sin considerar suficientes escenarios de afectación por sales, metales o acidez, lo cual puede no ser representativo de la condición a largo plazo.</p>	<p>Investigar la respuesta de las especies empleadas en la revegetación ante la eventual presencia de agentes potencialmente contaminantes en la matriz edáfica o el agua superficial.</p>
<p>No observó una adecuada representatividad de la caracterización del material Tampa Tampa en lo concerniente a su aptitud para soportar las necesidades diferenciales de requerimientos de las distintas especies vegetales consideradas.</p>	<p>Ampliar la investigación específica orientada a determinar la capacidad de la matriz edáfica para el cultivo de la vegetación que incluya al menos los siguientes parámetros: CE, CIC, pH, Materia orgánica, N, P, K y metales pesados en el horizonte superficial ampliando la representatividad de las muestras.</p>
<p>No se observó un completo registro de requerimientos para el cultivo de las especies escogidas.</p>	<p>Evaluar y sistematizar los requerimientos de cultivo y características fisiológicas de las especies elegidas en cuanto a, entre otros aspectos: calidad de suelo y profundidad de exploración del sistema radicular, tolerancias a la salinidad y rango de pH aceptable, comportamiento ante la eventual presencia de las sustancias contenidas en la Tabla 7 del Anexo IV de la Ley 24.585, requerimientos hídricos en cantidad y estacionalidad.</p>
<p>Respecto de los criterios de cierre asociados al uso futuro, no se observa una componente basada en un estudio pormenorizado de potencialidades asociadas a necesidades o aspiraciones por parte de la comunidad.</p>	<p>Evaluar el área en términos de aptitud de uso potencial, a fin de contar con la información necesaria que permita eventuales procesos de planificación de refuncionalización de las áreas afectadas.</p>

Componente Diseño de cobertura como soporte de revegetación

Hallazgo	Recomendación
Se efectuaron diversos ensayos de cobertura, los mejores resultados se observaron en la <u>celda de 0,8 m (TP9)</u>	Definir <u>criterios de aceptabilidad y costoefectividad</u> a los fines de soportar la toma de decisión respecto de la mejor alternativa
Los ensayos se realizaron en un <u>período de tiempo limitado</u> que no es representativo de la perpetuidad.	Efectuar ensayos de menor escala, simulando <u>escenarios climáticos extraordinarios</u> .
Dada la presencia de <u>metales en colas</u> , podría producirse afectación del componente de revegetación.	Efectuar previsiones de contingencia ante escenarios de <u>fitotoxicidad</u> .
El sistema de canalizaciones no pareciera contemplar el <u>deterioro con los años</u> .	Revisar el diseño, contemplando el <u>uso de hormigón armado</u> que garantice estabilidad a largo plazo.

Componente Diseño de cobertura como soporte de revegetación

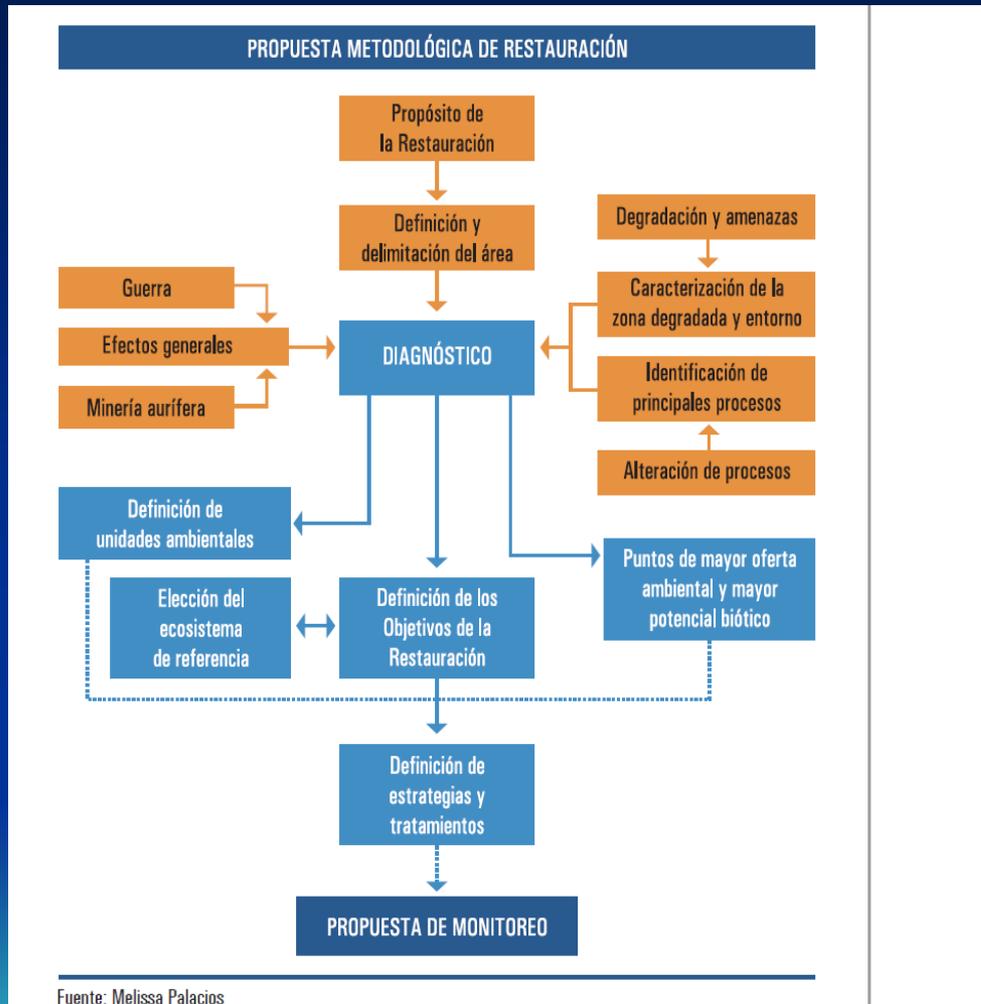
Hallazgo	Recomendación
El <u>sistema de agua no contactada</u> parece estar diseñando para precipitaciones ordinarias.	Revisar su diseño asegurando un <u>Tiempo de Recurrencia no menor a 100 años</u> .
El carácter temporal del sistema de canalización podría implicar <u>aportes hídricos no previstos</u> a la cobertura.	Analizar esta condición temporal para identificar <u>posibles conflictos con el resto de los componentes</u> .
El material Tampa Tampa sería incapaz de generar DAR, pero no es clara su <u>aptitud como soporte de vegetación</u> .	Precisar sobre <u>correcciones por salinidad</u> , para el mantenimiento de la vegetación a largo plazo.
<u>Variabilidad del material Tampa Tampa en los horizontes</u> .	<u>Homogeneización</u> previo a su colocación sobre las colas.

Componente Diseño de cobertura como soporte de revegetación

Hallazgo	Recomendación
<p>Se considera el monitoreo de agua subterránea aguas abajo del dique, pero dicho monitoreo tendrá una capacidad limitada para detectar <u>anomalías en los primeros años.</u></p>	<p>Incluir un componente de <u>monitoreo directo del sistema de cobertura.</u></p>
<p>Los criterios de cierre asociados al <u>uso futuro</u> no se basan en un estudio pormenorizado de potencialidades y necesidades de la comunidad.</p>	<p>Evaluar <u>aptitud de uso potencial</u>, a fin de contar con la información que permita planificación de refuncionalización de las áreas afectadas.</p>

5. ALGUNOS ENFOQUES CONCEPTUALES Y METODOLÓGICOS ALTERNATIVOS

RESTAURACION DE AMBIENTES
DEGRADADOS



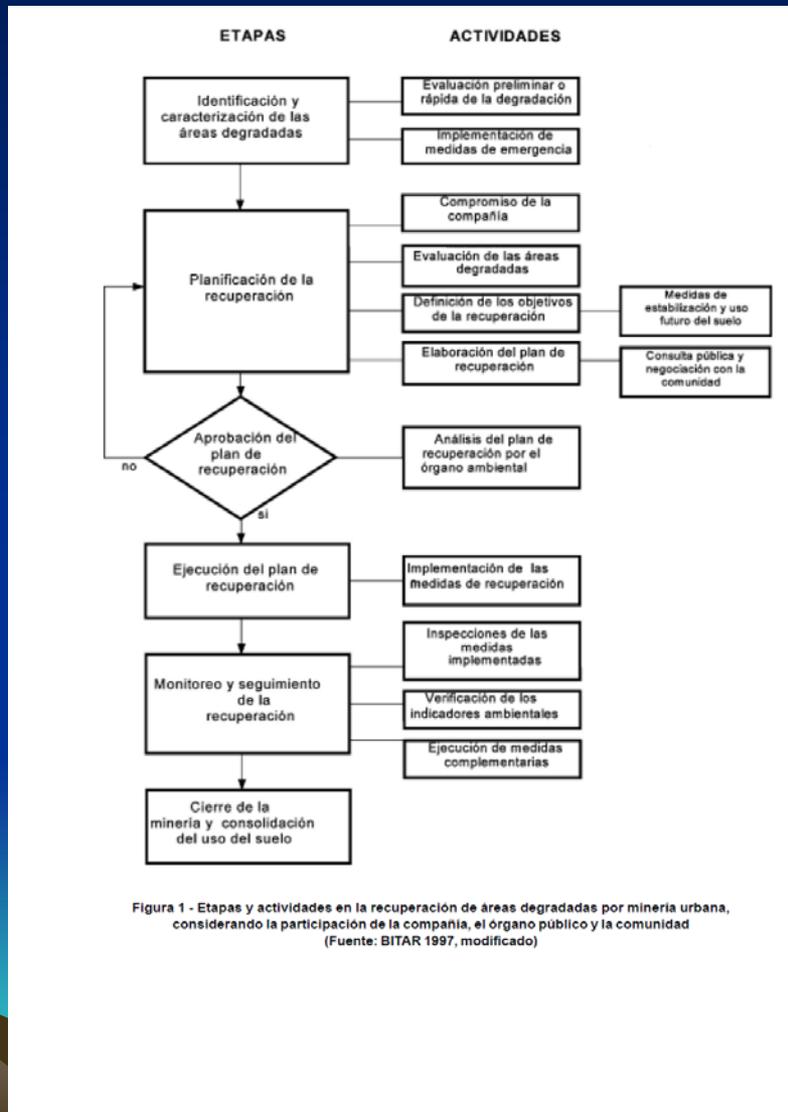
5. ALGUNOS ENFOQUES CONCEPTUALES Y METODOLÓGICOS

3.3. Principales factores y procesos para el éxito de la restauración

En cada ecosistema existen procesos y factores específicos que contribuyen con su funcionamiento; será necesario determinar cuáles son estos y evaluar su estado de alteración o degradación para establecer los objetivos de la restauración. Los esfuerzos deberán enfocarse principalmente en restablecer el funcionamiento de los procesos primarios esenciales: aquellos que intervienen en la estabilidad del suelo (procesos erosivos), la hidrología (infiltración y escorrentía) y el ciclo de nutrientes. Así también en favorecer el movimiento de los recursos limitados como, por ejemplo, suelo, agua, nutrientes y materia orgánica.

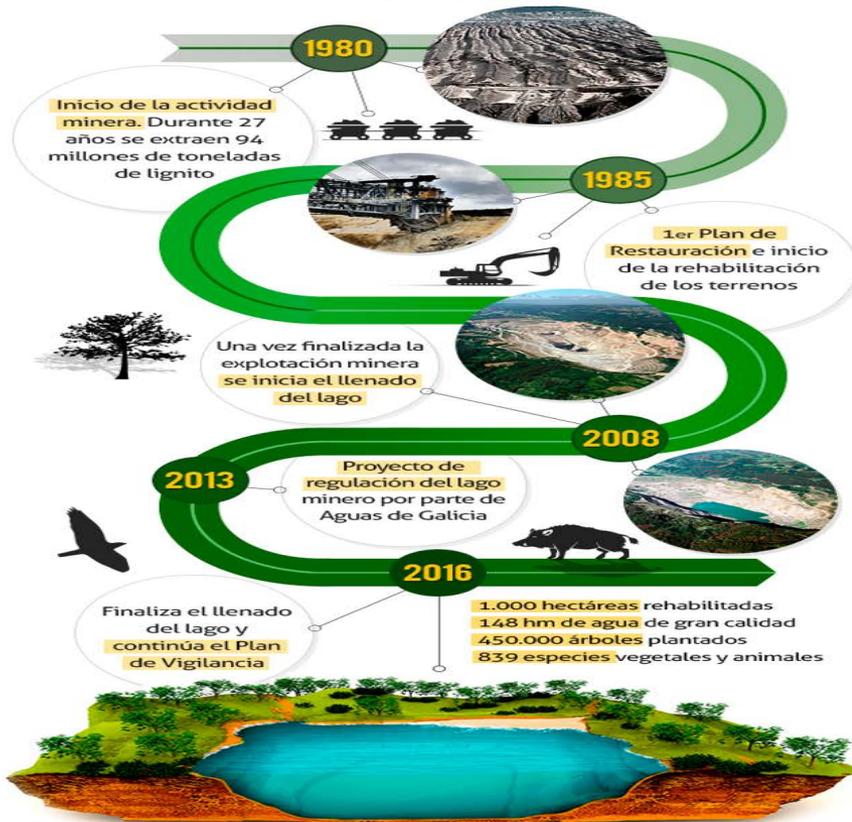
5. ALGUNOS ENFOQUES CONCEPTUALES Y METODOLÓGICOS

UN ESQUEMA ALTERNATIVO DE PLAN DE RESTAURACIÓN DE ÁREAS DEGRADADAS POR MINERÍA



6 . ALGUNOS EJEMPLOS EXITOSOS EN MINERÍA

Lago Meirama, un ejemplo de rehabilitación medioambiental



LA VANGUARDIA Fuente: Gas Natural Fenosa. Grafismo: Natalia Palazón.

Así se transforma una mina
en el mayor lago artificial del mundo
La rehabilitación del yacimiento de lignito de Cerceda
es una de las actuaciones medioambientales
más importantes de España



6 . ALGUNOS EJEMPLOS EXITOSOS EN MINERÍA EL LAGO MEIRANA



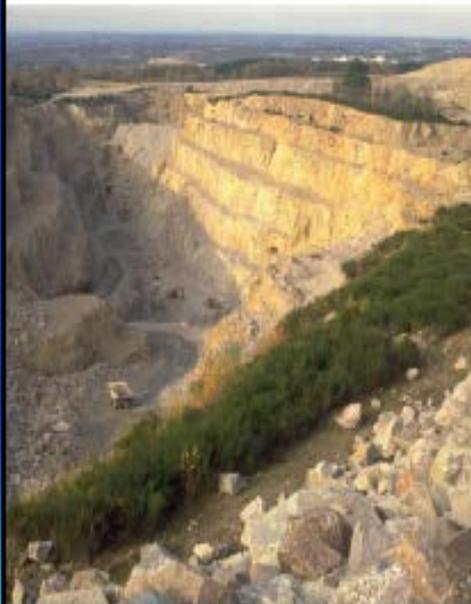
Fuente: IATASA

6. ALGUNOS EJEMPLOS EXITOSOS EN MINERÍA

Clausura y restauración ambiental

De mina de uranio a lago de pesca: restauración ambiental de la región francesa de Lemosín

Aabha Dixit



Antes y después: restauración ambiental en la región francesa de Lemosín.

(Fotografía: ARIVA, Francia)

6. ALGUNOS EJEMPLOS EXITOSOS EN MINERÍA

A continuación ilustramos algunas de las actuaciones llevadas a cabo en los últimos años en las distintas canteras para minimizar el impacto visual.

(2007) Cantera Sierra Valleja (Arcos de la Frontera, Cádiz)

- Restauración del talud lateral de la zona de báscula fase I: plantación de algarrobos, retama y mimosas.
- Creación de un segundo mirador y ajardinamiento de la zona.



Ajardinamiento zona báscula en Cantera Sierra Valleja
(Arcos de la Frontera - Cádiz)



Detalle restauración y mirador en Cantera Sierra Valleja
(Arcos de la Frontera - Cádiz)

6. ALGUNOS EJEMPLOS EXITOSOS EN MINERÍA

Para conseguir la máxima **aclimatación de las especies vegetales** en la zona a restaurar se ha puesto en marcha un **vivero propio** donde las distintas especies permanecerán durante un tiempo que oscilará entre 1 y 2 años. En este vivero, que a su vez se encuentra provisto de un **semillero**, todas las macetas están dotadas de un sistema de riego por goteo.



Detalle semillero en el interior del vivero

MUCHAS GRACIAS

Ing. Agr. Ricardo César Palotta



DIRECCIÓN PROVINCIAL DE GESTIÓN AMBIENTAL MINERA PROVINCIA DE CATAMARCA

ANÁLISIS DE LAS PROPUESTAS DE DISEÑO DE CIERRE DEL DIQUE DE COLAS Y OBRAS ANEXAS QUE REALICE MINERA ALUMBRERA

AUSCULTACION DE PRESA

Informe Final - Preliminar

26 Abril 2017

AUSCULTACIÓN

INFORME FINAL - PRELIMINAR

Cronograma

AÑO		2014												2015												2016												2017				
MES		MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY				
ETAPAS		17												18																												
DATOS DISPONIBLES POR LA DIPGAM	NIVELES DE AGUA	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X							
	LECTURAS DE PIEZÓMETROS	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X						
	LECTURAS DE VERTEDEROS	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X						
	CASETA 3														X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X						
	POZOS DE RETROBOMBEO	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X																		
	ANÁLISIS DE ARRASTRE DE SOLIDOS	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X																		
	TURBIDEZ	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X																		
INFORMES PRESENTADOS POR MINERA ALUMBRERA KP	ETAPA 17																																									
	ETAPA 18																																						X			
	ETAPA 19																																									
INFORMES PRESENTADOS POR IATASA	PLAN DE CIERRE DE MINA																																						X			
	INFORME FINAL 2014 (CONTRATO ANTERIOR)								X																																	
	INFORME DE AVANCE Nº1																																						X			
	INFORME DE AVANCE Nº2																																						X			
RESPUESTAS DE MINERA ALUMBRERA	INFORME DE AVANCE Nº3																																						X			
	INFORME DE AVANCE Nº1																																						X			
	INFORME DE AVANCE Nº2																																									
INFORME FINAL																																							X			

Avance Auscultación aproximadamente 92%

Análisis de Antecedentes:

- 1. Envíos de DiPGAM*
- 2. Recopilados por IATASA*

Monitoreo:

Presión de poros (piezómetros de cuerda vibrante)

Caudales de infiltración a través de drenes

Caudal de agua infiltrada DCP y pozos de bombeo

Niveles de agua en los pozos de bombeo y monitoreo

Asentamientos en monolitos topográficos en espaldón

Nivel de la laguna sobrenadante

Etapa Constructiva	Cota Coronamiento Muro [msnm]	Altura máxima del Muro [m]
Etapa 1	2255,0	50
Etapa 2	2262,0	57
Etapa 3	2268,0	63
Etapa 4	2273,2	68,2
Etapa 5	2276,0	71
Etapa 6	2280,0	75
Etapa 7	2287,0	82
Etapa 8	2290,0	85
Etapa 9	2296,0	91
Etapa 10	2302,0	97
Etapa 11	2308,0	103
Etapa 12	2314,0	109
Etapa 13	2320,0	115
Etapa 14	2326,0	121
Etapa 15	2330,5	125,5
Etapa 16	2335,5	130,5
Etapa 17	2338,9	133,9
Etapa 18	2343,0	138
Etapa 19 (en proceso)	2347,0	142

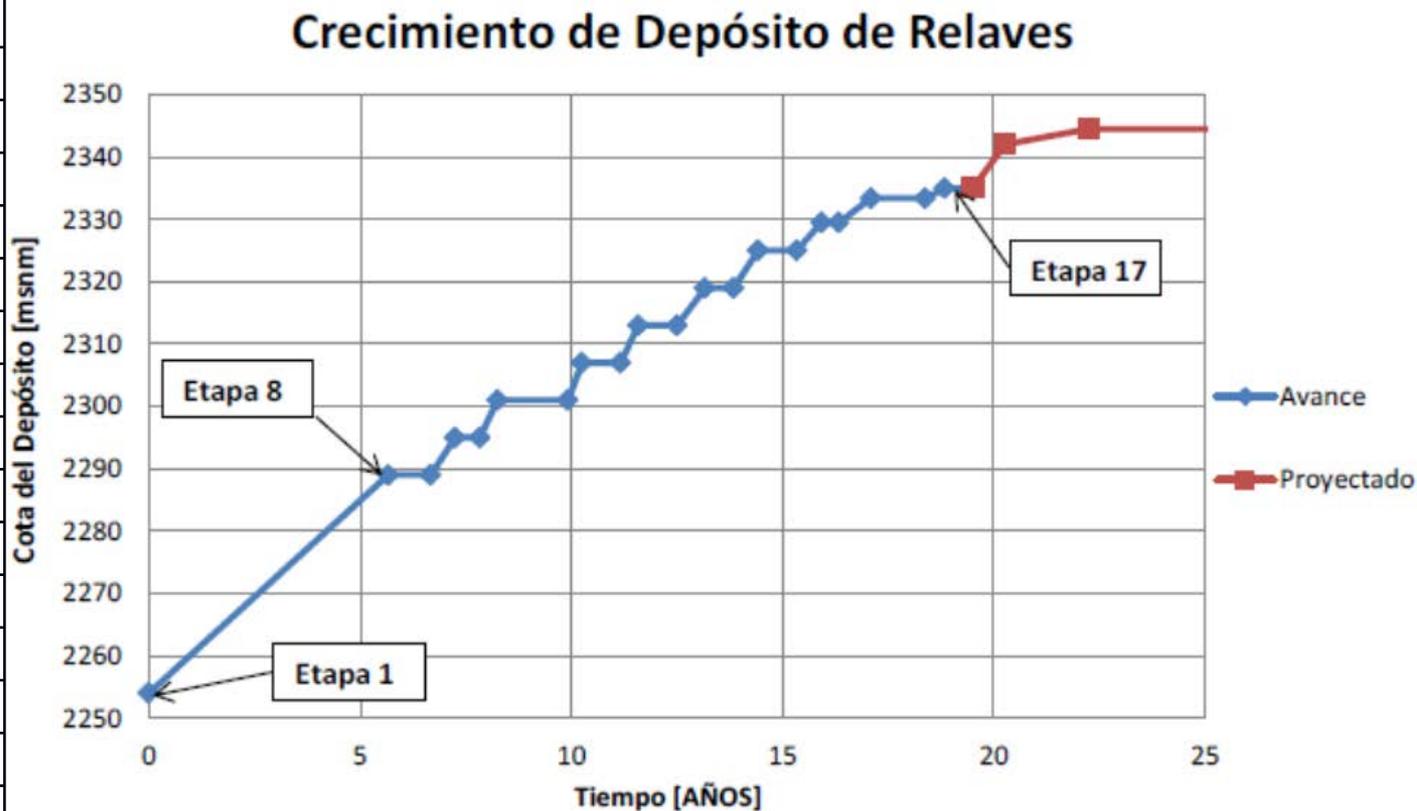


Ilustración 1-4 Curva Crecimiento Depósito de Colas

Tareas de monitoreo continuo de la presa en las distintas fases

Monitoreo	Fases		
	Explotación	Cierre	Post-Cierre
Lecturas de Piezómetros eléctricos instalados tanto aguas arriba como aguas abajo de la presa	X	X	X
Lecturas de vertedero de filtración y drenaje instalados en DCP	X	X	X
Medición de niveles y caudales en pozos profundo de bombeo	X	X	X
Medición de niveles en pozos de monitoreo	X	X	X
Mediciones de nivel de laguna sobrenadante	X	X	X
Lecturas topográficas de monolitos instalados en el espaldón del Dique de Colas	X	X	Se evaluará
Lectura de nivel de agua mediante piezómetros de Casagrande o pozos abiertos de monitoreo		X	X
Monitoreo del sistema de desvío de las aguas superficiales (inspecciones visuales)		X	X
Control de asentamiento de colas			X

Tareas de monitoreo continuo de presa en distintas fases

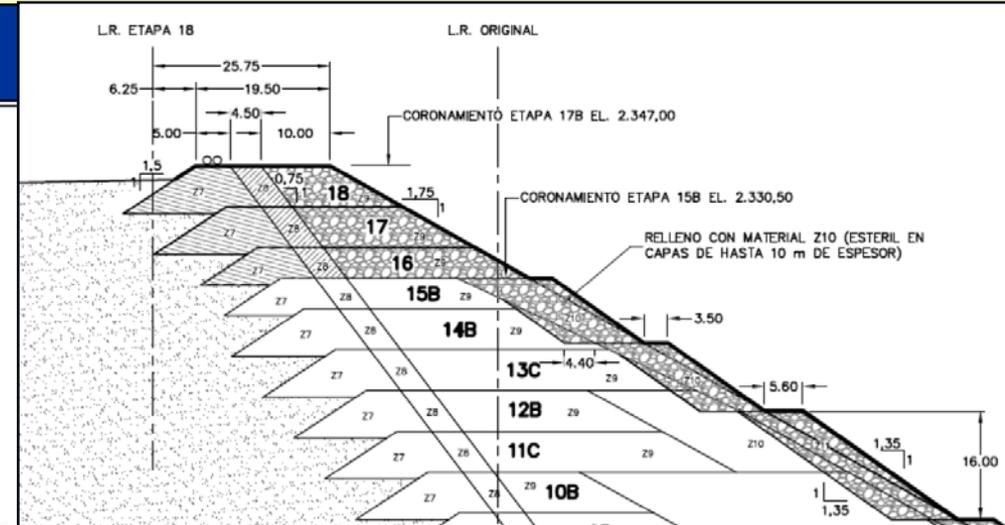
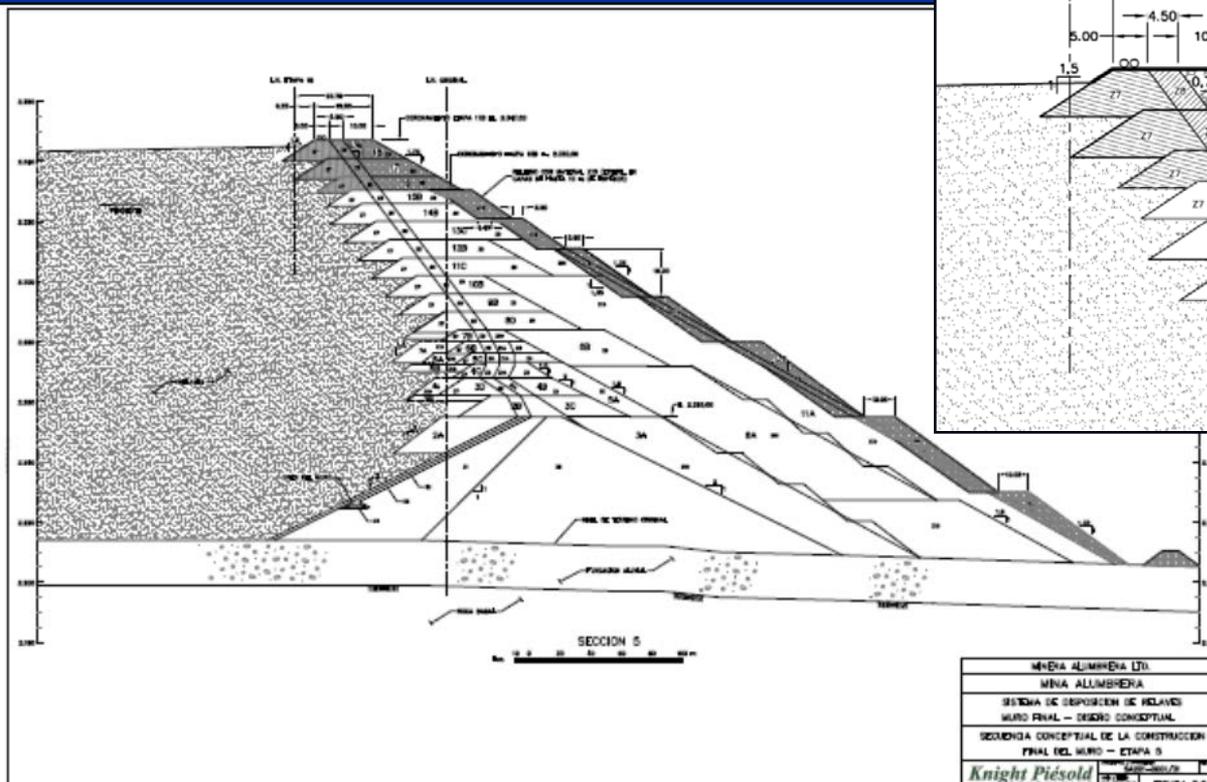
Recomendaciones:

- 1) Realizar relevamiento de verificación (situación actual) y elaboración de planos de toda la presa (planialtimetría y perfiles transversales), que incluyan relaves, coronamiento y espaldón de aguas abajo.*
- 2) Instalar puntos fijos distribuidos a lo largo de todo el coronamiento y el talud aguas abajo de la presa (no solamente en el sector de mayor altura de presa).*
- 3) Monitorear el asentamiento de las colas, realizando mediciones periódicas de manera tal de verificar el asentamiento estimado teórico, de forma que se pueda comprobar el comportamiento asintótico de la curva de consolidación. Se deberá garantizar un correcto funcionamiento del sistema de desagüe y de cobertura.*
- 4) Instalar 9 piezómetros Casagrande, ya recomendados por IATASA (6 adicionales a los 3 propuestos).*
- 5) Incluir PLAN DE ACCIÓN DURANTE EMERGENCIAS (PADE), identificando áreas que podrían resultar afectadas en caso del colapso del depósito de relaves, los procedimientos y acciones que el operador de una presa debe seguir en caso de una emergencia, estableciendo posibles acciones a seguir. La información permitirá a las dependencias gubernamentales y de servicios planificar y coordinar esfuerzos, frente al caso potencial de una emergencia.*

Tareas de monitoreo continuo de presa en distintas fases

Recomendaciones:

- 1) **Realizar relevamiento de verificación (situación actual) y elaboración de planos de toda la presa (planialtimetría y perfiles transversales), que incluyan relaves, coronamiento y espaldón de aguas abajo abarcando la zona de pie de presa (incluyendo la zonificación interior de los materiales utilizados y la fundación).** La etapa 19 actualmente, en construcción, no estaba prevista en la Etapa 18 que se muestra en plano (Etapa 5 Muro Final). Tampoco está indicada la cobertura.



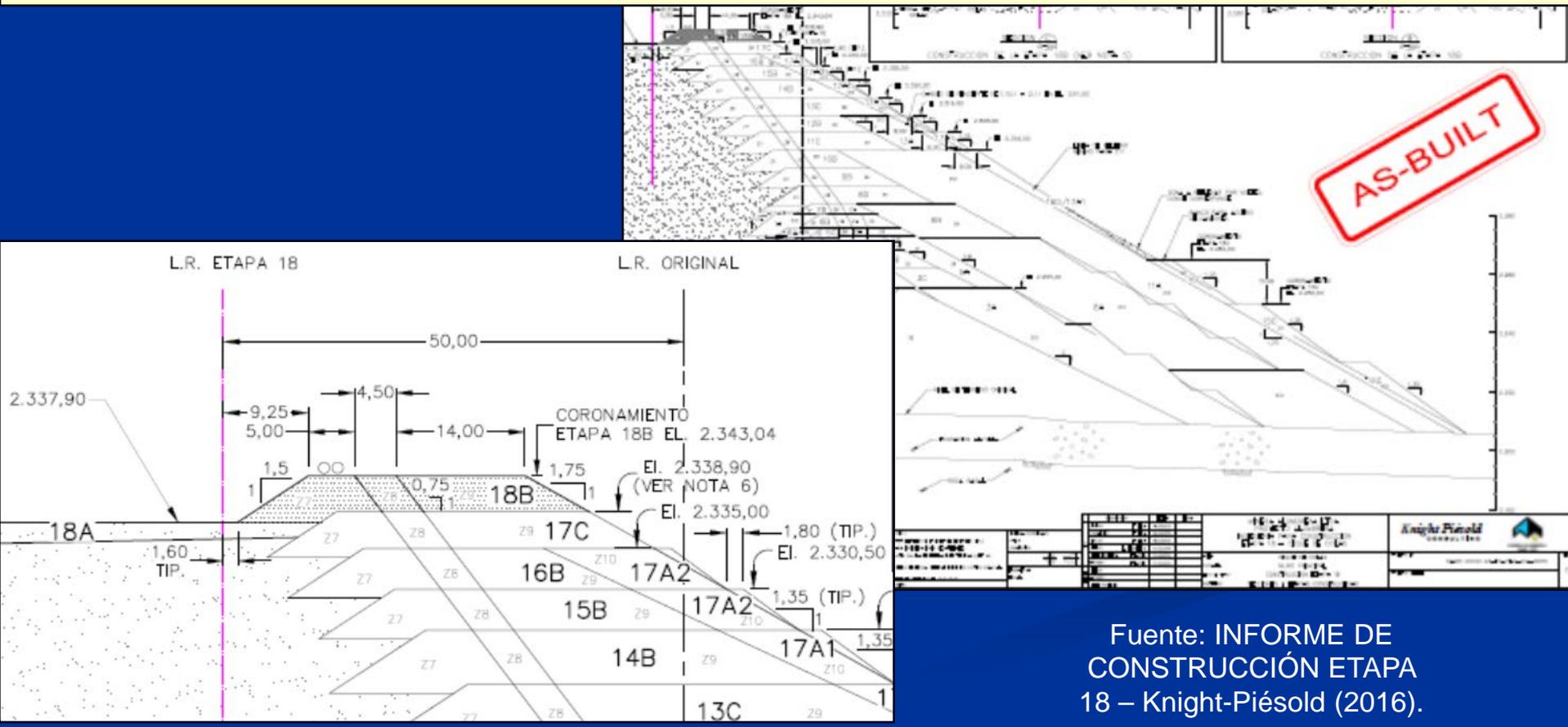
Fuente: INFORME DE CONSTRUCCIÓN ETAPA 18 – Knight-Piésold (2016).

MÉDICA ALLUMBERA LTD.	
MÉDICA ALLUMBERA	
SECCION DE DISPOSICION DE RELAVOS	
MURO FINAL - DISEÑO CONCEPTUAL	
SECCIONA CONCEPTUAL DE LA CONSTRUCCION	
FINAL DEL MURO - ETAPA 5	
Knight Piésold	POISSA S.R.L.

Tareas de monitoreo continuo de presa en distintas fases

Recomendaciones:

- 1) Realizar relevamiento de verificación (situación actual) y elaboración de planos de toda la presa (planialtimetría y perfiles transversales), que incluyan relaves, coronamiento y espaldón de aguas abajo abarcando la zona de pie de presa (incluyendo la zonificación interior de los materiales utilizados y la fundación). La etapa 19 actualmente, en construcción, no estaba prevista en la Etapa 18 que se muestra en plano (Etapa 5 Muro Final). Tampoco está indicada la cobertura.



