



**Análisis del Estudio de Impacto Ambiental para el
Proyecto Minero Cerro Blanco, Asunción Mita, Jutiapa,
Guatemala**

Elaborado por

Dina L. López

Profesora de Geoquímica e Hidrogeología
Departamento de Ciencias Geológicas
Ohio University
Athens, Ohio, USA

**Con la colaboración de:
Edgardo Mira y Nelly Susana Rivera**

San Salvador, Abril 11, 2010

Antecedentes

En Octubre del 2009, la ONG de El Salvador llamada CEICOM me solicitó colaboración en la evaluación del estudio de impacto ambiental de la mina de oro Cerro Blanco ubicada en Asunción Mita, Jutiapa, Guatemala, a solo 15 km de la frontera con El Salvador (Figura 1). La razón de la necesidad de estudiar este estudio de impacto ambiental es debido a que las aguas residuales de la explotación de esta mina serán descargadas en el río Ostúa, que en su trayectoria final es compartido con El Salvador y posteriormente desemboca en el Lago Guija, que también es compartido con Guatemala. Existe la preocupación de que la posible contaminación de agua generada por la mina afectaría las aguas limítrofes del río Ostúa y el Lago Guija.

La firma Entre Mares de Guatemala, S.A., ha iniciado el proceso de explotación de la mina Cerro Blanco ubicada en el municipio de Asunción Mita, Departamento de Jutiapa, Guatemala y a 5 kilómetros hacia el Este de la ciudad de Asunción Mita. Algunas características del proyecto se presentan a continuación en la Tabla 1.

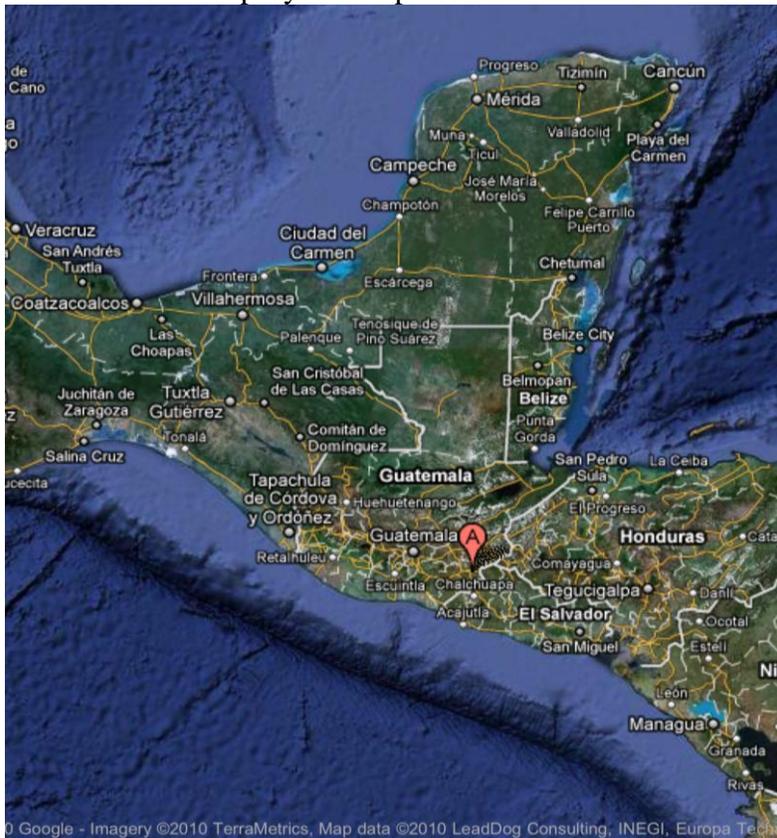


Figura 1. Localización de la mina Cerro Blanco en Guatemala (A) (Google, tomada el 26 de Febrero, 2010).

Tabla 1. Características del proyecto minero Cerro Blanco en Asunción Mita, Guatemala (Entremares de Guatemala, 2007).

