



METALES EN EL MEDIO AMBIENTE

Comprender el proceso de recolección, muestreo y análisis para los ensayos de cuantificación de metales

Por João Hilario/Juan Bustamante/Fabiana Imagawa - ALS Ambiental LATAM



Figura 1. Malaquita - Mineral

Comprender el proceso de recolección, muestreo y análisis para los ensayos de cuantificación de metales.

Al observar la tabla periódica, un hecho nos llama la atención. De los 118 elementos, 95 se clasifican como metales. Entre estos metales, algunos son elementos esenciales en la regulación metabólica del cuerpo, así como elementos con diferentes grados de toxicidad a diferentes concentraciones.

Los metales como el hierro, el zinc y el cobre son esenciales para varios procesos biológicos en los organismos vivos, contribuyendo al buen funcionamiento del organismo, como la producción de sangre, la respiración y la

actividad del sistema inmunológico. En otro aspecto, la acumulación excesiva de metales pesados en el ambiente, como plomo, mercurio, cadmio y arsénico, resulta ser un grave problema ambiental, ya que son elementos tóxicos.

Estos metales pueden causar diversos daños a la salud, como enfermedades neurológicas, problemas renales, problemas reproductivos e incluso cáncer. Entre estos 95 metales, muchos se encuentran de forma natural, pero

																1																	2
																H																	He
3	4															5	6	7	8	9	10												
Li	Be															B	C	N	O	F	Ne												
11	12															13	14	15	16	17	18												
Na	Mg															Al	Si	P	S	Cl	Ar												
19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36																
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr																
37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54																
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe																
55	56	57	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86															
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn																
87	88	89	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118															
Fr	Ra	Ac	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Cn	Nh	Fl	Mc	Lv	Ts	Og																

Figura 2. Tabla Periódica: En azul oscuro los elementos clasificados como metales

la acción humana acaba afectando sus concentraciones en suelos y aguas. Con el fin de monitorear un medio determinado, el uso de diferentes métodos ensayos es esencial para la cuantificación de diferentes metales. Pero antes de hablar de ensayos, algunos puntos son relevantes para la correcta interpretación de los resultados obtenidos de la cuantificación de la muestra. Entre ellos tenemos la recolección y muestreo, puntos clave para evitar desviaciones en la comprensión real de la situación del lugar bajo evaluación.

Los metales y su presencia natural

Estructuralmente, parte de la materia está formada por la unión de átomos. Alrededor del 81% son átomos metálicos.

Hay mucha materia a nuestro alrededor, por lo que podemos decir que hay muchos metales en nuestro entorno. Naturalmente, vivimos bien con esta alta tasa, incluso si algunos metales muestran grados de toxicidad. El principal problema no es la cantidad, sino la distribución, es decir, la existencia de lugares con concentraciones de ciertos metales por encima de los valores óptimos. Estos lugares son puntos de atención cuando se trata de la preservación de la salud humana, animal y vegetal. Los procesos geológicos, como la erosión y la actividad volcánica, liberan metales en el suelo con el tiempo. Paralelamente, una serie de actividades humanas contribuyen a la contaminación por metales en el suelo, entre ellas:

- **Minería y procesamiento de metales:** La extracción y

procesamiento de minerales genera grandes volúmenes de residuos ricos en metales pesados.

- **Agricultura:** El uso excesivo de fertilizantes químicos y pesticidas que pueden contaminar el suelo con metales pesados.
- **Residuos industriales:** La eliminación inadecuada de los residuos industriales, como las baterías y los aparatos electrónicos, puede provocar la contaminación del suelo por metales pesados.
- **Combustibles fósiles:** La quema de combustibles fósiles libera metales pesados a la atmósfera, que pueden depositarse en el suelo a través de la lluvia ácida.

Un punto de atención para evitar este desequilibrio proviene de la implementación de procesos sostenibles y la gestión de residuos.

La gestión adecuada de los residuos industriales para el tratamiento y la eliminación de estos, la adopción de prácticas agrícolas sostenibles y el control de las emisiones de combustibles

fósiles son puntos importantes en los temas de preservación y remediación del medio ambiente.

Valores rectores

Una forma de correlación entre el desequilibrio de las concentraciones y la situación del entorno natural es a través de los valores rectores. Estos valores son determinados por las agencias reguladoras ambientales. A continuación, un breve resumen para alguno países de America Latina:

CHILE

Existen normas de emisión orientadas a la protección de los componentes medioambientales. El marco general en esta materia está dado por la Ley N°19.300 de Bases Generales del Medio Ambiente, del Ministerio Secretaría General de la Presidencia, de 1994, que inició un proceso normativo formal activo, para los elementos aire, agua, suelo, residuos sólidos y líquidos, y sustancias químicas. Este cuerpo legal define los distintos tipos de normas ambientales:



