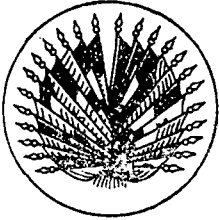


05-78.15



COMISION INTERAMERICANA DE ENERGIA NUCLEAR Y
COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA DE LA REPUBLICA ARGENTINA



**CURSO LATINOAMERICANO DE CAPACITACION
PARA LA PROSPECCION Y EXPLORACION
DE YACIMIENTOS URANIFEROS**

C. N. E. A. Biblioteca	
ARCHIVO PUBLICACIONES	
NO 1	AÑO 1978

CNEA-AC-17,78

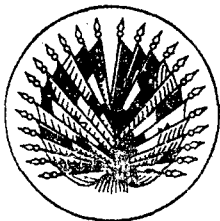
III. METODOS DE PROSPECCION URANIFERA

5. PROSPECCION GEOQUIMICA

ANGEL M. O. SANTOMERO

COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA

BUENOS AIRES
OCTUBRE 1978



COMISION INTERAMERICANA DE ENERGIA NUCLEAR Y
COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA DE LA REPUBLICA ARGENTINA



CURSO LATINOAMERICANO DE CAPACITACION PARA LA PROSPECCION Y EXPLORACION DE YACIMIENTOS URANIFEROS

CONFERENCIA III-5

PROSPECCION GEOQUIMICA

ANGEL M. O. SANTOMERO

COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA

1. ANTECEDENTES Y EVOLUCION DE LA GEOQUIMICA COMO TECNICA DE EXPLORACION

Es probable que los cuadros de dispersión de los elementos, a partir de depósitos con afloramientos en superficie, fueran utilizados por el hombre desde el momento mismo en que tuvo necesidad de los metales. El reconocimiento de los cursos de agua en procura de fragmentos de rocas mineralizadas o manchas de colores característicos (cobre, hierro, oro, etc) que sirvieran como guías para la ubicación de menas aprovechables, son ejemplos de una primitiva utilización de la técnica geoquímica, si bien los análisis de laboratorio eran reemplazados por observaciones mineralógicas y las figuras de dispersión obedecían a factores mecánicos.

Corresponde a los soviéticos la realización, a principios de la década de 1930, de las primeras campañas de prospección geoquímica sobre la base de ensayos químicos, programados para la investigación de estaño, cobre, cinc, cromo, tungsteno, níquel, etc, en suelos y sedimentos de corriente, utilizando principalmente métodos espectrográficos de análisis, junto con ensayos a la llama y técnicas colorimétricas (SERGEEV, 1941). En los años siguientes, gran cantidad de trabajos fueron realizados, incluyendo estudios por métodos bio-geoquímicos y geobotánicos, en particular. Los nombres de Fersman, Sergeev, Tkalich y Maliuga están estrechamente asociados a los mismos.

Una idea del interés dispensado por los soviéticos a la geoquímica, lo da el hecho de que en 1955, por disposición del ministerio correspondiente, la aplicación de esa técnica se hizo obligatoria en todos los servicios geológicos de la U.R.S.S.

Casi paralelamente a los trabajos rusos, la Compañía Prospectorá Sueca, ensayaba con éxito la prospección geoquímica del plomo, cinc, tungsteno y estaño mediante el análisis espectrográfico de cenizas de hojas de árboles y

arbustos (BRUNDIN, 1939).

A partir del año 1938, en Noruega se llevan a cabo ensayos de prospección geoquímica en yacimientos de sulfuros, investigando sus productos de meteorización en aguas superficiales, suelos y vegetales. Los trabajos fueron realizados por Vogt y colaboradores, de la Universidad Técnica de Noruega.

Al finalizar la década de 1930, RANKAMA investigó en Finlandia la dispersión del níquel en vegetales, a partir de depósitos conocidos de ese elemento, trabajos que fueron ampliados años después por la Universidad de Helsinki y el Museo Geológico (RANKAMA, 1940).

Durante la década de 1940, en Canadá y los Estados Unidos se comenzó por otorgar interés a la geoquímica como técnica de exploración. Los canadienses, en un principio, orientaron sus investigaciones hacia los vegetales, realizando ensayos por unos pocos elementos metálicos (LUNDBERG, 1941). Con posterioridad a 1950, los trabajos se incrementaron notablemente, ampliando el campo de investigación a los suelos, sedimentos de corriente y aguas naturales. En los Estados Unidos, el Servicio Geológico inició un programa de investigación orientado, por un lado, al desarrollo de técnicas analíticas para la determinación de la mayoría de los elementos metálicos en prospección geoquímica (LAKIN *et al.*, 1952) y por el otro, al estudio de las figuras de dispersión de los metales en distintos materiales de la corteza (aguas naturales, sedimentos de corriente, suelos, vegetales y rocas) dentro de condiciones geológicas y climáticas diferentes (CANNON, 1953, 1954, 1957; HAWKES, 1949, 1954; KENNEDY, 1956).

El incremento de la exploración minera, producido con posterioridad a la Segunda Guerra Mundial, unido a la circunstancia de que en los países industrializados la mayoría de los depósitos con afloramientos superficiales habían sido ubicados con los métodos clásicos, trajo la necesidad de disponer de nuevas técnicas de prospección para la localización de menas no aflorantes (yacimientos ciegos y enterrados). En ese sentido, se realizaron considerables progresos en la aplicación de la geoquímica a la exploración minera, invirtiendo elevadas sumas de dinero para la investigación y desarrollo de diferentes aspectos de la misma.

De esta manera, diversos países europeos como Inglaterra, Francia, Italia, etc y de otros continentes, como Japón, Australia y Nueva Zelandia, incorporan los métodos geoquímicos en sus programas de exploración, haciéndolos extensivos a sus territorios en Asia y Africa.

La gran expansión experimentada por la geoquímica en la exploración minera, que originó un volumen considerable de muestras colectadas, trajo aparejada la necesidad de disponer de métodos analíticos más rápidos y económicos, produciéndose el desarrollo y aplicación de técnicas instrumentales, como la espectroscopía de emisión, fluorescencia de rayos X, absorción atómica, termoluminiscencia, análisis por activación con espectrometría gamma, análisis por activación y medición de neutrones retardados, etc.

Asimismo, en los últimos años la participación de la estadística y la utilización de computadoras para el registro de los resultados analíticos, ha facilitado enormemente el procesamiento de los datos geoquímicos.

Haciendo referencia a la utilización de la geoquímica en la República Argentina, cabe destacar que el país no permaneció insensible ante las posibilidades ofrecidas por esta técnica y los principales organismos estatales y privados dedicados al reconocimiento y evaluación de los recursos minerales, comprendieron la necesidad de incorporarla en sus programas regulares de exploración. Ello comienza a hacerse efectivo al iniciarse la década de 1960 y, desde entonces, se fue ampliando y mejorando su campo de aplicación.

La Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA), figura entre las primeras instituciones del país que procedieron a organizar y poner en marcha un servicio de geoquímica, con el objeto de utilizar esa técnica en sus programas de exploración por uranio, en estrecha relación con otras técnicas de prospección. Las primeras investigaciones geoquímicas se realizan en el año 1962 y desde entonces y hasta el año 1978 se lleva cubierta una superficie de 60.000 km² con prospección geoquímica de diferente malla, correspondiendo la mayor cobertura (90 %) a estudios de reconocimiento, distribuidos en todo el ámbito del país.

Otros organismos estatales argentinos que utilizan regularmente las técnicas geoquímicas, son la Dirección General de Fabricaciones Militares y el Servicio Nacional Geológico-Minero, que se destacan del resto por la trascendencia de los programas desarrollados (SANTOMERO, 1971).

En todos los casos, trabajos de prospección tendieron a la localización de depósitos minerales de interés económico, en especial aquellos referidos a los grandes yacimientos de cobre diseminado.

La prospección geoquímica ha jugado un rol de importancia en la exploración, tanto en la faz preliminar tendiente a localizar áreas con posibilidades de mineralizaciones diversas, como en los estudios posteriores de detalle, colaborando eficazmente en la definición de los sectores promisorios y orientando la ubicación de los sondeos en los programas de perforaciones.

Las posibilidades futuras de la geoquímica en el dominio de la explotación minera, son amplias y sus métodos de prospección y técnicas analíticas complementarias son mejorados progresivamente.

Las nuevas tendencias de la industria minera, dirigidas a la explotación de yacimientos de baja ley y gran volumen, como asimismo, a las vastas reservas naturales y potenciales de los océanos, representan nuevos campos de actividades para la exploración geoquímica, que ya se han evidenciado favorables en la prospección de depósitos metalíferos diseminados y mineralizaciones marinas.

Las estadísticas relativas a la utilización de la geoquímica en el mundo, así como las tendencias actuales y futuras, muestran que esta disciplina tiende a ocupar un lugar de privilegio en la prospección minera y dentro de otros dominios científicos.

2. CONCEPTOS GENERALES SOBRE LA DISTRIBUCION Y MIGRACION DE LOS ELEMENTOS EN LA CORTEZA TERRESTRE

Antes de entrar a considerar el tema principal de esta exposición, relacionado con la aplicación práctica de la geoquímica a la prospección mi-

nera, se ha estimado conveniente proporcionar una visión panorámica, muy sintética, de los principios generales que rigen la distribución y migración de los elementos en la corteza terrestre, cuyo conocimiento resulta de fundamental importancia para una correcta aplicación de esta técnica.

2.1. AMBIENTE GEOQUÍMICO - MOVILIDAD Y DISPERSIÓN DE LOS ELEMENTOS

En el ciclo geoquímico mayor o geológico de los elementos, se establecen dos ambientes naturales con características propias: un "ambiente primario" (o hipogénico) propio de la litósfera y otro "secundario" (o supergénico) en la superficie terrestre. Estos ambientes están regidos por condiciones físico-químicas diferentes y el límite entre ambos está dado por los niveles más profundos de circulación de las aguas vadasas. En el ambiente primario la temperatura y la presión son elevadas y falta el oxígeno; en el ambiente secundario en cambio, aquellos parámetros son bajos y hay abundancia de oxígeno, desempeñando un importante papel los procesos bioquímicos que no actúan en el ambiente profundo.

Existe un desplazamiento continuo de los materiales terrestres de uno a otro ambiente, cumpliendo en procesos rotativos el ciclo geoquímico mayor. En el ambiente profundo (primario) se llevan a cabo los procesos relacionados con el metamorfismo y diferenciación magmática, en tanto que en el ambiente superficial (secundario) ocurren los de meteorización, transporte y sedimentación.

El movimiento de los materiales terrestres produce una dispersión de los elementos naturales, que se traduce en una redistribución de los mismos por acción de agentes mecánicos, físicos, químicos y biológicos. La dispersión está relacionada con la movilidad del elemento, es decir, con la capacidad de desplazarse dentro de un ambiente determinado. En el cuadro I se dan a conocer las movilidades relativas de los elementos en el ambiente supergénico, de acuerdo con ANDREWS y JONES (1968).

Siguiendo el esquema clásico, los sistemas de dispersión se clasifican en "primarios" y "secundarios", de acuerdo al ambiente de su formación. Esta clasificación es objetada, entre otros, por GRANIER (1973), quien prefiere realizar una clasificación basada en la forma en que se lleva a cabo la dispersión, distinguiendo de esa manera, entre "dispersiones químicas", "dispersiones mecánicas" y "dispersiones gaseosas".

Cualquiera sea el esquema que se aplique, los elementos en su movilización dan lugar a figuras de dispersión, que pueden relacionarse con la fuente de origen.

Los procesos que regulan la movilización de los elementos en el ambiente primario, son muy diferentes de aquellos que rigen en el ambiente superficial. El desplazamiento se produce a lo largo de fisuras y límites intergranulares en las fases sólidas y dentro de los fluidos magmáticos en las fases líquidas. Los sistemas de dispersión en este ambiente, incluyen los productos finales de todos los procesos de metamorfismo, metasomatismo y diferenciación magmática.

HAWKES (1957), distingue tres sistemas de dispersión primarios, de particular importancia en la exploración minera: "la provincia geoquímica", "la dispersión por movimiento de fluidos acuosos" y "la dispersión por movimiento de gases a bajas temperaturas".