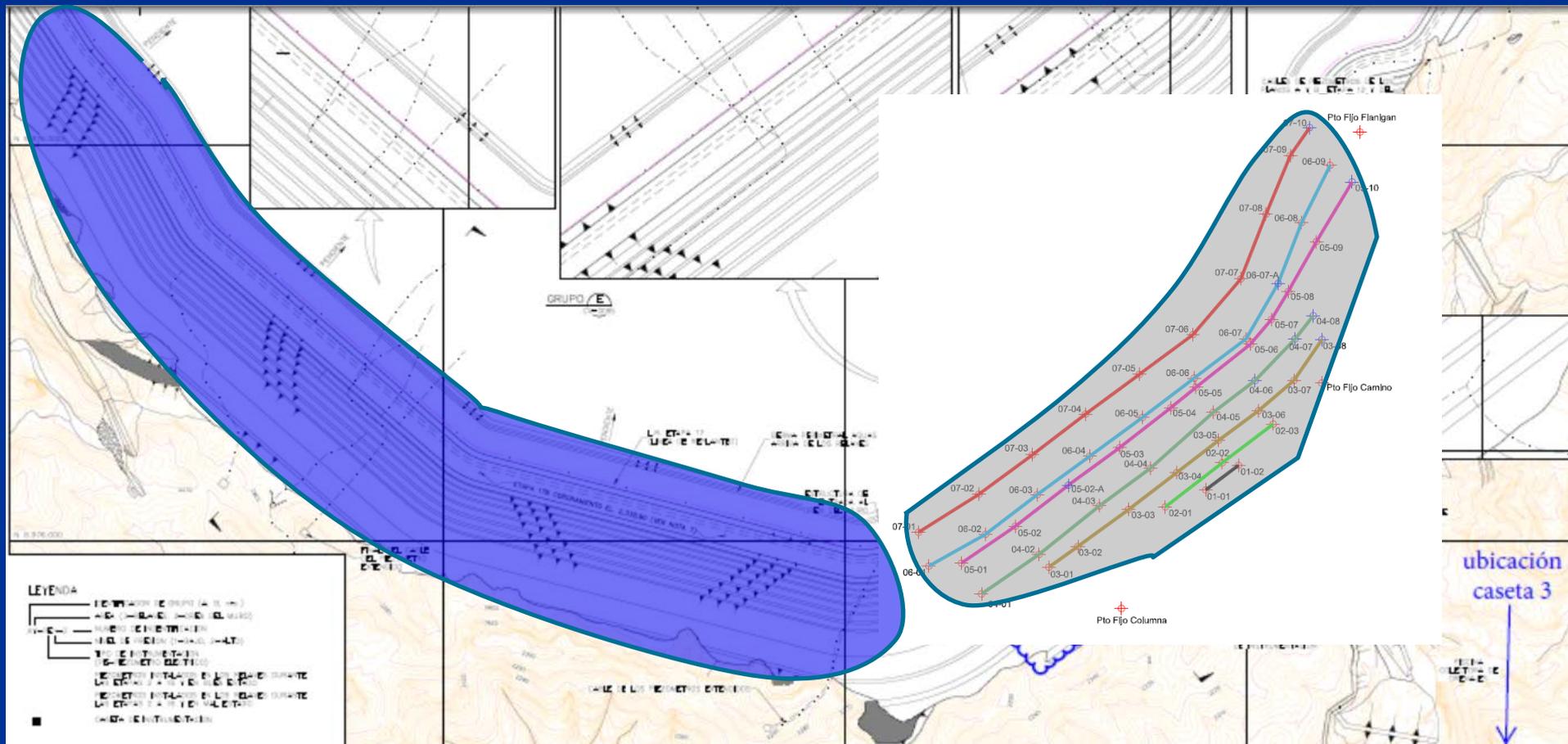
Fuente: INFORME DE CONSTRUCCIÓN ETAPA 18 – Knight-Piésold (2016).

Tareas de monitoreo continuo de presa en distintas fases

Recomendaciones:

- 2) **Instalar puntos fijos distribuidos a lo largo de todo el coronamiento y el talud aguas abajo de la presa (no solamente en el sector de mayor altura de presa).**

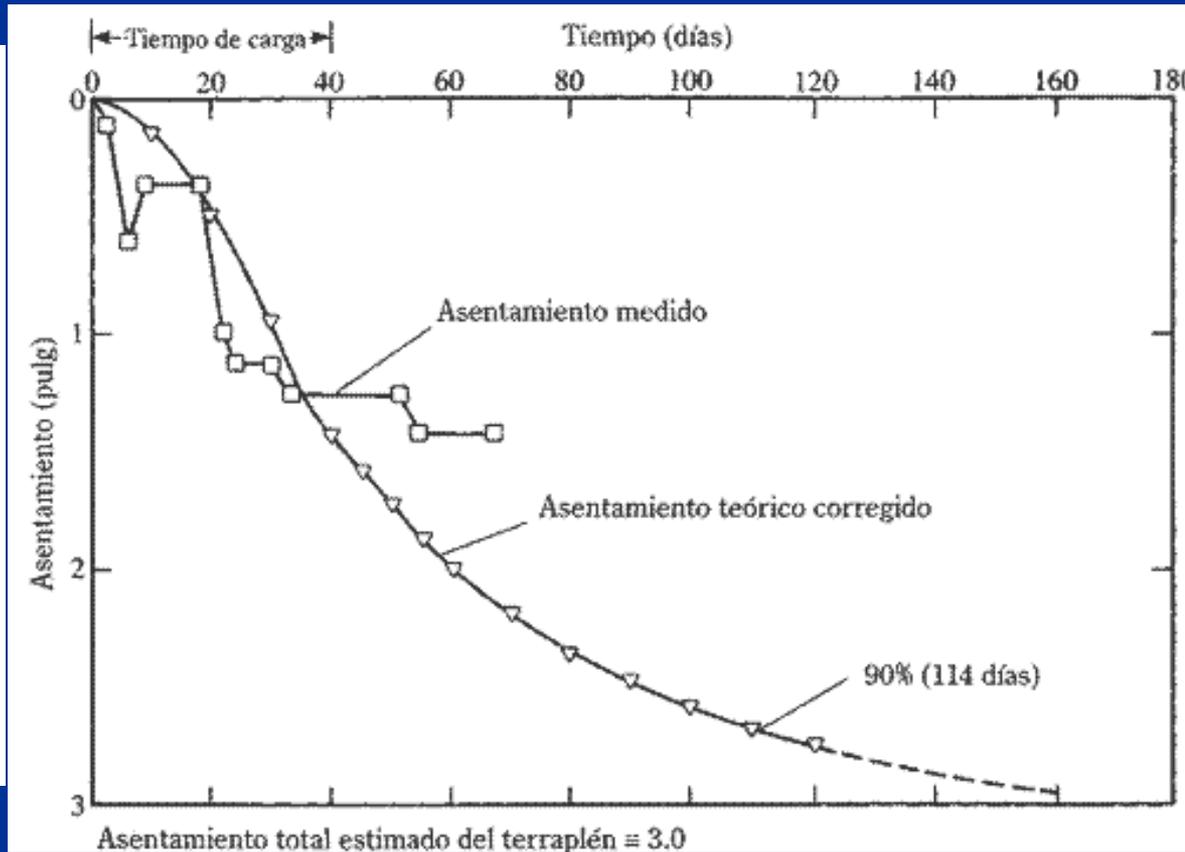
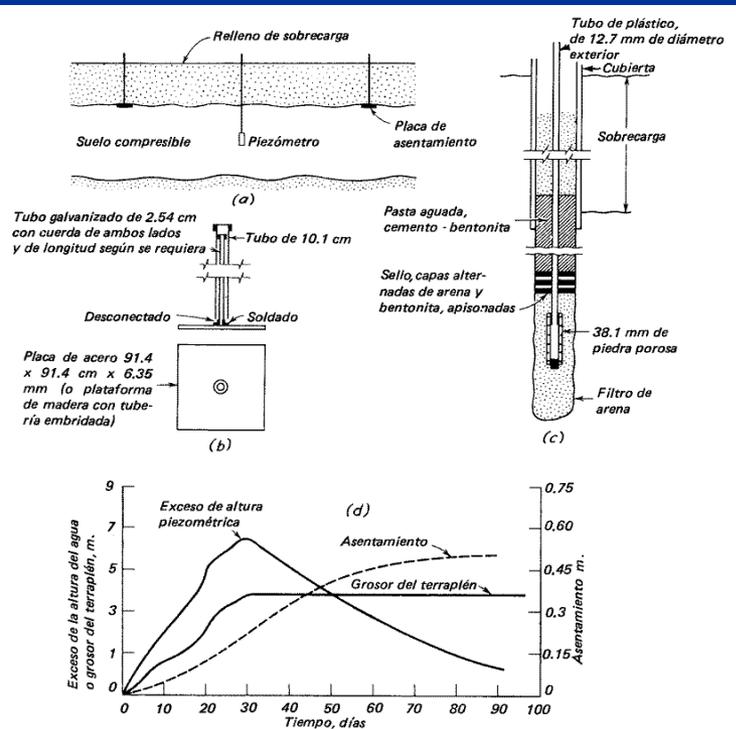
Fuente: IATASA con información provista por DiPGAM



Tareas de monitoreo continuo de presa en distintas fases

Recomendaciones:

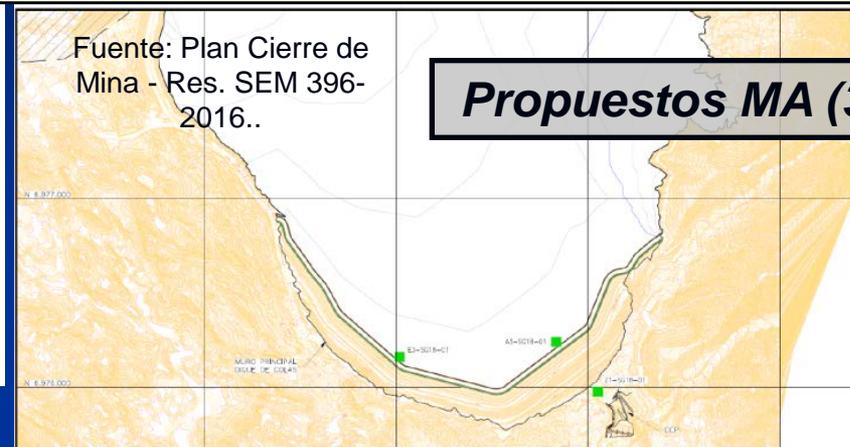
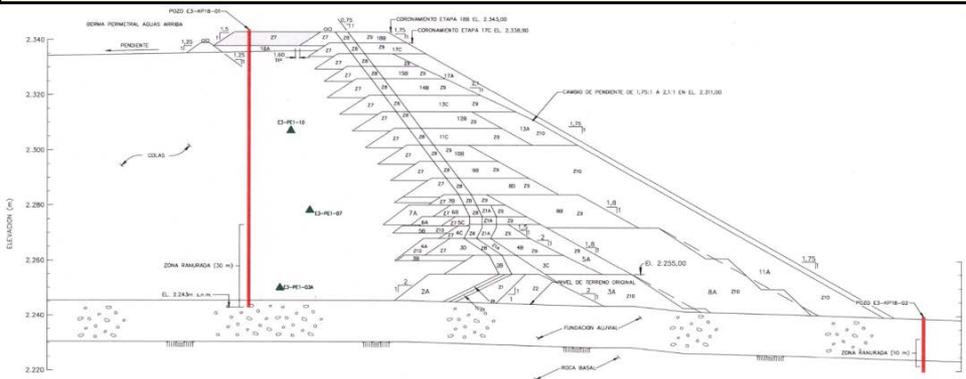
- 3) **Monitorear el asentamiento de las colas**, realizando mediciones periódicas de manera tal de verificar el asentamiento estimado teórico, de forma que se pueda comprobar el comportamiento asintótico de la curva de consolidación. Se deberá garantizar un correcto funcionamiento del sistema de desagüe y de cobertura.



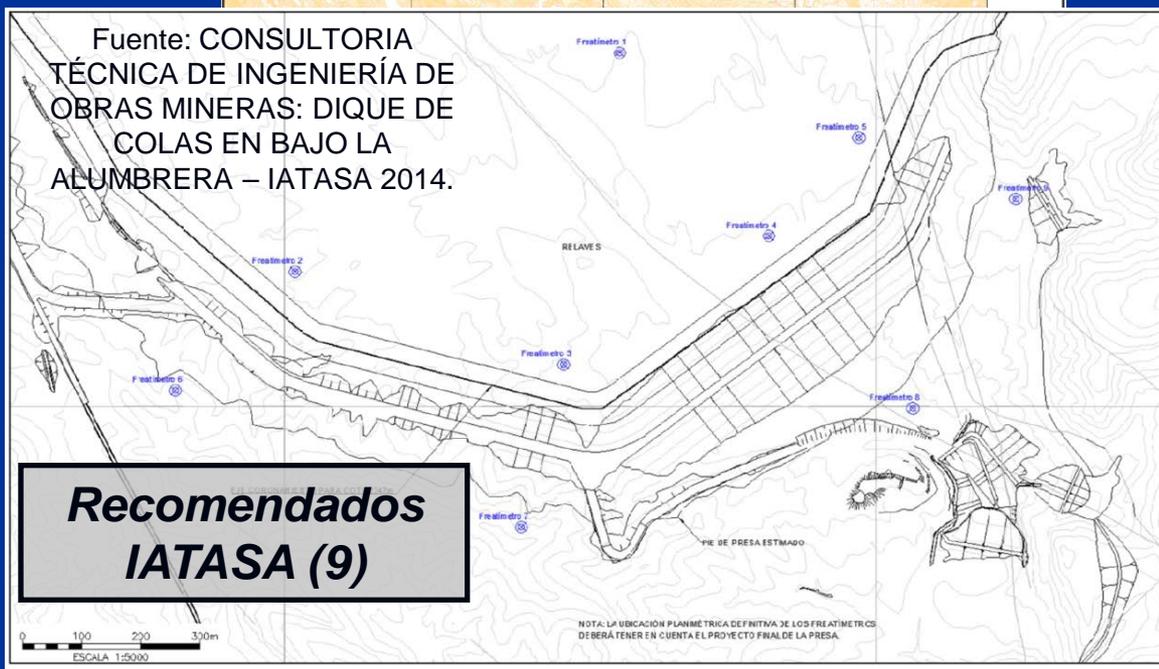
Tareas de monitoreo continuo de presa en distintas fases

Recomendaciones:

- 4) **Instalar 9 piezómetros Casagrande**, ya recomendados por IATASA (6 adicionales a los 3 propuestos).



Freatímetros	Profundidad [m]
1	120
2	105
3	115
4	125
5	115
6	10
7	15
8	15
9	10



Tareas de monitoreo continuo de presa en distintas fases

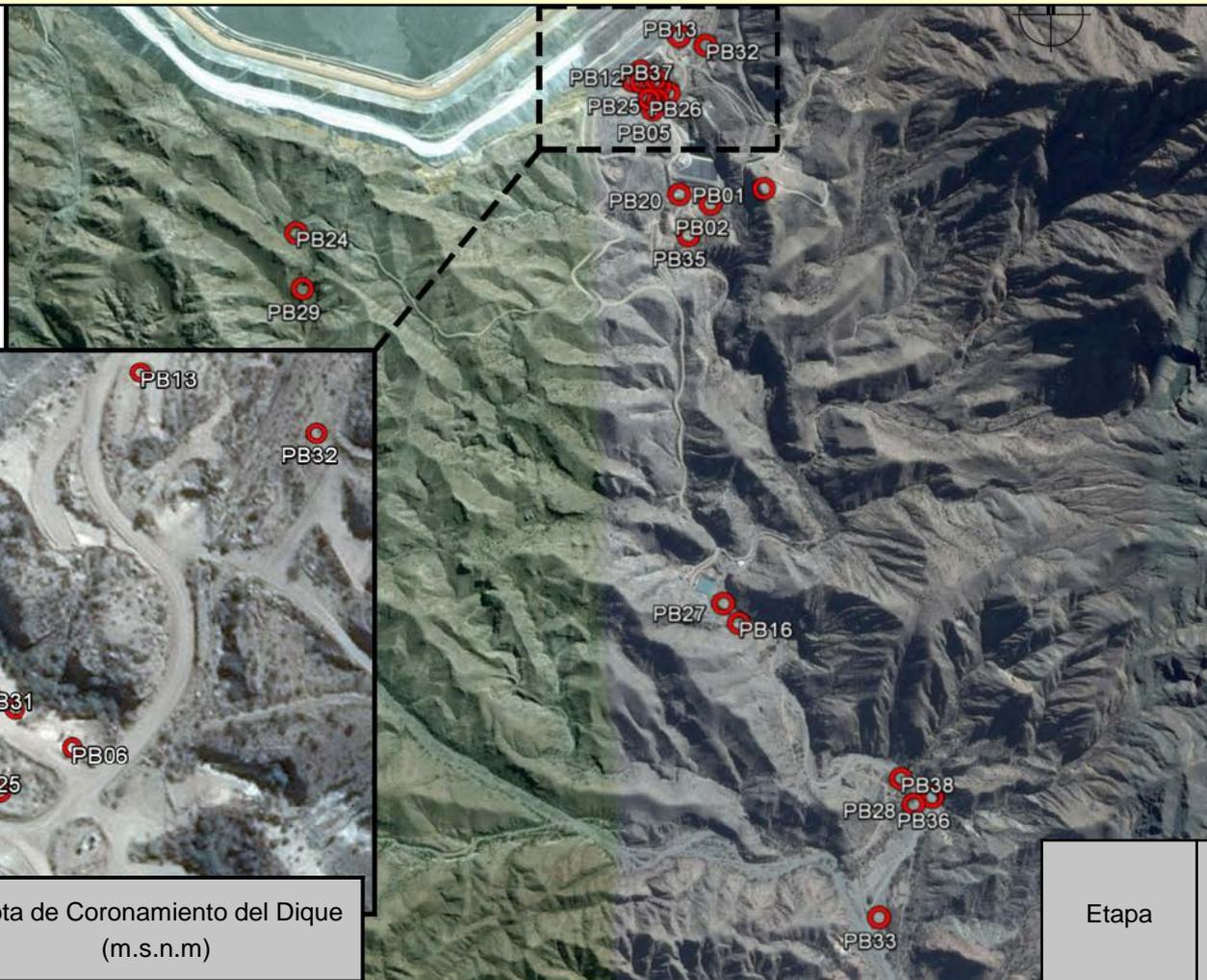
Recomendaciones:

- 5) *Incluir en el Plan de Cierre de la Mina, un **PLAN DE ACCIÓN DURANTE EMERGENCIAS (PADE)**, identificando áreas que podrían resultar afectadas en caso del colapso del depósito de relaves, los procedimientos y acciones que el operador de una presa debe seguir en caso de una emergencia, estableciendo posibles acciones a seguir. La información permitirá a las dependencias gubernamentales y de servicios planificar y coordinar esfuerzos, frente al caso potencial de una emergencia.*

Análisis del monitoreo de pozos de retrobombeo para conocer el comportamiento del agua subterránea en relación con las filtraciones previstas a través del dique y su fundación

Ubicación de los pozos de retrobombeo existentes

Fuente: IATASA con información provista por DiPGAM



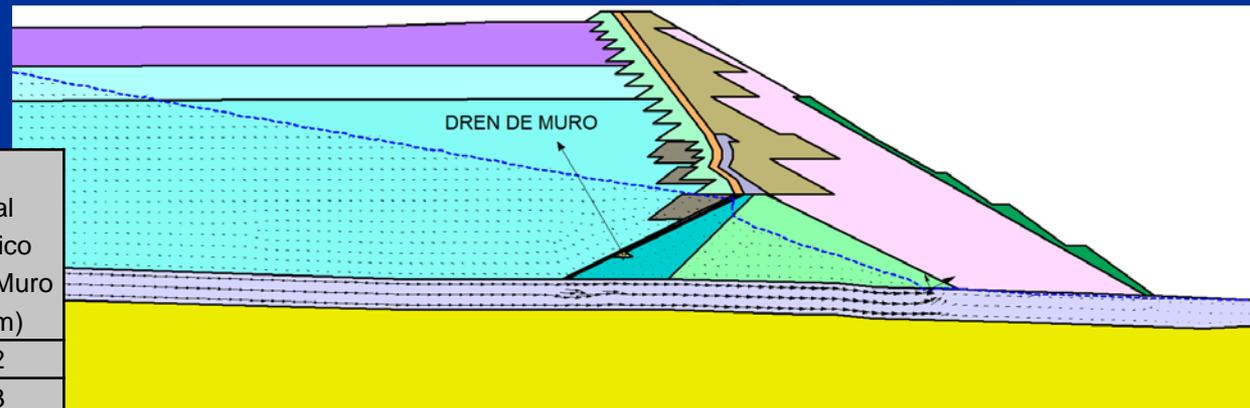
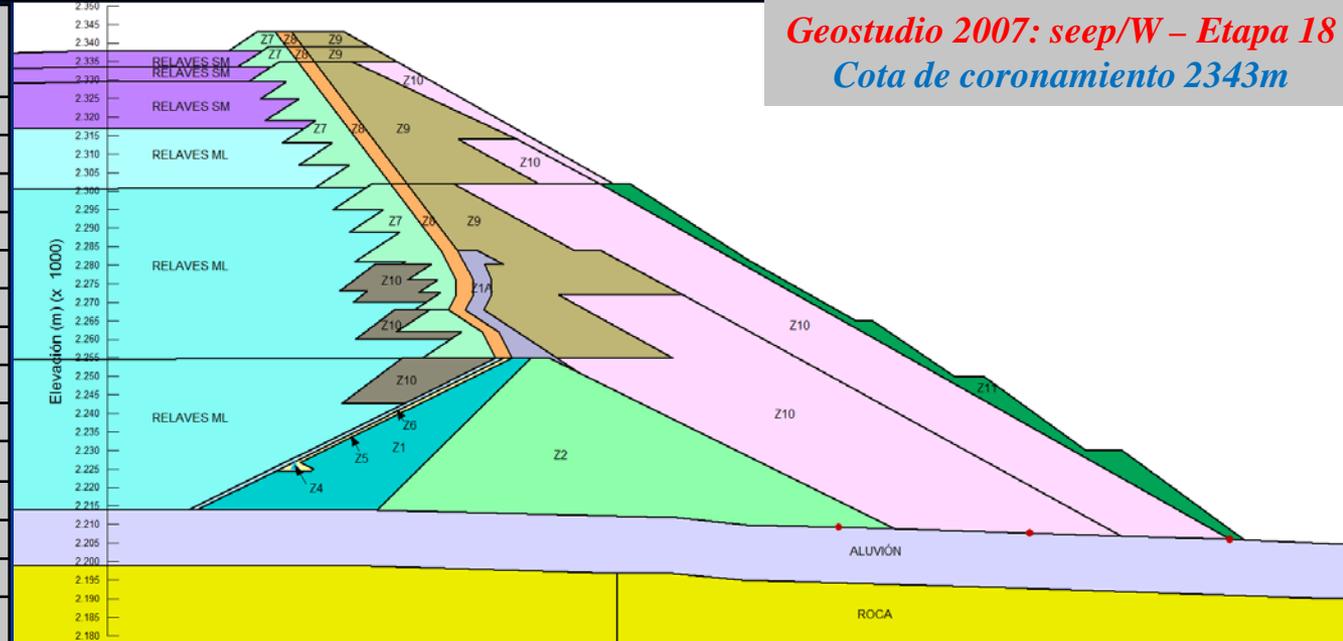
Etapa	Inicio	Fin	Cota de Coronamiento del Dique (m.s.n.m)
17	May-14	Nov-14	2338,9
18	Jul-15	Abr-16	2343,0

Etapa	Cota pelo de agua libre en la laguna (m.s.n.m.)
17	2331,94
18	2335,08

Análisis del monitoreo de pozos de retrobombeo para conocer el comportamiento del agua subterránea en relación con las filtraciones previstas a través del dique y su fundación

Geostudio 2007: seep/W – Etapa 18
Cota de coronamiento 2343m

	K prom (cm/s)	K max (cm/s)
z 1	$1 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-4}$
z 1A	$1 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-4}$
z 2	$3 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-3}$
z 4	$1 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-3}$
z 5	$1 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-3}$
z 6	$1 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-3}$
z 7	$3 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-4}$
z 8	$1 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-3}$
z 9	$3 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-3}$
z 10	$3 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-3}$
z 11	$3 \cdot 10^{-3}$ </td <td>$5 \cdot 10^{-3}$</td>	$5 \cdot 10^{-3}$
Relaves	Kh	Kv
SM	$1,16 \cdot 10^{-3}$	$5,79 \cdot 10^{-4}$
ML	$1,04 \cdot 10^{-3}$	$5,21 \cdot 10^{-4}$
Aluvión	$3 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-3}$
Roca madre intacta	$5 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-5}$



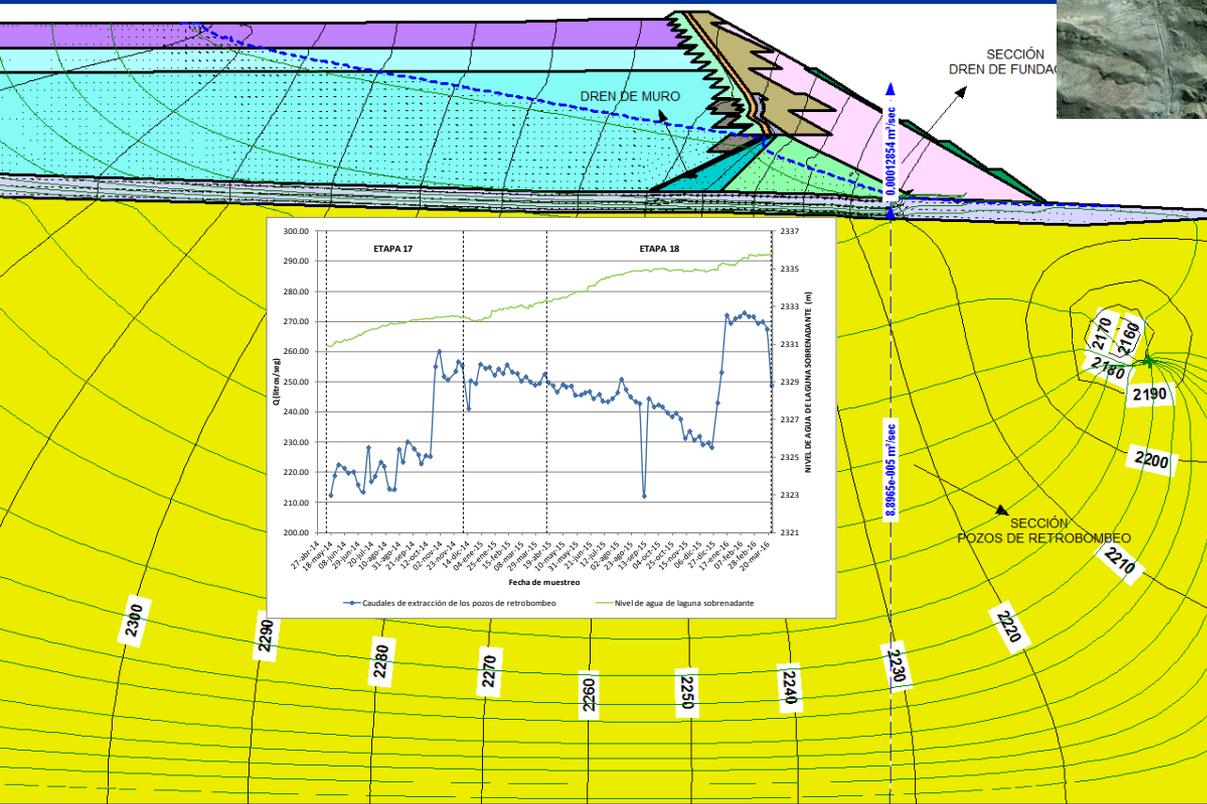
Fuente: IATASA con información provista por DiPGAM

Etapa	Caudal promedio aforado Dren de Muro (l/seg)	Longitud estimada del Dren de Muro (m)	Caudal específico Dren de Muro (l/seg/m)
17	36	2950	0,012
18	38		0,013

Análisis del monitoreo de pozos de retrobombeo para conocer el comportamiento del agua subterránea en relación con las filtraciones previstas a través del dique y su fundación

Este modelo bidimensional no evalúa la efectividad del sistema de retrobombeo en función del control de agua de proceso.

Fuente: IATASA con información provista por DIPGAM



Caudal específico modelo bidimensional 0,089 l/seg/m

Ancho influencia 2.300m

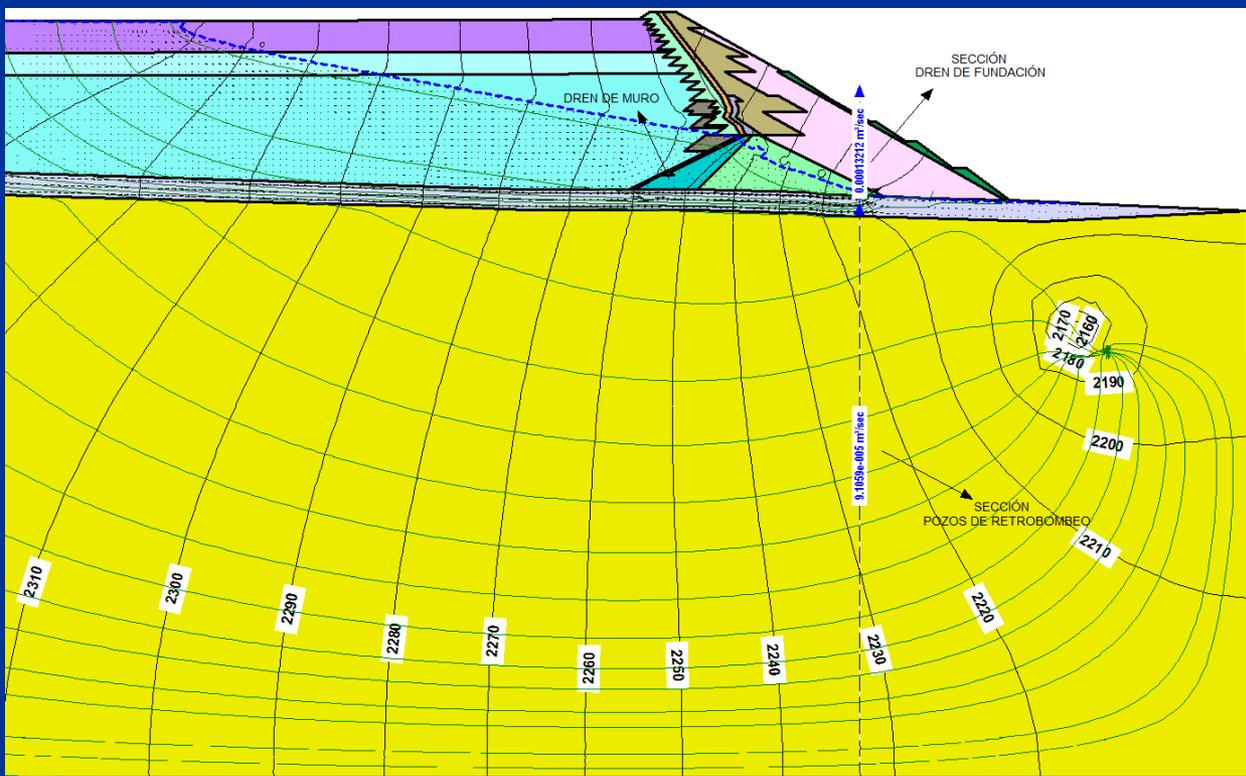
Caudal modelo 205 l/s

Caudal extracción promedio pozos retrobombeo Etapa 18: 247 l/s

Análisis del monitoreo de pozos de retrobombeo para conocer el comportamiento del agua subterránea en relación con las filtraciones previstas a través del dique y su fundación

Etapa 19

Este modelo bidimensional no evalúa la efectividad del sistema de retrobombeo en función del control de agua de proceso.

