



Universidad Nacional
de
San Juan



Facultad de Ingeniería



Departamento de
Ingeniería de Minas



Instituto de
Investigaciones
Mineras

CÁTEDRA: EXPLORACIÓN

Año 2020

GEOQUÍMICA

INTRODUCCIÓN

Los métodos geoquímicos aplicados a la exploración minera constituyen una herramienta fundamental utilizada en los programas de exploración que abarcan todas las etapas. Esta herramienta va (desde los trabajos iniciales de reconocimiento hasta los de detalle y cuando el yacimiento ya ha sido localizado).

Los métodos geoquímicos también se utilizan para identificar las prolongaciones de los yacimientos ya conocidos o en explotación y además ayuda en la toma de decisiones en la selección de áreas de interés para llevar a cabo las perforaciones en la etapa del descubrimiento del depósito.

En resumen, el estudio geoquímico es un método indirecto de prospección y se ocupa de la determinación de la distribución y de la abundancia de ciertos elementos, como los elementos indicadores y los elementos exploradores relacionados con un depósito mineral.

1. GEOQUÍMICA DE EXPLORACIÓN

Según la definición original de GOLDSCHMIDT (en ROSE et al. 1979) la geoquímica es una ciencia que estudia la abundancia, migración y distribución de los elementos químicos en la Tierra.

La interacción entre la química y la geología, para determinar el contenido y comportamiento de los distintos elementos presentes en las sustancias naturales, originó una nueva ciencia denominada **GEOQUÍMICA**.

El objetivo de esta ciencia es que se centra en los procesos geoquímicos de concentración y dispersión de elementos que se desarrollan en los ambientes primario (depósitos producidos por procesos endógenos, como los ígneos y metamórficos) y secundario (depósitos producidos por fenómenos exógenos, como los sedimentarios), y a partir de ahí en la aplicación de los métodos geoquímicos que permiten al profesional de exploración acotar blancos de exploración para la localización de cuerpos mineralizados.

Un depósito mineral es una anomalía geoquímica y por lo tanto contiene uno o varios elementos en concentraciones anormales. La presencia de éstos en el subsuelo, en distintos tipos de material, se manifiesta en la superficie terrestre por una distribución anormal comparada con los contenidos "normales" de los mismos elementos en la roca. Este tipo de distribución ubicada geográficamente se denomina Anomalía Geoquímica. El seguimiento de

éstas Anomalías Geoquímicas, complementado con estudios geológicos, permite la ubicación de una o varias ocurrencias minerales.

Los métodos geoquímicos de exploración consisten en realizar análisis químicos de diferentes materiales geológicos y biológicos (sedimentos de corriente, suelos, rocas, aguas, y plantas) en forma sistemática.

Y como dijimos anteriormente el principal papel de la geoquímica aplicada a la exploración mineral es la localización de yacimientos minerales ocultos.

En exploración mineral las propiedades químicas que se aplican son los contenidos de los elementos químicos, generalmente *trazas* metálicas, que tengan relación con la presencia de algún yacimiento mineral y, por lo tanto, pueden definir patrones geoquímicos anómalos en contraste con condiciones geoquímicas normales de los materiales geológicos.

2. MOVILIDAD DE LOS ELEMENTOS EN EL AMBIENTE ENDÓGENO Y EXÓGENO (FUENTES DE DISPERSIÓN)

Los factores que participan en la movilidad de los elementos, son una ayuda para identificar directa o indirectamente un Depósito, dependen en gran medida de:

- Tipo y tamaño del depósito.
- Composición y tenor de la mena, si aflora y está sometido a procesos erosivos o está oculto.
- Contraste geoquímico del depósito con la roca de caja.

