

Las Incertidumbres Asociadas con el Cianuro

Observaciones sobre la Química, Toxicidad,
y Análisis del Cianuro en las Aguas de la Minería

Robert Moran, Ph.D.



Ediciones del Tribunal Latinoamericano del Agua

Colección Científico-Técnica

“Las incertidumbres asociadas con el cianuro” discute tan sólo aspectos de la química y la toxicidad del cianuro en las aguas de la minería de roca, no busca ser un análisis minucioso. En este ensayo sobre las aguas de la minería, se hace referencia a las aguas asociadas con los desechos mineros, tales como los relaves y los rellenos de los montículos rociados con cianuro, así como las aguas que se ven afectadas por la minería, incluyendo ríos, lagos y las aguas subterráneas. “Las incertidumbres sobre el cianuro” fue escrito para el público general con un limitado conocimiento sobre química.

El Centro sobre Políticas Minerales (CPM) es una de las principales organizaciones no gubernamentales que trabajan en la prevención de la degradación ambiental ocasionada por la minería de roca. Los ensayos elaborados por el CPM, se enfocan en aspectos relacionados con la minería y el ambiente.

Las opiniones expresadas por los autores, no necesariamente reflejan las opiniones del CPM.

Todos los derechos reservados. Para efectos de reproducción de cualquier porción de esta publicación, se debe contar con la autorización del Centro de Políticas Minerales.

Suite 808, 1612 K Street, N.W.,
Washington, D.C. 20006.
Tel: 202-887-1872. Fax: 202-887-1875.
Email: mpc@mineralpolicy.org
Visite nuestro sitio Web:
www.mineralpolicy.org.

La presente es una traducción libre realizada por la comisión científico-técnica del Tribunal Latinoamericano del Agua con la finalidad de poner al acceso de más personas esta importante información y sin fines de lucro.

Para mayor información sobre las actividades del Tribunal escribanos o visite nuestro sitio web:

www.tragua.com
Correo-e: tragua@racsa.co.cr

Prefacio

La industria minera de roca ha obtenido grandes ganancias del cianuro. Este químico tóxico ha hecho posible que las compañías mineras, puedan minar yacimientos de bajo grado para la obtención de partículas microscópicas de oro y plata, y aún así generar rentabilidades.

El uso del cianuro en la minería, empero, se ha tornado cada vez más controvertido. El minar yacimientos de tan bajo grado, implica la formación de enormes tajos abiertos, y la producción de enormes cantidades de roca de desecho. Además, el cianuro es un químico tóxico –una cucharadita con un contenido de 2% de solución de cianuro, puede ocasionar la muerte en los seres humanos–. En años recientes, una cadena de accidentes mineros asociados con el cianuro, ha generado miedos y preocupaciones en las comunidades. (Ver cuadro en la página 5.)

El más dramático derrame de cianuro relacionado con la minería, ocurrió en Kirguistán. El 20 de mayo de 1998, un camión que transportaba cianuro hacia la mina de oro de Kumtor se cayó de un puente, derramando casi dos toneladas de cianuro de sodio. Como resultado, cientos de personas debieron ser tratadas en los hospitales locales, y el gobierno de Kirguistán reportó al menos una muerte. La compañía minera, *Corporación Cameco*, niega este reporte.

Sin embargo, la industria minera sostiene que el cianuro se descompone rápidamente en el ambiente, y que las compañías mineras manipulan, de forma segura, grandes cantidades de este químico.

El Resto de la Historia

Tal y como lo demuestra este reporte, empero, es mucho lo desconocido e incierto sobre la toxicidad del cianuro. La industria minera y los entes reguladores sostienen que el cianuro se descompone rápidamente en el agua, en compuestos inocuos, pero ésta es tan sólo una parte de la historia del cianuro. El resto de la historia es que el cianuro también se descompone en compuestos que son potencialmente tóxicos para los peces y otros organismos acuáticos. Muchos de estos compuestos son generalmente menos tóxicos que el cianuro original, pero pueden persistir por prolongados periodos. Y hay evidencia de que algunos de estos compuestos se almacenan, o bioacumulan, en los tejidos vegetales y de los peces.

Además, cuando los operadores mineros analizan la presencia de cianuro, no analizan la presencia de estos compuestos resultantes de la descomposición del cianuro, ya que no se los solicitan. En esencia, estos compuestos no son regulados, a pesar de sus impactos ambientales potenciales.

Hay muchas preguntas legítimas sobre los impactos ambientales y sobre la salud humana, relacionadas con el uso del cianuro en las operaciones mineras, preguntas éstas que los operadores mineros, y los oficiales de salud, son incapaces de responder en estos momentos. El Centro de Políticas Mineras ha producido “Las Incertidumbres sobre el Cianuro”, con el fin de que coadyuvar a la industria, a los reguladores gubernamentales y a los ciudadanos locales, a iniciar el proceso de evaluación de estas muy reales y muy serias incertidumbres relacionadas con el cianuro.

Stephen D’Esposito

Presidente

Centro de Políticas Mineras

***Los Pasos Recomendados por el CPM
para la Evaluación de las Incertidumbres
Asociadas con el Cianuro:***

- El monitoreo voluntario por parte de la industria de todos los compuestos relacionados con el cianuro en los sitios mineros, con la debida divulgación pública de la información.
- Investigación inmediata por parte de la Agencia de Protección Ambiental de EEUU, para determinar los parámetros existentes para éstos compuestos cianurados potencialmente tóxicos.
- La adopción de estándares ambientales más estrictos para todas las operaciones que utilicen cianuro y que son financiadas por instituciones públicas. Tales proyectos deberían ser objeto de mayor conocimiento público.
- El nombramiento de juntas de supervisión ciudadanas en todas las minas que usen cianuro que garanticen el acceso público de la información.
- Auditorías ambientales independientes para todas las operaciones mineras estadounidenses e internacionales que utilicen cianuro.

Introducción

El uso de compuestos cianurados por parte de la industria minera, aparejado con las limitaciones existentes en el análisis y el monitoreo de estos compuestos, genera serias preocupaciones con relación a la seguridad pública y la protección ambiental de los sitios mineros que utilizan el procesamiento de cianuro.