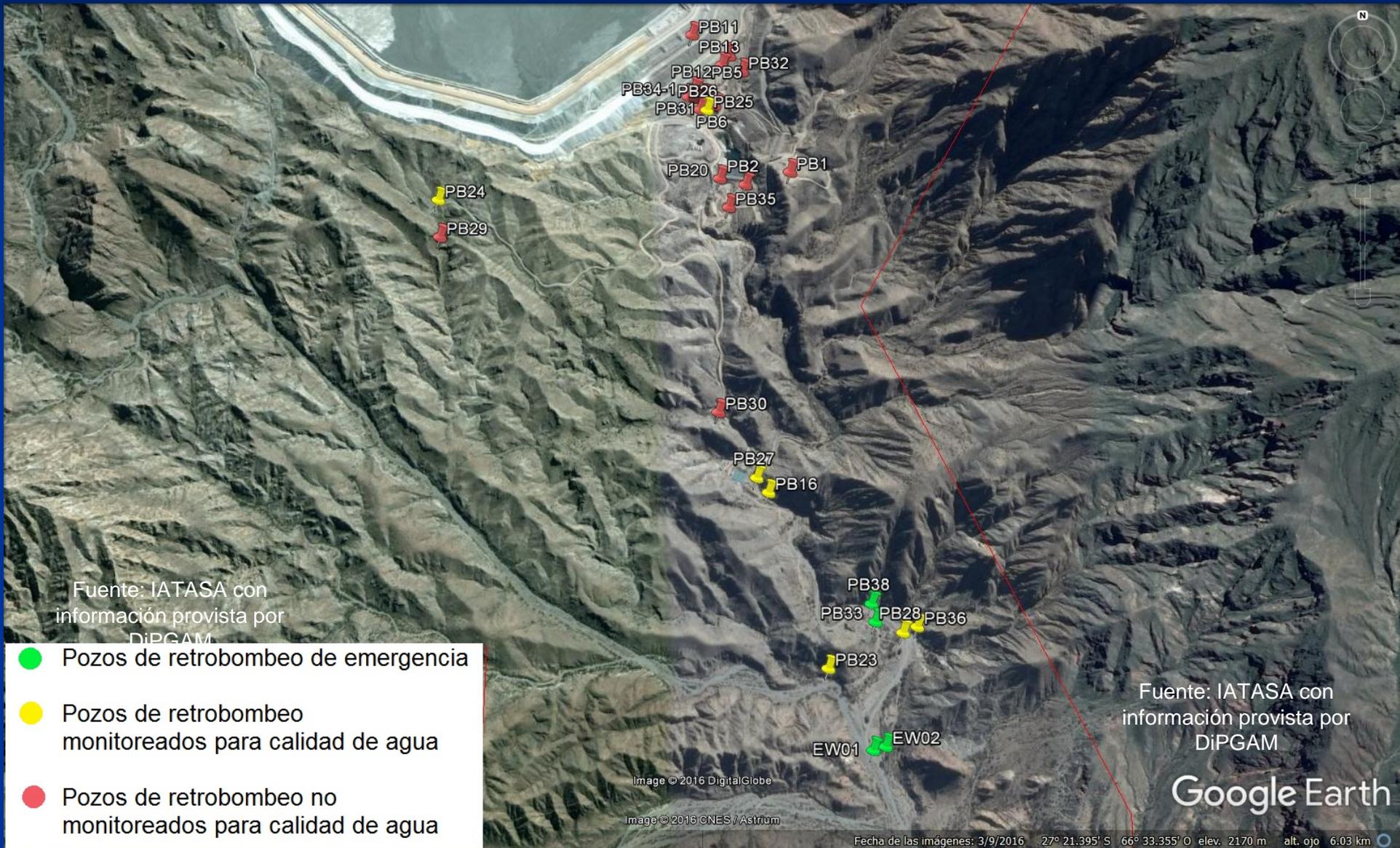


Caudal modelo Etapa 19
209 l/s (2% + E18)

Caudal extracción promedio pozos retrobombeo Etapa 18:
247 l/s

Fuente: IATASA con información provista por DiPGAM

ANÁLISIS DEL FUNCIONAMIENTO Y PROGRESIVA DESAFECTACIÓN DEL SISTEMA DE RETROBOMBEO AGUAS ABAJO DE LA PRESA - FIGURA 1



ANÁLISIS DEL FUNCIONAMIENTO Y PROGRESIVA DESAFECTACIÓN DEL SISTEMA DE RETROBOMBEO AGUAS ABAJO DE LA PRESA – FIGURA 2



**ANÁLISIS DEL
FUNCIONAMIENTO
Y PROGRESIVA
DESAFECTACIÓN
DEL SISTEMA DE
RETROBOMBEO
AGUAS ABAJO DE
LA PRESA**

<u>REQUERIMIENTO IDENTIFICADO</u>	<u>DEFINICION FALTANTE</u>
<p>Requerimientos relativos a la concentración de sulfatos a alcanzar en la etapa de cierre y post-cierre de mina</p>	<p>Definir y expresar en valor numérico la concentración de sulfatos para desafectar los pozos de retrobombeo (línea de base)</p> <p>Definir el tiempo de verificación de estabilización de la medición de sulfatos para desafectar los pozos de retrobombeo</p> <p>Definir cómo serán desafectados los pozos de retrobombeo que no cuentan con datos de valores de concentración de sulfatos</p> <p>Definir qué otros parámetros físico-químicos deberían ser verificados según legislación vigente u estándar de calidad de agua adoptado para la etapa de cierre y post-cierre, para desafectar los pozos de retrobombeo.</p>
<p>Requerimientos referidos a la secuencia desafectación de los pozos de retrobombeo en la etapa de cierre y post-cierre de mina</p>	<p>Definir y expresar en valor numérico la concentración de sulfatos para desafectar los pozos de retrobombeo (línea de base)</p>
<p>Requerimientos relativos a las aguas de proceso recuperadas luego del cese de las operaciones mineras</p>	<p>Definir el destino de disposición final o uso futuro del agua recuperada por retrobombeo luego del cese de las operaciones mineras</p> <p>Definir el control o monitoreo físico-químico del agua recuperada en función de su destino de disposición final o uso futuro</p> <p>Identificar qué parámetros físico-químicos indicarían la presencia de DAR, en caso de que se dieran estas condiciones, para poder activar las medidas de mitigación que se planteen a tal efecto</p> <p>Definir las medidas de mitigación en caso de DAR</p>
<p>Requerimiento de obras de ingeniería hidráulica de desvío de escorrentías superficiales</p>	<p>Definir el diseño de ingeniería de detalle de estas obras</p>
<p>Requerimientos relativos al abandono de los pozos de retrobombeo y las instalaciones del sistema de retrobombeo</p>	<p>Definir el plan de abandono de pozos de retrobombeo e instalaciones</p>

**ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS FINALES DE CIERRE DE COMPONENTES Y SUBCOMPONENTES MINEROS RELACIONADOS A LAS OBRAS MINERAS DE CARÁCTER PERMANENTE DEL PROYECTO
(EN ESTE CASO, PRESA DE RELAVES)**

*La documentación presentada por MA en relación al Plan de Cierre tiene un nivel entre **Factibilidad y Anteproyecto**, donde se describen distintas alternativas de vertedero y de su sistema de canalización.*

*En cuanto a las **coberturas no está detallado** cual va ser el **espesor** de la misma sobre todo el **talud de aguas abajo de la presa de relaves**.*

**ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS FINALES DE CIERRE DE COMPONENTES Y SUBCOMPONENTES MINEROS RELACIONADOS A LAS OBRAS MINERAS DE CARÁCTER PERMANENTE DEL PROYECTO
(EN ESTE CASO, PRESA DE RELAVES)**

*Para alcanzar el nivel de **Proyecto Ejecutivo** deberán **contener todas las obras necesarias** (como por ejemplo: las de atenuación de crecidas, canales perimetrales e internos de la superficie final de las colas y vertedero de emergencia – incluyendo aducción, disipador y canal evacuador) para el cierre de mina, la siguiente documentación: **memoria descriptiva, memoria de cálculo, planos, cómputos, precios unitarios, presupuesto y especificaciones técnicas generales y particulares de cada ítem de las obras de cierre.***

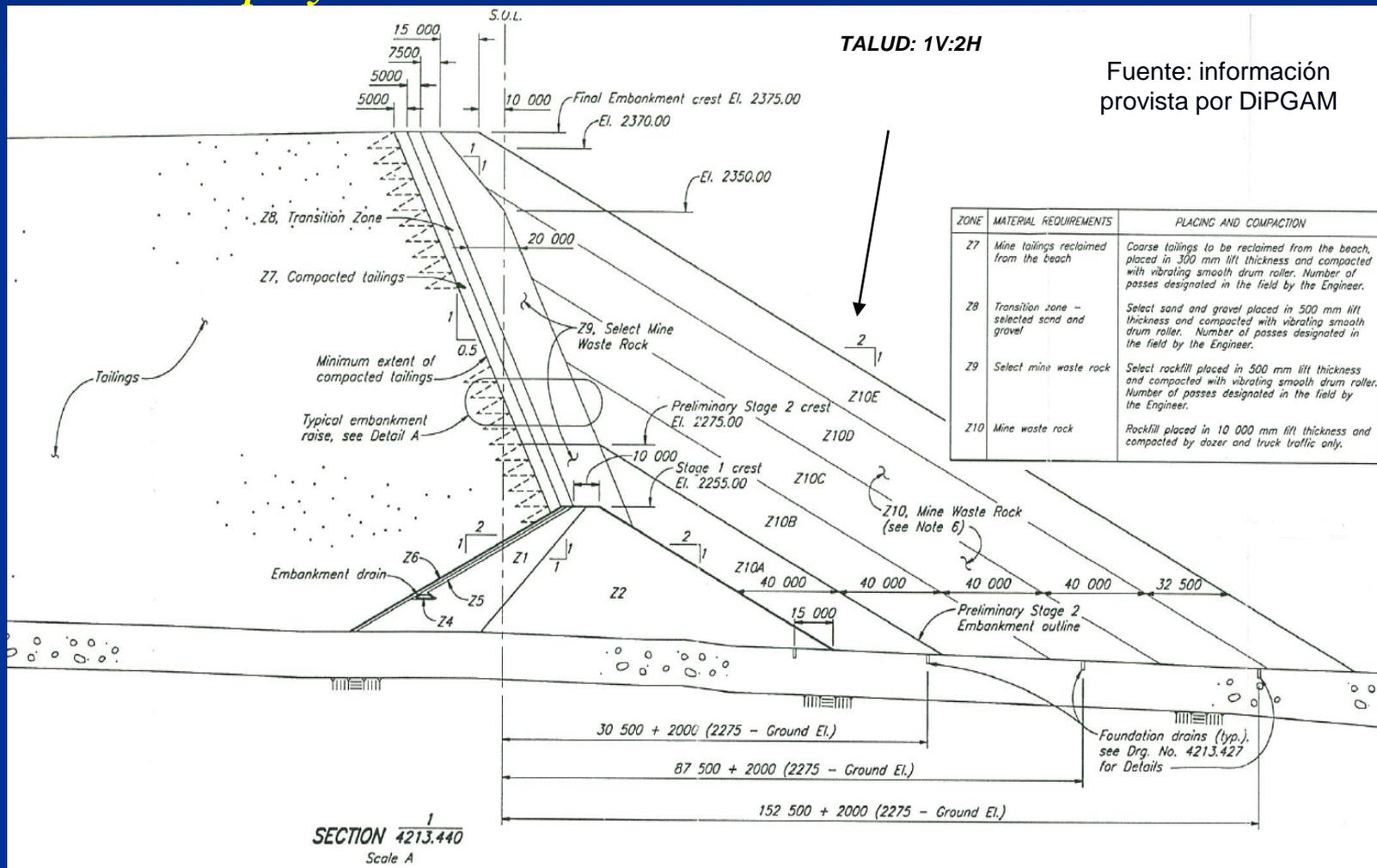
**ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS FINALES DE CIERRE DE COMPONENTES Y SUBCOMPONENTES MINEROS RELACIONADOS A LAS OBRAS MINERAS DE CARÁCTER PERMANENTE DEL PROYECTO
(EN ESTE CASO, PRESA DE RELAVES)**

*Los **tiempos** necesarios de **Proyecto** y su revisión, continuando con el proceso de licitación, adjudicación y finalmente el de construcción y auditoría de las obras serán **significativos**, por lo que se recomienda que se compatibilicen estos tiempos con la fecha de cierre de mina.*

ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS FINALES DE CIERRE DE COMPONENTES Y SUBCOMPONENTES MINEROS RELACIONADOS A LAS OBRAS MINERAS DE CARÁCTER PERMANENTE DEL PROYECTO (EN ESTE CASO, PRESA DE RELAVES)

ESTABILIDAD DE TALUDES DE LA PRESA DE RELAVES

Sección transversal proyectada en 1996



ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS FINALES DE CIERRE DE COMPONENTES Y SUBCOMPONENTES MINEROS RELACIONADOS A LAS OBRAS MINERAS DE CARÁCTER PERMANENTE DEL PROYECTO (EN ESTE CASO, PRESA DE RELAVES)

ESTABILIDAD DE TALUDES DE LA PRESA DE RELAVES

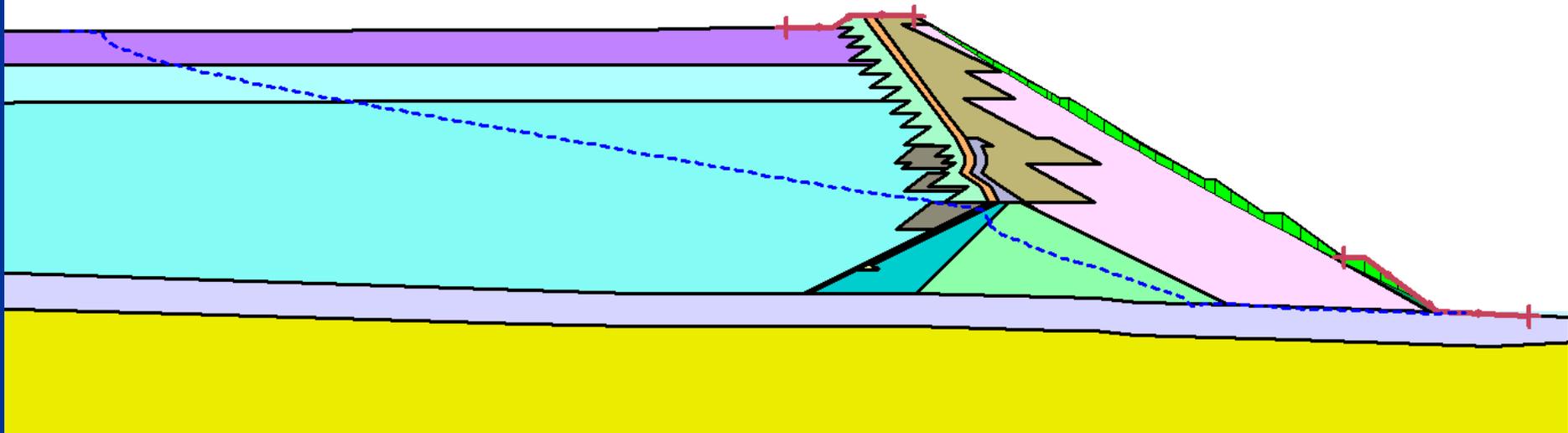


Espaldón de aguas abajo. Deslizamientos superficiales en zonas de material arrojado

**ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS FINALES DE CIERRE DE COMPONENTES
Y SUBCOMPONENTES MINEROS RELACIONADOS A LAS OBRAS
MINERAS DE CARÁCTER PERMANENTE DEL PROYECTO
(EN ESTE CASO, PRESA DE RELAVES)
*ESTABILIDAD DE TALUDES DE LA PRESA DE RELAVES. TALUD 1:1.75***

Fuente: IATASA

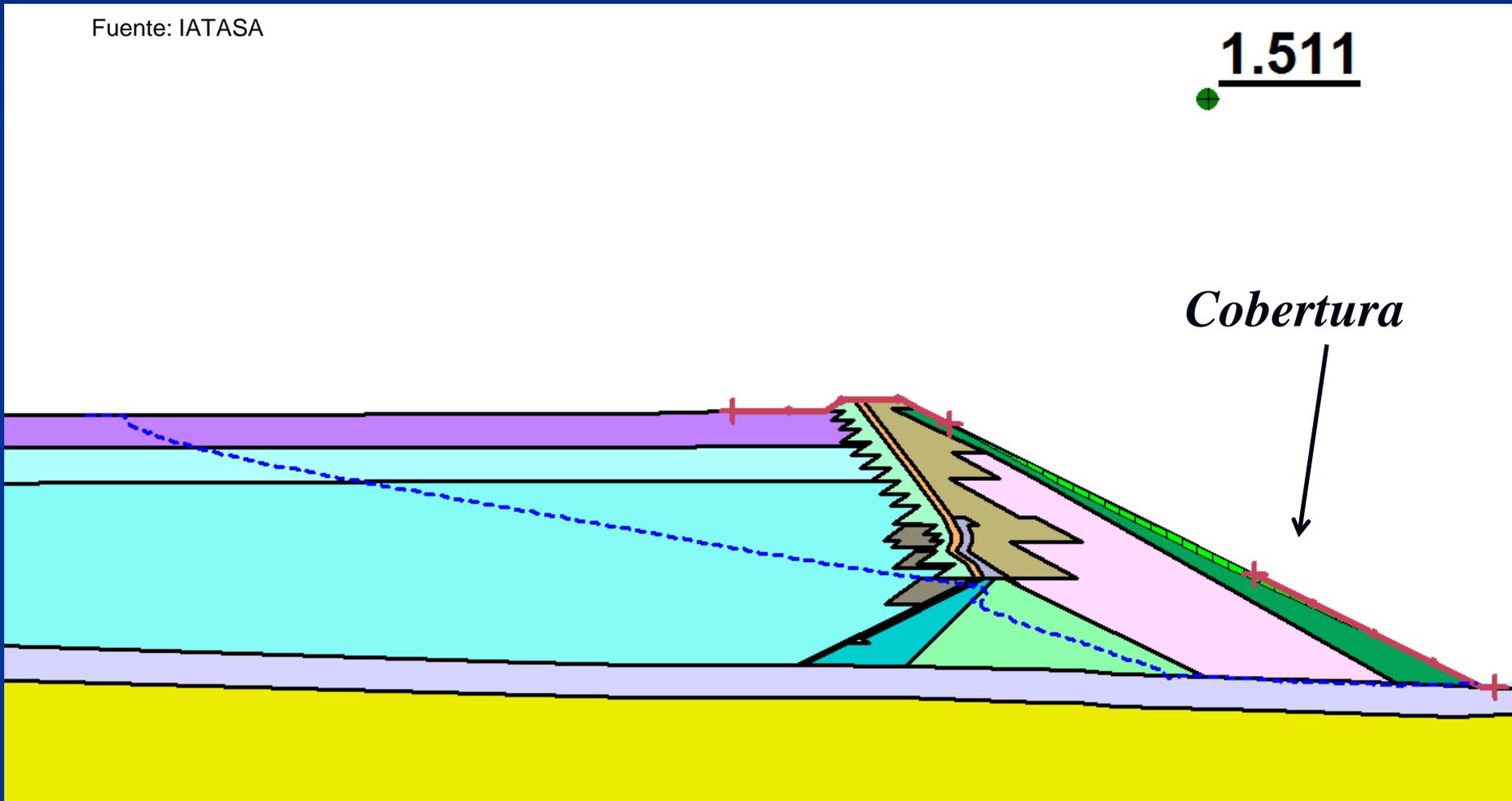
1.349



ESTABILIDAD DE TALUDES DE LA PRESA DE RELAVES

Talud 1:2 con un $F_s > 1.5$ y con la cobertura sobre el espaldón aguas abajo (aseguraría su estabilidad química).

Fuente: IATASA



ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS FINALES DE CIERRE DE COMPONENTES Y SUBCOMPONENTES MINEROS RELACIONADOS A LAS OBRAS MINERAS DE CARÁCTER PERMANENTE DEL PROYECTO (EN ESTE CASO, PRESA DE RELAVES)

*No se presentó un **relevamiento durante la construcción de toda la presa de relaves**, especialmente del coronamiento, pendientes de los taludes hacia aguas abajo y pie de talud. Esto permitiría corregir, si fuese el caso, apartamientos de las líneas del proyecto. Finalmente, se deben presentar los planos correspondientes “conforme a obra”, los que mostrarán la configuración de cálculo.*

*Se considera que se debe adoptar un **talud aguas abajo de la presa de relaves de 1(v):2(h)** (igual pendiente a la adoptada al inicio del proyecto), que podría lograrse compatibilizando la metodología constructiva a adoptar en futuras etapas hasta el cierre con ejecución de **cobertura de protección asegurando la estabilidad química**.*

*Resulta conveniente tener más datos piezométricos medidos en forma directa en distintos puntos representativos de la presa y su fundación, de manera tal que puedan compararse con los datos de los piezómetros eléctricos, con los valores del modelo y que sirvan para su ajuste. Por esto, se recomienda la **instalación de 9 freatímetros o piezómetros en los relaves**, presa y fundación, de manera de permitir un mejor conocimiento del comportamiento real de la presa, de acuerdo con lo requerido en el informe presentado por IATASA en 2014. También permitirían tomar muestras para análisis químicos de agua.*

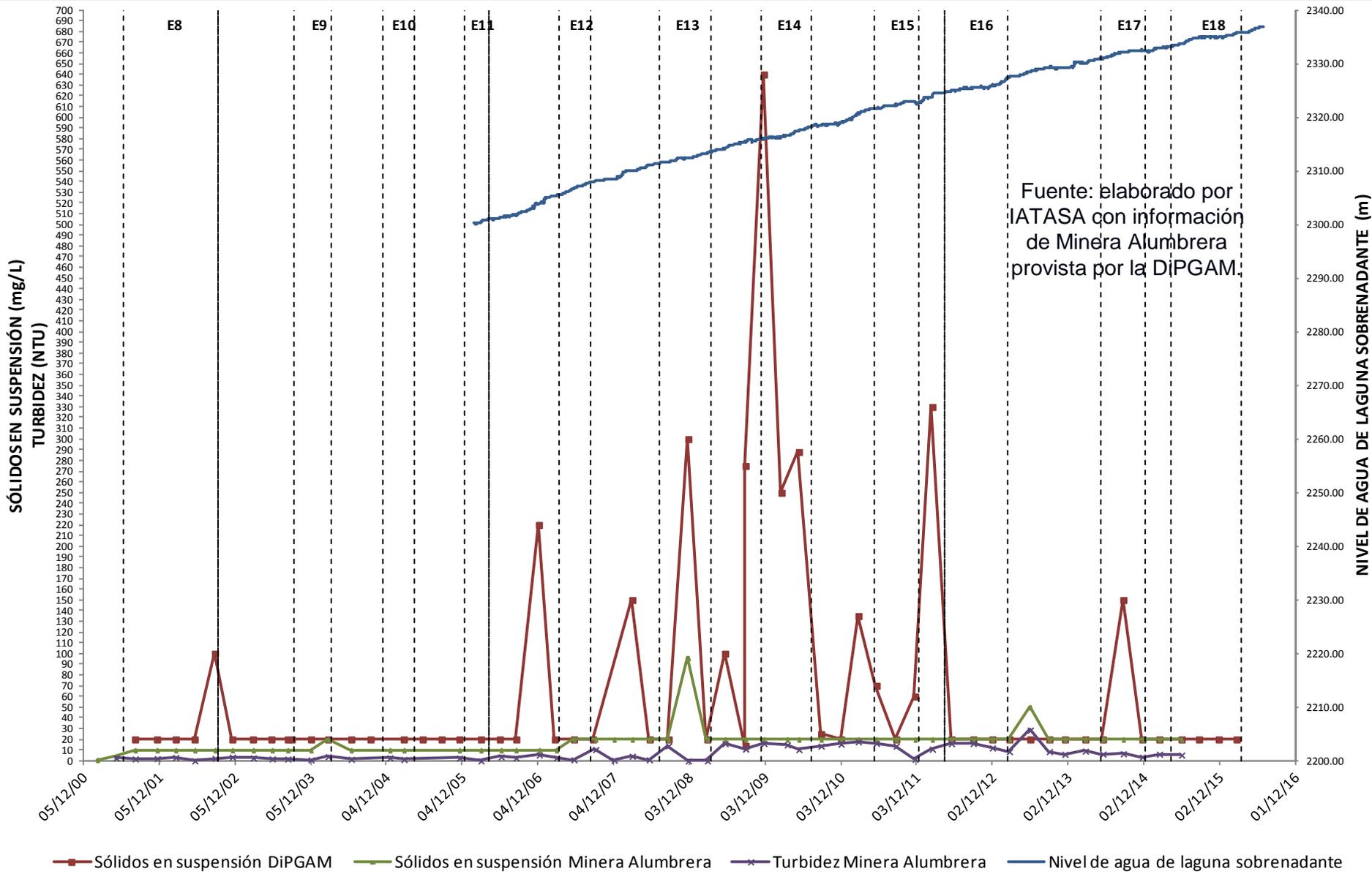
EVALUACIÓN DE ANÁLISIS DE AGUAS REALIZADOS POR LA DIPGAM Y MA PARA MONITOREO DE ARRASTRE DE SÓLIDOS

Para evaluar el monitoreo del arrastre de sólidos, se han procesado los valores de sólidos en suspensión y turbidez tomados de muestras de aguas superficiales en el punto denominado Pileta Colectora de Drenajes DCP/DCP-2.

Se cuenta con datos de sólidos en suspensión y turbidez tomados por Minera Alumbraera, trimestralmente, desde el 2001 hasta Mayo de 2015.

Además se cuenta con datos de sólidos en suspensión tomados por DiPGAM, trimestralmente, desde el 2001 hasta Febrero de 2016.

EVALUACIÓN DE ANÁLISIS DE AGUAS REALIZADOS POR LA DIPGAM Y MA PARA MONITOREO DE ARRASTRE DE SÓLIDOS



EVALUACIÓN DE ANÁLISIS DE AGUAS REALIZADOS POR LA DIPGAM Y MA PARA MONITOREO DE ARRASTRE DE SÓLIDOS

La toma de muestras en el punto DCP/DCP-2 y la ejecución del ensayo de sólidos en suspensión y turbidez son una manera adecuada de apreciar el arrastre de sólidos en los drenes de la presa.

Si bien se aprecian algunas diferencias entre las mediciones efectuadas, no se observan inconvenientes en el comportamiento de la presa.

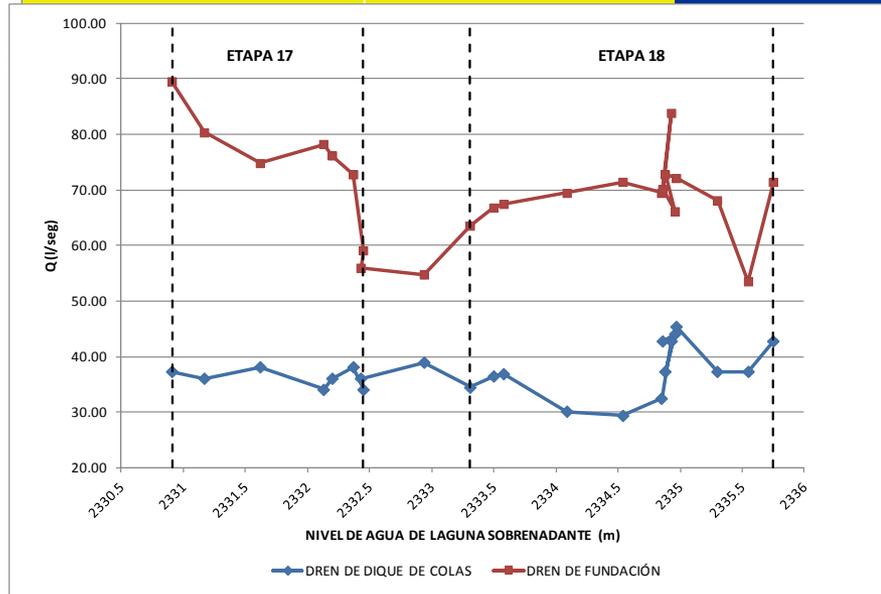
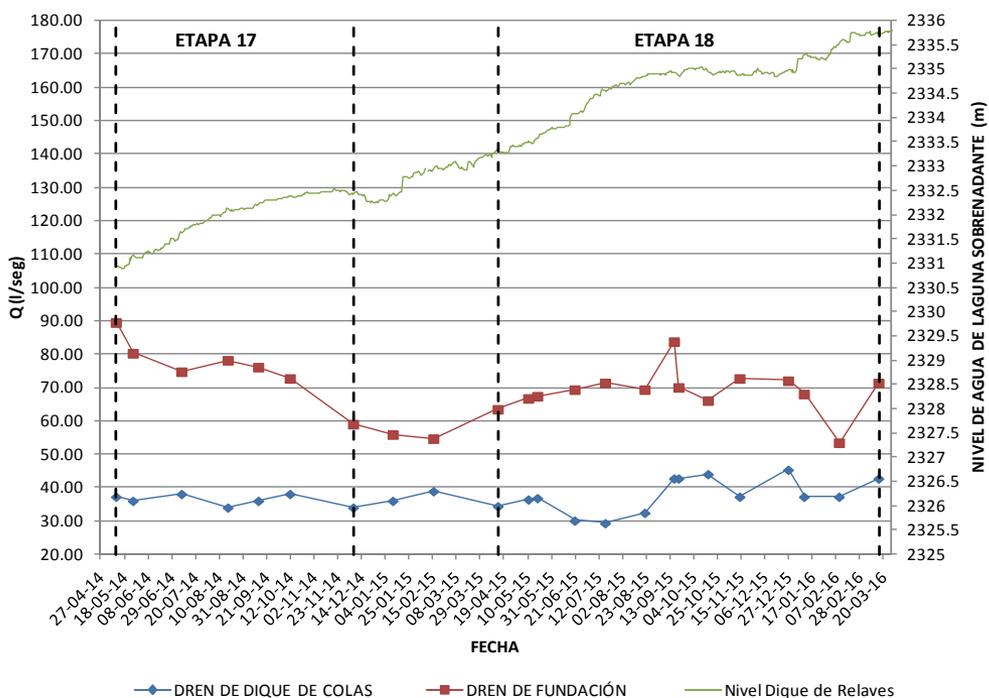
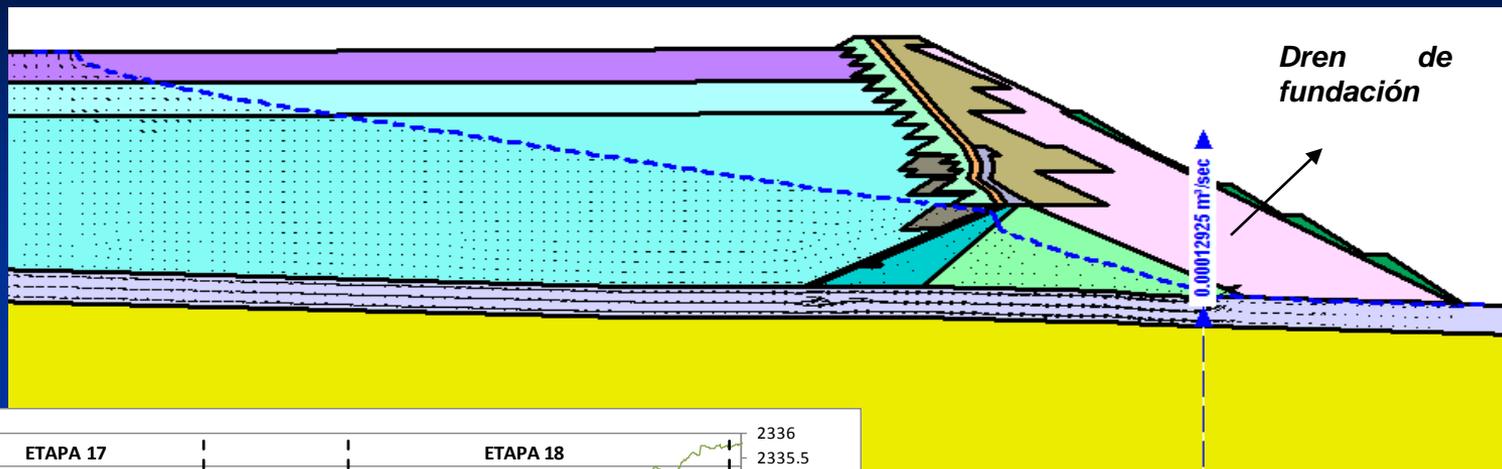
VERTEDERO DREN DE MURO

VERTEDERO DREN DE FUNDACIÓN

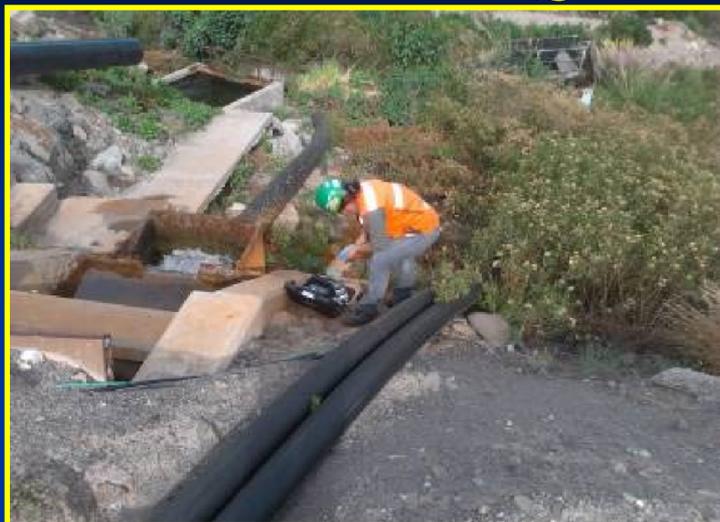


Fuente: IATASA con
información provista por
DiPGAM

ANÁLISIS DE LOS CAUDALES DE LOS VERTEDEROS DEL PIE DEL DIQUE Y DEL SISTEMA DE DRENAJE



ANÁLISIS DE LOS CAUDALES DE LOS VERTEDEROS DEL PIE DEL DIQUE Y DEL SISTEMA DE DRENAJE



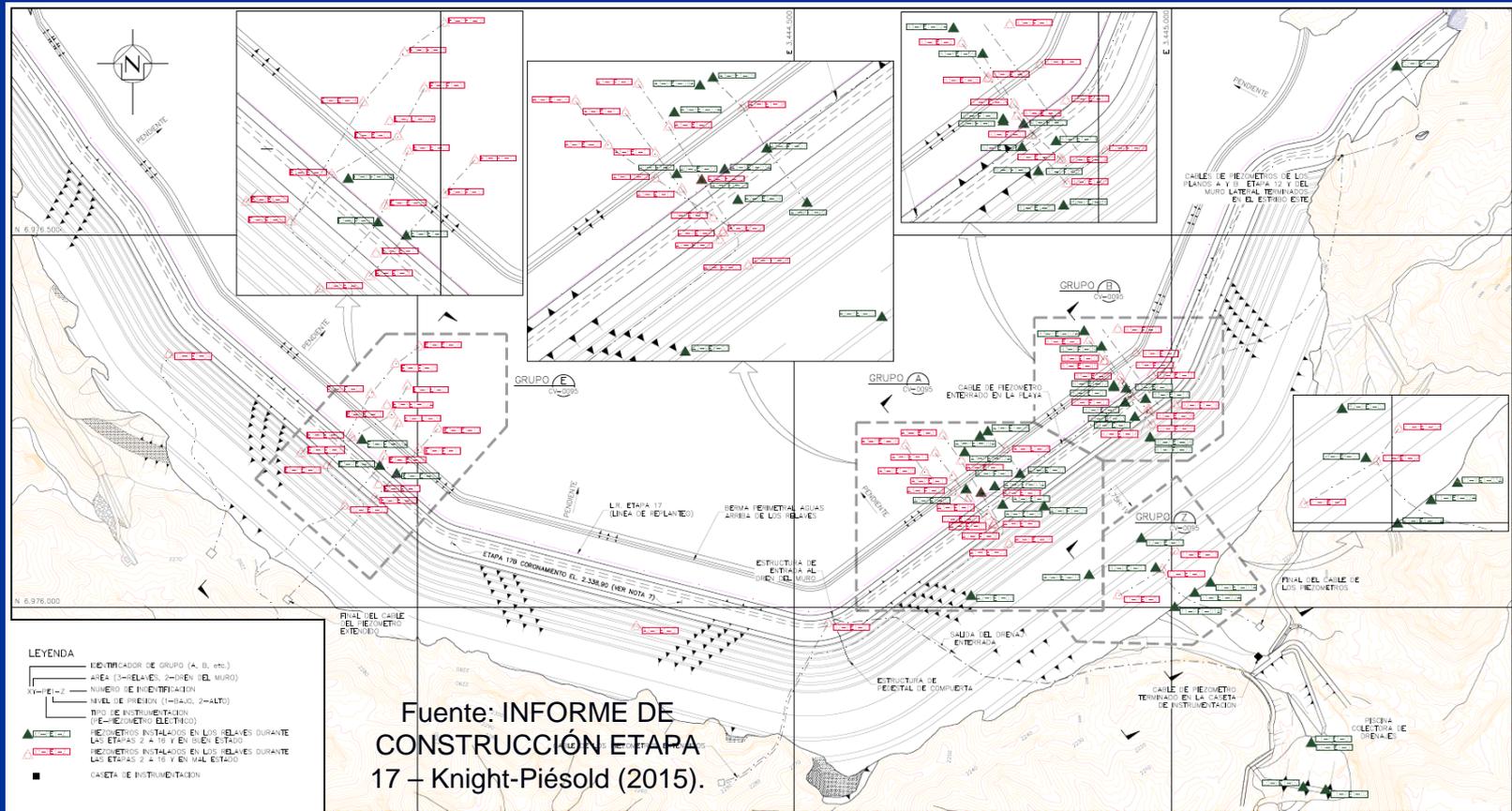
Los **caudales medidos** del dren del Dique de Colas y Dren de fundación **se mantienen relativamente constantes** (no se observa dependencia significativa entre las variables medidas) con la variación del nivel de agua de la laguna sobrenadante durante la construcción de la etapa 18, con caudales promedios de 38 y **69 l/s** respectivamente. Estos valores son similares a los registrados durante la etapa 17 de 36 l/s para el dren de Dique de Colas y 76 l/s para el Dren de fundación.

