



Revisión integral de la tesis de maestría del
Ing. Héctor O. Nieva realizada por Minera Alumbraera
Octubre de 2004



**Revisión integral de la tesis de maestría del Ing. Héctor O.
Nieva realizada por Minera Alumbraera**

**"Variación de Parámetros Geoquímicos, río Vis Vis, Catamarca,
Argentina, Causas y Consecuencias"**

Tabla de Contenidos

Resumen Ejecutivo

Discusión - Análisis

- 1) Comentarios sobre el Punto I - Introducción
- 2) Breve descripción Hidrológica
- 3) Comentarios sobre la Construcción y Operación del Dique de Colas
- 4) Comentarios sobre Drenaje Acido de Mina (DAM)
- 5) Comentarios sobre los contenidos de Sulfato (SO₄)
 - 5.1) Valores Base de SO₄ en la zona de Estudio - Variaciones Estacionales
 - 5.2) Interpretación de Datos Usando Diagramas de Piper y Stiff
 - 5.3) Química del Agua Subterránea - Período Previo a la Deposición de Colas
 - 5.4) Química del Agua Subterránea - Período Posterior a la Deposición de Colas
 - 5.4.1) Estación TLW y Agua de la Cantera
 - 5.4.2) Estación ERC3
 - 5.4.3) Estación MW7
 - 5.4.4) Estación MW8
 - 5.5) Química del Agua Superficial - Período Posterior a la Deposición de Colas
- 6) Comentarios sobre los Contenidos de Estroncio (Sr)
- 7) Comentarios sobre los Contenidos de Calcio (Ca)
- 8) Comentarios sobre el Isótopo de Azufre (S₃₄)
- 9) Análisis de las Conclusiones de la Tesis
- 10) Comentarios y Conclusiones de MAA.

Resumen Ejecutivo:

Desde el comienzo de sus operaciones, Minera Alumbreira Ltd. (MAA) ha desarrollado una estrategia ambiental que le permita operar de acuerdo a los más exigentes estándares ambientales mundiales y lograr un cierre de mina ambientalmente responsable.

Dentro de esta estrategia se han desarrollado planes y programas específicos para cada área de la operación, tales como: diseño, construcción y operación del dique de colas, diseño y construcción de las escombreras de estériles, operación del mineraloducto, manejo de residuos, operación del sistema de agua fresca, tratamiento de efluentes finales en planta de filtros, etc.

MAA, con el objeto de conocer el comportamiento de las medidas ambientales tomadas y tener información de base que sirva para tomar decisiones futuras ha desarrollado un extenso programa de monitoreo ambiental que abarca todas las áreas de la operación. Dichos programas de monitoreo y sus resultados han nutrido numerosos programas ambientales llevados a cabo.

Basado en dicho programa de monitoreo, que se inició antes del período de explotación de la mina, es que MAA ha recolectado más que suficientes datos, que hoy, a casi 7 años del comienzo de las operaciones, le permiten concluir lo siguiente:

- Tomando en cuenta los datos de más de 7 años de monitoreos continuos, se puede afirmar que, contrariamente a lo que se afirma en la Tesis, los parámetros tomados en la misma como indicadores de contaminación **SE HAN MANTENIDO** dentro del rango de variación natural existente antes del inicio de las operaciones de MAA, es decir dentro de sus valores prístinos.
- No existe **NINGUN INDICIO DE COMIENZO DE DRENAJE ACIDO DE MINA en la cuenca Vis Vis - Amanao.**
- Las acciones tomadas como consecuencia del análisis de los datos del programa de monitoreo han probado ser altamente eficientes.
- El sistema de retrobombeo correspondiente al dique de colas ha operado con total normalidad y eficiencia.
- Los numerosos programas ambientales llevados a cabo durante los casi 7 años de operación conforman una sólida base que permite tomar acciones ambientales proactivas concretas.
- Durante los últimos 3 años se han intensificado los desarrollos de numerosos programas ambientales con miras al cierre de mina, tales como: modelos matemáticos predictivos de comportamiento de drenajes, estudios geofísicos en la cuenca Vis Vis, nuevas perforaciones, simulaciones de cubierta de escombreras y dique de colas, modelo de caracterización de estériles, etc.



- Basándose en la información que generan cada uno de estos programas, MAA ha desarrollado su plan de cierre de mina, el cual se perfecciona todos los años a medida que se cuenta con mayor información.
- MAA continuará desarrollando su estrategia ambiental, trabajando con los mejores consultores ambientales mundiales en temas específicos y llevando a cabo las mejores prácticas ambientales mundiales.
- Las operaciones de MAA en el yacimiento Bajo de la Alumbreira, **NO ESTAN PRODUCIENDO CONTAMINACIÓN ALGUNA de la cuenca Vis Vis - Amanao.**

Este reporte demostrará, con fundadas bases técnicas, que las conclusiones arribadas en la Tesis **SON ERRONEAS.**

Análisis

En primer lugar se deben dejar debidamente aclarados los puntos que se considera necesario que todo aquel que proceda a la lectura y análisis de la tesis del Ing. Nieva titulada "Variación de parámetros geoquímicos, río Vis Vis, Catamarca, Argentina, causas y consecuencias" (en adelante "la Tesis"), tenga presente:

- a) La estructura y redacción de la Tesis resultan sumamente pobres, lo que en muchos casos dificulta su lectura y comprensión.
- b) La Tesis se aparta en reiteradas oportunidades de cuestiones técnicas, sobre las cuales debería fundarse, e incurre en cuestiones hasta de índole político que revelan una clara tendencia de su autor (respetable, por cierto) pero que debieron haber sido dejadas de lado al momento de discurrir sobre cuestiones técnicas. Dicha posición del autor le resta – más allá de los errores técnicos que la desvirtúan -, objetividad y, por ende, credibilidad a las conclusiones de la Tesis.
- c) La Tesis utiliza como base de sus conclusiones información parcial y desactualizada. No se cita en la Tesis (de fecha Octubre de 2002 y dada a publicidad recientemente) ningún parámetro, estudio, muestra, análisis o trabajo de otra naturaleza, posterior a diciembre de 2000.

Teniendo debidamente en cuenta dichos dos puntos es como debe leerse/analizarse la Tesis.

Este documento abundará en detalles técnicos, gráficos con diferentes técnicas y datos recogidos a lo largo de 7 años de continuos trabajos de monitoreo e interpretación de datos.

Para facilitar su lectura, los temas han sido ordenados de la siguiente manera:

1. Comentarios sobre el punto I - Introducción
2. Breve Descripción Hidrológica
3. Comentarios sobre la Construcción y Operación del Dique de Colas.
4. Comentarios sobre el Drenaje Acido de Mina (DAM).
5. Comentarios sobre los contenidos de Sulfato (SO₄)
6. Comentarios sobre los contenidos de Estroncio (Sr)
7. Comentarios sobre los contenidos de Calcio (Ca)
8. Comentarios sobre el isótopo de azufre (S₃₄)
9. Análisis de las Conclusiones de la Tesis
10. Comentarios generales y Conclusiones

1. Comentarios sobre el punto I - Introducción

Este documento se limitará a tratar ordenada y exclusivamente las cuestiones técnicas referidas en la Tesis.

El primer error, y no único por cierto, de índole técnico legal en que incurre el Ing. Nieva se encuentra en el primer párrafo del capítulo I. INTRODUCCION de la Tesis.

El citado profesional sostiene que ***“En el contrato de Unión Transitoria de Empresas (UTE) entre Minera Alumbarrera (MMA) y Yacimiento Mineros Aguas de Dionisio (YMAD) excluye de la responsabilidad del cierre de minas y rehabilitación a Minera Alumbarrera LTD, quien es la “operadora” del diseño y ejecutora del proyecto minero. Quedando entonces como único responsable de cerrar y restaurar el sitio de mina a YMAD. Empresa que se encuentra en serias dificultades financieras y con un futuro incierto.” (sic).***

Se debe ser concretos al respecto:

- a) Se debió haber aclarado en la Tesis, salvo que tan importante cuestión haya sido ignorada por su autor, que el mencionado contrato fue suscripto por las partes el día 27 de abril de 1994, cuando no existía en el país normativa medioambiental aplicable a la actividad minera. La ley 24.585 mencionada en la Tesis, y conocida como Ley Ambiental Minera, fue publicada en el Boletín Oficial el día 24 de noviembre de 1995; es decir aproximadamente un año y medio luego de haber sido firmado el contrato.
- b) Es incorrecto afirmar que el contrato de UTE libera de responsabilidad a MAA por el cierre y rehabilitación de la mina. No existe en dicho contrato cláusula alguna que ello disponga. Como se verá en el punto siguiente, mal podría hacerlo.
- c) La ley 24.585 incorporó al Código de Minería de la Nación, como artículo 248, el siguiente texto: *“Las personas comprendidas en las actividades indicadas en el artículo 4º serán responsables de todo daño ambiental que se produzca por el incumplimiento de lo establecido en el presente título, ya sea que lo ocasionen en forma directa o por las personas que se encuentren bajo su dependencia o por parte de contratistas o subcontratistas, o que lo cause el riesgo o vicio de la cosa. El titular del derecho minero será solidariamente responsable, en los mismos casos, del daño que ocasionen las personas por él habilitadas para el ejercicio de tal derecho. “*
- d) Pues bien, la ley es clara al establecer la responsabilidad solidaria entre quienes llevan a cabo las actividades mineras (en el caso de Bajo de la Alumbarrera, MAA) y el titular del derecho minero (en el caso de Bajo de la Alumbarrera, YMAD).
- e) Lo expuesto en los puntos a), b) y c) precedentes demuestran que en este caso, como en otros que se verán más adelante, el autor de la Tesis efectúa una afirmación equivocada y sin sustento por no haber efectuado un correcto análisis de los hechos y las normas.

En relación al punto 1.1 Legislación Minera en la República Argentina, se desea efectuar los siguientes comentarios.

Se comparte con el Ing. Nieva, por supuesto, que las normas son perfectibles, mas por no ser éste el ámbito adecuado para su discusión, ni el objeto de la Tesis, se limitara la opinión sobre las propuestas que efectúa el Ing. a sostener que no se comparten varias de las mismas ni tampoco la lectura que efectúa de las normas vigentes.

Se afirma en la Tesis, en el último párrafo del punto “1.1.2 Del Informe de Impacto Ambiental” que **“Las Comunidades afectadas no gozan de los beneficios económicos de estas explotaciones” (sic).**

No se puede ignorar tan grave error, que demuestra la previamente referida tendencia de las afirmaciones vertidas en la Tesis. Este último pretende limitar el beneficio que perciben las comunidades a la percepción de las regalías mineras abonadas por la empresa.

Mas allá de dejar debidamente sentado que la distribución secundaria de las regalías abonadas por el proyecto Bajo de la Alumbreira constituye una cuestión ajena a esta empresa (y por cierto al objeto de la Tesis, por lo que llama la atención –aunque tal vez no debiera- la referencia a dicha cuestión), resulta a todas luces evidente que el beneficio por regalías mineras, muy importante por cierto (\$ 36.000.000 por año), está lejos de constituir el único beneficio.

Se cita únicamente a título de ejemplo,

Impacto económico de Minera Alumbreira en Catamarca:

- 1.200 puestos de trabajo indirectos (equivalente al 20% de los asalariados ocupados en el sector privado de la provincia).
- \$12 millones anuales en compra de insumos a proveedores locales.
- \$10 millones anuales en impuestos provinciales y municipales
- \$36 millones de regalías por año.

Aportes de Minera Alumbreira a los departamentos de Andalgalá, Belén y Santa María:

- 485 puestos de trabajo directos.
- \$ 8 millones anuales en concepto de salarios.

Beneficios en desarrollos de infraestructura:

- Modificación de la quebrada de Belén sobre ruta 40 (14 km. de ruta asfaltada).
- Línea eléctrica: de 220 kw y 202 km. de longitud desde El Bracho (Tucumán) hasta el yacimiento. Hoy conecta a la ciudad de Santa María (Catamarca).
- Mejor calidad en la provisión de agua en Santa María.
- Mejora en las comunicaciones telefónicas: uso de la fibra óptica en Andalgalá y Aconquija (Catamarca).

Toda esta información, que no incluye los enormes beneficios del plan comunitario desarrollado por la empresa, es de público y notorio conocimiento, por lo que llama poderosamente la atención que el autor de la Tesis, que bien hace referencia a que el impacto social debe ser también tenido en cuenta, la haya ignorado al momento de redactar la misma.