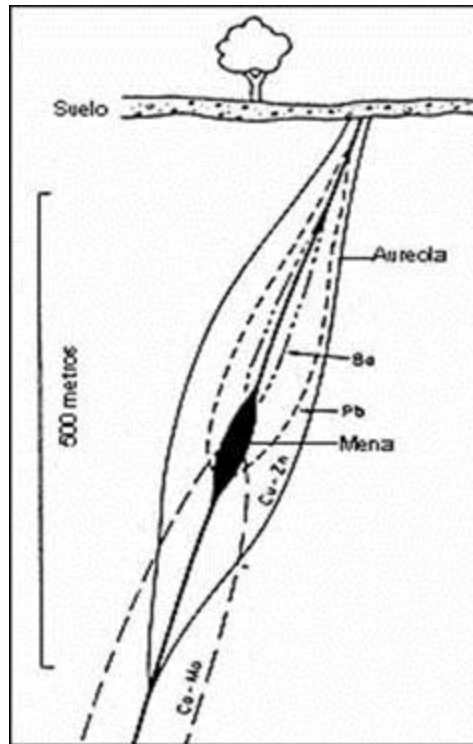
*** MOVILIDAD EN EL AMBIENTE ENDÓGENO, "DISPERSIÓN PRIMARIA".**

La dispersión primaria generada bajo superficie, está relacionada a las rocas frescas, no meteorizadas.

La movilidad de los elementos en ambientes profundos (ambiente primario) está influenciada por la temperatura y presión altas, restringida a la circulación de fluidos y bajo contenido de oxígeno libre. Los eventos volcánicos, aguas termales, minerales de alteración asociados y fenómenos similares pueden incluirse en este ambiente.

La determinación del contenido de los elementos en las rocas permite identificar patrones de dispersión primaria.

Los datos obtenidos pueden suministrar información adicional a la historia geológica del área y constituirse en una ayuda para la búsqueda de minerales de interés económico. Al estudiar las rocas es importante identificar el contenido de los elementos químicos presentes, los cuales se dispersan y generan aureolas indicadoras de alteración hidrotermal y zonación mineral alrededor del depósito mineral.



Anomalía y Halos de Alteración en un Ambiente Primario

En los modelos de dispersión primaria las dimensiones de las aureolas varían desde unos pocos metros hasta varios kilómetros.

Por ejemplo uno de los principales tipos de yacimientos minerales susceptibles de ser localizados mediante exploración geoquímica son los yacimientos Hidrotermales. Aquí la dispersión está relacionada con la naturaleza y origen de los fluidos hidrotermales, los cuales se presentan en desequilibrio químico con las rocas vecinas. El resultado final es una difusión de los contenidos de metal en la roca de caja, generando aureolas que tienden a decrecer en forma logarítmica a mayor distancia del depósito. La dispersión ocurre por el flujo de soluciones mineralizadas a través de fracturas donde ésta tiende a formar una distribución más extensa e irregular de los metales, comparada con la difusión a través de un medio estático.

El contenido metálico en las zonas de alteración hidrotermal se presenta tanto como residuo de sulfuros, en minerales secundarios y en productos absorbidos, constituyendo un criterio importante en la evaluación geoquímica de las zonas alteradas.

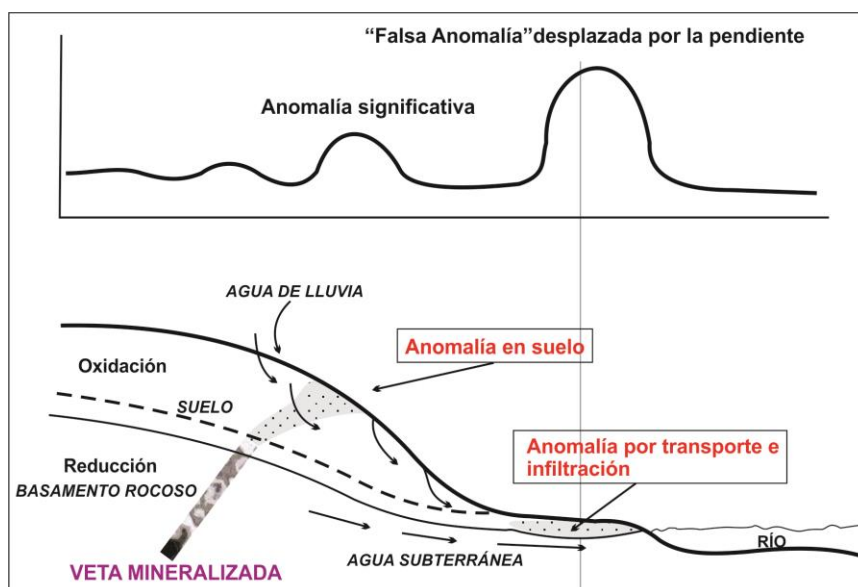
En otras palabras, se presenta una migración de los metales a partir del depósito mineral, controlado en parte por gradientes de temperatura y presión, composición mineral del depósito, intensidad de las fracturas de la roca y estructuras, entre otras.