Los documentos reguladores y mineros a menudo establecen que el cianuro en el agua se descompone rápidamente –en la presencia de la luz solar– en sustancias mayoritariamente inocuas, tales como dióxido de carbono y nitrato o amoníaco. Sin embargo, el cianuro también tiende a reaccionar de forma inmediata con muchos otros elementos químicos, y se conoce que forma, como mínimo, cientos de diferentes compuestos (Flynn and Haslem, 1995).

Muchos de estos compuestos que surgen de la descomposición del cianuro, aunque son generalmente menos tóxicos que el cianuro original, son conocidos por su toxicidad para los organismos acuáticos. Además, pueden persistir en el ambiente por prolongados periodos, y existe evidencia de que algunas formas de estos compuestos se pueden acumular en tejidos de plantas (Eisler, 1991) y peces (Heming, 1989).

A pesar de los riesgos que estos compuestos de la descomposición del cianuro representan, las agencias reguladoras no solicitan a los operadores mineros, monitorear este grupo de químicos en las aguas de la minería.

Por lo tanto, mientras gran parte del cianuro utilizado en los sitios mineros sí se descomponen efectivamente, ya sea como resultado de la degradación natural o por los múltiples procesos de tratamiento a veces empleados, cantidades significativas del cianuro original forman compuestos potencialmente tóxicos que no son contabilizados en el monitoreo de las operaciones mineras.

La Minería con Cianuro

Los compuestos de cianuro son ampliamente utilizados en la industria minera para ayudar en la extracción de tanto los metales preciosos como los no preciosos de la roca. En la minería de oro, una solución diluida de cianuro es rociada sobre el yacimiento triturado que es colocado en rellenos, comúnmente conocidos como montículos, o bien, mezclados con el mismo yacimiento confinado en contenedores. El cianuro se adhiere a partículas diminutas de oro para formar un compuesto oro-cianuro soluble en agua, a partir del cual, el oro se recupera posteriormente. El cianuro es utilizado de forma similar para la extracción de la plata de los yacimientos. En la extracción de metales no preciosos, como el cobre, níquel, cobalto, molibdeno, el cianuro es utilizado en los procesos de molienda y concentración para separar los metales deseables de los desechos. Consecuentemente, el cianuro y los compuestos relacionados, a menudo, son descartados en los desechos mineros.

Mientras que la mayoría del cianuro utilizado por la industria, es manipulado sin un impacto negativo obvio, el excepcional comportamiento químico y la naturaleza tóxica de estos compuestos, combinado con el riesgo de los serios derrames de desechos mineros, sugieren que este asunto merece una ojeada más minuciosa.

Un Comportamiento Químico Complejo

El término general “cianuro” se refiere a varios compuestos que contienen el grupo químico CN, que consiste en un único átomo de carbono (C) y un único átomo de nitrógeno (N). Varias plantas, algunas bacterias de los suelos, y varias especies de organismos invertebrados producen cianuro de forma natural, así como sus compuestos relacionados. Sin embargo, los compuestos cianurados casi nunca se presentan en aguas no contaminadas en concentraciones medibles.

El cianuro se combina de manera efectiva con los metales y sustancias principales –una propiedad que lo hace útil en la extracción de metales a partir de yacimientos. El cianuro también tiende a reaccionar de forma efectiva con muchos otros elementos químicos, generando una amplia variedad de compuestos cianurados tóxicos. Y ya que el cianuro es a

base de carbón –un compuesto orgánico- reacciona naturalmente con otra materia que contiene carbono, incluyendo a los organismos vivos.

A pesar de esta complejidad, los reguladores generalmente requieren que los operadores mineros monitoreen tan sólo tres categorías de cianuro: cianuros libres, el cianuro disociable en ácidos débiles (DAD), y los cianuros totales.

Además, los procedimientos analíticos utilizados son imprecisos en determinar estas categorías para indicar la presencia de muchos de los productos tóxicos de la descomposición del cianuro (Ver página 12 para la discusión de procedimientos analíticos)

Por ejemplo, los análisis de rutina para la detección del cianuro, son imprecisos en la identificación de cianatos y tiocianatos, dos productos significativos de la descomposición del cianuro que se han encontrado en los sitios mineros.

Las muestras de agua de los sitios mineros donde se utiliza el cianuro como un químico dentro del procesamiento, pueden contener DAD y /o concentraciones de cianuros totales, que son muy bajas o no detectadas, aún cuando las mismas muestras se analizan específicamente para la presencia de cianatos y tiocianatos, estas pueden mostrar decenas de miligramos por litro (mg/L) o más de estos compuestos.

Numerosas investigaciones y documentos reguladores describen estas categorías de compuestos relacionados con el cianuro como algo tóxicos, pero por lo general, no establecen a que concentraciones, y catalogan su presencia potencial como poco importante. Ya que los análisis de rutina no reportan estos otros compuestos, es a menudo imposible saber si se encuentran presentes en un sitio minero, y a que concentraciones.

Derrames de Desechos Mineros

En años recientes, se han reportado en los medios de comunicación un número de fugas relacionadas con el cianuro, descargas y accidentes en sitios mineros internacionales y de EEUU. (Ver cuadro en la página 10). Estos accidentes generan inquietudes sobre las prácticas operativas vigentes, monitoreo, y cumplimiento de la ley en las sitios mineros que utilizan cianuro en todo el mundo.

Ejemplos de Accidentes Mineros Relacionados con el uso del Cianuro

Colorado, EEUU: En Colorado, los derrames de cianuro y de otros contaminantes de la mina de oro de Summitville, propiedad de Galactic Resources Ltd, contribuyeron a generar problemas ambientales severos en un tramo de 17 millas a lo largo del Río Alamosa. La mina fue abierta en 1986, y abandonada en 1992. Ahora es un sitio federal

Montana, EEUU: Pegasus Corporation recientemente clausuró la mina de oro de Zortman-Landusky en Montana. Abierta en 1979, fue la primera mina a gran escala con uso de cianuro en Estados Unidos. La mina experimentó en su vida útil repetidas fugas y descargas de soluciones cianuradas, generando como resultado, la muerte de vida silvestre y la contaminación severa de arroyos y aguas subterráneas.

