



## 4. CONCLUSIONES

En primer término, como parte de la revisión del evento hidrológico que produjo el derrame del 2014, es posible concluir que el diseño hidrológico del sistema de presas Tinajas 1 fue inadecuado, lo que indica que el derrame fue responsabilidad de la empresa minera. Como se demostró, el sistema de presas no tuvo la capacidad de almacenar el escurrimiento producido por un tren de tormentas no extraordinario. Además, las acciones de reingeniería realizadas por la empresa en el sistema Tinajas 1 posteriores al derrame, indican que la empresa minera reconoce de forma implícita el mal diseño hidrológico del sistema original, invirtiendo recursos económicos importantes en la reconstrucción del sistema. Desafortunadamente, las consecuencias ambientales y económicas que se derivaron de este derrame sobre las comunidades no fueron atendidas.

En la cantidad de agua, se verificó que existe por parte de la empresa Buenavista del Cobre un acaparamiento del 57 % del volumen concesionado de agua subterránea. Adicionalmente, existe una sobreexplotación documentada en los acuíferos de esta región del país, cuyo origen es antropogénico y se debe de forma inequívoca al incremento en la producción de cobre dentro de la mina Buenavista del Cobre. La sobreexplotación no es atribuible a los eventos de sequía, que han sido recurrentes en la zona, sino a la actividad minera.

Los resultados de calidad del agua superficial a lo largo del río Sonora, indican que la remediación en este cuerpo de agua no fue realizada de forma satisfactoria posterior al derrame de 2014, pues se detectó contaminación por metales pesados en el río desde la parte alta y hasta la presa el Molinito. Dado que estas muestras se tomaron ocho años después del derrame, se documenta de esta forma una persistencia de la contaminación del agua superficial que pone en riesgo la salud ambiental y de las personas en la zona. Los metales encontrados están todos asociados a jales y lixiviados que resultan de la actividad minera.

Los resultados de calidad del agua subterránea señalan de manera inequívoca que en este caso existe una problemática asociada a la presencia de compuestos que representan un riesgo a la salud de las personas. Si bien es cierto que la presencia de algunos de los elementos detectados en el agua subterránea puede darse de manera natural

por la geología del sitio, es importante mencionar que una de las medidas que en teoría fueron implementadas por la empresa a raíz del derrame de 2014, fue la adquisición y puesta en marcha de plantas potabilizadoras en las fuentes de abastecimiento de todas estas comunidades, las cuales hoy sabemos no se pusieron en operación, lo que necesariamente redundó en permitir un consumo regular de esta agua de mala calidad por parte de la población.

Los sedimentos colectados a lo largo del río Sonora identificaron la presencia de aluminio, antimonio, arsénico y bario en casi todas las muestras analizadas, lo que comprueba desde la perspectiva de los sedimentos una persistencia de contaminación crónica por la actividad minera. Lo que demuestra que no ha habido ninguna remediación ambiental en la zona. Por si esto fuera poco, se detectó la presencia de mercurio (Hg) en todas las muestras de sedimento, aun y cuando este elemento no está presente de forma natural en la geología de la región. La presencia de estos metales en los sedimentos indica contaminación muy por encima de los valores asociados a la geología natural del sitio. Resultado que es altamente relevante pues indica que incluso a ocho años del derrame en el río Sonora, la contaminación en agua y sedimentos persiste en el medio ambiente de la zona, poniendo en riesgo la salud de la población.

Las muestras de sedimentos tomadas en puntos muy cercanos a la mina Buenavista del Cobre, presentaron concentraciones de cobre muy superiores a las concentraciones asociadas a la geología del sitio en más de 187 veces.

En cuanto a tomas domiciliarias, el arsénico está presente en todos los sitios de muestreo, y a pesar de estar por debajo del límite es necesario remarcar su presencia, ya que es un indicador de contaminación por este metaloide utilizado en procesos mineros, que tiene un potencial impacto en la salud humana.

Adicionalmente, se encontró presencia de aluminio en las tomas domiciliarias de la Capilla y Mazocahui, y también se identificó presencia de valores altos de concentración de hierro en la Capilla. Mientras que para mercurio, se resalta la necesidad de verificar la Estancia y Aconchi por sus valores cercanos al límite máximo permisible. Finalmente, el sodio se encontró en niveles altos para el





sitio de Mazocahui, cuya presencia se relaciona con el hallazgo de dicho metal en el pozo de abastecimiento de la zona.

En las afectaciones al suelo, se halló que las concentraciones de metales y metaloides potencialmente tóxicos se encuentran sin algún patrón de actividad antropogénica visible por las propias condiciones de la zona. Sin embargo, se identifican factores de enriquecimiento de algunos metales que sólo podrían estar presentes por su liberación geoquímica como consecuencia de un efecto de acidificación.

