



ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA Y
COMISIÓN NACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA DE LA REPÚBLICA ARGENTINA

CURSO REGIONAL DE CAPACITACIÓN EN LA PROSPECCIÓN DE URANIO

BUENOS AIRES, 8 de setiembre - 31 de octubre 1969

III. MÉTODOS DE PROSPECCIÓN URANÍFERA

5.b. MÉTODOS DE EXPLORACIÓN GEOQUÍMICA

DR. ANGEL M.O. SANCHEZ

MÉTODOS DE EXPLORACION GEOQUIMICA

ANGEL M.O.SANTOMERO

Comisión Nacional de Energía Atómica

I. INTRODUCCION.

La factibilidad de aplicación de la técnica de prospección geoquímica a la búsqueda y localización de yacimientos minerales, está íntimamente relacionada, por una parte, a la posibilidad de encontrar estructuras de dispersión del elemento investigado, cualquiera sean sus formas (halos, abanicos o regueros) y por la otra, a poder disponer de métodos analíticos lo suficientemente sensibles y prácticos para lograr una detección rápida y segura de las anomalías geoquímicas.

El uranio posee gran movilidad en las capas superficiales de la corteza terrestre dentro de una amplia gama de pH, ya sea bajo la forma de complejos sulfatados con pH ácidos o bien como complejos carbonatados y bicarbonatados con pH alcalinos. Su propiedad de formar compuestos naturales solubles en el agua, le permite migrar fácilmente en ese medio dando lugar a la formación de anomalías hidrogeoquímicas que pueden ser detectadas a varios kilómetros de los centros de dispersión.

Esto, unido a la circunstancia de disponer para su dosaje de técnicas fluorimétricas susceptibles de responder satisfactoriamente a las exigencias de la prospección (sensibilidad, fidelidad, simplicidad, rapidez y bajo costo)(1), hacen que la técnica de prospección geoquímica sea perfecta-

mente aplicable a la investigación y localización de menas uraníferas.

En todo trabajo de prospección geoquímica, cualquiera sea el elemento investigado, existen 3 etapas o fases principales que deben ser consideradas, a saber:

- 1°- La investigación de orientación
- 2°- La prospección de rutina
- 3°- La interpretación de resultados

II. LA INVESTIGACION DE ORIENTACION.

La investigación de orientación debe ser realizada por un profesional especializado y representa el primer paso en toda campaña de prospección geoquímica.

Su objetivo fundamental es determinar la factibilidad de utilización de esta técnica en la resolución de los problemas planteados. De su correcta aplicación surgirán los métodos a utilizar en los trabajos posteriores de rutina (material a muestrear, equidistancia entre muestras, técnica analítica más conveniente, etc.). En esta fase de la prospección se podrá, asimismo, realizar una estimación de los costos que demandarán las campañas futuras.

En el reconocimiento de un área nueva, su realización resulta imprescindible y nunca debe subestimarse su importancia, aún poseyendo el geólogo actuante un amplio dominio de la técnica. Los problemas que se presentan en el terreno nunca son exactamente iguales, pudiendo existir factores imprevistos que introducen modificaciones locales en los cuadros de dispersión, conduciendo a errores en la interpretación. (2).

Los estudios de esta naturaleza se llevan a cabo sobre un yacimiento uranífero o centro de dispersión conocido, en donde las condiciones naturales no hayan sido modificadas substancialmente por acción de la mano del hombre, aseguran-

do de ese modo, la existencia de un cuadro geoquímico normal.

Si no se tiene conocimiento, dentro del área de estudio, de la existencia de mineralización uranífera que pueda servir a ese fin, se recurrirá a una región que presente características geológicas, topográficas y climáticas similares o muy semejantes a aquella.

GRIMBERT (3 y 4), da a conocer algunas investigaciones de carácter preliminar realizadas en Africa, por grupos de prospección geoquímica del C.E.A.

Los resultados obtenidos en la prospección de zonas áridas e intertropicales forestadas, fueron altamente satisfactorios y permitieron establecer normas de trabajo para los equipos encargados de la prospección de rutina en esas regiones. Concluye insistiendo en la necesidad de exámenes preliminares ante toda aplicación rutinaria de las técnicas geoquímicas de prospección.

Al practicarse el muestreo, se utilizarán suelos, aluviones, aguas naturales y vegetales, a fin de determinar la magnitud de las dispersiones factibles de encontrar en esos materiales, eligiendo aquellos que ofrecen mejores resultados.

Los esquemas de muestreo y los espaciamientos máximos entre muestras, deben ser fijados de antemano y dependerán fundamentalmente del tipo de anomalía que se espera encontrar en la zona.

Normalmente se rastrean los ríos y arroyos muestreando aguas naturales y aluviones a intervalos fijos, utilizando para suelos y vegetales perfiles transversales a la dirección de las pendientes topográficas.

A fin de poder disponer a corto plazo de los resultados analíticos que permitan orientar la prospección en las direcciones más convenientes, resulta sumamente ventajoso in-

corporar a la comisión de campo un laboratorio portátil, que proporcionará información rápida y de una exactitud equivalente a aquella de un laboratorio fijo.

III. PROSPECCION DE RUTINA.

Si los resultados de la investigación preliminar de orientación fueron satisfactorios, se pasa con la prospección de rutina a la segunda etapa del programa de trabajos: la búsqueda de las anomalías geoquímicas y localización de sus fuentes de dispersión.

III.1. PROSPECCION GENERAL

En la prospección general, la malla de muestreo oscila entre los 500 y 1000 m, utilizándose planos a escala 1:50.000 o de denominador mayor, según las circunstancias y posibilidades.

Su objetivo fundamental es delimitar zonas factibles de albergar concentraciones minerales en regiones poco conocidas, las que serán más tarde investigadas más prolijamente mediante la prospección detallada.

Se toman muestras de agua y aluviones sobre la red hidrográfica, interesando el curso principal y afluentes mayores. Los suelos y vegetales son muestreados a lo largo de perfiles o siguiendo una malla equidimensional, conforme al relieve y objetivos trazados.

Teniendo en cuenta que esta faz de la prospección geoquímica ha sido convenientemente desarrollada en una disertación anterior, pasaremos a considerar aquella de la prospección detallada.

III.2. PROSPECCION DETALLADA.

La prospección detallada corresponde a una etapa de investigación intermedia entre la prospección general y la prospección táctica. Su finalidad es localizar las fuentes de dispersión u origen de las anomalías determinadas en el curso de la prospección general.

Su aplicación requiere el uso de una cartografía adecuada a escala variable entre 1:5.000 y 1:50.000. Los materiales objeto de muestreo son fundamentalmente los mismos que aquellos utilizados en la prospección general, principalmente aguas y aluviones, con una densificación de la malla de muestreo sobre la red hidrográfica, la que puede variar entre 100 y 200 m, de acuerdo a las características físico-climáticas de la zona de estudio.

En esta etapa se amplía la toma de muestras a todos los afluentes o tributarios del curso principal, ya sean de caudal permanentes o temporarios.

Los aluviones ofrecen la ventaja, con respecto a las aguas naturales, de estar menos sometidos a las fluctuaciones estacionales y de persistir, aún en períodos de sequía.

Por otra parte, la conservación de las muestras permite al analista nuevos ensayos de comprobación en casos de resultados dudosos y verificaciones ulteriores de los elementos que acompañan al uranio.

Por último, los contenidos en uranio de los aluviones son mil veces superiores a aquellos de las aguas: partes por millón (ppm) en lugar de partes por billón (ppb), o expresado en otra forma, $p.p.10^6$ para los aluviones y $p.p.10^9$ para las aguas.

La calidad del sedimento de corriente (composición y granulometría), es un factor importante que gravita en el proceso de fijación del uranio a partir de una solución. En efecto, la fijación de ese elemento por materiales convenientes tales como los minerales arcillosos (en sentido amplio), el hidróxido de hierro y las substancias orgánicas, es un hecho bien conocido (5).

En consecuencia, el prospector al practicar el muestreo procurará escoger la fracción de aluvión más fino, eligiendo los puntos donde el curso de agua reduce su velocidad de corriente, creando condiciones favorables para la acumula-

ción de aquellos sedimentos de composición y características señaladas precedentemente.

En los cauces secos, las muestras deberán ser tomadas sobre las vías de escurrimiento de las aguas de lluvia, coincidentes con el lecho del arroyo.

