

## 1. EFECTOS DEL CIANURO EN LA SALUD HUMANA (fuente: CAEM)

El cianuro es producido por el cuerpo humano y exhalado en pequeñas concentraciones con cada respiración. Más de mil plantas también lo producen, como el sorgo, el bambú y la casava (mandioca). Concentraciones relativamente bajas de esta sustancia pueden ser tóxicas para los seres humanos, la flora y la fauna.

El cianuro es fuertemente tóxico para los humanos. El cianuro de hidrógeno líquido o gaseoso y las sales alcalinas del cianuro pueden ingresar al cuerpo por inhalación, ingestión o absorción a través de los ojos y la piel. El nivel de absorción de la piel aumenta cuando ésta se encuentra cortada, deteriorada o húmeda. Las sales de cianuro se disuelven con facilidad y se absorben al entrar en contacto con las membranas mucosas.

El grado de toxicidad del cianuro de hidrógeno (HCN) para los humanos depende del tipo de exposición. Como el cuerpo humano reacciona de formas diversas a una misma dosis, se considera que la toxicidad de una sustancia está expresada como la concentración o dosis que resulta letal para el 50% de los individuos expuestos. (LC50 o LD50). La concentración letal de cianuro de hidrógeno gaseoso (LC50) es de 100-300 partes por millón. La inhalación de esos niveles de cianuro causa la muerte en 10 a 60 minutos, teniendo en cuenta que cuanto más alta es la concentración más rápido se produce la muerte. La inhalación de 2.000 partes por millón de cianuro hidrogenado puede ser fatal en tan solo un minuto. El valor LD50 por ingestión del cianuro de hidrógeno es de 50-200 miligramos, o de 1-3 miligramos por kilo de peso. En contacto con la piel normal, el valor LD50 es de 100 miligramos por kilo de peso.

Si bien el tiempo de exposición, la forma de exposición y la dosis pueden variar, la acción bioquímica del cianuro es la misma una vez que ingresa en el cuerpo. Una vez que se encuentra en el torrente sanguíneo, el cianuro forma un complejo estable de citocromo oxidasa, una enzima que promueve el traspaso de electrones a las mitocondrias de las células durante la síntesis de trifosfato de adenosina (ATP). Si la citocromo oxidasa no funciona correctamente las células no consiguen aprovechar el oxígeno del torrente sanguíneo, lo que causa hipoxia citotóxica o asfixia celular. La falta de oxígeno provoca que el metabolismo cambie de aerobio a anaerobio, lo que conlleva a la acumulación de lactato en la sangre. El efecto conjunto de la hipoxia y la acidosis láctica provoca una depresión en el sistema nervioso central que puede causar paro respiratorio y resultar mortal. En concentraciones más altas, el envenenamiento por cianuro puede afectar otros órganos y sistemas del cuerpo, incluso el corazón.

Los síntomas iniciales del envenenamiento pueden aparecer tras la exposición a concentraciones de entre 20 y 40 p.p.m. de hidrógeno de cianuro gaseoso, y pueden revelarse como dolor de cabeza, somnolencia, vértigo, ritmo cardíaco rápido y débil, respiración acelerada, enrojecimiento facial, náusea y vómito. Estos síntomas pueden estar acompañados por convulsiones, dilatación de las pupilas, piel fría y húmeda, ritmo cardíaco aún más rápido y respiración superficial. En el tramo final y más agudo del envenenamiento, las pulsaciones se vuelven lentas e irregulares, la temperatura corporal comienza a descender, los labios, la cara y las extremidades toman un color azulado, el individuo cae en coma y muere. Estos síntomas pueden ocurrir ante una exposición sub-letal al cianuro, pero disminuirán los efectos si el cuerpo comienza a desintoxicarse y expulsa la sustancia como tiocianato, 2 amino tiazolina, 4 ácido carboxílico, con otros metabolitos menores.