Característica	Valor
Dimensión	235,452 m ² o 23.5 hectareas
Tipo de mina	Subterránea
Tipo de instalaciones	Mina subterránea y planta de proceso mineral
Elevación de las rampas de entrada (N y S)	500 msnm
Elevación inferior de la zona a explotar	250 msnm
Temperaturas esperadas	De 500 a 400 msnm = hasta 70° C De 400 a 250 msnm = mas de 80° C
Producción esperada	1,579,959 onzas de oro y 4,486,632 onzas de plata
Proceso de separación del oro y plata	Lixiviación con cianuro
Proceso de detoxificación de cianuro	Cyplus CombinOx® (oxidación con ácido peroxymonosulfúrico y metabisulfito de sodio)
Flujo de agua para el procesamiento del mineral	108 gpm (2 barriles por minuto o 120 barriles por hora)
Flujo de agua geotérmica bombeada para desaguar la mina	De 500 a 400 msnm = 750 gpm (14 barriles por minuto) a 70° C De 400 a 250 msnm = 3750 gpm (68 barriles por minuto) a mas de 80° C
Método para enfriar el agua geotérmica	Sólo canales de enfriamiento de 500 a 400 msnm. Torre de enfriamiento y canales de 400 a 250 msnm
Temperatura final esperada del agua enfriada antes de entrar al Río Ostúa	35° C, ó $\pm 7^{\circ}$ C la temperatura del río.
Contaminantes reportados en el agua geotérmica	Arsénico
Método para remover el arsénico	Tratamiento del agua enfriada con cal para precipitar arseniato de calcio.
Temperatura de trabajo (ambiental) en el interior de la mina después de desaguarla y ventilarla	No se reporta

En este informe se analizarán únicamente los aspectos físicos y químicos del reporte de impacto ambiental y no se analizará en detalle la parte biológica por estar fuera del área de experiencia de la autora. Se ha dividido el informe en las siguientes secciones: impacto en el agua subterránea y superficial, el sistema geotérmico y la explotación minera, generación de drenaje ácido, impacto en el Río Ostúa y lago de Güija, y finalmente, recomendaciones.

Impacto en el agua subterránea y superficial

a) **Agua Subterránea.** Como se indica en la Tabla 1, la empresa minera pretende explotar una mina subterránea que deberá desaguar mediante pozos perforados alrededor de la mina y que extraerán en total diferentes cantidades de agua durante el tiempo de operación de la mina, comenzando con 750 gpm (14 barriles de 55 galones por minuto) durante la primera fase que se trabajará a una elevación comprendida entre 500 a 400 msnm, y luego con 3750 gpm (68 barriles por minuto) durante la segunda fase que se trabajará a una elevación comprendida entre 400 a 250 msnm y que corresponde a la mayor parte del tiempo de operación de la mina. Cerca del área de la mina se encuentran ubicados varios manantiales que proveen agua para diferentes usos a las comunidades de la zona, como se ilustra en la Tabla 8.39 y Figura 8.27 del tomo I del reporte (Entremares de Guatemala, 2007). Los autores del reporte argumentan que no habrá ningún impacto en el agua subterránea y en el aprovisionamiento de agua a las comunidades cercanas. Sin embargo, esto no está técnica y científicamente comprobado en el reporte por las siguientes razones:

- 1) No se ha definido claramente cual es la sub-cuenca de agua subterránea en la que está comprendido el proyecto, excepto por el hecho de que se encuentra ubicado en la cuenca del Lago Güija con más de 2000 km² de área. Es claro que la sub-cuenca subterránea que alimentaría el agua extraída por los pozos no tiene esas grandes dimensiones. Los autores comparan la cantidad de agua que se extraerá con la recarga que recibe la cuenca total del Río Ostúa, pero esto no es adecuado porque no sería la cuenca total del río la afectada sino el área más cercana y comprendida dentro de la sub-cuenca.
- 2) No se han definido claramente las condiciones de frontera de la sub-cuenca ni se ha elaborado un mapa de tabla de agua, ni tampoco se ha considerado la hidrostratigrafía de la zona. En otras palabras, no se ha elaborado un modelo físico hidrogeológico del área, a pesar de que se cuenta con pozos y manantiales en la región. Esto es una condición indispensable para cualquier estudio hidrogeológico tal como se plantea en múltiples libros de texto y literatura en hidrogeología (e.g. Freeze y Cherry, 1979; Anderson y Woessner, 1992).
- 3) Ni siquiera se menciona que el sistema hidrogeológico bajo consideración no es un medio poroso sino que fracturado, tal como se evidencia en el esquema de fallas y fracturas de la zona de la mina en los perfiles geológicos de las Figuras 8.6 y 8.7 del reporte de evaluación ambiental (Entremares de Guatemala, 2007). Siendo un medio fracturado los procedimientos de modelado y cálculos efectuados asumiendo un medio poroso dan lugar a error o al menos a gran incerteza.
- 4) En el informe se han presentado “cálculos” y “modelos” para estimar el nivel de abatimiento en los dos bloques (Norte y Sur) de la mina y el radio de influencia o cono de depresión del “gran pozo” generado con la extracción del agua de la mina. Se concluye que habrá un radio de influencia de solo 325 m en el bloque Sur, y de

250 m en el bloque Norte (Entremares de Guatemala, 2007). En este modelado (Figura 12.6 del reporte) no se ha especificado lo siguiente:

- i) El modelo físico hidrogeológico considerado: Recarga al acuífero, condiciones de frontera, parámetros de las rocas (permeabilidad, densidad, coeficiente de almacenamiento, etc.), diferentes unidades rocosas consideradas, etc.
- ii) Si se ha realizado el modelo considerando condiciones estacionarias o con condiciones transientes.
- iii) ¿Cuál fue el caudal modelado, 750 gpm ó 3750 gpm?
- iv) No se ha modelado el flujo de los manantiales y su evolución con el tiempo, para esto se debería haber definido lo mencionado en el literal i y modelado un área mas grande con condiciones de frontera y parámetros adecuados.
- v) No se especifica cuales serían las variaciones en los gradientes de presión o cabeza hidráulica en las zonas de los manantiales y como evolucionarían con el tiempo. Son esas variaciones de presión las que determinan cual será el flujo de agua que podría estar saliendo de los manantiales o accesible a los pozos de la región.

Todo parece indicar que se han realizado cálculos y modelado asumiendo un **medio poroso semi-infinito y una topografía plana**, pero los otros parámetros se desconocen. En todo caso, las simulaciones efectuadas son inadecuadas para predecir el impacto en los manantiales.

- 5) Los autores definen un área de influencia de alrededor de 6.5 km² (ver por ejemplo la Figura 8.26 en el reporte, Entremares de Guatemala, 2007)). Considerando los datos mencionados por los autores como son:

Area del valle del Río Ostúa = 60 km²

Precipitación = 1250 mm/año

Recarga acuífero = 7.5 millones m³/ año, esto para toda la cuenca del río Ostúa

Recarga sólo en la región de influencia (los 6.5 km² mencionados)= 812,500 m³/año

Agua geotérmica extraída = 3750 gpm = 307,969 m³/año

Entonces, la recarga en el área de influencia es de 812,500 m³/año, lo que significa que el agua que se extraería de la mina representa el 37.9% de la recarga en el área de influencia. Si esto se prolonga por 12-15 años, es difícil aceptar el argumento de que no habrá impacto en los manantiales cercanos a la mina. El cono de depresión producido por la mina a través de los años produciría variaciones de presión en los acuíferos que podrían impactar el flujo de agua saliendo de los manantiales, o el nivel de pozos de captación de agua de la zona para uso doméstico y agrícola.