Figura 3. Sitio Minero

a) Normas de calidad primaria, que establecen la cantidad máxima de sustancias contaminantes cuya presencia en el ambiente pueda constituir un riesgo para la vida o salud de la población. Estas se aplican en todo el país por igual.

b) Normas de calidad secundaria, que establecen cantidades máximas de sustancias cuya presencia en el ambiente puede constituir un riesgo para la protección o conservación del medio ambiente, o la preservación de la naturaleza. Su aplicación puede ser a nivel nacional o a nivel local dependiendo del recurso que se está protegiendo.

c) Normas de emisión, que definen límites a la cantidad de contaminantes emitidos al aire o al

agua desde instalaciones industriales o fuentes emisoras en general. Su aplicación puede ser a nivel nacional o local dependiendo del objetivo de protección que tenga la norma.

COLOMBIA

La regulación y gestión de los metales en el medio ambiente se realiza mediante normas y estándares definidos por entidades gubernamentales. El Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS) establece los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) que determinan criterios específicos para los cuerpos de agua y suelos en el territorio nacional, con el objetivo de proteger los recursos naturales y garantizar un ambiente saludable para la población.

Los ECA en aguas en Colombia se categorizan para diferentes usos y tipos

de protección ambiental:

- **Categoría A:** Aguas para consumo humano. Incluye aguas superficiales y subterráneas destinadas a la producción de agua potable.
- **Categoría B:** Aguas para recreación. Aguas superficiales utilizadas para actividades recreativas y deportivas.
- **Categoría C:** Aguas para la protección de la vida acuática. Comprende cuerpos de agua destinados a la conservación de ecosistemas acuáticos.
- **Categoría D:** Aguas para uso agrícola. Utilizadas para el riego de cultivos y bebida de animales.
- **Categoría E:** Aguas para uso industrial. Aguas empleadas en procesos industriales y productivos.

En Colombia, los ECA son de cumplimiento obligatorio y sirven como referencia para la formulación y aplicación de instrumentos de gestión ambiental, como planes de manejo ambiental y permisos de vertimiento. Estos estándares son aplicables a parámetros asociados con actividades productivas, extractivas y de servicios.

El monitoreo de los parámetros establecidos en los ECA para suelos tiene el propósito de evaluar las concentraciones de elementos, sustancias y parámetros físicos, químicos y biológicos que puedan representar un riesgo significativo para la salud humana y el medio ambiente. Esto incluye la evaluación de metales pesados, compuestos orgánicos y otros contaminantes que puedan afectar la calidad del suelo, la salud de los

Parámetro	Aguas (mg/L)						Residuos (mg/L)
	DS 90	DS 90	DS 90	DS 609	DS 46	NCh1333	
	Fluviales	Lacustres	Residual	Superficial	Subterránea	Subterránea	
Aluminio (Al)	5	1	1	10	5	5	--
Arsénico (As)	0,5	1	2	0,5	1	1	5
Bario (Ba)	--	--	--	--	--	4	100
Berilio (Be)	--	--	--	--	--	1	--
Boro(B)	75	--	--	4	75	0,75	--
Cadmio (Cd)	1	2	2	0,5	2	1	1
Cinc (Zn)	3	5	5	5	3	2	--
Cobalto (Co)	--	--	--	--	--	5	--
Cobre (Cu)	1	1	1	3	1	2	--
Cromo (Cr)	--	25	25	10	--	--	5
Cromo (VI) (Cr)	5	2	2	0,5	5	--	--
Estaño (Sn)	--	0,5	0,5	--	--	--	--
Hierro(Fe)	5	2	10	--	5	5	--
Litio (Li)	--	--	--	--	--	25	--
Manganeso (Mn)	3	0,5	2	4	3	2	--
Mercurio (Hg)	1	5	5	2	1	1	2
Molibdeno(Mo)	1	7	1	--	1	1	--
Níquel (Ni)	2	0,5	2	4	2	2	--
Plata (Ag)	--	--	--	--	--	2	5
Plomo (Pb)	5	2	2	1	5	5	5
Selenio (Se)	1	1	1	--	1	2	1
Vanadio(V)	--	--	--	--	--	1	--

Figura 4. Valores máximos permitidos para metales en aguas y residuos sólidos Chile.

ecosistemas y las personas.

La calidad del aire en Colombia se regula a través de normas de emisión y estándares de calidad del aire que establecen límites a la cantidad de contaminantes permitidos en la atmósfera. Estas normas se dividen en:

- Normas de Calidad del Aire:** Establecen la concentración máxima de contaminantes en el aire ambiente que no debe ser superada para proteger la salud humana y el medio ambiente. Los principales contaminantes regulados incluyen material particulado (PM10 y PM2.5), dióxido de azufre (SO2), dióxido de nitrógeno (NO2), monóxido de carbono (CO) y ozono (O3).
- Normas de Emisión:** Definen los

límites máximos de emisión de contaminantes que pueden ser liberados al aire desde fuentes fijas (como industrias y plantas de energía) y fuentes móviles (como vehículos automotores). Estas normas buscan controlar la cantidad de contaminantes que ingresan a la atmósfera y mitigar su impacto en la calidad del aire y la salud pública.