Nevada, EEUU: Posterior a la falla de una estructura de rociado de cianuro en 1997, la mina Gold Quarry en Nevada, descargó cerca de 245,000 galones de desechos cargados de cianuro en dos quebradas locales. En 1989 y 1990, ocurrieron una serie de ocho fugas de cianuro en la mina Echo Bay Company's McCoy /Cove en Nevada, descargando un total aproximado de 900 libras de cianuro en el ambiente.

Dakota del Sur, EEUU: El 29 de mayo de 1998, entre 6 y siete toneladas de relaves cianurados, se derramaron de la mina Homestake en la quebrada de Whitewood en los Black Hills de Dakota del Sur, dando como resultado la muerte masiva de peces. Es probable que pasen años antes de que el arroyo se recupere en su totalidad.

Kirguistan: El 20 de mayo de 1998, un camión que transportaba cianuro hacia la mina Kumtor en Kirguistán se cayó de un puente, derramando casi dos toneladas de cianuro de sodio (1762 kilogramos) en las aguas superficiales.

Guyana: En 1995, más de 860 millones de galones de relaves cargados de cianuro fueron descargados en uno de los principales ríos en Guyana al colapsar una represa en la mina de oro Omai, propiedad de la compañía minera Cambior

España: Una represa en la mina de zinc "Los Frailes" en España se reventó en abril de 1998, ocasionando una descarga estimada en 1.3 billones de galones de ácidos y relaves saturados de metales en un río principal y en tierras granjeras adyacentes. Mientras que los reportajes noticiosos relacionados con la muerte masiva de peces no mencionaron ni al cianuro ni a los compuestos cianurados relacionados en los desechos, su presencia parece muy probable dada la naturaleza de los metales extraídos del sitio.

Química Básica y Toxicidad de los Compuestos Cianurados

El cianuro utilizado más comunmente en sitios mineros se encuentra en la forma cianuro de sodio, NaCN. Este sólido blanco se disuelve efectivamente en el agua, generando ión sodio (Na⁺) e ión cianuro (CN⁻). Algo del ión cianuro entonces se convierte en ácido cianhídrico (HCN).

Cianuros libres y el pH del Agua

El ión cianuro (CN⁻) y el ácido cianhídrico (HCN) son a menudo conocidos como cianuros libres. Ambas formas de cianuro libres son extremadamente tóxicos para los humanos y la vida acuática una vez ingeridos. Las cantidades relativas de las dos formas de cianuros libres, son reguladas por el pH del agua –una escala diseñada para medir la acidez o la alcalinidad de los materiales. La mayoría del cianuro en las aguas naturales, las cuales cuentan con un pH que oscila entre 6.0 y 8.5, se encuentra presente como HCN. (Los arroyos y las aguas subterráneas contaminadas con drenaje ácido de agua, a menudo tienen un pH de 4.5 o inferior.)

El ión cianuro (CN⁻) es la forma estable predominante del cianuro libre en un pH por encima de 9.2. A medida que el pH disminuye, las cantidades crecientes de CN⁻ se convierten en ácido cianhídrico (HCN). El porcentaje de HCN continúa aumentando a medida que el pH disminuye más, a un pH de 7.0, cerca del 99.5% del cianuro existe bajo la forma de HCN. A un pH por debajo de 7.0, esencialmente todo el cianuro disuelto se encuentra presente como HCN. El HCN forma un gas –el mismo gas utilizado en las cámaras de ejecución– el cuál se libera en el aire.

La mayoría de las soluciones del procesamiento minero, como las soluciones de los relaves y de los rociados, se mantienen bajo niveles de pH alcalino –usualmente cercanos a 10.0– porque la extracción de metales es más eficiente a estos niveles. Esto se logra mediante la adición de compuestos alcalinos, como la cal o el hidróxido de sodio, a las soluciones mineras que contienen cianuro. La solución elevada del pH también previene la formación de HCN en forma de gas y el envenenamiento accidental de los trabajadores vía inhalación. (Soluciones mineras con un pH así de alto, serían sumamente tóxicas si se ingieren.)

Las formas libres de cianuro reaccionan en cuestión de unas cuantas horas a unos cuantos días con casi cualquier químico con el que entren en contacto, produciendo y una amplia variedad de nuevos compuestos. Tales compuestos son clasificados a menudo como compuestos simples de cianuro, complejos cianurados, y complejos relacionados con el cianuro. Las siguientes secciones se enfocan en los compuestos de la descomposición del cianuro más comúnmente encontrados en los sitios mineros.

Compuestos Simples de Cianuro

Los compuestos simples de cianuro consisten de sólo un ión metálico combinado con cianuro. Los compuestos simples de cianuro incluyen cianuro de sodio, cianuro de potasio, y cianuro de calcio – todos los cuales se solubles. Algunos compuestos simples de cianuro son insolubles.

Complejos Metalo-Cianurados

Los complejos metalo-cianurados son compuestos de cianuro unidos a otros numerosos compuestos orgánicos e inorgánicos. Sólo los complejos metalocianurados, que frecuentemente se forman en los efluentes mineros, se discutirán en esta sección.

Cuando los complejos metalo-cianurados se forman y liberan en ambientes cercanos a la superficie, inician su descomposición a tasas variadas, algunos rápidamente, otros muy lentamente. Esta descomposición libera cianuro en

el suelo o el agua, generalmente a bajas concentraciones. Esos complejos que más efectivamente se descomponen son conocidos como complejos débiles, aquellos que son más resistentes a la descomposición son denominados complejos fuertes. Ejemplos de complejos metalo-cianurados débiles incluyen a los cianuros de zinc y calcio. Complejos moderadamente fuertes incluyen a los cianuros de cobre, níquel y plata. Mientras que los complejos fuertes incluyen a los cianuros de hierro, cobalto y oro. Algunos de los complejos fuertes no se descomponen en presencia de ácidos fuertes, pero se descompondrán cuando se encuentran expuestos a la luz en varias longitudes de onda, liberando así, los iones de cianuro. Esto es en especial cierto para los cianuros de hierro, los cuales son a menudo, las formas más comunes de estos complejos que se encuentran en los desechos mineros.