En zonas con vegetación bien desarrollada, se podrá muestrear la base del suelo vegetal o bien el aluvi^{ón} infrayacente. En todo caso, la profundidad de muestreo es función de las características geoquímicas de la región y se determina por ensayos experimentales en el curso de la investigación de orientación (6).

En la recolección de las muestras, se utiliza generalmente una pequeña pala de acero inoxidable. La ventaja de este material, además de no contaminar, está en su resistencia y durabilidad.

Una cantidad de 150 a 200 g de material es suficiente y representativa. Para el almacenamiento de las muestras es necesario disponer de recipientes impermeables, dado los contenidos normales de humedad de los sedimentos. El uso de sobres confeccionados en papel grueso, tipo Kraft, resultan muy convenientes, ya que permiten el secado de la muestra sin trasvasar, proporcionando a la vez una superficie apta para el registro de notas.

Cuando el material recogido acusa un elevado grado de humedad, pueden utilizarse pequeñas bolsas de polietileno, que se obtienen en el comercio a un precio reducido.

Al efectuar las anotaciones pertinentes, el prospector deberá señalar las características más sobresalientes del material muestreado, tales como la granulometría (fino, mediano o grueso), naturaleza del cauce (temporario o permanente), presencia de vegetales, materia orgánica, etc., a los efectos de considerarlas al realizar la interpretación de resultados.

Una vez que las muestras han sido convenientemente secadas (en estufas en el laboratorio, al sol o sobre brasas en el campo), se procede a su desagregación en un mortero de porcelana y separación de la fracción fina (inferior a 80 mallas), utilizando tamices de acero inoxidable.

En los casos en que la comisión de prospección no disponga de un laboratorio móvil de campaña, las operaciones de secado y tamizado de las muestras conviene efectuarlas en el campo y enviar al laboratorio aproximadamente 5 g de la fracción fina, para los ensayos analíticos correspondientes.

Todo lo dicho hasta aquí referente al almacenamiento y preparación de las muestras de aluvión, puede ser también, aplicado a los suelos.

En la prospección detallada estos, conjuntamente con los vegetales, también densifican su malla de muestreo, en la misma medida que las aguas y aluviones.

La utilización de los suelos para definir el origen de una anomalía detectada en un valle, puede resultar provechosa. El prospector deberá determinar si se está en presencia de una dispersión uranífera longitudinal o lateral. En estas circunstancias, un muestreo estrecho de los suelos sobre un perfil transversal al eje del valle conviene a esos fines, aunque no siempre permite localizar el origen de la anomalía. En efecto, ésta puede haberse producido por afloramiento de una napa freática, enriquecida en uranio al entrar en contacto con una mineralización oculta situada aguas arriba (4).

Si bien el empleo de los suelos se lleva a cabo en todas las fases investigativas de la prospección geoquímica, es en la prospección táctica donde alcanza su máxima aplicación. Al tratar más adelante esta fase de la prospección, volveremos a ocuparnos de ellos con mayores detalles.

Haciendo referencia a las aguas naturales, destaquemos que su utilización en la prospección geoquímica es cada vez más frecuente, en todos aquellos países que desarrollan esta técnica.

El agua representa el agente más importante por las anomalías a que da lugar. En condiciones favorables puede alcanzar profundidades de decenas y aún centenas de metros de la superficie, ejerciendo su acción disolvente sobre las rocas y minerales con los que entra en contacto.

En el caso particular del uranio, la alteración meteórica de sus fuentes primarias tiene por efecto oxidar el uranio tetravalente (ión uranoso), en uranio hexavalente (ión uranilo), químicamente más móvil, que forma hidróxidos y compuestos complejos que pasan rápidamente en solución.

Las dimensiones de las aureolas de dispersión hidrogeoquímicas son extremadamente variables, alcanzando desde algunas decenas a centenares de metros y en condiciones favorables, magnitudes del orden de muchos kilómetros (7).

Ellas dependen de una serie de factores, tales como movilidad del elemento, el carácter de las soluciones acuosas, las características climáticas, las variaciones estacionales de caudal, las particularidades morfológicas de las áreas de drenaje, etc.

P.F.FIX, del Servicio Geológico de los EE.UU. (8), señala que en condiciones favorables, las anomalías hidrogeoquímicas provocadas por un yacimiento de uranio importante, pueden ser detectadas a distancias de varios kilómetros en el agua profunda y probablemente un centenar de kilómetros en las aguas superficiales. Para un depósito pequeño, estas cifras se reducen a algunos centenares de metros y unos 20 kilómetros, respectivamente.

Experiencias del mismo autor en la Meseta del Colorado, en la zona del Río Dolores, indican que el efecto de una zona radiactivamente elevada, disminuye a la mitad sobre una distancia de 80 kilómetros aguas abajo del yacimiento.

El tenor uranífero fundamental de las aguas natu-

rales, varía ampliamente con la naturaleza de las formaciones geológicas que ellas drenan. Ese valor, no depende únicamente del contenido en uranio de los terrenos atravesados, sino también, de la naturaleza de las aguas. Según sus contenidos en determinados aniones como sulfatos, carbonatos, etc, temperatura, potencial de hidrógeno, potencial de oxi-reducción, gases disueltos, etc., ellas serán susceptibles de incorporar más o menos uranio en solución.

Dicho tenor varía también, según se trate de aguas superficiales o subterráneas. Datos proporcionados por el Servicio Geológico y la Comisión de Energía Atómica de los Estados Unidos (9), señalan para las aguas subterráneas valores menores a 2 ppb, en tanto que aquellas provenientes de sedimentos volcánicos y tobáceos, considerados favorables para depósitos de uranio, pueden contener de 10 a 250 ppb.

Para las aguas superficiales, la misma fuente destaca que la mayoría de los cursos de agua que atraviesan áreas uraníferas contienen, comúnmente, de 1 a 10 ppb.

En el área de fosfatos de la Florida, el fondo es de 0,1 ppb y el umbral de significación es aproximadamente de 0,3 ppb. Tenores de 1 a 3,5 ppb se consideran indicativos de la presencia de fosfato uranífero.

En la Meseta del Colorado, los cursos de agua tienen un fondo de 0,5 a 0,3 ppb, considerándose como anomalías significativas, los valores superiores a 5 ppb.

En el curso de la prospección geoquímica detallada, paralelamente al muestreo de las aguas superficiales, se toman muestras de todos los manantiales, pozos, perforaciones y otras fuentes de aguas subterráneas de la zona de estudio. Fundamentalmente se investigan sus tenores en uranio, realizándose además, determinaciones sobre el contenido de radón.

El radio se determina únicamente en unas cuantas

muestras seleccionadas y también en todos los casos en que aquellas presenten un elevado contenido de uranio o radón (7).

Una elevada concentración de radio en las aguas anómalas, constituye siempre una buena indicación para la prospección. Contenidos superiores a los normales en radón, podría indicar que la mineralización de uranio que provocó la anomalía, no se encuentra lejos. No obstante, se debe ser prudente en la interpretación de esos valores, pues el radón tiene tendencia a migrar a lo largo de las zonas fracturadas y revela mejor la tectónica que la presencia de uranio.

Al practicarse el muestreo se buscarán las aguas en movimiento, evitando aquellas que permanecen estancadas. La muestra así obtenida debe ser límpida e incolora, exenta en lo posible, de sedimentos en suspensión.

En los casos de aguas surgentes, se procurará tomar la muestra lo más próximo posible al lugar de salida, resultando muy útil para realizar esa operación el uso de una jeringa.

En ambos casos, se realizan mediciones de pH y conductividad de las aguas, a fin de registrar los contenidos de uranio en el residuo seco, expresado en ppm.

Para determinaciones de radón se utilizan tubos de ensayos, a los que previamente se les ha practicado el vacío. Al tomar la muestra, el prospector deberá señalar la fecha y hora del muestreo. Estos datos son necesarios pues el dosaje del radón se basa en la determinación de partículas alfa emitidas por éste. Se utilizan balones recubiertos interiormente de sulfuro de zinc, midiéndose los impactos mediante un conjunto integrador.

100 cm³ de agua son suficientes para realizar las determinaciones de laboratorio relativas al uranio y radio.

Para su almacenamiento se pueden utilizar frascos de plástico o pequeñas bolsas de polietileno. Estas últimas resultan mucho más convenientes y prácticas de llevar.