La necesidad de un estudio hidrogeológico mas completo es incluso un tema de seguridad para la compañía minera. Cuando se explota un sistema geotérmico se genera un cono de depresión que puede producir un gradiente de presión que cambie el flujo de agua subterránea hacia la zona desaguada, si ese flujo de agua es frío y la roca a la que se introduce esta caliente, la repentina adición de calor al volumen de agua fría puede ocasionar una evaporación repentina, un incremento de la presión por los gases y una subsecuente explosión, tal como ha ocurrido en otras partes del mundo, por ejemplo en el Agua Shuca en el Campo Geotérmico de Ahuachapán en El Salvador. Es necesario tener un

modelo mejor elaborado del reservorio geotérmico, la zona mineralizada, y los acuíferos circundantes para tomar las medidas necesarias y evitar ese tipo de fenómeno. Con la información presentada en el reporte, no se puede saber cual es la relación del acuífero caliente con respecto a los otros acuíferos en la zona. Por ejemplo, cuantos acuíferos existen en la zona? Están estos acuíferos en comunicación o aislados?

b) Aguas superficiales. El problema fundamental con respecto a las aguas superficiales radica en el hecho de descargar agua geotérmica en el Río Ostúa. En el reporte se menciona que el agua será descargada a una temperatura de 35° C, con mas o menos 7° C de diferencia con respecto al agua que lleva el río. La composición química de las aguas de los pozos perforados (MW1.1, MW2.2, MW2.1, y MW3.1) refleja concentraciones altas de arsénico, así como boro y fluor. Estos tres elementos son característicos de sistemas geotermales junto con el litio (e.g. Welch, 1988; López et al., 2009). Este último elemento no se ha analizado y no sabemos si se encuentra en concentraciones altas en el agua termal. En el reporte se propone la remediación del agua usando cal para precipitar arseniato de calcio. No se reporta la concentración de boro, fluor y litio en el agua resultante después de proceso de remediación. Como es conocido ampliamente, el incremento de temperatura en el agua produce una disminución del oxígeno disuelto en el agua, por lo que la contaminación térmica es uno de los factores de contaminación mas dañinos para la vida acuática produciendo una disminución de la diversidad, alteraciones en las relaciones depredador-presa, alteraciones en los ciclos de reproducción, intensificando el efecto de contaminantes en los organismos acuáticos debido al incremento de la permeabilidad a los contaminantes en las células, y sobre todo formando un área que impide la migración de peces en ambas direcciones del río (Schmitz, 1996). Aunque el caudal del río Ostúa sea lo suficientemente grande para tener solo un incremento de temperatura final de unas décimas de grado (asumiendo que realmente se logra bajar la temperatura de la descarga de 80 a 35°C), el impacto en el punto de mezclado será grande porque el mezclado no es instantáneo y se formará un tapón de agua de temperatura mas alta que actuará como una barrera para la migración de especies acuáticas y afectando la diversidad y población en el río Ostúa.

En el reporte, los autores presentan cálculos en los que se trata de demostrar que el incremento de temperatura en el Río Ostúa será de unas pocas décimas de grado. Sin embargo, también aquí existen varios problemas:

- i) No es claro si ellos van a construir un canal para llevar el agua al río o si usarán una de las quebradas de invierno para ese propósito, por ejemplo la Quebrada Salinas. No se han presentado las dimensiones transversales del canal, sólo su longitud de 3.4 km.
- ii) No se han presentado los cálculos que demuestren, que cuando se extraigan 750 gpm, la circulación en el canal será suficiente para enfriar el agua, considerando las condiciones climáticas de la región, el tiempo de residencia del agua en el canal, y las variaciones estacionales (precipitación, escorrentía superficial, etc.). Estos son cálculos que se hacen fácilmente usando principios descritos en la literatura, por ejemplo en Fetter (2001).

- iii) No se han presentado las especificaciones y el diseño de la torre de enfriamiento que sería capaz de enfriar los 3750 gpm de agua caliente que se extraerán en la segunda fase de la explotación. También estos son cálculos que se pueden presentar y que harían mas creíble el reporte.
- iv) No se dice nada sobre el problema del boro y el fluor, y probablemente el litio si existe en la solución.

