

## LA UTILIZACIÓN DE LA PROSPECCIÓN INDIRECTA DURANTE LA CARACTERIZACIÓN DE SITIOS CONTAMINADOS PARA REDUCIR EL VOLUMEN DE SUELO CONTAMINADO A REMEDIAR

---

*José Luis Hernández Michaca*

Geología y Medio Ambiente S.A. de C.V.  
Ciudad de México

*Víctor Manuel Sánchez Granados*

Geología y Medio Ambiente S.A. de C.V.  
Ciudad de México

All content in this magazine is licensed under a Creative Commons Attribution License. Attribution-Non-Commercial-Non-Derivatives 4.0 International (CC BY-NC-ND 4.0).



**Resumen:** Es posible dirigir la toma de muestras y análisis por laboratorios acreditados y aprobados con la utilización de técnicas de análisis “in-situ”, a través de equipos analíticos portátiles que suministran datos en tiempo real, durante la investigación exploratoria, ya que permiten la toma de decisiones directamente en el campo. Por otra parte, al incrementarse la densidad de puntos de muestreo se reduce la incertidumbre al momento de interpolar isovalores de concentración con lo que se calculan áreas y volúmenes de suelo contaminado, lo que causará un ahorro significativo del volumen de suelo que tenga que ser intervenido (remediar, disponer como residuo peligroso, entre otros). Se realizó una caracterización en un predio de 22 hectáreas para delimitar la contaminación por plomo en el suelo y la reducción de volumen que se logró involucrando 376 puntos de muestreo analizados con el equipo de campo XRF fue del 51.50%, que significó un ahorro para el responsable del pasivo ambiental de más de 50 millones de pesos.

## INTRODUCCIÓN

Para optimizar recursos en la prospección de suelos potencialmente contaminados se realiza una investigación por fases, partiendo de la recopilación de datos relevantes sobre el origen de la contaminación y los procesos allí desarrollados a lo largo del tiempo; mediante etapas sucesivas de muestreo y análisis, en las que cada etapa constituye la base para el diseño de la siguiente, hasta llegar a caracterizar, delimitar y cuantificar la contaminación existente. De esta forma, la metodología normalmente utilizada se apoya en las siguientes fases (IHOBE, 1994):

### INSPECCIÓN PRELIMINAR

Se basa en un estudio histórico o de investigación del derrame en casos de emergencias, además de un reconocimiento

del terreno, que tiene como objetivo confirmar los indicios que puedan indicar una posible contaminación del suelo.

### INVESTIGACIÓN EXPLORATORIA

Su objetivo fundamental es confirmar la hipótesis de contaminación, así como proporcionar datos relevantes que permitan el diseño óptimo de la siguiente fase de investigación (Plan de Muestreo). Y sus alcances son los siguientes:

- Determinar la presencia de contaminación. Establecer la lista de contaminantes, facilitando para cada uno de ellos unos valores aproximados de concentración media y de heterogeneidad de la distribución espacial.
- Distinguir subáreas o estratos diferenciables dentro de la zona de estudio.

### INVESTIGACIÓN DETALLADA

Cuando la concentración de algunos de los contaminantes detectados supera niveles establecidos de referencia, se procede a una investigación más detallada, cuyo objetivo es el de recabar la información necesaria en cuanto a caracterización y distribución espacial de la contaminación para una evaluación y valoración de riesgos.

En esta investigación por fases, la metodología de prospección establece la realización de una serie de campañas sucesivas de muestreos superficiales de suelos y realización de sondeos para la toma de muestras más profundas, seguido de análisis químicos de las muestras en laboratorios acreditados por la Entidad Mexicana de Acreditación (EMA) y aprobados por la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA).

Es posible dirigir la toma de muestras y análisis por laboratorios acreditados y aprobados, con la utilización de técnicas

modernas de análisis “in-situ”, a través de equipos analíticos portátiles que suministran datos en tiempo real, durante la investigación exploratoria, ya que permiten la toma de decisiones, directamente en el campo, y reduce considerablemente el tiempo necesario para la realización del proyecto.

Adicionalmente, la obtención de un mayor número de puntos de análisis “in-situ” reduce la incertidumbre entre muestras analizadas por laboratorios acreditados y aprobados, resultados analíticos que acepta la autoridad para el cálculo el volumen contaminado a remediar.

## **METODOLOGÍA**

Los análisis “in-situ” permiten un muestreo que tiene por objetivo la detección de anomalías o selección de áreas de interés, así como la toma de decisiones directamente en el campo, en función de los datos obtenidos. La utilización de estos equipos es particularmente interesante en los estudios preliminares de caracterización, ya que en esta fase es donde será verdaderamente útil, debido a que permitirá obtener suficientes datos de alta confiabilidad, para seleccionar, directamente en el campo, las zonas donde será necesario realizar muestreos detallados para enviar las muestras a analizar a laboratorios acreditados y aprobados.