* **MOVILIDAD EN EL AMBIENTE EXÓGENO, “DISPERSIÓN SECUNDARIA”.**

La movilidad de los elementos químicos en ambientes superficiales (ambiente secundario) está relacionado directamente con los procesos de meteorización, erosión y sedimentación en la superficie de la tierra. Está caracterizada por baja temperatura, baja y constante presión, movimiento libre de soluciones y abundante oxígeno y agua, CO₂ efectuándose principalmente en medios acuosos.

La movilidad de los elementos en los suelos está modificada por la topografía, la litología del basamento rocoso, la composición, tipo y madurez del suelo, la presencia de materia orgánica, la influencia de bacterias, la actividad bioquímica y el pH.

La dispersión secundaria generada por agentes superficiales es variable para cada elemento y se relaciona con la distribución alrededor de un Depósito.



Anomalia geoquímica – Dispersión secundaria

3. CONCEPTOS BÁSICOS

* ELEMENTO INDICADOR

El Elemento indicador, indicador directo o elemento blanco (*'target element'*) se refiere a uno de los elementos principales del depósito mineral, que se espera encontrar.

* ELEMENTO EXPLORADOR – ELEMENTO TRAZA

Elemento explorador, elemento traza o elemento pionero (*'pathfinder element'*) se refiere a un elemento asociado con el depósito mineral, pero que puede ser detectado más fácilmente en comparación al elemento blanco, que puede ser dispersado en un área más extendida y que no está acompañado por tanto ruido de fondo en comparación al elemento blanco.

La selección de un elemento explorador requiere un modelo del depósito mineral, que se espera descubrir.

Como por ejemplo, el Arsénico (As) para la búsqueda de cobre (Cu) en un depósito masivo de sulfuros, constituye un elemento explorador.

Tabla de Elementos indicadores y exploradores de algunos tipos de depósitos minerales

ASOCIACIÓN DE MENAS	ELEMENTO INDICADOR	ELEMENTO EXPLORADOR
Pórfido cuprífero	Cu, Mo	Zn, Au, Re, Ag, As, F
Depósitos complejos de sulfuros	Zn, Cu, Ag, Au	Hg, As, S (en forma de SO ₄), Sb, Se, Cd, Ba, F, Bi
Vetas de metales preciosos	Au, Ag	As, Sb, Te, Mn, Hg, I, F, Bi, Co, Se, Tl
Depósitos del tipo 'Skarn'	Mo, Zn, Cu	B, Au, Ag, Fe, Be
Uranio en areniscas	U	Se, Mo, V, Rn, He, Cu, Pb
Uranio en vetas	U	Cu, Bi, As, Co, Mo, Ni, Pb, F
Cuerpos ultramáficos de oro	Pt, Cr, Ni	Cu, Co, Pd
Vetas de fluorita	F	Y, Zn, Rb, Hg, Ba

* El término “**FONDO**” o “**BACKGROUND**” se refiere a la abundancia normal de los elementos en los materiales terrestres no mineralizados. Esa abundancia (ppm) ya está estipulada. Todos los valores geoquímicos que están por encima del Background se consideran valores anómalos.

* El **CUTOFF (LEY MÍNIMA DE CORTE)** es un valor del elemento que indica la concentración mínima de la mineralización, que todavía se puede explotar económicamente. Y ese valor está designado por la situación económica mundial, como así también por la política de un país.

4. LA GEOQUÍMICA EN LOS PROGRAMAS DE EXPLORACIÓN

La exploración normalmente involucra una secuencia de pasos, tanto en la etapa de la planificación como en la de ejecución.