De acuerdo con FERSMAN (1922), la provincia geoquímica es una región homogénea desde el punto de vista geoquímico, que se caracteriza por determinadas combinaciones de elementos químicos. El carácter específico de esas combinaciones determina diferencias entre una provincia geoquímica y las regiones vecinas, las que ya se ponen de manifiesto en la distribución de los elementos petrogénicos y se acentúa en la distribución de los elementos accesorios, principalmente metalogénicos. Cada provincia geoquímica está, pues, caracterizada por una particular distribución de los elementos, que es propia de determinadas formaciones geológicas; la caracterización de esas distribuciones, permite pronosticar con bastante exactitud la posible existencia de mineralizaciones relacionadas con aquellas, las que resultan así, de suma utilidad en la prospección como guías en la selección de áreas favorables.

La dispersión por fluidos acuosos incluye los cuadros areales de metales dispersados, útiles en la exploración de distritos mineralizados; las aureolas de infiltración, que permiten localizar depósitos enterrados y ciegos y por último, las aureolas en rocas de caja, de aplicación en la exploración del subsuelo (galerías o perforaciones).

En la dispersión gaseosa a bajas temperaturas, los cuadros de dispersión de algunos elementos o compuestos pueden proporcionar indicación sobre yacimientos no aflorantes. Tal es el caso de los hidrocarburos volátiles para la búsqueda de petróleo; las emanaciones de radón, torón y actinón en la prospección de menas radiactivas; el vapor de mercurio para la localización de depósitos de ese metal o de otros yacimientos con anomalías en ese elemento; concentraciones anormales de sulfuro de hidrógeno y óxidos de azufre permite la detección de menas de sulfuros, etc.

A continuación se hace una breve referencia sobre el comportamiento del uranio. En el ambiente primario tiene afinidad con los elementos constituyentes de magmas ácidos, actuando como un típico elemento litófilo.

En este medio, su transporte se realiza bajo la forma tetravalente, pudiendo quedar atrapado en las redes cristalinas de algunos silicatos (plagioclasas, biotitas, etc) y de minerales accesorios (circón, apatita, etc) también puede estar presente como óxido en la película intercristalina o en fisuras o imperfecciones de estos minerales. Además, puede concentrarse en los líquidos residuales de la actividad magmática y dar lugar a su emplazamiento como óxido en depósitos vetiformes. También puede presentarse en depósitos pegmatíticos o en manifestaciones volcánicas ácidas.

El radio iónico del U^{IV} así como su facilidad para cambiar al estado de oxidación U^{VI} (ión uranilo, UO_2^{++}) le confiere un comportamiento geoquímico bastante complejo en el medio supergénico, en el cual puede migrar a considerables distancias de la fuente hasta tanto comiencen a actuar los agentes precipitantes que se mencionan más adelante.

Las dispersiones secundarias resultan las más importantes para la prospección geoquímica, puesto que pueden ser detectadas en materiales fáciles

mente accesibles a la investigación, tales como aguas naturales, sedimentos de corriente, suelos, vegetales y rocas. Las mismas son el producto de la destrucción de la asociación mineral primaria, por procesos mecánicos, físicos, químicos o biológicos, los que determinan la movilización de los elementos liberados y su ulterior fijación por los materiales señalados precedentemente.

Las dispersiones de esta naturaleza suelen clasificarse, de acuerdo con su forma y relación geométrica con la fuente, en "aureolas", "abanicos" y "trenes".

La "aureola" es una estructura de dispersión lateral equidimensional, propia de relieves suaves, que incluye en su figura la fuente de origen. El "abanico" es una estructura divergente hacia un lado de la fuente, con su vértice orientado hacia la misma, que se origina por deslizamiento de material superficial (glacial) sobre un plano inclinado. Por último, el "tren" o "reguero" es una dispersión de geometría lineal, típico de los canales de drenaje (arroyos y ríos).

La extensión o amplitud de las figuras de dispersión es función de una serie de factores que gravitan sobre la movilidad del elemento. Esos factores se relacionan con a) la estabilidad del mineral b) los agentes de dispersión y c) las condiciones del medio.

Los minerales refractarios a la alteración, tales como los residuales resistentes derivados de las rocas ígneas y los minerales arcillosos y óxidos secundarios estables, sufren preferentemente una dispersión mecánica. Los productos solubles, son por el contrario, parcial o totalmente redissueltos en el agua.

Los agentes de dispersión pueden ser de distinta naturaleza, pudiendo citarse entre ellos a) los agentes mecánicos como la gravedad, el agua, el viento, los glaciares, la actividad animal, etc, b) los agentes químicos como soluciones en las aguas superficiales o subterráneas y c) agentes biológicos como la vegetación, bacterias, animales, etc.

Las condiciones del medio tienen relación directa con la geología (naturaleza de las rocas, estado de alteración, grado de tectonismo, etc), con la topografía (tipo de relieve), con la pedología (naturaleza del suelo, composición, espesor, etc), con la hidrología (circulación de aguas superficiales y subterráneas), con el clima (lluvias, vientos, temperatura, humedad ambiental, evaporación, etc), con la vegetación (carácter de la misma, grado de cobertura, etc), etc.

En cuanto al uranio en el ambiente supergénico, se destaca que los agentes de la meteorización provocan la oxidación del ión uranoso (tetavalente) a ión uranilo (hexavalente) de mayor movilidad. En medio acuoso, se hidrata y combina con otros iones disueltos entrando a formar parte de complejos, principalmente carbonatados, los cuales presentan un rango de estabilidad grande frente a valores de pH muy diversos, (CHERBET y COULOMB, 1958).

La migración del uranio, en medios pobres en iones carbonato, puede producirse por medio de coloides, como la sílice (YERMOLAYEV et al., 1965) y los óxidos férricos hidratados que, por adsorción y hasta tanto permanezcan,

dispersos en el medio contribuyen a mantener el uranio en solución en condiciones de pH desfavorables. Por último, se cita también como vehículo de transporte del uranio a la materia orgánica soluble, con la cual reacciona para dar complejos muy estables (VINE et al., 1958).

Iniciado el proceso de dispersión del uranio, pueden actuar factores que modifican esa movilización, provocando la fijación de dicho elemento en aluviones, suelos, vegetales, rocas, etc, lo cual reviste singular importancia para la prospección (formación de estructuras de dispersión) y la formación de yacimientos sedimentarios.

La fijación del uranio en solución puede producirse por los siguientes mecanismos:

- por procesos de captura o coprecipitación con sesquióxidos gelatinosos de hierro y manganeso, como consecuencia de variaciones en los valores del pH y Eh de las soluciones por mezcla con aguas de diferente composición (OSTLE y BALL, 1973).
- por fenómenos de sorción en materia orgánica o arcillas, debido a cambios del pH del medio (SZALAY, 1964; TITAYEVA, 1967; MARTIN CALVO, 1974).
- por reducción del ión uranilo a ión uranoso, por acción del sulfuro de hidrógeno liberado en la descomposición de materias orgánicas o por procesos biogénicos (BERNER, 1973).
- por cambios sensibles en la velocidad y presión de las soluciones portadoras, que puede provocar la precipitación del uranio en aguas estancadas, fisuras de las rocas, interior de cavernas, etc.

2.2. CONCEPTO DE ANOMALIA GEOQUIMICA

De acuerdo a lo expresado en párrafos anteriores, los cuadros o estructuras de dispersión geoquímica representan sectores de mayor concentración, de uno o varios elementos, en diversos materiales de la corteza, en relación con los contenidos normales de esos mismos elementos en los materiales de áreas vecinas.

Esa mayor concentración o enriquecimiento de los elementos, puede originarse a partir de materiales con contenidos normales, como una consecuencia de condiciones ambientales especiales, o bien provenir de una fuente de dispersión como un depósito mineralizado. En ambos casos se está en presencia de una "anomalía geoquímica", a la que podemos definir como una desviación del cuadro geoquímico normal o de "fondo", en un área determinada.

El "fondo" representa el rango normal de concentración de un elemento en un área, debiendo distinguirse entre "fondo regional" y "fondo local". El fondo regional acusa valores que fluctúan alrededor de la abundancia promedio del elemento, en los diversos tipos de rocas del área. El fondo local, representa esos mismos valores en la vecindad de la estructura de dispersión originada a partir de la concentración mineral, es decir, próximo a la anomalía.

El fondo no representa en ningún caso un valor regular; por el contrario, acusa oscilaciones en forma de contenidos mayores o menores que el valor promedio.

Se denomina "umbral de anomalía" al límite superior de las oscilaciones del fondo. También en este caso se habla de un "umbral regional" y un "umbral local". Se consideran valores anómalos, sólo aquellos que sobrepasan el valor del umbral local.

Al referirnos a las anomalías geoquímicas, debemos distinguir entre "anomalías positivas" y "anomalías negativas". Las primeras representan concentraciones anormalmente altas de los elementos investigados, y revisten el mayor interés en la prospección. Por el contrario, las anomalías negativas registran concentraciones correspondientes a niveles ubicados por debajo de los normales. Las anomalías negativas carecen, generalmente, de significación; no obstante, en presencia de rocas intensamente alteradas, puede suceder que dichas anomalías sean causadas por una intensa lixiviación de la roca, lo que puede dar lugar a la formación de depósitos por reprecipitación ulterior. Esta circunstancia puede adquirir especial significación en el caso del uranio, por la fácil solubilización y transporte a partir de sus minerales primarios.

2.3. ASOCIACION DE LOS ELEMENTOS

Es frecuente en la naturaleza que, dentro de un ambiente determinado, ciertos elementos con similar capacidad de movilización tiendan a agruparse en asociaciones minerales. Esa capacidad de asociarse de los elementos depende, fundamentalmente, del estado de oxidación, de sus radios iónicos y de otros parámetros físicos de menor gravitación, tales como peso específico, solubilidad, polarización, radiactividad, potencial iónico, etc.

Los elementos así asociados, dentro de determinadas condiciones fisicoquímicas, generalmente pueden perder esa propiedad al producirse una variación de las condiciones ambientales, dando por resultado un cambio profundo en los hábitos de movimiento de los mismos.

Sin embargo, puede suceder que algunos elementos asociados en el ambiente hipogénico vuelvan a asociarse en el ciclo supergénico. Tal es el caso de elementos como el uranio, vanadio, molibdeno, cobre, plomo, cinc, arsénico, etc, que se pueden encontrar tanto en los sulfuros metálicos hidrotermales, como en lutitas negras. En el cuadro II se dan a conocer las asociaciones geoquímicas más comunes, según LEVINSON (1974).

Dentro de las asociaciones minerales, existen elementos que poseen una movilidad mayor que el resto, ya sea por ser más volátiles, caso del radón, helio, mercurio, etc, o por tratarse de elementos que pasan fácilmente a solución acuosa en forma iónica, como el selenio, molibdeno, plata, etc. Cuando dicho elemento es un constituyente principal de la mineralización, se lo denomina "indicador" y cuando está presente en la misma en cantidades pequeñas o en cantidades mayores pero sin valor económico, se lo llama "rastreador" (o "trazador"). En el cuadro III figuran los elementos indicadores corrientemente utilizados para la detección de diversos tipos de mineralizaciones, de acuerdo con LEVINSON, op.cit.)

El uso de elementos indicadores en prospección geoquímica, se justifica sólo cuando sus movibilidades son diferentes a la del elemento investigado, resultando su investigación más conveniente en determinada etapa de la exploración, o cuando la determinación analítica del elemento indicador resulta más simple y económica. Así por ejemplo, en la búsqueda de mineralizaciones de sulfuros, resulta conveniente emplear el cinc en la etapa de reconocimiento, por su gran movilidad, en tanto que en prospección detallada es más útil el plomo, por poseer estructuras de dispersión más reducidas.

3. PROSPECCION GEOQUIMICA DEL URANIO - MATERIALES MUESTREADOS

La prospección del uranio mediante las técnicas geoquímicas, viene siendo utilizada desde hace más de dos décadas en varios países. La gran movilidad del uranio en el ciclo de alteración supergénica, dentro de una amplia gama de pH, le permite migrar fácilmente en las aguas superficiales y vadosas en forma de complejos solubles dando lugar, por los mecanismos señalados oportunamente, a la formación de amplias figuras de dispersión en diversos materiales de la corteza terrestre, como aguas, sedimentos de corriente, suelos, rocas y vegetales.

