

¿Están la sobre extracción de agua subterránea y la reducida infiltración contribuyendo a problemas de salud relacionados con el Arsénico cerca de la mina Marlin (Guatemala)?

Johan Van de Wauw^{*}, Roel Evens^{**}, Lieven Machiels^{***}

15 de octubre de 2010

Un análisis de los datos de monitoreo provistos por la compañía minera *Montana Exploradora de Guatemala* indica que las concentraciones de Arsénico están aumentando rápidamente en el pozo de producción. Las concentraciones de Arsénico en algunos pozos de agua subterránea localizados alrededor de la mina Marlin se encuentran muy por encima de los estándares de salud de la OMS para agua potable y de los de Norteamérica y Canadá. Las concentraciones alarmantes, combinadas con las altas concentraciones de Arsénico encontradas en la orina de las personas que habitan cerca de la mina y los reportes diversos de enfermedades relacionadas con Arsénico 1) prueban que este aspecto fue descuidado durante el primer EIAS (estudio de impacto ambiental y social) y sus revisiones; 2) demuestran que una investigación amplia e independiente es necesaria antes de continuar con la extracción de agua subterránea; 3) Las causas de la presencia y el alcance del Arsénico en el agua subterránea deben ser investigadas más a fondo en esta región.

1. Introducción



La mina de oro y plata Marlin está localizada al Suroeste de Guatemala, en la parte norte del departamento de San Marcos. Es a una mina con las modalidades de .^a cielo abiertoz subterránea en la cual se utiliza un proceso de lixiviación con cianuro para extraer oro y plata. Luego de la finalización y autorización por parte del gobierno guatemalteco, del estudio de impacto ambiental y social (EIAS)(MEG, 2003) la construcción de la mina inició en el 2004 y las operaciones extractivas comenzaron en el 2005. La mina fue desarrollada por Montana Exploradora de Guatemala S.A. con apoyo de la Corporación Internacional Financiera (Banco Mundial). Montana Exploradora era una sub-

^{*}Department of Geology and Soil Science, Ghent University, Belgium

^{**}Department of Applied ecology and environmental biology, Ghent University, Belgium

^{***}Department of Earth and Environmental Sciences, KULeuven, Belgium

sidiaria de Glamis Gold, que fue adquirida en el 2006 por la compañía Canadiense Goldcorp, actual propietaria de la explotación. La mina está localizada en un área montañosa a una altitud de 2000 metros sobre el nivel del mar (msnm), y en un clima montañosa semiárida con una temporada definida de lluvias. La precipitación promedio anual es estimada en 1008 mm, y la temperatura promedio anual es de 25°C. Hay un déficit de precipitación durante la mayoría del año, lo cual resulta en una recarga limitada de las aguas subterráneas. La región alrededor de la mina es usada para agricultura de subsistencia, cultivos irrigados con el agua del Riachuelo Quivichil (E-Tech International, 2010). Alrededor de 47% de los hogares (MEG, 2005, 22) no tiene acceso a agua potable, lo que hace que dependan de las aguas subterráneas y superficiales como fuente de agua potable. Esto implica que la cantidad y calidad del agua subterránea son un tema importante en la región, y también significa que la calidad del agua debería ser comparada con estándares de agua potable en lugar de estándares de agua para minería.

1.1. Extracción de agua subterránea

En el EIAS (MEG, 2003) de la Mina Marlin, la única fuente mencionada de agua es el agua de lluvia almacenada en los depósitos de relave, y el agua adicional (hasta $0.019 \text{ m}^3/\text{s}$), serían bombeados del río Tzalá. Contrario a lo que está establecido en el EIAS, en la mina Marlin se extrae esta agua de pozos, y no del río. El pozo instalado tiene una capacidad máxima de $18,9 \text{ L/s}$ (Marlin Engineering and Consulting, LLC *et al.*, 2004). En el 2007 un volumen de 16 L/s fue extraído (MEG, 2008). La reducción prevista del nivel de agua es de 30 m luego de 5 años de operación. Sin embargo estudios son necesarios, además este valor es solo una proyección luego de un ensayo de 10 días de bombeo (Marlin Engineering and Consulting, LLC *et al.*, 2004), en donde los resultados se interpretan como una capa homogénea conteniendo agua, a pesar de que el agua subterránea está presente en “rocas fraccionada con patrones no definidos” EIAS (MEG, 2003).