Caudal específico dren fundación modelo Etapa 18: 0,126 l/s/m,
Longitud de presa con desarrollo de filtros de fundación: 550m

Fuente: IATASA con información provista por DiPGAM

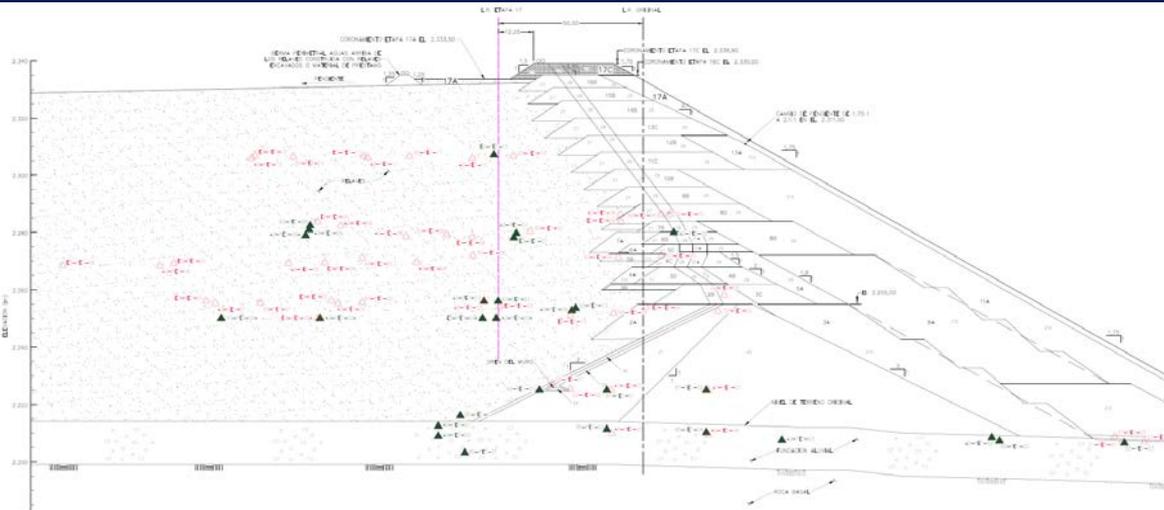
Q modelado 69 l/s = Q prom. aforado dren fundación Etapa 18

ANÁLISIS PERIÓDICOS DE LOS DATOS Y MEDICIONES ARROJADOS POR EL INSTRUMENTAL PRESENTE EN EL ÁREA Y DE AQUELLOS QUE PUDIERAN GENERARSE MEDIANTE LA INSTALACIÓN DE NUEVOS INSTRUMENTOS, CON EL OBJETIVO DE PROGRESAR EN EL CONOCIMIENTO DEL NIVEL FREÁTICO Y POSTERIOR USO DE ESTOS DATOS EN EL AJUSTE DE LA MODELACIÓN DE LA RED DE ESCURRIMIENTO, Y EN LA EVOLUCIÓN DE DICHS NIVELES EN EL MARCO DE LA ESTABILIDAD DE LA OBRA - PLANTA



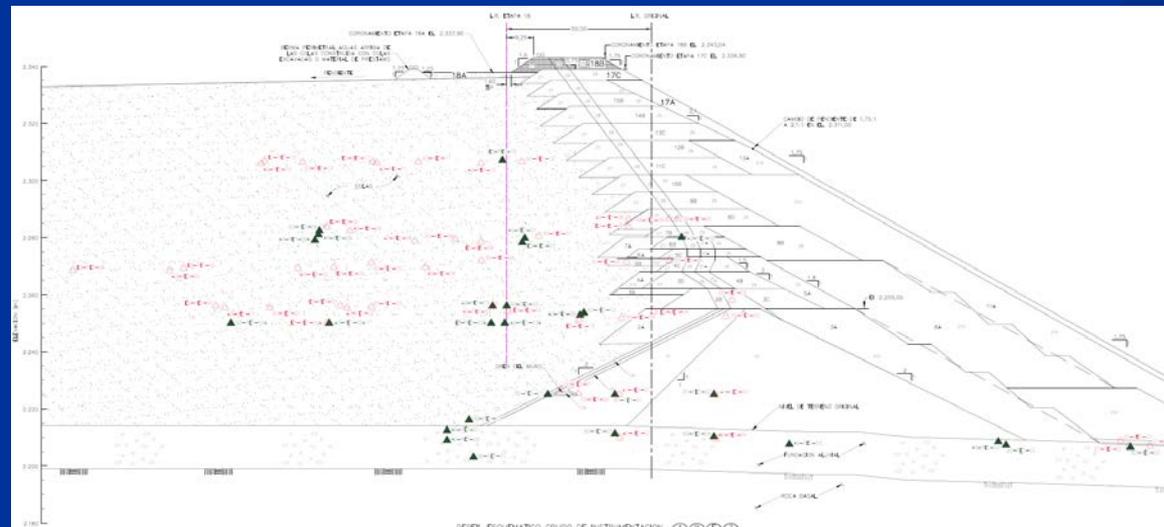
PIEZÓMETROS EN FUNCIONAMIENTO SEGÚN MINERA ALUMBREIRA

ETAPA 17



Fuente: IATASA con información provista por DiPGAM

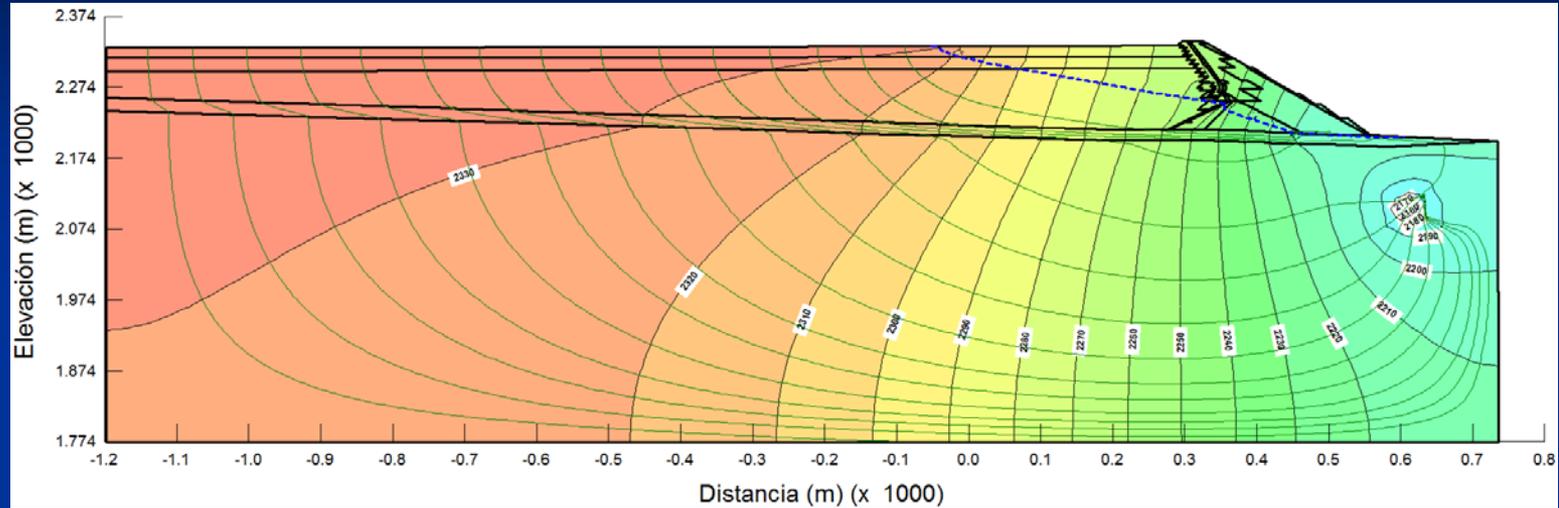
ETAPA 18



Grupo de instrumentación	Piezómetros	Cota de instalación (m)	Estado	
			Etapa 17	Etapa 18
A	A0-PE1-01	2,212.40	Bueno	Bueno
	A0-PE1-02	2,208.90	Bueno	Bueno
	A0-PE1-03	2,209.90	Malo	Malo
	A0-PE1-04	2,209.40	Malo	Malo
	A1-PE1-01	2,225.00	Malo	Malo
	A1-PE1-02	2,225.00	Malo	Malo
	D2-PE1-02	2,225.30	Malo	Malo
	A2-PE1-02	2,208.40	Bueno	Bueno
	A2-PE1-03	2,207.50	Bueno	Bueno
	A3-PE1-01	2,255.30	Malo	Malo
	A3-PE1-02	2,255.30	Malo	Malo
	A3-PE1-02a	2,250.00	Bueno	Bueno
	A3-PE1-03	2,255.90	Malo	Malo
	A3-PE1-03a	2,250.00	Bueno	Bueno
	A3-PE1-13	2,256.00	Bueno	Bueno
	A2-PE1-04	2,252.80	Bueno	Bueno
	A3-PE1-04	2,269.50	Malo	Malo
	A3-PE1-05	2,269.20	Malo	Malo
	A3-PE1-06	2,268.50	Malo	Malo
	A2-PE1-05	2,286.30	Error	Error
A3-PE1-07	2,279.70	Bueno	Bueno	
A3-PE1-08	2,278.70	Malo	Malo	
A3-PE1-09	2,281.00	Bueno	Malo	
A3-PE1-09a	2,278.96	Bueno	Bueno	
A2-PE1-06	2,286.30	Malo	Malo	
A3-PE1-10	2,305.90	Malo	Malo	
A3-PE1-11	2,306.10	Malo	Malo	
A3-PE1-12	2,305.90	Malo	Malo	
Funcionando			12 de 28 (42,8%)	11 de 28 (39,3%)
B	B0-PE1-01	2,203.10	Bueno	Bueno
	B0-PE1-02	2,216.10	Bueno	Bueno
	B0-PE1-03	2,211.30	Bueno	Bueno
	B0-PE1-04	2,210.20	Bueno	Bueno
	B1-PE1-01	2,225.00	Bueno	Bueno
	B1-PE1-02	2,225.00	Bueno	Bueno
	B2-PE1-01	2,225.00	Bueno	Bueno
	B2-PE1-02	2,207.20	Bueno	Bueno
	B2-PE1-03	2,206.50	Bueno	Bueno
	B3-PE1-01	2,255.40	Malo	Malo
	B3-PE1-02	2,255.60	Malo	Malo
	B3-PE1-02a	2,250.00	Bueno	Bueno
	B3-PE1-03	2,256.00	Bueno	Bueno
	B2-PE1-04	2,251.80	Malo	Malo
B3-PE1-04	2,271.30	Malo	Malo	
B3-PE1-05	2,271.20	Malo	Malo	
B3-PE1-06	2,271.90	Malo	Malo	
B2-PE1-05	2,286.40	Malo	Malo	
B3-PE1-07	2,280.40	Malo	Malo	
B3-PE1-08	2,279.30	Malo	Malo	
B3-PE1-09	2,282.40	Bueno	Bueno	
B2-PE1-06	2,286.40	Malo	Malo	
B3-PE1-10	2,306.60	Malo	Malo	
B3-PE1-11	2,306.60	Malo	Malo	
B3-PE1-12	2,306.40	Malo	Malo	
B3-PE1-13	2,253.55	Bueno	Bueno	
Funcionando			13 de 26 (50,0%)	13 de 26 (50,0%)

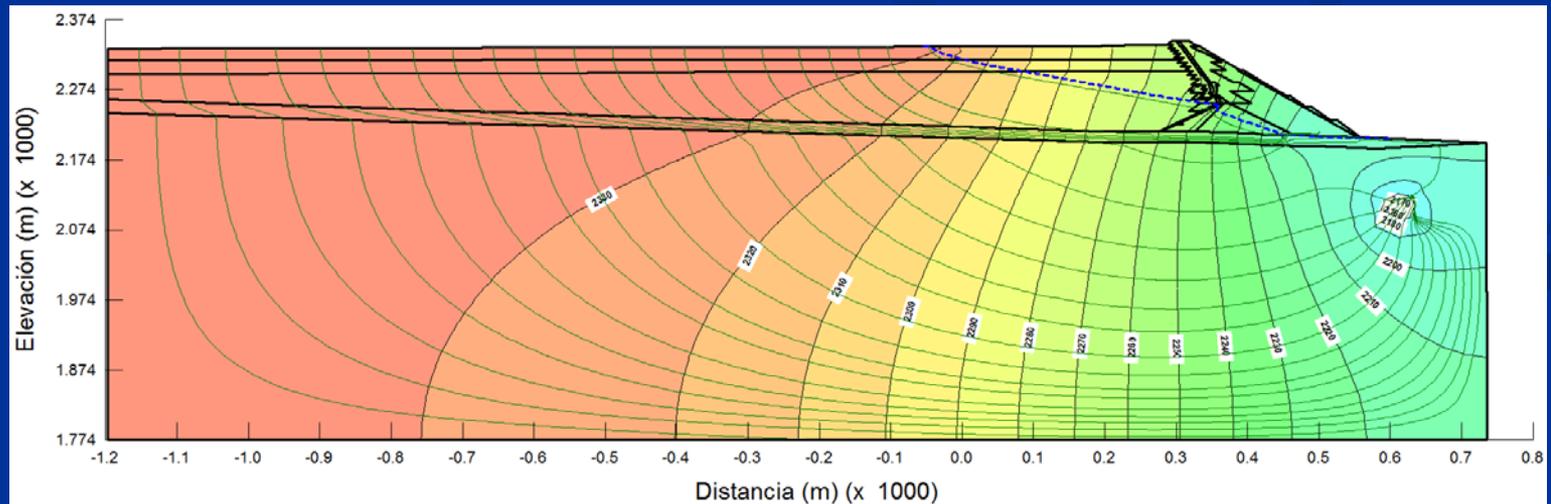
FUNCIONAMIENTO DE PIEZÓMETROS ELÉCTRICOS MODELIZACIÓN DE REDES DE FILTRACIÓN PARA LAS ETAPAS 17 Y 18

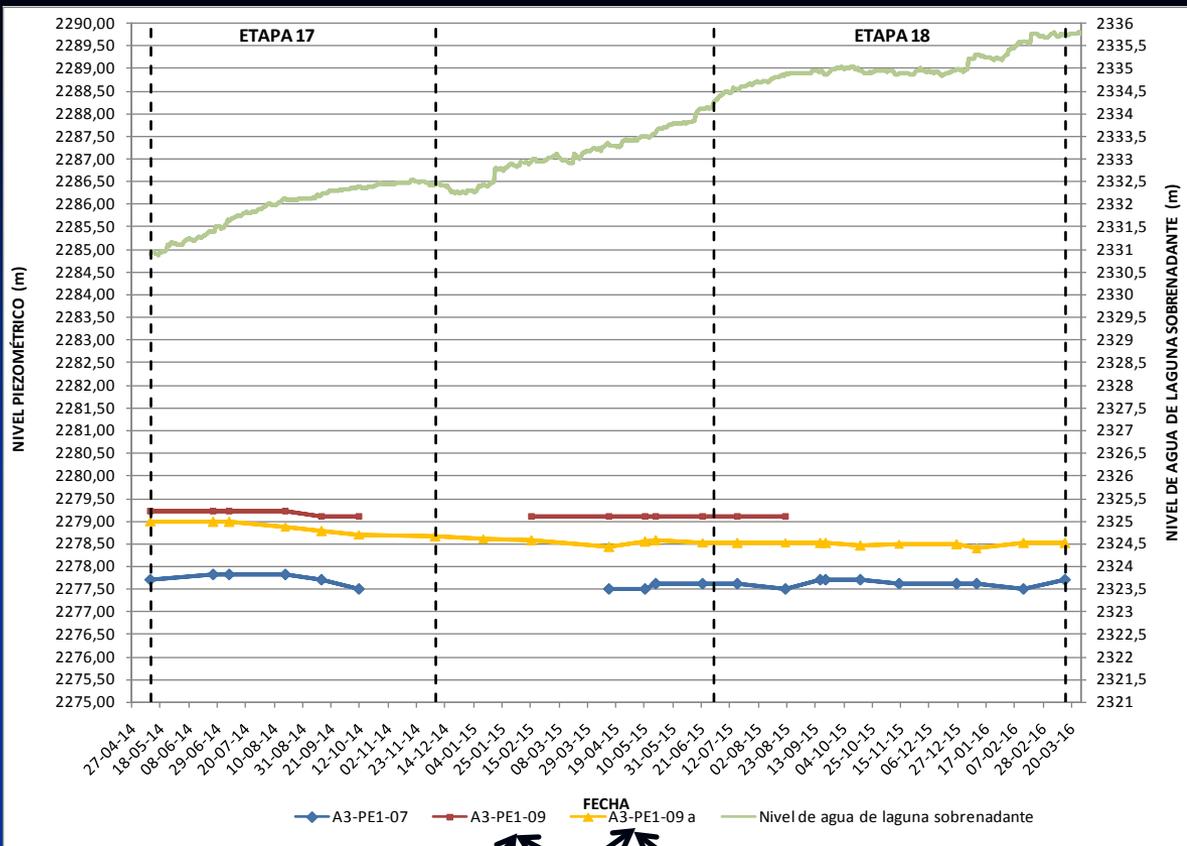
ETAPA 17



Fuente: IATASA

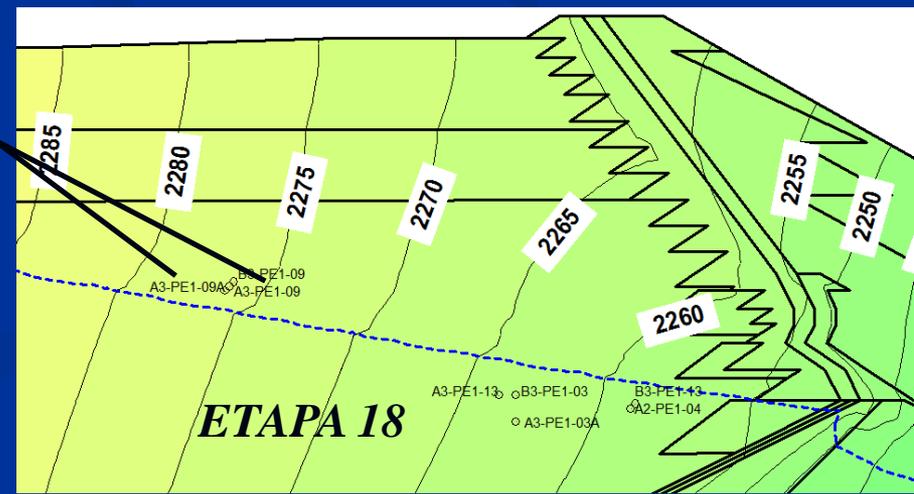
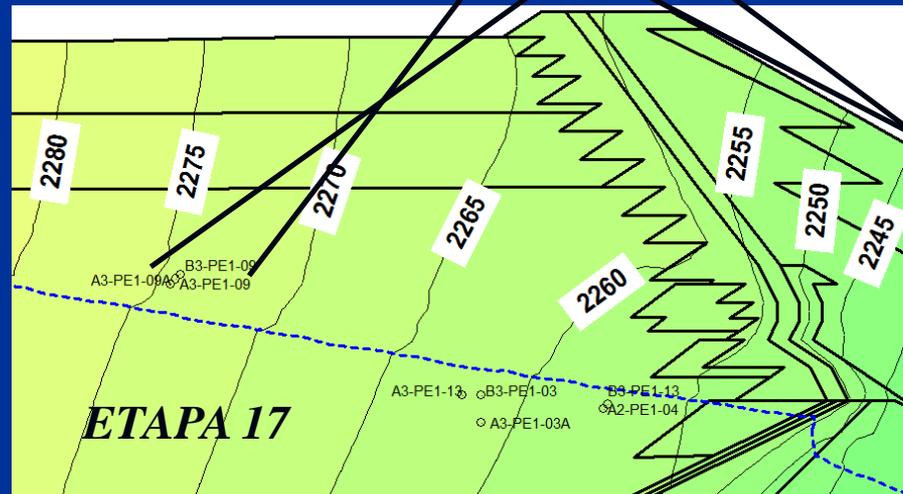
ETAPA 18





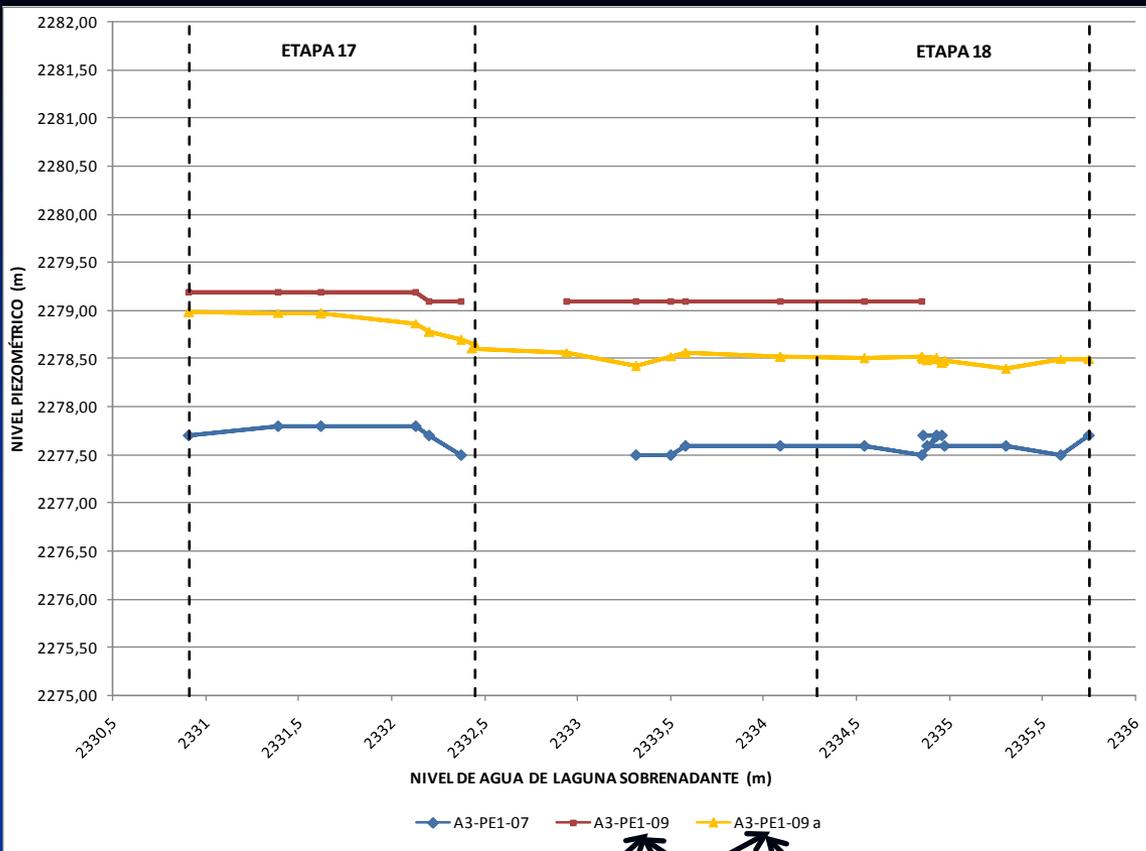
FUNCIONAMIENTO DE PIEZÓMETROS ELÉCTRICOS NIVEL PIEZOMÉTRICO VS TIEMPO

Fuente: IATASA con
información provista por
DiPGAM

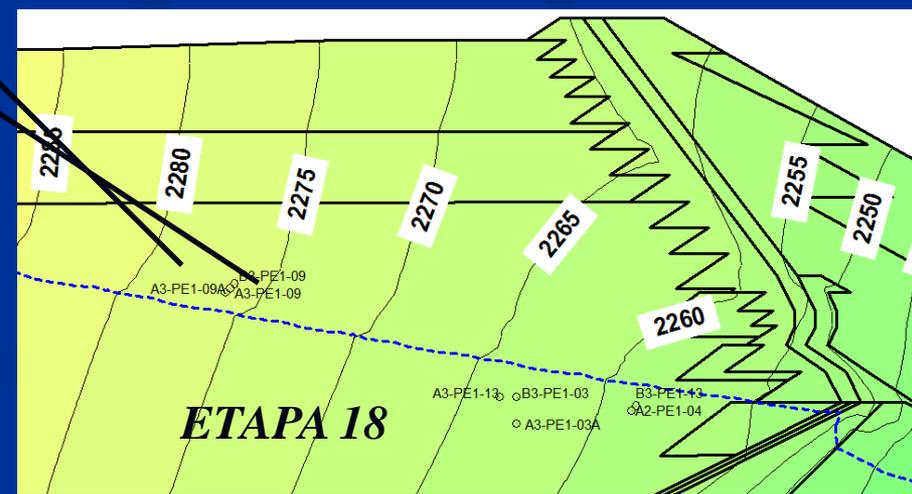
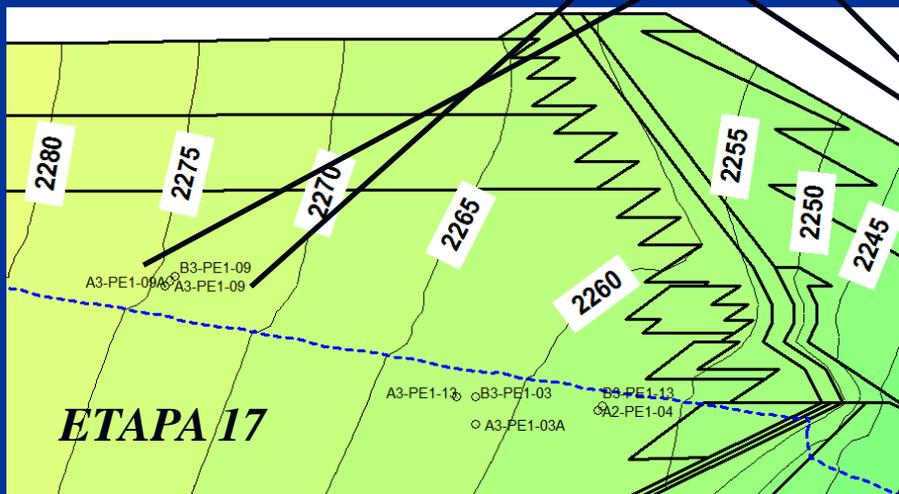


FUNCIONAMIENTO DE PIEZÓMETROS ELÉCTRICOS

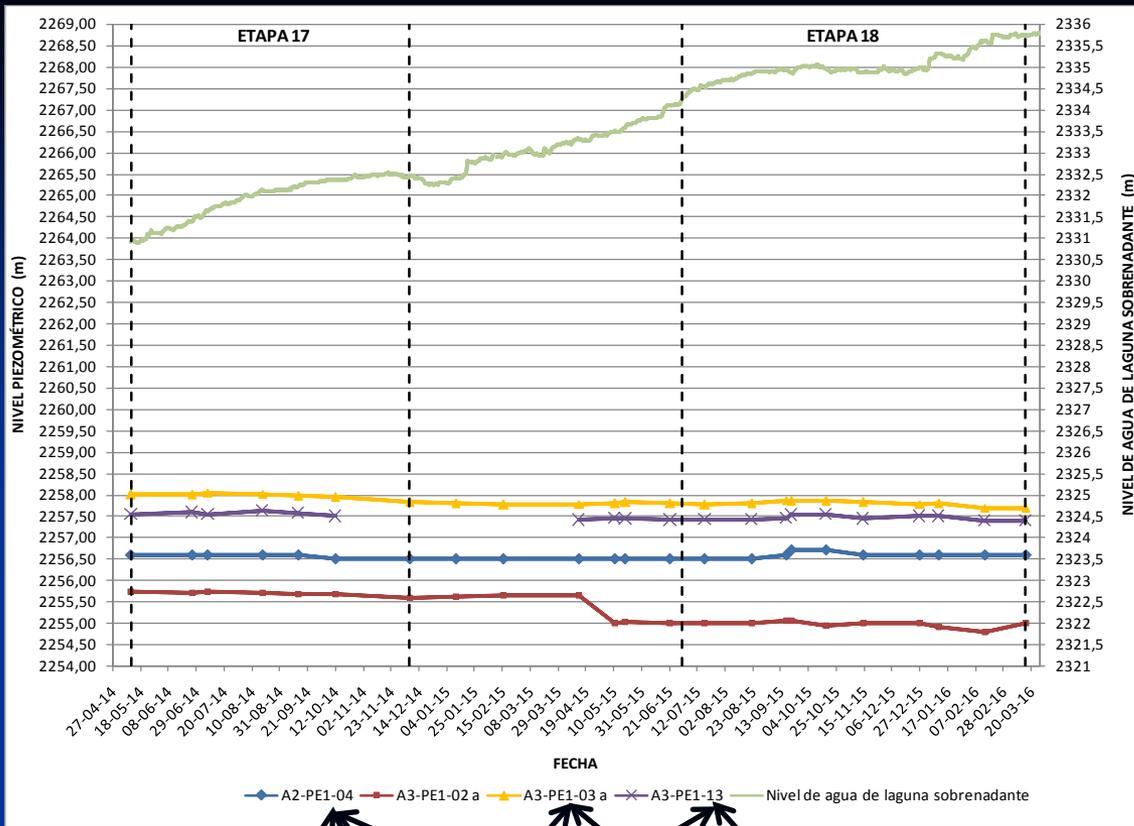
NIVEL PIEZOMÉTRICO VS NIVEL LAGUNA SOBRENADANTE



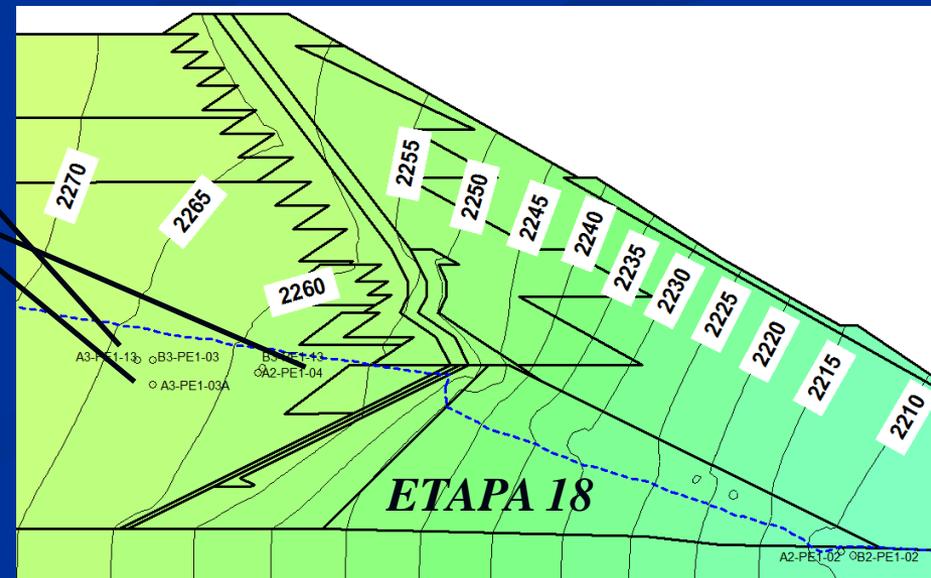
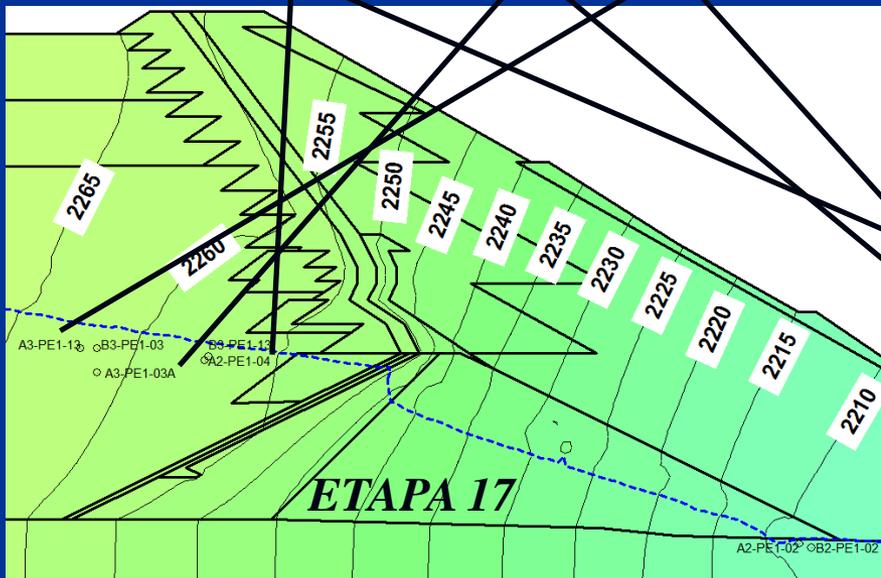
Fuente: IATASA con información provista por DiPGAM