El marco normativo en Colombia está establecido por la Ley 99 de 1993, que creó el Sistema Nacional Ambiental (SINA) y definió las bases para la protección del medio ambiente, incluyendo la gestión de recursos hídricos y suelos. La regulación específica de metales y otros contaminantes está enmarcada dentro de las Resoluciones y

Decretos expedidos por el MADS y otras autoridades competentes, que detallan los límites permisibles y los procedimientos para el monitoreo y control de la contaminación ambiental.

ECUADOR

La gestión ambiental relacionada con metales y otros recursos naturales está regida por normativas específicas establecidas por el Ministerio del Ambiente. Estas normativas incluyen los Estándares de Calidad Ambiental (ECA's), que definen criterios aplicables para el control y monitoreo de la calidad del agua, suelo y aire en diferentes categorías de uso y conservación:

- Categoría I:** Agua potable y recreacional. Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable y áreas destinadas para la recreación pública.
- Categoría II:** Actividades marino-costeras. Aguas marinas y costeras destinadas a actividades económicas y recreativas.
- Categoría III:** Riego de cultivos y alimentación animal. Aguas para riego de cultivos agrícolas y producción de alimentos para animales.
- Categoría IV:** Conservación del ambiente acuático. Incluye lagunas, lagos, ríos y ecosistemas marino-costeros protegidos.

Los ECA's en Ecuador son fundamentales para el diseño e implementación de estrategias de gestión ambiental, asegurando la protección de la salud humana y del ambiente frente a la exposición a metales y otras sustancias

PARÁMETRO	Aguas (mg/L)					Suelos (mg/kg)	Aire (ug/m3)
	Tratada (Res. 2115/2007)	Marina (Res. 883/2018)	Residual (Res. 0631 de 2015)	Superficial (Decreto 1076/2015)	Subterránea (Decreto 1076/2015)	Agrícola, Residencial, Industrial (Norma Louisiana 2013)	Res. 2254 de 2017
Aluminio (Al)	0,2	-	3	0,2	0,2	-	-
Antimonio (Sb)	0,005	0,3	0,3	0,002	0,005	-	-
Arsénico (As)	0,01	0,1	0,1	0,05	0,01	10	-
Bario (Ba)	0,7	1	1	0,7	1	20000	-
Berilio (Be)	0,01	-	-	0,05	0,01	10	-
Boro (B)	5	-	-	5	5	-	-
Cadmio (Cd)	0,01	0,01	0,01	0,002	0,003	-	0,005
Cinc (Zn)	5	3	3	5	5	500	-
Cobalto (Co)	0,05	0,1	0,1	0,2	0,05	-	-
Cobre (Cu)	1	1	1	2	1	-	-
Cromo (Cr)	0,05	0,5	0,1	1	0,05	500	-
Estaño (Sn)	1	2	2	0,002	1	-	-
Hierro (Fe)	5	1	1	1.000	0,3	-	-
Manganeso (Mn)	0,5	-	2	0,4	0,1	-	-
Mercurio (Hg)	0,001	0,002	0,002	0,001	0,001	10	1
Molibdenu (Mo)	0,07	-	-	0,07	0,07	-	-
Níquel (Ni)	0,2	0,1	0,1	0,2	0,02	-	0,18
Plata (Ag)	0,05	0,2	-	0,001	0,05	200	-
Plomo (Pb)	0,01	0,1	0,1	0,1	0,01	500	0,5
Sodio (Na)	-	-	0,04	-	-	-	-
Selenio (Se)	0,01	0,2	0,2	0,01	0,01	10	-
Vanadio (V)	0,1	1	1	0,2	0,1	-	-

Figura 5. Valores máximos permitidos para metales en aguas y residuos sólidos Colombia.

peligrosas. El monitoreo de estos parámetros busca garantizar que las concentraciones de metales no representen un riesgo significativo para la salud pública ni para la biodiversidad local.

En aguas se basa en el Tulsma acuerdo 97-A, anexo 1-1 (agua marina, residual, superficial, subterránea, tratada). Para agua tratada (agua para consumo humano) NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 1108 Sexta revisión 2020-04. Para suelos Tulsma acuerdo 97-A, anexo 2-1.