1.2. Influencia de la extracción de agua subterránea en la calidad de las aguas subterráneas

Un problema típico de la explotación excesiva de agua subterránea es el deterioro de la calidad del agua, que lleva a un incremento de los Sólidos Disueltos Totales (SDT). Diferentes mecanismos son posibles: intrusión de aguas de baja calidad, tales como aguas saladas (Andrews, 1981), o aguas volcánicas (Flores-Márquez *et al.*, 2006); la oxidación de minerales que contienen Sulfuro (Mossmark *et al.*, 2007). Un importante elemento que debe ser monitoreado durante la extracción de aguas subterráneas es el Arsénico. El Arsénico, que es altamente soluble y, por lo tanto normalmente no está presente en las capas superficiales freáticas, solo está presente en aguas subterráneas profundas: cerca de la superficie el Arsénico ya ha lixiviado fuera del sistema. La contaminación con Arsénico puede volverse un tema importante cuando se bombean capas profundas de aguas subterráneas (por ejemplo aguas subterráneas geotermales) o cuando el Arsénico se vuelve soluble debido a oxidación (causado por la reducción del nivel freático). La presencia de Arsénico en aguas subterráneas es un fenómeno bastante conocido (Nordstrom, 2002; Ravenscroft *et al.*, 2009) y ha sido descrito globalmente, incluyendo regiones volcánicas semiáridas que son similares al sitio (Armentia *et al.*, 2004), en donde la movilidad del Arsénico se incrementa luego de cambios en las corrientes de las aguas subterráneas. Contaminación con Arsénico también ha sido asociada con actividades mineras en diferentes países (Brasil, Reino Unido, Ghana, México) (Williams, 2001; Nordstrom, 2002). Con respecto a este estudio, uno de los pozos de monitoreo críticos es de 300 m de profundidad y los cambios reportados de la calidad del agua en el tiempo (véase más adelante) son probablemente causados por una fuente geotérmica profunda, donde la empresa probablemente estaba extrayendo agua (E-Tech International, 2010).

1.3. Efectos del Arsénico en la salud

A pesar de que las consecuencias negativas del Arsénico se conocen desde hace mucho tiempo, los efectos se hicieron conocidos luego de grandes brotes de enfermedades relacionadas con el Arsénico en Bangladesh, donde estas enfermedades comenzaron luego de la instalación de

bombas profundas de agua subterránea, en un intento de reducir las enfermedades transmitidas en el agua. Esta medida fue muy exitosa, pero nuevas enfermedades fueron reportadas, especialmente, enfermedades relacionadas con la piel y el cabello (Chowdhury *et al.*, 2000). De acuerdo a un estudio de 1999 de la Academia Nacional de las Ciencias (National Research Council, 1999), se determinó que el Arsénico en agua potable causa cáncer de vejiga, pulmón y piel, y puede causar cáncer de riñón e hígado. El estudio también encontró que el Arsénico causa daños en el sistema nervioso central y periférico, en el corazón y en los vasos sanguíneos, y causa serios problemas de la piel y cabello. También pudiera causar defectos y problemas de reproducción (Ratnaik, 2003). La organización mundial de la salud (OMS) ha fijado un límite del Arsénico de $50\mu\text{g}/\text{L}$ en agua potable. Sin embargo, este es un límite muy débil, ya que varios estudios (EPA, 1998; National Research Council, 1999, 2001) demuestran que a esas concentraciones el riesgo de mortalidad por cáncer es 1 en 100. Desde entonces la OMS ha recomendado reducir el límite de Arsénico para agua potable a $10\mu\text{g}/\text{L}$ (WHO, 1993). Mientras tanto, la directriz de agua potable de Canadá ha cambiado la concentración máxima aceptable del Arsénico en sus aguas potables hasta este mismo nivel (N.N., 2006).

2. Metodología

Para determinar si la calidad del agua cambia debido a la extracción en exceso, todos los datos relacionados con la calidad del agua subterránea fueron recolectados de diferentes reportes (Tabla 1). A partir de septiembre hasta enero del 2006 muestras del agua subterránea fueron analizadas por el laboratorio SGS (MEG, 2006, p49). Sin embargo este laboratorio no era adecuado para analizar metales con bajas concentraciones (MEG, 2006, p49). Comenzando desde el 2006 los análisis fueron hechos por el laboratorio ACZ (Steamboat Springs, Colorado), certificado para analizar muestras ambientales de bajo nivel, lo que resulta en límites de detección notablemente mejorados. Los análisis del 2008 fueron hechos en otro laboratorio: SVL, también certificado para muestras ambientales. Se debe mencionar que los únicos pozos que tienen una base de datos continuada son los pozos de producción MW5 y el pozo

MW3/MW3B.