El cuerpo posee diversos mecanismos para expulsar el cianuro de forma efectiva. El cianuro reacciona con el tiosulfato y produce tiocianato en reacciones catalizadas por enzimas de azufre como la rodanasa. El tiocianato es liberado por la orina en cuestión de días. Si bien el tiocianato es siete veces menos tóxico que el cianuro, en concentraciones altas provenientes de una

exposición crónica al cianuro puede afectar la glándula tiroides. El cianuro tiene más afinidad por la metahemoglobina que por la citocromo oxidasa, y juntos forman cianometahemoglobina. Si estos u otros mecanismos de desintoxicación no son superados por la concentración de cianuro y el tiempo de exposición a la que el cuerpo estuvo expuesto, se puede evitar que el envenenamiento por cianuro sea fatal.

Algunos de los antídotos disponibles hacen uso de estas defensas naturales que posee el cuerpo. El tiosulfato de sodio, que se administra en forma intravenosa, provee al organismo el azufre necesario para mejorar la transformación del cianuro en tiocianato. El nitrito amílico, el nitrito sódico y el dimetil aminofenol (DMAP) son usados para aumentar la cantidad de metahemoglobina en la sangre, que, al mezclarse con el cianuro, forma cianometahemoglobina no tóxica. También se utilizan compuestos de cobalto para crear complejos no tóxicos y estables de cianuro, pero tal como sucede con el nitrito y el dimetil aminofenol el cobalto es tóxico.

El cianuro no se acumula ni se biomagnifica, por lo que exposiciones prolongadas a concentraciones subletales de cianuro no necesariamente causarían intoxicación. Sin embargo, se ha detectado envenenamiento crónico en individuos que consumen cantidades importantes de plantas que contienen cianuro como la casava. La exposición prolongada al cianuro provoca lesiones en el nervio óptico, ataxia, hipertensión, desmielinización, neuropatía óptica de Leber, bocio y bajas en la función tiroidea. No existen evidencias de que la exposición prolongada al cianuro tenga efectos teratógenicos, mutagénicos o cancerígenos en los seres vivos.

## 2. EL CIANURO EN EL MEDIO AMBIENTE

Existen ciertas bacterias, algas y hongos que producen cianuro en forma natural. También muchas especies del mundo vegetal, como los granos (café, garbanzos), las frutas (semillas, pepitas y huesos de manzana, cereza, pera, damasco, durazno y ciruela), las almendras y nueces de cajú, los vegetales de la familia de las coles, los cereales (mijo, sorgo), las raíces (casava, papa, rábano y nabo), los tréboles blancos y los brotes de bambú. Los procesos de combustión incompleta en los incendios forestales son una fuente importante de cianuro, así como también de los artículos que contienen nylon, que producen cianuro a través de la despolimerización.

Una vez que se encuentra en el medio ambiente, la reactividad del cianuro provee numerosos caminos para degradarlo y atenuar sus efectos:

### Complejación

El cianuro forma compuestos iónicos de estabilidades varias con muchos metales. La mayoría de estos compuestos son menos tóxicos que el cianuro en estado puro; sin embargo, los compuestos ácidos disociables débiles como los de cobre y zinc son inestables y devuelven el cianuro al medio del que provino. Los complejos de cianuro de hierro son importantes debido a la abundancia de hierro en el suelo y la estabilidad que tiene este compuesto en la mayoría de las condiciones ambientales. Sin embargo, el cianuro de hierro está supeditado a la descomposición fotoquímica y puede liberar el cianuro si se lo expone a rayos ultravioleta. Los complejos metálicos de cianuro también están sujetos de diversas reacciones que pueden reducir las concentraciones de cianuro en el ambiente, como se explica a continuación.

### Precipitación

Los compuestos de cianuro y hierro forman precipitados insolubles al combinarlos con hierro, cobre, níquel, manganeso, plomo, zinc, cadmio, estaño y plata. El cianuro de hierro forma precipitados con hierro, cobre, manganeso, cadmio y zinc con pH de 2 a 11.