Las tasas de descomposición de estos complejos también varían dependiendo de la temperatura del agua, el pH, los sólidos disueltos totales, y la concentración del complejo. Algunos complejos metalo-cianurados se degradan a mayor velocidad bajo la exposición a la luz solar, al dióxido de carbono atmosférico y el aire. Y algunos complejos se degradan más rápidamente cuando se percolan a través de los sólidos, cuando son agitados y mezclados por el viento y las corrientes, o cuando son metabolizados por la acción bacteriana. Los complejos cianurados se degradan más rápidamente en ambientes con un pH neutro o bajo, pero algunos pueden permanecer estables por décadas. El autor ha encontrado sedimentos contaminados con cianuro en una mina de cobalto y níquel, que contenía muchos miligramos por kilogramo de CN totales, más de 25 años después de que todo procesamiento había cesado, lo que indica la persistencia de estos complejos –probablemente complejos ferrocianurados o cobalto-cianurados.

Compuestos Cianuro relacionados

El cianuro en las soluciones mineras puede experimentar varios tipos de reacciones para formar compuestos cianurados tóxicos. A los siguientes compuestos relacionados con el cianuro, se les considera tóxicos para los organismos acuáticos, aunque generalmente se les encuentre en concentraciones mucho más elevadas que las formas libres de cianuro.

El **cianato** (NCO⁻) es un compuesto relacionado con el cianuro que se forma cuando las soluciones alcalinas de cianuro reaccionan con oxidantes como el cloro, el hipoclorito, el ozono, y peróxido de hidrógeno. De hecho, la industria minera a menudo utiliza varios de estos oxidantes para la descomposición de los desechos cianurados. Cuando el hipoclorito se combina con el cianuro en soluciones alcalinas (a este proceso se le conoce como cloración alcalina), un compuesto tóxico intermedio se forma, **cloruro de cianuro** (ClCN), el cual es a su vez, transformado en cianato y de ahí, en dióxido de carbono. La cloración alcalina también puede generar **cloraminas** (NH₂Cl), o compuestos amoniacaes clorinados similares. La cloramina es menos tóxica que el CN⁻, pero es probable que se encuentre en concentraciones mucho más elevadas. El cianuro libre también reacciona con formas de azufre en los efluentes mineros, incluyendo los tiosulfatos, o iones de sulfite, para producir **tiocianatos** (SCN⁻).

Concentraciones relativamente altas de tiocianato pueden persistir en la presencia de soluciones ácidas. (Plumlee y otros, 1995) Se han reportado concentraciones de tiocianato en el rango de las décimas de miligramos por litro en las aguas de relave de cobre, con un pH superior a 10. Los cianuros libres formarán **cianógeno** (NC-CN) bajo condiciones ácidas si un oxidante, como los minerales de cobre oxidados, se encuentra presente. No se esperaría la formación de cianógeno donde las soluciones sean alcalinas, pero se podrían desarrollar si el drenaje ácido de rocas se formara, o si las soluciones ácidas fuesen a entrar en contacto con las soluciones que contengan cianuro.

Nitrato y Amoniaco

La descomposición química de muchos de los compuestos cianurados o relacionados con el cianuro antes mencionados, a menudo generan la formación de elevadas concentraciones de nitrato y/o amoniaco. Este último puede alcanzar concentraciones tóxicas para los organismos acuáticos

Mientras que muchas de las formas de cianuro inician su descomposición al entrar en contacto con el aire, el agua y la luz solar, estos mismos compuestos pueden persistir en el ambiente si se liberan durante el invierno cuando los lagos y arroyos pueden estar cubiertos de nieve o hielo, y cuando las temperaturas se reducen.

Toxicidad de los Compuestos Cianurados

Dadas las limitaciones de las técnicas analíticas de rutina para la detección del cianuro, y la presencia de formas de cianuro como resultado de la descomposición del mismo en las aguas de desecho, es procedente que una considerable incertidumbre existe sobre la toxicidad real de varias formas de cianuro para los organismos vivientes. Gran parte de esta incertidumbre existe porque las aguas relacionadas con el minería, por lo general contienen mezclas complejas de metales potencialmente tóxicos junto al cianuro compuestos relacionados. Y determinar cuales constituyentes químicos son los que en realidad ocasionan un efecto tóxico, puede ser muy difícil de constatar. En lugar de los datos específicos de toxicidad sobre los compuestos cianurados, es más común leer aseveraciones generales como las siguientes: “Los iones de cianato de hidrógeno y del cianato, son significativamente menos tóxicos que HCN,” y “El tiocianato es relativamente no tóxico, cuando se le compara con el cianuro.” (Smith and Mudder, 1993) En este contexto, el carácter tóxico de los compuestos resultantes de la descomposición del cianuro, es por lo general ignorado.

No hay criterios establecidos para la calidad del agua en la mayoría de las formas de derivados del cianuro encontradas en las aguas relacionadas con la minería. El criterio vigente en Agencia de Protección Ambiental de EEUU de la calidad del agua para el cianuro, es de 5.2 microgramos por litro para la vida dulceacuícola, y de 1.0 microgramos por litro para la vida acuática marina y la vida silvestre. (EPA, 1986) No obstante, no existen criterios para los compuestos relacionados con el cianuro, incluyendo el cianato, el tiocianato, el cloruro de cianuro y los complejos metalo-cianurados.