3. Resultados

La figura 1 muestra los sólidos disueltos totales y la concentración de 5 elementos que fueron monitoreados en el pozo de producción (MW5). Estos datos evidencian que ha ocurrido un aumento continuado en las concentraciones de la mayoría de los elementos, incluyendo el Arsénico. Un incremento de la concentración del Arsénico de 400 % en promedio fue detectado desde 2006 hasta el fin del 2009, lo que se traduce en que las concentraciones del Arsénico se doblaron casi cada año a partir del inicio de las actividades mineras.

En la figura 2 se puede observar un resumen de las diferentes concentraciones de Arsénico medidas en el agua subterránea en las cercanías de la mina Marlin para los lugares en donde la concentración de Arsénico estuvo por encima del límite de detección. Durante el periodo de monitoreo, en el pozo MW3b y MW8 no se observaron señales de contaminación de Arsénico. En el pozo PW7 los niveles de Arsénico están por debajo de los estándares de agua potable (Smith *et al.*, 2002). Por otro lado es claro que el agua en el pozo MW5 sobrepasó los estándares de agua potable, y el agua de los pozos MW11 y especialmente el pozo MW10 (situado aguas debajo de la mina) exceden los niveles de salud del Arsénico: valores de 261 y $46\mu\text{g}/\text{L}$ fueron detectados en MW10 y MW11 respectivamente)

4. Discusión

4.1. Calidad del agua

La calidad del agua claramente se ha ido disminuyendo en el “pozo” de producción en el curso del tiempo de la extracción del agua subterránea. Existe un enorme incremento en las concentraciones de muchos elementos, incluyendo al Arsénico. La alta correlación entre Boro y Cloruro parece indicar que la fuente de Arsénico es geotérmica, lo que también Goldcorp ha sugerido. Dos líneas de prueba, sin embargo, sugieren que otros mecanismos también pueden ser involucrados. Primero, la temperatura de dicho pozo no fue significativamente diferente de los otros pozos, y las concentraciones de Sílice, que a menudo fueron elevadas en las fuentes geotérmicas tampoco fueron más elevadas de los otros