Asimismo, se dispone para el uranio de métodos analíticos susceptibles de responder satisfactoriamente a las exigencias de la prospección (sensibilidad, reproducibilidad, bajo costo, etc), todo lo cual convierten a la geoquímica en una herramienta útil para la búsqueda de ese elemento.

Como introducción al tratamiento de las distintas etapas a desarrollar en el curso de la prospección, nos detendremos previamente a realizar una breve descripción de los materiales corrientemente utilizados en el estudio de sus cuadros de dispersión.

3.1. AGUAS NATURALES

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

Por su condición de solvente universal, en su seno tienen lugar todas las reacciones químicas en el ambiente supergénico y sin su presencia, los procesos biológicos no existirían.

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

El estudio de las aguas en geoquímica, técnica denominada prospección hidrogeoquímica, ofrece interés práctico en la búsqueda de mineralizaciones de uranio en todas las etapas de la exploración, desde la limitación de zonas con favorabilidad uranífera (malla de muestreo amplia), hasta la investigación de depósitos profundos (prospección táctica).

La amplitud de las aureolas de dispersión hidrogeoquímicas son muy variables: desde unos pocos metros hasta magnitudes del orden de muchos kilómetros, dependiendo de una serie de factores tales como movilidad del elemento, carácter de las soluciones acuosas, dilución con aguas estériles, condiciones climáticas, variaciones estacionales de caudal, características geológicas, estructurales y geomorfológicas de las áreas de drenaje, etc.

FIX (1956a), señala que en condiciones favorables, las anomalías hidrogeoquímicas en aguas subterráneas pueden ser detectadas a varios kilómetros de un yacimiento de uranio importante, en tanto que en aguas superficiales esa distancia alcanza probablemente un centenar de kilómetros.

El tenor uranífero fundamental de las aguas naturales varía ampliamente con la naturaleza de los terrenos geológicos que ellas drenan (diferentes contenidos en U de las rocas) y, fundamentalmente, con la composición de las mismas: según sus contenidos en determinados aniones (sulfato, carbonato, bicarbonato, etc) y el carácter de algunos parámetros fisicoquímicos (potencial de hidrógeno, potencial de oxidación-reducción, temperatura, gases disueltos, etc) serán susceptibles de incorporar más o menos uranio en solución.

Ese 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 de Norte América (1956), señalan para las aguas subterráneas, en terrenos normales, 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.

FIX (1956b), destaca que en las aguas de zonas frías de Estados Unidos y Alaska, el tenor de fondo para el uranio ha sido establecido en alrededor de 0,1 ppb. En áreas altamente uraníferas, el contenido en las aguas superficiales es normalmente superior entre 1 y 3 veces ese valor y en las aguas subterráneas, de 2 a 4 veces. Señala por último, que para aguas contaminadas (por perforaciones, laboreos mineros o adición de residuos uraníferos industriales), esa cifra alcanza de 4 a 7 veces la magnitud del fondo.

Las aguas de lagos, ríos y arroyos están, generalmente, sujetas a procesos químicos, físicos y biológicos que les provocan condiciones de inhomogeneidad, si bien otros factores como la turbulencia y el viento tienen efectos contrarios, contrarrestando en parte la acción de aquéllos (BROWN y otros, 1970). De esta manera, la obtención de una muestra suficientemente representativa en un río de gran caudal, se logra promediando varias fracciones pequeñas de diferentes partes del curso, a través de una sección transversal del mismo. La información proporcionada por esa muestra, puede complementarse con la obtenida de 2 muestras separadas, extraídas de cada una de las márgenes del río.

En ríos de reducido caudal y en arroyos, el procedimiento de muestreo se simplifica y una sola muestra tomada en la parte media del curso puede resultar representativa.

Los itinerarios de muestreo deberán trazarse, preferentemente, a lo largo de las vías de drenaje principales, las que serán muestreadas a intervalos regulares, con un espaciamiento acorde con la escala de trabajo. El muestreo debe hacerse extensivo a los tributarios sobre ambas márgenes, pudiendo alcanzar a la totalidad de ellos en el caso de una prospección detallada, o

bien a los más importantes (desarrollos superiores a los 500 m), en una malla estratégica.

En presencia de redes de drenaje bien desarrolladas, con una elevada densidad de afluentes, se pueden suprimir algunas muestras sobre el río principal.

Cuando existan puentes, caminos o sendas de animales que crucen el río, la muestra deberá ser tomada, preferentemente, aguas arriba de los mismos, a fin de evitar posibles contaminaciones.

Al practicar el muestreo de las aguas superficiales se procurará extraer aquéllas que estén en movimiento, evitando en lo posible las que permanezcan estancadas. La muestra así obtenida deberá ser límpida e incolora, exenta en lo posible de sedimentos en dispersión. WENRICH-VERBEECK (1977), de acuerdo a resultados obtenidos en investigaciones realizadas por cuenta del Servicio Geológico de los EE.UU., recomienda filtrar y acidificar la muestra evitando así, con el primer procedimiento, variaciones en la concentración de la solución por lixiviación de la fracción suspendida y minimizando, con la acidificación, la pérdida de iones por adsorción en las paredes del envase.

La acidificación de la muestra no es aconsejada por GRIMBERT y BERTHOLLET (1959) al considerarlo poco recomendable por los inconvenientes que pueden producirse al variar el pH de la solución y modificar su composición (precipitación de materias orgánicas coloidales, descomposición de bicarbonatos, etc).

Esta operación se puede obviar procediendo al análisis de la muestra inmediatamente después de su extracción, evitando así su prolongada conservación. Al respecto, DALL'AGLIO y TONANI (1961) señalan que en muestras almacenadas, el uranio contenido en las aguas al estado de extrema dilución, podría sufrir fenómenos de coprecipitación o adsorción; experiencias realizadas para determinar la conservabilidad del título en uranio de aguas superficiales, indican que después de aproximadamente una semana, la concentración disminuye del 15 al 20 % y luego de un mes ya no se tienen más valores reproducibles, produciéndose variaciones muy altas y fluctuantes entre determinaciones realizadas en las mismas condiciones.

Cuando la comisión de muestreo no dispone de apoyo analítico sobre el terreno, ese inconveniente puede ser resuelto satisfactoriamente procediendo a concentrar el contenido salino de la muestra sobre una banda de papel cromatográfico, de acuerdo al método hecho conocer por GRIMBERT y BERTHOLLET (op. cit.): el agua asciende en el papel por capilaridad 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. Las bandas así obtenidas, son perfectamente conservables por períodos prolongados y pueden ser fácilmente remitidas al laboratorio para su análisis.

En oportunidad de realizar el muestreo se determina la temperatura del agua y los valores del potencial de hidrógeno, de oxidación-reducción y de conductancia específica. Las mediciones de la conductividad, utilizadas para normalizar los valores del uranio en muestras de agua, constituyen un im-

portante parámetro adicional que posibilita eliminar, en buena medida, la influencia de las variaciones estacionales, con marcados efectos en la concentración del uranio, por fenómenos de evaporación y dilución de las soluciones.

Otros datos que deben ser tenidos en cuenta al extraer la muestra, se refieren a su naturaleza (superficial o subterránea), caudal del curso, velocidad de la corriente, color del agua, limpidez, presencia de material en suspensión, radiactividad, etc.

Una cantidad de 200 cm^3 de agua es suficiente para realizar los análisis por uranio y las determinaciones de los elementos mayores, comúnmente investigados en la prospección hidrogeoquímica. Para su almacenamiento se pueden utilizar frascos de plástico o pequeñas bolsas de polietileno, estas últimas más convenientes y prácticas para transportar.

En programas de muestreo de unos pocos centenares de muestras, la identificación de las mismas se realiza mediante un sistema de numeración creciente, con números arábigos simples sobre una tarjeta, o marcándolos directamente en el envase si permite la escritura. Además debe figurar el nombre del proyecto, ubicación geográfica, nombre del prospector y fecha. En proyectos de mayor envergadura, que implique la extracción de varios miles de muestras, el registro de datos se realiza en tarjetas apropiadas, mediante una codificación establecida, posibilitando de esa manera su procesamiento por computación.

El contenido de uranio en las aguas se expresa en partes por billón (ppb), microgramo/litro o $10^{-7} \%$, disponiéndose para su determinación de técnicas analíticas que aseguran una sensibilidad del orden de décimas de microgramo/litro, con una buena reproducibilidad.

Si bien la utilización del término "parte por billón" no es recomendable, por la confusión a que puede dar lugar la diferencia entre el valor del billón inglés (10^9) y el billón americano (10^{12}), su uso se ha generalizado bastante por lo que, en caso de utilizar esa nominación, se debe realizar previamente la aclaración correspondiente. En nuestro caso se asigna a la "parte por billón" un equivalente de 10^{-9} .

3.2. SEDIMENTOS DE CORRIENTE

El material de arrastre de los arroyos y ríos, derivado de las formaciones rocosas que atraviesan en su recorrido, sufre en su transporte una acción mecánica desde las nacientes de los cursos de agua, hasta su deposición en los niveles de equilibrio. La fracción fina de ese material, con proporciones variables de limos, arcillas y materia orgánica, representa un excelente medio para la investigación de los cuadros de dispersión del uranio y ha sido objeto de una amplia aplicación en prospección geoquímica.

Los sedimentos de corriente ofrecen la ventaja con respecto a las aguas naturales, de estar menos sometidos a las fluctuaciones estacionales y de posibilitar el estudio durante los períodos de sequía o en aquellas regiones de clima árido, con redes hidrográficas poco desarrolladas. Contrariamente, sus estructuras de dispersión son más reducidas que aquéllas de las aguas, alcanzando generalmente algunos cientos de metros, si bien en condicio

nes muy favorables pueden pasar del kilómetro.

La conservación de las muestras permite reiterar los análisis en caso de dudas y realizar investigaciones por otros elementos asociados, cuyo conocimiento puede contribuir a facilitar la prospección.

El contenido de uranio en los sedimentos de corriente es muy superior al de las aguas, expresándose su concentración en "partes por millón", microgramo/gramo o 10^{-4} %.

La composición y granulometría del sedimento, son aspectos importantes que deben ser tenidos en cuenta al practicar el muestreo, por la gravitación que ejercen en el proceso de fijación del uranio de una solución. En efecto, se ha señalado oportunamente que los materiales arcillosos, especialmente aquellos del grupo de la montmorillonita, algunas sustancias orgánicas y los óxidos hidratados de hierro y manganeso, son excelentes fijadores del uranio; en consecuencia, la muestra deberá obtenerse preferentemente de la fracción más fina del aluvión, procurando extraerla donde el curso de agua reduce su velocidad, creando condiciones favorables para la acumulación de materiales de las características señaladas.

Todo lo dicho, al tratar las aguas, sobre esquemas de muestreo, es aplicable a los sedimentos de corriente. En los cauces secos, se muestrearán las vías de escurrimiento de las aguas de lluvia, coincidentes con el lecho del arroyo. Si este último estuviera cubierto de vegetación, se extraerá material de la base del suelo vegetal o del aluvión infrayacente.

La profundidad de muestreo es función de las características geoquímicas de la región y se determina por ensayos en el área de influencia de una mineralización conocida, en el curso del estudio de orientación. En el caso de existir dudas sobre como practicar el muestreo, se extraerán muestras de superficie y a distintas profundidades sobre el mismo punto: el análisis correspondiente permitirá definir el material que, con mayor claridad, refleja la dispersión.

Al extraer la muestra se deberá anotar en la libreta de campo las características más sobresalientes del lugar (geología, tectónica, existencia de alteración en las rocas, relieve, naturaleza de las márgenes de los ríos, existencia de suelos, vegetación, de trabajos realizados por el hombre, etc) y del material (color, composición granulométrica, presencia de vegetales, de materia orgánica, de precipitados de cualquier naturaleza, etc), a los efectos de evaluarlos en oportunidad de realizar la interpretación. Asimismo, se mide la radiactividad del punto de muestreo mediante un registro centellométrico, con el aparato ubicado a la altura de la rodilla.

Para la extracción de las muestras resultan muy útiles pequeñas palas construídas en acero inoxidable, material resistente, durable y sin peligro de contaminaciones, en la eventualidad de tener que realizar análisis por otros elementos como el plomo, cobre, cinc, etc.