PERÚ

Una forma de correlación entre el desequilibrio de las concentraciones y la situación del entorno natural es a través de los valores rectores. Estos valores son determinados por las entidades gubernamentales de fiscalización como instrumentos para la gestión ambiental, conservación y aprovechamiento sostenible de los recursos naturales (agua, suelo, aire). En Perú, El Ministerio del Ambiente define los Estándares de calidad Ambiental (ECA's), que establecen criterios aplicables para los cuerpos de agua y suelo del territorio nacional en su estado natural; cuatro categorías de conservación del ambiente acuático:

- **Categoría I:** Poblacional y Recreacional. Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable, agua superficial destinada para la recreación.
- **Categoría II:** Actividades Marino Costeras. Agua de mar
- **Categoría III:** Riego de Vegetales y bebidas de animales. Riego de

Parámetro	Aguas (mg/L)					Suelos (mg/kg)		
	NTE 1108	Tulsma acuerdo 97-A, anexo 1-1				Tulsma acuerdo 97-A, anexo 1-2		
	Tratada	Marina	Residual	Superficial	Subterránea	Agrícola	Residencial	Industrial
Aluminio (Al)	-	1,5	5	0,1	0,1	-	-	-
Antimonio (Sb)	0,02	-	-	-	-	-	-	-
Arsénico (As)	0,01	0,05	0,1	0,05	0,05	12	12	12
Bario (Ba)	1	1	2	1	1	750	500	2000
Berilio (Be)	-	1,5	-	0,1	0,1	-	-	-
Boro (B)	2,4	5	2	0,75	0,75	2	-	-
Cadmio (Cd)	0,003	0,005	0,02	0,001	0,001	2	4	10
Cinc (Zn)	-	0,015	5	0,03	0,03	200	200	360
Cobalto (Co)	-	0,2	0,5	0,01	0,01	40	50	300
Cobre (Cu)	2	0,005	1	0,005	0,005	63	63	91
Cromo (Cr)	0,05	0,05	-	0,032	0,032	65	64	87
Estaño (Sn)	-	2	5	-	-	5	50	300
Hierro (Fe)	-	0,3	10	0,3	0,3	-	-	-
Litio (Li)	-	-	-	2,5	2,5	-	-	-
Manganeso (Mn)	-	0,1	2	0,1	0,1	-	-	-
Mercurio (Hg)	0,006	0,0001	0,005	0,0002	0,0002	0,8	1	10
Molibdeno (Mo)	-	-	-	0,01	0,01	5	5	40
Níquel (Ni)	0,07	0,1	2	0,025	0,025	50	100	50
Plata (Ag)	-	0,005	0,1	0,01	0,01	-	-	-
Plomo (Pb)	0,01	0,001	0,2	0,001	0,001	60	140	150
Selenio (Se)	0,01	0,001	0,1	0,001	0,001	2	5	10
Vanadio (V)	-	-	-	0,1	0,1	130	130	130

Figura 6. Valores máximos permitidos para metales en aguas y residuos sólidos Ecuador.

vegetales de tallo bajo y tallo alto

- **Categoría IV:** Conservación del ambiente acuático. Lagunas, lagos, ríos y ecosistemas marino-costeros.

En Perú los ECA constituyen un referente obligatorio para el diseño y aplicación de los instrumentos de gestión ambiental, y son aplicables para aquellos parámetros asociados a las actividades productivas, extractivas y de servicios.

La medición de los parámetros establecidos en el ECA para suelo tiene como objetivo de monitorear el nivel de concentración o grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos que puedan representar un riesgo significativo para la salud de las personas o al ambiente, referente al componente suelo.

Estos valores son una base, no sólo para fines legislativos, sino que sirven de guía para la elección de la técnica analítica, empleada en el ensayo, que cumplirá con este límite. Cada procedimiento y técnica tiene puntos de evaluación, tales como: interferentes, matriz, límites de detección y cuantificación. No existe la mejor técnica, sino la técnica más adecuada para la determinación del analito.

En este contexto, la autorización y control de los compuestos (entre ellos los metales), que son descargados como parte de los residuos líquidos industriales y sanitarios a fuentes naturales y alcantarillados, están regulados por la Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS), mientras que los proyectos de plantas de tratamiento de residuos líquidos deben ser aprobados por el

Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA), mediante un estudio de impacto ambiental.

Los estudios de impacto ambiental son aprobados mediante una Resolución de Calificación Ambiental (RCA), en la que se establecen los planes de manejo y control de emisiones, los cuales pueden estar suscritos al cumplimiento de normas de calidad, emisión y/o límites de línea base determinados en el estudio de impacto ambiental.

Toda la información de los controles realizados tanto de emisiones como de calidad de aguas debe ser reportada al Registro de Emisiones y Transferencias de Contaminantes (RETC), que es un catálogo o base de datos accesible al público destinado a capturar, recopilar, sistematizar, conservar, analizar y difundir la información sobre emisiones, residuos y transferencias de contaminantes potencialmente dañinos para la salud y el medio ambiente que son emitidos al entorno.

Técnicas analíticas, pruebas y calidad de los resultados

Aquí es donde comienza la gran dificultad relacionada con los ensayos para la cuantificación de metales. Entre los tipos de técnicas de determinación en aguas y suelos, podemos mencionar los principales grupos:

- análisis espectrofotométricos,
- análisis conductimétricos/potenciométricos,
- análisis por espectrometría de masas y
- análisis titrimétricos o titulométricos.