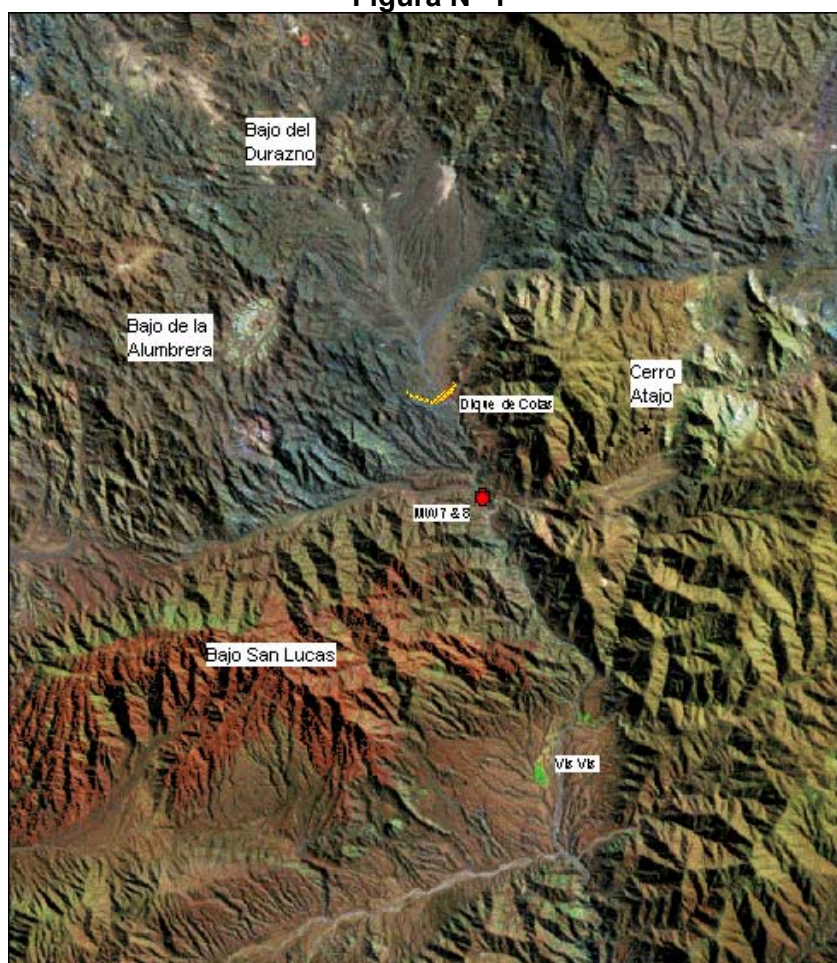
Finalmente, en una muestra de lo confuso de la estructura, redacción y objeto de la Tesis, su autor hace referencia a la Construcción de los Diques de Colas y al Accidente de las Minas de Aznalcóllar, que carecen de toda relación con el supuesto objeto de la Tesis por él mismo establecido (demostrar contaminación en la cuenca Vis Vis - Amanao) y parecen exclusivamente dirigidos a causar una infundada alarma, que en el marco de un trabajo supuestamente técnico y destinado a profesionales, debió haberse previsto que dicha intencionalidad no sería pasada por alto.

2. Breve Descripción Hidrológica

El drenaje de agua subterránea y de agua superficial en las cercanías de la explotación de MAA se concentra hacia el Río Vis. La cuenca aguas arriba del Dique de Colas es de aproximadamente 176 Km². En general, el caudal de la corriente se caracteriza por flujos de alta intensidad y corta duración durante los meses de verano.

La áreas mineralizadas dentro de la cuenca del Río Vis no están únicamente relacionadas con el yacimiento Bajo de la Alumbreira. La mineralización de cobre y oro tipo pórfiro está relacionada con Bajo de la Alumbreira, Bajo del Durazno y Bajo San Lucas, y las vetas de metales básicos y oro mesotermales y epitermales con la prominente alteración de Cerro Atajo. La mineralización en todas estas áreas se presenta principalmente en forma de minerales de sulfuro. La Figura N° 1 muestra las principales áreas de mineralización conocidas. Las áreas mineralizadas tienen un efecto mineralizante natural en el agua superficial y subterránea que pasa por estas áreas.

Figura N° 1



El Río Vis Vis tiene un caudal superficial intermitente a lo largo de su recorrido. Este régimen, en parte está controlado por las precipitaciones y además por variaciones puntuales en la sección de ese manto de lecho moderno. Este sistema es típico de torrentes de montaña.

El personal de MAA llevó a cabo un relevamiento de dichos caudales a principios de noviembre de 2001, es decir al finalizar la temporada seca cuando en general la descarga del agua subterránea mantiene el caudal de las corrientes. Se detectaron diversos puntos a lo largo del río Vis Vis, entre las comunidades de Los Baños y Vis Vis, en los que aparecían y desaparecían caudales superficiales. La Tabla N° 1 muestran una síntesis de la ubicación de los puntos de relevamiento.

Tabla N° 1 - Apariciones de Flujo Superficial en Vis Vis

Hacia el este	Hacia el norte	Descripción
3446419	6971841	Los Baños - aparece agua superficial
3446611	6971556	200m abajo de Los Baños - rocas sobresalientes sobre la mano derecha
3446796	6971485	Sobresale una gran roca en el medio del río
3446900	6971376	Desaparece el caudal superficial
3447435	6970126	Aparece el caudal superficial
3447548	6969961	Desaparece el caudal superficial
3447584	6969889	Aparece el caudal superficial
3447795	6969709	Desaparece el caudal superficial
3447841	6969662	Aparece el caudal superficial
3448196	6969431	Desaparece el caudal superficial
3448243	6969388	Aparece el caudal superficial
3448407	6969263	Zona restringida - aprox. 100m de buen caudal sup.
3448716	6968681	Zona restringida - rocas a ambos lados del río
3448210	6967652	100m de la vivienda Los Puestos. La casa está antes del pueblo Vis Vis y hay restricciones en el medio del lecho del río.
3448164	6967515	Desaparece el caudal superficial
3447758	6966983	Comunidad de Vis Vis

Los programas de monitoreo de MAA indican que hay varios acuíferos en las rocas de basamento. Esto se basa en la interpretación de datos geológicos estructurales, datos litológicos, composición química del agua subterránea, niveles y temperaturas del agua subterránea. La actualización del modelo Geológico es un proceso continuo realizado por MAA.

El complejo régimen hidrológico requiere una cuidadosa interpretación de los datos de monitoreo de la composición química del agua para evitar conclusiones falsas.

Para ello se usan diferentes técnicas de interpretación de datos, que provienen de cuidadosos estudios de diversas disciplinas, tales como modelos matemáticos, simulaciones, estudios geofísicos, etc.. Interpretar datos parciales, sin duda alguna arrojarían resultados apresurados, confusos y erróneos.

3. Comentarios sobre la construcción y Operación del dique de Colas

El dique para almacenamiento de colas fue diseñado en base a los estándares del ICOLD (International Commission on Large Dams).

El diseño del muro de cierre permite el libre drenaje del agua a través de su fundación sobre el terreno aluvial, y de sus drenes frontal y de fundación. Con este drenaje se logra una mejor consolidación de las colas en las proximidades del cierre, lo que resulta favorable a la estabilidad del conjunto y permite almacenar un mayor tonelaje de colas en un mismo volumen, debido al aumento en la densidad de las playas. Se debe recordar que la función del dique de colas es justamente almacenar colas, ya que el agua debe retornar al proceso como agua reciclada.

El agua que drena es recuperada luego a través de un sistema de retrobombeo, que consta de dos piscinas de recuperación de drenaje y nueve pozos profundos.

Tanto los pozos como las piscinas de recuperación de drenajes envían el agua a un tanque colector, desde donde es bombeada nuevamente al dique.

Dentro de un plan de contingencia desarrollado, se ha dotado al sistema de retrobombeo de una fuente de energía alternativa (grupos generadores de energía), para el caso de interrupciones en la alimentación eléctrica de red. De esta manera se garantiza la operación continua del sistema.

Con respecto al balance hídrico expuesto en punto 3.3 de la Tesis (página 26), el mismo tiene muy pocos puntos de proximidad con la realidad.

El flujo de agua proveniente de los pozos de Campo el Arenal no supera los 1700 M3/hora de promedio (de acuerdo a mediciones realizadas con caudalímetros y verificadas por autoridades provinciales), muy lejos de los 2220 M3/hora mencionados.

La evaporación anual es de aproximadamente 1.300 mm, (mediciones realizadas por la estación meteorológica existente en la mina) por lo que aplicada sobre una superficie húmeda de 255 hectáreas, implica un promedio de 378 M3/hora, bastante mayor que los 288 M3/hora consignados en el cuadro.

Si bien los errores en la Tesis arriba mencionados son porcentualmente importantes, y también hay discrepancias con los otros valores utilizados, el mayor error de este supuesto balance

hídrico es que no se ha considerado el agua retenida en las colas. Este importante volumen no puede ser despreciado de ninguna manera, ya que supera ampliamente (más del doble) al que se produce por la evaporación.

Comentarios acerca de afirmaciones realizadas en la Tesis:

- en la pág.26 de la Tesis, y refiriéndose al sistema de recuperación instalado por MAA aguas abajo del dique de colas, se afirma ***"todos estos esfuerzos fueron en vano ya que a pesar de todo no pudieron retener las filtraciones profundas, y la pluma contaminante avanzamás rápidamente que lo indicado por los modelos predictivos realizados por 2 consultoras"*** (sic)

La realidad es bien diferente e indica:

- Evidentemente en la Tesis no se tuvo en cuenta el "Modelo de Flujo de Agua Subterránea" realizado por la consultora AGE y MAA entre los años 2001 y 2002. En dicho informe queda establecido claramente cómo se predice el avance de la pluma de drenaje y las acciones a realizar para su control. Se establece claramente que la pluma se encuentra dentro del área de infraestructura minera y que con acciones concretas se mantendrá de esa manera a perpetuidad. Lamentablemente, se ve que nuevamente los datos aportados en la Tesis son parciales, llegando únicamente hasta principios del año 2000 y por lo tanto ignorando 3 años de datos y estudios ininterrumpidos.

4. Comentarios sobre Drenaje Acido de Mina (DAM)

Uno de los principales temas al que la industria minera ha dedicado cuantiosos esfuerzos es a la prevención del Drenaje Acido de Mina (DAM).

El proceso de generación de ácido, como fue explicado en la Tesis, es el resultado de una reacción química y biológica. El proceso de reacción necesita de materiales aptos para la reacción (Sulfuros), este proceso se ve contrarrestado en muchos casos por la reacción de materiales que se liberan ante esta reacción (materiales alcalinos), los cuales se consumen contrarrestando el efecto de la generación ácida.

Es necesario explicar, porque no está claro en la Tesis (solamente está expresado en lapág.63, después de haber analizado largamente el drenaje ácido de mina), que para que se produzcan las reacciones de drenaje ácido hacen faltan los siguiente componentes indefectiblemente:

- Minerales sulfurados
- Agua
- Oxígeno
- Tiempo

Es justamente la prioridad ambiental de MAA, que los minerales sulfurados (que están presentes en el yacimiento) minimicen su contacto con los componentes que desencadenarían

la reacción (fundamentalmente agua y oxígeno), y para ello se han desarrollado una serie de programas que van a evitar la generación de Drenaje Acido de Mina.

Estos programas, lamentablemente, no están contemplados en la Tesis, ya que empezaron durante los años 2001 y 2002 y están aún bajo desarrollo, ya que como bien explica el Ing. Nieva en lapág.62 de laTesis (5.1.1 Tipos de Pruebas): **"No queda otra alternativa que trabajar con relación al avance de la explotación del yacimiento, y tener planes para considerar las alternativas posibles de cambio para enviar a planta y escombreras rocas que en el balance ácido-base, estén lomás cerca posible del equilibrio" (sic)**

MAA, consciente de la potencialidad de generación de ácido, está desarrollando diseños de escombreras que permitan colocar selectivamente los materiales de acuerdo a su potencialidad de generación de ácido. Paralelamente a ello, MAA también está desarrollando diseños de sistemas de cubiertas para dique de colas y escombreras, los cuales no han sido abordados por la Tesis.

En resumen, la fase de simulación de cubiertas arrojó los siguientes resultados:

Para el depósito de colas:

- Cobertura de 0.5 m de material aluvial de Tampa - Tampa (proveniente del lado Norte del depósito de colas)

Para las escombreras de Estériles:

- Cobertura de 0.5 m de material estéril benigno (conocido genéricamente como Barren Core).

En ambos casos y para su actual plan de cierre de mina, MAA ha adoptado un espesor práctico de 1.5 m, es decir, 1 m adicional al recomendado por las simulaciones por la seguridad de funcionamiento que ofrece y practicidad de posicionamiento del material, debido al uso de equipos de gran escala.