Toxicidad en Peces

El cuadro en las páginas 10 y 11, ilustra la toxicidad de los compuestos relacionados con el cianuro, derivados de la descomposición del cianuro que se pueden encontrar en los sitios mineros. Los argumentos sobre la toxicidad de cada uno de estos compuestos se enfocan en los peces, ya que estos son las especies más sensibles, y son perjudicadas por concentraciones bajas de cianuro. Por ejemplo, los peces mueren ante concentraciones de cianuro ubicadas en el rango del microgramo por litro, mientras que las muertes en aves y mamíferos ocurren bajo concentraciones ubicadas en el rango del miligramo por litro. Las elevadas toxicidades son descritas como aquellas concentraciones de cianuro que ocasionan la muerte de más del 50% de la población muestreada en un lapso de 96 horas. (Ingles and Scott, 1987).

La exposición crónica puede describirse como la exposición a concentraciones de cianuro poco menos que letales. Algunos efectos crónicos pueden dilatarse por 10 días después de un derrame individual. Además, la exposición crónica al cianuro puede afectar la reproducción, la fisiología y los niveles de actividad de muchas especies de peces, y puede hacer que el recurso pesquero sea inviable. Es desconocido el efecto acumulativo de los efectos tóxicos del HCN.

Toxicidad en Humanos

Stanton y otros (1986) establece que el HCN oralmente digerido es fatal para los humanos en dosis que oscilen entre 50 y 200 miligramos, algo así como el tamaño de un grano de arroz. El Dr. Gerry Henningsen, un toxicólogo de la Agencia de Protección Ambiental de los EEUU, reporta que las concentraciones de HCN por encima de 40-200 miligramos por litro, es factible que sean tóxicas para los mamíferos, humanos incluidos. Según numerosos documentos de la industria minera, el cianuro de sodio ha sido utilizado en la minería por décadas, y no se reporta ningún accidente fatal asociado con su uso. No obstante, en mayo de 1998, al menos una muerte fue constatada por oficiales del gobierno de Kirguistán a consecuencia de, o agravada por, el contacto con el cianuro que se derramó mientras era transportado hacia una mina en Kirguistán. (Ver el análisis del estudio del caso en la página 14.)

Gran parte de esta sección se sustenta en las siguientes referencias: Smith y Mudder, 1993; Departamento de Recursos Naturales de Colorado, Nov. 1997; Ingles y Scott, 1987; Flynn y Haslem, 1995; Scott y Ingles, 1981; y Stanton y otros, 1986. Estas y otras secciones fueron fortalecidas con las conversaciones telefónicas sostenidas con el Dr. Owen Mathre, químico consultor y antiguo investigador químico por más de 35 años con el E.I. DuPont, una de las principales manufactureras del cianuro comercial. Las secciones sobre toxicidad se sustentan mayoritariamente en Ingles y Scott, 1987; Eisler, 1991; Heming, 1989; y Palmes, 1991.

Factores que Inciden en la Toxicidad del Cianuro en Peces Dulceacuícolas

La concentración de cianuro: La toxicidad aumenta a medida que las concentraciones aumentan.

La concentración de oxígeno: La toxicidad del cianuro aumenta con cualquier disminución en el oxígeno disuelto por debajo del 100%.

La temperatura: La toxicidad se triplica con una disminución de 12°C en la temperatura.

pH: Una ligera disminución en la toxicidad se experimenta cuando el pH se encuentra por encima de 8.5 debido a la conversión a CN⁻.

Cloruro: La vida útil del cianuro disminuye si la concentración del cloruro es mayor a las 8.8 partes por mil.

Otros constituyentes disueltos: La presencia del zinc y el amoníaco da como resultado una mayor toxicidad aditiva.

Otros factores: La toxicidad también depende de la edad y salud de los peces, las cantidades de agua ingeridas, y el nivel de estrés del animal.

La Toxicidad del Cianuro y de los Compuestos Derivados de la Descomposición del Cianuro en Peces Dulceacuícolas

Cianuros libres: A los cianuros libres (el ión cianuro y el cianuro de hidrógeno) se les conoce bien por ser las formas derivadas del cianuro más tóxicas para los mamíferos y la vida acuática. Elavadas toxicidades en varias especies de peces oscilan entre 20 y 640 microgramos por litro. (Ingles y Scott, 1987) Las truchas más sensibles (la trucha arcoiris y la trucha café) generalmente exhiben elevadas toxicidades en el rango entre 20 y 80 microgramos por litro de cianuro libre. Se reportan efectos crónicos tóxicos en peces en el rango que oscila entre los 5 y 20 microgramos por litro.

Complejos metalocianurados: Los complejos metalocianurados son, por lo general, percibidos como menos tóxicos que los cianuros libres. No obstante, son menos conocidos. Estos complejos se descomponen para generar cianuro de hidrógeno, el cual es la causa común de toxicidad. Algunos complejos metalocianurados, incluyendo los de la plata, el cobre y el níquel, pueden ser tóxicos por sí mismos. Los complejos ferrocianurados no son particularmente tóxicos, pero liberan cianuros libres ante la exposición a la luz solar. Ingles y Scout (1987) reportan los siguientes rangos de toxicidad para complejos metalocianurados seleccionados: Cianuros de sodio y potasio 0.02-0.3 mg/L; cianuro de zinc 0.02-0.3 mg/L; Cianuro de cadmio 0.02-0.3 mg/L; cianuro de cobre 0.4-4.0 mg/L; cianuro de níquel 0.4 mg/L (6.5 pH) y 730 mg/L (8.0 pH); y cianuros de hierro 300 mg/L en la oscuridad y menos de 0.2 mg/L en la luz. Doudoroff (1976) establece que la toxicidad crónica de los complejos metalocianurados necesita ser investigada.

Compuestos orgánicos de cianuro: Estos compuestos varían considerablemente en su toxicidad; muy poca información se ha publicado con relación a su toxicidad en peces. Doudoroff (1976) establece que el nitrilo de malano, el cuál ha sido utilizado en la extracción del oro de los yacimientos, es acumulativamente tóxico a concentraciones similares a aquellas de los cianuros libres.

Cloruro de cianuro: El cloruro de cianuro es un tóxico intermedio que se forma cuando el hipoclorito se combina con el cianuro en soluciones alcalinas. Este compuesto puede ser incluso más tóxico que el cianuro libre (Doudoroff, 1976). Ingles y Scott (1987) sostienen que contiene casi la misma toxicidad del cianuro. No está claro si el cloruro de cianuro persiste en los desechos mineros alcalinos.