El sistema geotérmico y la explotación minera

El problema más serio que presenta este reporte de evaluación de impacto ambiental es el hecho de que no establece como se generarán las condiciones seguras para que las personas que ingresen en la mina puedan trabajar en forma saludable y segura. Existen varios puntos que no se han considerado:

- 1) En un sistema geotérmico, además de agua caliente, existen gases diluidos como el dióxido de carbono, el sulfuro de hidrógeno, el ácido clorhídrico, ácido fluorhídrico, metano y otros (e.g. Giggenbach, 1988) que se liberan del agua caliente y que representan un problema serio. La alta alcalinidad (mas de 500 mg/l en algunos pozos) sugiere que existe una concentración alta de dióxido de carbono. Al bajar la presión en el acuífero, **debido a la extracción de agua, el proceso de degasificación se intensifica** (tal como se observa en sistemas hidrotermales en explotación para la generación de energía eléctrica) **y se esperaría que el contenido de gases geotermiales en la mina se incremente con el tiempo.** El reporte ignora completamente la presencia de esos gases y su posible evolución con la explotación. Tampoco menciona medidas de seguridad con respecto a este punto. En el pasado se han presentado tragedias en las que la alta concentración de dióxido de carbono en el interior de la tierra ha ocasionado la muerte de personas, por ejemplo seis turistas que perecieron en la isla de Tenerife en Febrero del 2007 al penetrar en una galería (túnel para extraer agua) en la que se había acumulado dióxido de carbono.
- 2) En un sistema geotermal, las rocas y el agua están en equilibrio térmico (e.g López y Smith, 1995). Si el agua esta a 80° C, **también la roca está a 80° C.** Las rocas tienen un conductividad y difusividad térmica bastante baja, por lo que tienden a retener el calor y a no transferirlo fácilmente. Si se extrae el agua caliente de la mina, las rocas continuarán teniendo una temperatura alta por mucho tiempo. En el reporte no se especifica como se hará para producir una temperatura adecuada para trabajar en el interior de la mina. Sólo se menciona un sistema de ventilación, pero no se presentan ni cálculos, ni modelos que demuestren que la temperatura en el interior de la mina se logrará reducir a un nivel seguro para los trabajadores.
- 3) En los campos geotérmicos de El Salvador y Guatemala en los que la autora de este informe ha trabajado, **se han encontrado niveles de radón altos**, como se reporta en múltiples publicaciones (e.g. Magaña et al., 2006; López et al., 2004; López et al., 2009), especialmente en Guatemala (López et al., 2009). El radón es un gas radioactivo que se produce en la cadena de desintegración del uranio y el torio. Siendo un gas, tiene alta movilidad y se difunden fácilmente a través de la corteza

terrestre. Cuando llega a la superficie de la tierra, fluye hacia la atmósfera y se diluye en el aire. Usualmente no representa un peligro grande si la persona se encuentra en un área altamente ventilada. Sin embargo, se puede acumular en lugares cerrados como los sótanos. La desintegración de radón libera partículas alfa que producen muchos efectos dañinos a la salud, incluyendo cáncer de pulmón. El radón ocupa el segundo lugar como responsable del cáncer de pulmón después del tabaco. En el reporte de evaluación del impacto ambiental de la mina Cerro Blanco, no se ha determinado el contenido de radón en el sistema geotermal. Si este sistema se comporta como todos los otros sistemas geotérmicos de El Salvador y Guatemala, debería tener concentraciones altas de radón. Una persona en el interior de la mina, estaría sujeta a emanaciones de radón viniendo de todas direcciones ya que estaría rodeada de rocas que son las que emiten el gas.

De lo expuesto en los tres numerales anteriores se ve claramente que una persona trabajando en el interior de la mina Cerro Blanco podría estar expuesta **a altas temperaturas, gases tóxicos incluyendo un gas radioactivo como el radón, y posiblemente vapor de agua caliente.** Si ocurren fugas de agua inesperadas en la mina, no será agua fría sino agua a elevada temperatura, lo que constituye un peligro aún mayor.