Entre los datos que deben señalarse en oportunidad del muestreo figuran, además de la naturaleza del agua (subterránea o superficial), los siguientes puntos: caudal del curso (débil, mediano o grande), características principales (color, limpidez, material en suspensión, etc.), velocidad de corriente, radiactividad, etc.

Resulta indispensable proceder al dosaje del uranio contenido en las aguas, inmediatamente después de haber recogido la muestra, evitando así, la prolongada conservación de la misma. En efecto, el uranio contenido en las aguas al estado de extrema dilución, puede sufrir fenómenos de coprecipitación o adsorción por parte del material en suspensión, materia orgánica, organismos y aún por las paredes del recipiente. A este respecto, se han realizado algunas experiencias para delimitar la conservabilidad del título en uranio de aguas naturales superficiales. Después de aproximadamente una semana, la concentración disminuye del 15 al 20 % y pasado un mes no se tienen más valores reproducibles, registrándose variaciones continuas entre determinaciones realizadas en las mismas condiciones (10).

Esto significa un verdadero problema, cuando la comisión de prospección no dispone de un laboratorio portátil.

Estos inconvenientes han sido resueltos de una manera altamente satisfactoria por personal del C.E.A. de Francia, que ha desarrollado un método práctico que responde a las exigencias requeridas por la prospección geoquímica. Dicho método consiste en concentrar una muestra de agua de 10 o 20 cm³, según los casos, directamente sobre una banda de papel cromatográfico. El agua asciende en el papel por capi-

laridad junto con las sales en solución y es detenida a una altura determinada, por acción de una fuente de rayos infrarrojos que provoca la evaporación continua del líquido, dejando los constituyentes sobre el papel (11).

Posteriormente en Italia, personal de la Sección Geoquímica del Comitato Nazionale per le Ricerche Nucleari (10), proyectó y construyó evaporadores basados sobre convección de aire caliente, que evita la posible carbonización del papel, tras prolongada exposición a los rayos infrarrojos. Estos evaporadores, pueden ser alimentados tanto por energía eléctrica como por gas de garrafa, los que los torna muy convenientes para su utilización en el campo.

Resulta recomendable obtener 3 papeles por cada muestra de agua. De esa forma, se podrá realizar un ensayo de control en caso necesario.

Las bandas de papel así obtenidas, son perfectamente conservables por períodos prolongados y pueden ser fácilmente remitidas al laboratorio.

En la aplicación de la prospección geoquímica detallada, su asociación a la prospección geológica y radiométrica, que se efectúan normalmente a pie, es muy ventajosa. Estas pueden aportar informes valiosos para la interpretación de las anomalías, sin incidir sensiblemente en los precios de costo.

Otras veces se recurre a los servicios de la prospección geofísica, particularmente en el campo de la geoelectrica, realizando mediciones de resistividad que permiten revelar las estructuras. Estas pueden estar relacionadas con depósitos uraníferos de interés, caso de la mayoría de los yacimientos filonianos de uranio de Francia (5). Normalmente se utilizan las mismas bases topográficas, trazado de perfiles, etc., permitiendo superponer los resultados logrados por ambas técnicas, lo que facilita frecuentemente la interpreta-

ción.

Señalemos por último, que esta etapa de la prospección geoquímica exige del profesional a cargo de la misma, además de estar familiarizado con el uso de la técnica, un profundo conocimiento de la geología (petrografía, estratigrafía, tectónica, etc.)

La Sección Geoquímica de la C.N.E.A. de mi país, viene realizando en el año en curso, sus primeras experiencias en la aplicación de la técnica hidrogeoquímica a la prospección del uranio. Si bien no se dispone aún de información completa al respecto, los resultados parciales logrados hasta la fecha pueden considerarse satisfactorios.

En los trabajos cumplidos de prospección detallada, se utilizaron aluviones y suelos y si bien no se han logrado hasta la fecha resultados sensacionales, ha permitido señalar la presencia de uranio en numerosas pegmatitas de la Pcia. de Córdoba, en la zona central del país, determinando también algunas estructuras favorables en el faldeo occidental de la Sierra de Comechingones, dentro de la misma provincia, las que serán objeto en un futuro inmediato, de sondeos exploratorios.

En la zona cordillerana de la provincia de Neuquén, al S.O. del territorio nacional, una campaña de prospección detallada recientemente desarrollada, permitió circunscribir algunos sectores anómalos, dentro de un área cubierta con prospección general. Algunas muestras de aluvión registraron tenores superiores a los 80 ppm. de uranio, habiéndose programado una campaña a escala táctica, con muestreo de suelos y aguas naturales.

III.3. PROSPECCION TACTICA.

La prospección táctica corresponde a la última etapa de aplicación de la técnica de prospección geoquímica a la búsqueda de yacimientos minerales. Ella tiene por objeto localizar el depósito, precisar sus dimensiones e investigar las

posibles relaciones con manifestaciones vecinas.

El carácter detallado de los trabajos exige una car
tografía a escala variable entre 1:5.000 y 1:500.-

Su campo investigativo más importante son los sue
los y depósitos superficiales no residuales pudiendo, en ca-
so de resultados poco satisfactorios o ausencia total de los
mismos, recurrir al estudio de las aguas subterráneas, vege-
tales o rocas.

Las características de los suelos son consecuencia
de la interacción de factores orográficos, climáticos, lito-
lógicos y orgánicos. Sin la intervención de los organismos,
principalmente vegetales, cuyos elementos muertos se han in-
corporado parcialmente al manto regolítico determinando la
elaboración de perfiles específicos, no se puede hablar de
suelo en sentido estricto. No obstante, en un sentido amplio
y a los fines de la prospección geoquímica, puede considerarse
como suelo a todo producto de la destrucción de rocas aflo-
rantes, capaz de sustentar una vegetación, en base a la cual
puede sostenerse la vida animal.

De los horizontes principales de un suelo desarro-
llado, el superficial u horizonte A se caracteriza por la li-
xiviación de ciertos elementos, que se trasladan hacia abajo
para ser precipitados en el horizonte B u horizonte de acumu-
lación. El horizonte C constituye la roca meteorizada, a par-
tir de la cual se forman los niveles superiores.

Los suelos representan, por su naturaleza y composi-
ción, un medio eficaz para la prospección geoquímica de yaci-
mientos uraníferos. Sus contenidos en sustancias capaces de
fijar el uranio por fenómenos de actividad superficial o in-
tercambio iónico (arcillas, materia orgánica, etc.), los con-
vierte en los materiales superficiales más utilizados en la
exploración táctica del uranio, especialmente en aquellas re-
giones donde los recursos hídricos son escasos.

Al encararse un trabajo de prospección táctica, como primera medida debe fijarse la profundidad de muestreo. El horizonte más representativo se determina, a veces, por la relación de la zona de estudio con una provincia geoquímica, aunque en la mayoría de los casos se establece por los resultados de ensayos experimentales efectuados sobre un depósito uranífero conocido.

Por razones técnicas y económicas, se procura siempre extraer la muestra a la menor profundidad posible, sin que ello signifique por supuesto, comprometer el éxito de la exploración.

Cualquiera sea la profundidad escogida, es necesario evitar el muestreo de la capa húmica por las perturbaciones que provoca en la dispersión del uranio. Si bien este material puede contener elevadas concentraciones de ese elemento, produce resultados altamente erráticos, sin aparente relación con las figuras de dispersión de la roca subyacente.

En general, se tiende al uso del horizonte B para el muestreo de los suelos. Tal elección parece estar sustentada por el hecho de que este horizonte es el punto de acumulación máxima de minerales de arcilla silicatada, hidróxidos de hierro e hidróxidos de manganeso, los cuales tienen tendencia a adsorber o coprecipitar los metales que comúnmente son buscados en la exploración minera.

Para las condiciones pedológicas y climáticas de Francia, GRIMBERT (5) del C.E.A., señala la conveniencia de muestrear en la parte alta del horizonte B, entre los 25 y 30 cm de profundidad, a pesar de que las concentraciones más significativas del uranio se encuentran en la capa húmica del horizonte A y en el horizonte C, próximo al bed-rock.

Suele ser ventajoso intercalar, dentro del muestreo regular, algunas muestras más profundas (de 1 m ó mas), a fin

de controlar las variaciones del tenor uranífero en niveles inferiores.

Para la extracción de las muestras se utiliza generalmente un taladro de pedólogo, que posibilita sin inconvenientes, la obtención del material y el señalamiento fácil de la profundidad de muestreo.

