

Tierra Limpia, Agua Limpia... ¡Usted Escoge!

Por C.F. 'Chubb' Michaud, CWS-VI

“**D**e polvo eres y en polvo te convertirás.” Todos conocemos esta frase comúnmente utilizada que proviene del *Libro de Oración Común* (basado en *Génesis 3:19*). En cierta manera, el autor de estas palabras tenía un entendimiento único de las *Leyes de Conservación de la Masa y Energía* que no serían descubiertas hasta más de mil años después. El hombre no puede crear ni materia ni energía de la nada. Solamente puede cambiar su forma. De igual manera, nunca puede destruir ni la materia ni la masa. Todas las moléculas permanecerán, aunque de una forma diferente de exactamente los mismos elementos.

Todo se recicla

Tomemos como ejemplo un simple árbol. El árbol toma dióxido de carbono (CO_2) del aire, lo combina con agua (H_2O), y a través del milagro de la fotosíntesis (energía solar), suelta oxígeno (O_2) y genera celulosa ($\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$), la materia de la que están hechas las plantas. Lo llamamos un carbohidrato. Los almidones y las azúcares son también carbohidratos y todos comparten exactamente la misma fórmula que la celulosa. Si comemos carbohidratos como fuente de alimentos o si quemamos la leña del árbol como fuente de combustible, recombina el carbohidrato con O_2 del aire y enviamos el CO_2 y H_2O de vuelta a la naturaleza al mismo tiempo que se libera la energía original del sol como calor. No se ha ganado nada. No se ha perdido nada. Esa es la Ley.

El agua es un gran limpiador. La usamos para lavar nuestra ropa, nuestros platos, y para limpiarnos a nosotros mismos. La Madre Naturaleza la utiliza para restregar la tierra y el cielo. Sin embargo, durante este proceso, el agua puede resultar contaminada.

La humedad atmosférica se condensa en partículas diminutas antes de precipitarse en forma de lluvia o nieve, y limpia la atmósfera eliminando los gases acumulados (principalmente CO_2) además de los óxidos de azufre y nitrógeno (que también forman ácidos) y otros desperdicios. “Tan puro como la lluvia” es una descripción un tanto incorrecta. La lluvia es en realidad un ácido diluido con un pH alrededor de 5.5 y a menudo contiene

hasta 50 ppm de sólidos disueltos totales (SDTs), incluyendo el calcio, magnesio, sodio, sulfato, cloruro, y silicio (que es lixiviado de las partículas de polvo), además de bicarbonato y CO_2 . Probablemente ha notado que cuando cae la lluvia sobre su carro recientemente lavado y encerado, quedan manchas al evaporarse. Después de unos cuantos días de lluvia, los SDTs disminuyen a más o menos 5 ppm, lo cual es en su mayoría ácido carbónico (H_2CO_3)—la combinación de CO_2 y H_2O .

La mayoría de la precipitación corre sobre la superficie y es colectada en ríos, corrientes de agua, estanques y lagos, y se conoce como agua superficial. Parte de ella se filtra y se convierte en agua de pozo o agua de manantial, también conocida como agua subterránea. El exceso de CO_2 tiende a evaporarse de los cuerpos de agua superficial, por lo que ésta tiene un pH más

cercano del neutro, generalmente tiene un menor contenido de SDTs, un contenido un poco mayor de oxígeno disuelto, y típicamente no tiene nada de hierro con baja dureza. Por el contrario, el agua subterránea es neutralizada por el suelo, por lo que típicamente tiene un mayor contenido de SDTs, dureza y cualquier otra cosa que esté disponible en el suelo. Esa es la parte que debe preocuparlo a uno.

La corteza terrestre—la parte del planeta en que vivimos—tiene un grosor de 20 a 30 millas (30 a 50 km) p[ero solamente constituye menos del uno por ciento del volumen de la Tierra. Está compuesta principalmente de óxidos metálicos y no metálicos (Tabla 1).