Conviene señalar sobre el terreno al menos algunos puntos de muestreo más estratégicos, mediante pintura o cintas de colores, para facilitar su ubicación en caso de remuestreo o densificación de la malla.

Una cantidad de 200/300 g de sedimento es suficiente y representativa. Para su almacenamiento resultan de utilidad los sobres de papel impermeabilizado, que facilitan el secado del material y permiten el registro de notas. También pueden utilizarse pequeñas bolsas de polietileno, de costo más reducido, pero en este caso deberá transvasarse el material a un recipiente apto para permitir su secado.

El secado de la muestra y la preparación previa a su análisis, es función del equipo analítico. No obstante, si la comisión de prospección no dispone de un laboratorio próximo, las operaciones de secado y separación de la fracción fina conviene efectuarlas en el campo y enviar al laboratorio aproximadamente 5 g de ésta última, para los análisis correspondientes.

Si bien hay acuerdo en aceptar que el análisis del uranio debe ser realizado sobre la fracción fina del sedimento, la malla utilizada puede variar desde menos 60 BS (DYCK et al., 1971) hasta menos 170 BS (WENRICH-VERBECK, *op. cit.*), pasando por 150 BS (GRIMBERT, 1971). Normalmente, la elección del diámetro de partícula se determina mediante ensayos previos, los que permiten fijar el tamaño de grano más conveniente.

3.3. SUELOS

En Geoquímica, el estudio de las figuras de dispersión de un elemento mediante el análisis de los suelos, se denomina prospección pedogeológica.

Los suelos representan, por su naturaleza y composición, un material eficaz para la prospección geoquímica del uranio. Sus contenidos en sustancias capaces de fijar ese elemento por fenómenos de actividad superficial o intercambio iónico (arcillas, óxidos hidratados de hierro y manganeso, materia orgánica, etc) los convierte en los materiales superficiales de mayor aplicación en la prospección de depósitos uraníferos, especialmente en la etapa de estudio detallado.

Las características de los suelos son consecuencia de la interacción de factores orográficos, climáticos, litológicos y orgánicos. Sin la intervención de los organismos, principalmente vegetales, cuyos elementos muertos se han incorporado 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 del término y a los fines de la prospección geoquímica, puede considerarse como suelo a todo producto de la destrucción de rocas aflorantes, capaz de sustentar una vegetación.

De los horizontes principales de un suelo desarrollado, el superficial u Horizonte A se caracteriza por la lixiviación de ciertos elementos (horizonte eluvial), que se trasladan hacia abajo para ser precipitados en el Horizonte B u horizonte de acumulación (horizonte iluvial). El Horizonte C, constituye la roca meteorizada, a partir de la cual se forman los niveles superiores.

En cada uno de estos horizontes, pueden determinarse unidades menores en base a variaciones de composición, textura o color entre una zona y otra. De esas unidades conviene destacar, por su trascendencia, la correspondiente a la capa de humus del horizonte A, designada generalmente como Horizonte Ao, que ocupa el nivel superior de aquél y que, como veremos más adelante, da lugar a

opiniones encontradas en el muestreo de suelos.

Al encarar un trabajo de prospección pedogeoquímica, como primer objetivo debe establecerse la profundidad de muestreo.

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.

Los horizontes más cercanos a la superficie (A y B) son más adecuados para la investigación que el Horizonte C, en razón de una distribución más homogénea de los elementos metálicos.

Cualquiera sea la profundidad establecida, se está de acuerdo en evitar el muestreo de la capa húmica por las perturbaciones que provoca en la dispersión del uranio. Si bien este material contiene elevadas concentraciones de ese elemento, podría dar lugar a resultados altamente erráticos, sin relación aparente con las figuras de dispersión de la roca subyacente. No obstante, en condiciones particulares de suelos residuales y donde no se sospecha una contaminación proveniente de agentes superficiales, el horizonte A es sumamente ventajoso por la facilidad del muestreo.

BOYLE y DASS (1967), señalan que en Canadá, los relevamientos geoquímicos de suelos tienden al uso del horizonte B para el muestreo. Tal elección estaría sustentada por el hecho de que es el horizonte de máxima acumulación de los minerales arcillosos y de los óxidos hidratados de hierro y manganeso, los cuales tienen tendencia a adsorber o coprecipitar la mayoría de los metales comunes. Sin embargo, destacan que en el curso de estudios realizados en Cobalt, Ontario, observaron que el horizonte A provee los mejores resultados en el muestreo de suelos. En ese nivel, como consecuencia de procesos bioquímicos, se produce una mayor concentración de los metales trazadores (Cu, Pb, Zn, Mo, etc) y las anomalías proveen un mejor contraste que aquellas obtenidas en el horizonte B. Añaden que esas observaciones parecen confirmar los resultados obtenidos por TIESLEY y ROWNTREE (1966) en Northern Cape Breton Island, y los de R. OJA en el cinturón argentífero de Thunder Bay, Port Arthur, Ontario (información privada). No obstante, aconsejan prudencia en el uso del horizonte A, por estar sujeto a contaminaciones por agentes superficiales.

Para las condiciones pedológicas y climáticas de Francia. GRIMBERT, (1959) señala la conveniencia de muestrear 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 encuentren en la capa húmica del horizonte A y en el horizonte C, próximo al bed-rock.

En la práctica, el horizonte más representativo suele determinarse por relación de la zona de estudio con una provincia geoquímica, si bien en la mayoría de los casos se establece por resultados de ensayos experimentales, efectuados sobre el área de influencia de un depósito de uranio conocido.

Para el muestreo se utiliza, generalmente, un taladro de pedólogo, que posibilita sin inconvenientes la extracción del material a la profundidad deseada, practicando una marca sobre la barra. En terrenos arenosos o pedregosos, suele dar mejores resultados la apertura previa de pequeños pozos mediante una pala o un pico y luego proceder al muestreo. En ciertas condiciones ope

rativas, la utilización de taladros mecánicos portátiles, accionados por un pequeño motor a explosión, puede resultar ventajosa.

Dentro del plan de muestreo regular de un área, resulta conveniente intercalar algunas muestras más profundas, a fin de controlar las variaciones del contenido en uranio en niveles inferiores.

La prospección pedogeoquímica puede realizarse también sobre suelos transportados, no residuales. Estos aparecen constituidos por materiales de distinta naturaleza, frecuentemente de origen glacial o aluvial, caracterizándose por una 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. En efecto, si bien algunas figuras de dispersión pueden 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, esas distorsiones, aconsejan ser prudentes en la interpretación de los datos proporcionados por el muestreo, exigiendo frecuentemente un detenido estudio hidrológico de la región.

3.4. VEGETALES

La utilización de vegetales en prospección geoquímica, si bien no ha alcanzado un desarrollo comparable con el de los sedimentos de corriente, las aguas o los suelos, ha sido aplicada con éxito en la investigación de varios elementos, incluido el uranio, en países como Rusia, Japón, Suecia, Finlandia, Canadá y los Estados Unidos. En otros países como Francia, Inglaterra, Italia, etc, este tipo de prospección ha sido poco utilizado, prefiriéndose la investigación de otros materiales más fáciles de muestrear y con análisis más simples y económicos, con obtención de resultados igualmente satisfactorios.

La prospección por medio de vegetales puede resultar eficaz sobre suelos no residuales, en zonas boscosas y pantanosas, en regiones de clima húmedo, donde se lleva a cabo una activa lixiviación de los suelos y en áreas desérticas, donde los sedimentos eólicos recubren los afloramientos mineralizados y las aureolas geoquímicas endógenas.

Este tipo de prospección puede ser realizado, ya sea analizando el elemento buscado en determinados órganos del vegetal en cuyos tejidos fue almacenado (prospección biogeoquímica), o bien investigando aquellas especies cuya distribución aparece regida por la disponibilidad, en el suelo, de un elemento determinado (prospección geobotánica o de plantas indicadoras).

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 características de la mineralización y sus relaciones con el nivel freático y las raíces de los vegetales. En aquellos casos que no se disponga de información al respecto, se procede empíricamente muestreando algunas especies y determinando su contenido en el elemento investigado. Al seleccionar los vegetales, hay que tener en cuenta su abundancia en la zona de estudio y la profundidad de penetración de sus raíces.

ces.

En los casos en que se ensayen árboles o arbustos, se recogen los mismos órganos (hojas, tallos, raíces, corteza, madera del tronco, etc) en plantas de aproximadamente la misma edad (altura y troncos similares), procurando extraer el órgano elegido en todo su contorno, dado que pueden registrarse variaciones entre un costado y otro, en íntima relación con las raíces. Si se muestrea hierbas, se procede de la misma manera, resultando en este caso muy conveniente la investigación de tallos y hojas.

De un modo general, se acepta que la profundidad de exploración del método biogeoquímico depende de la profundidad de penetración del sistema radicular de la planta. No obstante, existen factores complementarios que favorecen un mayor alcance del método, tales como el ascenso de aguas freáticas y sus sales por capilaridad, por difusión y por migración iónica; cambios temporales periódicos del nivel freático y condiciones particulares de relieve, que contribuyen a poner en contacto las raíces de los vegetales con aguas que circulan por fisuras y zonas de fractura, con acceso a rocas y minerales ubicados a varias decenas de metros de profundidad.

Haciendo referencia al alcance en profundidad del método biogeoquímico, GRABOVSKAYA (1965) señala que en la estepa de Kazakstán, en el área de un yacimiento de molibdeno, fue registrado un cuerpo mineral a una profundidad de 25 metros. Se desarrollan allí las especies "*Aipa capillata*", "*Artemisia frígida*" y "*Artemisia commutata*", que acumulan molibdeno, cobre, plomo y berilio, en diversas proporciones.

Para el caso particular del uranio, CANNON y KLEINHAMPL (1956) proporcionan información de interés relativas a estudios de esa naturaleza realizados por cuenta del Servicio Geológico de los Estados Unidos en la Meseta de Colorado: investigando diversas especies de coníferas, se logró poner en evidencia una mineralización de uranio oculta bajo 25 m de sedimentos estériles. Los órganos vegetativos que proporcionaron resultados más satisfactorios, fueron las hojas y extremos de ramas jóvenes, recogidas en toda la periferia del árbol.

Luego de un análisis estadístico de 2.000 muestras de árboles, concluyeron que el contenido uranífero de las especies enraizadas en terrenos estériles, es inferior a 0,5 ppm U en las cenizas, en tanto que aquellas desarrolladas en zonas mineralizadas acusaban incrementos promedio de 1,5 ppm U o más. En consecuencia, se estima que en muchas zonas de la Meseta de Colorado, tenores de 1 ppm U en las cenizas indican terrenos favorables, posiblemente con mineralización de uranio.

La prospección geobotánica ofrece un interés especial, dado que no requiere extracción de muestras ni análisis. Exige, en cambio, un profundo conocimiento de las especies utilizadas en la investigación, de sus asociaciones y condiciones ecológicas. Esas especies, denominadas "plantas indicadoras", son agrupadas por GRANIER (op. cit.) en dos tipos, a saber: "plantas indicadoras específicas" y "plantas indicadoras sintomáticas". Las primeras comprenden aquellas especies que sólo pueden desarrollarse plenamente, cuando disponen de determinados elementos en el suelo en concentraciones superiores a las normales.

Las plantas "indicadoras sintomáticas", por su parte, presentan síntomas particulares provocados por la presencia en el suelo de uno o más elementos, o concentraciones anormales de los mismos. Ellas exhiben ciertos fenómenos característicos que transforman notablemente su aspecto: cambios de color y forma en flores y follaje, variación en la distribución y densidad de tallos y hojas, aparición de ciertas enfermedades, perturbaciones en el ciclo de desarrollo vegetativo, etc.

Entre las plantas indicadoras específicas se señalan las especies "Viola calaminaria" y "Thlaspi calaminaria", indicadoras universales para el zinc; la "Ocimum homblei" (albahaca) y la "Gypsophila patrini" crecen en terrenos con elevadas concentraciones de cobre en Rodesia y Siberia, respectivamente; el "Equisetum arvense" es un vegetal que señala la presencia de oro, metal que puede concentrar en sus tejidos en cantidades de hasta 150 g/t, lo que dió origen a la sugerencia de un plan de explotación por ese elemento (RANKAMA, 1947).