FUNCIONAMIENTO DE PIEZÓMETROS ELÉCTRICOS NIVEL PIEZOMÉTRICO VS TIEMPO



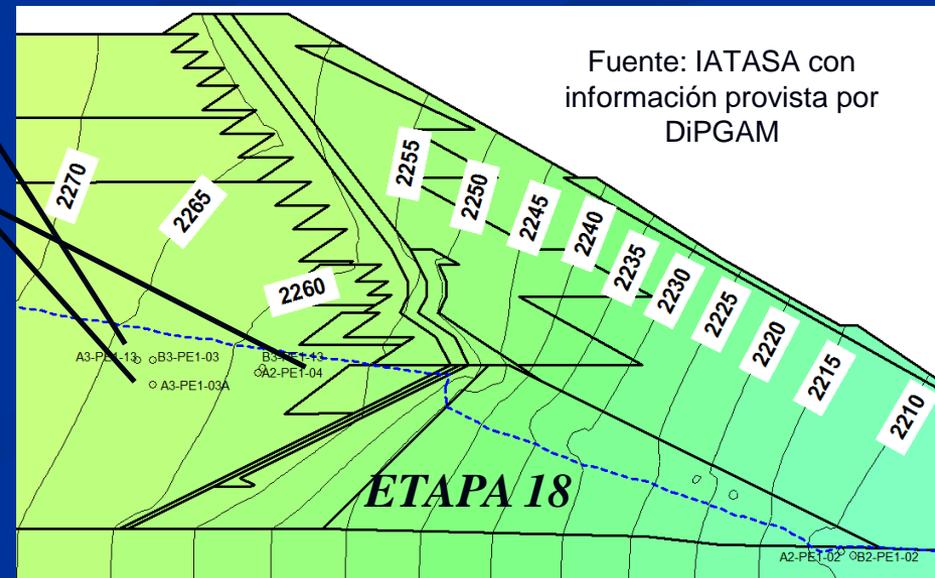
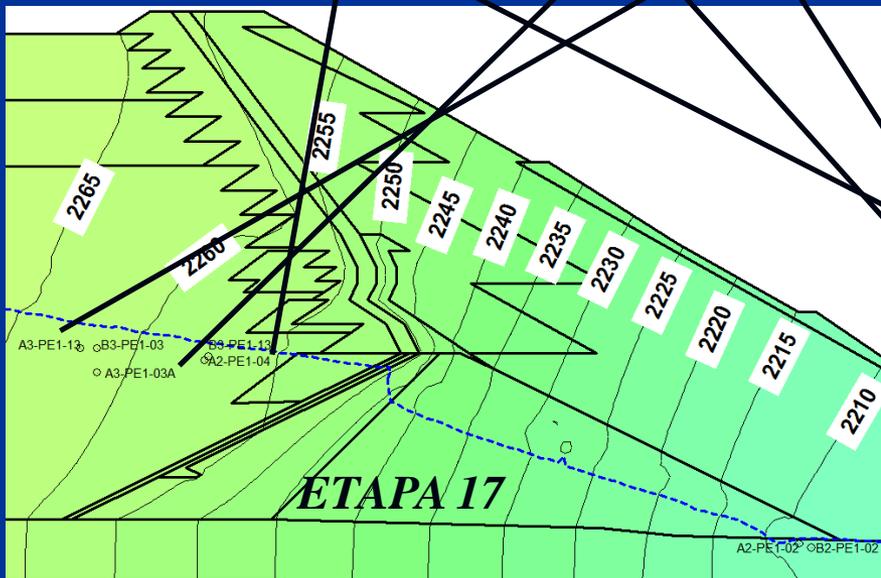
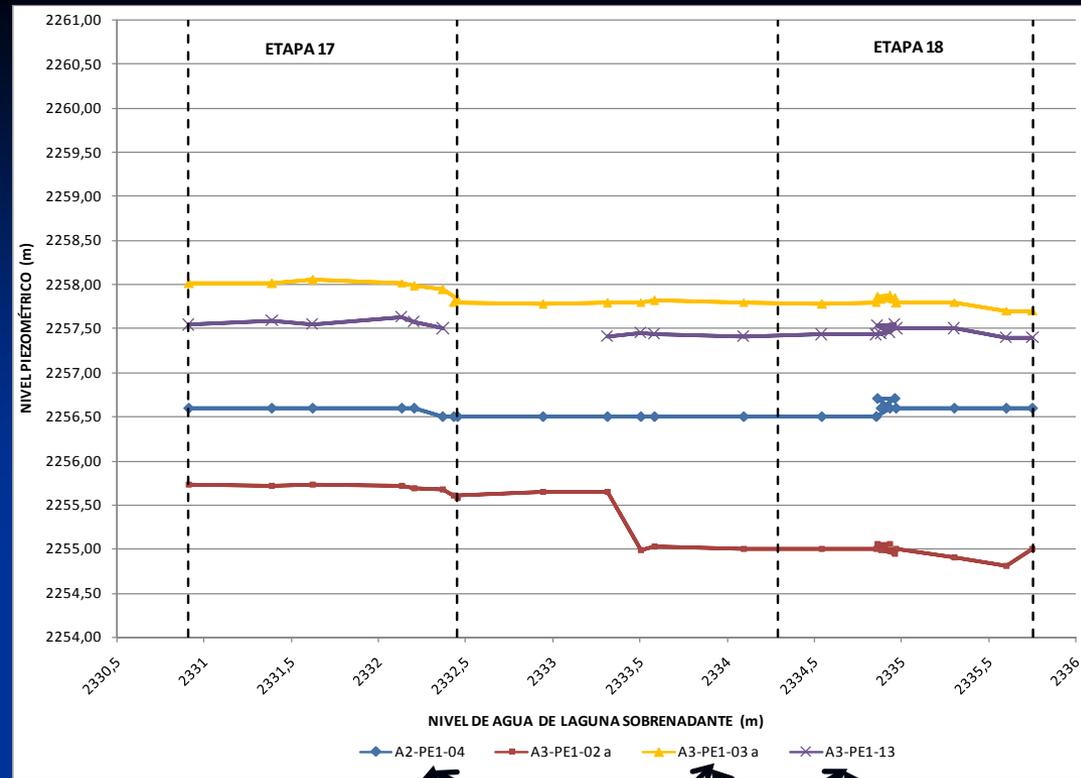
Fuente: IATASA con información provista por DiPGAM



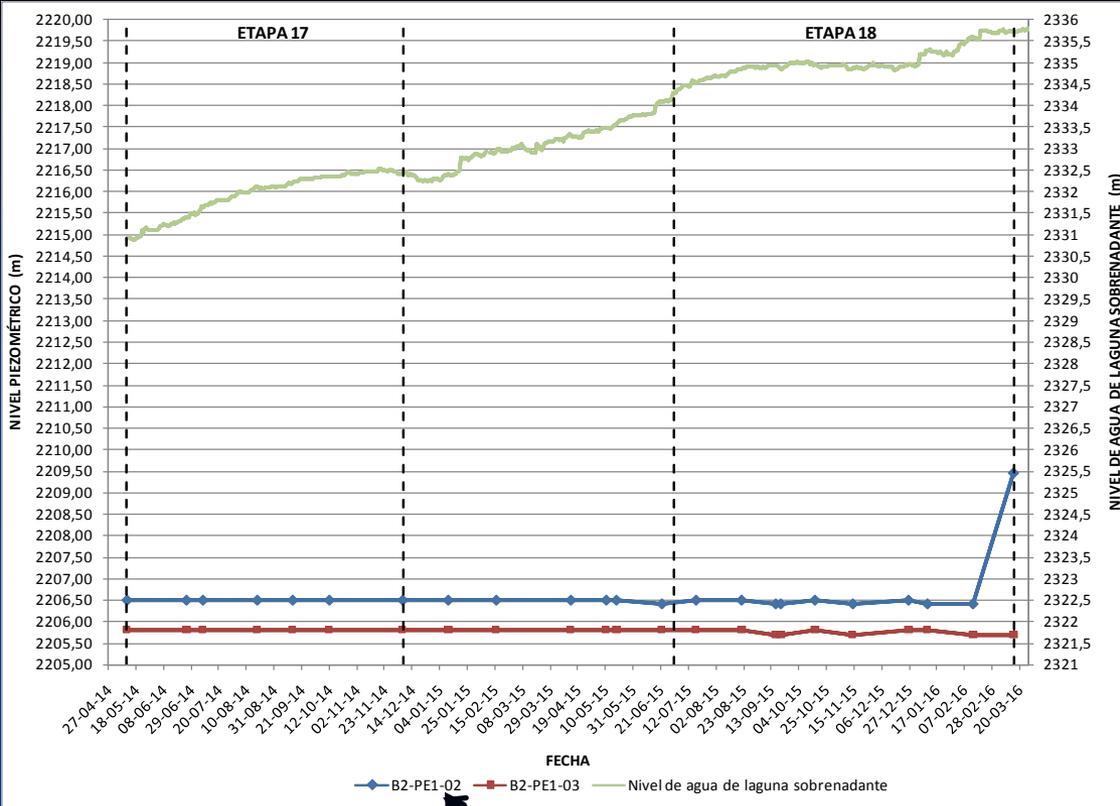
FUNCIONAMIENTO DE PIEZÓMETROS ELÉCTRICOS

NIVEL PIEZOMÉTRICO VS NIVEL LAGUNA SOBRENADANTE

Como se puede observar en las figuras anteriores, la mayoría de los niveles piezométricos de los grupos de instrumentación A y B se mantienen relativamente constantes con la variación del nivel de agua de la laguna sobrenadante durante la construcción de la etapa 17 y 18.

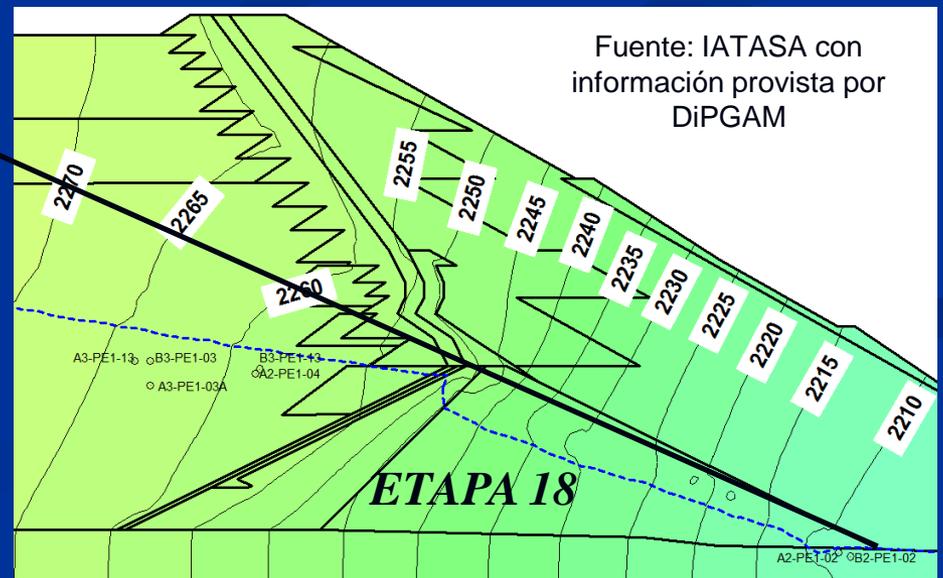
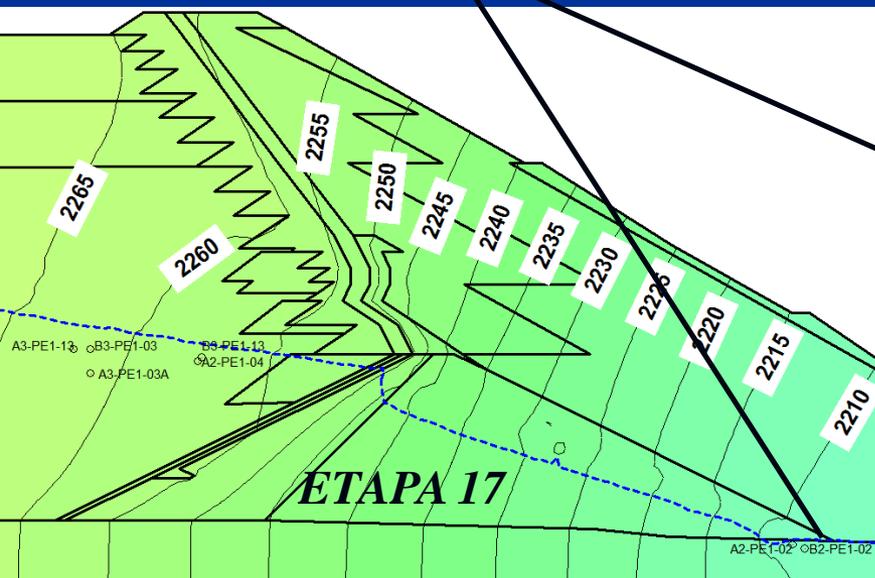


Fuente: IATASA con información provista por DiPGAM



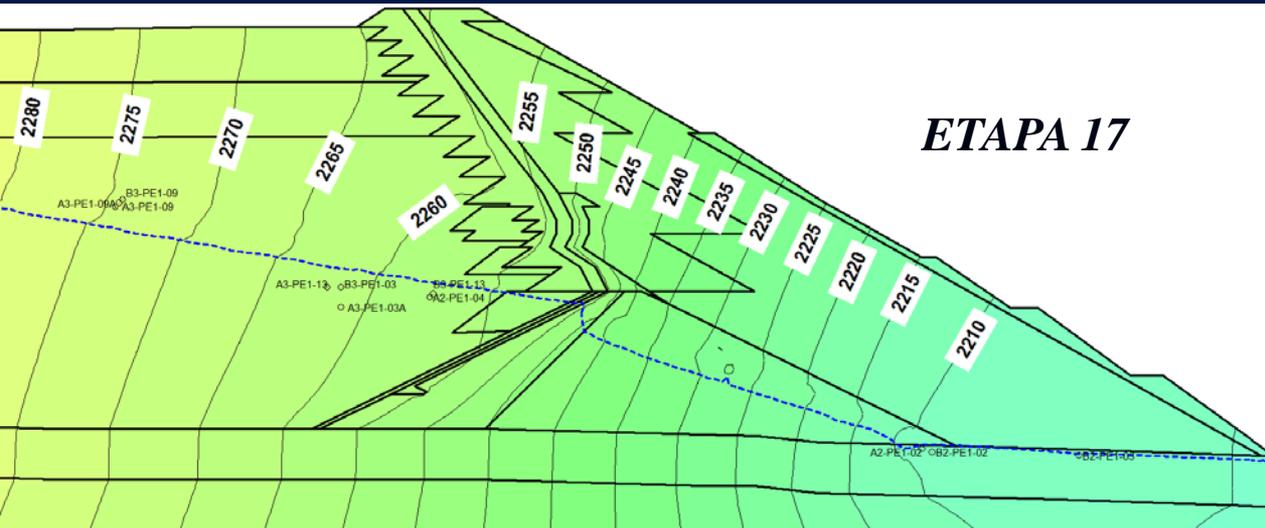
FUNCIONAMIENTO DE PIEZÓMETROS ELÉCTRICOS NIVEL PIEZOMÉTRICO VS NIVEL LAGUNA SOBRENADANTE

En el PE B2-PE1-02 al final de la etapa 18 se observa un incremento de 3m del nivel piezométrico, cuyo valor es acorde con la cota de instalación del piezómetro y la del modelo.



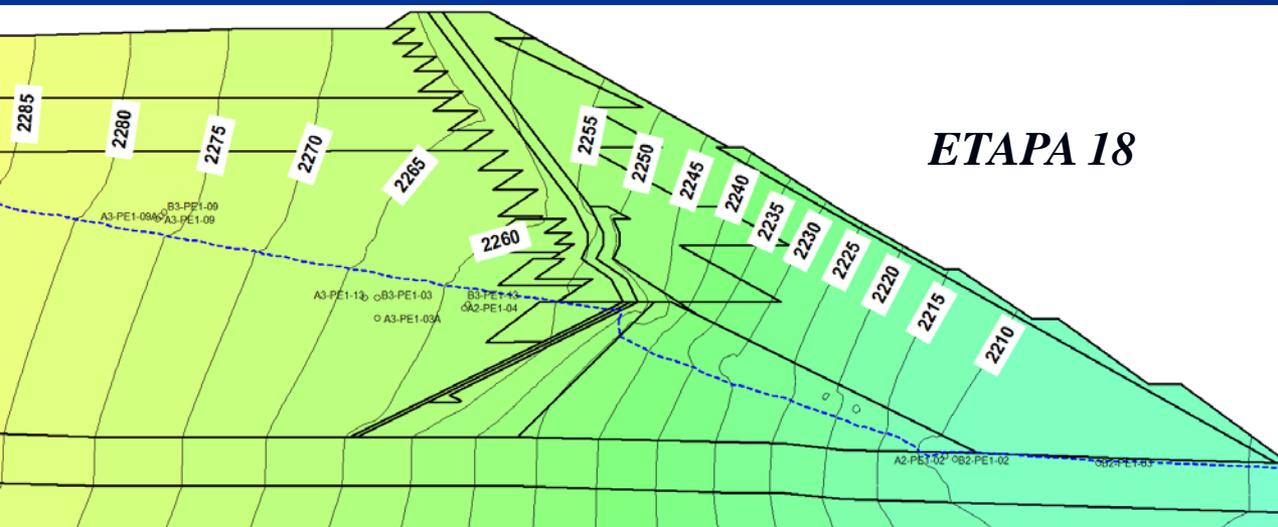
Fuente: IATASA con información provista por DiPGAM

FUNCIONAMIENTO DE PIEZÓMETROS ELÉCTRICOS



Se puede observar que la tendencia en cuanto al funcionamiento de los piezómetros eléctricos es, lógicamente, ir quedando paulatinamente desafectados en el tiempo como ha ocurrido en muchas presas auscultadas con este tipo de piezómetros.

Resulta conveniente tener más datos medidos en forma directa en distintos puntos representativos de la presa y su fundación, de manera tal de poder compararlos con los del modelo. Para ello, se recomienda la instalación de freaímetros en los relaves, presa y fundación, de manera de permitir un mejor conocimiento del comportamiento real de la presa de acuerdo con lo requerido en el informe presentado por IATASA en 2014.



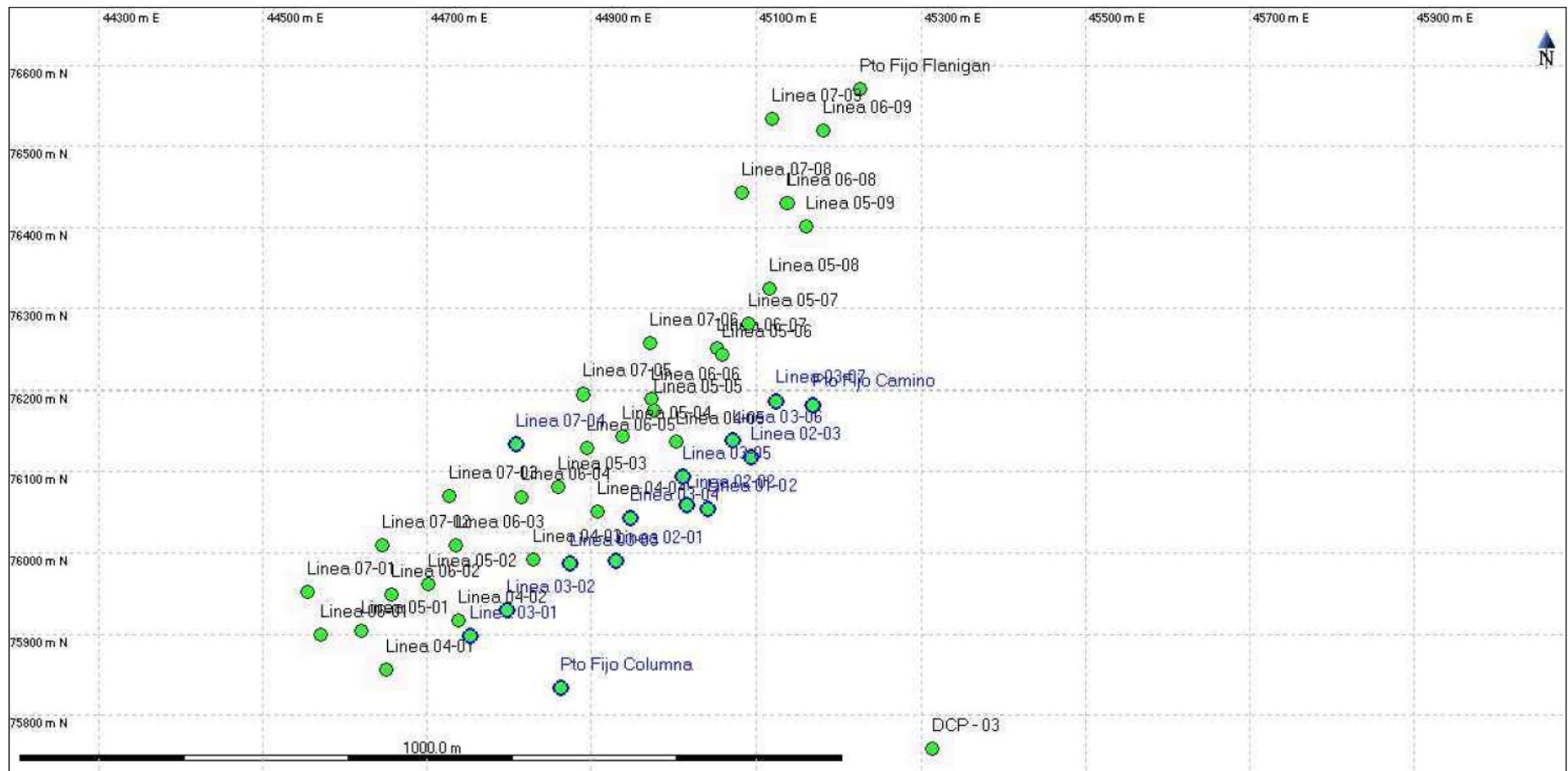
Fuente: IATASA con información provista por DIPGAM

De acuerdo con lo requerido en el informe presentado por IATASA en 2014 e informes de avance N°1, 2 y 3 de este contrato, en cuanto a la instalación de freatímetros para tener más datos medidos en forma directa en distintos puntos representativos de la presa y su fundación, Minera Alumbraera presentó una nota a la DiPGAM relativa a la instalación de dos freatímetros (tubo abierto) en el dique de colas. En el Plan de Cierre MA informa que se construirán 3 piezómetros Casagrande.

Se informa a la DiPGAM que inicialmente IATASA está de acuerdo con la propuesta (restarían colocar 6) y advirtiendo que al ubicar freatímetros aguas abajo de la presa, se tenga en cuenta su protección ya que falta aún la construcción de la cobertura y que se ha recomendado que el talud final (conforme a obra) sea de 1V:2H.

Además se recomienda que personal de IATASA esté presente al momento de la instalación de los freatímetros y que coincida con la toma de lecturas de los piezómetros eléctricos.

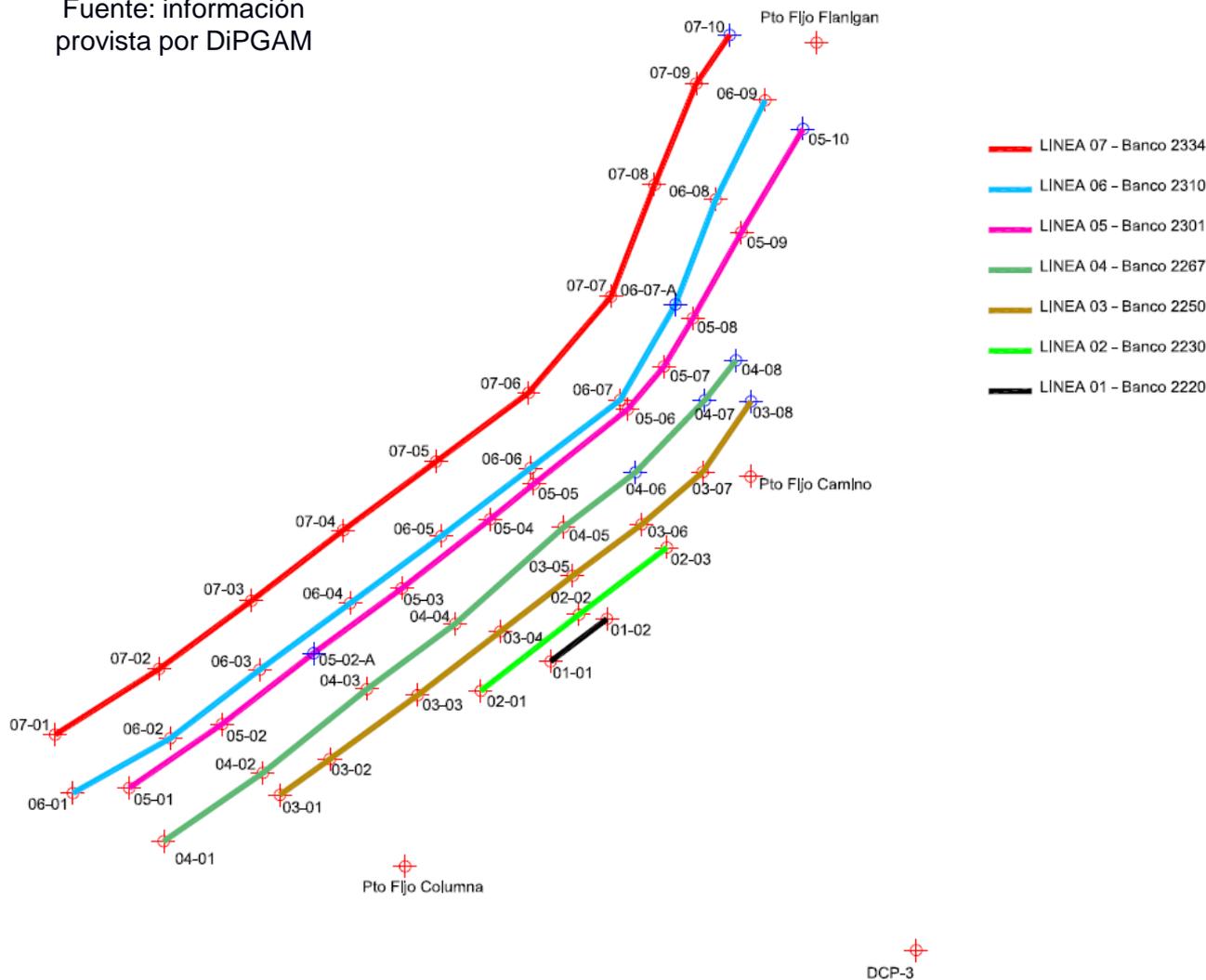
ANÁLISIS DE DISPOSICIÓN Y FUNCIONAMIENTO DE INSTRUMENTAL Y DE ASENTAMIENTOS Y MOVIMIENTOS REGISTRADOS EN CORONAMIENTO Y FUNDACIÓN DE LA PRESA



Fuente: información
provista por DiPGAM

ANÁLISIS DE DISPOSICIÓN Y FUNCIONAMIENTO DE INSTRUMENTAL Y DE ASENTAMIENTOS Y MOVIMIENTOS REGISTRADOS EN CORONAMIENTO Y FUNDACIÓN DE LA PRESA (EN AZUL PUNTOS FIJOS AGREGADOS)

Fuente: información provista por DiPGAM



CASETA N°3
PERIODO 2016
COORDENADAS INICIALES DE LOS PRISMAS COLOCADOS EN EL MURO

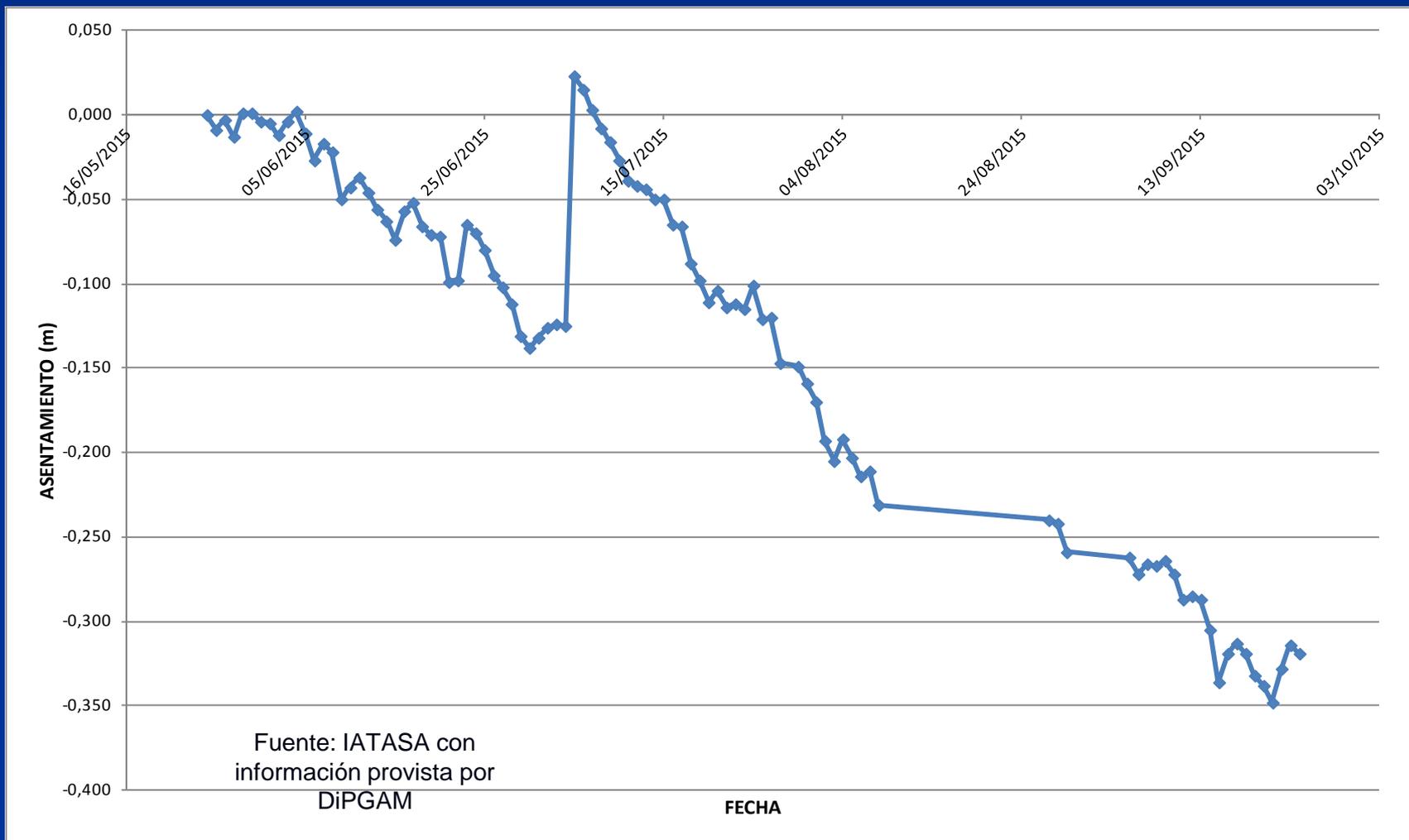
Nombre	Este	Norte	Elevación	Tipo
DCP - 03	45314.769	75756.138	2271.733	null
Linea 01-01	44992.067	76014.432	2220.000	null
Linea 01-02	45041.824	76052.487	2220.793	null
Linea 02-01	44930.505	75988.136	2230.846	null
Linea 02-02	45017.149	76056.390	2230.256	null
Linea 02-03	45094.716	76116.310	2230.699	null
Linea 03-01	44753.175	75894.997	2250.527	null
Linea 03-02	44797.206	75927.001	2250.691	null
Linea 03-03	44874.632	75984.179	2250.644	null
Linea 03-04	44947.751	76041.161	2250.698	null
Linea 03-05	45011.560	76091.074	2250.873	null
Linea 03-06	45072.508	76137.070	2250.742	null
Linea 03-07	45126.331	76183.788	2251.464	null
Linea 03-08	45168.971	76247.069	2250.537	null
Linea 04-01	44650.512	75853.527	2266.203	null
Linea 04-02	44738.222	75914.824	2267.445	null
Linea 04-03	44829.925	75989.648	2266.499	null
Linea 04-04	44907.824	76048.035	2266.805	null
Linea 04-05	45003.623	76134.552	2270.468	null
Linea 04-06	45067.100	76183.565	2270.268	null
Linea 04-07	45128.174	76248.080	2270.392	null
Linea 04-08	45155.702	76283.758	2267.872	null
Linea 05-01	44620.103	75901.243	2301.331	null
Linea 05-02	44702.097	75958.363	2301.673	null
Linea 05-02-A	44782.813	76021.769	2301.965	null
Linea 05-03	44860.597	76079.647	2301.373	null
Linea 05-04	44938.788	76141.613	2301.406	null
Linea 05-05	44977.204	76173.138	2301.466	null
Linea 05-06	45060.202	76240.000	2302.103	null
Linea 05-07	45092.113	76278.259	2301.639	null
Linea 05-08	45117.733	76321.441	2302.314	null
Linea 05-09	45160.587	76398.461	2302.760	null
Linea 05-10	45214.947	76490.722	2302.511	null
Linea 06-01	44570.437	75896.662	2309.876	null
Linea 06-02	44656.446	75945.714	2309.697	null
Linea 06-03	44735.189	76006.942	2309.878	null
Linea 06-04	44815.032	76066.406	2310.287	null
Linea 06-05	44895.443	76126.415	2309.614	null
Linea 06-06	44974.438	76187.378	2309.592	null
Linea 06-07	45053.513	76248.279	2309.153	null
Linea 06-07-A	45102.283	76333.802	2309.813	null
Linea 06-08	45137.938	76427.762	2310.366	null
Linea 06-09	45181.439	76516.389	2310.459	null
Linea 07-01	44554.713	75948.975	2334.676	null
Linea 07-02	44646.388	76007.634	2334.649	null
Linea 07-03	44727.923	76068.663	2334.441	null
Linea 07-04	44809.053	76131.829	2334.483	null
Linea 07-05	44890.884	76193.170	2334.142	null
Linea 07-06	44972.732	76254.805	2334.232	null
Linea 07-07	45045.445	76340.787	2334.789	null
Linea 07-08	45083.841	76440.798	2335.100	null
Linea 07-09	45120.635	76531.322	2334.543	null
Linea 07-10	45150.191	76574.800	2335.486	null
Pto Fijo Camino	45168.602	76179.740	2235.948	null
Pto Fijo Columna	44863.662	75831.093	2236.271	null
Pto Fijo Flanlgan	45226.902	76567.929	2343.723	null

ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS Y MOVIMIENTOS REGISTRADOS EN CORONAMIENTO Y FUNDACIÓN DE LA PRESA

PUNTO FIJO: 07-05

En agosto del 2016 en Informe de Avance N°1 las mediciones muestran que la cota inicial de los prismas desciende demasiado y en determinadas fechas presentan un salto, en este caso, ascendente.