Los óxidos metálicos forman bases en el agua (Reacción 1), mientras que los óxidos no metálicos tienden a formar ácidos (Reacción 2). Estos ácidos y bases reaccionan para formar otras sales y agua (Reacción 3). Afortunadamente

los óxidos (silicio, aluminio y hierro constituyen casi el 85 por ciento) que forman la superficie de la Tierra son moderadamente solubles en agua. De otra manera, todos tendríamos aletas. Sin embargo, dado un período de tiempo de cientos de millones de años y la naturaleza ácida de la precipitación, los elementos son lentamente lixiviados de la corteza terrestre y se convierten en parte del agua subterránea.

Los elementos listados en la Tabla 1 constituyen el 99.6 por

Tabla 1. Elementos principales de la corteza terrestre¹

Elemento	Símbolo	Porcentaje por volumen	Porcentaje acumulativo
oxígeno	O	46.60	46.60
silicio	Si	27.72	74.32
aluminio	Al	8.13	82.45
hierro	Fe	5.00	87.45
calcio	Ca	3.63	91.08
sodio	Na	2.83	93.91
potasio	K	2.59	96.50
magnesio	Mg	2.09	98.59
titanio	Ti	0.44	99.03
hidrógeno	H	0.14	99.17
fósforo	P	0.12	99.29
manganeso	Mn	0.10	99.39
flúor	F	0.08	99.47
azufre	S	0.05	99.52
cloro	Cl	0.05	99.57
carbono	C	0.03	99.60

Reacción 1: $\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca(OH)}_2$
óxidos metálicos y agua producen bases

Reacción 2: $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{CO}_3$
óxidos no metálicos y agua producen ácidos

Reacción 3: $\text{Ca(OH)}_2 + \text{H}_2\text{CO}_3 \rightarrow \text{Ca(HCO}_3)_2 + \text{H}_2\text{O}$
base mas ácido produce sal mas agua

ciento de la superficie total de la Tierra. Lo que nos preocupa es lo que constituye el otro 0.4 por ciento. El 0.4 por ciento es 4,000 ppm y muchos otros componentes que constituyen la corteza terrestre son tóxicos tan sólo a una cuantas partes ¡por billón!

Solamente porque no aparece en el análisis del agua no quiere decir que no esté presente

Cuando revisamos la lista de iones comúnmente encontrados en el agua, esta lista incluye el calcio (Ca), magnesio (Mg), sodio (Na), potasio (K), hierro (Fe), aluminio (Al), bicarbonato (HCO_3^-), cloruro (Cl), sulfato (SO_4^{2-}) y silicio (SiO_2). Dada la composición de la corteza terrestre (Tabla 1), podemos confirmar fácilmente la lixiviación de minerales inorgánicos en el agua subterránea.

Cuando trabajamos para clasificar un sistema de intercambio iónico, los componentes que aparecen en la Tabla 1 son a menudo suficientes para obtener una idea precisa. Después de todo, al intercambio iónico no le importa quien lo acompaña. Cada equivalente iónico ocupa la misma cantidad de espacio, y un análisis que cubre el 99.6 por ciento es suficientemente bueno.

A menudo, los elementos traza (los que forman el otro 0.4 por ciento) *ni siquiera aparecen en la lista*. Por ejemplo, la contribución iónica del arsénico, plomo, uranio, cadmio, puede ser menor de 0.1 ppm (100 ppb). Aún así, dicha agua sería considerada como caldo tóxico. Es la presencia de esos elementos traza lo que realmente determina si una fuente determinada de agua es potable o tóxica. Así que, ¿De dónde vienen todos estos contaminantes?

¿Por qué piensa que le dicen tierra?

Los 90 elementos en la *Tabla Periódica* que ocurren naturalmente, no solamente se encuentran en la corteza terrestre (Figura 1), sino que también se encuentran en su suministro de agua. Muchos de ellos están presentes por debajo del límite de detección, pero están ahí. Muchos de ellos son considerados tóxicos y los llamaríamos contaminantes. Una gran parte de los niveles tóxicos de elementos encontrados en el suelo y el agua subterránea son antropogénicos—una palabra elegante que significa 'causado por el hombre'.