El uso de una tecnología analítica “in situ” de campo reduce los costos al analizar de forma muy rápida, un mayor número de muestras individuales, obteniendo una mejor distribución espacial de los contaminantes, directamente en el terreno, sin necesidad de esperar a los resultados de laboratorio. Por otra parte, dado que la distribución de metales en los suelos tiende a ser heterogénea, la gran cantidad de datos puntuales que se pueden obtener utilizando técnicas analíticas “in-situ”, pueden suministrar de una forma rápida, precisa y económica, la delimitación

de la contaminación, con una buena definición. Es importante mencionar que estas técnicas, para que sean verdaderamente útiles, requieren un mayor conocimiento del origen de la contaminación y de los tipos de contaminantes presentes en el mismo, para seleccionar la técnica analítica más adecuada. Es muy importante el conocimiento de las características geológicas e hidrogeológicas del sitio, para conocer las posibles interferencias y evaluar el potencial uso de los equipos analíticos. También se requiere de una mayor capacitación para el personal que maneja los equipos en el campo, debido a que el uso efectivo de los resultados analíticos necesita que el personal tenga experiencia en la caracterización y cuantificación de la contaminación en los suelos, ya que en función de estos datos que se van obteniendo se deben tomar decisiones, directamente en el campo, que pueden influir de forma notable en el desarrollo del trabajo.

Los análisis “in-situ” a través de técnicas de fluorescencia de rayos X no requieren una recolección física de las muestras. El equipo analítico se sitúa directamente sobre el suelo y realiza directamente el análisis, sin necesidad de ningún tipo de movilización ni preparación del suelo. Cuando se utilizan tecnologías analíticas “in situ”, solamente se pueden analizar muestras individuales del suelo, que es la porción de éste sobre la que se sitúa el equipo. Las técnicas analíticas “in-situ” tampoco permiten archivar la muestra para posteriores análisis. Estas técnicas presentan una mayor dificultad para la homologación de los datos por los organismos competentes, y además la aceptación de los datos será dependiente de las comparaciones con análisis realizados en laboratorios acreditados y aprobados.

La precisión de los resultados, si bien son dependientes de las características físicas y químicas del suelo e interferencias espectrales,

es suficientemente buena para las tareas para las que está enfocada, como son las fases iniciales de prospección, y en muchos casos también es suficiente confiables para fases de cuantificación y monitoreo.

Por otra parte, considerando la rapidez con la que se obtienen los resultados con las técnicas analíticas “in-situ” y que son de un menor costo que los análisis con un laboratorio acreditado y aprobado, se puede invertir en una cantidad considerablemente mayor de análisis “in-situ” en comparación con el número de puntos de muestreo establecidos normativamente, para reducir la incertidumbre al momento de interpolar isovalores de concentración con lo que se calculan áreas y volúmenes de suelo contaminado; es decir, habrá mayor densidad de valores confiables en un área, lo que causará un ahorro significativo del volumen de suelo que tenga que ser intervenido (remediar, disponer como residuo peligroso, entre otros).

## RESULTADOS

Se realizó una caracterización en un predio de 22 hectáreas para delimitar la contaminación por plomo en el suelo.

La identificación de metales en campo se realizó con un analizador portátil de FRX que es un espectrómetro de fluorescencia de rayos X en energía dispersa, para analizar de forma rápida y precisa la composición elemental de cualquier material en estado sólido. Su fundamento se basa en que cada elemento de manera individual, produce su propio set de energía (KeV) característica para sí mismo. Al impactar una muestra con rayos X, los espectros de líneas de rayos X son el resultado de transiciones electrónicas que implican a los orbitales atómicos más internos. Las series K de longitud de onda más corta se producen cuando los electrones de más energía que provienen del cátodo arrancan electrones de los orbitales más cercanos al núcleo del átomo del blanco. Las muestras que se excitan

con radiación de un tubo de rayos X se recuperan a continuación sin ningún cambio. Los elementos y su respectivo contenido son registrados en un espectrograma

El analizador XRF utilizado puede determinar la concentración de once de los doce metales establecidos en la NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004 (arsénico, bario, berilio, cadmio, cromo hexavalente, mercurio, níquel, plata, plomo, selenio, talio y/o vanadio). Este tipo de analizadores portátiles de FRX ofrecen análisis no destructivos y rápidos de la composición elemental en unidades desde partes por millón hasta el 100%.

Para 22 hectáreas, la norma mexicana NMX- AA-132-SCFI-2016 establece como número mínimo de puntos de muestreo 55, considerando la tabla 2 (muestreo de detalle) de esta norma. Para ubicar estos 55 puntos se utilizó el método dirigido como el sistema para la distribución de los puntos de muestreo, el cual se basa en el conocimiento de la causa de la contaminación y su posible evolución, sin ninguna aleatoriedad. La condición para el uso adecuado de este método es conocer física e históricamente el sitio, o generar por métodos indirectos este conocimiento (Apéndice A, NMX- AA-132-SCFI-2016).