#### Absorción

Los complejos de cianuro y de cianuro con metales son absorbidos por los componentes orgánicos e inorgánicos del suelo, incluso por los óxidos de aluminio, hierro y manganeso, ciertos tipos de arcilla, feldespatos y carbón orgánico. Aunque el poder de retención del cianuro en materia inorgánica no es muy conocido, el cianuro está fuertemente relacionado con la materia orgánica.

#### Cianato

La oxidación del cianuro a un cianato menos tóxico requiere la presencia de un fuerte agente oxidante como el ozono, el peróxido de hidrógeno o el hipoclorito. Sin embargo, la absorción de cianuro por la materia orgánica e inorgánica del suelo suele mejorar la oxidación en circunstancias normales.

#### Tiocianato

El cianuro forma tiocianato menos tóxico al reaccionar con algunos sulfuros. Algunas fuentes potenciales de sulfuros son el azufre en estado libre y los minerales sulfúricos como la calcopirita ( $\text{CuFeS}_2$ ), la calcosita ( $\text{Cu}_2\text{S}$ ) y la pirrotina ( $\text{FeS}$ ), como así también con sus productos oxidados, tales como los polisulfuros y los tiosulfatos.

#### Volatilización

En los pH más comunes del ambiente, el cianuro toma la forma de cianuro de hidrógeno, con cianuro de hidrógeno gaseoso evolucionando lentamente con el tiempo. La cantidad de cianuro que se pierde en este proceso se incrementa con menores valores de pH, con mayor aireación de la solución y con temperaturas altas. También se pierde cierta cantidad de cianuro por volatilización de la superficie del suelo.

#### Biodegradación

En condiciones aerobias, la actividad microbiana convierte al cianuro en amoníaco, que a su vez se convierte en nitrato. Este proceso ha resultado efectivo con concentraciones de cianuro de hasta 200 partes por millón. Si bien también existe degradación biológica en condiciones anaerobias, las concentraciones de cianuro mayores a 2 partes por millón son menos tóxicas para estos microorganismos.

#### Hidrólisis

El cianuro de hidrógeno puede ser hidrolizado a ácido fórmico o formiato de amonio. Si bien la reacción no es inmediata, es significativa en aguas freáticas en condiciones anaerobias.

### 3. EFECTOS SOBRE LA FAUNA

Si bien el cianuro reacciona con rapidez en el medio ambiente y se degrada o forma complejos y sales de estabilidades variables, es tóxico para muchos organismos vivientes, incluso en concentraciones muy bajas.

#### Organismos y animales marinos

Los peces y los invertebrados marinos son especialmente sensibles a la exposición al cianuro. Concentraciones de cianuro libre en el ambiente marino que oscilan entre 5,0 y 7,2 microgramos por litro reducen la capacidad nadadora e inhiben la reproducción de muchas especies de peces. Otros efectos adversos pueden ser mortalidad retardada, patologías, respiración entrecortada, alteraciones osmoregulatorias y alteraciones del crecimiento. En concentraciones de 20 a 76 microgramos por litro, el cianuro es mortal para una gran cantidad de especies, y en concentraciones que superen los 200 microgramos por litro el efecto tóxico es rápido para la

mayoría de las especies marinas. Los invertebrados experimentan efectos no letales adversos si son expuestos a concentraciones de entre 18 y 43 microgramos por litro de cianuro libre, y efectos letales entre 30 y 100 microgramos por litro .

Las algas y las macrofitas son capaces de tolerar concentraciones de cianuro aún más altas que las que toleran los peces y los invertebrados, y no demuestran efectos adversos a 160 microgramos por litro o más. Las plantas acuáticas parecen inmunes al cianuro incluso en concentraciones que resultan mortales para la mayor parte de los peces marinos, de agua dulce e invertebrados. Por otro lado, el cianuro puede llegar a afectar la estructura de las plantas.