De los 16 elementos listados en la Tabla 1 y que forman el 99.6 por ciento de la corteza terrestre, solamente uno de ellos (el flúor—generalmente presente como fluoruro de calcio) está

actualmente regulado en la lista de la US EPA de químicos inorgánicos (primarios) potencialmente dañinos. La lista de reglamentos secundarios de la US EPA incluye el flúor, aluminio, hierro, manganeso, azufre (sulfato) y cloro (cloruro) entre los elementos comunes que forman rocas. En su mayor parte, las rocas no son muy solubles en agua, ni siquiera en el agua ácida. Aunque a menudo experimentamos niveles tratables de arsénico, fluoruro y uranio que ocurren *naturalmente*, es poco común encontrar niveles tratables de plomo, cadmio, cobre, cinc, selenio, molibdeno, antimonio, cromo y otros elementos en la lista de la US EPA. Eso se debe a que la Madre Naturaleza ha tenido millones de años para atar los cabos sueltos, y la mayoría de las cosas que se disuelven se encuentran felizmente en equilibrios que están por debajo de los niveles máximos de contaminante (MCLs) para esos elementos (Tabla 2). Si las cosas no hubieran ocurrido de esa manera, probablemente no estaríamos aquí. Y, de la manera en que están sucediendo las cosas, nos están dando un segundo chance para destruir la humanidad a través de nuestros descuidos.

Usted está aquí-X

Para poner en perspectiva la enormidad del planeta y la parte que ocupamos, tomemos una pelota de baloncesto y una lata de pintura en spray. Nuestra pelota tiene aproximadamente 10 pulgadas (25 cm) de diámetro y si le echamos una buena capa de pintura, resultamos con unos 10 mils (0.25mm) de pintura (aproximadamente 1/1000 del diámetro de la pelota). Todo aquello que alguna vez a caminado, nadado, excavado madrigueras o volado sobre este planeta (sin contar los seres extraterrestres) desde el Primer Día, lo ha hecho dentro de los confines relativos de esa capa de pintura. La corteza total de la Tierra es más delgada que el hule que forma la cobertura de la pelota. Por lo que ocupamos una parte muy pequeña de esta roca, pero al menos es la parte más emocionante.

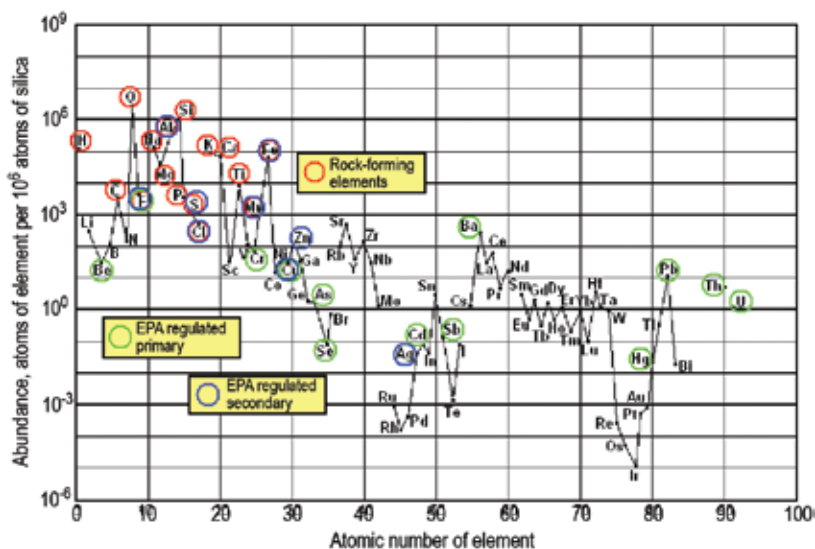
La contaminación del suelo lleva a la contaminación del agua