A continuación se emiten comentarios acerca de las afirmaciones vertidas en la Tesis sobre Drenaje Acido de Mina:

- En lapág.37 (punto 4.1 - Etapas en el Desarrollo del Dam) afirma **"En nuestro caso de estudio tenemos ya los primeros indicios (de DAM), que fue detectado a cuatro años posteriores del inicio de las actividades del emprendimiento minero" (sic).**

El autor de la Tesis toma como único indicador del inicio del drenaje ácido de mina el aumento en los contenidos de SO₄ en las aguas del dique de colas y del sistema de retrombombeo, lo cual es erróneo. Al respecto se afirma que:

- El contenido de SO₄ se mantiene dentro del rango de variación de los valores naturales (valores base) en los sitios superficiales y subterráneos fuera del área de infraestructura minera monitoreados frecuentemente. (Ver apartado 4 y gráficos sucesivos).
- Es común confundir los primeros efectos de dilución del material que contiene yeso con los efectos de la reacción del drenaje ácido de roca (DAR), para ello se debe tener en claro que el yeso es un elemento altamente soluble y es lógico esperar como resultado de la molienda y disolución en agua, valores de SO₄ y Ca elevados. En la Tesis se omite explicar esta característica de los materiales del

yacimiento Bajo de la Alumbrera, con lo cual esta siendo parcial en la interpretación de sus datos, quitándole rigor científico a su estudio ya que evita señalar otras fuentes de SO₄ naturales dentro del sistema de recuperación de agua del proyecto minero.

El aumento de los contenidos de sulfato en la zona del depósito de colas e inmediaciones del sistema de retrobombeo (dentro de la pertenencia minera) se da como consecuencia de la natural disolución de yeso de las rocas molidas en el concentrador y NO como una reacción de la pirita.

Es por ello que no se pueden tomar parámetros aislados y fechas parciales para afirmar que *"los primeros indicios de DAM ya se han detectado"* (sic).

- En lapág.37 (4.1 Primera Etapa) se afirma ***"En esta etapa, el agua de drenaje se caracteriza generalmente por niveles elevados de sulfato, con pH cercano al neutro. Este fenómeno ya es detectado en las nacientes del río Vis Vis, con valores de sulfato incrementados en un 100 % (sobre los valores de base). Como así también el aumento del ión calcio, este cambio significativo se produjo en un corto período de tiempo (3 meses) manteniendo estable los valores de pH (ligeramente superior a 7)."*** (sic)

Al respecto se afirma lo siguiente:

- Es falso afirmar que los valores de sulfato en las afueras del sistema de retrobombeo hayan aumentado un 100 %. Luego del pico de sulfato detectado en Feb. 99 en MW8 y E1, que puede corresponder a un evento natural puntual de un sistema termal, los valores han retomado los niveles naturales manteniéndose dentro del rango de variación normal de los valores base. Nuevamente, la falta de datos desde principios del 2000 a la fecha atenta contra la validez de la Tesis.
- Como una prueba de ello, el valor de sulfato obtenido en el último monitoreo mensual (Marzo 2003) en la estación E1 (o DS1) arrojó un valor de 572 mg/lit, vale decir, valor dentro del rango del valor base. (en el apartado 4 se aportarán más pruebas)
- Los valores de pH de las estaciones de monitoreo han mantenido sus valores neutros o ligeramente alcalinos. Una condición para afirmar indicio o presencia de drenaje ácido es la disminución progresiva del pH, cosa que no está ocurriendo en los sitios monitoreados.
- Por consiguiente no existe indicio alguno de drenaje ácido de mina
- Respecto de los valores de Calcio, los mismos se han mantenido dentro de las variaciones normales de los valores base en puntos fuera del sistema de retrobombeo y del área de infraestructura minera: como una prueba (ver apartado 7), los valores promedio de Ca en la estación E1 (DS1) durante el 2002 arrojan un valor de 120 mg/l, cuando los valores base arrojaron valores de hasta 133 mg/lit (Abril de 1997).
- El aumento de SO₄ en la zona del depósito de colas y área de influencia del sistema de recuperación, esta relacionado a la inevitable disolución del yeso contenido en el material de proceso, que por la acción combinada de molienda y el lavado producido por el agua, se diluye, con esto queda de manifiesto que el SO₄ que se encuentra en el agua de proceso es producto de este efecto inevitable de disolución del yeso, negando lo que se afirma en la Tesis, en la que se dice, que es la primera etapa de la reacción de generación de ácido.

- Ver en el apartado 4) de este trabajo la distribución de los valores base de sulfato en la zona de influencia del proyecto, con variaciones desde 200 mg/lit hasta 1500 mg/lit y hasta 3300 mg/lit (zona de pit).
- En lapág.39 se afirma **"Como este trabajo trata de demostrar la falta de estanqueidad del dique de colas...." (sic)**

Al respecto, se afirma:

- El diseño del dique de colas es justamente con drenes de filtración ya que la función principal del dique es retener colas. De todas maneras, es necesario aclarar que el murallón del dique NO es filtrante, por lo tanto la afirmación de la falta de estanqueidad del dique de colas es nuevamente alarmista y tendenciosa. El diseño del dique está presentado en los sucesivos reportes de impacto ambiental remitidos a las autoridades.
- En lapág.40 (4.4 Dique de Colas) se afirma: **"El desarrollo del DAR en un embalse es generalmente muy limitado durante la operación y se desarrolla lentamente a lo largo del tiempo, después que haya cesado la acumulación en el embalse. La ocurrencia de las reacciones de oxidación está limitada por la acumulación continua de capas frescas de relaves saturados y alcalinos durante la operación. Después que se ha concluido la acumulación y los relaves empiezan a drenar, de manera que los sulfuros se exponen al oxígeno, en ese momento comienza la oxidación" (sic).** En otra parte del mismo párrafo afirma: **"Dado que las reacciones de oxidación requieren tanto de oxígeno como de agua, la generación de ácido comienza en la superficie y a los lados de la represa, que se encuentran secos (cerca del muro), son los primeros en drenar." (sic)**
 - Queda claro que para producir drenaje ácido, sobretodo en las etapas iniciales del proceso, se requiere abundancia de oxígeno. Esto justamente no se da en el caso de las colas depositadas en el dique ya que estas se encuentran en su mayor parte saturadas o bien cubiertas por el agua del embalse. Esta afirmación de la Tesis contradice lo expresado de que **"ya tenemos los primeros indicios de DAM" (sic)** (pag. 37, punto 4.1).
- En lapág.43, mientras se ahonda en detalles técnicos sobre DAM, se presentan una serie de potenciales problemas ambientales de la siguiente manera: **"En resumen podríamos indicar una serie de problemas que para este caso particular de Bajo de la Alumbrera ya son observados, como problemas Ambientales producidos por las operaciones de mina.**
 - 1- **Cambios (químicos y físicos) de los cursos de agua y aguas subterráneas**
 - 2- **Tráfico de camiones**
 - 3- **Vibración por voladuras**
 - 4- **Destrucción del paisaje**
 - 5- **Impacto sobre las aguas del Vis Vis**
 - 6- **Dificultades futuras para las reservas de agua de Campo del Arenal"** (sic)
 - Si uno se remite a los objetivos de la Tesis y al título de la misma **"Variación de Parámetros Geoquímicos, río Vis Vis, Catamarca, Argentina, causas y**

consecuencias", no se comprende cuál es la relación con el **"trafico de camiones"** o con **"vibración por voladuras"** o **"destrucción del paisaje"**. La inclusión de estos temas como problemas ambientales sin el más mínimo análisis, muestra la tendenciosidad con que fue escrita la Tesis.

Con respecto al punto 6 **"Dificultades futuras para las reservas de agua de Campo Arenal"** (Campo Arenal), se nota una tremenda contradicción ya que además de no ser objeto de la Tesis, en lapág.3 (resumen) afirma: **"No se presentaron hasta el presente inconvenientes en el Campo del Arenal, lugar donde se capta el agua con una batería de pozos profundos para abastecer al proyecto" (sic).**

- Enpág.54 (4.12 Minerales Sulfurosos - Pirita) se afirma: **"Varios factores afectan la cinética de oxidación de la pirita y, así, la formación del DAR. Incluyen la proporción del transporte de oxidante (oxígeno o hierro III) a la superficie del grano de la pirita, la química de cualquier solución en contacto con la pirita, la presencia de las bacterias, morfología, cristalografía, mineralogía de granos vecinos, etc.....Las relaciones de estos factores que controlan la oxidación y la neutralización de los procesos que finalmente determinan si el DAR ocurrirá o no" (sic).**
 - Se coincide en la complejidad de la reacción de oxidación de la pirita y por ello MAA lleva a cabo varios estudios simultáneos con el objeto de conocer a fondo las posibilidades de reacción de los materiales presentes en el yacimiento.
- En lapág.57 (4.13 Neutralización) se afirma: **"Sin embargo, algunos metales, como el Zn, As y Mo, son tan solubles - omás solubles - bajo condiciones alcalinas que bajo condiciones ácidas. Los iones de sulfato son químicamente estables en un amplio rango de pH" (sic).**
 - Tomando como ejemplo la estación E1 (DS1) se ve que los valores de Zn, As y Mo no han sufrido variación alguna respecto a los valores de base. Esto viene a comprobar que a pesar de que son elementos que se movilizarían aun con pH elevados, no es el caso de esta estación (ver Figuras N° 3, 4 y 5 para los parámetros citados anteriormente). Esto es una indicación más que no existen evidencias para afirmar que se está produciendo Drenaje Acido de Mina (DAM).
- En lapág.61 (V Predicción del Drenaje Acido de Roca - 5.1 Metodología) se afirma: **"La identificación prematura de los materiales potenciales generadores de ácido y el desarrollo de un plan de manejo adecuado de los desechos pueden reducir considerablemente los problemas ambientales a largo plazo y los costos de las medidas correctivas"...(sic)**
 - Se coincide plenamente con la primera afirmación y por ello MAA tiene programas en desarrollo que buscan justamente ese objetivo.
- En lapág.61 (V Predicción del Drenaje Acido de Roca - 5.1 Metodología) se afirma: **"Lamentablemente, y a pesar de haberse realizado pruebas para identificar materiales potencialmente generadores de ácido, no se consideraron a la hora de realizar una explotación y deposición de materiales estériles siguiendo un criterio**

que permita poner en proximidad rocas generadoras con rocas capaces de neutralizar" (sic).

- Esta afirmación no es correcta, ya que sí se están identificando los materiales potenciales generadores de ácido, así como también los materiales benignos (los cuales serán usados como cobertura). El desarrollo de las escombreras de estériles está basado en criterios ambientales con posicionamientos selectivos de materiales de acuerdo a su potencialidad. Estos estudios se continúan a medida que avanza la explotación de la mina y se dispone de mayor información.
- En lapág.63 (5.2 Control de la Generación Acida) se afirma: **"..Entonces para evitar que el proceso (DAR) se inicie es necesario quitar alguno de los ingredientes que intervienen en el proceso de formación del DAR, estos son:**
 - **Estériles**
 - **Oxígeno**
 - **Agua" (sic)**

- Es por ello que MAA planea realizar una "cubierta de almacenamiento y posterior liberación de humedad" (Soilcover) que justamente minimiza el contacto de los materiales estériles sulfurados con el oxígeno ambiente y el agua de precipitaciones (a pesar que las mismas no superan los 120 mm anuales). Este método está mencionado en la Tesis en lapág.64 como **"Aislamiento"** aunque también combina **"Exclusión del agua"** y **"Exclusión del oxígeno"**.
- En lapág.65 (5.4 Monitoreo) se enuncian los monitoreos y los sitios tanto de aguas subterráneas como de superficiales. Cabe destacar que se han agregado muchos sitios que no están contemplados en la Tesis, ya que son posteriores al año 2000. En el Anexo I se muestra el programa actual de muestreo y análisis.

5. Comentarios sobre los contenidos de Sulfato (SO4)

Como primera medida debemos aclarar la ubicación de las estaciones de monitoreo analizadas por la Tesis. Existen 3 tipos de ubicaciones diferenciadas: sitios que se encuentran dentro del sistema de recuperación de agua, sitios que se encuentran fuera del sistema de recuperación de agua pero dentro de los límites de la infraestructura minera y sitios que se encuentran fuera de los límites de la infraestructura minera.

- Estaciones dentro del sistema de recuperación de agua de proceso:

TLW = Estación del dique de colas

ERC3 = Estación ubicada a 5 metros de la bomba de recuperación de agua PB2.

SPA = Estación ubicada en área de filtraciones superficiales aguas abajo del dique de recolección de drenajes.

WW13 = Bomba ubicada al lado de la pileta de recolección de filtraciones superficiales.

PB16 = Bomba ubicada en la última línea de recuperación de agua.

Toda el agua dentro del sistema de recuperación de agua posee valores de SO₄ por encima de los valores base y similares a los del agua de proceso (del dique de colas), ya que justamente la función de este sistema es recuperar el agua de proceso de las filtraciones del dique de colas (ver diagramas de Piper adjuntos)

Por lo antes explicado no se ahondará en el análisis de estos sitios de monitoreo ya que lo único que prueba el cambio de los valores de SO₄ en estos sitios es que el sistema de recuperación de agua de proceso esta trabajando correctamente.

- Estaciones fuera del sistema de recuperación de agua de proceso pero dentro de los límites de infraestructura minera.

MW7 = Estación subterránea ubicada en el límite sur de la infraestructura minera sobre el margen este del río Vis Vis.