Primera alerta de mal funcionamiento



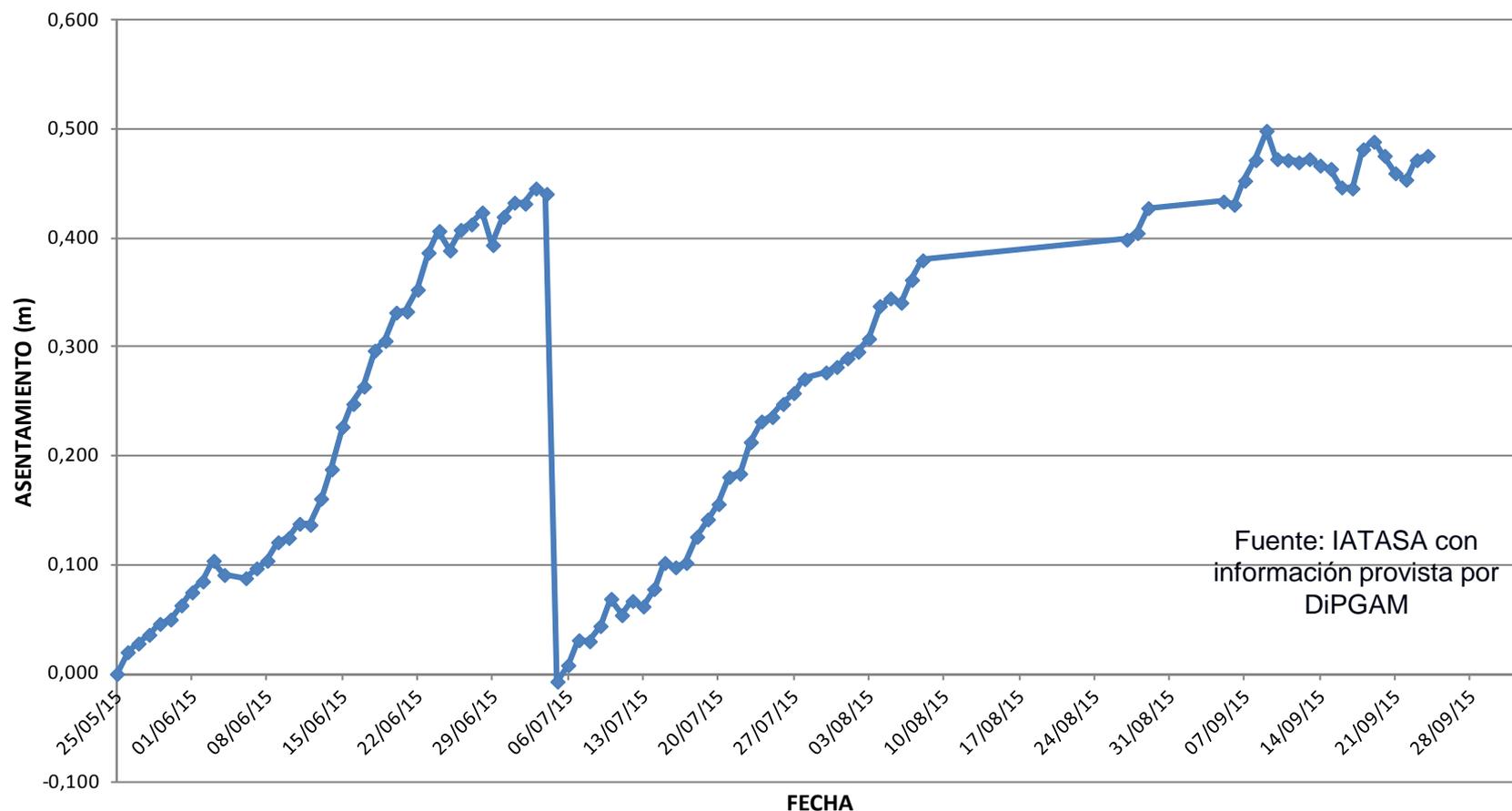
ANÁLISIS DE MOVIMIENTOS REGISTRADOS EN CORONAMIENTO Y FUNDACIÓN DE LA PRESA

Y ASENTAMIENTOS REGISTRADOS EN LA PRESA

En agosto del 2016 en Informe de Avance N°1 las mediciones muestran que la cota inicial de los prismas asciende y en determinadas fechas presentan un salto, en este caso, descendente.

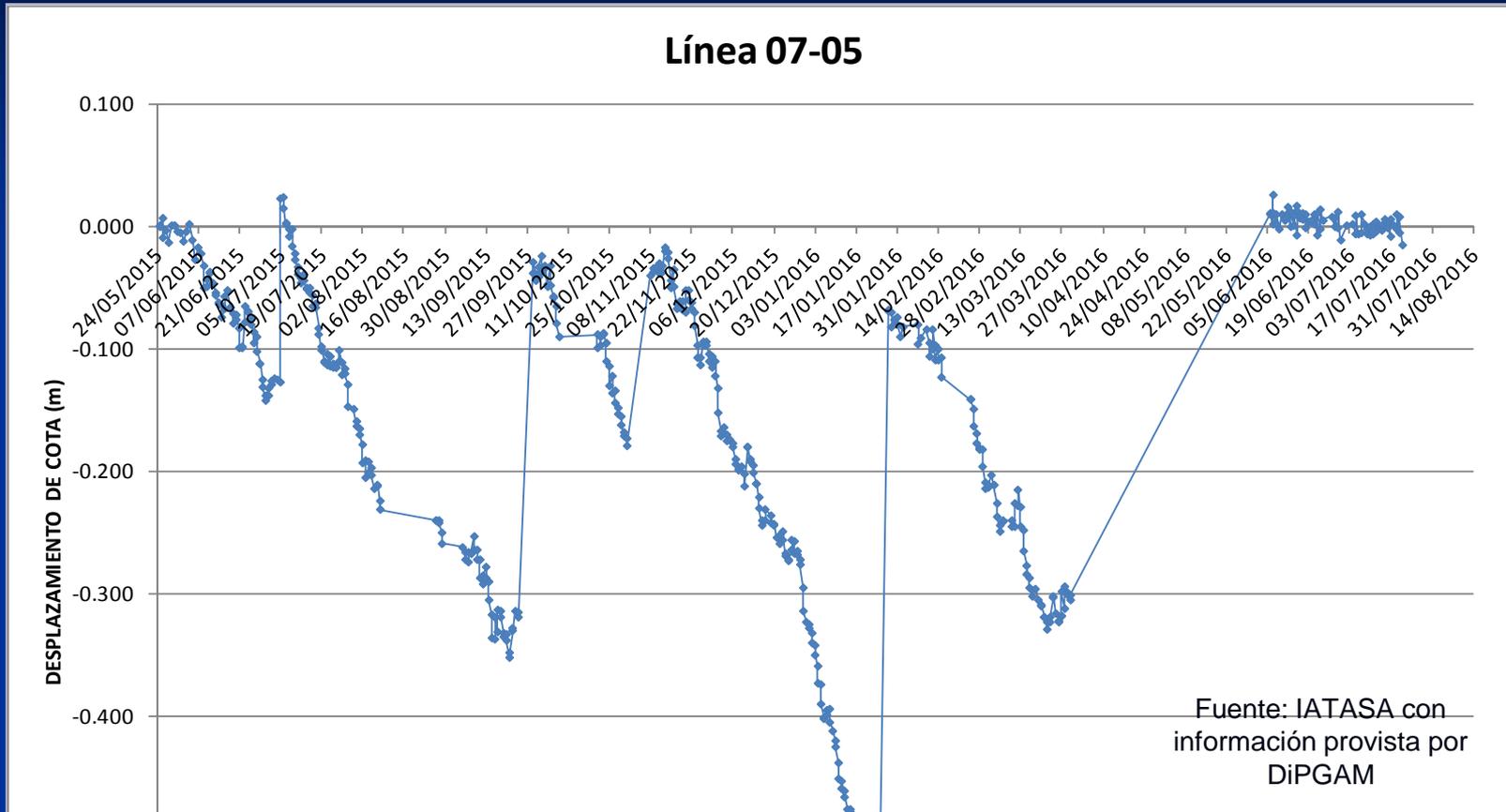
Primera alerta de mal funcionamiento

LINEA 06-05



Fuente: IATASA con información provista por DiPGAM

ANÁLISIS DE DISPOSICIÓN Y FUNCIONAMIENTO DE INSTRUMENTAL Y DE ASENTAMIENTOS Y MOVIMIENTOS REGISTRADOS EN CORONAMIENTO Y FUNDACIÓN DE LA PRESA



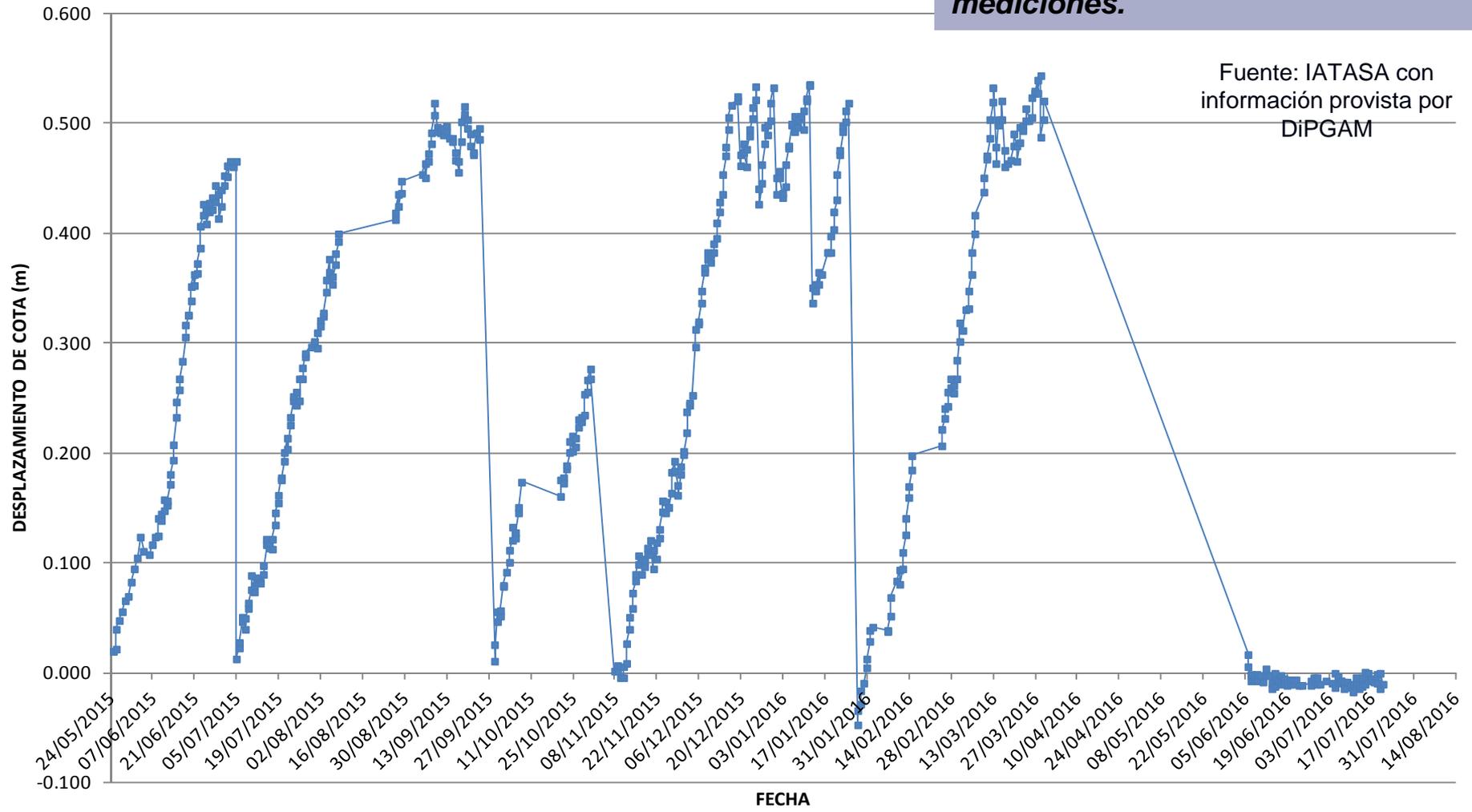
Se enviaron comentarios a la DiPGAM, dado que al continuar procesando los datos disponibles hasta el 21 de julio de 2016, se siguieron observando anomalías (aún cuando se atenúan a partir del 06/06/16), similares a las mencionadas en el informe de avance N° 1, que requieren su interpretación o corrección.

En algunos casos la cota inicial de los prismas topográficos desciende y en determinadas fechas se presentan saltos ascendentes (4/7/2015, 24/9/2015, 31/10/2015 y 24/01/2016). A partir del 06/06/16, se aprecia un cambio en las magnitudes de las mediciones.

ANÁLISIS DE MOVIMIENTOS REGISTRADOS EN CORONAMIENTO Y FUNDACIÓN DE LA PRESA

En otros casos las mediciones muestran que la cota inicial de los prismas asciende y en las fechas mencionadas anteriormente presentan un salto, en este caso, descendente. A partir del 06/06/16, se aprecia un cambio en las magnitudes de las mediciones.

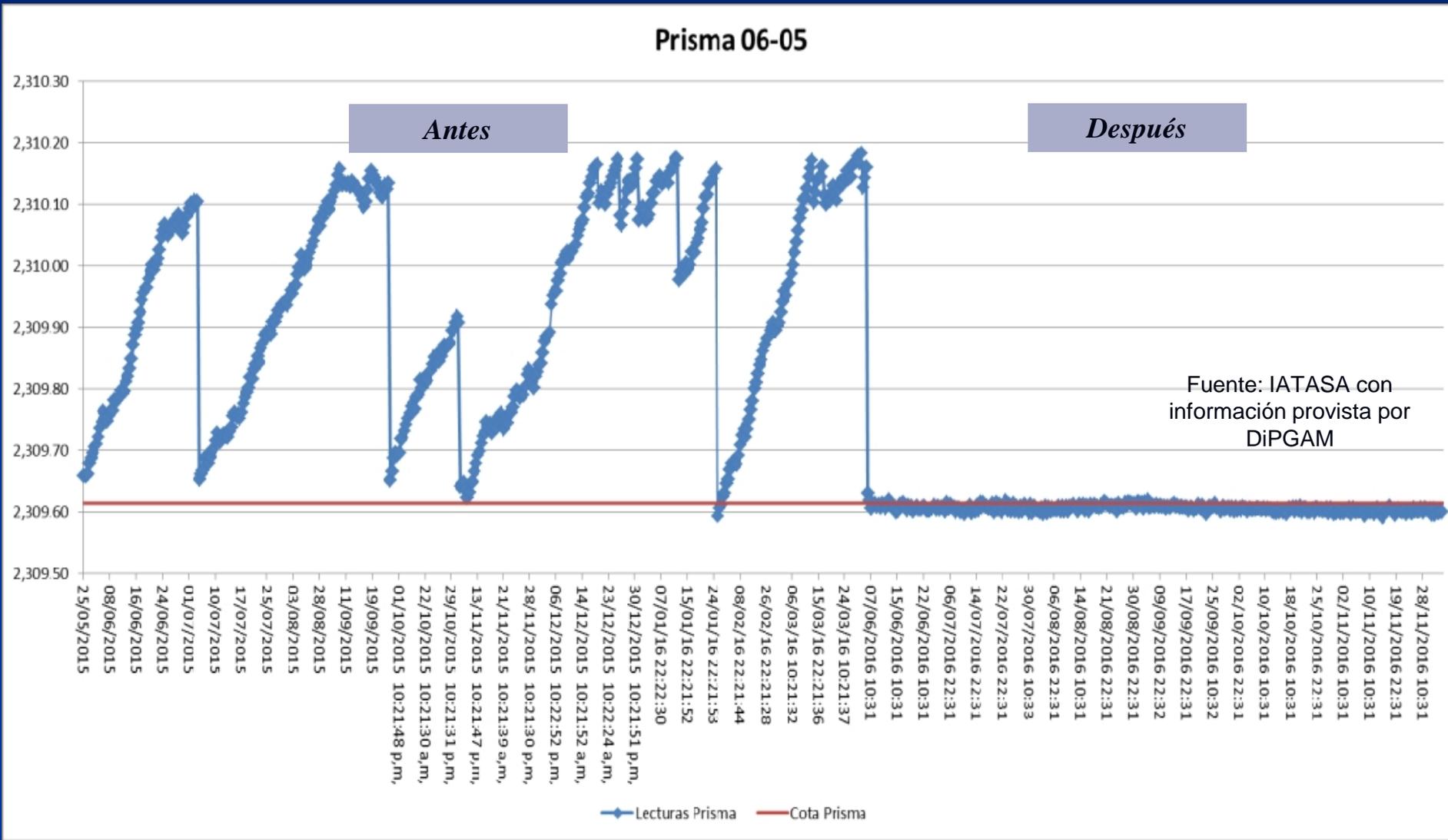
Línea 06-05



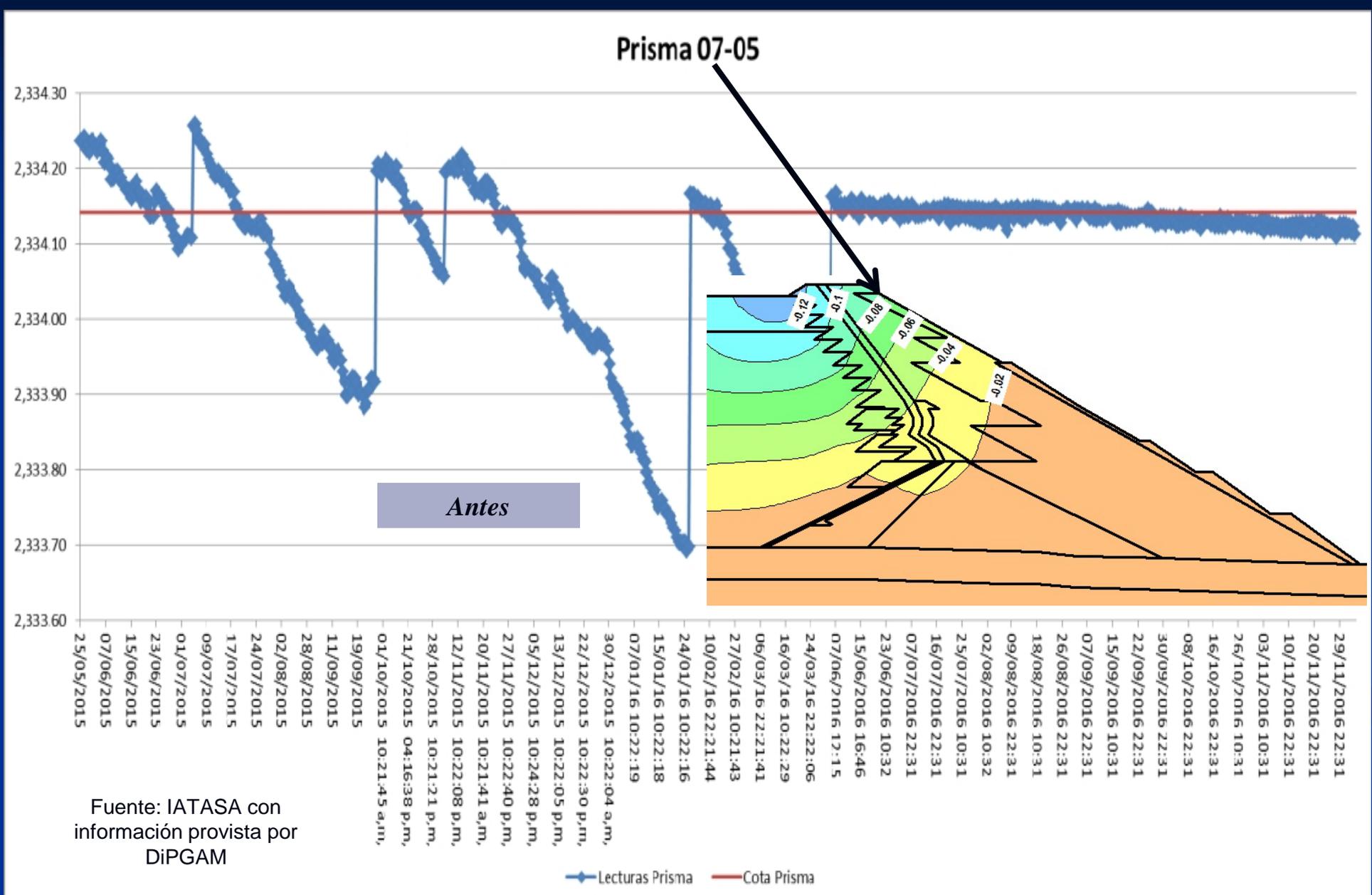
Fuente: IATASA con información provista por DiPGAM

ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS Y MOVIMIENTOS REGISTRADOS EN CORONAMIENTO Y FUNDACIÓN DE LA PRESA

FUNCIONAMIENTO ADECUADO DE LOS PUNTOS FIJOS



FUNCIONAMIENTO ADECUADO DE LOS PUNTOS FIJOS 5CM APROX. EN 6 MESES Y MODELO ETAPA 17 (7 MESES) - CORONAMIENTO 2339



Fuente: IATASA con información provista por DiPGAM

ANÁLISIS DE DISPOSICIÓN Y FUNCIONAMIENTO DE INSTRUMENTAL Y DE ASENTAMIENTOS Y MOVIMIENTOS REGISTRADOS EN CORONAMIENTO Y FUNDACIÓN DE LA PRESA

Fuente: información provista por DiPGAM



No se presentan la interpretación de los resultados obtenidos, las conclusiones y recomendaciones acerca de las mediciones efectuadas en los puntos fijos.

Las deformaciones medidas parecen indicar valores de hasta 5cm (valores de deformación modelizada).

Se deberá mejorar la visualización mediante el cambio de la escala vertical (deformaciones) y horizontal (tiempo).

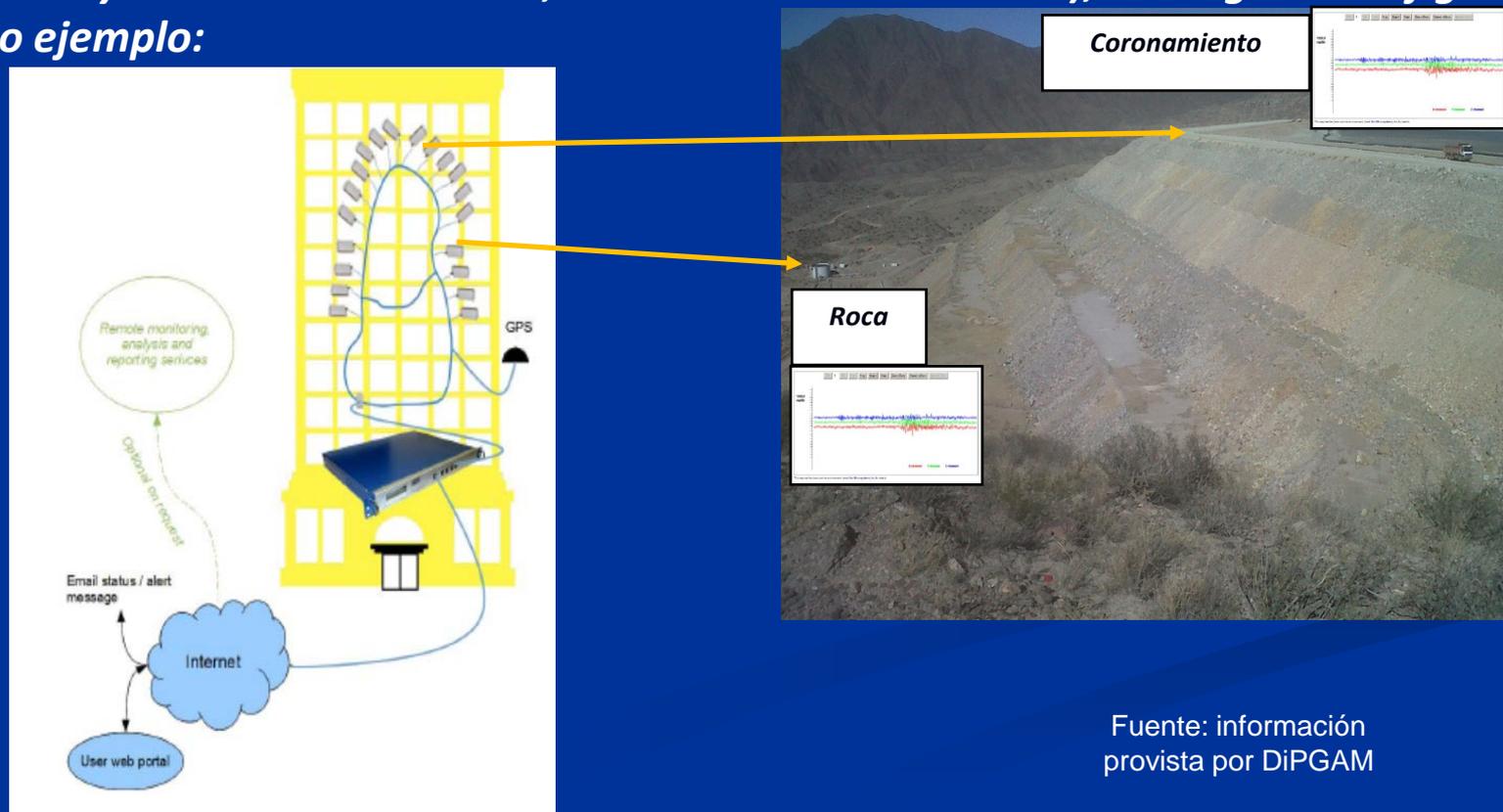
Aclarar por qué no funcionó el sistema de alerta siendo valores claramente anómalos las mediciones registradas antes del 6/2016.

Por qué se incorporaron nuevos puntos fijos (color azul)?

No obstante lo solicitado en el informe de avance N°1, no se observan las coordenadas globales de los puntos fijos, siguen presentándose en coordenadas locales.

ANÁLISIS DE DISPOSICIÓN Y FUNCIONAMIENTO DE INSTRUMENTAL Y DE ASENTAMIENTOS Y MOVIMIENTOS REGISTRADOS EN CORONAMIENTO Y FUNDACIÓN DE LA PRESA

Se **recomienda colocar dos acelerógrafos** con sensores remotos uno en el pie de presa (apoyado en roca) y otro en el coronamiento de la presa (en la sección de mayor altura), también se debería contar con una central que registre los datos medidos con todos los accesorios necesarios para poder acoplarlos a un **Sistema de Auscultación Automático** (con acceso a un sitio Web para poder evaluar los datos medidos y establecer la alertas, en caso de ser necesario), ver siguientes figuras como ejemplo:



Fuente: información provista por DiPGAM

ANÁLISIS DE DISPOSICIÓN Y FUNCIONAMIENTO DE INSTRUMENTAL DE MONITOREO

Se recomienda implementar un Sistema de Auscultación Automático en la presa incorporando las variables:

Piezómetros eléctricos y de medición directa

Caudales en vertederos

Puntos fijos

Acelerógrafos

Placas asentimétricas en las colas

Otro instrumental necesarios desde el punto de vista químico podría ser integrado de manera tal que formen parte del monitoreo periódico.

Del informe de “INSPECCIÓN MAYO 2016- SISTEMA DE MANEJO DE COLAS Y DIQUE DE AGUA FRESCA”

K. Piésold

4. RESUMEN DE LAS RECOMENDACIONES

4.2 SISTEMA DE MANEJO DE COLAS

Terraplén TMS:

- Continuar con el programa de diseño detallado y preparar informes para cada etapa de construcción de terraplenes.***
- El muro de protección en la base del terraplén para proteger los pozos de recuperación de filtraciones en esta área debería ser monitoreado su movimiento.***
 - Reparar el instrumento de medición y continuar con la supervisión cuidadosa de los monolitos topográficos sobre el Terraplén Principal.***
 - Todos los instrumentos deben ser supervisados de manera regular y los resultados presentados a KP para su revisión. Los niveles de activación deben ser revisados y actualizados. Se deben entregar recomendaciones instrumentación adicional.***
- Confirmar la vida útil de mina, requerimientos de almacenamiento y evaluación TMS.***
- MA debería considerar el cierre del TMS durante los últimos años de operación de la mina, pues puede ser posible incorporar ciertas características de cierre durante las operaciones.***

Inspección Mayo 2016- Sistema de Manejo de Colas y Dique de Agua Fresca - KP

4. RESUMEN DE LAS RECOMENDACIONES

4.3 GENERAL

De manera de cumplir con las mejores prácticas actuales para la gestión de las instalaciones de manejo de colas y seguridad del depósito, y en vista de que el cierre de la mina se recomiendan las siguientes acciones adicionales de Supervisión:

1. Actualizar el Manual de Operación, Mantenimiento e Inspección (KP -11/1997):

a. Estado actual de la construcción del Dique de Colas.

b. Estado actual de todas las instalaciones de instrumentación.

c. Programa actualizado para las lecturas y reportes de la instrumentación, incluyendo las recomendaciones para nueva instrumentación.

d. Niveles de alerta y activación para todas las instalaciones de instrumentación.

*2. Preparar una actualización del **Plan de Preparación y Respuesta ante Situaciones de Emergencia** para las instalaciones incluyendo consultas de las partes involucradas y ensayo del plan (borrador Plan de Respuesta ante Emergencias 2003).*

*3. Una actualización de la **Evaluación de Riesgo** en las instalaciones de manejo de colas debe desarrollarse junto con un análisis de rotura del dique y una actualización de la **Clasificación del Dique** de acuerdo con actuales guías internacionales. Un estudio de inundación fue incluido en borrador del Plan Respuesta Emerg. 2003).*

Inspección Mayo 2016- Sistema de Manejo de Colas y Dique de Agua Fresca - KP

4. RESUMEN DE LAS RECOMENDACIONES

4.3 GENERAL

*4. Actualizar el Plan de Cierre de las instalaciones dependiendo de la definición de la producción futura y el estado de la etapa final en ese momento. Durante el primer semestre de 2016 se realizó un plan de cierre a nivel de “**Ingeniería Básica**” considerando que la etapa 19 es la elevación final del depósito. El Plan de Cierre detallado debe considerar los siguientes puntos:*

- Actualización del estudio hidrometeorológico del sitio basado en los registros actuales a lo largo de la vida de la mina, y **recalcular las crecidas para distintos períodos de retorno para el diseño del vertedero de emergencia.***
- Actualización del balance de aguas de todo el sitio en relación con las condiciones actuales a lo largo de la vida de la mina.*
 - Establecer los requerimientos para el monitoreo de largo plazo.*
- 5. Llevar a cabo una **revisión formal de la seguridad del dique** de acuerdo con las buenas prácticas internacionales en la actualidad.*

*En vista de la importancia de cumplir con las mejores prácticas internacionales en la gestión de las instalaciones de manejo de colas, se recomienda que las acciones antes expuestas completen en un **período no mayor a seis meses** a partir de la emisión de esta carta (19/1/2017).*



MINA ALUMBRERA- PRESA DE RELAVES

Análisis del Diseño Final, Materiales y Métodos de Trabajo, para la Cobertura y Revegetación del Dique de Colas

FOTOS AÉREAS

1995



Fuente: IATASA

1998



Fuente: IATASA

2003



Fuente: IATASA

2009



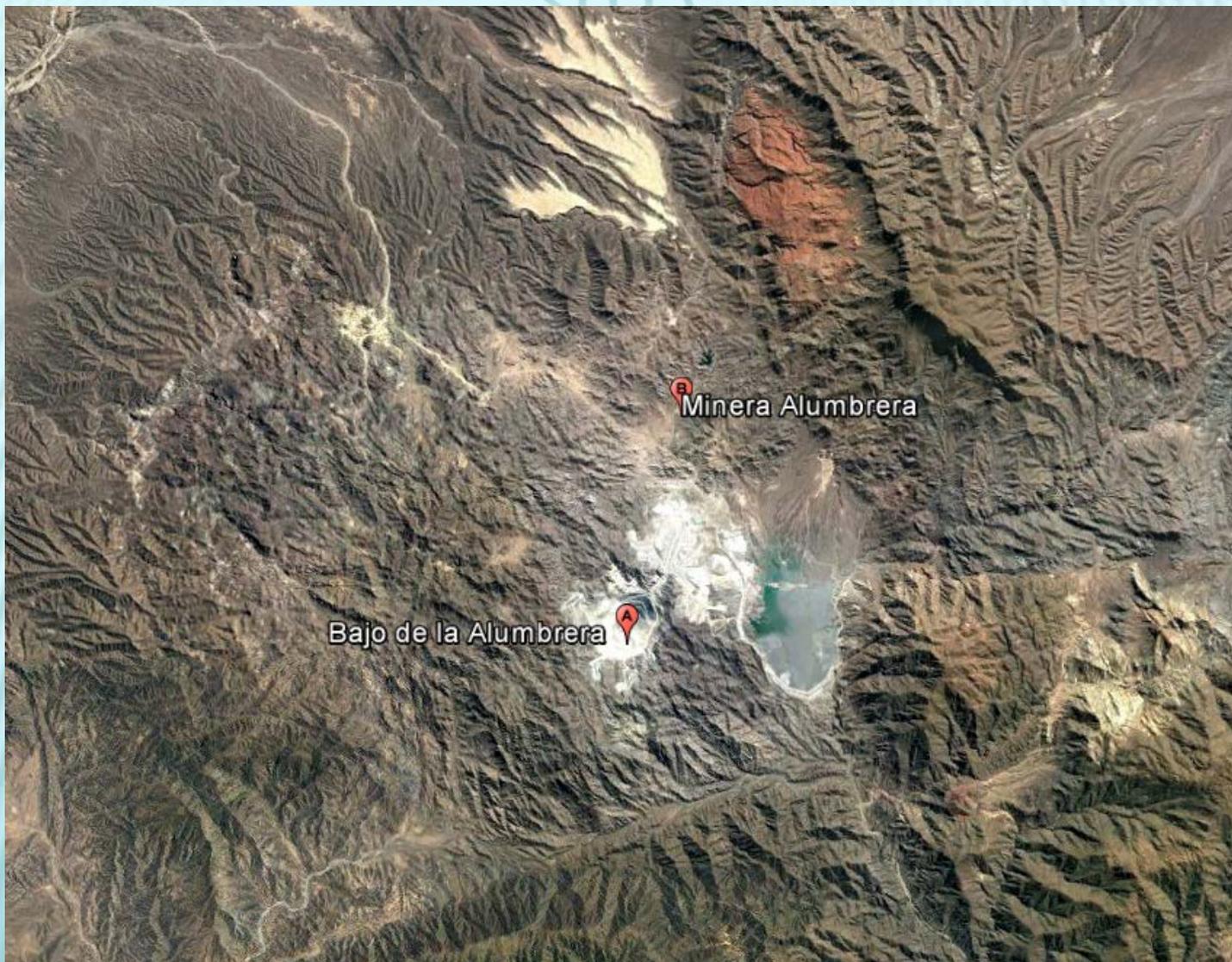
Fuente: IATASA

2012



Fuente: IATASA

2017



Fuente: IATASA

Síntesis General del Tema

- ❑ Análisis de la documentación presentada
- ❑ Sugerencias

Síntesis 1º Informe

Comprende el análisis de los informes trimestrales, anual, global como así también los documentos presentes en el Revegetación Dique de Colas IATASA y Informe Golder- Diseño Conceptual de Cobertura en el Dique de Colas y Botaderos, presentados por La Minera La Alumbraera, según los siguientes aspectos:

- ❑ La restauración de la vegetación,

En base a tareas de estudio y identificación de la flora del lugar, la recolección y el tratamiento de semillas, reproducción de ejemplares a partir de semillas, recolección de ejemplares existentes en el lugar, estudio de mejoras para las acciones de crecimiento.