Como ya se menciona, se utilizó un analizador XRF como el método indirecto para dirigir los puntos de muestreo cuyas muestras analizó el laboratorio acreditado y aprobado.

Para el analizador XRF se ubicaron 376 puntos de muestreo, con lo que se incrementó la densidad de éstos en el predio evaluado y se redujo la incertidumbre al momento de configurar isovalores y en consecuencia en el cálculo de volúmenes y áreas.

En la Figura 1, se puede observar la diferencia entre la configuración de isovalores de únicamente los 55 puntos de muestreo que establece la norma mexicana NMX- AA-132-SCFI-2016 y cuyas muestras se analizaron

con un laboratorio acreditado y aprobado, con la configuración de isovalores de estos 55 puntos más los 376 puntos analizados con el analizador XRF.

Con los 55 puntos de muestreo se calculó un volumen de suelo contaminado a intervenir de 35,112.00 m<sup>3</sup>, y con los 376 datos de concentración del analizador XRF más los 55 puntos de muestreo con análisis de laboratorio acreditado y aprobado, el volumen calculado fue de 17,030.00 m<sup>3</sup>; es decir, una reducción del volumen del 51.50%.

Económicamente, esta reducción de volumen representa un monto no erogado de más de 50 millones de pesos.

## CONCLUSIONES

Dentro de las técnicas analíticas de campo, los analizadores de fluorescencia de rayos X presentan, para las fases de caracterización y delimitación de anomalías, una alternativa eficaz frente a los métodos analíticos convencionales, tanto desde el punto de vista técnico como económico.

Se realizó una prospección indirecta en un predio con un pasivo ambiental con plomo, realizando mediciones “in-situ” de metales con un analizador portátil de difracción de

rayos X, lo que permitió identificar las zonas contaminadas y las que no presentaban contaminación, con lo que se pudo dirigir el muestreo y análisis con un laboratorio acreditado y aprobado.

Por otra parte, la densidad de puntos analizados en el predio evaluado se incrementó con las mediciones del analizador XRF, lo que redujo la incertidumbre para configurar isovalores y en consecuencia las áreas y volúmenes calculados fueron más cercanos a la realidad.

La reducción de volumen que se logró involucrando los 376 puntos de muestreo analizados con el equipo de campo XRF fue del 51.50%, que significó un ahorro para el responsable del pasivo ambiental de más de 50 millones de pesos.

Este tipo de estrategias donde se logra una reducción o ahorro en la remediación de un sitio contaminado, puede provocar que muchos de los responsables de sitios que están contaminados y no se han atendido por el alto costo que representa remediarlos a condiciones seguras para el ambiente y la salud humana, puedan realizar el saneamiento del sitio en tiempos más cortos.

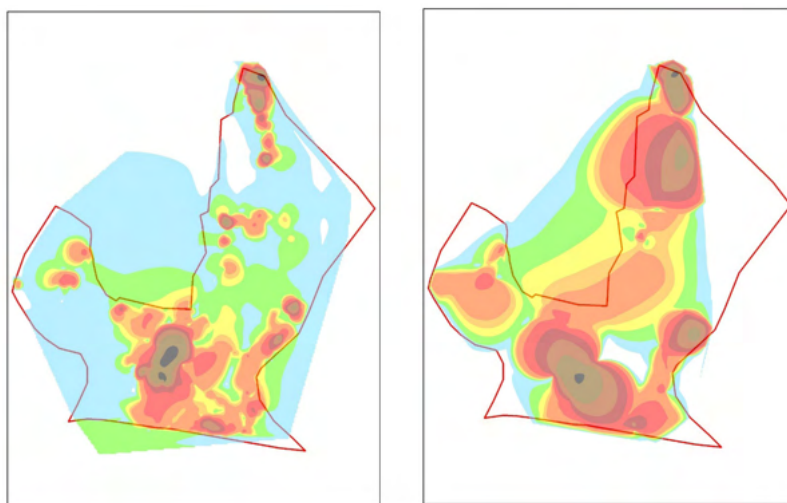


Figura 1. Del lado izquierdo se presenta la configuración de isovalores de únicamente los 55 puntos de muestreo y del lado derecho la configuración de isovalores de estos 55 puntos más los 376 puntos analizados con el analizador XRF

## REFERENCIAS

IHOBE. 1994. Guía metodológica de estudio histórico y diseño de muestreo. Gobierno Vasco. 68 pp

NMX-AA-132-SCFI-2016. Muestreo de Suelos para la Identificación y la Cuantificación de Metales y Metaloides, y Manejo de la Muestra.

NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004, Que establece criterios para determinar las concentraciones de remediación de suelos contaminados por arsénico, bario, berilio, cadmio, cromo hexavalente, mercurio, níquel, plata, plomo, selenio, talio y/o vanadio