MW8 = Estación subterránea ubicada en el límite sur de la infraestructura minera sobre el margen oeste del río Vis Vis.

MW17: Estación subterránea realizada en Octubre del 2002, no tomada en cuenta en la Tesis. Se ubica al sur de la estación PB16 (aprox 900 m).

MW18: Estación subterránea realizada en Noviembre del 2002, no tomada en cuenta en la Tesis. Se ubica al sur de la estación MW17 (aprox 200 m).

MW19: Estación subterránea realizada en Diciembre del 2002, no tomada en cuenta en la Tesis. Se ubica al Oeste del sistema.

MW21: Estación subterránea realizada en Diciembre del 2002, no tomada en cuenta en la Tesis. Se ubica sobre la margen derecha del Vis Vis en su unión con la quebrada del mineraloducto.

- Estaciones fuera del sistema de recuperación de agua de proceso y fuera del límite de infraestructura minera.

DS1 (E1 en tesis) = primera aparición superficial de agua en el río Vis Vis, también denominada Los Baños (obviamente superficial)

MW13: Estación subterránea perforada en el año 2000, no tomada en cuenta en la Tesis. Se ubica entre DS1 y DS5.

MW15: Estación subterránea perforada en el año 2000, no tomada en cuenta en la Tesis. Se ubica contigua a MW13.

DS5 (E2 en tesis) = Villa Vis Vis (superficial)

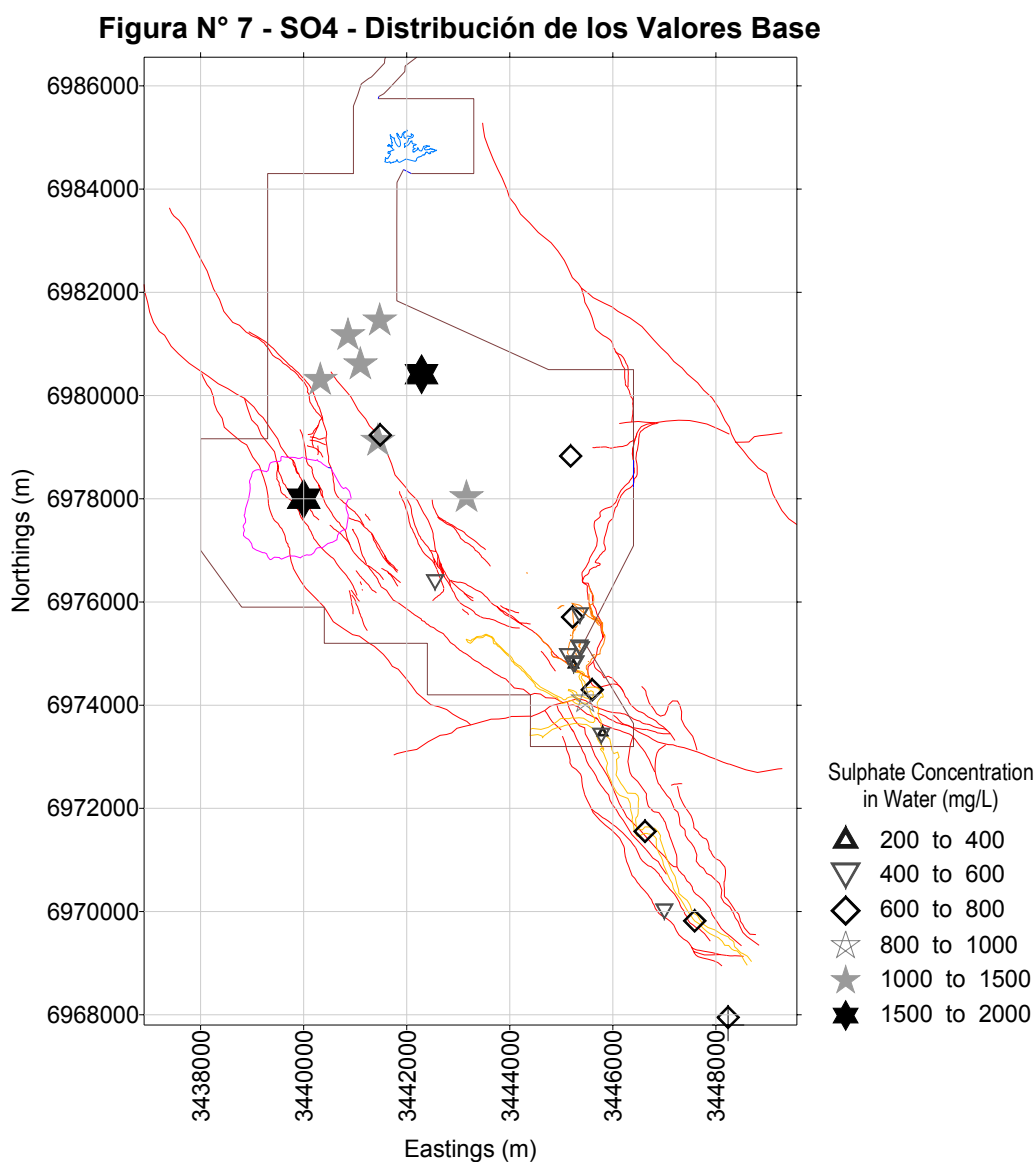
DS6 = Estación las Juntas, donde el mineraloducto se desvía por la variante Ampujaco.

DS7 (E3 en tesis) = El descanso, aproximadamente a mitad de camino entre el dique de colas y Amanao.

DS8 (E4 en tesis) = Localidad de Amanao.

5.1. Valores Base de SO₄ en la zona de Estudio - Variaciones Estacionales

Otro aspecto importante a tener en cuenta antes de empezar cualquier análisis, son los valores base de sulfato en la zona. Al respecto se adjunta la siguiente figura:



Se puede observar claramente cómo los valores de sulfato naturales varían entre 200 mg/lit hasta 2000 mg/lit, habiéndose obtenido valores de 3300 mg/lit en pozos de exploración en la zona de la cantera.

Acompañamos a este gráfico una tabla con valores base de SO₄ para diferentes estaciones fuera de la infraestructura minera (E1, E2, E3, E4) tomados en los años 1994 a 1997.

Tabla N° 2: Valores Base de SO₄

Fecha	Estación	Ubicación	Referencia	SO ₄ Mg/lit
14-03-94	E1	Los Baños	SGS - FET 207	570
14-03-94	E2		SGS - FET 208	560
14-03-94	E3	El Descanso	SGS - FET 209	545
05-09-95	E1	Los Baños	SGS - AGT 335	560
05-09-95	E2		SGS - AGT 336	530
05-09-95	E3		SGS - AGT 337	392
04-09-96	E4	Amanao	SGS - AGT 996	440
01-04-97	E1	Los Baños	FC 14081	549

Un aspecto interesante a tener en cuenta son las variaciones naturales o estacionales de los valores base de SO₄ en el área de estudio (es decir, en los sitios fuera de la infraestructura minera).

Como podemos observar en la Tabla N° 2 precedente, si tomamos la estación E3 ("El Descanso") vemos una variación natural de 153 mg/lit (o un 39%).

Por otra parte, en el Modelo Matemático de Agua Subterránea de río Vis Vis (AGE 2001 - 2002) se menciona una variación natural de los valores base de SO₄ en la estación QLB ("Quebrada de las Burras") de 120 mg/lit.

Asimismo, en la Tesis se muestran variaciones de porcentajes de SO₄ en sitios como E1, sin estudiar en sus datos los porcentajes de variación natural encontrados a lo largo del Río Vis Vis en otras estaciones.

El autor de la Tesis considera que la variación de SO₄ (del 59%) encontrada en E1 corresponde a la llegada de la pluma de drenaje a esa estación.

Asimismo, considera que la pluma de contaminación no avanzó de ese lugar durante el período de análisis, por lo tanto puede decirse que la Tesis afirma que más allá de E1 no hay impacto alguno.

Considerando este último punto, en el sitio de monitoreo E4 (Amanao), aguas abajo de E1, el porcentaje de variación natural registrado por el Ing. Nieva con sus propios datos, es de 102% entre la muestra con valor más bajo y con valor más alto.

Para resumir, para el autor de la Tesis la variación de un 59 % en el valor de SO₄ en E1 es una muestra de llegada de la pluma de drenaje a esa estación, mientras que la variación de 102% en E4 (no afectada por la pluma de drenaje según la Tesis) es natural, con lo cual se concluye que dicha afirmación es cuando menos, apresurada y poco seria.

En la Tabla N° 3 adjunta se presenta el porcentaje de variación entre valores Mínimos y Máximos de SO₄ aportados por la Tesis dentro del Sistema de Recuperación de agua, dentro del límite de infraestructura minera, en el área señalada como afectada en la Tesis y en el área no afectada.

Tabla N° 3 - % de variación de SO₄

Area afectada según Tesis		
E1	59.8	Variación entre valor mínimo y máximo de Tesis
Area no afectada		
E2	35.80%	Variación entre valor mínimo y máximo de Tesis
LJ	33.40%	Variación entre valor mínimo y máximo de Tesis
E3	40%	Variación entre valor mínimo y máximo de Tesis
E4	102.70%	Variación entre valor mínimo y máximo de Tesis
E4b	60.50%	Variación entre segundo valor mínimo y máximo de Tesis

Como conclusión de este análisis, se puede afirmar que es posible encontrar variaciones naturales o estacionales en los valores de SO₄ de hasta un 100 %, tal lo demostrado en los datos aportados por el Ing. Nieva.

Tal como quedo demostrado en el apartado 4) referido al Drenaje Acido de Mina (DAM), que los valores de SO₄ no demuestran generación de ácido, en esta sección se demostrará que el análisis de tendencias de valores de SO₄ en los sitios de monitoreo fuera del sistema de recuperación de agua no indican un vínculo entre el agua de proceso y las estaciones aguas abajo del sistema de recuperación de agua; en consecuencia, se demostrará la eficiencia del sistema de control de MAA y las tendencias erróneas mostradas en la Tesis.

5.2. Interpretación de Datos Usando Diagramas de Piper y Stiff

MAA realizó un estudio detallado de los datos de calidad de agua en el proyecto y sus adyacencias, para ello utilizó técnicas de interpretación simultánea de múltiples parámetros, utilizando como herramienta el diagrama de Piper entre otros.

La interpretación simultánea de múltiples parámetros de los datos de calidad de agua de laboratorio reconoce que un determinado parámetro no existe independientemente de otros componentes químicos que conforman la composición general característica del agua que se está estudiando.

Esto cobra fundamental importancia en este caso, ya que como se mencionara, el complejo régimen hidrológico requiere una cuidadosa interpretación de los datos de monitoreo de la composición química del agua para evitar conclusiones falsas.

Para ello se usan diferentes técnicas de interpretación de datos, que provienen de cuidadosos estudios, tales como modelos matemáticos, simulaciones, estudios geofísicos, etc..

Interpretar datos parciales, sin duda alguna arrojaría resultados apresurados, confusos y erróneos.

Varios métodos gráficos pueden describir la abundancia o abundancia relativa de iones en muestras individuales de agua. Los más comunes son: el diagrama Stiff, el diagrama Piper y el diagrama XY convencional. Los primeros dos métodos requieren concentraciones en unidades de meq/L (mili equivalentes por litro) o %meq/L. Los diagramas XY generalmente representan concentraciones en mg/L (miligramos por litro). Los diagramas Piper requieren concentraciones relativas (%meq/L).

Trazar datos para muestras individuales en el diagrama Piper es complejo, porque posee tres diagramas individuales. La abundancia relativa de los cationes con el %meq/L de $\text{Na}^+ + \text{K}^+$, Ca^{2+} y Mg^{2+} asumido para igualar al 100%, primero es trazada en el triángulo de cationes. De forma similar, el triángulo de aniones muestra la abundancia relativa de Cl^- , SO_4^{2-} y $\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}$. Las líneas rectas proyectadas desde los dos triángulos al campo cuadrilateral definen la posición del punto en el tercer campo.

En la naturaleza, la composición química del agua subterránea y del agua superficial puede variar con el tiempo. Esta variación puede no representar un cambio sustancial en la composición química del agua sino una variación natural alrededor de un centro de gravedad constante.

En el diagrama de Piper es posible identificar grupos de datos alrededor de un centroide relativamente constante, que representan la calidad de agua analizada, indicando tendencias genuinas de variación a lo largo del tiempo y eliminar errores de interpretación debido a los datos de un solo elemento que no puede variar independientemente sin afectar la interdependencia de cationes y aniones.

Los diagramas XY de concentraciones de los distintos parámetros analíticos pueden dar una indicación de la composición química de una muestra de agua determinada. Estos diagramas tienen la ventaja de representar los cambios en el transcurso del tiempo fácilmente, sin embargo, no es posible examinar eficientemente múltiples parámetros en un único diagrama o representar claramente la interdependencia de los cationes y aniones.