- ❑ Medio de implantación

Particularidades de los suelos para arraigo de las especies, tareas de composición de los suelos.

ESPECIES SELECCIONADAS PARA LA RE-VEGETACIÓN

- ❑ Estudio de la flora del lugar
- ❑ Recolección de semillas y ejemplares.
- ❑ Ensayos de vivero
- ❑ Ensayos de ubicación en la presa

RESULTADOS DE LOS ENSAYOS

- ❑ La aplicación de urea aumenta la mortalidad en las especies estudiadas y no se observan diferencias sustantivas de crecimiento
- ❑ El uso de Hidrogel no genera aumentos significativos en ninguno de los parámetros de crecimiento medidos en las especies estudiadas.
- ❑ El factor de mayor importancia en la supervivencia y crecimiento de las especies analizadas es el agua.
- ❑ El uso de diferentes tipos de cobertura para semillas de especies nativas, no genera diferencias significativas en la supervivencia de las plántulas.
- ❑ Por lo tanto, el uso de fertilizantes, geles y cubiertas no genera diferencias significativas en los índices y parámetros estudiados, en consecuencia, no se justifica su uso.
- ❑ Algunos ejemplares han desarrollado el sistema radicular de forma lateral, por la incapacidad de las raíces de penetrar las colas.

Aspectos a profundizar

Restauración morfológico paisajística

Contemplar la posibilidad de generar formas rugosas y desniveles

Perdurabilidad de las capas protectoras

Tener en cuenta la vida útil de la membrana geotextil, por condiciones propias y por situaciones climáticas

Reposición de aportes

Monitoreo del terreno y otros elementos aportados de aporte sobre la presa y su reposición.

Perdurabilidad de la cobertura vegetal

Permanencia de la cubierta vegetal y reposición de pérdidas de masa vegetal.

Mediciones

Se recomienda realizar mediciones en adelante a una tasa anual para los ensayos "Diciembre 2010" y "Abril 2011", ya que las especies vegetales se han establecido y adaptado

Síntesis 2º Informe

- Se analiza aquí las tareas, ensayos y estudios enfocados en re-vegetación del la presa de relaves, incluidos los requerimientos de suelo para la supervivencia de los ejemplares y la aislación de las colas.

Estudios	Conclusiones
Especies seleccionadas para la revegetación	Estudio de la flora del lugar: Recolección de semillas y ejemplares: Ensayos de vivero: Ensayos de ubicación en la presa
Ensayo Diciembre 2010	Uso de Fertilizante
Ensayo Abril 2011	Uso de Hidrogel
Ensayo Diciembre 2012	Cobertura Geo-Textil y Material Aluvial. Pruebas de Siembra Directa aportes de urea e hidrogel
Desarrollo de técnicas de revegetación sobre dique de colas de maa - MA2013-” realizado por Ausenco Vector, con fecha 30/01/2012	Ensayos de implantación de plantines y siembra de semillas en dique de colas Ensayo de fertilización y riego

Recomendaciones y nuevas consultas

Restauración morfológico - paisajística	Se sugiere el modelado de la superficie de la presa.
Perdurabilidad de cubiertas protectoras	Contemplar la posible pérdida de cobertura y la migración de elementos por efectos físicos y climáticos.
Reposición de aportes	Mantener las condiciones de suelo favorables para el recubrimiento efectivo de la presa.
Perdurabilidad de la cobertura vegetal	Conservar y mejorar potencial de mejoras adquirido en cuanto a la reforestación.

Síntesis 3º Informe

Se ha analizado la documentación presentada por MAA, correspondiente a las acciones a implementar, por el Plan de Cierre de la Mina, según los siguientes aspectos presentados:

Los estudios, investigaciones y pruebas de campo relacionados a los principales componentes de la mina (**Anexo 2-2**) son los siguientes:

- ❑ Rehabilitación progresiva de Botaderos de Estéril.
- ❑ Sistema de coberturas de Botaderos de Estéril.
- ❑ Sistema de coberturas de Dique de Colas.
- ❑ Revegetación de Botaderos y Dique de Colas.

PRUEBAS DE REVEGETACIÓN PARA COBERTURAS DE DIQUE DE COLAS Y BOTADEROS.

2004 – 2005: Etapa inicial de los estudios sobre revegetación en MAA.

Comprende la construcción de viveros, laboratorio, estudio de la flora local y tareas de germinación.

2005 – 2008: Continúa la investigación acerca de las especies que se encuentran en el sitio de mina.

2º relevamiento de la flora, estudio de factibilidad de germinación, elaboración de la guía y reproducción.

2008-2009: Participación de investigadores del CONICET (Instituto de Zonas Áridas de Argentina) en los programas de revegetación de MAA

Pruebas en viveros, pruebas de diferentes técnicas en viveros, relevamientos para la distribución a campo y plantación en botaderos.

2010 – 2013: Pruebas a campo de revegetación durante la operación con la participación de investigadores del CONICET (instituto de Zonas áridas de Argentina)

Ensayos de resistencia, con diferentes sustratos y ensayos en diversos sectores.

2014 – 2015: Relevamientos y análisis estadísticos de las pruebas de revegetación en campo

Armado de banco de germoplasma, recolección de semillas, mantenimiento de viveros, selección de sustratos, tareas de revegetación.

CONSIDERACIONES

Tipo y espesores de cobertura	Se considera necesario unificar el criterio de cobertura de la presa, en cuanto a materiales y espesores y analizar el tema del impacto producido por la movilización del material.
Recomposición de morfología y relieve	Contemplar el modelado de la superficie de la presa, como parte importante para la recuperación ambiental.
Detallado del parcelado del plan de acción	Como así también desarrollar un plan de trabajos, en el que detallen las acciones de relleno y revegetación que se amalgamen en un proyecto de recomposición ambiental.
Empleo de especies exóticas y/o nativas	Definir los condicionantes y/o ventajas de distintas especies, factibles de emplearse para bio-remediación o restauración del paisaje
Seguimiento, reparación y perdurabilidad de las capas protectoras de cobertura.	Observar las condiciones de las capas y los planes de restauración.
Seguimiento y monitoreo de vegetación	Establecer un plan que detecte anomalías en la recomposición y corrección de acciones.

CONCLUSIONES

- ❑ Establecer un **proyecto acotado**
- ❑ **Cuantificar** los elementos
- ❑ **Especificar los porcentajes** de degradación de los elementos incorporados
- ❑ **Detallar las acciones intermedias** a realizarse antes del 2023
- ❑ Establecer un cronograma de acciones detallado y medidas de mitigación que garanticen el éxito del Plan de Cierre de la MAA, **en un solo y definitivo documento.**

Nueva documentación

- ❑ La Secretaria de Minería de la Provincia de Catamarca, Resolución S.E.M. N° 396/16, Guía para la Elaboración del Plan de Cierre para la Industria Minera en la Provincia de Catamarca, del 1 de junio de 2016.
- ❑ Cédula de Notificación DIPGAM 25 de Noviembre de 2016, por NOTA D.E.P.E. N° 110-16.
- ❑ Y las respuestas de la Minera Alumbreira a la Cedula de Notificación.

**Cédula de Notificación
DIPGAM 25 de Nov. de
2016, por NOTA D.E.P.E.
N° 110-16.**

Respuesta CN DIPGAM 154/16 –

h) Efectuar provisiones de contingencia ante escenarios de fitotoxicidad que perjudiquen la cobertura vegetal a implementar.

En un depósito de colas antiguas, en las cabeceras del dique, se encuentra una prueba de campo de Cobertura, la que consiste de capa de cobertura aluvial de 0.5 mts de 25 x 25 mts de lados, (que fue oportunamente informada a la SEM), colocada directamente sobre colas, de manera similar a la cobertura que se realizará sobre la superficie de las colas del dique al Cierre de Minas; en la misma se encuentra instalada un tanque enterrado a manera de lisímetro. De acuerdo con la inspección realizada en campo el día lunes 12/12/2016, se observa que en la cobertura de material aluvial realizada en el año 2003, se ha establecido de manera espontánea (ver foto), una capa de vegetación de natural compuesta principalmente por gramíneas (*Pappophorum* sp, *Stipa* sp) y subarbustos (*Senecio subulatus*) y esporádicamente se observan arbustos leñosos como *Grabowskia* sp, *Gochnatia* sp, *Larrea* sp). En la superficie de la cobertura no se observa presencia de depósitos de sales que sugieran la migración por capilaridad de aguas de las colas. Las plantas muestran un buen estado de salud, y no muestran síntomas de intoxicación por metales, se puede observar un buen desarrollo de las plantas, y que las mismas están cumpliendo con las etapas de su ciclo fenológico. De esta manera se puede ver que luego de 13 años de instaladas las pruebas, las mismas no sufrieron los efectos de capilaridad de las aguas de proceso, que provocaría la afectación de los materiales de la cobertura y de la **vegetación asociada.**

	<p>Para verificar el contenido de sales en el perfil del suelo, en los próximos meses se podrá realizar una calicata excavada en los materiales de la cobertura como la situación de las colas cubiertas.</p>
<p><i>i) Considerara el volumen de material de cobertura que estará ausente a causa de los taludes definidos para su construcción.</i></p>	<p>El talud del Dique será definido de manera previa al cierre de operaciones del Dique de Colas, por lo que en esas instancias se tendrá en cuenta el volumen requerido necesario para la rehabilitación de este sector del Dique.</p>
<p><i>j) Analizar el posible sesgo del análisis de humedad que provocaría el uso de un geotextil</i></p>	<p>La utilización de geotextil en las pruebas de campo de los diferentes diseños de coberturas, tuvo la finalidad de verificar la influencia que tiene la colocación de este material en la migración de los materiales finos de la cobertura. Asimismo en los resultados analizados de las 3 celdas de prueba sobre los materiales del dique de colas, se observa de manera leve, un mayor contenido de humedad por arriba del geotextil, lo que indicaría la influencia de la presencia del geotextil.</p>

k) Analizar la efectividad a largo plazo de los 30 cm de drenaje considerando la vida útil del geotextil en las condiciones de diseño planteadas para el ensayo.

Las pruebas de los diferentes diseños de cobertura y entre ellas el diseño con una capa granular de 30 cm para evitar los efectos de la capilaridad de los materiales cubiertos, fueron diseñadas para un período limitado de años y para conocer la respuesta al período de lluvias de las diferentes alternativas de cobertura.

l) Presentar planos con las secciones y etapas constructivas correspondientes a la construcción de la etapa 18.

Los planos se encuentran en revisión por parte de la empresa que elabora el informe final de construcción (Knight Piésold). Estimamos contar con la revisión final de dicha documentación durante el mes de enero próximo. La cual se les enviará bien sea recibida.

□ Parcelado

Dada la vastedad de la superficie de la Presa de Relaves y la paulatina consolidación de los materiales depositados en ella, se considera necesario para realizar la protección de la misma, la división en áreas mensurables para secciones de trabajo y de sectores a intervenir en cuanto a distribución traslado y acopio.

De tal manera que sea factible la distribución de la cobertura, ya sea:

La ubicación membrana geotextil no tejida, en caso de adoptarse el criterio de su utilización, según las recomendaciones para su distribución, a los fines de evitar la degradación de la misma por la exposición.

El material pétreo, en caso de adoptarse ese criterio, a los fines definir cantidades a transportar y a disponer.

El material aluvial, a los fines de prever su transporte desde el yacimiento, del acopio y distribución.

De tal manera que la determinación de la maquinaria, vehículos y herramientas necesarias para las tareas, se estructure de la manera más conveniente y eficiente, tanto sobre la presa como para atenuar los efectos de la movilización y traslado de los materiales de cobertura.

**Recomendaciones para la recuperación
paisajístico- bio-ambiental de la presa de
relaves**

E s t r u c t u r a c i ó n d e l P l a n

□ Patrones de diseño

Establecer un proyecto acotado de medidas concretas, para salvaguardar el ambiente

Se considera conveniente y recomendable la elaboración de patrones de diseño paisajístico, que tiendan a ordenar el diseño restaurador del paisaje.

Los mismos podrían contemplar:

Patrón para zonas llanas con herbáceas, gramíneas y arbustos de pequeño porte. En este patrón sería posible considerar el mínimo de cobertura posible, para el arraigo manual y espontáneo de ejemplares de menor porte.

Patrón para áreas deprimidas, con terminación en la rasante, de manera de generar en un plano horizontal, un volumen para albergar ejemplares de mediano porte con distribución horizontal, ya sea por distribución espontánea o manual.

Patrón para áreas deprimidas con mayor volumen de cobertura, de manera tal de generar una mayor profundidad de cobertura para ejemplares de mayor porte, organizando también una rugosidad en la superficie. En este patrón sería posible considerar que por efecto eólico y de asoleamiento, los laterales de la rugosidad tenderán a generar efectos diferentes, ya sea por acumulación de partícula volátiles, por erosión de las mismas, por la vegetación que puedan albergar y con el consecuente establecimiento de vida animal.

Patrón para áreas más elevadas, con poca profundidad de cobertura, para ejemplares de poco porte. En este patrón, también sería posible considerar que por efecto eólico y de asoleamiento, los laterales de la rugosidad tenderán a generar efectos diferentes, ya sea por acumulación de partícula volátiles, por erosión de las mismas, por la vegetación que puedan albergar y con el consecuente establecimiento de vida animal

▣ **Morfología**

Con la utilización y combinación de los patrones de diseño, sería posible materializar en forma normalizada una nueva morfología la presa. La morfología se iría materializando a medida que se vayan estabilizando las colas, lo cual se produce desde los bordes hacia el centro.

De tal manera que en parte las formas se impulsan de manera programada por el hombre y en parte la naturaleza responde y genera nuevas realidades.

C o b e r t u r a

□ **Aporte de suelo fértil e inertes**

Se entiende que para la recomposición ambiental de la presa, la estanquidad del material de las colas y el aporte de una cobertura de arraigo para la revegetación y regeneración de la biota, es fundamental.

Por lo tanto sería necesario la garantizar de permanencia de las coberturas.

□ Monitoreos

A los fines de garantizar y determinar el estado de la cobertura y las cantidades necesarias, sería conveniente implementar Planes de Monitoreos, tanto para lo ya ejecutado como para las áreas por ejecutar.

An aerial photograph of a dense, green forest. A prominent, winding road or path cuts through the forest, starting from the top right and curving towards the center. The forest is lush and green, with some darker patches that could be shadows or different types of vegetation. The overall scene is a natural, undisturbed landscape.

Fin de la presentación

Arq. Paisaj. Patricia Mariano

ABRIL 2017



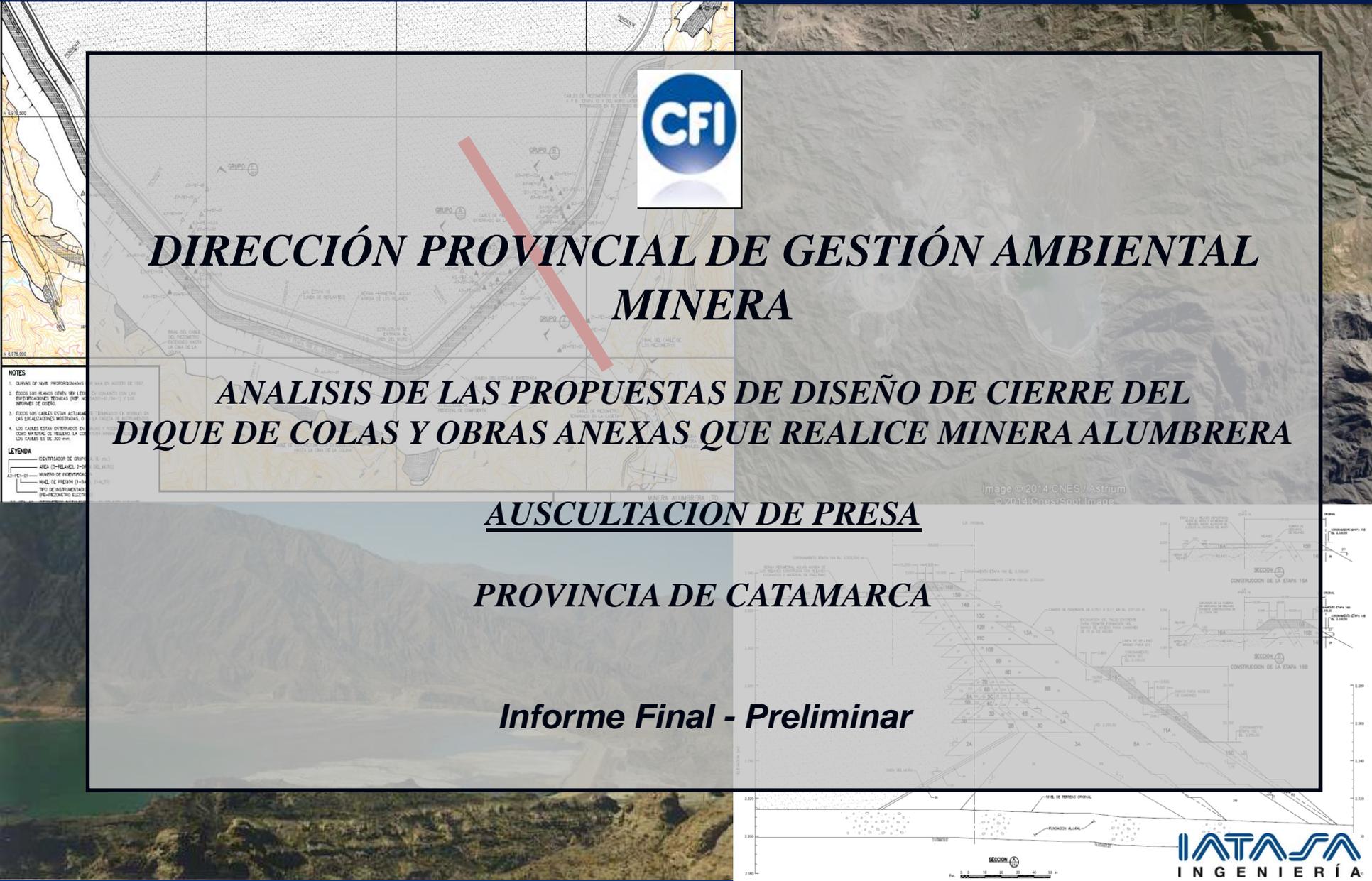
**DIRECCIÓN PROVINCIAL DE GESTIÓN AMBIENTAL
MINERA**

**ANÁLISIS DE LAS PROPUESTAS DE DISEÑO DE CIERRE DEL
DIQUE DE COLAS Y OBRAS ANEXAS QUE REALICE MINERA ALUMBRERA**

AUSCULTACION DE PRESA

PROVINCIA DE CATAMARCA

Informe Final - Preliminar



INFORME FINAL

Hidrología e Hidráulica

6.2 – Vertedero

6.4 - Erosión Hídrica

6.5 - Hidrología

INFORME FINAL

Hidrología e Hidráulica

6.2 – Vertedero

Informe SA201-00001/31 – Rev. 1 de Knight Piésold
(Julio 2015)

Knight Piésold
CONSULTING

MINERA ALUMBRERA LTD.
INFORME FINAL

ESTUDIOS DE ESTABILIDAD Y PLAN DE CIERRE
CONCEPTUAL PARA EL AUMENTO DE LA COTA FINAL
DEL DIQUE DE COLAS A 2347 m

(Ref. No. SA 201-00001/31, Rev. 1)

Preparado para:

Minera Alumbreira Ltd
San Martín 631, Piso 7, C.P. 4000
San Miguel de Tucumán, Argentina

Rev.	Descripción	Fecha	Rev. por	Aprobado
A	Emitido para revisión interna	Diciembre, 2010	T. Gardner	R. Jamett
B	Emitido para revisión del cliente	Enero, 2011	T. Gardner	R. Jamett
0	Emisión Final	Julio, 2012	T. Gardner	R. Jamett
1	Emisión Final	Julio, 2015	D. Barra	H. Andrade

Knight Piésold S.A.

Av. Vitacura 4380, Piso 17
Vitacura, Santiago, Chile
Teléfono: (56-2) 594 6400
Fax: (56-2) 594 6447
E-mail: santiago@knightpiesold.com

Knight Piésold
CONSULTING

INFORME FINAL

Hidrología e Hidráulica

6.2 – *Vertedero*

Ubicación del Vertedero y del Canal de Desvío



Canal de 20 metros de ancho y pendiente del 5 %

Fuente : IATASA con información provista por DiPGAM

INFORME FINAL

Hidrología e Hidráulica

6.2 – Vertedero

Fotos de la quebrada donde descargará el Vertedero



Margen Izquierda



Centro de la Quebrada hacia el Sur



Margen Derecha

INFORME FINAL

Hidrología e Hidráulica

6.2 – Vertedero

En el punto 5.1.1 se indica que para la caracterización de las cuencas en estudio se utilizó información proveniente del informe de actualización de los aspectos hidrológicos realizado por KP en el año 2008. Dicha información se presenta en el cuadro 5.1, que se transcribe a continuación.

Cuadro 5.1
Principales Características de Cuencas que Drenan al Dique de Colas⁽¹⁾

Cuenca	Área Aportante (km ²)	Máximo Desnivel (m)	Long. cauce ppal (km)	Pendiente (m/m)	Tiempo de Concentración ⁽²⁾ (hr)
1	3,19	52,0	1,21	0,24	0,443
2	22,51	227,0	7,52	0,15	1,639
3	19,37	558,0	9,97	0,24	1,475
4	1,34	32,0	0,17	0,06	0,587
5	1,16	32,0	0,37	0,06	0,558
6	7,80	490,0	6,57	0,31	1,045
7	28,51	485,0	6,84	0,30	1,067
8	6,67	265,0	4,59	0,25	1,056
9	24,08	214,0	5,23	0,21	1,067

Notas:
(1) Fuente KP (2008).
(2) Calculado con la fórmula del California Culverts Practice.

Fuente: ESTUDIOS DE ESTABILIDAD Y PLAN DE CIERRE CONCEPTUAL PARA EL AUMENTO DE LA COTA FINAL DEL DIQUE DE COLAS A 2347 m – Knight-Pièsold 2015.

Si se estima, a partir de los datos de longitud de cauce principal y tiempo de concentración presentados en el cuadro anterior, la velocidad media de traslado, la misma presenta una gran variabilidad, aún para cuencas con pendientes similares.

INFORME FINAL

Hidrología e Hidráulica

6.2 – *Vertedero*

Cálculo de Velocidades Media de las diferentes Cuencas

Long Cauce (km)	Tc (hrs)	V (m/s)
1,21	0,443	0,76
7,52	1,639	1,27
9,97	1,475	1,88
0,17	0,587	0,08
0,37	0,558	0,18
6,57	1,045	1,75
6,84	1,067	1,78
4,59	1,056	1,21
5,23	1,067	1,36

Fuente: ESTUDIOS DE ESTABILIDAD Y PLAN DE CIERRE CONCEPTUAL PARA EL AUMENTO DE LA COTA FINAL DEL DIQUE DE COLAS A 2347 m – Knight-Pièsold 2015.

INFORME FINAL

Hidrología e Hidráulica

6.2 – Vertedero

- La estimación de los tiempos de concentración ha sido realizada por medio de la fórmula del California Culverts Practice, pero no se presenta la fórmula utilizada.

Los cálculos realizados con la expresión correspondiente a unidades métricas:

$$T_c \text{ (hrs)} = (0.87075 \times L \text{ (km)}^3 / DH \text{ (m)})^{0.385}$$

dan resultados diferentes a los indicados en el Cuadro 5.1.

- Por otra parte, las pendientes presentadas en dicho Cuadro no son las que resultan de dividir el DH por la longitud del cauce. En la Tabla siguiente se resumen los cálculos de verificación realizados. Es posible observar que las velocidades medias se encuentran comprendidas en un rango diferente al del Cuadro anterior (1.30 a 2.38 m/s). No obstante ello, llama la atención que con pendientes similares resulten velocidades medias sensiblemente diferentes.

INFORME FINAL

Hidrología e Hidráulica

6.2 – Vertedero

Long Cauce (km)	DH (m)	Tc (hrs)	i (m/m)	V (m/s)
1,21	52	0,26	0,04	1,30
7,52	227	1,21	0,03	1,73
9,97	558	1,18	0,06	2,34
0,17	32	0,03	0,19	1,46
0,37	32	0,08	0,09	1,30
6,57	490	0,77	0,07	2,38
6,84	485	0,81	0,07	2,35
4,59	265	0,64	0,06	1,98
5,23	214	0,81	0,04	1,79

Fuente: ESTUDIOS DE ESTABILIDAD Y PLAN DE CIERRE CONCEPTUAL PARA EL AUMENTO DE LA COTA FINAL DEL DIQUE DE COLAS A 2347 m – Knight-Pièsold 2015.

Por lo expuesto se considera necesario rever el método de cálculo utilizado (verificar su aplicabilidad a zonas con las características fisiográficas de las cuencas en estudio) y calcular con otras metodologías a fin de lograr la estimación más representativa.

INFORME FINAL

Hidrología e Hidráulica

6.2 – Vertedero

- La metodología empleada para la determinación de los hidrogramas unitarios (punto 5.1.3) no se encuentra debidamente justificada, ya que sólo se presenta una referencia bibliográfica que justificaría la adopción de ciertos parámetros.
- Debería presentarse el trabajo de Benítez y Arteaga.
- Debería presentarse la totalidad de los parámetros físicos de cada cuenca involucrados en el cálculo y los resultados obtenidos.
- No resulta claro por qué se recurre al hidrograma adimensional del SCS (año 1957) y no se emplean metodologías más recientes tales como el hidrograma unitario triangular (adaptación de adimensional realizada en el año 1972) o modelos matemáticos hidrológicos que permiten el uso de distintas metodologías para definir hidrogramas unitarios sintéticos.

INFORME FINAL

Hidrología e Hidráulica

6.2 – Vertedero

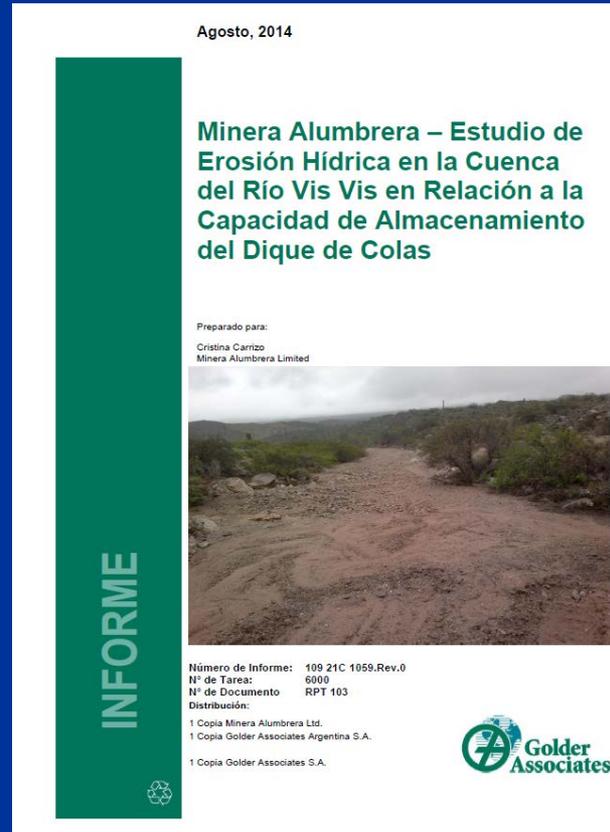
- En el Informe se señala que para la determinación de la PMP efectiva (punto 5.1.4) se ha utilizado el método del Número de Curva (CN) del Soil Conservation Service sin embargo, no se indica el valor adoptado.
- En la determinación del caudal de diseño del vertedero (punto 5.2) se ha tenido en cuenta el efecto de regulación en el embalse. Se considera que dicho efecto debería ser despreciado por varios motivos; entre otros, es probable que de acuerdo con los procesos de erosión y arrastre de sedimentos que se registran en la zona, se produzca una eventual acumulación de sedimentos a lo largo de los años previos a la aparición de la CMP. Estos aportes le quitarían (o eventualmente agotarían) capacidad de almacenamiento al embalse. Por otra parte, es lógico suponer que la CMP no se producirá en forma “aislada”, es decir que lo hará en un proceso húmedo que sería capaz de proveer volúmenes de agua capaces de colmatar el lago con anterioridad al arribo del pico de crecida.

INFORME FINAL

Hidrología e Hidráulica

6.4 – Erosión Hídrica

Informe “**MINERA ALUMBRERA – ESTUDIO DE EROSIÓN HÍDRICA EN LA CUENCA DEL RÍO VIS VIS EN RELACIÓN A LA CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO DEL DIQUE DE COLAS (N° de informe: 10921C1059.Rev. 0)**”, emitido por Golder Associates en agosto de 2014



INFORME FINAL

Hidrología e Hidráulica

6.4 – Erosión Hídrica

- El ancho del cauce principal asignado a la cuenca C03 es mayor que el correspondiente a la cuenca J07b (definida por las cuencas C08, C09 y C07b), siendo que esta última tiene una superficie significativamente mayor. Este aspecto se observa claramente en imágenes satelitales de la zona (Google Earth), donde el cauce de la cuenca J07b es el de mayor ancho (del orden de los 25 metros) de todos aquellos que desembocan en el Dique de Colas. Algo similar ocurre entre las cuencas C01 y C06.

Tabla 1: Parámetros principales para cuencas analizadas

Cuenca ⁽¹⁾	Área Cuenca [Km ²]	Pendiente del cauce aguas arriba del Dique[%]	Ancho del cauce principal [m]
C01	22.6	2,9%	7,0
C02	1.31	2,1%	3,0
C03	19.6	2,9%	12,0
C04	1.01	3,0%	3,0
C05	1.78	4,3%	4,0
C06	7.21	3,7%	7,0
C07a	5.73	3,2%	9,0
C07b	24.6	2,9%	11,0
C07c	3.49	9,6%	4,0
C08	6.25	10,5%	5,0
C09	22.6	6,6%	10,0
C10	3.37	4,3%	3,0
J01 ⁽²⁾	23.9	2,9%	7,0
J07b ⁽³⁾	53.4	2,9%	11,0

Sería conveniente controlar dichos valores

Fuente: MINERA ALUMBRERA – ESTUDIO DE EROSIÓN HÍDRICA EN LA CUENCA DEL RÍO VIS VIS EN RELACIÓN A LA CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO DEL DIQUE DE COLAS (N° de informe: 10921C1059.Rev. 0) - Golder Associates
2014

INFORME FINAL

Hidrología e Hidráulica

6.4 – Erosión Hídrica

- En dicha tabla se indican los caudales máximos atribuidos a recurrencias de 2 a 1000 años para las cuencas de aporte.

Tabla 2: Caudales máximos de crecida en 24 horas para distintos períodos de retorno (Tr, Años)

Cuenca	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr
	2	10	25	50	100	500	1000
C01	1,4	10,4	39,6	53,6	68,5	189,7	211
C02	0,1	1,1	3,7	4,9	6,1	14,2	15,7
C03	14,3	36,1	77,4	94,4	111,6	199,5	217,9
C04	0	0	0	0,1	0,2	5	5,9
C05	0	0	0	0,2	0,4	8,8	10,3
C06	6,4	15,9	33,4	40,5	47,7	82,5	89,9
C07a	0	0	0,1	0,5	1,1	26	30,5
C07b	1,2	7,8	27	36,4	46,5	133,7	149,3
C07c	0,3	2,8	9,5	12,5	15,6	37,3	41,2
C08	6,1	14,9	30,9	37,4	43,9	74,5	81,1
C09	1,5	12,2	45,8	61,7	78,5	209,1	232,1
C10	0,3	3,1	10,1	13,1	16,3	37,2	41
J01 ⁽²⁾	1,05	10,4	39,6	53,6	68,5	191,6	213,3

Fuente: MINERA ALUMBRERA – ESTUDIO DE EROSIÓN HÍDRICA EN LA CUENCA DEL RÍO VIS VIS EN RELACIÓN A LA CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO DEL DIQUE DE COLAS (N° de informe: 10921C1059.Rev. 0) - Golder Associates 2014

Se efectúan las siguientes observaciones:

INFORME FINAL

Hidrología e Hidráulica

6.4 – Erosión Hídrica

- Las cuencas C04 y C05 presentan caudales máximos nulos para eventos de período de retorno de hasta 25 años inclusive, y significativamente bajos para las recurrencias de 50 y 100 años.
- De manera análoga, la cuenca C07a no tiene asignado valores para los caudales de 2 y 10 años, y muy bajos para los eventos de 25, 50 y 100 años.
- Las cuencas C01 y C03 tienen caudales del mismo orden de magnitud para las recurrencias de 500 y 1000 años; no así para los eventos de mayor probabilidad de ocurrencia, para los cuales se observa que los caudales correspondientes a la cuenca C03 son mayores, acentuándose dicha diferencia hacia las menores recurrencias.
- La cuenca J01 tiene un caudal menor que el correspondiente a la cuenca C01 para el evento de 2 años, siendo que esta última es una fracción de la primera.
- La cuenca C09 tiene asignado valores de caudal menores que los correspondientes a la cuenca C08 para 2 y 10 años, invirtiéndose esta situación para las mayores recurrencias. Algo similar ocurre entre las cuencas C06 y C07b, donde esta última pasa a tener caudales mayores a partir de los 500 años.

INFORME FINAL

Hidrología e Hidráulica

6.4 – Erosión Hídrica

- En la Tabla 7 de página 10 se han invertido los valores atribuidos al parámetro rugosidad de Manning para materiales fino y grueso. Se debería corregir.

Tabla 7: Valores de rugosidad de Manning considerados

Caso	Sondeo representativo	Valor calculado
n_{fino}	S1	0,040
n_{grueso}	S5	0,033

- No se explica el motivo por el cual se considera necesario efectuar cálculos para la condición de escurrimiento con tirante crítico. Se debería justificar tal consideración.