El efecto tóxico del cianuro para la vida marina es probablemente causado por el cianuro de hidrógeno que ha sido ionizado, disociado o descompuesto fotoquímicamente por compuestos que contienen cianuro. Los efectos tóxicos de los iones de cianuro para los organismos acuáticos no resultan significantes, así como tampoco lo son las reacciones de la fotodisociación del ferrocianuro y del ferricianuro. Son los efectos de la concentración de cianuro de hidrógeno del agua y no la concentración total de cianuro, los que resultan de suma importancia a fin de determinar el grado de toxicidad para la vida marina.

La sensibilidad de los organismos marinos al cianuro es específica de cada especie y se ve afectada por el pH, la temperatura y los niveles de oxígeno del agua, así como también por la etapa de vida y la condición del organismo.

#### Aves

El valor LD50 para las aves oscila entre 0,8 miligramos por kilo de peso (palomas mensajeras americanas) y 11,1 miligramos por kilo de peso (pollos de corral). La mayoría de las especies más sensibles tuvieron alguno de los síntomas (agitación, parpadeo, salivación y letargo), entre medio minuto y cinco minutos después de haber ingerido la sustancia, mientras que las especies más resistentes tardaron hasta diez minutos en sufrir alguno de los síntomas. Todas las especies expuestas a dosis altas experimentaron respiración forzada y profunda seguida de agitación y respiración cada vez más superficial. Si bien en la mayoría de los casos la muerte ocurrió entre 15 y 30 minutos, las aves que sobrevivieron por más de una hora a los efectos del cianuro se recuperaron, posiblemente gracias a la metabolización del cianuro a tiocianato y su consiguiente excreción.

La ingestión de soluciones de cianuro WAD puede provocar mortalidad retardada en las aves. Puede suceder que aunque las aves beban agua que contiene cianuro WAD no mueran inmediatamente, pero puede haber una descomposición en el medio ácido del estómago y producirse cantidades suficientes de cianuro que resultan tóxicas.

Los efectos subletales por exposición al cianuro en las aves, como susceptibilidad a los predadores, no han sido totalmente investigados o informados.

#### Mamíferos

Los efectos tóxicos del cianuro en los mamíferos son relativamente comunes debido a la vasta cantidad de plantas de forraje que contienen cianuro, como el sorgo, la hierba del Sudán y el maíz. Los niveles de cianuro que poseen estas plantas suelen aumentar en épocas de florecimiento. Las zonas áridas y el aumento en el uso de estas plantas como forraje favorecen la acumulación de glucósidos cianogénicos en ciertos vegetales.

El valor LD50 para los mamíferos oscila entre 2,1 miligramos por kilo de peso (coyote) y 6,0-10,0 miligramos por kilo de peso (ratones blancos de laboratorio). Entre los diez primeros minutos luego de la ingestión se comienzan a detectar los síntomas de envenenamiento: excitación

acompañada por temblores musculares, salivación, lagrimeo, defecación, micción, respiración dificultosa seguidos de descoordinación muscular, agitación y convulsiones. En general, los efectos del cianuro descienden del ganado vacuno a ganado ovino a caballos y luego a ganado porcino, siendo el ganado vacuno el que más sufre los efectos del cianuro; los ciervos y los alces suelen ser relativamente resistentes a los efectos.

Si bien el cianuro está presente en el medio ambiente y en varias plantas, su toxicidad no se ha extendido debido a varios factores: El cianuro no persiste por mucho tiempo en el medio ambiente y no se acumula en el organismo de los animales que han sido estudiados.

No se han encontrado evidencias acerca de la biomagnificación del cianuro en la cadena alimenticia. Si bien la intoxicación crónica por cianuro existe, su toxicidad es baja. Las dosis subletales reiteradas rara vez tienen efectos acumulativos adversos. Muchas especies son capaces de tolerar dosis altas e intermitentes de cianuro por largos períodos.