La representación de las características de las muestras de agua usando diagramas XY requiere la generación de numerosos gráficos que impiden una interpretación efectiva. El uso de estos diagramas también desvía la interpretación hacia un único parámetro y asume que el parámetro único está cambiando en forma aislada del resto de la composición química del agua.

Los diagramas de facies (Piper) constituyen una forma de interpretar aquellos datos que pudieran ser confusos y permite identificar tendencias amplias, sobre un área de estudio o en

el tiempo. Es crítico que cualquier análisis de dato tenga en cuenta la necesidad de analizar multielementos combinados espacial y temporalmente.

A los fines de la comparación e interpretación del programa de monitoreo de la composición química del agua, se utilizaron los resultados de los siguientes sitios:

Mina/Río Vis Vis

Dique de colas TLW – *Agua superficial*
ERC3 - *Pozo de monitoreo de agua subterránea*
MW8 - *Pozo de monitoreo de agua subterránea*
MW7- *Pozo de monitoreo de agua subterránea*
DS1 – *Agua superficial del Río Vis Vis*
DS5 - *Agua superficial del río Vis Vis*
DS6 - *Agua superficial del río Vis Vis*
DS7 - *Agua superficial del río Vis Vis*
DS8 – *Agua superficial del río Vis Vis*

Campo Arenal

CMW2 - *Pozo de monitoreo de agua subterránea*
CMW3 - *Pozo de monitoreo de agua subterránea*
CMW4 - *Pozo de monitoreo de agua subterránea*
CMW5a - *Pozo de monitoreo de agua subterránea*
CMW6A - *Pozo de monitoreo de agua subterránea*
CP1 - *Pozo de monitoreo de agua subterránea*
Río Santa María
Río Los Nacimientos

Se incluyen los datos de Campo del Arenal como una forma de demostrar la variación en gran escala en la calidad del agua natural de la región y también la variación natural dentro de una cuenca subregional.

El sitio de monitoreo ERC3 está localizado dentro del sistema de retrombombeo de MAA, mientras que los sitios subterráneos MW7 y MW8 se encuentran fuera del sistema de retrobombeo y dentro de la infraestructura minera. Los sitios de monitoreo superficiales en el río Vis Vis (es decir al Sur de MW7 y MW8) están representados por DS1, DS5, DS6, DS7 y DS8. Se debe tener en cuenta que la deposición de colas en el dique comenzó en Agosto de 1997.

5.3. Química del agua subterránea - Período previo a la deposición de colas

La Figura N° 8 muestran la variación de la composición química del agua regional para muestras tomadas en la cuenca de captación del Río Vis Vis antes de la deposición de colas. Se puede observar que sobre una base de facies, las muestras se encuentran dentro de las

facies sodio-calcio / cloruro-sulfato-bicarbonato. En términos de clasificación de facies, hay una fuerte correlación entre la calidad del agua subterránea y del agua superficial. En una escala más fina, hay una diferencia en la composición química entre los dos sitios de agua subterránea (MW7 y MW8) así como pruebas de variabilidad natural. Los sitios de agua superficial (DS1 y DS8) tienen una composición química similar entre sí. Además, hay una salinidad variable que indica regímenes de flujo variable y las influencias de las características naturales de la cuenca. En general, la salinidad es relativamente elevada.

La Figura N° 9 muestra los datos de monitoreo para Campo Arenal en los diagramas Piper. La composición química del agua subterránea se encuentra dentro de las facies de aniones cloruro-sulfato-bicarbonato y bicarbonato-cloruro-sulfato. El agua también corresponde a las facies de cationes sodio-calcio y calcio sodio. Esto representa un margen más amplio en la calidad del agua natural y una marcada reducción en la salinidad. Dentro de Campo Arenal hay 6 composiciones químicas distintas de agua subterránea dentro de una cuenca de agua subterránea subregional. Las muestras de agua superficial (Río Santa María y Río Los Nacimientos) indican composiciones químicas discretas del agua que reflejan el aporte de múltiples acuíferos de agua subterránea y de agua superficial.

Las Figuras N° 10 y 11 combinan los datos de monitoreo de Campo Arenal y los datos de la cuenca del Río Vis Vis antes de la deposición de colas. Las principales características son el agua naturalmente más salina en la cuenca del Río Vis Vis, el predominio de sulfato en el agua del Río Vis Vis comparado con Campo Arenal y la natural variabilidad de todos los sitios de monitoreo.

La Figura N° 12 muestra los datos de calidad de agua subterránea para perforaciones que rodean la cantera. Los datos muestran que el agua se encuentra dentro de las facies calcio-sodio / cloruro-sulfato. Hay salinidades naturales relativamente muy elevadas.

En síntesis, las características predominantes son las distintas químicas de agua natural entre Campo Arenal y la cuenca del Río Vis Vis. Los niveles de salinidad y sulfatos en la cuenca del Río Vis Vis son mucho más elevados que para Campo Arenal. Esto es consecuencia de la mineralización de Bajo de la Alumbrera, y de otras mineralizaciones que ocurren dentro de la cuenca.

Como vemos, también existe una importante variación natural en la composición química del agua en la zona del Campo del Arenal.

5.4. Química del agua subterránea - Período posterior a la deposición de colas

5.4.1. Estación TLW y agua de la cantera

La Figura N° 13 es una representación gráfica de la información sobre la composición química del agua contenida en el dique de colas y la extraída de los pozos de desagüe de la cantera. La salinidad y la composición química del agua del dique de colas y del agua natural de la cantera son similares. Ambas están dominadas por calcio y sulfato y tienen una elevada salinidad. Esto es previsible dada la mezcla del agua con la mineralización de sulfuros

oxidados y no oxidados. El agua del dique de colas tiene una alta salinidad que es previsible dado el agregado de cal en el proceso de tratamiento y la naturaleza de granos más finos de las colas frente a la masa natural de rocas.

Un acuífero que recibe el drenaje del Dique de Colas debería demostrar un cambio en la composición química del agua, por cuanto se mezclarían calidades de agua diferentes y, obtendríamos así una composición química intermedia. El grado de cambio en la calidad de agua dependerá de la proporción de agua que ingresa de cada fuente y de la diferencia original en las composiciones químicas de las aguas. Dicha variación en la composición química se vería reflejado en un diagrama Piper a través de un cambio sistemático en el centro de gravedad de los puntos de información.

5.4.2. ERC3

El ERC3 es un pozo de monitoreo de agua subterránea ubicado aguas abajo del sitio DCP2, dentro del sistema de retrobombeo. La Figura N° 14 muestra la evolución de la composición química del agua en el tiempo (hasta el año 2000, fecha límite de datos de la Tesis). Se puede observar el cambio a una facie más dominada por sulfatos y calcio. La composición química y la salinidad del agua en el ERC3 se aproxima a la observada en el Dique de Colas. La Figura N° 15 muestra el comportamiento del mismo sitio entre el 2001 y 2003 y como se observa, la composición se mantiene constante.

5.4.3. Estación MW7

La Figura N° 16 muestra los resultados del programa de monitoreo del pozo MW7 (pozo de monitoreo ubicado aguas abajo del dique de colas en el límite de la concesión minera). En la Figura N° 17 se repite esta metodología pero para los años 2001 a 2003 (fechas no tomadas en cuenta por la Tesis) y como se observa no existen cambios notables. La representación gráfica de la información indica que:

- No hay ninguna variación sistemática de la calidad del agua hacia los valores del dique de colas.
- La salinidad es variable pero se mantiene en un rango “moderado”.

5.4.4. Estación MW8

La Figura N° 18 muestra los resultados del programa de monitoreo del MW8 hasta el año 2000 (MW8 es un pozo de monitoreo ubicado aguas abajo del dique de colas en el límite de la concesión, separado aproximadamente a 65m del MW7), mientras que la Figura N° 19 repite la metodología para los años 2001 a 2003. La representación gráfica de la información indica que:

- La composición química del MW8 presenta un rango de variación natural. Esto, sumado al hecho de su elevada temperatura, demuestra el origen termal del agua de esta estación.
- No hay ninguna variación sistemática de la calidad del agua hacia los valores del dique de colas.

- La salinidad es variable pero se mantiene dentro de un rango “moderado”.
- La salinidad es mayor a la del MW7.

La Figura N° 20 es un diagrama Piper del agua de las colas, del pozo MW7 y del pozo MW8 hasta el año 2000, mientras que la Figura N° 21 repite la metodología para los años 2001 a 2003.. Los diagramas indican que:

- Existen tres composiciones químicas claramente diferentes del agua.
- Existe una notable diferencia en la composición química del agua de las colas y de MW7 y MW8.
- No existe ninguna variación sistemática en la química del MW7 y MW8 hacia los valores del agua de las colas.
- La química del MW7 y MW8 presenta un rango de variación natural.
- La salinidad del MW7 y MW8 es notablemente inferior a la del agua de las colas.
- Al tomar en cuenta los parámetros de campo correspondientes al MW7 y MW8 junto con los datos químicos , es evidente que existen dos acuíferos diferentes.

La Figura N° 22 es una representación gráfica de los resultados del MW8 y ERC3 hasta el año 2000. Los símbolos están codificados mediante colores para representar cada año del monitoreo (es decir el rojo representa a 1997, el negro a 1998, el verde a 1999 y el azul al año 2000). La línea de tendencias indica la evolución del agua en el ERC3 a medida que el agua de las colas se mezcla con el agua del entorno. Se puede observar claramente un cambio sistemático en la química de las 3 partes de los componentes del diagrama Piper. Cambió la composición química del agua en el ERC3 y se ha establecido un nuevo centro de gravedad alrededor del cual varía. No presenta ningún cambio sistemático en el catión, anión o en las secciones combinadas del diagrama Piper correspondiente al MW8. El centro de gravedad del MW8 se mantiene constante y a su alrededor se produce la variación natural. La misma tendencia puede observarse en la Figura N° 23 realizado para los años 2001 a 2003.

Comentarios acerca de afirmaciones de la Tesis:

- En lapág.77 (6.4.1.6 Estación MW7) se afirma: ***“Los valores registrados de sulfato (en este pozo), indicarían en principio que la pluma contaminante no llegaría a este punto, por cuanto los mismos variaron entre 281 mg/lit (Febrero de 1997, único valor inferior a 300 mg/lit) y los 375 mg/lit. Podemos decir que este punto de monitoreo no refleja la realidad del comportamiento del sistema, si consideramos el diseño de captación de la perforación” (sic).***
 - Para el autor de la Tesis es un sitio de monitoreo que no refleja la "realidad", (Pagina 77 de la Tesis), porque no indica lo que su Tesis desea demostrar. Sin embargo, este sitio de monitoreo está señalando que la pluma de drenaje no ha llegado a los límites del área de infraestructura minera. Además de los gráficos de Piper que ya lo demuestran, esta es una clara demostración de tal circunstancia. En la Tesis se señala que el pozo MW7 (67,1m) al ser más profundo que el MW8 (14,7m) no es afectado por la pluma de contaminación, contradiciendo su teoría inicial, de un avance de la pluma a mayor profundidad (Pagina 26 de la Tesis), es

decir, en un lugar del proyecto la pluma avanza profundamente y en otro avanza superficialmente, según convenga a su hipótesis.

- En lapág.77 (6.4.1.7 Estación MW8) se afirma: ***Antes del inicio de operaciones mineras, el contenido de sulfato era de 451 y 410 mg/l en febrero y agosto de 1.997 respectivamente. En consecuencia, a efectos de un análisis estadístico, adoptamos como valor de fondo los 451 mg/l. Teniendo en cuenta este valor, hasta febrero de 1.999, los registros variaron regularmente hasta los 450 mg/l. A partir de esta fecha, tenemos que trimestralmente existe un ascenso prácticamente lineal hasta llegar a los 717 mg/l en el muestreo de febrero del año 2000. Es decir que existió en un año un aumento del 58,9 %. Esta estación está revelando una realidad ineludible, que es el avance de la pluma contaminante. Dado el diseño de la perforación, podemos decir a priori que en este sector el contaminante se desplazaría por el manto aluvional del río, pues en la estación MW7, cuyo paquete filtrante se encuentra en la filita (desde los 37.6 m en adelante), no muestra alteraciones que hagan suponer tal avance".***
 - Lamentablemente, se tiene que remarcar nuevamente que la Tesis se nutre de datos parciales ya que si analizamos la tendencia de esta estación desde el año 2000 a la fecha notamos como decrece hasta el valor obtenido en Marzo de 2003 (último monitoreo a la fecha de confeccionar este reporte) de 488 mg/lit, el cual está dentro de las variaciones normales de los valores base (ver Figura N° 24 - SO4 en MW8 desde el 2000 a la fecha). Por lo reflejado en los gráficos anteriores, se concluye que el aumento de SO4 en MW8 corresponde a algún evento natural puntual, ya que la tendencia creciente de los valores de SO4 no solamente se ve interrumpida, sino que señala una tendencia de continua reducción, lo que puede indicarnos una fluctuación natural de los valores de SO4 en este sitio de monitoreo.
 - De manera que la realidad ineludible es que los valores de sulfato se encuentran actualmente dentro del rango de los valores base, por lo tanto, queda absolutamente anulada la conclusión que la pluma de drenaje ha llegado a ese punto.
 - Sorprendentemente la Tesis no hace mención a la temperatura del agua en la estación MW8. Según se observa en la Figura N° 25 (temperatura en MW8), vemos valores relativamente constantes que rondan los 40 C°. Siguiendo con la teoría vertida en al Tesis se diría que al avanzar la pluma a poca profundidad ya que no afecta al pozo MW7, el agua de proceso se incorporaría desde capas superficiales, es decir capas de agua con menor temperatura (19 o 20 C° es normalmente la temperatura de agua en la zona). Cabe preguntarse, **¿porque este supuesto ingreso de agua poco profunda y fría, no genera una disminución en la temperatura de agua del pozo?** Para aumentar los valores de SO4, tendría que ingresar en MW8 un caudal importante de agua de proceso (poco profundo y frío) y consecuentemente la temperatura debería disminuir significativamente, cosa que no ocurre.
 - Otro tema eludido en la Tesis, es el curioso comportamiento de los niveles de agua en los pozos MW7 y MW8, los que se han mantenido paralelos (coincidentes) a lo largo del tiempo, demostrando que no existen ni existieron aportes extras de agua además de los naturales en la cuenca (Ver Figura N° 26 - Niveles MW7 y MW8).
 - Esta es una demostración más, además de los diagramas de Piper discutidos, que las tendencias y conclusiones de la Tesis acerca de esta estación son erróneas.