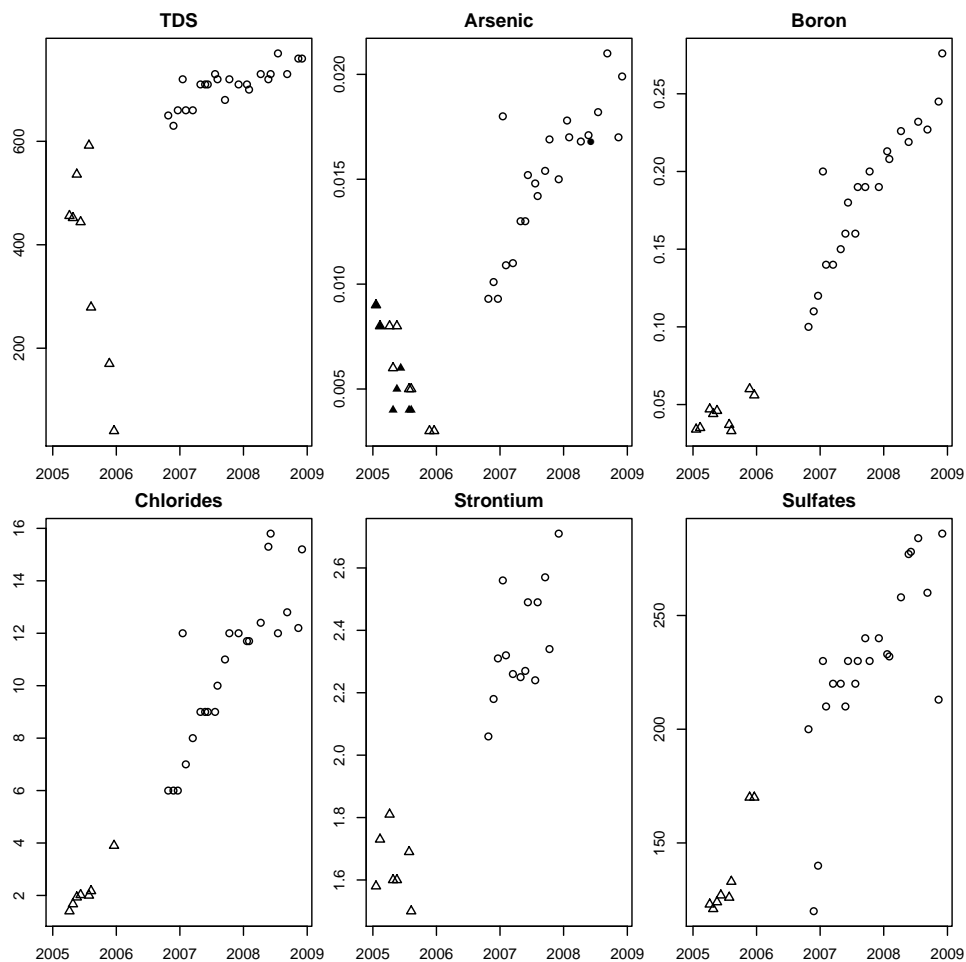


Figura 1: Concentraciones de diversos elementos en el pozo de producción mw5. Los triángulos son muestras analizadas en el laboratorio SGS (menos confiable); los círculos denotan muestras analizadas en el laboratorio ACZ/SVL (MEG, 2007, 2008, 2009). Símbolos “reellenos” indican el valor total de un elemento, símbolos vacíos denotan solo la fracción soluble. Nuevos laboratorios fueron escogidos a partir del inicio del 2007 para mejorar la calidad de los datos (con respecto a los límites de detección y problemas de contaminación de laboratorio) y para mejorar turn-around times.

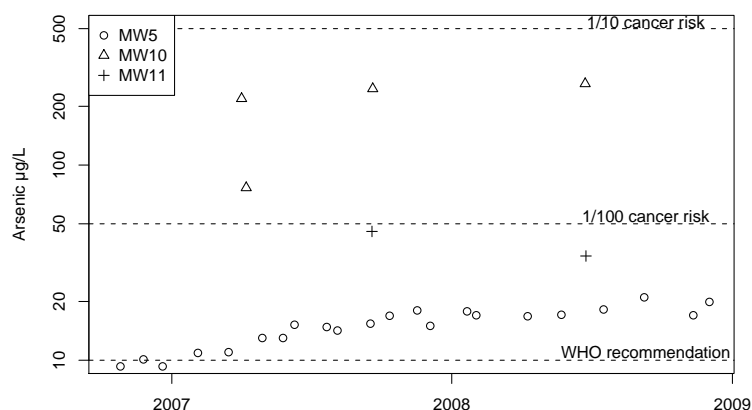


Figura 2: Concentraciones observadas de Arsénico en diferentes pozos alrededor de la mina Marlin en comparación con diferentes estándares. (escala logarítmica) (Smith *et al.*, 2002).

pozos muestreados en el área (E-Tech International, 2010). Segundo, el incremento en Sulfato y concentraciones de Oxígeno disuelto no pueden excluir la oxidación de minerales contenedores de Arsénico, como el Arsenopirita (Ravenscroft *et al.*, 2009), que están presentes en las rocas (SRK Consulting, 2004).

Conclusión 1 *A pesar de que el mecanismo exacto es desconocido, la extracción de aguas subterráneas conlleva a un fuerte incremento en la concentración de diferentes elementos, incluyendo Arsénico en el pozo de producción. Consecuentes extracciones de agua subterránea deberían ser detenidas hasta que se demuestre con un estudio de base geohidrológico y con estaciones de monitoreo para que el impacto de la extracción sea mínimo.*

Se han podido encontrar niveles aun mayores de Arsénico en puntos de monitoreo de agua subterránea que han sido abiertos recientemente:

hasta 0.291 mg/L en MW10 (MEG, 2009).