Muchos minerales de uranio contienen azufre que, como consecuencia de alteraciones por agentes atmosféricos, da lugar frecuentemente a la formación de yeso. Algunas especies de cebollas silvestres y lirios 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 indicadores de éste elemento.

Las plantas utilizadas como indicadores en la prospección geobotánica, pueden ser especies conocidas en otras regiones estériles. 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.

Para las plantas indicadoras sintomáticas, GRABOVSKAYA (op. cit.) cita el ejemplo de transformaciones en el color de tallos y follaje de algunas plantas del género "Artemisia" en yacimientos de metales raros de Siberia, como consecuencia de contenidos elevados de niobio, puesto en evidencia en el análisis de cenizas de esas plantas y en el suelo.

La misma autora señala profundas transformaciones en vegetales provocadas por los elementos radiactivos uranio, torio y radio. Pequeñas dosis de uranio y radio aceleran su crecimiento, pero cantidades excesivas de esos elementos generan formas teratológicas como enanismo, vástagos deformados, cambio de pigmentación en las hojas, etc.

Asimismo, hace referencia a observaciones de D.P. Maliuga y A.I. Markarova, realizadas en plantas de amapola ("Papaver commutatum"), relacionadas con un yacimiento de cobre y molibdeno, donde las flores acusaban en sus pétalos manchas negras que se diferenciaban claramente de especies normales. Los mismos investigadores señalaron transformaciones en la inflorescencia de la especie "Pulsatilla patens", que crecía sobre una mineralización de níquel, en forma de reducción del pericarpio y desaparición completa de los pétalos.

En la práctica, la distribución de las plantas indicadoras puede analizarse directamente sobre cartas o fotografías, de acuerdo a observaciones previas sobre el terreno y sin necesidad de muestreo. Resulta, de esta manera, un método rápido y poco oneroso, que lo coloca en ventajas condiciones favorables, con respecto a la prospección biogeoquímica.

3.5. ROCAS

Las rocas han sido poco utilizadas en prospección geoquímica y su participación se limita, prácticamente, a la investigación de los cuadros de dispersión primarios, que para el caso del uranio, resultan mucho menos interesantes que las dispersiones secundarias, que son las realmente importantes a los fines de la prospección. En estudios de reconocimiento, las muestras de materiales superficiales como sedimentos de corriente, suelo y agua son más útiles que la muestra de roca, que sólo puede representar el afloramiento de donde se la obtuvo. En suelos residuales, la distribución de los elementos suele reflejar con bastante exactitud, el cuadro general de la anomalía primaria de la roca "madre" y su muestreo y análisis resulta más simple y económico.

Por otra parte, el muestreo de rocas debe ser representativo, el material no debe estar alterado, cosa difícil de lograr en superficie, y corresponder a un volumen determinado, de acuerdo a la naturaleza y características de la roca, todo lo cual lo convierte en una operación lenta. Los análisis generalmente resultan complejos y onerosos, lo que en definitiva, hace el proceso costoso y prácticamente aplicable a investigaciones fundamentales -determinación de provincias geoquímicas o metalogenéticas en ambiente de rocas cristalinas, por ejemplo- más que a prospecciones de rutina.

El método a utilizar, en el muestreo de rocas, dependerá de su textura y composición. Cuando la composición de la roca es homogénea, bastará extraer esquirolas dentro de un radio de 5 m del punto elegido, procurando efectuar la extracción en distintos afloramientos. Si la superficie aparece muy alterada, deberán extraerse trozos de roca "fresca" de niveles inferiores, obteniéndose como producto final un promedio común del conjunto.

Si la composición de la roca es heterogénea y errática, el muestreo resultará más representativo practicando "canaletas" a lo largo de secciones transversales, con extracción continua o fraccionada, según convenga. Si se trata de testigos de perforación, se utilizará la mitad longitudinal del mismo, conservando la mitad restante para otro tipo de investigación.

4. TECNICAS ANALITICAS PARA ANALISIS GEOQUIMICO DEL URANIO

Considerando que el objetivo fundamental de la prospección geoquímica es el descubrimiento de depósitos metalíferos, la técnica analítica a utilizar requiere un procedimiento que suministre información segura, rápida y económica. Las exigencias del análisis de trazas en prospección geoquímica, ha determinado el desarrollo y puesta a punto de técnicas adecuadas a esos fines, para la mayoría de los elementos conocidos.

Teniendo en cuenta la variedad de materiales que son analizados en el curso de la investigación geoquímica del uranio (aguas, sedimentos de corriente, suelos, vegetales y rocas), no todas las técnicas resultan convenientes para la totalidad de esos materiales por diversas razones (sensibilidad

inadecuada, efecto de matriz, procesamiento lento, necesidad de equipos o personal especializado, etc). Existe además, un aspecto particular que debe ser considerado en la elección de la técnica y que se refiere al "tipo" de uranio a analizar: uranio "lixiviable" o uranio "total". En el estudio de las anomalías de dispersión, generalmente no es recomendable realizar un ataque completo de la muestra, pues una extracción sólo correspondiente a la puesta en solución de aquellos iones intercambiables (uranio lixiviable) proporciona a menudo, mejores indicaciones sobre la importancia de una anomalía, que la producida por una extracción total del elemento investigado (uranio total).

Los valores obtenidos en esas condiciones, son valores relativos, comparables solamente con otros determinados en las mismas condiciones (BERTHOLLET, 1968).

De acuerdo con GRIMBERT y BERTHOLLET (1950), cualquier método de análisis utilizado en la prospección geoquímica del uranio debe satisfacer las siguientes exigencias:

- Sensibilidad: condición fundamental, si se tiene en cuenta que la investigación exige valores del orden del microgramo/gramo (ppm) en los sedimentos de corriente, suelos, vegetales y rocas y del microgramo/litro (ppb) y aún menores, en las aguas.
- Reproducibilidad: los resultados deberán ser reproducibles dentro de una amplia gama de tenores, debiendo reducir al máximo el coeficiente personal del operador.
- Precisión: en general, una precisión del 15 al 20 % entre determinaciones se considera satisfactoria.
- Rapidez: el prospector necesita conocer los resultados analíticos del muestreo a la mayor brevedad, a fin de orientar la prospección en función de los resultados obtenidos.
- Simplicidad: los materiales y productos utilizados en el procesamiento analítico deberán ser de uso corriente, de fácil transporte y accesible a 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.

Para el caso particular del uranio, OSTLE y otros (1972), dan a conocer un resumen de técnicas analíticas corrientemente utilizadas en la prospección geoquímica de ése elemento. (Ver cuadro pág. III-5-21).

Entrando a considerar las características más sobresalientes de cada una de estas técnicas, señalemos que la fluorimetría 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 cierto límite, a la cantidad de uranio presente. El inconveniente principal de ésta técnica estriba en el efecto inhibitorio que ejerce sobre la fluorescencia algunos elemen-

TECNICAS ANALITICAS PARA ANALISIS GEOQUIMICO DE URANIO

METODO	APLICACION DE CAMPO	OBSERVACIONES
<u>Fluorimétrico</u>		
a) Directo	si	Sujeto a efecto de matriz, con veniente para aguas.
b) Con separación cromatográfica	si	Específico. Insume tiempo. Amplia aplicación.
<u>Espectrometría gamma</u>	uso limitado	Conveniente para material en equilibrio secular. No convenien te para aluviones o suelos.
<u>FLUORESCENCIA DE RAYOS X</u>	no	Sujeto a efectos de matriz, pero ventajoso para la determinación de multielementos.
<u>Colorimétrico</u>	si	Insume tiempo. Impreciso para bajas concentraciones.
<u>Activación Neutrónica</u>		
a) Análisis radioquímico de los productos de fisión.	no	Muy sensible y específico, pero requiere equipo y personal espe cializado. Lento.
b) Medición de neutrones retardados.	no	Rápido, sin efectos de matriz, conveniente para operadores in expertos o automatización.

(Tomado de OSTLE y otros, 1972)

tos que acompañan al uranio, especialmente hierro y manganeso. La solución es aportada mediante separación del uranio de sus acompañantes, utilizando en un caso solventes apropiados como acetato de etilo (CAPPACCIOLI, 1965) y en otros procediendo a una separación cromatográfica sobre papel mediante fosfato de tributilo (BERTHOLLET, 1968). De acuerdo con ensayos comparativos reali zados por BERTHOLLET (1966) con ambos procedimientos se logran condiciones si milares de precisión y reproducibilidad, si bien el método por separación cro matográfica tiene la ventaja de ser más sensible y rápido, especialmente para análisis en serie. Además, resulta de un costo mucho menor que la extracción líquido-líquido, pudiendo ser aplicado no sólo a los aluviones y suelos sino también a las aguas naturales.

La aplicación de la fluorimetría sin separación de los elementos in terferentes, es recomendada por SMITH y LYNCH (1969), quienes proceden a rea lizar una dilución de la solución de ataque, evaporando a sequedad una alícuo ta de la misma en una cápsula de platino e incorporando mezcla fundente para

obtener una pastilla cuya fluorescencia es registrada en el fluorímetro. Aparentemente, en muestras de bajo contenido de uranio la dilución de la solución provocaría una disminución de su concentración limitando la posibilidad de su detección.

La aplicación directa de la fluorimetría al análisis del uranio en muestras de agua, donde normalmente los elementos interferentes se hallan presentes en bajas concentraciones o pueden faltar, ha sido ensayada con éxito por los mismos autores y también por MEYER (1969) y BOWIE y otros (1971).

Entre los diferentes métodos fluorimétricos, aquél con separación cromatográfica sobre papel (BERTHOLLET, 1968), ofrece mayores ventajas, si bien puede resultar algo más lento. En efecto, el método permite el análisis del uranio total y lixiviable y es aplicable a todos aquellos materiales muestreados en la prospección geoquímica del uranio (aguas, sedimento de corriente, suelos, vegetales y rocas), pudiendo ser utilizado en laboratorios móviles de campaña; posee amplio ámbito de aplicación y sensibilidad adecuada. 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. Su utilización abarca tenores comprendidos entre 0,1 y 150 ppb de uranio. Su precisión oscila entre 15 y 25 %, en una amplia gama de tenores y su confiabilidad es muy satisfactoria. El rendimiento diario de esta técnica, es de 90 análisis por duplicado, de sedimentos de corriente y suelos o 48 análisis por duplicado de agua (GRIMBERT, 1972), todo lo cual lo convierte en una herramienta muy útil en la prospección geoquímica del uranio.

Las limitaciones de esta técnica para aguas de elevada salinidad, han sido superadas por LARUMBE y SYRZYWANEK (1976), de la sección geoquímica de la CNEA, procediendo a una separación del uranio de la solución salina por circulación de la muestra a través de una columna con resina KEL-F y Tributyl Fosfato, que retiene el uranio pero no la mayor parte de las sales, que resultan así eliminadas. El uranio fijado en la columna se eluye con agua destilada, siguiendo de ahí en adelante el método cromatográfico normal.

La espectrometría de rayos gamma requiere que el uranio y sus productos de desintegración se encuentran en equilibrio radiactivo, lo cual la hace inconveniente para la investigación de suelos, aluviones y rocas meteorizadas. En operación normal es una técnica de poca sensibilidad (20 ppm aproximadamente), que sólo permite la determinación del uranio total, lo que hace que su utilización en geoquímica resulte de escaso interés. Nuevos adelantos tecnológicos permiten la determinación del uranio en materiales en desequilibrio, pero ello determina una disminución de la sensibilidad a niveles de 100 ppm.

En la espectrometría fluorescente de rayos X se puede alcanzar una sensibilidad mayor (alrededor de 3 ppm), si bien está sujeta a influencia de matriz del material en investigación. Esos efectos pueden reducirse mediante una preparación pre-analítica de la muestra (fusión con borax, por ejemplo) pero, paralelamente, esta operación hace que disminuya la sensibilidad del método y el procesamiento se torna más lento. Además, sólo permite el análisis por uranio total, lo que restringe su uso en prospección geoquímica. Resulta en cambio un método muy recomendable para el análisis de multielementos, elementos de las tierras raras, etc.

El método colorimétrico, además de su escasa sensibilidad (100 ppm), es interferido por la presencia de sustancias orgánicas, lo que hace necesario introducir tratamientos adicionales para producir su oxidación y eliminar sus efectos para la obtención de resultados satisfactorios. Resulta de esa manera, una técnica poco recomendable para investigaciones geoquímicas.