5.5. Química del agua superficial - Período posterior a la deposición de colas

El apartado 5.4 incluye una reseña de la química del agua previa a la deposición de colas, medida en los puntos DS1 y DS8. Allí se observa la variación natural de la química del agua y la similitud con la química del agua subterránea.

Las Figuras N° 27 a 31 indican la química del agua superficial de los sitios DS1, DS5, DS6, DS7 y DS8 tomados hasta el año 2000, mientras que las Figuras N° 32 a 36 muestran lo mismo para los años 2001 al 2003. La apretada agrupación de los puntos de información correspondientes a cada sitio indican una calidad del agua congruente durante el período de monitoreo.

La Figura N° 37 es un gráfico Piper de todos los sitios de agua superficial y del agua de las colas hasta el año 2000, mientras que la Figura N° 38 repite la metodología para los años 2001 a 2003. Los diagramas indican que la calidad del agua de todos los sitios de agua superficial es similar. Además, la calidad del agua en términos de la relación entre los principales iones y la salinidad total es **NOTABLEMENTE DIFERENTE** del agua de las colas.

Este hecho está demostrando sin duda alguna que el agua superficial de los puntos de monitoreo del río Vis Vis no tiene ni la más mínima relación con el agua de dique de colas.

El monitoreo de campo reveló que a medida que se eleva el nivel del agua en el MW8, el punto en el que se observa el ingreso de agua superficial en el río Vis Vis se mueve aguas arriba, hacia el MW8. Cuando baja el nivel de agua en el MW8, el punto en el que se observa por primera vez el agua superficial en el río Vis Vis se mueve aguas abajo. La Figura N° 39 es un diagrama de Piper de la química del agua en el MW8 y el DS1 hasta el año 2000, mientras que la Figura N° 40 repite la metodología para los años 2001 a 2003. Anteriormente se ha tratado la variación de la calidad del agua en el MW8. La distribución de los puntos de información del MW8 y DS1 presenta un patrón similar pero separado. La combinación de esta correlación en la química del agua con la relación entre el nivel de agua del MW8 y el flujo de la corriente en el río Vis Vis explica en parte el proceso que lleva a la variación natural de la calidad del agua superficial en el primer sitio de monitoreo del río Vis Vis.

La Quebrada de las Burras (QLB) está ubicada entre el DS1 y el DS5 en el sector occidental del río Vis Vis. La interpretación de la geología estructural indica que este sitio se encuentra a lo largo de un sistema de fallas / fractura con tendencia hacia el oeste, hacia la zona mineralizada de San Lucas. El agua en la quebrada se manifestó en forma de manantial antes de las operaciones de MAA.

La composición química de la QLB, el agua de la cantera y de los sitios de agua superficial a lo largo del río Vis Vis es representada en las Figuras 41 al 43 hasta el año 2000. La salinidad del agua de la QLB es congruente con el agua del curso principal del río Vis Vis. En comparación con el DS1 a DS8, la composición química del agua de la QLB se encuentra dominada por el calcio y el sulfato. Este dato es totalmente congruente con la conexión estructural aguas arriba del sitio con la mineralización de sulfuros de San Lucas. La meteorización natural de la mineralización genera un escurrimiento superficial dominado por el yeso (sulfato de calcio). La Figura N° 44 representa la estación QLB para los años 2001 a 2003. Las Figuras N° 45 y 46

presentan los diagramas Stiff del MW7, MW8, QLB y los sitios de agua superficial hacia abajo del río Vis Vis. La secuencia muestra que todas las químicas son congruentes y forman una secuencia natural que refleja la geología subyacente, la mineralización natural y el régimen de flujo.

De estos gráficos surge que la signatura de las aguas del dique de colas y estaciones del sistema de retrobombeo difieren notablemente de aquellas estaciones que están fuera del sistema, tanto subterráneas como superficiales. Esto constituye otra demostración que invalida los argumentos de la Tesis.

La falta de tendencias en la composición química del agua superficial del río Vis Vis hacia la composición química del agua de las colas indica que NO INTERACTUAN LOS DOS SISTEMAS HIDROLOGICOS, con lo cual queda invalidada la hipótesis planteada en la tesis.

Comentarios:

- En lapág.77 (6.4.1.8 Estación E1) se afirma: ***"Esta estación muestra hasta el monitoreo de Agosto de 1999 fluctuaciones entre los 550 y 413 mg/lit. No obstante, desde Mayo de 1999, el crecimiento en los valores casi sigue una tendencia lineal, hasta llegar a los 660 mg/lit en el monitoreo de Febrero de 2000" (sic).***
 - Es necesario aclarar lo siguiente: los valores base de la estación E1 (llamada actualmente DS1) estaban en el orden de los 520 a 570 mg/lit (ver Gráfico N° 7 y Tabla N° 2). Dicho esto, se puede asegurar que el valor de SO₄ promedio del año 2002 fue de 620 mg/lit (es decir dentro de la variación natural de sulfato de los valores base). Cabe destacar que el último monitoreo realizado al momento de presentar esta revisión corresponde a Abril de 2003 y arroja un valor de 577 mg/lit, es decir un valor igual al valor base obtenido el 14 de Marzo de 1994. Con esto se demuestra que la tendencia en el valor de SO₄ en E1 ha sido descendente desde el año 2000 a la fecha.
Nuevamente aparece como un problema, recurrente en la Tesis, la utilización de un período corto de tiempo para análisis de datos, lo que lo lleva a conclusiones apresuradas.
- En lapág.77 (idem anterior) se afirma: ***"Los valores detectados en todos los monitoreos, son superiores a los 400 mg/lit establecidos por la OMS (Organización Mundial de la Salud) para consumo humano".***
 - Es cierto que la OMS recomienda que el límite superior de sulfatos para consumo sea de 400 mg/lit. Lo que se omite mencionar en la Tesis es que el agua de la estación E1 (y el agua de toda la zona, desde Tampa Tampa hasta Amanao), no cumplía con esta condición aún antes de la explotación del yacimiento por parte de MAA, por el simple hecho de ser agua que atraviesa una zona altamente mineralizada. Ocurre la misma situación cuando en la Tesis, en forma tendenciosa y técnicamente inadmisibles, se compara el agua del circuito de flotación con el agua para consumo humano (verpág.73 y 74). Cabe preguntarse: ¿cual es el objeto de esta comparación? A todas luces alarmista y tendenciosa, ya que el agua industrial nada tiene que ver con el agua potable. Además de ello el área de Bajo de la Alumbrera, es anómala naturalmente, por la mineralización y aguas termales.

- Es muy interesante notar que las concentraciones naturales de la estación DS5 (villa de Vis Vis) varían entre 550 y 600 mg/lit, lo cual es aproximadamente de 60 a 100 mg/lit más altas que las concentraciones naturales de la estación DS1 o E1 (Los Baños) que se encuentra 5 km aguas arriba. Esto indica claramente que existe una fuente de sulfatos (probablemente fuente termal) entre los Baños y la Villa Vis Vis independiente de las operaciones de MAA.
- En la pág. 82 (Gráfico N° 13 estación E1) afirma: **"También se detecta aumento de caudal (Noviembre de 1998: 10.01 lt/seg a febrero de 2000: 30.18 lt/seg), es decir una 200 %. El aumento fue gradual"**.
 - En la Figura N° 47 se puede observar la tendencia del caudal de la estación E1 (DS1), la cual muestra las variaciones estacionales naturales a lo largo del tiempo. Además de esto, debe tenerse en cuenta que los meses que toma el autor de la Tesis para su comparación (Noviembre y Febrero) son absolutamente incomparables en este tipo de cuenca, ya que Noviembre corresponde al fin de la temporada seca (bajos caudales obviamente) y Febrero al pico de la temporada húmeda (altos caudales obviamente), de manera que estamos frente a otra comparación tendenciosa y técnicamente inadmisibile.
 - Se concluye que no existe un aumento de caudal en E1, es decir no existen aportes extras a ese curso además de los naturales.
- No se entrará en mayores detalles acerca de los gráficos presentados en los anexos II, III y IV de la Tesis, ya que mayoría contienen datos parciales (hasta el año 2000) y por lo tanto tendencias erróneas. Además, se notan contradicciones en algunos gráficos, como por ejemplo los datos del Gráfico N° 14 del Anexo I, en donde se presenta el SO₄ de la estación E1 en ug/lit, respecto del Gráfico N° 13 del Anexo III, en donde se presentan los mismos valores pero en mg/lit. Entendemos que se trata de un error de la figura N° 14, bastante grosero si se tiene en cuenta que se trata de una tesis de maestría.
- Pero no se puede dejar de comentar la manipulación y el manejo de los datos en algunos de los gráficos de la Tesis. Para ser más precisos, en la página 81 de la Tesis se hace referencia al gráfico 10, anexo III, página 188, señalando una coincidencia de tendencias en valores de SO₄ entre MW8 y E1, pero se descubre que para obtener la tendencia lineal creciente de E1, se utilizó el dato de Noviembre de 1998 de E2 para el dato de Noviembre de 1998 de E1 (Ver tablas N° 1, N° 2, N° 11 y N° 12, anexo III, páginas 179, 180, 189 y 190). Es decir que para mostrar la tendencia en el tiempo se "cambia" un dato de otra estación que obviamente conviene a la teoría de la Tesis ya que el valor real obtenido en los análisis de SO₄ para E1 en Noviembre de 1998 es elevado y no coincide con la tendencia "lineal" que desea señalar su teoría. Por otra parte, las tablas de análisis no coinciden con lo expresado en las tablas de los anexos.
En toda su Tesis señala que los valores anteriores a mayo de 1999 son valores naturales con lo cual no le resulta conveniente mostrar el valor de 631 mg/l obtenido en Noviembre de 1998 para la estación E1.