Generación de drenaje ácido

La compañía minera ha realizado ensayos de conteo ácido-base en un total de 65 muestras de mineral (34) y de la roca estéril (31) que se encuentra en la zona. Estos ensayos permite determinar si existe suficiente alcalinidad en la rocas para compensar la generación de ácido que es ocasionada por la oxidación de los sulfuros, especialmente la pirita. Estas son pruebas “estáticas” ya que no consideran la cinética de las reacciones químicas, o sea que tan rápido ocurre la generación de ácido comparado con la velocidad de las reacciones de neutralización. De las muestras analizadas 25 dieron un potencial de neutralización neto (NNP) negativo (producción de ácido (AGP) mayor que la alcalinidad para neutralizar el drenaje ácido (ANP)). De estas 25, 10 fueron de mineral y 15 de roca estéril.

La interpretación de los resultados por parte de los autores del reporte es como sigue: 27 muestras se considera que caen en la zona de incertidumbre, 2 están bajo el límite de detección, 27 se consideran no-generadoras de ácido, y sólo 9 se consideran generadoras de ácido. La razón que se argumenta para esta clasificación es que 16 rocas caen en el rango de -20 a 0 en NNP, 11 tienen un potencial neto de neutralización entre 0-20. Estos dos grupos se considera que son inciertos por estar muy cerca del zero. Sin embargo, como no se han hecho pruebas cinéticas para determinar el potencial de neutralización, esta clasificación arbitraria no es adecuada.

Los autores también señalan que existe otra clasificación para los términos generadora, no generadora, e incierta en términos del potencial neto de neutralización. Si la razón de potencial de generación de alcalinidad (ANP) dividido por el potencial de generación de ácido (AGP) tiene los siguientes valores, entonces:

$ANP/AGP < 1/1$ la roca generará ácido

$1/1 < ANP/AGP < 3/1$ es incierto si habrá o no generación de ácido

$ANP/AGP > 3/1$ no habrá generación de ácido

Basados en esta última clasificación, 25 muestras se pueden clasificar como potenciales generadoras de ácido, 7 muestras serían inciertas, 31 muestras no generarían ácido.

En el análisis de la composición química de las rocas de la mina y adyacente a ella, se encuentra que 12 de las 42 muestras analizadas presentan concentraciones de calcio, de ellas 9 son de mineral y sólo 3 de material estéril. Esto justifica porque hay mayor proporción de rocas que presentan mayor potencial de neutralizar el ácido en las muestras de mineral que en las muestras de estéril.

En el estudio se presentan planes para manejar los desperdicios de roca estéril y las colas. Las colas secas se mezclarán con cemento y se usarán para rellenar de nuevo la mina. La roca estéril se dejará en la superficie, se mezclará con material alcalino y finalmente se cubrirá con suelo y plantas. **Esto significa que el material más alcalino se dejará en el subsuelo y el más ácido y propenso a la generación de ácido se dejará en la superficie.** Precipitación, y transporte de agua y aire dentro de las pilas de roca tiene el potencial de producir drenaje ácido. Aunque se cubra con una cubierta de baja permeabilidad, la experiencia de muchas otras regiones del mundo sugiere que esas estructuras no son permanentes y que tarde o temprano la erosión del agua circulando en la superficie crea los canales para la introducción de aire y agua al interior de la pila, con la consecuente generación de ácido.

Se han realizado pruebas de lixiviación en 17 muestras de roca, pero el tiempo ha sido relativamente corto (96 horas), lo que pone en duda los resultados presentados. Sin embargo, al menos 7 muestras presentaron concentraciones de arsénico mayores de 10 ppb. Aunque se agregue suficiente alcalinidad a la pilas de roca a medida que se construye, el agua podría remediarse pero siempre tendríamos agua con arsénico porque este es soluble a pH alto y bajo, solo cambia la forma de la especie disuelta (Sracek et al., 2004). También tendríamos otros contaminantes y la formación de un sedimento tóxico. Este sedimento se transportaría al río y dañaría el sistema acuático cubriendo la graba y destruyendo el ambiente para los organismos acuáticos.