Otros aspectos de la prospección táctica no menos importantes, que deben determinarse, son aquellos relativos a la densidad del muestreo y la forma geométrica que debe darse al mismo.

En general, los intervalos entre muestras fluctúan de 100 a 20 m, pudiendo en casos especiales, alcanzar valores de hasta 5 m y aún menos.

Con respecto al esquema de muestreo a aplicar, debe procurarse ajustarse a la geometría de la dispersión que ha provocado la anomalía. El dependerá también, del posible conocimiento que se tenga sobre mineralizaciones en áreas vecinas, de las características topográficas, etc.

Cuando al realizar la investigación se tienen antecedentes o se sospecha la probable dirección que sigue el cuerpo mineralizado, el trazado de perfiles normales al mismo con toma de muestras a intervalos reducidos (10 a 20 m), resulta muy efectivo.

En los casos de no disponer de ninguna información orientativa sobre la forma o disposición de la mineralización, un esquema equidimensional apretado (20 a 40 m), es lo más eficaz, pudiendo posteriormente ir densificando la malla de muestreo sobre los puntos que resulten anómalos.

En aquellos puntos con topografía abrupta y fuerte inclinación, es recomendable el trazado de perfiles paralelos a las líneas de nivel y normales a la dirección del movimiento de la pendiente.

Un buen conocimiento de las condiciones estructurales de la zona de estudio puede, en algunas oportunidades, determinar la elección del esquema de muestreo. En efecto, las concentraciones de minerales uraníferos relacionadas a fallas del terreno es un hecho bien conocido, y la posibilidad de enfrentarse a un yacimiento de este tipo no puede ser subestimada.

Cuando los resultados de la prospección del uranio son poco satisfactorios, se podrá intentar la investigación de elementos acompañantes del mismo (cobre, plomo, vanadio, níquel, etc.), pero a condición de que sus dosajes sean tan convenientes y económicos como los de aquel. Generalmente se prefiere la búsqueda directa del uranio, pues normalmente se dispone en la zona de algún material susceptible de muestrear, que permite fijar su dispersión.

Más comúnmente se recurre al radio, como elemento acompañante del uranio en distintas proporciones. En virtud de poseer diferentes propiedades químicas, su comportamiento no es el mismo, obedeciendo a otras leyes de migración.

Su utilización se lleva a cabo frecuentemente en zonas húmedas, a fin de poder determinar la presencia de anomalías falsas. Parece demostrado que, cuando la relación radio-uranio es igual o mayor que la unidad, la anomalía puede ser verdadera y revestir interés. En presencia de valores menores que uno, la anomalía pierde importancia y presumiblemente resulta falsa.

De todas maneras, estas conclusiones no han sido fehacientemente demostradas y permanecen aún dentro del campo de la investigación.

El dosaje del radio puede realizarse tanto en las aguas naturales, como en suelos y aluviones, existiendo técnicas analíticas ampliamente satisfactorias (1).

La prospección geoquímica táctica, puede ampliar el campo de sus investigaciones a los recubrimientos no residuales. Estos aparecen constituidos por materiales de distinta naturaleza, frecuentemente de origen glacial o aluvial, caracterizándose por la predominancia de dispersiones químicas y bioquímicas sobre la dispersión mecánica.

Las anomalías en este tipo de terreno son de carácter menos regulares que aquellas de los suelos residuales y de una interpretación más delicada.

Si bien algunas aureolas de dispersión suelen estar directamente relacionadas con zonas mineralizadas y ser contemporáneas a la formación del yacimiento, pueden existir otras que han sufrido desplazamientos por acción de las aguas subterráneas y superficiales.

En consecuencia, esta movilidad de las anomalías de dispersión aconsejan ser prudentes en la elaboración analítica de los datos aportados por el muestreo, exigiendo a menudo, un cuidadoso estudio hidrogeológico de la zona.

La investigación de la migración del uranio en las aguas subterráneas, constituye un auxiliar eficaz de la prospección geoquímica táctica, en el estudio de anomalías pedogeoquímicas. Su utilización se realiza sobre diversos tipos de terrenos, ya se trate de suelos verdaderos o coberturas no residuales.

Ya hemos hecho referencia a sus características más sobresalientes al tratar la prospección geoquímica detallada. Todo lo dicho en esa oportunidad cabe para la investigación táctica, salvo los intervalos de muestreo, que son densificados convenientemente.

Destaquemos por último, que esta faz de la prospección geoquímica suele contribuir notablemente en la resolución de los numerosos problemas que se plantean en la explotación minera. Así por ejemplo, puede completar o confirmar

resultados obtenidos por otras técnicas, como la radimetría; puede determinar la importancia de un indicio y sus probables relaciones con otros similares vecinos y fundamentalmente, señalar la localización de mineralizaciones ocultas bajo cubiertas estériles.

A este último respecto, resulta difícil precisar la profundidad de investigación de esta técnica, pues ella depende de una serie de factores locales, tales como condiciones del terreno, circulación de aguas subterráneas, clima, etc. No obstante y a título informativo, señalemos que GRIMBERT (5), hace referencia a mineralizaciones uraníferas detectadas a una profundidad de 75 m.

En el curso de nuestras propias experiencias en la aplicación de la prospección táctica, hemos obtenido resultados francamente alentadores. Una campaña de prospección desarrollada en la zona del yacimiento Los Adobes, en la región Patagónica, permitió poner en evidencia un banco mineralizado cubierto por 65 m de sedimentos estériles.

Una perforación realizada sobre el punto de extracción de una muestra que acusó 100 ppm, determinó la presencia de una zona anómala, a la profundidad señalada, con registros radimétricos de 1.6 MR/h sobre un fondo de .020 MR/h.

Destaquemos que las condiciones fueron sumamente favorables, pues el sector muestreado se ubicaba en la zona de influencia de una fractura que interesaba la mineralización.

A partir del año 1962, fecha en que inició sus actividades la Sección Geoquímica de la C.N.E.A. de la República Argentina, se llevan cubiertos con prospección geoquímica 41.000 km². de territorio, de los cuales corresponden a prospección general unos 34.000 km²., a prospección detallada unos 7.000 km². y a prospección táctica 25 km². aproximadamente.

Haciendo referencia al costo por km². de cobertura, las cifras resultantes varían ampliamente de acuerdo a las con

diciones topográficas de la zona, red caminera existente y malla de muestreo aplicada. No obstante, en términos generales y a título informativo, puede estimarse el costo total por km². de prospección general entre m\$n. 1.500 y 2.000, para prospección detallada entre m\$n. 7.000 y 10.000 y para prospección táctica entre m\$n. 200.000 y 300.000.-

III.4. PROSPECCION POR MEDIO DE VEGETALES

Al tratar los distintos aspectos de la prospección geoquímica, se ha hecho referencia a los vegetales como materiales susceptibles de constituirse en agentes de dispersión de distintos elementos y por consiguiente, de ser investigados en el curso de la exploración.

La prospección por medio de vegetales, si bien no ha alcanzado un desarrollo comparable con el de las aguas, aluviones y suelos, ha sido aplicada con éxito para el uranio y otros elementos en distintos países como Rusia, Japón, Canadá y los Estados Unidos. En otros como en Francia, por ejemplo, este tipo de prospección ha sido poco utilizado, prefiriendo orientar la investigación hacia otros materiales igualmente favorables, como lo son las aguas naturales y los suelos, que arrojan los mismos resultados y poseen la ventaja de exigir muestreos y técnicas analíticas más sencillos.

Es probable que su utilización resulte más ventajosa que la de los suelos en los casos de recubrimientos no residuales, donde las anomalías poseen características menos regulares y son de interpretación más delicada. Resulta imprescindible en este caso, la existencia de una vegetación de raíces profundas, que le permitan nutrirse a expensas de la roca madre infrayacente.

La prospección por medio de vegetales puede ser aplicada, ya sea analizando el contenido del elemento buscado en determinados órganos de los mismos, en cuyos tejidos fue-

ron almacenados (prospección biogeoquímica o de plantas acumuladoras), o bien investigando aquellas especies vegetales cuya distribución aparece regida por la disponibilidad en el suelo de un elemento determinado (prospección geobotánica o de plantas indicadoras).

Para el caso particular del uranio, CANNON y KLEINHAMPL (12), del Servicio Geológico de los Estados Unidos, proporcionan información de interés relativas e investigaciones de esta naturaleza realizadas en la Meseta del Colorado.