Los métodos de activación neutrónica ofrecen la ventaja de su elevada sensibilidad, rapidez de análisis, alta precisión, amplio rango de aplicación y disminución de riesgo de contaminación por reactivos. El método por análisis radioquímico de los productos de fisión, como el I^{131} y el Ba^{140} , si bien resulta muy específico y altamente sensible, posee la desventaja de tener que disponer de equipamiento especial, contar con un personal de analistas especializados y ser lento.

El método por decaimiento neutrónico ha sido descrito por OSTLE y otros (op. cit.), quién señala las siguientes características:

- posibilidad de análisis de un amplio rango de materiales geológicos, que incluye aguas naturales, sedimentos de corriente, suelos, vegetales y rocas.
- requerimiento mínimo en la preparación de la muestra, principalmente pesada y homogeneización.
- costos reducidos, de alrededor de £ 0,20.
- análisis rápido, específico (pequeña interferencia del torio) y con una sensibilidad de alrededor de 0,03 microgramo de uranio, equivalente a 1 microgramo/litro (ppb) en una muestra de agua de 30 ml.
- alta precisión, con una desviación standard de 1 % al nivel de 50 microgramos.
- independiente de efectos matrices.

La misma fuente cita los resultados de un estudio realizado en el norte de Escocia, en aguas y sedimentos de corriente, donde las posibilidades del método quedaron demostradas al permitir delinear estructuras con mayor precisión que la radiometría, en áreas donde el uranio se encontraba en desequilibrio con sus productos de filiación.

La principal desventaja del método por decaimiento neutrónico es la necesidad de acceso a un reactor, lo cual representa una dificultad, a veces insalvable, para países en desarrollo. Por otra parte, la necesidad de realizar todos los análisis en un laboratorio fijo, impide al prospector disponer de información diaria en el área de trabajo para orientar la prospección, información que puede obtener de una unidad analítica móvil que opere con la comisión de muestreo.

Antes de finalizar con el tema, se estima de interés señalar la reciente aparición en el mercado de un instrumento para análisis de uranio en prospección geoquímica, del cual sólo se dispone de las referencias proporcionadas por la firma proveedora (SCINTREX Limited, 1978). De acuerdo con ellas, el instrumental de referencia, el "UA-3 Uranium Analyser", utiliza la propie

dad fluorescente del uranio cuando es irradiado con luz ultravioleta proporcionada por un laser de nitrógeno. Su principal aplicación es el análisis directo del uranio en aguas naturales sin preparación previa de la muestra, salvo la adición de un reactivo proporcionado por la misma firma proveedora, destinado a neutralizar la presencia de materia orgánica. La medición es rápida y precisa, con una sensibilidad del orden de 0,05 ppb U. Muestras sólidas (sedimentos de corriente, suelos, rocas, etc) también pueden ser analizadas, requiriendo en este caso, una preparación previa de la muestra.

Teniendo en cuenta que el ofrecimiento de la firma proveedora incluye su utilización en el campo, el UA-3 podría representar un valioso auxiliar en la prospección hidrogeoquímica del uranio, eliminando los problemas derivados del almacenamiento de las muestras.

La sección geoquímica de la CNEA utiliza, en la prospección de uranio, las técnicas fluorimétricas desarrolladas y puestas a punto por BERTHOULLET (1968). No obstante, ha ensayado otros métodos analíticos basados también en determinaciones fluorimétricas, pero realizando la separación del uranio de los elementos interferentes mediante solventes orgánicos, en fase líquido-líquido (CAPPACCIOLI, *op. cit.*), optando en definitiva por aquellas por adaptarse mejor a las exigencias de la exploración.

Como apoyo analítico en los trabajos de prospección, utiliza cuatro unidades móviles que operan junto a las comisiones de muestreo en el interior del país, un laboratorio regional de apoyo y control con asiento en la ciudad de Mendoza y un laboratorio Central en Buenos Aires. La actividad de éste último está preferentemente orientada a la investigación y puesta a punto de técnicas para otros elementos asociados al uranio. Para la determinación de esos elementos, dispone de una unidad de absorción atómica (espectrofotometría de emisión y absorciometría) y otras instalaciones complementarias destinadas al estudio de otros aspectos analíticos relacionados con materia orgánica, relación ferroso-férrico, elementos trazas en rocas, determinación de radio y radón, etc.

La actividad analítica desarrollada por los distintos laboratorios de la sección Geoquímica al mes de agosto de 1978, era la siguiente:

LABORATORIOS	C N E A		OTRAS PROCEDENCIAS	
	Muestras	Análisis	Muestras	Análisis
Central Bs. Aires	23.527	36.681	48.781	66.077
Regional Mendoza	5.010	9.591	104.497	111.790
Unidades Móviles	26.630	52.037	3.995	7.499
TOTALES	55.167	98.309	157.273	185.366

5. SECUENCIA EXPLORATORIA - METODOS DE PROSPECCION

5.1. Investigación Preliminar de Orientación

Todo programa de prospección geoquímica, cualquiera sea el elemento a investigar, deberá trazarse sobre la base de una etapa de trabajos previos, cuya realización resulta de singular importancia para el correcto uso de la técnica, referidos a un estudio preliminar de orientación.

En el estudio preliminar de orientación se averigua la factibilidad de utilizar los metales geoquímicos para la resolución de los problemas que plantea la exploración. Asimismo, se determina el tipo de dispersión existente y la posible influencia de factores locales, a los efectos de establecer el método operativo que posibilite su detección. Por último, en base a la información recogida, se planifica la prospección de rutina de la manera más efectiva y económica. Esta investigación se realiza en el área de influencia de un yacimiento de uranio conocido, donde las condiciones naturales no hayan sido modificadas substancialmente por acción de la mano del hombre (labores mineras, perforaciones, riego con aguas de minas, utilización de abonos, etc) asegurando de ese modo, la existencia de un cuadro geoquímico normal. En el caso de no disponer de una mineralización que sirva a esos fines, los estudios se realizan sobre una región que presente condiciones de clima, tipografía y geología similares o muy semejantes a aquélla.

Se muestrean las aguas, sedimentos de corriente, suelo y vegetales, a fin de determinar la amplitud de la dispersión del uranio en esos materiales y optar por aquellos que ofrecen mejores resultados.

Los esquemas de muestreo y el espaciamiento entre muestras dependerá, fundamentalmente, del tipo de prospección que se ensaye y de las características de la estructura de dispersión que se espera encontrar en la zona.

Una vez establecido el material a muestrear, se determina estadísticamente el tenor fundamental de uranio del área, procurando en lo posible, fijar los valores parciales para cada una de las formaciones geológicas aflorantes.

En esta fase de la prospección, se establece la técnica analítica a utilizar en los trabajos posteriores, susceptibles de responder satisfactoriamente a las exigencias de la prospección (sensibilidad, reproducibilidad, simplicidad, etc). A fin de poder disponer a corto plazo de los resultados analíticos que permita orientar convenientemente la labor, puede resultar sumamente ventajoso incorporar a la Comisión de muestreo un laboratorio móvil, que proporcionará información rápida y de una exactitud equivalente a la de un laboratorio fijo. Señalemos por último, que los estudios de orientación preliminar deberán ser conducidos personalmente por un profesional especializado (geoquímico o geólogo con experiencia en la especialidad) quien, una vez finalizada esa tarea y comprobado el correcto desempeño de los grupos operativos, podrá confiar en los mismos la continuidad de los trabajos de rutina.

Fijadas las normas básicas a que se ajustarán los trabajos de prospección, se pasa a la etapa del relevamiento geoquímico de rutina. Esta tarea es realizada por comisiones móviles, integradas normalmente por un equipo de muestreo y un equipo analítico que opera un laboratorio móvil.

El equipo de muestreo tiene a su cargo todas las operaciones vinculadas con la extracción y conservación de las muestras hasta su ingreso al

laboratorio, su identificación, su ubicación en un plano y el registro de la información de campo, incluyendo la referente a los parámetros fundamentales de las aguas, obtenida in situ.

Está integrada por dos o más muestreadores bajo la conducción de un técnico prospector, responsable de dar cumplimiento al programa integral de muestreo del área.

Las tareas del equipo analítico se relacionan con la preparación de las muestras (secado y tamizado de las muestras sólidas; concentración sobre bandas de papel del contenido salino en las muestras de agua) y la realización de los análisis correspondientes, operaciones que pueden llevarse a cabo en un laboratorio móvil. Integra este grupo un técnico químico, un analista y un auxiliar de laboratorio.

5.2. Prospección Estratégica

Cualquier estudio de prospección geoquímica requiere previamente fijar su objetivo y alcance, lo que determinará la malla de muestreo a utilizar. Siguiendo un criterio aceptado por la mayoría de los especialistas en esta disciplina, las investigaciones de esta naturaleza son divididas, de acuerdo al carácter del reconocimiento a realizar, en dos categorías: estratégicas y tácticas (GRANIER, op. cit.). Algunos autores incorporan, sin embargo, una etapa previa a la prospección estratégica que denominan de reconocimiento regional (DALL'AGLIO y TONANI, 1963), que representaría una prospección estratégica de malla más amplia. En este trabajo se adoptará el esquema clásico, haciendo referencia asimismo, a la prospección detallada (FONTESCUE, 1965; GRIMBERT, 1972), que corresponde a un estado de reconocimiento intermedio entre la prospección estratégica y la prospección táctica.

El objeto de la prospección estratégica es el descubrimiento de anomalías geoquímicas relacionadas con indicios uraníferos o zonas diferenciadas de la corteza terrestre (provincia geoquímica) que permitan la delimitación de áreas favorables, factibles de contener depósitos de interés económico.

Esta etapa del reconocimiento geoquímico se aplica principalmente en áreas sin antecedentes conocidos, donde las condiciones operativas no resultan favorables para la radiometría aérea, ya sea por la existencia de una topografía abrupta, de suelos muy húmedos o la presencia de una espesa cubierta aluvional, de suelos o glaciár, situaciones que crean dificultades a las técnicas radiométricas.

Se investigan fundamentalmente, las aguas y los sedimentos de corriente, materiales que presentan, generalmente, figuras de dispersión suficientemente importantes para la detección. GRANIER (op. cit.) estima, sin embargo, que el muestreo hidrogeoquímico en la prospección estratégica del uranio debería dejarse sin efecto en la mayoría de los casos en que existan suelos consolidados sobre aluviones, cuya utilización en lugar de las aguas, ofrece la ventaja de poder analizar otros elementos (Pb, Zn, Cu, etc).

El orden de dimensión de la malla de muestreo aconsejable, depende entre otros factores, de los objetivos perseguidos y de las condiciones geológico-climáticas del área de estudio. No obstante, por razones de rapidez y

economía, se tiende siempre al uso de la malla más amplia, factible de lograr una detección segura de los cuadros de dispersión. TONANI (1960) señala, según experiencias propias, que una malla de 10 kilómetros permite la detección de la aureola y una densificación a 1 kilómetro, hace posible el análisis de la forma de la misma. Similares consideraciones hace DALL'AGLIO (1973), quien dice que la mejor aplicación de la prospección geoquímica en investigaciones de escala amplia a intermedia, se consigue con un espaciamiento de 10 a 1 km para muestras de agua y de 1 km a 100 m para los aluviones, sobre la red hidrográfica. Por su parte GRIMBERT (1959, 1971), para las condiciones naturales de Francia estima necesario un espaciamiento entre muestras de 50 a 1.000 m, con muestras de aguas y aluviones en cada punto, resultando una densidad promedio de una o dos muestras por kilómetro cuadrado. Señala este autor que la reducción a 500 metros de la malla de muestreo, se ha revelado necesaria al comprobarse la existencia de concentraciones uraníferas de escaso volumen, que podrían no ser detectadas con un muestreo muy espaciado.

Además del curso principal, se muestrearán los afluentes más importantes, tomando la muestra arriba del punto de unión con el colector principal.

Para apoyar gráficamente el muestreo se utilizan planos de escala adecuada a la malla empleada (entre 1/200.000 y 1/50.000), resultando ventajoso el uso de mosaicos aerofotográficos.

El empleo de elementos indicadores en la prospección geoquímica del uranio ha sido poco utilizado, dada su gran movilidad en el ciclo de alteración supergénica. Sin embargo, en los últimos años el uso del radón y el radio, muy especialmente del primero, está adquiriendo particular consideración en algunos países como el Canadá, donde la investigación de esos elementos es contemplada en la prospección, contribuyendo eficazmente en las distintas etapas del reconocimiento.