El primer paso es seleccionar áreas o regiones que presenten potencial de contener mineral y que puedan ser exploradas en su totalidad. La selección inicial de áreas puede estar basada en:

- Interpretación de fotografías aéreas y/o las imágenes de satelitales ya que pueden proporcionar una fuente invaluable de información sobre rasgos estructurales, extensión de las unidades rocosas y el tipo de cobertura.
- Por la revisión de la geología conocida y los registros de la pasada prospección y actividad Minera.

La organización de un estudio geoquímico, independientemente de la escala, está basada en tres unidades funcionales principales:

- El trabajo de campo, empleado primeramente en el muestreo.
- Laboratorio (análisis).
- La dirección técnica responsable para la toma de decisiones técnicas, de operación, así como la interpretación de resultados obtenidos.

5. MUESTREO GEOQUÍMICO

TIPOS DE MATERIALES

Los diferentes tipos de estudio que se pueden realizar desarrollando el muestreo de elementos son:

- + Geoquímica de sedimentos de arroyo.
- + Geoquímica de suelo.
- + Geoquímica de roca.
- + Geoquímica de agua.
- + Geoquímica de vegetación.

Para un reconocimiento geoquímico general es necesario recolectar un número definido de muestras, las que pueden corresponderse a de sedimentos de corrientes, de rocas (esquirlas, canaletas, rodados, otras), de suelos, y en casos muy especiales se trabajan con muestras de vegetación, o bien a una combinación entre ellas.

El muestreo es la forma corriente de obtener muestras representativas de un determinado material natural, colectado de una manera estandarizada.

La cantidad de material debe estar adecuada a la finalidad del trabajo, a los requerimientos analíticos y a la conservación del remanente en repositorios como material de referencia para futuras investigaciones.

La metodología de muestreo condiciona el grado de certidumbre de los resultados y normalmente constituye un porcentaje muy significativo del costo total de un proyecto. En consecuencia, es conveniente establecerla previamente mediante protocolos cuidadosamente elaborados para distintos medios, fines y escalas.

▪ MUESTREO DE SEDIMENTOS

La puesta en práctica de un plan de muestreo exitoso para sedimentos de corriente dependerá del conocimiento previo que se tenga del sistema. En general el alcance y representatividad de una muestra de sedimentos de río, o lago, dependerá del tamaño y de las características geomorfológicas de la cuenca hidrográfica.

Las muestras son recogidas en el cauce vivo, en donde en cada punto se debe tomar las coordenadas con un GPS y se debe realizar una ficha en la que se reflejan datos sobre el tipo de sedimento y el cauce del arroyo. Las muestras de sedimentos deberán ser secadas al sol, y disgregadas manualmente y homogeneizadas y tamizadas a la granulometría determinada previamente, por lo general a 125 μ .

La fracción menor de 125 μ será cuarteada y envasada en una bolsa de plástico (bolsas desmineralizadas) para su envío al laboratorio de análisis químico. Es recomendable realizar un preparado de un 5% de muestras duplicadas para control de laboratorio.

El Análisis químico multielemental es llevado a cabo por diversas técnicas en laboratorio, de las cuales las más empleadas son: Espectrometría de Emisión Plasma con Acoplamiento Inductivo e ICP, entre otros. El control de calidad analítica se realiza a partir de patrones internacionales internos y de los duplicados preparados al efecto.



Muestreo de sedimentos en arroyo activo



Muestreo de sedimentos en lecho de arroyo seco

▪ MUESTREO DE SUELO

Las características de los suelos difieren en función de los aspectos geológicos, fisiográficos, y climáticos de una región. Estos aspectos condicionan el desarrollo de sus perfiles (horizontes (A-C)). Bajo el punto de vista de la geoquímica el horizonte B (que constituye el horizonte de acumulación) presenta un gran interés, ya que es ahí donde suelen concentrarse preferentemente los elementos químicos.

La toma de muestras y estudio del perfil del suelo permite conocer la evolución del contenido metálico en profundidad, método empleado en prospección geoquímica.

El método clásico de muestreo es a lo largo de perfiles, y las características de éstos dependerán entre otras consideraciones de la escala a que estamos trabajando.