Analizando los contenidos uraníferos de diversas especies de Coníferas, se logró poner en evidencia una mineralización oculta bajo 25 m de recubrimiento estéril. Los órganos vegetativos que proporcionaron resultados más satisfactorios, fueron las hojas y extremos de ramas jóvenes, recogidas en toda la periferia del árbol. La geometría de muestreo utilizada, respondió a esquemas reticulares o lineales, según los casos.

Luego de un análisis estadístico de 2.000 muestras de árboles, se llegó a la conclusión que los contenidos uraníferos de las especies enraizadas en terrenos estériles, resultan inferior a 0,5 ppm en las cenizas, en tanto que aquellas desarrolladas en zonas mineralizadas acusan incrementos promedio de 1,5 ppm o más.

En consecuencia, tenores de 1 ppm en las cenizas se estima que indican terrenos favorables, posiblemente mineralizados, en muchas zonas de la Meseta del Colorado.

La prospección geobotánica también fué ensayada con éxito. Se comprobó que distintas especies de "Astragalus" constituyen las plantas indicadoras de selenio más útiles en la Meseta del Colorado. Dada la estrecha relación que guarda, en la mineralización del área, el selenio con el uranio, se tiene, mediante la prospección del selenio, un indicativo de la

presencia del uranio.

Muchos minerales de uranio contienen azufre que, como consecuencia de alteraciones debidas a los agentes atmosféricos, da lugar corrientemente a la formación de yeso. Algunas especies que absorben azufre y calcio, crecen en los lugares en que el sulfato de calcio asciende a la superficie, dentro del alcance de sus raíces. Estas plantas indicadoras de yeso suelen desarrollarse en la proximidad de yacimientos de uranio, constituyéndose así, en indicadoras de este elemento.

Las plantas utilizadas como indicadoras en la prospección geobotánica, pueden ser especies conocidas en otras regiones estériles. Los elementos como el selenio y el azufre se encuentran presentes en casi todas las rocas, pero sus concentraciones varían sensiblemente en los suelos relacionados con concentraciones uraníferas, donde acusan contenidos superiores a los normales, favoreciendo el crecimiento de esas especies.

Otro aspecto de este método, es el que tiene en consideración ciertos fenómenos característicos que se producen en los vegetales (clorosis, esclerosis, etc.), por la presencia de determinados elementos contenidos en los suelos donde ellos viven. En este caso particular, la prospección geobotánica ofrece un interés especial, dado que no exige extracción de muestra ni análisis. Sin embargo, los fenómenos a que hemos hecho referencia no aparecen siempre nítidamente y por otra parte, los vegetales no tienen que haber sufrido perturbaciones en su medio natural.

La distribución de las plantas indicadoras puede analizarse directamente sobre cartas o fotografías, de acuerdo a observaciones practicadas sobre el terreno y sin necesidad de muestreos previos. Resulta así, rápida y poco onerosa.

rosa, lo que la coloca en ventaja en condiciones favorables, con respecto al método de análisis de vegetales.

En la prospección biogeoquímica los esquemas de muestreo y los intervalos entre muestras, se determinan realizando un estudio previo en una zona mineralizada. Se tiene en consideración la extensión y característica de la mineralización y sus relaciones con el nivel freático y las raíces vegetales. Resulta imprescindible que la especie escogida para el muestreo, posea un sistema radicular que penetre en la roca que alberga la mineralización.

En aquellos casos que no se disponga de información al respecto, se procede empíricamente recogiendo algunas especies y determinando sus contenidos en el elemento investigado. Al muestrear árboles, debe extraerse el órgano elegido en todo su contorno, pues pueden registrarse variaciones entre un costado y otro, en íntima relación con las raíces.

La malla de muestreo más efectiva es la equidimensional, con espaciamientos iniciales del orden de 50 a 100 m, pudiendo con posterioridad, densificar los muestreos sobre los puntos más convenientes a la investigación. También puede ensayarse el trazado de perfiles, si se sospecha la presencia de un filón mineralizado.

Una vez colectadas, las muestras se envían al laboratorio donde son clasificadas por especie. Se separan los diferentes órganos, eliminando los elementos extraños (tierra, arena, etc.), procediéndose posteriormente a su secado y tamizado. Sobre la fracción fina, generalmente inferior a 0,5 mm, se realizan las determinaciones correspondientes.

Existen técnicas analíticas que satisfacen ampliamente las exigencias de la prospección, basadas en el dosaje fluorimétrico del uranio contenido en las cenizas de las plan

tas (1. y 13). Los tenores son expresados en ppm de uranio en las cenizas ó ppm de vegetal seco, prefiriéndose a veces esta última forma de cálculo, dado que las cenizas muestran sensibles diferencias a causa de la proporción variable de las mismas, de una muestra a otra.

La Sección Geoquímica de la C.N.E.A. de la República Argentina, no ha realizado hasta la fecha ninguna clase de experiencia en este campo de la investigación, si bien se ha contemplado su participación en un programa de trabajos futuros.

III.5. TÉCNICAS ANALÍTICAS

Luego de haber examinado los métodos de que hace uso la prospección geoquímica, entraremos a considerar solamente las técnicas analíticas más comunes que utiliza para la determinación del uranio en los distintos materiales muestreados: aluviones, aguas naturales, suelos y vegetales.

Cualquiera que sea el método de análisis utilizado, para ser conveniente a la prospección geoquímica debe reunir condiciones particulares, a saber:

Sensibilidad: condición fundamental si se tiene en cuenta que la investigación del uranio en aluviones, suelos y vegetales exige determinaciones del orden del microgramo/gramo (ppm) y en las aguas naturales del microgramo/litro (ppb) y aún menores (décimas de ppb).

Fidelidad: los resultados deben ser reproducibles dentro de una amplia gama de tenores, debiendo reducirse al máximo el "coeficiente personal" del operador.

Precisión: en general, una precisión del 15 al 20% entre determinaciones se considera satisfactoria.

Rapidez: el prospector tiene necesidad de conocer los valores analíticos del muestreo practicado dentro de la mayor brevedad, a fin de poder orientar la exploración en fun-

ción de los resultados obtenidos.

Simplicidad: los materiales y productos utilizados en las marchas analíticas deberán ser de uso corriente, de fácil transporte y accesibles a un personal no especializado.

Economía: los costos reducidos permiten investigaciones intensas dentro de buenas condiciones económicas. Para ello resulta imprescindible trabajar simultáneamente sobre un gran número de muestras, lo que posibilita la producción en serie.

La necesidad de satisfacer las condiciones señaladas precedentemente, hace que métodos tales como la colorimetría y la polarografía, utilizados corrientemente para el análisis de minerales de uranio, no sean aplicables para la prospección geoquímica, en tanto que las técnicas cromatográficas y fluorimétricas, resultan las más convenientes.

Otro aspecto particular que debe ser considerado, es el relativo al ataque ácido de la muestra. En el estudio de las anomalías de dispersión no es recomendable realizar un ataque completo de la muestra, pues una extracción sólo correspondiente a la puesta en solución de aquellos iones intercambiables, proporciona a menudo, mejores indicaciones sobre la importancia de una anomalía, que la producida por una extracción total del elemento investigado. En efecto, los elementos movilizados por primera vez en la sureola de dispersión, vuelven a pasar más fácilmente en solución que los minerales primarios, que se muestran más inertes.

En consecuencia, en la prospección geoquímica se procura corrientemente analizar el "uranio móvil", es decir, el uranio determinado mediante un ataque ácido débil.

Hemos señalado a las técnicas cromatográficas y fluorimétricas como las más satisfactorias. Entraremos a considerar brevemente las ventajas e inconvenientes de cada una

de ellas.

El revelado directo de un cromatograma consiste en separar el uranio de sus acompañantes sobre papel cromatográfico, con ayuda de un solvente (acetato de etilo o hexona) y luego ponerlo en evidencia utilizando un colorante (ferrocianuro de potasio o alizarina), antes de comparar las coloraciones obtenidas con una gama de patrones (14). La presencia de materia orgánica dificulta la revelación y cuando ella es muy abundante se hace necesario calcinar la muestra.

El límite inferior de sensibilidad de este método (4 ppm para aluviones y suelos, 2 ppb para aguas naturales) y su precisión poco satisfactoria (25 a 30%), lo convierten en una técnica semi-cuantitativa que limita su utilización a casos particulares.