En estos grupos destacan:

Parámetro	Aguas (mg/L)					Suelos (mg/kg)		
	E1	E2: Ríos	E3: Ecosistemas costeros y marinos			Agrícola	Residencial/Parques	Comercial - Industrial - Extractivo
	Lagunas y Lagos	Costa y Sierra	Selva	Estuarios	Marinos			
Antimonio	61	16	61	-	-	-	-	-
Arsénico	15	15	15	36	36	50	50	140
Bario	7	7	1	1	**	750	500	2000
Cadmio	25	25	25	88	88	14	10	22
Cobre	1	1	1	5	5	-	-	-
Cromo (Cr)	-	-	-	-	-	-	400	1000
Mercurio	1	1	1	1	1	66	66	24
Níquel	52	52	52	82	82	-	-	-
Plomo	25	25	25	81	81	70	140	800
Selenio	5	5	5	71	71	-	-	-
Talio	8	8	8	-	-	-	-	-
Zinc	12	12	12	81	81	-	-	-

Figura 7. Valores máximos permitidos para metales en aguas y residuos sólidos Perú.

- **Espectrofotometría:** Ensayos de espectrometría de emisión con plasma acoplado inductivamente con detección óptica ICP-OES o ICP-MS de detección de masas y ensayos colorimétricos.
- **Conductividad/Potenciometría:** Cromatografía de aniones y cationes, y determinación por electrodos.
- **Titulometría:** Ensayos clásicos de reacciones químicas con detección mediante el uso de indicadores o electrodos.

La gama de opciones refleja la necesidad de diferentes formas de cuantificar la extensa gama de elementos químicos metálicos, después de todo, tienen sus 95 representantes. De las 95, no todas son de interés común para la evaluación o se cuantifican de la misma forma y al mismo tiempo. Algunos pueden estar interfiriendo entre sí, afectando más o menos el resultado de su concentración.

A modo de ejemplo tenemos:

- **Espectrometría de emisión de plasma acoplada inductivamente (ICP-OES):** Ca, Mg, Fe, Al, Na.
- **Espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente (ICP-MS):** Ar, N, O, Fe, Ca.

De los tipos de interferencias, podemos tener:

- **Subestimación:** Se subestima el contenido del metal de interés, lo que lleva a resultados falsos negativos.



Figura 8. ICP-OES

- **Sobreestimación:** El contenido del metal de interés está sobreestimado, lo que lleva a resultados falsos positivos.
- **Inexactitud:** Los resultados de los análisis son inconsistentes y tienen una alta variabilidad.
- **Interferencia espectral:** Los picos característicos de otros elementos pueden solapar o enmascarar el pico del metal de interés.

Así como las cantidades de metales en la naturaleza son altas, también lo son los enfoques sobre el tema. El gran problema no es la técnica, las pruebas o cómo cuantificar un metal. Las pruebas utilizadas están bien consolidadas y presentan resultados fiables. La cuestión es que para que los resultados sean fiables, se necesita algo en común: **una recolección y un muestreo fiables.**

Toma de muestras para pruebas de metales en muestras ambientales

Imagina que tienes la misión de encontrar una bola roja dentro de una caja con otras 20 bolas que no son rojas. Tal vez sea fácil si tienes buena vista. Mejor aún si todas las demás bolas son iguales entre sí. Negras, por ejemplo. Aquí el contraste entre colores nos ayuda. Ahora imagina que muchas de ellas, en lugar de ser negras, son naranjas y amarillas. En este caso, la misión se vuelve más compleja. Podemos hacer que la misión sea más difícil. En lugar de 20, aumenta el número de bolas a 1000. La misión es posible, pero llevará más tiempo.

Vayamos a otra misión: Contar el número de bolas rojas dentro de una caja con

un total de 1000 bolas, que son de diferentes colores posibles, incluidas las naranjas y amarillas. Hasta ahora este escenario es similar a la misión anterior, solo que esta vez esta caja está dentro de una piscina de bolas llena de todos los colores de bolas posibles y en una fiesta infantil.

Parece mucho más complicado, porque si entra otra bola roja en el área, ¿cómo saber cuáles fueron las originales o incluso si había una bola roja dentro del área?

Este escenario es paralelo a la realidad en la cuantificación de un metal. Un metal de interés puede ser la bola roja, la caja la muestra y el entorno que te rodea una gran piscina de bolas.

Como comentamos anteriormente, la quema de combustibles fósiles libera metales en el aire. El suelo tiene los metales más diversos y en cantidades significativamente altas, así como las aguas naturales. El transporte de su "caja" desde un sitio podría no tener "la bola roja" y puede llegar fácilmente a un lugar de control con un riesgo muy alto de un intruso. En este escenario real, la piscina de bolas es muy grande y también lo es el número de "invitados". Cuanto más sellada esté la caja, menos posibilidades habrá de errores en el conteo. Mejor aún si durante el conteo logramos aislar correctamente aquellos tonos cercanos al rojo.