El diseño de la red de toma de muestras generalmente dependerá de factores como el topográfico, en donde éstas se toman perpendicularmente a la pendiente del terreno.

Estos puntos se localizan adecuadamente mediante GPS y cinta métrica, señalizándose mediante estacas de madera o metal, y se procede a la toma de muestras, mediante métodos “artesanales” (azada, pico, pala) o mediante herramientas diseñadas al efecto.

Una vez tomadas las muestras, se pasa a su preparación para el análisis. Las muestras de suelos requieren un secado como primer paso y luego se procede a su cuarteo, para obtener distintas fracciones, que se emplearán para diferentes determinaciones. Para ello se emplean cuarteadores específicamente diseñados, o el método manual, basado en homogeneizar la muestra lo más posible y dividirlo en cuatro cuartos.

La preparación de las muestras es un proceso físico, en el que es posible que se produzcan problemas de contaminación, que solamente podrán evitarse siendo extremadamente cuidadosos en la limpieza de los equipos a utilizar y en un control detallado de cada uno de los procesos que llevemos a cabo.



Muestreo de suelo

- **MUESTREO DE ROCAS**

Es el muestreo más directo, en donde se toman de afloramientos, pudiendo ser una muestra masiva, selectiva y representar un área específica. Las muestras de roca pueden ser continuas en canaletas o de esquirlas (chips).



Muestreo de roca en canaleta



Muestreo de roca en esquirlas (chips)

▪ MUESTREO DE PLANTAS

El uso de la vegetación como método de prospección involucra la respuesta de las plantas a su medio, en particular al substrato químico que las soporta. Esta metodología se basa en el análisis químico de las plantas como medio para obtener evidencias acerca de las posibles anomalías geoquímicas que se oculten en profundidad.

Esta técnica se utiliza principalmente en aquellas regiones que presentan una vegetación muy densa y en donde la cartografía geológica es difícil de ser llevada a cabo (ausencia de afloramientos). La toma de muestras puede realizarse sistemáticamente (red de muestreo) o bien tomando muestras de plantas donde sea posible.



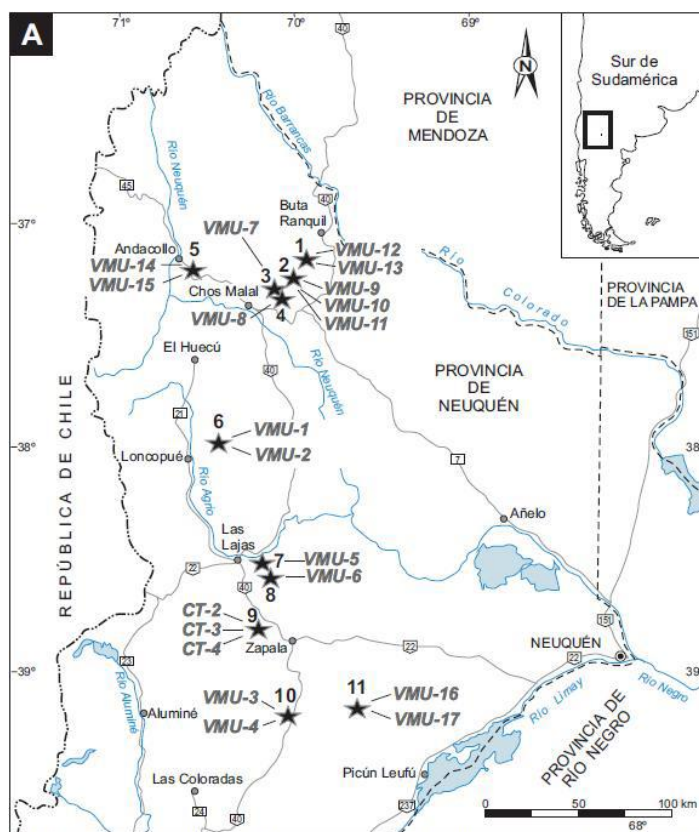
Muestreo de vegetación

UBICACIÓN DE LOS SITIOS DE MUESTREO

La selección y localización de los lugares de muestreo depende de los objetivos de la investigación, de las informaciones previas y de las condiciones de la propia zona a muestrear.