Por otra parte, la técnica cromatográfica está sometida a las variaciones atmosféricas (humedad ambiente, luz solar, temperatura, etc) y en la apreciación visual de la coloración interviene el coeficiente personal del operador, que influye sobre la fidelidad de los resultados.

La técnica fluorimétrica utiliza la fluorescencia de una pastilla obtenida por fusión de una sal de uranio con fluoruros y carbonatos, donde la intensidad es proporcional, dentro de ciertos límites, a la cantidad de uranio presente.

La sensibilidad de este método es superior a la obtenida por cromatografía (0,5 ppm para aluviones, suelos y vegetales, 0,2 ppb para aguas naturales), su precisión oscila entre 15 y 20% en una amplia gama de tenores y su fidelidad es muy satisfactoria. Además, posee la ventaja de suprimir el coeficiente personal del operador y de no estar sometido a las condiciones atmosféricas.

El inconveniente principal de esta técnica estriba en el efecto inhibitorio que ejercen sobre la fluorescencia,

algunos elementos que acompañan al uranio. La solución es aportada por una separación del uranio de sus acompañantes utilizando, en un caso, solventes apropiados como acetato de etilo y en otros, procediendo a una separación cromatográfica sobre papel mediante fosfato de tributilo.

Con ambos procedimientos se logran condiciones similares de precisión y reproductibilidad, si bien el método por separación cromatográfica tiene la ventaja de ser más sensible y rápido, especialmente para análisis en serie (15).

Por otra parte, resulta mucho más económico que la extracción líquido-líquido, pudiendo además, ser aplicado no sólo a los aluviones y suelos como éste, sino también a las aguas naturales.

La determinación del uranio en las aguas naturales requiere, cualquiera sea el método de análisis utilizado, una concentración previa de la muestra. Este problema ha sido resuelto de diversas maneras y sólo nos detendremos a considerar las principales.

En el método cromatográfico propuesto por WARD y MARRANZINO (16), el uranio es absorbido bajo la forma de complejo fosfatado mediante pulpa de papel y posteriormente es determinado por cromatografía. Se utiliza el acetato de etilo como solvente y el ferrocianuro de potasio como revelador.

La muestra de agua, con el pH ajustado a un valor de 6, es filtrada sobre pulpa de papel en el lugar de extracción, lo que reduce el tiempo de almacenamiento de la misma, evitando posibles pérdidas del uranio por fenómenos de coprecipitación o adsorción.

No obstante, esta técnica es poco sensible (2 ppb como máximo) y bastante delicada, exigiendo un ajuste muy preciso del pH. Por último, está sujeta a todos los inconvenientes propios de la colorimetría efectuada sobre el cromatogra-

ma, como se ha señalado en párrafos precedentes.

En el método fluorimétrico con concentración por intercambio de iones de BURSTALL (17), el uranio contenido en las aguas es transformado en un complejo sulfatado y luego separado por intercambio de iones con ayuda de resinas aniónicas. Luego de calcinadas las resinas, se determina el uranio presente en las cenizas, comparando visualmente la fluorescencia obtenida con una gama de patrones.

Si bien la sensibilidad de este método es aceptable, en la práctica la medida visual de la fluorescencia demanda cierto grado de instrumentación, como lámparas ultravioletas, filtros, etc, sin aportar las garantías de una medición fotoeléctrica. La apreciación visual es siempre difícil y sometida a la estimación del operador.

La Sección Geoquímica del Commissariat a l'Energie Atomique introdujo mejoras a este método, reemplazando la estimación visual de la fluorescencia, por una lectura fotoeléctrica. No obstante, no pudieron ser eliminados totalmente algunos inconvenientes derivados de la distinta calidad de las resinas utilizadas y otros fenómenos poco conocidos, a pesar de las investigaciones realizadas. En consecuencia, queda una incertidumbre sobre la autenticidad de los resultados, lo que obliga a efectuar numerosos controles que perjudican la rapidez y aumentan el precio de costo.

En el método fluorimétrico con concentración por evaporación de BERTHOLLET (18), utilizado por la Sección Geoquímica del C.E.A., la muestra de agua es concentrada sobre una banda de papel de filtro, el uranio es separado de los otros elementos en solución por cromatografía y posteriormente, determinado por fluorimetría.

Las ventajas aportadas por este método son muchas:

-Amplio ámbito de aplicación y sensibilidad adecua-

da. El método puede utilizarse para aguas conteniendo menos de 1,5 g/l de sales y menos de 150 mg/l de cloro libre o combinado (1). Su utilización abarca tenores comprendidos entre 0,1 y 150 ppb de uranio.

-Alta precisión: la supresión de las resinas y la eliminación de la influencia del operador, permiten una reproducibilidad conveniente aún para tenores de 0,2 ppb.

-La muestra de agua no necesita ser acidificada eliminando, en consecuencia, los inconvenientes derivados de la modificación en su composición (descomposición de bicarbonatos, precipitación de materias orgánicas coloidales, etc).

En la República Argentina, la Comisión Nacional de Energía Atómica utiliza, en sus laboratorios de geoquímica, las técnicas fluorimétricas puestas a punto por el Commissariat a l'Energie Atomique. No obstante, ha ensayado otros métodos analíticos, basados también en la determinación fluorescimétrica del uranio, pero realizando la concentración del mismo con solventes orgánicos, en fase líquido-líquido (19). Las limitaciones de éste a los aluviones y suelos, aconsejaron la utilización del método por separación cromatográfica de BERTHOLLET, de fácil aplicación a las aguas naturales.

En el período comprendido entre los años 1962 y 1968, los laboratorios de la Sección Geoquímica de la C.N.E.A. de mi país, lleva realizado un total de 79.000 análisis por uranio en aluviones, suelos y aguas naturales, de los cuales 68.000 corresponden a muestras originales y el resto a determinaciones de control, a un costo-laboratorio por muestra analizada en doble, de unos m\$ n 200.-

IV. INTERPRETACION DE RESULTADOS

La faz final de todo trabajo de prospección geoquímica, es la interpretación de los resultados analíticos, para la cual no existen reglas precisas y exige, por parte del profesional que la realiza, un prolijo y exhaustivo análisis de todos aquellos factores que, de una manera u otra, influyen sobre la dispersión del elemento investigado.

Pero la capacidad de interpretar los datos geoquímicos, no dependerá solamente del mero reconocimiento de los factores señalados precedentemente, sino también, del conocimiento específico que se tenga del equilibrio de los mismos, dentro de la zona de estudio.

El éxito de esta etapa fundamental de la prospección, estará además, supeditada a la estrecha colaboración que se mantenga con otras técnicas de prospección, tales como la radiometría, la geofísica, la geología, etc. De la comparación de resultados con cada una de ellas, surgirá información de interés, que, frecuentemente, facilitará el trabajo de interpretación.

Como se ha señalado precedentemente, no existen reglas fijas que permitan elaborar un esquema de esta naturaleza. De todas maneras, en la práctica conviene realizar un ordenamiento de los distintos aspectos que deben ser considerados, para proceder luego al análisis definitivo, donde desempeñará un rol decisivo el buen sentido y la experiencia del interpretador.

El esquema analítico que desarrollaremos a continuación, responde a normas de trabajo elaboradas por la Sección Geoquímica del C.E.A., destinadas al curso de perfeccionamiento para profesionales extranjeros (20).

El primer paso en todo trabajo de interpretación, es el referente a la preparación de la cartografía necesaria.

Resulta conveniente volcar todos los resultados, cualquiera sea su valor, sobre un plano a escala adecuada, que permita ubicar los tenores obtenidos, lo más próximo posible a los puntos de extracción de la muestra.

Las escalas más recomendables son:

- prospección general : 1/50.000
- prospección detallada : 1/10.000
- prospección táctica : 1/2.000

Los planos deben consignar, para la prospección general y detallada, la siguiente información:

- la red hidrográfica completa.
- la red caminera.
- la geología: contactos entre diferentes formaciones, líneas estructurales, etc.
- los trabajos mineros desarrollados (trincheras, piques, socavones, etc.) con referencia del mineral objeto de la explotación.
- las anomalías radiométricas localizadas y su orden de importancia.
- algunos puntos de referencia que faciliten el señalamiento.