Se determinó que la mayoría de los suelos presentes alrededor del punto 0 son moderadamente ácidos, por lo que éstos deben ser monitoreados ya que, en caso de convertirse en suelos fuertemente ácidos, representan un riesgo para la salud medioambiental al permitir la migración de especies tóxicas normalmente insolubles en el medio. Además, se identificó que las concentraciones de metales y metaloides presentes con respecto a la distancia de la orilla del río, no presentan un patrón claro de distribución y la concentración a diferentes niveles de profundidad no es homogénea, para algunos elementos tóxicos. Por lo anterior, es necesario considerar en las normativas vigentes de remediación, los estudios de acidez y el perfil de profundidad de suelo, para determinar los potenciales riesgos a mediano y largo plazo producido por un evento antropogénico.

Las concentraciones de metales potencialmente tóxicos en el Municipio de Cananea superan cualquiera de los valores internacionales. No obstante, la normativa mexicana indica que no hay impactos por los límites que establece.

Los resultados indican que el Municipio de Cananea está fuertemente impactado por la actividad minera, ya que se evidencian valores de enriquecimiento del suelo por elementos directamente relacionados con la extracción de cobre.

En cuanto a los impactos a la calidad del aire, se identificó que durante la temporada húmeda-cálida el 28% de las mediciones realizadas superó el límite recomendado de la dosis de referencia establecida por la EPA ( $300 \text{ ng/m}^3$ ), al igual que los límites de concentraciones típicas de mercurio en el aire en grandes ciudades (entre  $40$  y  $100 \text{ ng/m}^3$ ). En la campaña de la temporada seca-fría, si bien no se rebasaron los valores antes mencionados, sí se superaron las concentraciones típicas en otras ciudades.

Es importante considerar que una exposición crónica a estos niveles puede causar problemas de bioacumulación de mercurio en los organismos, causando daños en la salud humana y en la flora y fauna local. En las personas, dicha exposición representa un riesgo de padecer hidrargirismo o mercurialismo, que ocasiona alteraciones funcionales expresadas en déficits orgánicos, neurológicos, cognitivos y psicológicos (INS, 2012).

De manera particular, en la ciudad de Cananea pueden atribuirse impactos a las actividades mineras desarrolladas, debido a que el mineral para extracción de cobre (principalmente mineral sulfhídrico) puede contener cantidades traza de mercurio. En la extracción del cobre del mineral, se utilizan procesos que liberan este mercurio del material rocoso que posteriormente puede evaporarse y seguir a las corrientes gaseosas en el proceso de extracción (en la mayoría de los casos) o seguir a las corrientes de procesos húmedos (líquidos), según la tecnología de extracción utilizada. A menos que se capture el mercurio en pasos del proceso especialmente destinados a este fin, es probable que la mayor parte pueda liberarse a la atmósfera y a medios terrestres y acuáticos (UNEP, 2015). Los lugares con altas concentraciones comprobadas de mercurio (zonas mineras críticas), son fuentes importantes de dispersión del mercurio en los sistemas acuáticos y contribuyen a la contaminación por metilmercurio que es mucho más tóxico que el mercurio elemental y las sales inorgánicas. La contaminación alcanza los peces, la fauna y flora silvestres, con los efectos consiguientes en la vida de miles de personas, tanto de las que participan directamente en las actividades mineras como de las que viven en las cercanías.

Con respecto al monitoreo realizado en el río Sonora, es difícil identificar la fuente de las concentraciones elevadas de mercurio, que, si bien no rebasan la dosis de referencia recomendada por la EPA, sí rebasan las concentraciones típicas en otras ciudades. Sin embargo, en diversas zonas mineras del mundo el mercurio puede transportarse varios kilómetros y depositarse en las diferentes matrices ambientales, para posteriormente evaporarse y continuar un ciclo de evaporación-deposición; el derrame de lixiviados tóxicos al río Sonora ocurrido en 2014 aumenta la lista de eventos desafortunados de alto impacto que pueden contribuir a la liberación de mercurio y otros contaminantes al medio ambiente.

Es importante recalcar que el mercurio es de especial preocupación debido a que puede acumularse





en varios compartimentos del ambiente y en diferentes especies. De acuerdo con Borchardt y colaboradores (1988) la bioacumulación por mercurio dependerá de diferentes variables como la talla, sexo, posición del organismo en la cadena trófica, relaciones genéticas entre poblaciones, etc. Asimismo, en algunos organismos machos se han encontrado niveles de mercurio superiores a los medidos en hembras (IPCS, 1989).