Cianatos: El cianato es la forma principal de cianuro que se desprende de la mayor parte de los procesos de la descomposición del cianuro empleadas en los sitios mineros. El cianato puede persistir en el agua por periodos significados e indefinidos. Ingles y Scott (1987) reportan que los cianatos son tóxicos para la trucha en concentraciones que oscilen entre 13-82 miligramos por litro.

Tiocianatos: Ingles y Scott (1987) reportan una toxicidad del tiocianato en peces que oscila entre 90 y 200 miligramos por litro. Heming y Thurston (1985) y Heming y otros (1985) reportan una toxicidad que oscila entre los 24 y los 70 miligramos por litro para la trucha de quebrada. Heming y Blumhagen (1989) reportan que el tiocianato causan "el síndrome de muerte súbita" en la trucha, parcialmente como respuesta al estrés, y porque se acumula —lo cuál indica lo contrario a lo que la literatura antes publicada señalaba.

Chloraminas: Las chloraminas son compuestos clorinados de amoniaco que son menos tóxicos que el CN⁻, pero es probable que se encuentren presentes en concentraciones mucho mayores. Las chloraminas se pueden formar como resultado de la cloración alcalina. La presencia de chloraminas es normalmente detectada a través del análisis de cloros residuales totales. El manual sobre los criterios de la EPA de EEUU para los organismos dulceacuícolas, establece que la concentración de cloros residuales totales, no debería exceder los 11-19 microgramos por litro. (EPA, 1986)

Amoniaco: El amoniaco es un producto de rutina que se encuentra en dondequiera que ocurra el procesamiento de descomposición del cianuro. Es el único compuesto relacionado con el cianuro, discutido en el transcurso de este reporte, que si se encuentra regulado por las agencias estatales y federales. Se le considera tan tóxico para los peces como lo es el cianuro. La Agencia para la Protección del Ambiente de EEUU (1986) señala que el amoniaco es tóxico para los peces a concentraciones que oscilen entre 0.083 y 4.6 miligramos por litro. Algunos datos indican que el efecto combinado del amoniaco y el cianuro es mayor que el que asume a partir de sus toxicidades individuales.

Monitoreo y Análisis del Cianuro en Sitios Mineros

“A pesar de su importancia crítica, el análisis para la detección del cianuro en las soluciones encontradas en sitios mineros, sigue siendo una fuente de preocupación y confusión tanto para los operadores como para los entes reguladores.”
(Smith and Mudder, 1993)

La gran reactividad del cianuro y de compuestos relacionados, hacen que los análisis de muestras sean difíciles y que los datos resultantes sean objeto de errores significativos. Además, las muestras de agua de los sitios mineros son comúnmente analizados para tan sólo tres formas de cianuro: cianuros libres, cianuros disociables en ácido débil (DAD); y cianuros totales.

Métodos Analíticos para la Detección del Cianuro

El método analítico para los “cianuros libres” reporta la suma de ambas formas de cianuros libres —el ión (CN-) y el hidrógeno de cianuro (HCN), además del cianuro de la descomposición de muchos de los complejos débiles (los cuales no incluye los complejos de níquel, hierro, cobalto, oro, platino y paladio). El método para la detección del “cianuro DAD” mide la presencia de cianuros libres junto con muchos de los complejos cianurados débiles que se descomponen en una solución caliente ligeramente ácida —con un pH cercano a 4.5.

El análisis de “cianuros totales” mide la presencia formas de cianuros libres y de cianuros de DAD, además de los metales complejos que se descomponen en una solución ácida concentrada y caliente (pH inferior a 1.0). Este incluye a la mayoría de los complejos metalocianurados, incluyendo los complejos más fuertes. Pero este método puede no detectar muchos de los compuestos orgánicos de cianuro. (Aunque los compuestos orgánicos de cianuro no se reportan en concentraciones significativas en los sitios mineros, no está claro si las muestras de cianuro han sido analizadas adecuadamente para determinar la presencia de estos compuestos.)

Tanto los métodos para la detección de cianuros DAD como los de cianuros totales son imprecisos en detectar muchas formas de cianuro o de compuestos relacionados con el cianuro, los cuales, es muy factible que se encuentren en los sitios mineros. El método para la detección de cianuros DAD, por ejemplo, falla en la detección de cianatos, tiocianatos, cloruro de cianuro, cloramidas, la mayoría de los cianógenos y la mayoría de los compuestos organo-cianurados, la mayoría de los complejos de oro, platino y cobalto, y más importantemente, los complejos ferrocianurados. El método para la detección de cianuros totales es impreciso en detectar la presencia de cianatos, tiocianatos, cloramidas, la mayoría de los compuestos orgánicos, y la mayoría de los complejos metalocianurados de cobalto y platino.

De este modo, ni el método de cianuro DAD, ni el de cianuros totales, miden la concentración total de cianuro y formas relacionadas. Si uno desea determinar, por ejemplo, la concentración de cianatos y/o de tiocianatos, los análisis específicos para estos parámetros se deben solicitar de un laboratorio.

La mayoría de las agencias reguladoras requieren que las muestras de agua sean analizadas para detectar la presencia de formas de cianuros DAD y/o cianuros totales, en especial durante el cierre de la mina. Las otras formas relacionadas con el cianuro, discutidas a lo largo de este reporte, empero, son por lo general obviadas.

Debido a las complejidades e incertidumbres involucradas en el análisis del cianuro mencionadas con anterioridad, no es usualmente razonable interpretar los datos analíticos del cianuro a una precisión mayor a $\pm 0.005\text{mg/L}$, o incluso a $\pm 0.01\text{mg/L}$ en muchos casos. Las concentraciones reportadas por debajo de estos niveles son a menudo poco significativas, excepto bajo condiciones de investigación.