El radón (Rn) es un gas inerte que se origina en la serie de decaimiento del U^{238} . Tiene tres isótopos, el ^{222}Rn , ^{220}Rn y ^{219}Rn que corresponden a la serie de decaimiento del ^{238}U , ^{232}Th y ^{235}U , respectivamente, con una vida media de 3,8 días, 54 segundos y 3,9 segundos cada uno. Teniendo en cuenta la vida relativamente larga del radón 222 , las aureolas por concentración de ese elemento generalmente derivan del ^{238}U .

Siendo un gas noble, no se combina químicamente con otros elementos y es libre de migrar a través de poros y fracturas en rocas y suelos. Su desplazamiento puede incrementarse considerablemente por efecto del aire del suelo, circulando a través de contactos geológicos y zonas de fallas.

Asimismo, el radón es un gas fácilmente soluble en las aguas subterráneas y en esas condiciones puede alcanzar la superficie a través de filtraciones del terreno o de manantiales, pudiendo señalar, como en el caso de aire del suelo, la existencia de mineralización uranífera sin expresión en superficie. La dispersión del radón en aguas freáticas y superficiales, a partir de su fuente de origen, es también facilitada por la dispersión del radio, su pariente más próximo.

La determinación del radón en aguas de arroyos y lagos, como método de prospección geoquímica en la etapa de reconocimiento general o prospección estratégica, ha demostrado ser positiva permitiendo delimitar áreas de interés uranífero. Este tipo de prospección ha sido utilizado ampliamente en el Canadá y las referencias proporcionadas por DYCK (1969b, 1972), DYCK y otros (1971) y SMITH y DYCK (1969), dan cuenta de resultados satisfactorios obtenidos en el desarrollo de esa investigación.

SMITH y DYCK (op. cit.) encontraron que los incrementos de radón registrados en las aguas de lagos, estaban probablemente relacionados con la existencia de amplias áreas con mineralización de uranio. Teniendo en cuenta que el muestreo puede ser practicado rápida y económicamente desde un helicóptero, la utilidad de esta técnica en países con amplias coberturas lacustres resulta incuestionable.

El registro del radón está basado en la detección de la partícula α (alfa) emitida durante el decaimiento del polonio 218. Su medición puede efectuarse utilizando cámaras de ionización, expresando la concentración en base al flujo de iones provocado por el gas activo, o bien por centellometría, contando los destellos producidos por las partículas al chocar contra una película de sulfuro de cinc, frecuentemente activado con plata.

La utilización de la cámara de ionización proporciona una sensibilidad mayor, pero en la práctica se prefiere la celda de sulfuro de cinc por su simplicidad y solidez, que la hacen más apta para los trabajos de campo.

Las unidades de concentración del gas radón generalmente utilizadas en la prospección, son el emán y el picocurie.

$$1 \text{ Emán} = 10^{-10} \text{ Curie/litro}$$

$$1 \text{ picocurie (pc)} = 10^{-12} \text{ Curie}$$

El Curie se define como "la cantidad de cualquier isótopo radiactivo que alcance $3,7 \times 10^{10}$ desintegraciones por segundo". Refiriéndolo a la radiactividad del radón, es igual a "la cantidad de radón que está en equilibrio con 1 g de radio".

Existe una amplia bibliografía que puede ser consultada, referente a los aspectos básicos de ese elemento, los distintos métodos utilizados para su detección y la descripción del instrumental empleado, razón por la cual no se abundará en otros detalles al respecto (BERTHOLLET, op. cit.; DYCK, 1969a; HIGGINS et al., 1961; SEDLET, 1966).

El radio 226, derivado de la serie de desintegración del U^{238} , es el más importante de los isótopos de ese elemento y es el que posee una vida media más larga, de alrededor de 1.622 años.

Aparece asociado principalmente con menas de uranio primario (U^{IV}) y a causa de su intensa radiactividad puede ser detectado mediante contadores comunes.

Junto con sus productos de filiación, tiende a estar enriquecido en

rocas, suelos, materiales glaciares, aguas naturales y sus precipitados, sedimentos de corriente, de pantanos y ciénagas ricos en materia orgánica, en la vecindad de depósitos de uranio. En este sentido, la relación del radio con la materia orgánica ha sido tratada convenientemente por TITAYEVA (op. cit.).

La química del radio es similar a la del bario, si bien la asociación con ese elemento sólo se lleva a cabo en el ciclo supergénico, en forma de precipitados manganesíferos y en ciertos tipos de sedimentos.

La circunstancia de que el comportamiento geoquímico del radio sea diferente al del uranio en el ambiente supergénico, hace que frecuentemente ambos se separen durante los procesos de alteración superficial. Por esa causa, algunas anomalías de radio son encontradas sin correspondencia con las anomalías de uranio. Del mismo modo, pueden existir anomalías de uranio sin radiactividad detectable, hecho que se produce cuando la mineralización de uranio no está en equilibrio radiactivo con sus productos de filiación. Ese equilibrio se logra cuando la relación radio/uranio, en peso, es de aproximadamente 3.4×10^{-7} , factible de encontrar solamente en mineralizaciones uraníferas de una antigüedad mayor a los 500.000 años (BOYLE, 1974).

El empleo del radio en la prospección geoquímica del uranio se lleva a cabo, principalmente, en las etapas detallada y táctica. Su uso en prospección estratégica no es recomendado por especialistas en la materia, si bien MORSE (1971) señala, para esta etapa de la prospección, la obtención de mejores resultados empleando radio y uranio en sedimentos de corriente, que radón y uranio en las aguas. Al referirnos más adelante a la prospección detallada, volveremos sobre este tema.

La utilización de otros elementos indicadores, asociados al uranio, ha tenido poca aplicación en la prospección. Son ampliamente conocidos los trabajos de CANNON (1960) utilizando el selenio en la prospección de uranio en la Meseta de Colorado; COHEN y otros (1969) dan a conocer los resultados obtenidos con el uso de elementos rastreadores (Be, Cu, Pb) en la región de Lower Buller Gorge, en Nueva Zelandia, en un área de abrupta topografía y densa cobertura arbórea. Se determinó que el berilio, cobre y plomo son buenos indicadores del uranio en muestras de suelos, en tanto que en los sedimentos de corriente solamente el cobre indica la presencia de uranio en el área drenada.

En la Sección Geoquímica de la CNEA, los elementos indicadores no han sido empleados en forma sistemática en la prospección del uranio, si bien se han realizados ensayos aislados con buenos resultados. La circunstancia de que la mayor parte de las áreas de interés uranífero poseen condiciones de clima semi desértico, con sistemas de drenaje poco desarrollados, integrados con cursos frecuentemente de régimen temporario, ha limitado considerablemente la aplicación de la hidrogeoquímica orientando la investigación hacia los sedimentos de corriente. No obstante, en la apertura de nuevas áreas de reconocimiento en la porción oriental de las provincias de Salta y Jujuy, con densa cobertura vegetal y abundantes lluvias, se ha programado la determinación del radón en las aguas, junto con el uranio.

La participación de la prospección geoquímica estratégica en los pla

nes de exploración de la CNFA, junto con el análisis de muestras geoquímicas obtenidas de programas de exploración desarrollados por otras instituciones del país, dieron lugar a la determinación de numerosas anomalías uraníferas en distintas regiones del territorio nacional. Esos antecedentes, unidos a los resultados logrados por otras disciplinas como la geología del uranio y la prospección radimétrica aérea, contribuyeron en buena medida, a una selección y clasificación de las áreas con favorabilidad uranífera, promoviendo la continuidad de la prospección en aquellas que ofrecían mayores posibilidades, frecuentemente con resultados altamente satisfactorios.

5.3. Prospección geoquímica detallada

La prospección geoquímica detallada corresponde a una etapa de investigación intermedia entre la prospección estratégica y la prospección táctica. En esencia, se trata de una prospección estratégica con demificación de la malla de muestreo.

Su objetivo fundamental es definir la fuente de dispersión u origen de las anomalías geoquímicas, determinadas en el curso de la prospección estratégica.

Su campo operativo es más reducido, algunas decenas de kilómetros, y los materiales investigados son principalmente los sedimentos de corriente y las aguas superficiales, si se cuenta con una red de drenaje que permita una adecuada densidad de la malla de muestreo. Esta puede variar, en términos generales, entre 50 y 200 m, dependiendo de las características geológicas, físicas y climáticas del área de estudio. En general, se acepta una densidad no menor a 20 muestras por Km². En esta etapa de la prospección, resulta indispensable poseer un buen conocimiento geológico y estructural del área, a fin de poder interpretar correctamente, en estrecha relación con la geología, toda la información geoquímica disponible.

El muestreo doble de agua y aluviones sobre un mismo punto, se hace extensivo a todos los afluentes o tributarios del colector principal, ya sean de caudal permanente o temporario. Necesita de una base cartográfica de escala adecuada (1/50.000 a 1/5.000) para apoyar el muestreo, pudiendo utilizarse fotogramas aéreos.

La utilización de los suelos en prospección detallada, si bien no reconoce un carácter sistemático, puede resultar provechosa en determinadas circunstancias. Así por ejemplo, cuando en un valle se debe determinar si se está en presencia de una dispersión longitudinal o lateral, algunas muestras de suelos extraídas sobre perfiles transversales al mismo podrán arrojar luz sobre el sitio de origen de la anomalía.

En el curso de los trabajos de prospección detallada, su asociación con la prospección geológica, radimétrica y geofísica puede resultar muy útil. Las dos técnicas citadas en primer término, pueden aportar información valiosa para la interpretación de las anomalías, sin incidir sensiblemente en los costos operativos. La prospección geofísica, particularmente en el campo de la geoelectrica, contribuye a revelar las estructuras, que pueden estar relacionadas con depósitos uraníferos, especialmente en áreas de rocas ígneas. Normalmente se utilizan las mismas bases topográficas, trazado de perfiles,

etc, permitiendo superponer los resultados logrados por ambas técnicas, lo que facilita enormemente la interpretación.

En prospección geoquímica detallada pueden ser investigadas las aguas subterráneas provenientes de manantiales, pozos, perforaciones, etc que, aunque no ofrezcan la posibilidad de una cobertura sistemática en el muestreo, permiten frecuentemente la obtención de información de interés. Fundamentalmente se determinan sus contenidos en uranio y radón; el radio se investiga en algunas muestras seleccionadas y también en aquellos casos en que se registren elevados tenores en uranio o radón. Una elevada concentración de radio en las aguas puede constituir una indicación de la proximidad de la mineralización de uranio; contenidos superiores a los normales en radón y uranio, resultan más promisorios que la presencia de tenores anómalos de uno solo de esos elementos (GRIMBERT, 1971). El limitado conocimiento que se posee sobre el comportamiento de ambos y los numerosos factores que intervienen en sus migraciones, hace que los datos obtenidos en la prospección de esos elementos deban manejarse con cautela en la etapa de interpretación.

SMITH y otros (1976) señalan que el muestreo de aguas de lagos no tiene aplicación en esta etapa de la prospección. En presencia de una red hidrográfica bien desarrollada, el análisis de radón y el uranio en las aguas de arroyos y ríos resulta recomendable, pudiendo complementarse con la determinación del uranio en los sedimentos de corriente.

Haciendo referencia a la utilización del radón y el radio en la prospección del uranio, MORSE (op. cit.) da cuenta de una campaña de prospección geoquímica realizada en Brancroft, Ontario, analizando por radio y uranio muestras de sedimentos de corriente, suelos y rocas meteorizadas y comparando sus resultados con los obtenidos del análisis del radón y el uranio en las aguas. Las conclusiones obtenidas se señalan en el cuadro IV, donde se recomienda los materiales a coleccionar y los elementos a determinar en las distintas etapas de la prospección geoquímica.