De nada sirve tener un resultado, sin que sea un resultado fiable. Por lo tanto, más que los métodos analíticos de conteo de bolas o metales, los procedimientos de recolección y muestreo son esenciales.

Muchos de los problemas asociados



Figura 9. Captación de agua en campo.

con las desviaciones en los resultados se deben a falsos positivos por contaminación. Al recolectar agua de un lago, el polvo que ingresa al vial o incluso un vial que no está originalmente destinado a su uso para el llenado de muestras, puede ser suficiente para obtener altos resultados en un informe analítico. Afortunadamente, hay formas de garantizar menos desviaciones e incertidumbres.

Estudio de las desviaciones de los resultados de los procesos de muestreo

ALS Canadá realizó un estudio sobre el impacto de la precipitación de hierro en la coprecipitación de otros metales en una serie de muestras de agua subterránea con alto contenido de hierro. (<https://www.alsglobal.com/-/media/ALSGlobal/Resources-Grid/EnviroMail-06-Canada-Dissolved-Metals.pdf>).



Sample bottle guide V1.8

INDEX

Metals

#012



SAMPLE CONTAINER
• 60mL Plastic Bottle

ANALYTES
Metals - Dissolved or Total (60mL)

PRESERVATION
Nitric Acid (HNO₃)
Chill to -6°C

HOLDING TIMES
6 months, except
Hg, Cations - 28 days



Figura 10. Guía de empaque de muestras para muestras de agua (pruebas de metales) - ALS Australia.

El estudio encontró pérdidas sustanciales de la mayoría de los metales disueltos (en comparación con las concentraciones de metales filtrados en el campo), con pérdidas de hasta el 100% en varios casos en los que la filtración se retrasó (de 6 a 10 días, por ejemplo, en el peor de los casos). El arsénico, el plomo y el cadmio se vieron particularmente afectados por la coprecipitación, además de la pérdida esperada de hierro. Para estas 5 muestras, las pérdidas de arsénico promediaron más del 80%, las pérdidas de plomo promediaron más del 95% y las pérdidas de cadmio variaron significativamente según la muestra, desde ninguna pérdida hasta el 97%. El impacto en los resultados de las muestras se puede ver claramente, ya que muchas de las muestras de ensayo pueden tener concentraciones de metales clave subestimadas por un factor de 10 a 100 veces si no se emplean las técnicas correctas de

filtración en campo. Este estudio también destaca la necesidad de la filtración en campo para el análisis de hierro ferroso disuelto.

Preparación de materiales de relleno

Antes de recolectar la muestra, todos los equipos y aparatos deben limpiarse a fondo de acuerdo con los procedimientos internos establecidos y con las pautas de procedimientos externos, como **US EPA, SM e ISO**, por ejemplo. El laboratorio es responsable de proporcionar recipientes y conservantes aprobados que estén libres de contaminación. Todos los materiales utilizados durante el muestreo deben estar libres de metales y esto se puede verificar en los resultados de los blancos de control y en las pruebas de muestreo por lotes de los proveedores de envases o consumibles.

El mismo paralelismo debe ocurrir

con los materiales y reactivos en el laboratorio para garantizar la integridad del resultado durante el ensayo.

Muestreo

El muestreo es una parte crucial del proceso analítico. La muestra representa estadísticamente el perfil cuantitativo (concentración) en el área de interés, por lo que el proceso de muestreo nos proporciona el punto de partida para el ensayo. Los profesionales que realicen este procedimiento deben estar calificados y capacitados de acuerdo con el procedimiento de muestreo.

Idealmente, si es posible, el muestreo debe realizarse contra el viento para minimizar los riesgos de contaminación. Para la determinación de **metales disueltos**, las muestras deben filtrarse en el campo con un filtro de 0,45 µm. Después de la filtración, las muestras deben refrigerarse inmediatamente.