*Gran parte de esta sección ha sido tomada de la
American Public Health Assoc., 1995, sección 4500-CN.;
y de Smith y Mudder, 1993.*

Caso de Estudio: El Derrame de Cianuro en Kirguistán

El 20 de mayo de 1998, un camión que transportaba cianuro hacia la mina de oro de Kumtor en Kirguistán, se desplomó de un puente, derramando cerca de 1762 kilogramos (kg) de cianuro de sodio en un río, aguas arriba de varias villas. (El material que se derramó fue una forma concentrada de cianuro y no relaves con contenido de cianuro o aguas de rociado de montículos. Este incidente ilustra muchos de los problemas ambientales y reguladores discutidos a lo largo del presente informe.) En cuestión de días después del derrame, cientos de residentes locales buscaron tratamiento en clínicas médicas. Según un reporte del Ministerio de Defensa de la Federación Rusa, al menos una muerte humana se relacionó con el derrame de cianuro. La compañía minera y algunos oficiales de gobierno de Kirguistán, el cuál es el propietario mayoritario de la mina, argumentó que pocos impactos significativos habían ocurrido para los organismos vivientes, o para el ambiente en general, como resultado del derrame.

De acuerdo con el Dr. Owen Mathre, un antiguo investigador químico del E.I. DuPont, la disolución de aproximadamente 1,800 kg (cerca de 2 toneladas) de cianuro de sodio bajo estas condiciones, requeriría probablemente de varias horas para completarse. Ya que el pH del río previo al derrame, era probablemente inferior a 9.0, la mayoría del cianuro disuelto habría formado HCN, un gas tóxico que se hubiese esparcido por el aire. En unas pocas horas después del accidente, se aplicó hipoclorito de sodio a aquellas áreas cercanas al derrame, para descomponer el cianuro. Sin embargo, la aplicación de este químico en áreas cercanas al sitio del derrame, sin embargo, probablemente resultaría en la formación de cianato y cloruro de cianuro –compuestos relacionados con el cianuro que son tóxicos para los organismos acuáticos. El cloruro de cianuro es un metal pesado que pudo haberse transportado a grandes distancias del sitio del derrame, y se le conoce por causar irritación de ojos y garganta en los trabajadores mineros. Por lo tanto, este compuesto, junto con la presencia de gas amoníaco, pudo haber contribuido con algunos de los padecimientos médicos de los ciudadanos locales.

Las muestras de aguas recolectadas a unos 20 metros del sitio del derrame (presumiblemente aguas abajo) a unas pocas horas de ocurrido el accidente, contenía hasta 79.5 mg/L de cianuros libres, el cuál fue la única forma de cianuro reportada. Sin embargo, ya que las técnicas analíticas convencionales para la detección del cianuro son imprecisas en la detección de varias formas de cianuro y de compuestos cianurados, las concentraciones registradas no incluirían el cianuro de muchos de los complejos metalocianurados más fuertes, ni incluirían los productos tóxicos resultantes de la descomposición del cianuro en cianatos, tiocianatos, cianógeno y cloruro de cianuro, o rastros de concentraciones de amoníaco o cloraminas. Todos estos compuestos se pudieron haber formado después del derrame, y todos ellos son tóxicos para los organismos acuáticos. Además, no queda claro si alguna de las muestras recolectadas más temprano, fueron recolectadas antes de la aplicación del hipoclorito de sodio. De este modo, los datos disponibles del derrame de cianuro en Kirguistán, dan una imagen incompleta de las formas tóxicas potenciales de cianuro que estuvieron presentes en el sitio del derrame.

Conclusión

Mientras que mucho del cianuro presente en las aguas relacionadas con procesos mineros se descompone en compuestos predominantemente inoos, concentraciones significativas de otros compuestos potencialmente tóxicos que son resultado de la descomposición del cianuro, pueden persistir. Estos compuestos presentan el mayor riesgo para especies sensibles de peces dulceacuícolas. Tales compuestos incluyen muchos complejos metalocianurados, cianatos, tiocianatos, cianógeno, cloruro de cianuro, cloraminas, amoniaco y nitrato.

Portillos existentes en los Parámetros y Análisis

No existen parámetros reguladores para la mayoría de estos constituyentes potencialmente tóxicos, con excepción del amoniaco y el nitrato. La mayoría de las agencias estatales y federales, solicitan que las muestras de aguas relacionadas con la minería sean analizadas, utilizando los métodos de cianuros DAD y de cianuros totales solamente. Ninguno de los dos métodos detecta la mayoría de los compuestos relacionados con el cianuro que probablemente estén presentes en el sitio minero. Una muestra de aguas de relave o del rociado de montículos, puede fácilmente contener una concentración de cianuros DAD no inferior a los 0.05 mg/L, y aún así, contiene concentraciones de cianato y tiocianato que son potencialmente tóxicas para los peces.

Los Riesgos en Países en Desarrollo

No solo hay portillos en las reglamentaciones estadounidenses sobre la calidad del agua pertinentes al cianuro y a los compuestos cianurados, sino que problemas aún más substanciales existen en países en vías de desarrollo de África, Asia y América Latina. En estos países, los ríos contaminados con desechos mineros pueden ser utilizados como una fuente de agua potable.

En muchos países en desarrollo, la supervisión y cumplimiento de las regulaciones mineras, son, a menudo, bastante laxas, y las operaciones son a menudo propiedad, al menos parcial, del gobierno, lo cual crea conflictos de interés. Por lo tanto, esto hace aún más difícil que un cumplimiento razonable de las regulaciones asociadas con el uso del cianuro se efectúe.