- En el punto “4.0 RESULTADOS”, no se desarrollan los cálculos efectuados para obtener los valores indicados en las Tablas B-77 a B-80, correspondientes a la capacidad de arrastre atribuida a cada cuenca. No resulta posible verificar los cálculos y las hipótesis adoptadas en la realización de los mismos. A pesar de que en el cuarto párrafo del punto “3.1 Cálculo de la capacidad potencial de transporte de sedimentos” se explica cómo se desarrolla la estimación que se resume en las mencionadas Tablas B-77 a B-80, no resulta posible identificar la metodología empleada. Se debería explicar en detalle lo realizado.

INFORME FINAL

Hidrología e Hidráulica

6.4 – Erosión Hídrica

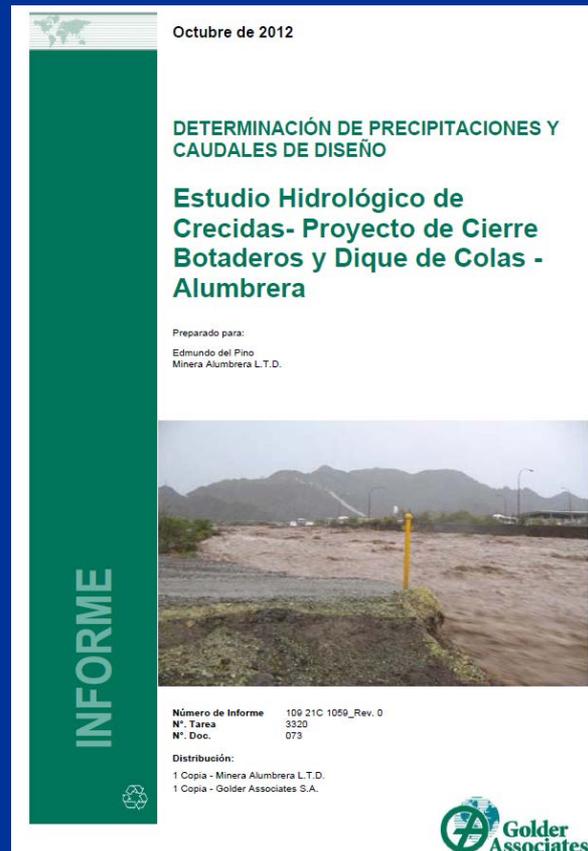
- El Punto “6.0 COMENTARIOS Y CONCLUSIONES”, resulta poco claro y confuso. Se debería mejorar el mismo. Por otra parte en el documento no se presenta claramente el objetivo del mismo. La lectura del “Resumen Ejecutivo” o del Punto “1.0 INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS” no permite identificar claramente el objetivo de los cálculos y estimaciones realizadas a lo largo del documento.

INFORME FINAL

Hidrología e Hidráulica

6.5 – Hidrología

Informe “*ESTUDIO HIDROLÓGICO DE CRECIDAS – PROYECTO DE CIERRE BOTADEROS Y DIQUE DE COLAS – ALUMBRERA (N° de informe: 10921C 1059_Rev. 0)*”, emitido por Golder Associates en octubre de 2012.



INFORME FINAL

Hidrología e Hidráulica

6.5 – Hidrología

- Se recuerda que, oportunamente, se efectuaron una serie de comentarios con respecto a los criterios y metodologías empleadas en los estudios antecedentes de Knight Piésold (“Informe Detallado de Diseño – 1997” y “Actualización Estudio Hidrológico – 2008”). En dichos comentarios se concluía la necesidad de rever los análisis hidrológicos efectuados para la definición de tormentas de diseño y caudales asociados

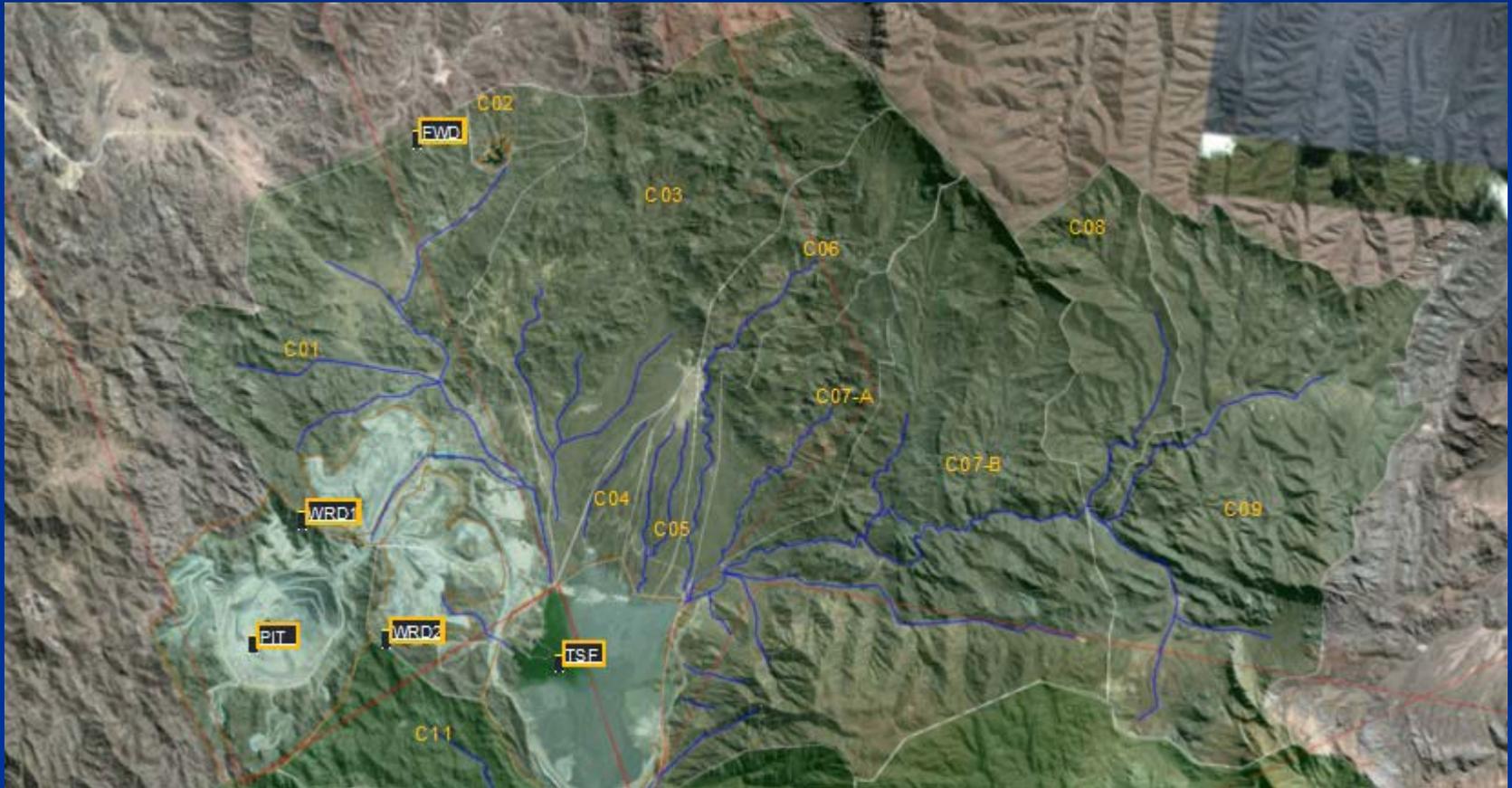
INFORME FINAL

Hidrología e Hidráulica

6.5 – Hidrología

Plano de Cuencas

Fuente: ESTUDIO HIDROLÓGICO DE CRECIDAS – PROYECTO DE CIERRE BOTADEROS Y DIQUE DE COLAS – ALUMBRERA (N° de informe: 10921C 1059_Rev. 0)- Golder Associates 2012



INFORME FINAL

Hidrología e Hidráulica

6.5 – Hidrología

- Se debe hacer notar que la correlación que se muestra en la Figura 4 de página 4 (Precipitaciones Anuales en Botadero Puente vs. Precipitaciones Anuales en Dique de Colas), presenta una importante dispersión y un bajo coeficiente de correlación (0.6834) como para efectuar conclusiones sobre la vinculación de ambas variables.

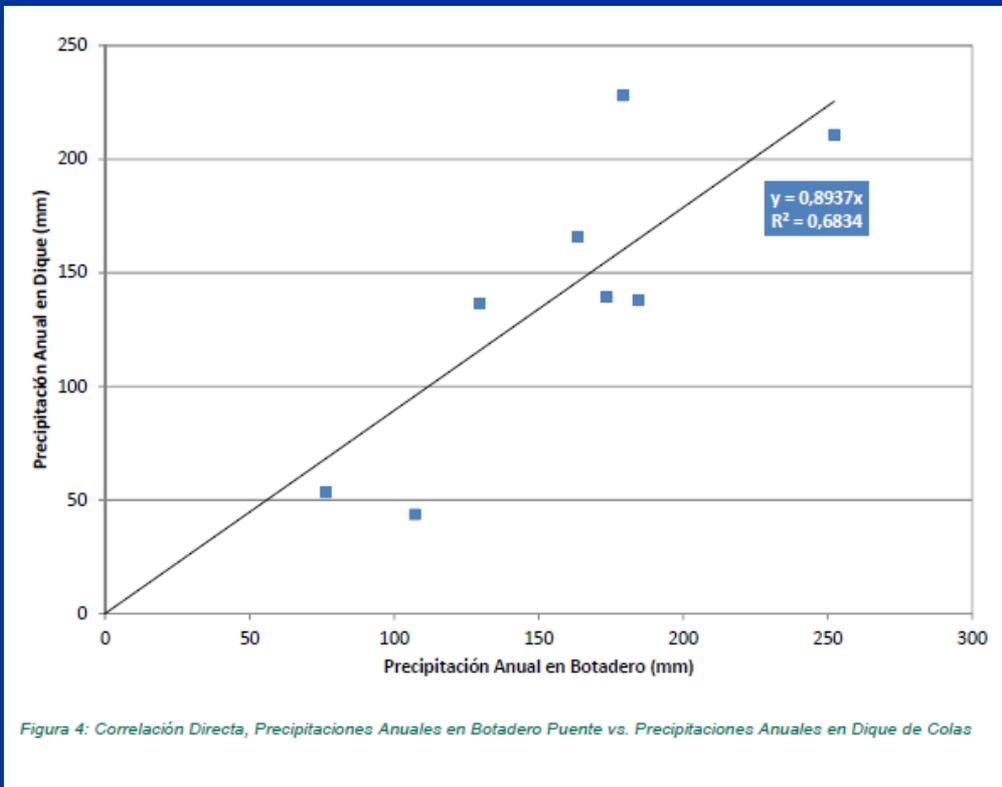


Figura 4: Correlación Directa, Precipitaciones Anuales en Botadero Puente vs. Precipitaciones Anuales en Dique de Colas

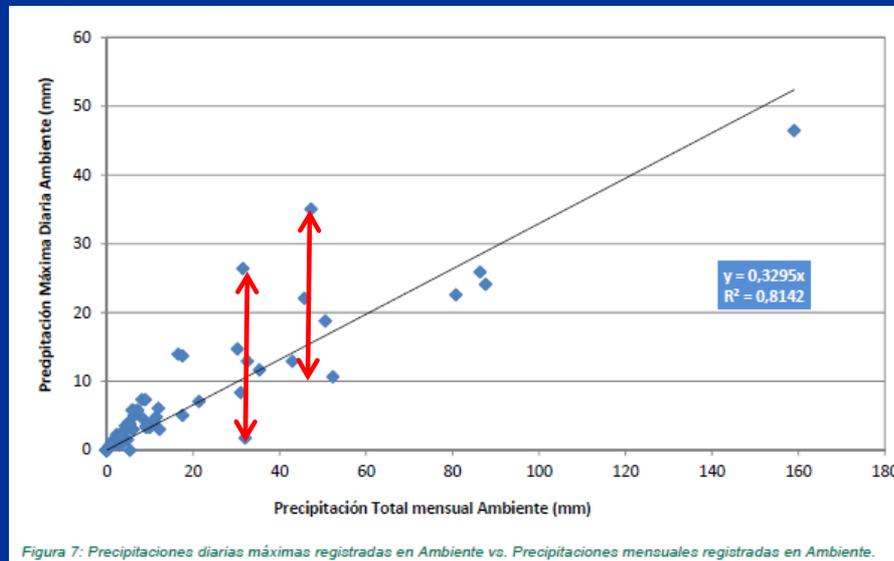
Fuente: ESTUDIO HIDROLÓGICO DE CRECIDAS – PROYECTO DE CIERRE BOTADEROS Y DIQUE DE COLAS – ALUMBRERA (N° de informe: 10921C 1059_Rev. 0)- Golder Associates 2012

INFORME FINAL

Hidrología e Hidráulica

6.5 – Hidrología

- La generación de datos máximos diarios en la estación Ambiente a partir de la correlación de estos con los totales mensuales de la misma estación (Figura 7 de página 7) y la correlación de estos últimos con los totales mensuales de la estación pluviométrica Los Nacimientos (Figura 8 de página 8), no resulta apropiada. En la Figura 7 es posible observar una gran dispersión entre los valores y la recta de ajuste, a pesar de que el coeficiente de correlación resulta bueno. No es confiable la estimación del valor máximo diario a partir del total mensual; para una precipitación total mensual del orden de 30 mm resulta que la precipitación máxima diaria medida se encuentra comprendida entre unos 2 mm y unos 27 mm, mientras que el valor que surge del ajuste es del orden de 10 mm.



Fuente: ESTUDIO HIDROLÓGICO DE CRECIDAS – PROYECTO DE CIERRE BOTADEROS Y DIQUE DE COLAS – ALUMBRERA (N° de informe: 10921C 1059_Rev. 0)- Golder Associates 2012

INFORME FINAL

Hidrología e Hidráulica

6.5 – Hidrología

- Con respecto a la correlación entre los totales mensuales de las estaciones Ambiente y Los Nacimientos (Figura 8) sucede algo similar, los valores presentan una gran dispersión y el coeficiente de correlación es menor al del ajuste de la Figura 7. Por lo expuesto la serie de precipitaciones máximas diarias generada para la estación Ambiente en el período 1973/74 – 2002/03 (Tabla 2) no resulta confiable.

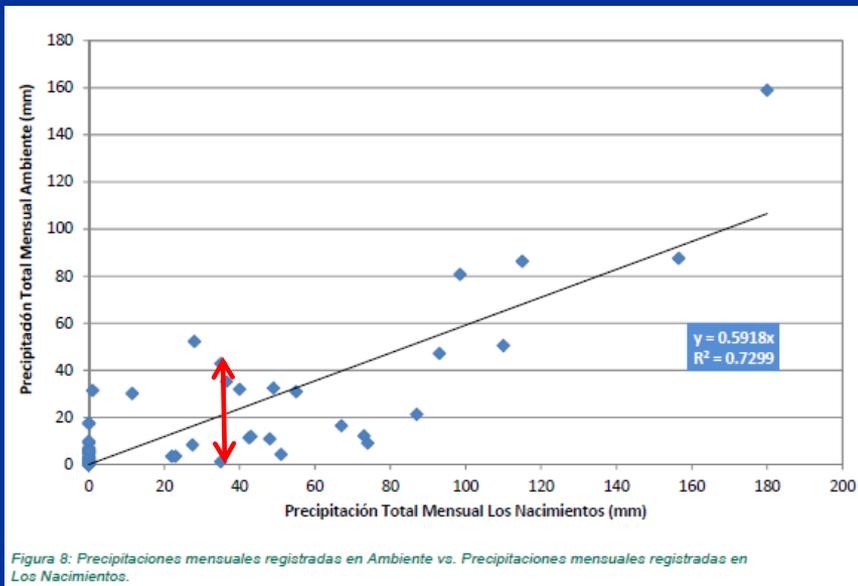


Tabla 2: Máximas Precipitaciones diarias en Estación Ambiente, obtenidas a partir de la regresión.

Año	Medidos (mm)	Regresión (mm)	Adoptados (mm)
1973/74	-	8,4	8,4
1974/75	-	31,4	31,4
1975/76	-	24,0	24,0
1976/77	-	14,0	14,0
1977/78	-	12,7	12,7
1978/79	-	33,8	33,8
1979/80	-	15,3	15,3

Fuente: ESTUDIO HIDROLÓGICO DE CRECIDAS – PROYECTO DE CIERRE BOTADEROS Y DIQUE DE COLAS – ALUMBREIRA (N° de informe: 10921C 1059_Rev. 0)- Golder Associates 2012

INFORME FINAL

Hidrología e Hidráulica

6.5 – Hidrología

- Llama la atención que el valor de precipitación diaria máxima anual del año 2007/08 indicado en la Tabla 2 es de 46.5 mm, en tanto que en el punto 1.1 del Informe “Diseño Conceptual de Cobertura en el Dique de Colas y Botaderos”, se menciona que en enero del 2008 se registró “una intensa tormenta (sobre 80 mm de precipitación)”

- A partir de los análisis efectuados en los puntos “4.0 ANÁLISIS DE TORMENTAS” y “5.0 HIETOGRAMA UNITARIO PARA TORMENTA DE DISEÑO”, se define el hietograma unitario de diseño con una duración de seis horas (Figura 13 y Tabla 5), la misma no resulta crítica para los tiempos de concentración de las cuencas indicadas.

Tabla 12: Tiempos de Concentración

Cuenca	Tc (min) (California)	Tc (min) (Española)	Tc (min) (Vel.)	Tc (min) Adoptado	Lag Time (min)
C01	52,4	153,4	138,9	52,4	31,5
C02	17,5	53,6	29,6	17,5	10,5
C03	59,8	168,5	152,8	59,8	35,9
C04	29,1	78,0	55,6	29,1	17,5
C05	30,0	73,3	61,1	30,0	18,0
C06	42,6	166,0	64,3	42,6	25,6

Cuenca	Tc (min) (California)	Tc (min) (Española)	Tc (min) (Vel.)	Tc (min) Adoptado	Lag Time (min)
C07a	37,0	109,6	77,8	37,0	22,2
C07b	112,1	141,0	233,8	112,1	67,2
C07c	20,1	81,8	32,6	20,1	12,0
C08	35,8	113,8	77,8	35,8	21,5
C09	40,4	115,9	90,3	40,4	24,2
C10	13,5	49,1	16,7	13,5	8,1

Fuente: ESTUDIO HIDROLÓGICO DE CRECIDAS – PROYECTO DE CIERRE BOTADEROS Y DIQUE DE COLAS – ALUMBRERA (N° de informe: 10921C 1059_Rev. 0)- Golder Associates 2012

INFORME FINAL

Hidrología e Hidráulica

6.5 – Hidrología

- En el punto “6.0 PRECIPITACIONES MÁXIMAS DE 24 HRS.”, se presenta la Tabla 8 en la que es posible observar grandes diferencias entre los valores de precipitación diaria atribuidos a las diferentes recurrencias consideradas, según se trate del ajuste de los datos de la estación Ambiente (Golder) o Amanao (Knight Piésold). Ajustes realizados por IATASA en la estación Belén arrojan valores intermedios a los indicados en la mencionada tabla. Se considera que deberían profundizarse los análisis a fin de adoptar valores representativos de los procesos físicos que eventualmente se puedan desarrollar en la región.

Tabla 8: Tabla comparativa de las precipitaciones estimadas por otros estudios hidrológicos

Estudio Hidrológico realizado:		Golder	Knight Piésold S.A. [Ref. 4]	Ausenco Vector [Ref. 5]
Distribución de Probabilidad:		Log Pearson III	Gumbel	Gumbel
Estación Meteorológica:		Ambiente	Amanao	“Yacimiento” - MAA
Tr (años)	Prob Exc (%)	Precipitación máx. diaria (mm)		
1000	0,1%	75,0	244,8	
500	0,2%	70,0		57,0
250	0,4%	65,0		
200	0,5%	63,0	199,3	
100	1%	58,0	179,7	48,0
50	2%	52,0	160,1	44,0
25	4%	46,0		
10	10%	38,0		35,0
5	20%	31,0		
2	50%	21,0		25,0

Fuente: ESTUDIO HIDROLÓGICO DE CRECIDAS – PROYECTO DE CIERRE BOTADEROS Y DIQUE DE COLAS – ALUMBRERA (N° de informe: 10921C 1059_Rev. 0)- Golder Associates 2012

INFORME FINAL

Hidrología e Hidráulica

6.5 – Hidrología

- En el punto “6.2 Obtención de los Hietogramas”, página 21, se menciona que las precipitaciones en la región son principalmente de tipo convectivas; se debe tener en cuenta que este tipo de precipitaciones son, en general, de corta duración (algunas horas). Por lo que no correspondería el tratamiento con 24 horas.
- En la Tabla 10, se indican las características fisiográficas de las cuencas

Tabla 10: Parámetros adoptados para las cuencas analizadas.

Cuenca	A (Km ²)	L (m)	CMax (m.s.n.m.)	Cmin (m.s.n.m.)	H (m)	SL (m/m)	S (m/m)
C01	22,63	7500	2836	2312	524	7,0%	4,0%
C02	1,31	1600	2619	2531	88	5,5%	2,1%
C03	19,61	11000	3481	2306	1175	10,7%	11,3%
C04	1,01	3000	2460	2305	155	5,2%	3,6%
C05	1,78	3300	2502	2312	190	5,8%	7,3%
C06	7,21	8100	3443	2313	1130	14,0%	3,6%
C07a	5,73	5600	2867	2327	540	9,6%	7,3%
C07b	24,57	8416	2320	2217	103	1,2%	9,9%
C07c	3,49	4110	3362	2316	1046	25,5%	9,9%
C08	6,25	5600	3288	2700	588	10,5%	6,0%
C09	22,57	6500	3339	2668	671	10,3%	9,9%
C10	3,37	2100	2707	2316	391	19%	9,9%

Fuente: ESTUDIO
HIDROLÓGICO DE
CRECIDAS – PROYECTO
DE CIERRE BOTADEROS Y
DIQUE DE COLAS –
ALUMBRERA (N° de
informe: 10921C 1059_Rev.
0)- Golder Associates 2012

Se observa lo siguiente en cuanto a pendientes medias:

INFORME FINAL

Hidrología e Hidráulica

6.5 – Hidrología

- Que la cuenca C03 tenga pendiente media mayor que la de la C07c.
- Que la cuenca C05 tenga más del doble que la C04, dado que todos los demás parámetros son muy similares.
- Que la cuenca C06 tenga la misma pendiente media que la C04, ya que el resto de los parámetros son muy diferentes.
- Se considera que sería conveniente controlar estos valores y verificar la aplicabilidad de la expresión de Mociornita en este caso.

- En el punto “7.3 Método Racional”, Tabla 13, se indican los coeficientes de escorrentía atribuidos a diferentes períodos de retorno; no resulta razonable que a partir de los 100 años de recurrencia, para eventos menos probables, los coeficientes sean constantes

INFORME FINAL

Hidrología e Hidráulica

6.5 – Hidrología

- En el punto “7.4 Hidrograma Unitario Sintético (HUS)”, Tabla 14, se presentan los coeficientes CN correspondientes a las distintas cuencas de aporte. Llama la atención la variabilidad de los mismos, siendo que en el caso de los coeficientes de escorrentía de la Tabla 13 son constantes para todas las cuencas.

Tabla 14: Valor curva número asignado para cuencas superficiales

Cuenca	Grupo hidr. de suelo	Condición hidr. (follaje)	CN (AMC(II))	CN(AMC(III))
C01	B	Pobre	77	89
C02	B	Pobre	77	89
C03	D	Pobre	88	94
C04	A	Media	55	74
C05	A	Media	55	74
C06	D	Pobre	88	94
C07-A	A	Media	55	74
C07-B	B/D	Pobre	77/88	89

Cuenca	Grupo hidr. de suelo	Condición hidr. (follaje)	CN (AMC(II))	CN(AMC(III))
C07-C	B/D	Pobre	77	89
C08	D	Pobre	88	94
C09	B	Pobre	77	89
C10	B	Pobre	77	89

Fuente: Valores obtenidos de [Ref. 1]

Tabla 13: Coeficiente de escorrentía

Periodo de Retorno T (años)	Coeficiente de Escorrentía C(T)
1000	0,475
500	0,475
100	0,475
50	0,456
25	0,418

Fuente: ESTUDIO HIDROLÓGICO DE CRECIDAS – PROYECTO DE CIERRE BOTADEROS Y DIQUE DE COLAS – ALUMBRERA (N° de informe: 10921C 1059_Rev. 0)- Golder Associates 2012

INFORME FINAL

Hidrología e Hidráulica

CONCLUSIÓN

Es primordial definir de manera correcta y ordenada todos los parámetros y cálculos intervinientes en los estudios anteriores para poder realizar las obras necesarias para generar una correcta sistematización hidráulica del proceso de cierre del Dique.

PROYECTO EJECUTIVO DE LAS OBRAS NECESARIAS PARA EL CONTROL DE LOS EXCESOS SUPERFICIALES QUE APORTAN AL DIQUE DE COLAS.

Estas tareas demandarán un tiempo adicional.

INFORME FINAL

Hidrología e Hidráulica

CONCLUSIÓN

INDICE

Cap. 1 – Hidrologia

1.1 Características Fisiograficas de las Cuencas

1.2 Variable Precipitacion (P) – Hietogramas de

Diseño

1.3 Calculo de los Caudales de Diseño

Cap. 2 – Hidráulica

2.1 Modelacion Hidrodinamica del Vertedero y del

Canal de Descarga

2.2 Calculo Hidraulico del Vertedero

2.3 Calculo Hidraulico del Disipador de Energia

2.4 Modelacion Hidrodinamica de los canales

Perimetales

Anexo 4

Material bibliográfico de referencia

Anexo 4 - Material bibliográfico de referencia

1. AGROLAB, Análisis Técnicos, S.A. de C.V.: “Guía de referencia para la interpretación. Análisis de Suelos Agrolab”. Pachuca Hidalgo. México.
2. Hojas Divulgadoras. “Interpretación del Análisis de Suelos”. Num. 5/93 - HD
3. Inalbón, María Rosa Lic., Valenzuela, Analía Marisel: “Técnicas utilizadas en el laboratorio de suelos y agua” en “Procedimientos Analíticos para suelos normales y salinos” – INTA – Chaco- Argentina. Año 2005.
4. INTA EEA Salta “Series de Suelos-Cartas de Suelos del Valle de Lerma. Salta” INTA, Salta. 2012.
5. IRAM “Calidad Ambiental. Calidad del suelo”. “Caracterización de suelo excavado y otros materiales tipo suelo destinados a reuso” en Esquema de Norma Iram 29557. Agosto 2016.
6. Jorba, Montse; Vallejo, Ramón V y otros. “Manual para la Restauración de Canteras de roca caliza en clima mediterráneo”. Area d’Avaluació i Restauració d’Activitats Extractives. Catalunya. España. Abril 2010.
7. Lobos, Pedro León; Ginocchio, Rossanna, y otros. “Fitoestabilización de Depósitos de Relaves en Chile”. Guía N° 3. ‘Flora y Vegetación Asociadas a Relaves Mineros Abandonados’. Centro de Investigación Minera y Metalúrgica, CIMM; Instituto de Investigaciones Agropecuarias, INIA, Chile, Enero 2011
8. Luque, R, M. “Vetiver system for environmental protection of opencut bauxite mining at ‘Los Pijiguaos’. Venezuela
9. Martínez, Nora Beatriz et al. Subsecretaría del Ambiente. Secretaría del Agua y del Ambiente. “Ficha Informativa de los Humedales de Ramsar (FIR) Versión 2006-2008”. Catamarca. Argentina. 2008. .
10. Martinez Ruiz, Carolina y Fernandez Santos, Belén. “Papel de la Hidrosiembra en la revegetación de Escombreras Mineras”. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. España. Abril 2001.
11. Minera Alumbreira. “Informe de Sostenibilidad”. Catamarca. Año 2014.
12. Minera Alumbreira. “Informe de sostenibilidad”. Minera Alumbreira. Catamarca. Argentina. Año 2015.
13. Minera Alumbreira. “Minera alumbreira y el medio ambiente”, Info Alumbreira en www.alumbreira.com.ar, 12 de septiembre de 2016, Argentina.

14. Ministerio de Energía y Minas, Perú; Ministerio de Energía y Minas de Columbia Británica, Canadá. "Guía para la elaboración y revisión de Planes de Cierre de Minas". 2002.
15. Ministerio de Energía y Minas de Perú. "Guía para la elaboración de planes de Cierre de Minas". Lima. Perú. Abril 2006.
16. M y M Estudio Jurídico. Sistema de Información Minero Colombiano. "Estudio y Reglamento para implementar los planes para cierre de minas y de su infraestructura asociada". Colombia. 2013.
17. Ministerio de Justicia y Derechos Humanos. Presidencia de la Nación. "Presupuestos Mínimos de Protección Ambiental de los Bosques Nativos". Ley 26.331. Diciembre 19 de 2009.
18. Ministerio del Ambiente: "Metodologías de Restauración de Ecosistemas Degradados por Actividades Bélicas y por la Explotación Ilegal del Oro dentro del ámbito de la Cordillera del Cóndor". Proyecto "Paz y Conservación Binacional en la Cordillera del Cóndor". Ecuador-Perú. Fase II (componente peruano). Perú.
19. Navarro, Herminio Elio Dr. "Clima de Catamarca". En Wikipedia. Argentina Noviembre 8, 2016.
20. Navarro, Herminio Elio Dr.: "Regiones Fitogeográficas" en www.catamarcaquía.com.ar, copyright 2002.
21. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Revista Internacional de silvicultura e industrias forestales N° 207-Vol. 52 – 2001/2004.
22. Ospina Betancur, Esteban y Molina Escobar, Jorge Martín: "Legislación Colombiana de Cierre de Minas, ¿es realmente necesaria?" en Boletín Ciencias de la Tierra, N° 34, pp.51-64, Medellín, Colombia. ISSN 0120-3630.
23. Oyarzún Muñoz, Jorge. "Planes de Cierre Mineros. Curso Resumido". Universidad Complutense de Madrid. La Serena. Junio 2008.
24. Palacios Portocarrero, Melisa. "Metodologías de Restauración de Ecosistemas degradados por actividades bélicas y por la explotación ilegal del oro dentro del ámbito de la Cordillera del Cóndor". Fundación Conservación Internacional, Lima. Perú, Octubre 2009.
25. Palmieri, C.N., Carma, M. I. y Quiroga, A. "Las ecorregiones presentes en Catamarca". Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Catamarca.
26. PNUD/PNUMA/Banco Mundial/WRI. Cap.10 p.318 "Proyecto Minería, Minerales y Medio Ambiente". Año 2000.

27. Presidencia de la Nación, "Cartilla explicativa para la formulación y presentación de planes". Presidencia de la Nación. Jefatura de Gabinete de Ministros. Argentina. Año 2014.
28. Programa de Asistencia Técnica al Ministerio de Energía y Minas del Perú. "Guía Ambiental para el manejo de Relaves Mineros". Perú.
29. Quiroga, Emiliano y otros. "Productividad de la Vegetación y Capacidad de carga ganadera en las regiones naturales de Catamarca" en Serie 'Estudios sobre el Ambiente y el Territorio' N° 7 -Banco Mundial. Perú. INTA 2013 .
30. Ramírez Morandé, Nelson A.Ing. "Guía Técnica de operación y control de depósitos de relaves". Servicio Nacional de Geología Minera. Departamento de Seguridad Minera. Chile. Diciembre 2007.
31. Rondón, José A. y Vidal, Raúl. "Establecimiento de la Cubierta Vegetal en áreas degradadas (principios y métodos)". P.63-82. Rev. For. Lat. N| 38/2005.
32. Sánchez, Luis Enrique. "Drenaje de minas a cielo abierto" Cap. 16. En 'Aspectos Geológicos de Protección Ambiental'. Volumen I. Unesco 1995.
33. Sanchez, Luis Enrique y otros. "Guía para la Planificación del cierre de mina" Instituto Brasileiro de MineraCAO (IBRAM). Brasilia, 2015.
34. Sarudiansky, Roberto. "Los Diques de Colas". Asociación Argentina para el Progreso de las Ciencias (AAPG). Marzo 14, 2016.
35. Sepúlveda, B. A.; Pavez, O.; Tapia, M. "Fitoextracción de Metales Pesados desde relaves, utilizando plantas de salicornia sp.". Revista de la Facultad de Ingeniería. Chile. 2012.
36. Seremi, Región de Arica y Parinacota. Ministerio de Agricultura. "Sistema Vetiver logró recuperar aguas contaminadas para utilizarlas en riego". Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Tarapacá. Chile. Julio 2014.
37. Servicio Nacional de Geología y Minería. Ministerio de Minería. "Guía Metodológica para la presentación de planes sometidos al procedimiento de aplicación general". Versión 01. Chile. Marzo de 2014.
38. Simcock, Robyn y Ross, Craig."Guidelines for mine rehabilitation in Westland". New Zealand, Febrero 2014.
39. Tácuna, Raúl E; Aguirre, Lucrecia y Flores, Enrique R. "Influencia de la revegetación con especies nativas y la incorporación de materia orgánica en la recuperación de pastizales degradados". Departamento Académico de Biología. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima. Perú. 2015.
40. Tormo, J; Bochet, E; García Fayos, P."Restauración y revegetación de taludes de carreteras en ambientes mediterráneos semiáridos; procesos edáficos determinantes para el éxito" en Ecosistemas, Vol.8, núm.2, mayo-agosto 2009, pp 79-90. Asociación Española de Ecología Terrestre, Alicante, España.

41. Vector Ausenco. "Desarrollo de Técnicas de Revegetación sobre Dique Las Colas de MAA – MA 2013 – Salta Noviembre 2011
42. Vector Ausenco. "Programa de Revegetación de Areas Rehabilitadas en Minera Bajo de la Alumbraera". Alumbraera. Septiembre 2012
43. Vigo, Marta. "Propuestas para el Diseño Urbano Bioambiental en zonas calidad semiáridas. Caso del Gran Catamarca". Item 2.3 "Suelo". Universidad Nacional de Catamarca. Secretaría de Ciencia y Tecnología. Editorial Científica Universitaria. ISBN 978-987-661-048-3
44. Wiertz Jacques y Priscu, Doina. "Planning for closure 2016" en First Internacional Congress on Planning for Closure of Mining Operations. November 20/22/2016. Santiago, Chile
45. Yazbek Bitar, Omar: "Recuperación de Areas Degradadas por la minería en regiones urbanas" en II Curso Internacional de Aspectos Geológicos de Proyección Ambiental. Cap. 23. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado do Sao Paulo (IPT). Divisao de Geología.
46. Zegana Reategui, Jorge Segundo. "Plan de cierre de Mina. Proyecto de Explotacion de Agregados para la industria de la construcción Cantera San Blas II". Lima. Perú 2015.
47. Zelada, Juan Antonio et al. "Remoción de metales pesados del agua por NINFA y VETIVER". Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia. Universidad de San Carlos de Guatemala. Noviembre 2011.