Conclusión 2 *Los datos prueban que las concentraciones de Arsénico en algunas capas de agua subterránea estan por encima de los estándares de agua potable segura. Esto es información importante sin considerar la actividad minera. Se debería conducir mas investigación en la zona con el fin de distinguir entre pozos seguros y pozos inseguros (que aún se pudieran utilizar para lavado, ...). Esto también significa que se debe prestar especial atención al instalar nuevos pozos, especialmente si de estos se extrae agua de capas profundas.*

4.2. Cantidad de agua

A pesar de que MEG (2005) menciona que “la profundidad del agua será monitoreada regularmente para controlar cualquier reducción en el área”, no se han encontrado registros de los

Cuadro 1: Fuentes de datos de agua subterránea

Año	Puntos de monitoreo	Fuente	Comentario
2004	MW2, MW3, MW5	MEG (2005)	Laboratorio no confiable para bajas concentraciones de metales
2005	MW2, MW5, G11	MEG (2006)	MW3b reemplaza MW3, sin datos proporcionados (solo cuarto semestre)
2006	MW3b, G11, MW5	CTA (2007)	
2007	MW3b, MW5, MW8, MW10, MW11	MEG (2008)	
2008	MW3b, MW5, MW8, MW10, MW11	MEG (2009)	

niveles de agua subterránea en ninguno de los reportes anuales. Los datos limitados parecen sugerir que las capas de agua subterránea poco profundas se están desapareciendo: dos de los puntos de localización original de agua subterránea (MW2, MW4) fueron abandonados porque se secaron durante el primer año de operación (MEG, 2006). La desaparición de 6 pozos fue parte de una queja (Latin American Water Tribunal, 2008) por las comunidades cercanas a la mina.

Conclusión 3 *El EIA&S y sus revisiones fallaron en reconocer la importancia de un estudio de línea base, un completo monitoreo de las aguas subterráneas, y un modelo de agua subterránea, a pesar de los posibles impactos negativos de la extracción excesiva de aguas subterráneas en la calidad y la cantidad, ya se conocían con anterioridad a estos estudios. Los informes de seguimiento también fallaron en reconocer los cambios en la calidad de las aguas subterráneas.*

4.3. ¿Aumentó el consumo humano de aguas subterráneas ricas en Arsénico?

Un informe reciente (Basu & Hu, 2010) demuestra que la gente que vive más cerca de la mina tenía concentraciones de Arsénico significativamente más elevadas en la orina. Por lo tanto, el estudio señala que la proximidad a la mina Marlin predice en gran medida la exposición a metales. El mismo estudio demuestra que uno de cada cinco participantes presentan problemas de piel, lo que coincide con un informe fotográfico de problemas de piel y de cabello en San Miguel Ixtahuacán, donde está la mina Marlin (Spring & Guindon, 2009). Diferentes tipos de problemas de piel relacionados con el Arsénico: hiperpigmentación, queratosis palmar y solar se presentaron a menudo en dicho estudio.

Aunque datos científicos no están disponibles, esos síntomas hacen surgir preguntas con respecto al alcance de la relación causal entre las altas concentraciones del Arsénico en el área de la mina con los problemas de salud. Según un estudio en San Miguel (van der Hoeven, 2009), se dice que las enfermedades de piel son la segunda causa de muerte más importante en el hospital local de San Miguel, aunque no se ha proveído ningún dato. Por lo tanto, debido a la detección de elevadas concentraciones del Arsénico en el

agua potable, no podemos descartar la posibilidad que actividades relacionadas con la minería influyen directamente o indirectamente los efectos de salud observados. Esto definitivamente enfatiza la urgencia de más investigación de los riesgos a la salud humana y al medio ambiente, así como la necesidad de un monitoreo más elaborado de los parámetros ambientales.

Conclusión 4 *El hecho de que las concentraciones elevadas de Arsénico se encuentran en las aguas subterráneas y en la orina, y que las enfermedades inducidas por el Arsénico parecen ser generalizadas, insta a tomar acción inmediata.*

4.4. ¿Está causando la minería enfermedades relacionadas con Arsénico en la Población?