Los puntos de muestreo se deben localizar con exactitud e identificar perfectamente, por si fuera necesario repetir el muestreo, para reseñar los datos en los mapas con precisión (mapas topográficos) y para permitir conservar y procesar datos mediante el empleo de software específico.

La trama del muestreo de acuerdo con el tipo de muestreo elegido, se representa previamente en un mapa a escala conveniente. El muestreo se acompañara de una documentación (Ficha de Campo) con una serie de datos que incluirá las siglas de la muestra, la situación exacta (coordenadas marcadas por GPS) y localidad, la fecha de recogida, las condiciones topográficas y paraje.



Mapa con localización de los puntos de muestreo y código de las muestras obtenidas.

IDENTIFICACIÓN DE LAS MUESTRAS

En términos generales todas las muestras extraídas, ya fuesen de cualquier tipo de material (sedimentos, suelos, rocas, plantas, entre otras) deberán ser correctamente envasadas e identificadas para su posterior análisis en laboratorio.

Para lo primero, se utilizan bolsas indestructibles de tamaño apropiado y desmineralizadas, de acuerdo a la cantidad de la muestra. Para evitar la contaminación y/o pérdida de material, se deben sellar el envase con un medio seguro (precintos de seguridad).

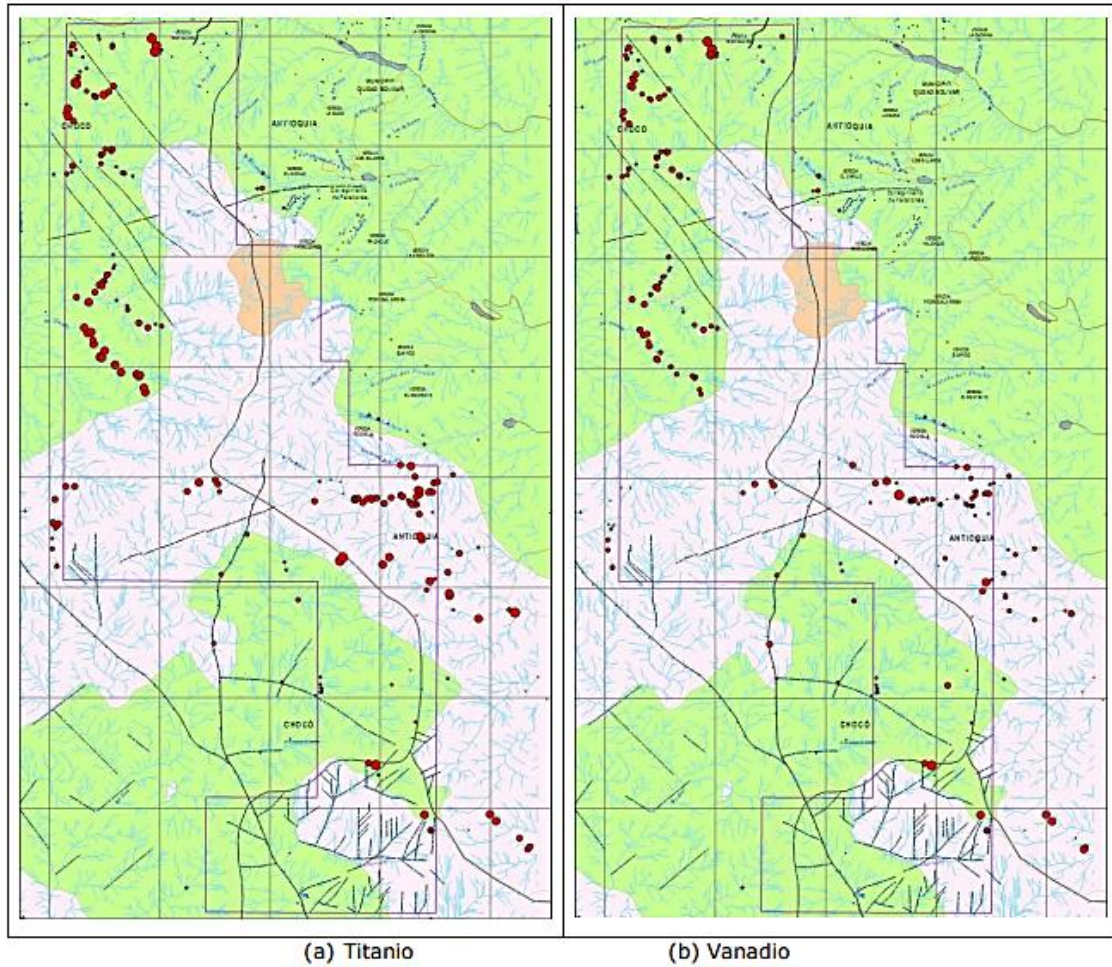
Toda muestra debe llevar un número de identificación que debe ser correlativo e irrepetible para una misma área. El número de muestras a tomar dependerá del tipo de investigación del proyecto minero.