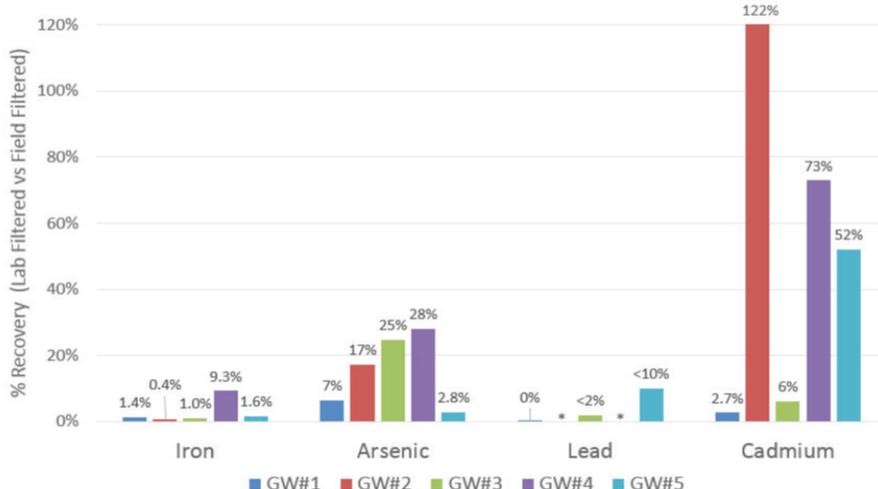
Independientemente de la determinación, ya sea para **metales totales o metales disueltos**, la muestra debe conservarse con ácido nítrico.

Preservación, contaminación e interferencias

Los procedimientos de prueba establecidos, como la USEPA en la determinación de metales por ICP, tienen en cuenta las formas de preservar las muestras recolectadas en el campo. Esto permite analizarlos con la menor pérdida posible de analitos y evitar posibles riesgos de contaminación.

La contaminación cruzada por metales es bastante común. La cantidad de metales presentes en un "simple polvillo" puede generar un falso positivo. Se

ALS Study: Lab Filtered vs Field Filtered Metals Results for 5 High-Iron GW Samples (Worst Affected Metals)



* GW#2 and GW#4 were n.d. for Pb

Figura 11. Estudio de ALS Canadá - Filtración de campo vs. filtración de laboratorio para resultados de metales en muestras con altas concentraciones de hierro.

debe prestar atención durante todos los puntos de manipulación de muestras, desde la recolección/transporte hasta la finalización del ensayo. Todos los pasos deben tener controles de calidad y verificaciones de rutina. El uso de materiales descontaminados y la verificación de los procesos de limpieza a lo largo de todo el proceso son cruciales. Aun así, incluso con todo el uso de procesos, la prevención de estas contaminaciones es un gran desafío.

Las principales fuentes de contaminación incluyen:

- **Equipos de muestreo,**
- **Botellas**
- **Material de laboratorio (por ejemplo, guantes con talco)**
- **Reactivos y agua desionizada**

Otras fuentes son la limpieza y embalaje inadecuado de los materiales utilizados, la contaminación por material particulado de:

- Suciedad
- Polvo de humo de automóvil,
- Humo de cigarrillo,
- Muestreo cerca de carreteras y cualquier otro edificio que pueda acumular suciedad,
- Manipulación inadecuada y no uso de buenas prácticas de laboratorio/muestreo.

La mejor manera de evitar la contaminación cruzada es evitar por completo la exposición de la muestra a cualquier instrumento que sea una fuente de metales. Los dos factores más importantes que evitarán/reducirán la contaminación son: **el conocimiento y la identificación de las fuentes de contaminación, y el cuidado meticuloso al realizar los procedimientos.** Sin embargo, se sabe que un mejor desempeño de ejecución está ligado a

una buena formación y experiencia del profesional.

Cuando todo el proceso de una prueba es llevado a cabo por el mismo proveedor de pruebas ambientales, existe una mayor garantía en la calidad del resultado, ya que se emplea y establece un procedimiento global en todos los extremos del proceso. Se facilita la trazabilidad del proceso en su conjunto y existen más herramientas para obtener comprobaciones del resultado en caso de desviaciones. Cuando hay una observación, hipótesis o verificación de desviación de un resultado, la verificación de todo el proceso se vuelve más compleja. En estos casos, la garantía suele darse solo en un extremo del proceso. En este sentido, la prueba de laboratorio es la punta bajo mayor escrutinio de los resultados, debido al uso de controles más restrictivos. Es posible realizar pruebas duplicadas o volver a realizar pruebas en el laboratorio para la misma muestra. Los resultados tienden a corroborar el resultado anterior. En el otro extremo, desde el muestreo hasta la recepción, tenemos otro escenario. Las nuevas recolecciones y/o un nuevo transporte no garantizan el estado inicial de la muestra anterior. El perfil del entorno tiende a ser muy variable y susceptible de afectar al perfil del sitio de colecta inicial, reflejándose así en nuevas muestras que no representan las condiciones de la muestra anterior. La posible contaminación puede detectarse mediante los blancos de transporte y recogida. Éstos permiten establecer un paralelismo con las condiciones iniciales de muestreo. En caso de error

humano, la verificación se hace cada vez más compleja, siendo menos trazable a medida que escasea la cantidad de datos para la validación estadística del proceso.