Hay dos mecanismos básicos de cómo la minería puede conducir a mayor contenido de Arsénico en el agua potable: 1) la concentración aumenta como efecto directo de la extracción excesiva. 2) Si los pozos superficiales están desapareciendo debido a la reducción en la infiltración y / o la extracción excesiva una mayor proporción del agua que se consume provendrá de pozos más profundos, potencialmente más ricos en Arsénico. Basu & Hu (2010) notan que muchos campesinos desconfían el agua de los ríos desde la llegada de la mina, lo que también puede conducir a un aumento del uso de agua subterránea, en donde las concentraciones de Arsénico en general son más altas que en el agua superficial (que está diluida por la precipitación). En base de los datos de las concentraciones de Arsénico expuestas en la Figura 2, se predice que por lo menos (para las concentraciones de agua superficial de 25 $\mu\text{g}/\text{L}$), el riesgo de cánceres excesivos de órganos internos durante la duración de vida estimada (en adición al riesgo de cáncer en la duración de vida de una persona promedio) variará entre 8 y 97 casos de 100.000 personas expuestas. Visto que MW11 y MW10 fueron medidos para contener concentraciones de Arsénico de respectivamente 46 y 261 $\mu\text{g}/\text{L}$ en promedio, es muy probable que el riesgo estimado será mucho más que el valor reportado aquí (Directrices para la calidad del agua potable canadiense, 2006), dado la duración de vida (70 años) de exposición crónica a los valores reportados. Por esa misma razón, es muy probable que los reportes registrados de

las manchas de piel y las irritaciones estén directamente relacionadas con el enriquecimiento de Arsénico en los cuerpos de agua, relacionados con la minería.

Conclusión 5 *El estudio de referencia (línea base) y los informes de seguimiento son insuficientes para garantizar que no hay ninguna influencia de la extracción de aguas subterráneas y/o infiltración sobre la salud humana. Por el contrario, los datos demuestran que las concentraciones de Arsénico en el agua subterránea están aumentando debido a la extracción y los datos sugieren que los pozos superficiales están desapareciendo. Ambos factores pueden conducir a un aumento de la ingesta de Arsénico por la población que vive cerca de la mina.*

5. Conclusiones

Además de las cinco conclusiones presentadas en el debate, la falta de un estudio de base detallado y -hasta ahora- los limitados esfuerzos de monitoreo demuestra que la legislación de Guatemala (como en muchos otros países en desarrollo) puede ser mejorada, y que los estándares de estudios del impacto ambiental (EIA) y de monitoreo deben ser llevados a la par con los países en desarrollo. Por otro lado el hecho de que los datos de seguimiento estaban a disposición del público hizo posible este estudio, lo que demuestra la importancia de la disposición pública de datos confiables e independientes. Por lo tanto, se debería plantear la necesidad de organizar un sistema de monitoreo verdaderamente independiente, transparente y científicamente establecido a fin de cumplir a esos requerimientos.

Referencias

- Andrews, Robert W. 1981. Salt-Water Intrusion in the Costa de Hermosillo, Mexico: A Numerical Analysis of Water Management Proposals. *Ground Water*, **19**(6), 635–647.
- Armienta, Aurora, R., Rodríguez, K., Ongley Lois, Helen, Mango, & Romero Francisco, M. 2004. Influence of groundwater flow on arsenic mobility in a limestone aquifer. Zimapán, Mexico. In: *XXXIII International Association of Hydrogeologists & 7th ALH-SUD Congress "Groundwater Flow Under-*
- standing: from Local to Regional scales", Zacatecas, Mexico.*
- Basu, Niladri, & Hu, Howard. 2010 (May). *Toxic Metals and Indigenous Peoples Near the Marlin Mine in Western Guatemala*. Tech. rept. Physicians for Human Rights.
- Chowdhury, U K, Biswas, B K, Chowdhury, T R, Samanta, G, Mandal, B K, Basu, G C, Chanda, C R, Lodh, D, Saha, K C, Mukherjee, S K, Roy, S, Kabir, S, Quamruzzaman, Q, & Chakraborti, D. 2000. Groundwater arsenic contamination in Bangladesh and West Bengal, India. *Environmental Health Perspectives*, **108**(5), 393–397. PMID: 10811564 PMID: 1638054.
- CTA. 2007. *Informe de Cumplimiento ambiental Mina Marlin 4to Trimestre, 2006*. Tech. rept. Consultoria y Tecnología Ambiental, S.A.
- E-Tech International. 2010. *Evaluation of predicted and actual water quality conditions at the Marlin mine, Guatemala*.
- EPA, US. 1998. *Special Report on Ingested Inorganic Arsenic - Skin Cancer; Nutritional Essentiality*. Tech. rept. EPA/625/3-87/013. US Environmental Protection Agency, Washington, DC.
- Flores-Márquez, E. Leticia, Jiménez-Suárez, Gabriel, Martínez-Serrano, Raymundo G., Chávez, René E., & Pérez, Daniel Silva. 2006. Study of geothermal water intrusion due to groundwater exploitation in the Puebla Valley aquifer system, Mexico. *Hydrogeology Journal*, **14**(7), 1216–1230.
- Latin American Water Tribunal. 2008. *Public Hearing: Open pit mining in the Cuilco and Tzala river basins. Sipacapa and San Miguel Ixtahuacan Districts, San Marcos Department. Guatemala*.
- Marlin Engineering and Consulting, LLC, SRK Consulting, & Vector Colorado LLC. 2004. *Installation Report - Water Supply Well PSA-1*. Tech. rept. S.A. Montana Exploradora de Guatemala.
- MEG. 2003. *Executive Summary. Social and Environmental Impact Assessment Study Marlin Mining Project. 27pp*. Tech. rept. S.A. Montana Exploradora de Guatemala.