Diversos estudios han identificado los impactos en la salud de la población cuando ésta se expone a altas concentraciones contaminantes en el aire, incluso en periodos cortos de tiempo; por lo que, cualquier medida orientada a mejorar la calidad del aire en la ciudad de Cananea permitirá reducir su impacto en la salud de la población.

De los resultados obtenidos durante los recorridos para el monitoreo de exposición personal, así como de las concentraciones ambientales, se observa la presencia de silicio en el material particulado y existe evidencia científica respecto a los efectos en la salud —cancerígenos y no cancerígenos— cuando existe una exposición crónica. En este sentido, hay evidencias de aportaciones ambientales a nivel de superficie y calle. Los valores observados de exposición personal muestran que existe una relación entre el depósito de emisiones de material en las calles de Cananea y la exposición personal, magnificada por procesos de resuspensión.

El modelo de trayectorias inversas HYSPLIT-NOAA mostró, como una primera aproximación, que las parcelas de aire que llegan a los dos sitios de monitoreo (Hospital General de Cananea y Unidad Médico Familiar No 55) pasan a través de la zona industrial y la presa de jales de la minera Buenavista del Cobre. Adicionalmente, esta modelación permitió estimar que la zona urbana de la ciudad de Cananea recibe aportaciones importantes de depósito atmosférico provenientes de la zona industrial de la minera y, con alta probabilidad, que dicho depósito ocurre mayoritariamente en calles, donde la resuspensión puede ser una fuente importante de material particulado a nivel de calle, techos de viviendas y escuelas donde habitan y desarrollan sus actividades cotidianas la población de la ciudad.

Se recomienda ampliamente tener una estación de monitoreo meteorológico permanente para establecer las rosas de viento estacionales y evaluar el desempeño de modelos de fuente en superficie que permitan mejorar el análisis de la modelación, así como un apoyo adicional para determinar la aportación de las principales fuentes de emisión,

principalmente por industria y suelos en la zona urbana de la ciudad de Cananea.

En los impactos a la biota, se aprecia que la mina de Buenavista del Cobre afecta negativamente a la funcionalidad de los artrópodos de la Cuenca del río Sonora, por tanto daña también a los servicios ecosistémicos que éstos brindan a la cuenca; tan importantes como la polinización, la regulación de plagas, el reciclaje de nutrientes y la biodiversidad de la región.

La relación negativa de la comunidad de artrópodos con los metales y metaloides en suelos, así como la lejanía con la mina, indican que la principal fuente de afectación son las partículas provenientes de esta zona minera. Se recomienda eliminar totalmente la influencia de estas partículas que muy probablemente provienen de la presa de jales que está al sur de Cananea. La cual es de gran extensión (aproximadamente de 35 km<sup>2</sup>), y actualmente está a cielo abierto. Para lograr esto se requeriría de barreras físicas que eviten la movilidad de los contaminantes como una geomembrana, una capa de suelo y barreras rompevientos. Se debe de revisar la Norma Oficial Mexicana NOM-141-SEMARNAT-2003, que establece el procedimiento para caracterizar los jales, así como las especificaciones y criterios para la caracterización y preparación del sitio, proyecto, construcción, operación y postoperación de presas de jales.

En cuanto a las pérdidas económicas, se estableció que la sumatoria de los costos derivados del derrame presentados a lo largo de este informe, asciende a un total de alrededor de \$18,685.84 mdp a precios corrientes, sin embargo, dado que cada rubro de análisis proviene de fuentes de información con diferentes años o periodos de tiempo, es importante reportar el costo en una misma base actualizada, por lo que cada uno de los rubros fue sometido a un proceso de ajuste inflacionario, dependiendo del año o periodo de tiempo en el que se reporta cada impacto, para que se reflejen en precios actuales (100=2022), con lo que se obtiene una sumatoria actualizada de alrededor de \$20,508.17 mdp a precios constantes (Tabla 57).

Como se mencionó en la introducción, es importante indicar que estos valores fueron estimados conforme a la información pública disponible, por lo que de disponer de más y mejor información sería posible refinar los datos, y de ocurrir esto, la tendencia esperada es que los costos se incrementen. Testimonios recabados por el INECC de la población asentada en los municipios afectados confirman que los impactos se concentran, en orden



de importancia, en el medio ambiente, la salud de las poblaciones y la economía local. Asimismo, se considera que los efectos fueron diferentes entre hombres y mujeres (INECC, 2022a).

Asimismo, de acuerdo con las estimaciones de este análisis se puede determinar que ni el monto pagado por la multa ni las compensaciones entregadas por el Fideicomiso río Sonora, bajo ningún escenario, cubrieron los efectos directos, indirectos y acumulativos en la población, los ecosistemas y la economía, ni los costos de monitoreo y atención de la salud y la calidad de las matrices ambientales y de salud.