Impacto en el Río Ostúa y lago Güija

Para los intereses ambientales de El Salvador, el problema principal es el impacto ambiental en el Río Ostúa y Lago Güija, ambos cuerpos de agua compartidos con Guatemala. De la discusión anterior, se puede ver que estos dos cuerpos de agua podrían recibir el impacto de dos maneras:

- 1) La introducción de agua caliente en el Río Ostúa junto con la posible contaminación de elementos químicos geotérmicos podría afectar al río disminuyendo el oxígeno disuelto, afectando la diversidad, afectando la migración de especies ya que se produciría una zona de contaminación que aislaría las aguas de la parte alta de la cuenca de las aguas de la parte baja de la cuenca. Además, afectaría a los usuarios de agua del río.

- 2) Si se produce drenaje ácido de minas, al entrar el drenaje en contacto con agua del río se diluiría, aumentaría el pH pero precipitaría hidróxidos de hierro y de aluminio y otros compuestos (dependiendo de la composición final del drenaje) que afectarían al ambiente de río, especialmente en la zona de los sedimentos donde viven los macroinvertebrados y también se reproducen los peces. Estos sedimentos contaminados también estarían en suspensión, especialmente durante fuertes lluvias en el invierno, y se transportarían con la corriente del río hacia el Lago Güija. La magnitud de este transporte de contaminantes es difícil de predecir porque dependerá de la carga de contaminantes que se genere en las pilas de roca estéril o escombreras.
- 3) Cuando se abandone la mina, ya sea que el drenaje que se genere sea ácido o no, el arsénico producido de la oxidación de las rocas podría estar en solución, ya que este es soluble en una amplia gama de pHs. Cuando eso ocurra, ya no existirá una planta de tratamiento del arsénico (estos procesos pueden durar incluso cientos de años). Por lo tanto el arsénico terminaría en el río, ya sea en solución o adsorbido en el hidróxido de hierro suspendido o depositado en los sedimentos. De allí obviamente, sería transportado al Lago Güija.

Posible explotación del reservorio geotérmico

Existe el rumor no confirmado que la empresa minera ha encontrado ya algunos de los problemas arriba mencionados y que esta siendo difícil la apertura de la mina por lo que están considerando la posibilidad de explotar el reservorio geotérmico al mismo tiempo o antes de la mina. No he tenido la posibilidad de verificar dicha información, sin embargo, **si eso fuera cierto**, hay varios puntos que deben discutirse:

- 1) La licencia de explotación minera debería ser totalmente independiente y diferente de una licencia par explotar un recurso geotérmico. La pregunta obvia es: ¿la licencia de explotación incluye el recurso geotérmico?
- 2) Una licencia de explotación geotérmica requiere estudios especiales de impacto ambiental que obviamente no se han incluido en el estudio de evaluación de impacto ambiental que ya ha sido aprobado, como ya se ha indicado arriba. Si esos estudios no se han efectuado y aprobado, entonces ¿cómo es que se esta tratando de perforar pozos geotérmicos para explotación?

Recomendaciones

Basados en lo expuesto anteriormente se recomienda lo siguiente:

- 1) Que se reconsidere la licencia de explotación que se ha otorgado a Entremares de Guatemala, S.A. debido a las fallas antes mencionadas en el estudio de impacto ambiental, hasta que no exista en Guatemala y El Salvador una ley minera que cubra los riesgos asociados a depósitos minerales ubicados en reservorios geotérmicos activos.

- 2) Que como parte de las reformas a la ley que considere minas ubicadas en reservorios geotérmicos se incluya lo siguiente: i) análisis hidrogeológico completo del reservorio geotérmico y su relación con acuíferos fríos adyacentes (balance hídrico, mapa de tabla de agua, hidroestratigrafía, estudios de pozos existentes en la zona, condiciones de frontera, etc.) ii) determinación de los gases geotérmicos en la zona así como una caracterización geoquímica completa de los elementos nocivos comunes en aguas geotérmicas, iii) estudios de la concentración de radón en aguas y suelos del reservorio geotérmico y la mina, iv) una presentación completa que incluya como se hará para generar condiciones de trabajo adecuadas en la mina, en términos de los gases y la temperatura de la mina, justificando científicamente las medidas a tomar, v) justificación científica de la metodología a utilizar para enfriar el agua antes de descargarla en el ambiente.
- 3) El programa de desarrollo y cierre de la mina debe contemplar no sólo las medidas para controlar las descargas de elementos tóxicos como el arsénico durante la operación de la mina, sino que también como se controlará después del cierre de la mina.