- MEG. 2005. *Environmental and Social Performance Annual Monitoring Report 2004*. Tech. rept. Montana Exploradora de Guatemala, S. A. , International Finance Corporation.
- MEG. 2006. *Environmental and Social Performance Annual Monitoring Report 2005*. Tech. rept. Montana Exploradora de Guatemala, S. A. , International Finance Corporation.
- MEG. 2007. *Environmental and Social Performance Annual Monitoring Report 2006*. Tech. rept. Montana Exploradora de Guatemala, S. A. , International Finance Corporation.
- MEG. 2008. *Environmental and Social Performance Annual Monitoring Report 2007*. Tech. rept. Montana Exploradora de Guatemala, S. A.
- MEG. 2009. *Environmental and Social Performance Annual Monitoring Report 2008*. Tech. rept. Montana Exploradora de Guatemala, S. A.
- Mossmark, Fredrik, Hultberg, Hans, & Ericsson, Lars O. 2007. Effects of groundwater extraction from crystalline hard rock on water chemistry in an acid forested catchment at Gårdsjön, Sweden. *Applied Geochemistry*, **22**(6), 1157–1166. Selected Papers from the 7th International Conference on Acid Deposition, Prague, Czech Republic, 12-17 June, 2005, 7th International Conference on Acid Deposition.
- National Research Council. 1999. *Arsenic in Drinking Water*. Washington DC: National Academy Press.
- National Research Council. 2001. *Arsenic in Drinking Water. Update 2001*. Washington DC: National Academy Press.
- N.N. 2006. *Guidelines for Canadian drinking water quality: Guideline Technical Document – Arsenic*. Tech. rept. Federal-Provincial-Territorial Committee on Drinking Water of the Federal-Provincial-Territorial Committee on Health and the Environment.
- Nordstrom, D. Kirk. 2002. Worldwide Occurrences of Arsenic in Ground Water. *Science*, **296**(5576), 2143–2145.
- Ratnaike, R.N. 2003. Acute and chronic arsenic toxicity. *Postgraduate Medical Journal*, **79**, 391–396.
- Ravenscroft, Peter, Brammer, H., & Richards, K. S. 2009. *Arsenic pollution: a global synthesis*. John Wiley and Sons.
- Smith, Allan H., Lopipero, Peggy A., Bates, Michael N., & Steinmaus, Craig M. 2002. Enhanced: Arsenic Epidemiology and Drinking Water Standards. *Science*, **296**(5576), 2145–2146.
- Spring, Karen, & Guindon, Francois. 2009 (02). *San Miguel Health Harms*. Tech. rept. Rights Action and COPAE.
- SRK Consulting. 2004 (February). *Geochemical Characterization of Waste Rock at the Marlin Project, Guatemala*. Tech. rept. Marlin Engineering and Consulting LLC, Vancouver, B.C.
- van der Hoeven, Julia. 2009 (june). *Health problems due to working and living in mining areas: Case study San Miguel Ixtahuacan*. MSc. thesis, Universiteit Antwerpen, Belgium. (in Dutch).
- WHO. 1993. *Guidelines for Drinkingwater Quality*. Vol. . Volume 1: Recommendations. Geneva: World Health Organisation.
- Williams, M. 2001. Arsenic in mine waters: an international study. *Environmental Geology*, **40**(3), 267–278.