Figura N° 48

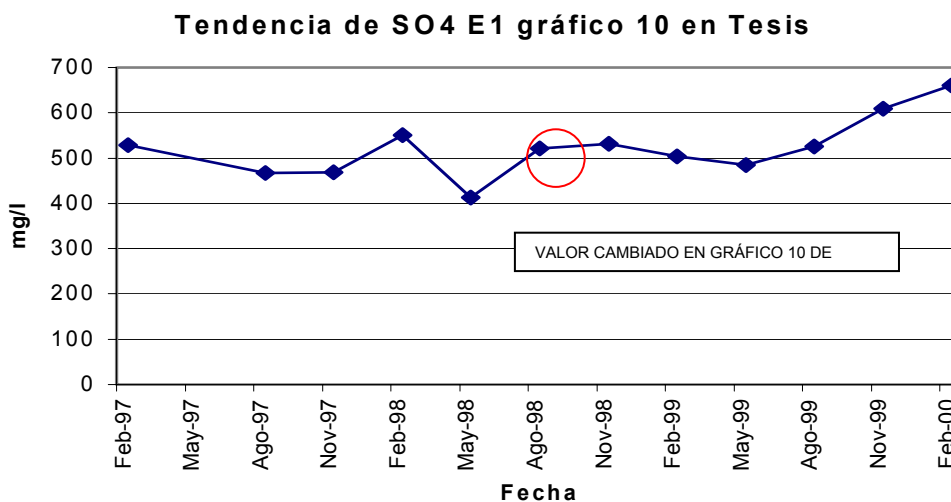
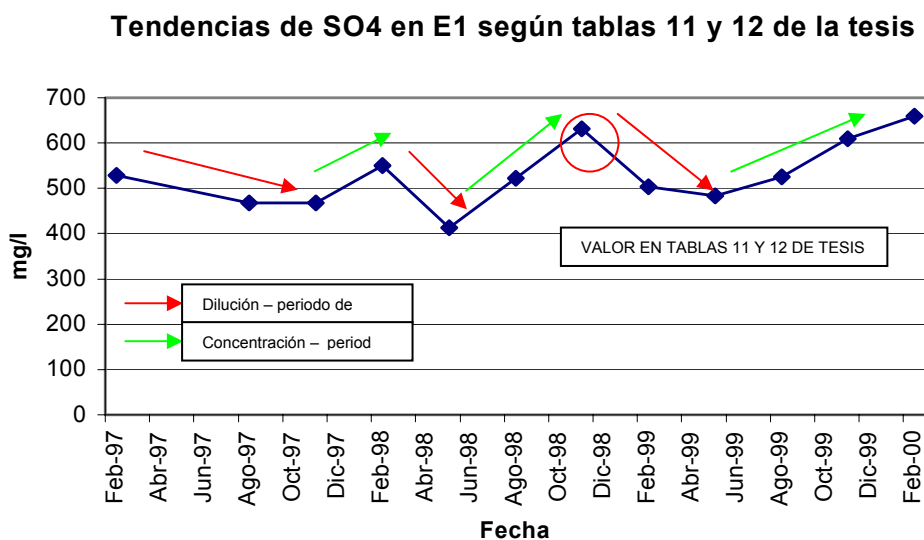


Figura N° 49



Este análisis de la información aportada por el autor de la Tesis **demuestra un manipuleo de la misma con el objeto de llegar a conclusiones preestablecidas**, ya que es evidencia de la intención de no mostrar la variación natural real (ya sea por periodos de lluvias o pulsos termales - tal como se muestra en La Figura N° 49 - y obviamente le quitan a sus argumentos toda credibilidad.

- En lapág.75 se afirma: **"Se pretende demostrar que a pesar de todas las precauciones tomadas para evitar las filtraciones no se pudo sellar las filtraciones a diferentes**

profundidades, por las cuales se produce la migración del contaminante DAM, y se incorpora al cauce del río Vis Vis" (Sic).

- Probablemente el autor desconoce que la mayor parte de las filtraciones ocurrieron cuando la pileta sobrenadante en el dique estuvo en contacto directo con el material aluvial sobre el cual está el depósito de colas o cuando el espesor de la capa de colas era muy fino. Se debe poner énfasis que las filtraciones hacia el sistema de retrobombeo se reducirán significativamente a medida que las colas aumenten su espesor y que la pileta sobrenadante se aleje del material aluvial. Además de este hecho, también debe recordarse que cuando cesen las operaciones y se retire toda el agua de la pileta sobrenadante, las filtraciones serán absolutamente despreciables (menos de 1 l/s para toda el área del depósito de colas).
- En lapág.92 (VII Discusión - Evaluación de los resultados de modelaciones y comparaciones con resultados obtenidos de monitoreos), el autor afirma: "Hasta el presente y a solo 7 años de la puesta en marcha del proyecto....podemos afirmar que la pluma contaminante se encuentra entre las estaciones de monitoreo E1 y E2, con niveles de sulfato de 717 mg/lit (último control del mes de Noviembre de 2002), es decir amásde 8 km del dique de colas y fuera del área de la mina..." (sic)
 - Esta afirmación es totalmente falsa, y se demuestra plenamente hasta con los escasos datos aportados en la tesis, donde se ve claramente que el sitio E2 no ha aumentado sus valores de sulfatomásallá de las variaciones naturales. Se demostró en esta revisión que el valor de sulfato de E1 correspondiente al último monitoreo realizado por la empresa al momento de presentar este informe (Abril 2003) fue de 577 mg/lit, es decir dentro de los valores base.
 - Debe notarse además, que el autor de la tesis debe haber incurrido en un **error involuntario** al citar como fecha del último monitoreo el mes de Noviembre de 2002, ya que el último dato que muestra de la estación E1 corresponde al mes de Febrero de 2000 y es de 616 mg/lit. El valor de 717 mg/lit corresponde (según la tesis) al sitio MW8 de Febrero de 2000 (ver Anexo III, gráficos 1 al 6, 9 y 10). Además de esto, es difícil entender el hecho de que la tesis esté fechada en Octubre de 2002 y contenga datos de Noviembre de 2002.

No tiene sentido hacer mayores comentarios sobre la sección "**VII - Discusión**", puesto que en dicha sección se analizan y comparan modelos predictivos totalmente desactualizados y fuera de uso. Lamentablemente, el autor no ha tenido en cuenta el modelo matemático realizado por la consultora AGE durante los años 2001 y 2002.

6. Comentarios sobre los contenidos de estroncio (Sr)

Para usar este elemento como rastreador, el ingeniero Nieva, parte de la base de que es un elemento incorporado al proceso por medio de la cal proveniente de la provincia de San Juan. Para ello aporta un análisis de la cal en la cual el valor de Sr es de 260 ppm (pag. 70 y 71).

En la Tesis existe una tabla de los elementos de mina, en la cual (a pesar que su autor afirme que es un elemento que no está descrito en la mineralogía) existe Estroncio con valores cercanos al doble del correspondiente a la cal. En la Tesis se omite mencionar este hecho (ver tabla 2, enpág.30, con valores de hasta 445 ppm)

El nivel de Estroncio en el agua del dique (TLW) según los datos aportados en la Tesis (Anexo I) para el período 1998 - 2000, oscila entre 2.1 y 3 ppm. Aguas abajo del dique los contenidos de Sr varían de una estación a otra y así como se menciona que en la estación E1 ha aumentado de 2.1 a 2.6 mg/lit (no se menciona que el valor base es de 2.4 mg/lit), en la estación E4 bajó de 1.2 a 0.7 mg/lit. El Ing. Nieva concluye, en base a **una única** muestra de cal analizada, que el aumento en el contenido de Sr se debería a la cal adicionada durante el procesamiento de mineral. Si así fuera, este aumento se vería reflejado en los tenores de Sr en el agua del embalse, los cuales deberían haber aumentado en forma similar. Sin embargo, como se mencionó anteriormente, los contenidos de Sr en el dique varían en una forma aleatoria, que tiene obvia relación con el tipo de roca tratado.

Se considera (www.webelements.com) que el contenido medio de Sr en las rocas de la corteza terrestre es de 360 ppm (360 000 ppb). Sin embargo, los valores citados pueden variar localmente por órdenes de magnitud.

Típicamente, el agua subterránea en condiciones naturales contiene menos de 10 mg/lit de Sr, pero se han observado niveles de hasta 50 mg/lit (Herman Bower, Groundwater hidrology, McGraw-Hill).

Análisis trimestrales de Sr realizados por MAA a lo largo del Vis Vis, incluyendo muestras del río Quebrada de las Burras (QLB) el cual es correctamente citado en la Tesis como un curso de agua de origen independiente de la cuenca del Vis Vis que tributa su caudal al río Vis Vis, nos indican que es un elemento presente en el agua natural de la zona del proyecto y que además posee variaciones naturales con la misma tendencia que la variación registrada en el sitio de monitoreo E1 citado por en la Tesis. (ver Figura N° 50, Sr en QLB)

En QLB después de un valor inicial en agosto de 2001 de 1,01mg/l se incremento naturalmente hasta el valor de 1.2 en Noviembre de 2002, señalando un incremento de 0.20mg/l, similar al observado por el Ing. Nieva en el sitio E1. Ver cuadro de la Tesis, anexo II, pág.176 (se supone que hay un error de unidades), el primer valor de Sr es de 240 (2,40mg/l) en Nov. '97 y el último valor es de 260 (2,60mg/l) en Mayo del '00. Variación similar a la observada por MAA en el sitio QLB.

Como seguramente su autor carecía de información, en la Tesis se omitió explicar que la zona aluvial aguas arriba del dique de colas (conocida como Tampa - Tampa) también contiene

cantidades similares de estroncio que las correspondiente a la cal (ver Anexo II Tampa Tampa).

Con todas estas evidencias aportadas, podemos afirmar que el Sr se encuentra naturalmente en el agua del río Vis Vis y que además sus variaciones son similares a la de los arroyos de cuencas independientes que le tributan su caudal, por lo tanto naturales.

Ante estas abrumadoras evidencias: **¿Cómo puede tomarse al elemento Estroncio como rastreador si está presente en los análisis mineralógicos, en el agua de una cuenca independiente (QLB) y en la zona aluvial del dique de colas?**

Con esto queda demostrado que el Sr es un elemento natural en el área de estudio y por lo tanto NO debe ser tomado como rastreador, lo que invalida la hipótesis de conexión por presencia de estroncio, presentada en la Tesis.

Con lo cual se concluye sobre este punto de la Tesis, que reitera el error de formular afirmaciones, careciendo de suficiente información, lo cual le quita todo rigor científico a su Tesis de maestría.

7. Comentarios sobre el Calcio (Ca)

Se afirma en la Tesis que el Ca tiene un comportamiento similar al Sr y al SO₄, es decir, según el Ing. Nieva aumenta constantemente, siendo un indicativo más de contaminación.

Es interesante aclarar en este punto cuáles son los valores base de Ca en las diferentes estaciones analizadas.

En la Tabla N° 4 podemos ver algunos valores tomados de análisis realizados antes del comienzo de la explotación minera:

Tabla N° 4: Valores de Ca (mg/lit)

Estación	03-94	09-95	09-96	04-97	05-97	
E1	124	92		133.6	122.1	
E2	102	97		100	125.5	
E3	103	90		96.4	86.7	
E4			210		105.4	

Estos datos fueron tomados de análisis de los laboratorios SGS Argentina S.A. (hasta el año '96) y Food Control (año '97).

Debe tenerse en cuenta que el valor promedio de Ca en la estación E1 (DS1) durante el año 2002 fue de 122 mg/lit. Si se compara este valor con los de la tabla arriba mostrados, se concluye que se encuentra dentro de las fluctuaciones normales de los valores base.

En las Figuras N° 51, 52 y 53 (Ca en MW7, MW8 y DS1) se puede observar la tendencia del Ca en las estaciones MW7, MW8 y E1 (DS1), las cuales muestran fluctuaciones naturales, manteniéndose dentro de los valores base mostrados en la tabla anterior.

Con estas evidencias queda demostrado que el Ca no ha aumentado por encima de los valores base en las estaciones fuera del sistema de retrobombeo, con lo cual las tendencias mostradas en la Tesis son erróneas.

Resumiendo, tomar el Ca como trazador ha sido otro error del autor de la Tesis, que quizá se debió a la falta de datos con que ha elaborado la misma.

Se debe notar además que en la descripción del figura N° 4 (Anexo IV de la tesis) el autor se refiere al análisis de una muestra tomada en Noviembre de 2002. Probablemente, esto se trate de un error ya que el último dato incluido en las tablas del Anexo I corresponden a Mayo 2001. Además, sería difícil que el autor haya incluido un dato de Noviembre de 2002, cuando la tesis está fechada en Octubre de 2002.

8. Comentarios sobre el Isótopo de Azufre (S₃₄)

En la Tesis se trata de demostrar, mediante la caracterización isotópica del S₃₄ una signatura similar entre una muestra de roca del murallón del dique de colas y el agua de las estaciones E1 y E2.

Se trata ello de otro error conceptual, ya que existe en la zona de influencia del proyecto buenas cantidades de azufre, documentados por información histórica de muestras de agua, por lo tanto es de esperar que se obtengan estos resultados en las muestras de agua.

Como consecuencia, se afirma que no significa absolutamente nada que la muestra BAE1 tenga la misma signatura que la muestra BAND.

Esto en parte es admitido por el Ing. Nieva ya que utiliza en la pág. 89 la expresión "muy probablemente...", con lo cual no expresa certeza.

En otro orden de cosas, existen serios errores de procedimientos (y contradicciones) que serán detallados a continuación:

Comentarios:

- En la pág. 87 se afirma: ***"La variación de los parámetros químicos detectados en el río VisVis, en especial el fuerte incremento producido en el mes de Julio de año 1999 y que se mantuvieron con la misma tendencia hasta mediados del 2001, logrando estabilizarse alrededor de los 780 mg/l. Este aumento y posterior estabilización no***

fue una sorpresa, ya que habíamos observado que todos los esfuerzos para captar las filtraciones no eran suficientes por cuanto el substrato presenta un sistema de fallas profundas y estas serían una vía de escurrimiento segura para canalizar los solubles de Dique de Colas a varios kilómetros río abajo".