En la prospección táctica, se debe señalar:

- todos los elementos de planimetría necesarios para un correcto señalamiento de los puntos de muestreo.
- las líneas principales de relieve: línea de cresta, rupturas de pendiente, límites de los sectores llanos, sectores deprimidos, arroyos, canales de riego, etc.
- fuentes, pozos, manantiales, etc, de agua subterránea.
- límites de los sectores cubiertos con vegetación y carácter de la misma (arbórea, arbustiva, etc)
- límite de los sectores con aguas estancadas o de humedad superior a la normal (bañados, lagunas, etc).
- contactos geológicos, estructuras, datos petrográficos si los hay.

- mineralizaciones y anomalías : radiométricas conocidas.
- ubicación exacta de todo laboreo minero existente, perforaciones, etc y otras posibles fuentes de polución.

Disponiendo del material señalado precedentemente, se da comienzo a la verdadera labor interpretativa.

La interpretación de resultados tiene por objeto:

1º) determinar los tenores o grupos de tenores que pueden traducir la presencia de mineralización uranífera (anomalías geoquímicas), ya sea en las proximidades inmediatas (caso de la prospección táctica), o bien en los alrededores (caso de las prospecciones general y detallada).

2º) de precisar en la medida de lo posible, la localización del origen de la anomalía, ensayando de apreciar su valor.

Como primera medida se hace necesario determinar el "fondo geoquímico regional". Este se puede fijar empíricamente o utilizando el cálculo estadístico, considerando con que frecuencia aparece cada valor y cual es su porcentaje con respecto al total de valores.

Debe establecerse separadamente, para cada tipo de material muestreado (aguas naturales, suelos, aluviones o vegetales), para cada zona climática, para estaciones definidas del año (influencia de las fluctuaciones estacionales), etc.

Determinado el valor de "fondo", se establece el "umbral de anomalía", es decir, el valor límite que separa los tenores anómalos de aquellos normales de fondo.

A este respecto cabe señalar que no hay que otorgar a ese límite un valor absoluto, pues no responde a ninguna realidad. No existe un "corte" ideal que separe los valores normales de los realmente anómalos. Frecuentemente, el gradiente entre dos resultados permitirá fijar fácilmente el límite de la anomalía.

Fijado el "fondo", se establece una escala de "cortes" que sirve de base a la interpretación. Esta se basa fundamentalmente en el siguiente postulado: cuanto más elevado es un tenor, mayor es la probabilidad que esté influenciado por la presencia de una concentración mineral.

Si bien el tenor de una zona anómala es el primer carácter a considerar, numerosos otros caracteres a menudo muy importantes, intervienen igualmente en la apreciación del valor de la anomalía. Esos caracteres son esencialmente:

-caracteres propios, como forma, gradiente de los tenores, extensión, homogeneidad, etc.

-caracteres anexos, como situación topográfica, relaciones con la geología, con la vegetación, con zonas húmedas, etc.

Cualquiera sea la naturaleza del material muestreado, la interpretación de resultados comprende 3 fases, a saber:

- 1º) -la delimitación de las zonas anómalas.
- 2º) -la apreciación de las anomalías.
- 3º) -la interpretación sobre el terreno.

Entraremos a considerar cada uno de estos puntos separadamente.

IV.1. Delimitación de las zonas anómalas

En prospección general y prospección detallada, el principio de esta fase de la interpretación es el mismo: Se determina la escala de cortes incrementando los valores de fondo en progresión geométrica. A continuación se establece una escala de colores, normalmente desde el verde al violeta, asignando a cada grupo de tenores un color determinado. Por último, se colorean los pequeños círculos donde se han registrado los tenores.

En prospección táctica, la delimitación de las zo-

nas anómalas se hace mediante el trazado de "curvas de isotenores" (o isoanómalas), las que deben expresar con la mayor exactitud posible, el "relieve" del plano de tenores.

Esta operación no ofrece ninguna dificultad en la práctica, siendo suficiente observar las siguientes reglas:

1°) -tomar cortes relativamente estrechos para que el relieve sea suficientemente preciso y el gradiente bien visible.

2°) -a fin de que las curvas de isotenores sean lo menos arbitrarias posible deben, en la medida de las posibilidades, corresponder a gradientes netos. De esa forma la curva tiene un sentido real: el gradiente. Ligeras variaciones en más o en menos, no desplaza ni deforma la curva.

3°) -toda porción de curva que no corresponda a un gradiente neto, debe ser trazada en líneas de puntos.

4°) -en el trazado de una curva no es imprescindible respetar estrictamente el corte que la define. Se puede, por ejemplo, para no modificar el gradiente, incluir un valor de 9 ppm dentro de la curva de 10 ppm.

Resulta más práctico comenzar con el trazado de una curva mediana, donde se tiene la seguridad que está ubicada por arriba del "umbral de anomalía". Inmediatamente después, se trazan las curvas inferiores y superiores. En los valores inferiores, hay que detenerse en el preciso momento, en que el trazado de una curva siembra el plano de anomalías puntuales, desordenadas, otorgando quizás a las anomalías ya circunscriptas, una aureola suplementaria de contornos caprichosos. A esta altura del registro, la curva más baja corresponde al "umbral de anomalía".

El espacio delimitado entre las curvas, es coloreado según una escala que se fija de antemano, en correspondencia con los valores crecientes.

IV.2. La apreciación de las anomalías

Esta segunda fase tiene por objeto preparar la interpretación definitiva, que será efectuada sobre el terreno, eliminando en primer lugar las anomalías no significativas.

Como ya hemos señalado, el interés de una anomalía es función de sus caracteres. Se trata pues, de apreciar el valor de los caracteres propios (tenor, gradiente, forma, extensión, homogeneidad).

Esta apreciación es difícil de realizar pues no se basa en ningún criterio establecido, siendo siempre más o menos subjetiva. Resulta sobre todo, un hecho de experiencia y larga práctica.

No obstante, de una manera general se puede decir que una anomalía tiene una probabilidad tanto mayor de ser valedera, cuando:

- su tenor es más elevado,
- su gradiente río arriba más fuerte,
- su extensión más débil (guardando las proporciones),
- su heterogeneidad más cerca de una cierta media,
- sus límites son más independientes de los límites geológicos, de la vegetación y de zonas húmedas,
- su forma más fácilmente comprensible.

Este último criterio es, ciertamente, uno de los más importantes. Si por ejemplo, la forma de una anomalía señalada en los suelos, en el curso de la prospección táctica, es perfectamente explicable a partir de una hipótesis estructural simple, la anomalía es ciertamente valedera y la hipótesis estructural en gran parte exacta.

IV.3. Interpretación sobre el terreno

Se trata, en primer lugar, de verificar las conclusiones que han sido extraídas del estudio de gabinete. En efecto,

es sólo en el terreno donde es posible apreciar los caracteres anexos de las anomalías, en particular la situación topográfica de las anomalías pedogeoquímicas.

Conviene, luego, formular todas las hipótesis estructurales (sobre todo en prospección táctica), que permitan explicar la formación de anomalías.

Se ensaya, frecuentemente, para verificar las hipótesis formuladas, la realización de muestreos complementarios.

En prospección táctica generalmente se practican muestreos a 2 profundidades, según perfiles de 20 a 40 m de desarrollo, perpendiculares a la dirección de elongamiento de la anomalía o a las estructuras hipotéticas. Esos muestreos permiten, en particular, apreciar mejor algunas características de las anomalías, como situación, gradiente, etc.

En aquellos casos de anomalías complejas, que no permiten formular hipótesis serias, es preferible efectuar, en lugar de los muestreos complementarios, una corta campaña de prospección geofísica.

En lo que respecta a las anomalías determinadas en los suelos, conviene destacar que:

1º) -no hay que olvidar que la mineralización uranífera, que es eventualmente el origen de una anomalía situada sobre una pendiente, puede aflorar topográficamente por arriba de la anomalía, sobre todo en presencia de un suelo espeso o de un recubrimiento sedimentario o aún de una humedad más fuerte que en otra parte.

2º) -las anomalías situadas enteramente en una zona húmeda, constituye un tipo muy especial de anomalía. Ellas son generalmente muy difíciles de interpretar y sólo pueden ser tenidas en cuenta si otras circunstancias favorables la justifican, como por ejemplo, la presencia de una estructura conocida.

En algunos casos, sin embargo, la ejecución de muestreos profundos, sobre toda la superficie de la anomalía, aporta información interesante.

De acuerdo a los resultados de ensayos actualmente en curso, se puede esperar que el dosaje de algunos elementos acompañantes, en particular el radio, permitirá hacer progresar sensiblemente el problema de la interpretación de este tipo de anomalía.