Referencias

- American Public Health Assoc., 1995, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 19th edit., Amer. Publ. Health Assn., Washington. D. C.
- Colorado Dept. of Natural Resources, Nov.1997, Guidelines for the Characterization, Monitoring, Reclamation and Closure of Cyanide Leaching Projects-” Cyanide Guidelines for Colorado,” Draft, in press: Colo. Div. of Mines and Geology, Denver, CO.
- Doudoroff, P. ,1976, Toxicity to fish of Cyanides and Related Compounds: a review. U.S. EPA, Office of Research and Development, Duluth, Minn., 155p.
- Eisler, R., 1991, Cyanide Hazards to Fish, Wildlife, and Invertebrate: A Synoptic Review: Contaminant Hazard Review report 23, U. S. Dept. Interior, Fish and Wildlife Service, 55pg.
- Flynn, C. M. and S. M. Haslem, 1995, Cyanide Chemistry-Precious Metals Processing and Waste Treatment: U. S. Bureau of Mines Information Circular 9429; 282 pg.
- Heming, T., R.V. Thurston, E. L. Meyn, and R. Zajdel, 1985, Acute Toxicity of Thiocyanate to Trout: Trans. Am. Fish Soc., V.114, p. 895-905.
- Heming, T. and R.V. Thurston,1985, Physiological and Toxic Effects of Cyanides to Fishes: a Review and Recent Advances, in Cyanide and the Environment, Proc. of a Conf., D. Van Zyl (ed.), Dec. 1984,Colo. State Univ., Ft. Collins.CO, Geotechn. Engineering Program, Dept. Civil Engineering, v. 1, p 85-104.
- Heming, T. A. and K. A. Blumhagen, 1989, Factors Influencing Thiocyanate Toxicity in Rainbow Trout *Salmo gairdneri*: Bull. Environ. Contam. Toxicol. V. 43, p. 363-369.
- Ingles, J. and J. S. Scott, 1987, State-of -the-Art Processes for the Treatment of Gold Mill effluents: Industrial Programs Branch, Environment Canada, Ottawa, ON.
- Palmes, John, 1991, Cyanide: A Review of Literature on the Toxicity of Cyanide to Fish and Wildlife Related to Its Use in Mining: Alaska Dept. of Fish and Game, unpublished internal document, available at: Alaska Dept. of Fish and Game, Habitat Div., P.O. Box 25526, Juneau, AK 99802 , p.47-57.
- Plumlee, G. S., K. Smith, E. Mosier, W. Ficklin, M. Montour, P. Briggs, and A. Meier, 1995, Geochemical Processes Controlling Acid-Drainage Generation and Cyanide Degradation at Summitville: in Proc., Summitville Forum, Colo. Geological Survey Special Publication 38, p. 23-34.
- Scott, J. S. and J. Ingles, 1981, Removal of Cyanide From Gold Mill Effluents: Proc., Canadian Mineral Processors Thirteenth Ann. Mtg., Jan. 1981, Ottawa, ON.
- Smith, A. and T. Mudder, 1993, The Environmental Geochemistry of Cyanide: in Reviews in Economic Geology, V.6, Soc. of Economic Geologists, G. S. Plumlee and M. H. Logsdon (eds.).
- Stanton M. D.; T. A. Colbert; and R. B. Trenholme, 1986, Environmental Handbook for Cyanide Leaching Projects: U.S. National Park Service, 57 pg.
- U. S. Environmental Protection Agency, 1986, Quality Criteria for Water 1986: U.S.EPA, Office of Water Regulations and Standards, Washington, D.C.

Reconocimientos

El Centro de Políticas Minerales y el Dr. Moran quisieran agradecer a las siguientes personas quienes revisaron varios borradores para la elaboración de este reporte: Glenn Miller, Ph.D., Universidad de Nevada en Reno, Reno, Nevada; David Chambers, Ph.D., Director Ejecutivo del Centro para la Ciencia en la Participación Pública, Bozeman, Montana; Tom Hemming, Ph.D., Profesor Asociado, Instituto Biomédico Marino, Galveston, Texas; y Carolyn Harper, Ph.D., Agencia para las Sustancias Tóxicas y Registro de Enfermedades, Atlanta, Georgia.

Sobre el Autor

Robert Moran, Ph.D., es un consultor geoquímico e hidrogeólogo con más de 26 años de experiencia internacional y doméstica en la conducción y manejo de proyectos para inversionistas privados, clientes industriales, grupos tribales y ciudadanos, organizaciones no gubernamentales, bufetes de abogados y agencias de gobierno. Gran parte de su experticia técnica incluye la calidad del agua y la geoquímica de aguas naturales y contaminadas y sedimentos relacionados con la minería, los sitios de reciclaje de combustible nuclear, desarrollo industrial, recursos geotérmicos, desperdicios peligrosos, y en el desarrollo del suministro de agua. Además, el Dr. Moran cuenta con amplia experiencia en la aplicación de sensores remotos para asuntos relacionados con los recursos naturales, para el desarrollo de políticas energéticas, y en el apoyo legal. El ha laborado para la División de Recursos Acuáticos de la U.S. Geological Survey, para varias firmas consultoras, y como consultor privado. Ha trabajado en Senegal, Guinea, Gambia, Omán, Pakistán, México, Perú, Chile, Canadá, y los Estados Unidos. El Dr. Moran recibió su doctorado de la Universidad de Texas, Austin. Se le puede contactar vía internet en la siguiente dirección: remoran@aol.com.

Centro de Políticas Minerales

El Centro de Políticas Minerales (CPM) es una organización ambiental sin fines de lucro dedicada a proteger a las comunidades y al ambiente de los impactos de la minería irresponsable. Los programas y actividades del Centro de Políticas Minerales (CPM) incluyen investigaciones relacionadas con la minería y alcance público, apoyo a las reformas reguladoras y legislativas a las leyes de minería; así como, la asistencia técnica y la organización comunal. El trabajo del CPM se sustenta a través de nuestras membresías, donaciones privadas, y del financiamiento de fundaciones. Únase al CPM y ayude a proteger nuestra tierra, agua, vida silvestre y recursos naturales para las futuras generaciones. Las donaciones son deducibles de impuestos.

La oficina principal del Centro de Política Mineral se ubica en 1612 K Street, N.W., Suite 808, Washington, D.C. 20006. Tel: 202-887-1872; Fax: 202-887-1875; E-mail: mpc@mineralpolicy.org. Visite nuestro sitio Web: www.mineralpolicy.org

El Centro cuenta con oficinas regionales en Durango, Colorado y en Bozeman, Montana.