Al contrario de lo que se cree comúnmente, no hay tal cosa como el agua *pura* o la tierra *limpia*. Todas las aguas son simplemente sales diluidas de varios metales y todos los suelos contienen compuestos metálicos elementales traza. Desde la invención de la agricultura, el hombre ha estado ajustando la composición del suelo para mejorar su lote. Algunos de esos ajustes no causan casi ningún daño, como la adición de sal de amonio como fuente de nitrógenos. Algunos no hacen ninguna diferencia, tales como la adición de sulfato de calcio (yeso) para controlar el pH, o sal de sodio (NaCl) para controlar la humedad. Algunos otros no son tan amigables, tales como los pesticidas a base de fluoruro, arsénico, y plomo.

Los dos mayores contribuyentes a niveles excesivos de elementos regulados en el suelo y el agua son: los seres humanos. Hemos conocido al enemigo, y ¡somos

nosotros! Aunque varios contaminantes de metales traza pueden ocurrir naturalmente, por lo general se encuentran a niveles por debajo del MCL. Durante muchos años, a causa de la negligencia e ignorancia, la industria ha utilizado los terrenos desolados como basureros y ha aplicado pesticidas y fertilizantes sin preocuparse de dónde van a ir a parar. Chimeneas emitieron millones de toneladas de arsénico al aire, solamente para que fueran a parar en el suelo y el agua. En los años 1930s, en California se rociaron las hortalizas con arsenato de plomo a una tasa de 260 libras de ingrediente activo por acre (Departamento de Agricultura de los EEUU). Eso se traduce a más de 100 ppm en la seis pulgadas superiores del suelo por estación. Cinco décadas de utilización de tetraetilo de plomo (TEL) como compuesto en la gasolina ha depositado millones de toneladas de plomo en la atmósfera y en el suelo. Tan sólo en 1979, las emisiones de escape de los

Figura 1. Abundancia de elementos en la corteza terrestre¹



Nótese que los datos incluidos en la Figura 1 son logarítmicos y la abundancia de silicio se establece con un valor de 10^6 . Todos los demás elementos son representados en relación al silicio. Por cada 1,000,000 átomos de silicio (10^6), hay aproximadamente 1 átomo (10^0) de molibdeno (Mo) o uranio (U). El oro (Au) existe a una tasa de $1/1000$ o 10^{-3} átomos por cada millón de átomos de silicio. La regla general es que para cada aumento de 10 en el número atómico, hay una disminución correspondientemente relativa en la abundancia por un factor de 10.

automóviles liberaron 208.1 millones de libras de plomo al aire en los Estados Unidos. El plomo de las emisiones vehiculares es arrastrado 50 millas y es distribuido ampliamente por el viento.

El arsénico es contenido en *todos* los suelos y en *todas* las fuentes de agua. Por lo tanto, el agua de riego es una fuente adicional de arsénico porque cuando esa agua se evapora, deja al arsénico a un lado. El riego puede depositar aproximadamente 0.1 ppm por año de arsénico adicional en el suelo. De hecho, el riego contribuye más a la contaminación del suelo que los fertilizantes.

Una vez presentes en el suelo y el agua, los contaminantes pueden ser consumidos por las plantas. La fuerza impulsora detrás de la prohibición de TEL en la gasolina fue la preocupación de la acumulación continua de plomo en el suelo y en los productos agrícolas. El plomo sigue siendo utilizado en el combustible de aviones y vehículos de todo terreno. El arsénico sigue siendo utilizado en pesticidas y para preservar la madera. Añádale a esto el uso de fluoruro en los pesticidas y otros rociadores agrícolas (además de la práctica dudosa de añadir fluoruro a los suministros de agua potable) y tenemos un problema persistente y una necesidad continua de purificar el agua durante muchísimos años. La fluorosis dental se encuentra en aumento aún en zonas donde no se añade fluoruro al suministro de agua, debido al uso extenso de fluoruro en los pesticidas y porque su presencia en el agua de riego ha resultado en un insumo excesivo de fluoruro a través de los alimentos.²