En los casos en que las anomalías descubiertas sean bastante numerosas, se concluye la interpretación clasificándolas por orden de interés decreciente, como sigue:

- anomalías cuyo interés es valedero
- anomalías de interés variado
- anomalías de interés poco significativo, que pueden ser provisoriamente eliminadas.

Recordemos que, en esta última faz de la interpretación, el geólogo deberá ser secundado por el prospector que realizó la campaña, el que podrá aclarar algunos aspectos del trabajo de campo, que pueden revestir interés.

Señalemos para finalizar, que lo que se pide al técnico de prospección geoquímica, no es el ser un buen analista de rutina, sino el de poder deducir, en cada caso, la historia de sus muestras para conocer lo que ellas contienen.

V. CONSIDERACIONES FINALES

En el curso de estas disertaciones sobre prospección geoquímica, hemos analizado brevemente las posibilidades y los métodos que utiliza esta técnica, todavía joven, en su contribución a la resolución de distintos aspectos de la investigación del uranio, desde la exploración al estudio detallado de los yacimientos.

Las posibilidades de aplicación práctica de la geo-

química en el dominio de la exploración minera son evidentes y sus métodos de prospección son mejorados progresivamente. Su utilización en el mundo entero va en aumento día a día y se ha procurado adaptarla a los diversos factores geográficos, climáticos y aún económicos de cada país, para hacerla más sensible y eficaz. Consecuentemente, ella se ha tornado más específica y por lo tanto, de un manejo más delicado.

Sus posibilidades de éxito están estrechamente vinculadas al uso racional que se haga de ella, teniendo en consideración que posee gran flexibilidad lo que le permite adaptarse a los problemas más diversos. Su utilización no debe ser sistemática y la investigación de orientación permite, no sólo decidir la ejecución sino también, las modalidades de la misma.

Por otra parte, su eficacia estará también supeditada al conocimiento que se tenga de las características geológicas, petrográficas, estructurales y metalogénicas de la zona de estudio. Es improbable que la geoquímica, dada su sensibilidad, no pueda poner en evidencia anomalías más o menos valederas en un área favorable.

Otro aspecto no menos importante que hay que considerar, es su relación con otras técnicas de prospección. La geoquímica no puede, por sí sola, resolver todos los problemas que se plantean al prospector y frecuentemente tiene necesidad de los datos aportados por la geología, la radiometría, la geofísica, etc. No se trata de hacer el balance de cada una de ellas, sino más bien de utilizarlas con criterio, pues la información que ellas proporcionan, lejos de contradecirse, se complementan.

La verdadera importancia de la prospección geoquímica se hará evidente, cuando el descubrimiento de nuevos yacimientos por los métodos clásicos, se haga más difícil. Una

sabia combinación con investigaciones de carácter geológico, geofísico y metalogénico, le permitirá desempeñar un importante rol en el descubrimiento de yacimientos no aflorantes, ya sean de carácter estratiformes o filonianos.

El porvenir de esta técnica aparece íntimamente ligado al progreso de los conocimientos fundamentales. Nuevos dominios le serán progresivamente abiertos, a medida que la investigación contribuya a mejorar los métodos analíticos y aclare los fenómenos de solubilidad, transporte y fijación de los elementos.

B I B L I O G R A F I A

- [1] - BERTHOLLET, P., Méthodes D'Analyses Utilisées par la Section de Géochimie Uranium, Radium. Rapport C.E.A.-R-3557.
- [2] - HAWKES, H.E., Principles of geochemical prospecting. U.S.Geol. Survey., Bull., 1957, 1.000 F 225-355.
- [3] - GRIMBERT A. y OBELLIANNE, J.M., Essais de prospection géochimique de l'uranium en pays aride.- Rapport C.E.A. 2219-Fontenay-aux-Roses. 1962.
- [4] - GRIMBERT A., La prospection géochimique de l'uranium- Application aux zones intertropicales forestières.C.E.A. TP 2264- Fontenay-aux-Roses. 1964.
- [5] - GRIMBERT, A., Rapport sur l'etat actuel de la technologie de la prospection géochimique appliquée à la recherche et à l'étude des gites uranifères- Colloque sur la prospection géochimique, Abbaye de Royaumont, 1959.
- [6] - GRAMMAKOV, A.G., NIKONOV, A.I., TAFEEV, G.P.ALEXEEV, V.V., Lever uranometrique, Tiré de: Méthodes radiométriques de prospection et recherches des gisements uranifères, C.E.A. traduction N° 62-16 (original ruso).
- [7] - SAUKOFF, A.A., Método radiohidrogeológico para la prospección de depósitos de uranio. Actas de la Conferencia Internacional sobre la Utilización de la Energía Atómica con Fines Pacíficos. Vol.VI 1956 875-878.
- [8] - FIX, P.F., Prospección geoquímica del uranio mediante extracción de muestras de agua subterráneas y superficiales. Actas de la Conferencia Internacional sobre la Utilización de la Energía Atómica con Fines Pacíficos.-Vol VI 1956 911-917-
- [9] - Servicio Geológico y Comisión de Energía Atómica de los Estados Unidos, Técnicas para la prospección de uranio y torio. Actas de la Conferencia Internacional sobre la Utilización de la Energía Atómica con Fines Pacíficos VOL.VI 1956 870-874.

- [10] - DALL'AGLIO, M.-TONANI, F., La prospezione idrogeochimica dell'uranio Studi e Ric Div.G geom. III C.N.E.N. Roma 1961.
- [11] - GRIMBERT, A. et BERTHOLLET, P., Revue des techniques analytiques utilisées dans la prospection hydrogéochimique de l'uranium Rapport C.E.A., N° 1203-1959.
- [12] - CANNON, H.L. y KLUINHAMPL, F.J., Métodos botánicos de prospección para el uranio. Actas de la Conferencia Internacional sobre la Utilización de la Energía Atómica con Fines Pacíficos, Vol.VI, Ginebra 1956- 925-930.
- [13]-- GRIMALDI, F.S., MAY, I., FLETCHER, M.H., U.S.Geological Survey, Fluorimetric Methods of Uranium Analysis, U.S. Geological Survey Circular, 199, 1952.
- [14] - AGRINIER, H., Application de la chromatographie sur papier à la détermination de certains éléments dans les minéraux et les roches. Rapport C.E.A.- R 2791-1966.
- [15] - BERTHOLLET, P., Comparaison des méthodes de dosage de l'uranium par separation chromatographique sur papier et par separation a l'acetate d'ethyl. C.E.A.-DP-DRM-Section de Géochimie-Fontenay-aux-Roses-1966 (inédito).
- [16] - WARD, F.N. y MARRANZINO, A.P., Field Determination of Uranium in Natural Waters-Geological Survey Bulletin 1036 J.
- [17] - OSTLE, D., Geochemical Prospecting for Uranium, The Mining Magazine, October 1954.
- [18] - BERTHOLLET, P. y GRIMBERT, A., Le dosage de l'uranium en prospection hydrogéochimique. Bulletin d'informations scientifiques et techniques du C.E.A.-N° 22, Paris 1958 pp 12-20.
- [19] - CAPPICCIOLI, J.H., Determinación de Uranio en muestras de suelos C.N.E.A.-Gerencia de Materias Primas-GQ-2, Buenos Aires 1965 (inédito).
- [20] - LORICD, R., Travaux pratiques de prospection géochimique Centre d'information et perfectionnement des ingenieurs et techniciens de l'industrie minière de l'uranium, Razès 1967 (inédito).

I N D I C E

I. INTRODUCCION.....	pág.	1
II. LA INVESTIGACION DE ORIENTACION.....	"	2
III. PROSPECCION DE RUTINA.....	"	4
III.1. PROSPECCION GENERAL.....	"	4
III.2. PROSPECCION DETALLADA.....	"	4
III.3. PROSPECCION TACTICA.....	"	13
III.4. PROSPECCION POR MEDIO DE VEGETALES.....	"	20
III.5. TECNICAS ANALITICAS.....	"	24
IV. INTERPRETACION DE RESULTADOS.....	"	30
IV.1. DELIMITACION DE LAS ZONAS ANOMALIAS.....	"	33
IV.2. LA APRECIACION DE LAS ANOMALIAS.....	"	35
IV.3. INTERPRETACION SOBRE EL TERRENO.....	"	35
V. CONSIDERACIONES FINALES.....	"	37
BIBLIOGRAFIA.....	"	40