- No se entiende de que parámetro se trata, solamente se hace referencia a un valor de 780 mg/lt.
 - A la luz de los resultados obtenidos durante los 6 años de operaciones, se concluye que los esfuerzos por captar las filtraciones han probado ser satisfactorios.
- En lapág.87 (6.5.1 Tritio) se afirma: ***El tritio ^3H es un isótopo radiactivo del hidrógeno y como tal, forma parte íntegra de la molécula del agua, constituyendo otro trazador ideal del agua ya que también es conservativo en la mayoría de las condiciones. Además de permitir estudiar el origen de los diferentes cuerpos de agua, su desintegración radiactiva permite añadir una dimensión temporal, constituyendo, junto al carbono-14 una de las herramientas básicas de la hidrología isotópica. Puesto que no existen interacciones geoquímicas con los materiales del acuífero, su presencia es un indicador de aguas recientes. La similitud de contenidos de tritio entre el embalse y la filtración suele indicar que estamos tratando con las mismas aguas.***
 - No se pudo encontrar en la Tesis datos con valores de tritio de las aguas en cuestión. No existen evidencias en su Tesis para afirmar que ***"La similitud de contenidos de tritio entre el embalse y la filtración suele indicar que estamos tratando con las mismas aguas"***. Este comentario carece de fundamento y por lo tanto de validez.
 - En lapág.89 (6.5.2 Azufre) se afirma: ***"La primera columna indica el nombre de la muestra con el que ingresa al Laboratorio, la segunda el isótopo analizado, la tercera su caracterización y la última puntos comparados. La razón del envío de una muestra del muro del dique es la siguiente: todo el material acumulado para levantar el muro de cierre del vaso, proviene del área de mina activa, es decir que este material ya fue seleccionado como estéril (sin valor económico) y que en gran medida se deposita en las escombreras y se construye el muro, mientras que los que tiene valor económico pasa a la planta de beneficio y los relaves se vierte al Dique de Colas. Es por ello la importancia de esta muestra (BAMD1); por otra parte los precipitados que corresponden a la muestra (BAE1), corresponde a los puntos de monitoreos fuera del área de concesión minera, son muestras superficiales sobre el río VisVis y alejadas más de 5 Km., son precipitados de las muestras tomadas en los puntos E1 y E2 correspondiente a Los Baños y VisVis respectivamente. (Ver Imagen Pag.90)" (sic).***
 - El Ing. Nieva toma UNA SOLA MUESTRA de roca del murallón del dique para hacer la caracterización y según se desprende de la lectura del párrafo transcrito, considera que esa UNICA MUESTRA es representativa de TODO el material estéril del yacimiento. Ello constituye de una aproximación grosera que no tiene el más mínimo fundamento científico.

- Cabe preguntarse sobre la validez de la muestra llamada BAE1, ya que aparentemente se trata de una combinación de dos sitios diferentes (E1 y E2) ¿Cómo se hizo la mezcla? ¿Tiene alguna representatividad?
- A su vez, esta consideración de representatividad de la UNICA MUESTRA se contradice totalmente con afirmaciones hechas en la Tesis, como las siguientes:
"La química del agua de drenaje proveniente de las escombreras dependerá tanto de la mineralogía de la roca en la fuente del DAR, como también de las reacciones con las diferentes rocas a lo largo de la ruta del flujo. Dado que toda pila de rocas o escombreras puede estar compuesta por una mezcla de diferentes tipos de roca, en consecuencia puede surgir agua de químicas muy diferentes de cada una de las diferentes áreas de la misma escombrera" (pag. 40 4.3 Escombreras).
O la afirmación depág.41-42: ***"Puede surgir drenaje de agua con química variada que dependerá de la calidad geoquímica de la escombrera, como resultado de la heterogeneidad de las rocas acumuladas"***.
O la afirmación depág.42 cuyo título es justamente- 4.6 Heterogeneidad de la Distribución de Sulfuros / Alcalinidad: ***"Los estériles pueden provenir de una variedad de sectores de la mina con contenidos de sulfuros ampliamente variables. La mineralogía de la roca, la geoquímica y las propiedades físicas difieren en si misma y de una escombrera a otra, con una distribución que depende del tamaño de las partículas, de la ocurrencia mineralógica y del método de construcción de las escombreras"***.

Resumiendo, en varias partes de la Tesis el autor afirma acerca de la heterogeneidad de los estériles o del drenaje de química variada. Sin embargo, cuando quiere demostrar la probable conectividad usando el isótopo de azufre UNA SOLA muestra del murallón del dique le resulta representativa de la totalidad de las escombreras, algo que a todas luces, es científicamente inaceptable.

9. Análisis de las conclusiones de la Tesis

A continuación se transcriben las conclusiones de la Tesis con los respectivos comentarios que los mismos generan:

- El aumento de sulfato es simplemente el primer indicador del posible transporte de contaminantes, desde las operaciones de minas hacia aguas abajo.
 - **No existen indicios de contaminación por sulfatos. Quedó demostrado que el sulfato se ha mantenido dentro de los valores naturales en estaciones fuera de infraestructura minera.**
- Debido a la mineralogía del yacimiento se puede esperar la formación de aguas ácidas a largo plazo, el sulfato es el primer indicador de estos procesos geoquímicos de la movilización hidrológica del sistema.

- El sulfato presente de manera natural en las aguas del yacimiento, puede tener origen en la disolución del yeso (SO_4Ca) omnipresente como relleno de fracturas y diaclasas. El yeso se caracteriza por una alta solubilidad aun a temperatura ambiente. Por lo tanto no es correcto afirmar que la presencia de sulfato sea el primer indicador de "estos procesos geoquímicos" (formación de aguas ácidas).
- El análisis de los estudios efectuados y el resultado obtenido por esta investigación, han mostrado que ninguna de las modelaciones efectuadas por diferentes consultoras responden ni se aproximan a la realidad.
 - **El autor de la Tesis desconoce el modelo de agua subterránea efectuado por la consultora AGE entre los años 2001 y 2002 del cual surge que el sistema de retrobombeo ha sido efectivo para contener la pluma de drenaje y que con acciones concretas tales como la perforación de tres pozos adicionales dicha pluma seguirá contenida dentro de la infraestructura minera a perpetuidad.**
- Ninguna de las modelaciones tuvo en cuenta un aspecto integral del área de mina (Open Pit, Escombreras y Dique de Colas)
 - **El autor desconoce información, ya que el modelo de AGE es completamente integral.**
- El sistema de retrobombeo no cumplió efectivamente para lo que había sido previsto, en virtud de que por diferentes motivos, nunca llegó a operar en un 75 % del diseño original.
 - **El sistema de retrobombeo cumple eficientemente su tarea. Los resultados de los monitoreos compilados en los gráficos que se adjuntan demuestran esta afirmación.**
- El efecto contaminante ya se hace sentir con el aumento constante del sulfato, en la zona de Los Baños, contrariamente a los resultados dados por las distintas modelaciones predictivas llevadas a cabo.
 - **No existe aumento de sulfato en la zona de los Baños, el cual se mantiene dentro del rango de condiciones prístinas. Nuevamente y respecto a las modelaciones, no se incluyó la realizada por AGE.**
- Estas apariciones de filtraciones dentro y fuera del área de mina, muestran valores de sulfato preocupantes. (715 mg/l, setiembre 2002, y la OMS permite 400 mg/l.)
 - **La tendencia de SO_4 en E1 (DS1) es equivocada. La comparación con los estándares de la OMS no tiene sentido. Se trata de una comparación tendenciosa y malintencionada. Además de esto, el sistema termal de los Baños (E1) puede tener su origen en aguas termales de circulación profunda, influenciada además por focos termales remanentes de la actividad volcánica. Hay que recordar que toda el área pertenece al sistema volcánico de Farallón Negro y que justamente los sistemas termales presentan pulsos de aguas con mayor mineralización, lo que origina las variaciones en las concentraciones**
- Los valores del ión Sulfato, analizados desde el Dique de Colas (Sulfato 1.875 mg/l) y por la quebrada del río VisVis (Sulfato Estación E1 715 mg/l), tienen un correlato temporal y espacial con el emprendimiento Minero del Bajo de la Alumbrera.
 - **Quedó demostrado que esta afirmación es errónea.**

- Los valores de Sulfato decrecen desde la fuente (Dique de Colas, 1.875 mg/l) hacia el sur (río abajo, E1 717 mg/l el 6 de Noviembre de 2002), observando un ligero control de la pluma contaminante por el sistema de retrobombeo incorporado posteriormente al proyecto original.
 - **Existe un control MUY EFICIENTE de la pluma de drenaje.**
- Los niveles de pH medidos en toda el área de mina y fuera de ella que varia entre 7 y 8, son controlados por la incorporación de Cal a la planta de tratamiento para flotar el cobre que debe estar en 11.
 - **Los valores de pH del agua de la cuenca no son controlados por la adición de cal en la planta de tratamiento. Como ejemplo se debe mencionar que el valor de pH de Quebrada de las Burras (QLB) se mantiene entre 7 y 8, sin embargo, esta cuenca es independiente de cualquier influencia de la operación, es decir de la adición de cal.**
- El calcio, que también es detectado en las aguas del río VisVis con valores crecientes (Estación E1, 92 mg/l valor de base a 143 mg/l el 6 de Noviembre de 2002), acompañando el comportamiento del ión sulfato, también muestra una correspondencia temporal y espacial con el emprendimiento minero.
 - **Quedó demostrado que el Ca se mantiene dentro de los valores naturales. Las tendencias mostradas en la Tesis son erróneas.**
- El estroncio detectado en las aguas del río VisVis que aumenta su concentración (Estación E1, 1,9 mg/l el 24 de Agosto de 1997 a 2,6 mg/l el 6 de Noviembre de 2002), también acompaña en su comportamiento al ión Sulfato y Calcio, demostrando que el mismo se encuentra contenido en la cal que se incorpora al proceso (Ver resultados de análisis de laboratorio comparativo entre la empresa proveedora, cal que ingresa al proceso y valores detectado en el río VisVis).
 - **Quedó demostrado el error de tomar al estroncio como trazador por su presencia natural en los diferentes lugares de la zona de influencia del proyecto.**
- La caracterización isotópica del Azufre, (BAND1 8,2 ‰ $\square^{34}\text{S}_{\text{SO}_4}$) del área de mina se corresponde con los precipitados del ión sulfato de las estaciones E1 y E2. (BAE1 8,1 ‰ $\square^{34}\text{S}_{(\text{SO}_4)}$).
 - **El azufre (y su isótopo) provienen de la disolución del yeso (SO_4Ca) que llena fracturas en la roca, tiene muy alta solubilidad y consecuentemente es obvio que tenga la misma relación isotópica, ya que en toda el área del complejo volcánico Farallón Negro, el SO_4Ca (y también el CO_3Ca) están omnipresentes como relleno de fracturas, por lo tanto toda el área va a tener la misma signatura isotrópica tanto de muestra sólida como de precipitado de H_2O . Además de ello, quedó demostrada la falta de representatividad de una única muestra tomada.**
- Los estudios radiométricos para determinar estructuras, identifican un sistema de fallas sobre el emplazamiento del dique de colas, todas confluyen hacia la quebrada del río VisVis, algunas son de carácter regional, en especial la que se pierde hacia el campo de

Andalgalá (Ver imagen Satelital), son profundas y representan una vía de escurrimiento adecuado para la salida de los solubles del Dique de Colas.

- **Figura en los reportes de impacto ambiental realizados por MAA.**
- Existe una clara conexión hidráulica con el río VisVis. Y será ésta la vía de escurrimiento de los solubles de área de mina.
 - **La conexión hidráulica siempre existió, es por ello que existe el sistema de retrobombeo.**
- El estudio hidrogeológico de la cuenca Vis-Vis, en combinación con los datos geoquímicos (e.g. Sr) como isotópicos ($\delta^{34}\text{S}_{(\text{SO}_4)}$) indican que el aumento del sulfato en el agua, aguas abajo del dique de colas esta asociado con la actividad minera (disolución de sulfatos primarios como yeso, anhidrita y oxidación de sulfuros).
 - **La respuesta a esta aseveración es una conjunción de todas las observaciones realizadas.**

10. Comentarios y Conclusiones

Los comentarios finales y conclusiones sobre la Tesis son los siguientes:

- ❖ Su estructura, claridad e hilo conductivo son pobres, lo cual dificulta su comprensión.
- ❖ No tiene un objetivo claro.
- ❖ Carece de objetividad y discurre, sin fundamento, sobre cuestiones ajenas al objeto de la misma.
- ❖ Omite información que le impide evaluar adecuadamente/objetivamente el enorme impacto positivo del proyecto en el ámbito social
- ❖ Arriba a conclusiones definitivas usando información parcial y manipulando datos, lo cual resulta inadmisibile desde el punto de vista científico.
- ❖ Arriba a conclusiones erróneas.
- ❖ Es tendenciosa, ya que usa datos parciales en favor de las conclusiones, desestimando datos que no "encajan" en las mismas.
- ❖ Es sensacionalista, ya que menciona accidentes de dique de colas y compara aguas de proceso con estándares de agua potable.
- ❖ Es contradictoria en varios pasajes.
- ❖ Lamentablemente, no puede ser siquiera considerada como un aporte a ser tenido en cuenta como referencia.