Por lo general, mientras más alto es el nivel de contaminación en el suelo, mayor es la probabilidad de que el contaminante aparezca en el agua subterránea. El suelo contaminado causa agua contaminada. La contención de sustancias tóxicas en

la profundidad debajo del suelo (también conocida como disposición apropiada), es solamente un arreglo temporal para quitar de la vista y quitar de la mente la contaminación. Como lo dice la parábola, estas sustancias algún día volverán a unirse al suelo y el agua de donde vinieron.

Hay un lado bueno y un lado malo para este hecho. El lado positivo es que si se detiene la fuente de contaminación, la Madre Naturaleza eventualmente limpiará el suelo haciendo pasar un suministro de agua constantemente refrescado a través del punto contaminado. El lado negativo es que el movimiento de agua subterránea moverá la contaminación a otros puntos que podrían estar ubicados en zonas urbanas. Esto ocasionará una escasez de agua barata y será necesario aplicar un tratamiento municipal y residencial muy costoso.

La naturaleza de la tierra

Lo que llamamos el ingrediente activo en el suelo, no es aparente en la composición general de la corteza terrestre. Químicamente, es un aluminosilicato de sodio o zeolita. Existen más de cincuenta zeolitas que han sido identificadas, que ocurren naturalmente³ y varían ampliamente en su composición. Todas ellas tienen ciertas propiedades en común—todas son intercambiadores iónicos. Las zeolitas minadas ocurren típicamente en forma de sodio o potasio (catión) y los iones Na^+ y K^+ se mantienen un tanto sueltos. Esto les permite intercambiarse con iones de mayor carga—al igual que los suavizantes. Esta química particular del suelo permite que algunos contaminantes sean bastante menos móviles que otros. Una forma de tratar el Cr^{+6} (un anión) consiste en reducirlo químicamente (o a través del uso de microbios) a Cr^{+3} (un catión), el cual es luego inmovilizado por el suelo. Lo mismo sucede con el plomo, cadmio, cobre, hierro, manganeso y cinc. Los metales aniónicos (es decir, selenio, molibdeno, antimonio, uranio, vanadio) son más móviles y aparecen corriente abajo del punto original en que fueron introducidos.

¿Y cuál es su punto?

Hay una buena razón por la que nuestras mamás nos decían que ¡no comiéramos tierra! Puede ser muy desagradable. La contaminación del suelo puede ocurrir a través de la erosión natural de las rocas, pero es ocasionada principalmente por los siglos de negligencia y descuido por parte de los seres humanos. La contaminación del suelo es, por sí misma, problemática porque provee una fuente de metales pesados que pueden ser tomados por las plantas. Eso pone a los contaminantes directamente en la cadena alimenticia. Además, la contaminación del suelo causa contaminación del agua. Esto, a su vez, causa la contaminación del ganado, los peces y aves de corral, todos los cuales pasan los contaminantes a través de la cadena alimenticia, y de vuelta a los seres humanos (piense acerca del mercurio y los peces espada). ¿Será este el origen de la expresión: “El que la hace la paga”? El problema es que muchas personas que no son responsables por las acciones, sufren las consecuencias.

Tabla 2. Contaminantes inorgánicos primarios del agua potable establecidos por la US EPA