Finalmente quiero expresar que el objetivo de este informe ha sido únicamente colaborar con mi experiencia y hacer un análisis científico de la problemática de la mina Cerro Blanco con el único fin de velar por el bienestar de los pueblos de Guatemala y El Salvador.

Referencias

- Anderson, Mary P., and Woessner, William W., 1992. *Applied Groundwater Modeling*, Academic Press, 381 pp.
- Entrameres de Guatemala, S.A., 2007. Proyecto Minero Cerro Blanco, Municipio de Asuncion Mita, Departamento de Jutiapa, Estudio de evaluación de Impacto Ambiental –EIA, Reporte presentado al Gobierno de Guatemala, Ciudad de Guatemala, Junio de 2007, 2305 pag.
- Freeze, R.A., and Cherry, J.A., 1979. *Groundwater*. Prentice Hall, New Jersey, 604 p.
- Schmitz, Richard J., 1996. *Introduction to Water Pollution Biology*, Gulf Publishing Company, 320 pp.
- Fetter, C.W., 2001. *Applied Hydrogeology*, 4th Edition, Prentice Hall, New Jersey, 598 p.
- Giggenbach, W.F.: Redox processes governing the chemistry of fumarolic gas discharges from White Island, New Zealand. *Appl. Geochem.* 2 (1988), pp. 143–162.
- López, D.L., Ransom, L., Monterrosa, J., Soriano, T., Barahona, F., Olmos, R., and Bundschuh, J., 2009. Volcanic arsenic and boron pollution of Ilopango Lake, El Salvador. *In Natural Arsenic in Groundwater of Latin America*, J. Bundschuh, Armienta, M., Birkle, P., Bhattacharya, P., Matschullat, J., A. B Mukherjee, A.B. editors, Taylor & Francis, p. 129-143.
- López, D. L., and Smith, J. L., 1995. Fluid flow in fault zones: Analysis of the interplay of convective circulation and topographically-driven groundwater flow. *Water Resour. Res.* v. 31 , pp. 1489-1503.

- Lopez, D.L., Padron, E., Magaña, M.I., Gómez, L., Barrios, L.A., Pérez, N.M. and Hernández, P. 2004. Structural Control on Thermal Anomalies and Diffuse Surficial Degassing at Berlín Geothermal Field, El Salvador. *Geothermal Resources Council Transactions*, Vol. 28, p. 477-483.
- Lopez, D. A., Walker, J.A., Bennati, L., Finizola, A., Barahona, F., Cartagena, R., Conde, V., Funes, C.R., Rios, C., 2009. Soil gases as indicators of fluid circulation and permeable zones: Santa Maria-Cerro Quemado-Zunil volcanic complex, Guatemala. *Eos Trans. AGU*, 90(52), Fall Meet. Suppl., Abstract V21D-2015.
- Magaña, M.I., Henríquez, E., and Lopez, D.L., 2006. Anomalies in the content of radon gas and presence of hydrothermal alteration in Chipilapa Geothermal Area. *Geothermal Resources Council Transactions*, Vol. 30, p. 487-494.
- Sracek, O., Bhattacharya, P., Jacks, G., Gustafsson, J.P. and Von Brömssen, M., 2004. Behavior of arsenic and geochemical modeling of arsenic enrichment in aqueous environments. *Appl. Geochem.* 19, pp. 169–180.
- Welch, A.H., 1988. Arsenic in ground water of the western United States. *Ground Water* 26, pp. 333–347.



Dina Lopez, Ph. D.
Professor
Department of Geological Sciences
Ohio University
316 Clippinger Laboratories
Athens, Ohio 45701
Phone: 1-740-593-9435
Fax: 1-740-593-0486
Email: lopezd@ohio.edu