En todas las áreas, la detección es compleja, pero posible si se emplean los procedimientos. En caso de recepción de muestras/muestreo por parte de terceros para su envío al laboratorio de ensayos, no hay garantía de que se utilice el proceso adecuado si no se dispone de datos o herramientas de verificación del remitente. Recepción en recipientes diferentes a los utilizados por un proveedor de servicios analíticos o incluso aspectos como: **equipos de recolección que difieren de los sugeridos, uso de preservantes errados, así como tiempos de recepción de muestras fuera del momento ideal para realizar el ensayo con mayor confianza (holding time)**, hacen que todo el proceso esté sujeto a desviaciones, incluso si los resultados analíticos son fiables para un laboratorio. Los resultados son confiables por las cuantificaciones, pero no son consistentes con la realidad del sitio bajo evaluación. El ensayo está aprobado, pero la muestra no es representativa.

En este aspecto, una forma de evaluar un resultado desde la perspectiva del proceso fuera del laboratorio es por los datos históricos del sitio. Un historial no garantiza si hubo un error analítico, pero ayuda en el análisis de posibles resultados puntuales y con posibles desviaciones de interferencia. Después de todo, no es tan simple contar el número de bolas específicas en una piscina de bolas grande, incluso cuando



ya lo sabes. La complejidad aumenta cuando el escenario es cuantificar metales cuando no se conoce la naturaleza de las aguas donde están presentes.

ALS Ambiental LATAM

En Latinoamérica, los ensayos destinados a la cuantificación de metales acreditados por los distintos entes autorizados en cada país se realizan en:

- Agua cruda
- Agua tratada
- Agua salina/salobre
- Agua residual
- Agua superficial
- Agua subterránea
- Efluente
- Suelos, lodos, sedimentos
- Residuos Líquidos y Sólidos
- Aire ambiente

Además de los diversos tipos de pruebas de metales presentes en nuestros servicios, contamos con equipos para la recolección y muestreo. De un extremo a otro, vinculamos procedimientos destinados a complementar toda la cadena de ensayos para metales y obtener un resultado más asertivo.

Si quieres preguntar o comprobar si disponemos de un servicio que se ajuste a tus necesidades, ponte en contacto con nosotros.

Referencias e imágenes

1. <https://www.scielo.br/j/esa/a/GBKj7cmvRQKMJVdv7tSc5TQ/>
2. <https://www.ecycle.com.br/>
3. https://www.academia.edu/11280637/Ciclo_de_Vida_dos_Metais
4. <https://www.scielo.br/j/qn/a/wD6LnDq9knm676CJxpczLDy/>
5. Resolución CONAMA N° 420/2009:
6. Valores Rectores para Suelos y Aguas Subterráneas - CETESB: <https://cetesb.sp.gov.br/solo/valores-orientadores-para-solo-e-agua-subterranea/>
7. Criterios de Calidad de Suelos y Aguas Subterráneas en el Estado de São Paulo - ABAS: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/download/22331/14674/80607>
8. <https://www.alsglobal.com/-/media/ALSGlobal/Resources-Grid/EnviroMail-06-Canada-Dissolved-Metals.pdf>
9. Guía de botellas de muestra – ALS Australia
10. <https://www.agilent.com/en/product/atomic-spectroscopy/inductively-coupled-plasma-optical-emission-spectroscopy-icp-oes/icp-oes-instruments/5900-icp-oes>
11. <https://www.creative-chemistry.org.uk/gcse/keyideas/periodic-table/metals-and-non-metals>

Análisis ambientales ALS en Latinoamérica

ARGENTINA Buenos Aires

Casella Piñero 354, Avellaneda
+54 11 4265 2000

BRASIL São Paulo

Rua Galatéia, 1824, Carandirú
+54 11 4082 4300

CHILE Santiago

Av. Hermanos Carrera Pinto 159, Colina
+56 22 654 6106

COLÔMBIA Barranquilla

Carrera 41, Calle 73B N° 72
+57 31 7515 3270

EQUADOR Quito

De los Eucaliptos E 3-23 y Los Cipreses
+593 22 80 88 77

MÉXICO Monterrey

Loma de los Pinos 5505-D
Col. La Estanzuela Vieja
+52 81 8317 9150

PERU Lima

Avenida Guillermo Dansey 1801
Cercado de Lima
+51 488 9500

REPÚBLICA DOMINICANA Santo Domingo

Av. Isabel Aguiar corner Calle I
Zona Industrial de Herrera
Santo Domingo Oeste
+1 809 638-9447

Para obtener más información sobre estos y otros diversos parámetros analizados en nuestras unidades ambientales, comuníquese con Fabiana Imagawa - Gerente Técnica de ALS Ambiental para América Latina.
[✉ fabiana.imagawa@alsglobal.com](mailto:fabiana.imagawa@alsglobal.com)

ALS ofrece una amplia gama de servicios de pruebas especializados que cubren cada etapa del ciclo de vida de su proyecto. Visita alsglobal.com para más información sobre nuestros servicios y especialidades.

ALS right solutions. right partner. © Copyright 2024 ALS Limited. All rights reserved.

alsglobal.com