Contaminante	MCL (mg/L)	Fuentes del contaminante
Cloro (Cl ₂)	4.0	aditivo del agua para el control de microbios
Antimonio (Sb)	0.006	descarga industrial inadecuada
Arsénico (As)	0.010	erosión natural y derrame de operaciones agrícolas, pesticidas, tratamiento de madera
Bario (Ba)	0.004	erosión natural, quema de carbón, refinería de metales
Berilio (Be)	0.004	quema de carbón, refinería de metales, descarga industrial
Cadmio (Cd)	0.005	erosión natural, derrames, corrosión de hierro galvanizado
Cromo (Cr)	0.1	erosión natural, manufactura de acero, residuos de chapado
Cobre (Cu)	1.3 AL*	erosión natural, corrosión de tuberías de cobre, residuos electrónicos
Fluoruro (F)	4.0	erosión natural, aditivo de agua, descarga de manufactura de aluminio
Plomo (Pb)	0.015 AL*	erosión natural, corrosión de tuberías domésticas, combustible con plomo
Mercurio (Hg)	0.002	erosión natural, derrames de operaciones industriales, agrícolas y rellenos sanitarios
Nitrato (NO ₃ como N)	10	erosión natural, derrame de fertilizantes, residuos de alcantarilla y sépticos, residuos animales
Nitrito (NO ₂ as N)	1	lixiviación de agricultura, residuos sépticos, de alcantarilla, residuos de lotes de engorde
Selenio (Se)	0.05	erosión natural, refinerías de petróleo, residuos de drenaje de minas
Talio (Th)	0.002	residuos de minas, componentes electrónicos, vidrio y descarga de fábricas de medicamentos
Radio (Ra)	5 pCi/L	erosión natural
Uranio (U)	0.03	erosión natural

*AL = nivel de acción (también requiere proceso para reducir la incidencia)

Conclusiones

Aunque los océanos son el repositorio eventual de todas las cosas que son desechadas, el suelo es el escenario. La precipitación atmosférica es acídica, y al pasar por los estratos de la Tierra, toma un poco de cada cosa con la que entra en contacto (incluyendo los recipientes enterrados anticorrosivos). Aunque la Tierra provee una acción de limpieza, el agua (y el acuífero) se contaminan.

Muchos contaminantes comunes tales como el plomo, arsénico y fluoruro son acumulados por el cuerpo, y aunque ahora no se encuentran a niveles tóxicos, pueden llegar a ser tóxicos con el transcurso del tiempo. Para varios de estos

contaminantes, el único nivel seguro para el agua potable es cero. Además, el agua no es la única fuente de estos contaminantes.

Muchos de ellos también son encontrados en los alimentos que comemos. Hasta los productos vegetales cultivados orgánicamente no garantizan la ausencia de sustancias químicas porque estos contaminantes se encuentran en todas partes. Los residuos que se tiran y entierran en el suelo no se quedan en su lugar.

Si usted, como profesional del tratamiento del agua, tiene la intención de proteger al consumidor con agua potable segura, usted también tendrá que responsabilizarse de dirigirse al consumidor con un buen análisis del agua. Los niveles de metales pesados en cifras de un solo dígito de partes por billón pueden ser significativos. De no ser así, uno estaría adivinando. Todos sabemos lo que hay en el ambiente y no nos beneficia de ninguna manera enterrar nuestras cabezas en la arena (arena = suelo = tierra). La industria de tratamiento del agua tiene un potencial ilimitado tanto para proveer sustento como para ayudar a la gente a vivir.

Referencias

1. www.wikipedia.com, en en.wikipedia.org/wiki/crust_geology
2. Michaud, C.F., Fluoride—The Good, The Bad and The Ugly, *WC&P*, February, 2010.
3. International Zeolite Association, *Database of Zeolite Structure*.

Acerca del autor

El Sr. C.F. 'Chubb'

Michaud se desempeña como Director Técnico y OEJ de la compañía Systematix Co. de Buena Park, California, la cual fue fundada en 1982. El Sr. Michaud ha presidido varias secciones, comités y equipos de trabajo dentro de WQA, es Ex-Director y Ex-Gobernador de WQA, y actualmente es parte de la Junta Directiva de PWQA, presidiendo el Comité Técnico y el Comité de Educación. El Sr. Michaud ha recibido el Premio al Mérito de la WQA, el Premio Robert Gans de la PWQA, y es miembro del Salón de la Fama de la PWQA. Contacto: teléfono (714) 522-5453 o correo electrónico AskChubb@aol.com