6. RECOPIACIÓN, INTERPRETACIÓN Y DIGITALIZACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

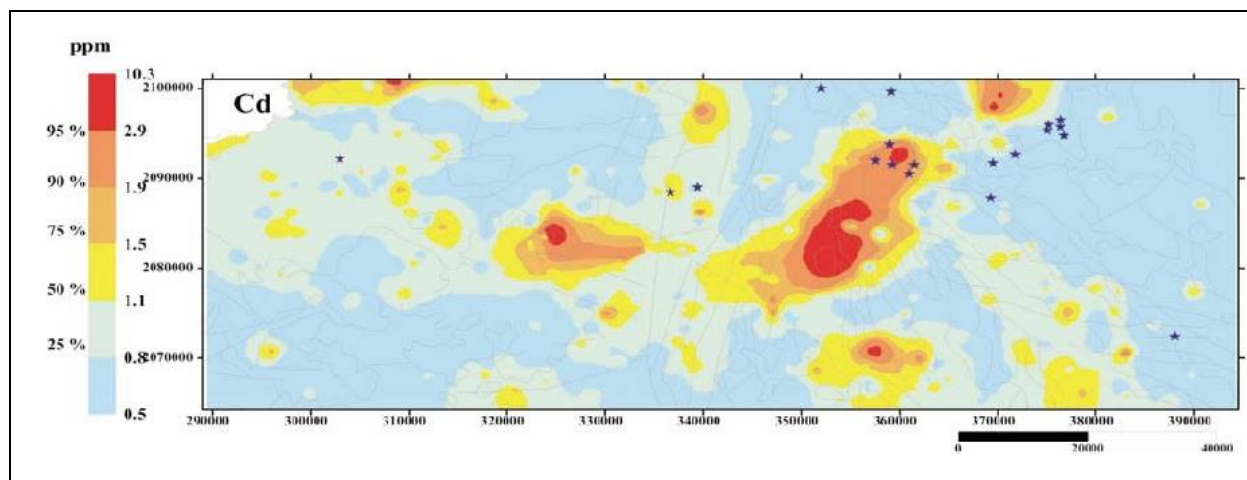
Los resultados geoquímicos reportados por el laboratorio son llevados a la base de datos por medio de diferentes formatos o plantillas (PDF, Excel, Acces, CSV, otras).

Los datos son sometidos a un tratamiento estadístico elemental. La distribución de cada elemento se representan en mapas temáticos (análisis gráfico) confeccionados con diferentes software (Mapinfo, Arcgis, Surfer, Excel, otros) a partir de la agrupación de sus contenidos ya sea representando su valores máximos, mínimos, clases, otros; se pueden representar en forma automática la variabilidad de los tenores de los elementos ya sea por contornos, sombreado variable, figuras de diferente tamaño, otros.

A continuación se muestran, en varias figuras, diferentes representaciones de los resultados geoquímicos.



Mapas de Concentración Puntual de elementos en sedimentos activos finos.
 Los diferentes tamaños (esferas rojas) representan el contenido de los elementos.



Geoquímica de sedimentos de corriente. Distribución del cadmio (en ppm)

El análisis posterior conduce a la delimitación espacial de las zonas anómalas, mediante la determinación de la magnitud de variación de los tenores anómalos respecto del nivel de fondo geoquímico regional.