Del análisis del mismo, surgen las siguientes apreciaciones:

- 1.- En la primera etapa de la prospección (prospección de reconocimiento) la determinación del radio y el uranio en sedimentos clásticos u orgánicos, preferentemente los primeros, da mejores resultados que la determinación del radón y el uranio en las aguas. MORSE (op. cit.) aclara al respecto, que este resultado no contradice las conclusiones de SMITH y DYCK (op. cit.), referente a la conveniencia de utilizar radón y uranio en reconocimientos regionales, en razón de la diferencia de la escala de trabajo en ambos casos.
- 2.- En la etapa intermedia (prospección detallada), es preferible la investigación del uranio o del radio en los sedimentos de corriente, siendo igualmente recomendable cualquiera de los dos elementos.
- 3.- En la última etapa de la prospección (prospección táctica), los suelos dan buenos resultados, si se investigan por radio o uranio en el horizonte B y por radio solamente en el horizonte A.

La participación de la prospección geoquímica detallada en la CNEA, ha permitido la evaluación de anomalías localizadas en el curso de la prospección

ción estratégica, delimitando sectores anómalos de interés prioritario, tales como La Quinta y El Repecho en la provincia de San Luis (SANTOMERO, 1972), Río Hondo en la provincia de Córdoba (comunicación personal), Qda. El Rodeo en la provincia de Catamarca (GUIDI, 1977), etc. Otras veces ha puesto en evidencia la existencia de una intensa lixiviación del uranio a partir de rocas intrusivas fértiles, posibilitando investigaciones orientadas a la localización de depósitos mineralizados en rocas sedimentarias del área (valle de Conlara, San Luis) (NICOLLI et. al., 1976a y b; GAMBA, 1978).

5.4. Prospección Geoquímica Táctica

La prospección táctica corresponde a la última etapa de la investigación geoquímica y sus objetivos esenciales tienden a localizar el depósito mineral, precisar sus dimensiones e investigar las posibles relaciones con mineralizaciones vecinas.

Esta faz de la prospección suele contribuir a la resolución de numerosos problemas que plantea la exploración. Así por ejemplo, puede completar o confirmar resultados obtenidos por otras técnicas, como la radimetría; puede determinar la importancia de un indicio y establecer sus relaciones con indicios vecinos y fundamentalmente, señalar la presencia de depósitos ocultos bajo cubiertas estériles.

Los suelos y los depósitos superficiales no residuales representan los materiales de estudios de mayor trascendencia pudiendo, en caso de resultados pocos satisfactorios o ausencia de los mismos, recurrir al muestreo de las aguas subterráneas, vegetales o rocas, con una densidad de 400 a 2.500 muestras por Km².

Otros aspectos importantes que deben determinarse en el curso de la investigación preliminar de orientación, se refieren a la elección de la malla de muestreo y la forma geométrica que debe darse al mismo. En general, los intervalos entre muestras fluctúan entre 50 y 5 metros y el esquema de muestreo deberá ajustarse a la geometría de la dispersión que se espera encontrar, teniendo en cuenta el conocimiento que se tenga de mineralizaciones en áreas vecinas, las condiciones topográficas, etc.

En el caso de no disponerse de ninguna información orientativa sobre la forma o disposición de la mineralización, un esquema equidimensional estrecho (20 a 40 m) es lo más eficaz, tendiendo posteriormente a una densificación de la malla sobre los puntos que resulten anómalos.

En los sectores de topografía abrupta y fuerte inclinación, es recomendable el trazado de perfiles paralelos a las líneas de nivel y normales a la dirección de la pendiente,

Un adecuado conocimiento de las características estructurales del área de estudio puede, frecuentemente, determinar la elección del esquema de muestreo. La existencia de mineralizaciones asociadas a fracturas del terreno es un fenómeno frecuente y en el caso que se sospeche o se tenga evidencias de una determinada orientación en la mineralización, el trazado de perfiles normales con toma de muestras a intervalos reducidos (10 a 20 m) resulta muy efectivo.

Cuando los resultados conseguidos con el uranio son poco satisfactorios, se puede intentar la investigación de algunos elementos asociados, como el radio y el radón. La utilización regular del radio en prospección táctica no ha alcanzado aún un desarrollo amplio. Sin embargo, su uso tiende a generalizarse y algunas conclusiones interesantes han sido señaladas por MORSE (op. cit.), GRIMBERT (1971) y SUTTON y SOONAWALA (1975).

SUTTON y SOONAWALA (op. cit.) informan sobre un estudio de radio en suelos, como método de prospección uranífera, realizado en un área con mineralización de uranio conocida, ubicada en las proximidades de Uramium City, Saskatchewan (Canadá). Esos resultados son comparados con los obtenidos por centellometría gamma y emanometría por medición del radón contenido en el aire del suelo.

El muestreo fue practicado a intervalos de 15 m, sobre perfiles paralelos equidistantes 60 m. El radio se determinó indirectamente por análisis del radón-222, derivado del decaimiento radiactivo del radio-226, obtenido por inmersión en agua de la muestra durante un período no menor de 4 días. La medición del radón se realizó por centellometría, registrando los impactos producidos por las partículas alfa al chocar contra una película de sulfuro de cinc activado con plata.

Las características más sobresalientes de cada una de las técnicas utilizadas en la prospección, figuran en el cuadro V.

Como conclusión de ese trabajo, se destaca lo siguiente:

a) El muestreo de radio en suelos, como medio de prospectar uranio, ha demostrado ser útil, especialmente cuando se lo usa junto con la centellometría. Ha detectado con claridad la presencia de mineralización en los 5 puntos ensayados, en un área de reducidos afloramientos mineralizados y cubiertas someras.

b) Los datos proporcionados por el radio confirmaron plenamente los antecedentes que se conocían de un área prospectada desde el año 1950, facilitando nueva información que podría haber sido utilizada para confeccionar un programa de exploración por sondeos.

c) La técnica del radio y la emanometría se aproximan bastante en sus resultados, si bien la primera puede resultar más ventajosa en programas de corta duración.

La medición de la concentración del radón en los suelos es una técnica corrientemente utilizada en la prospección táctica del uranio, aunque la interpretación de resultados experimente dificultades y su aplicación requiera condiciones muy particulares. Los detalles inherentes a su participación en los programas de prospección en la CNEA y logros alcanzados, han sido expuestos por el Dr. J. MUSET, quién tiene a su cargo la conducción de los trabajos de esa naturaleza.

Nuestra experiencia en esta etapa de la investigación no es muy grande, no obstante lo cual, se pueden señalar algunos resultados alentadores obtenidos en el curso de una prospección táctica desarrollada dentro del área de influencia del yacimiento uranífero de Los Adobes, en la provincia del Chu

but (SANTOMERO, 1969), donde un muestreo de suelos a 0,30 y 0,60 m de profundidad arrojó algunas anomalías significativas, con valores máximos de 168 ppm de uranio, dentro de la zona de influencia de una fractura. Se ejecutó un corto programa de sondeos que cortó mineral a una profundidad variable entre los 50 y 65 m, ubicándose dos pozos positivos sobre sendas anomalías geoquímicas.

En la Quebrada del Río Seco, en la provincia de San Luis (área La Quinta), se investigó una anomalía hidrogeoquímica con técnicas geofísicas y geoquímicas. Un muestreo geoquímico de suelos a dos profundidades (0,20 y 0,40 m), con extracción de muestras cada 5 m sobre tres perfiles paralelos, determinó una serie de anomalías, con tenores máximos de uranio de 230 ppm, cuya interpretación permitió relacionarlas siguiendo un alineamiento claramente definido, en directa correspondencia con líneas de fracturas (SANTOMERO, 1972). Los resultados obtenidos por la geoquímica corroboraron otros similares logrados por la radiometría y la emanometría y la exploración del subsuelo, mediante perforaciones, cortó 2 niveles mineralizados entre 5 y 25 m de profundidad.

6. INTERPRETACION DE RESULTADOS

La interpretación de resultados representa el aspecto más importante de todo trabajo de prospección geoquímica y requiere un profundo análisis de todos los factores que, de alguna manera, influyen sobre la dispersión del elemento investigado y un ajustado conocimiento del equilibrio que los mismos mantienen dentro del área de estudio.

Sus objetivos son: 1) determinación de tenores que puedan estar indicando la presencia de mineralización uranífera (anomalías geoquímicas), en las proximidades inmediatas (caso de la prospección táctica) o en áreas más alejadas (caso de la prospección detallada y estratégica) y 2) procurar determinar el origen de las anomalías y su grado de importancia.

Para la elaboración de un esquema de ésta naturaleza no existen reglas fijas y la experiencia que posea el prospector gravitará fundamentalmente en la correcta evaluación de las anomalías registradas, determinando o no, su relación con provincias geoquímicas o acumulaciones minerales económicas.

En su realización deberá hacerse intervenir todos los conocimientos que se posean sobre la región prospectada, principalmente datos geológicos, topográficos y metalogénicos, a los efectos de poder eliminar las falsas anomalías que pueden producirse por efectos de cambios faciales, diferencias litológicas, variaciones del relieve, errores humanos, proximidad de trabajos mineros, etc, todos los cuales pueden influir sobre los valores analíticos.

La aplicación del análisis estadístico para la interpretación de resultados en prospección geoquímica es aceptado como un complemento de valor. La distribución longnormal de los elementos, en materiales considerados estériles, tal como fue sugerido por ARHENS (1954), puede tener valor para establecer el "fondo geoquímico" de los diferentes elementos metálicos dispersos. No obstante, debe tenerse en cuenta que la interpretación de los datos analíticos deberá estar basada, fundamentalmente, sobre principios geoquímicos y geológicos; la estadística representa sólo una ayuda para el prospector, la

que no puede reemplazar en ningún caso a la evaluación geológica.

Por último recordemos que la obtención de resultados satisfactorios en un proceso interpretativo, puede depender también, de la estrecha relación que se mantenga con otras técnicas de prospección (fotointerpretación geológica, geoeléctrica, radimetría, emanometría, etc), de cuya comparación de resultados surgirá información de valor que, frecuentemente, facilitará la tarea interpretativa.

6.1. ESQUEMA ANALITICO

Si bien no existen reglas fijas que permitan elaborar un esquema interpretativo en prospección geoquímica, en la práctica resulta conveniente realizar un ordenamiento de los distintos aspectos de la labor que deben ser considerados, procediendo posteriormente a efectuar un análisis definitivo de los mismos.

El primer aspecto a considerar se refiere a la preparación de la cartografía necesaria, con el ploteo de los resultados analíticos y de todo otro dato de interés.

En prospección estratégica (o de reconocimiento regional) y detallada, los planos deben contener, fundamentalmente, la siguiente información: a) puntos de extracción de muestras, b) red de drenaje completa, c) datos geológicos (delimitación de las principales formaciones geológicas y líneas estructurales), d) existencia de mineralizaciones de cualquier elemento y la boro mineral desarrollado, e) existencia de anomalías radimétricas y orden de importancia, f) red caminera y algunos puntos de referencia que facilite el señalamiento.

En prospección táctica se deberán señalar correctamente: a) los puntos de extracción de las muestras; b) las principales líneas de relieve (línea de cresta, "talweg", ruptura de pendiente, sectores deprimidos y elevados, límite de sectores llanos, etc); c) delimitación de los sectores con vegetación y carácter de la misma; d) ubicación de pozos, fuentes, etc de aguas subterráneas; e) delimitación de sectores de aguas estancadas o muy húmedos; f) datos geológico-estructurales; g) presencia de mineralización o anomalías de uranio conocidas; g) ubicación de perforaciones, laboreos mineros, etc y de cualquier posible fuente de polución.

Una vez preparada la base cartográfica, se procederá a determinar los parámetros básicos de cada población. El tratamiento deberá realizarse, separadamente, para cada material muestreado (aguas, sedimentos de corriente, suelos, etc), haciendo intervenir, en lo posible, todos los individuos de una misma unidad litológica. En algunos casos puede resultar conveniente agrupar los individuos por cuencas de drenaje independientes, para estaciones definidas del año, etc.

En la determinación de los parámetros básicos, se puede proceder empíricamente o bien utilizando el cálculo estadístico. Para la opción señalada en último término y sin entrar a considerar el uso de computadoras, en esencia el procedimiento más recomendable por la naturaleza, exactitud y calidad de la información que proporciona, existen procedimientos expeditivos

de análisis estadístico, que constituyen un medio conveniente y sencillo para procesar gran cantidad de datos, proporcionando información adecuada relativa a la determinación del fondo geoquímico, umbral de anomalía y coeficientes de desvío. Entre estos, el método gráfico recomendado por LEPELTIER (1969), constituye un valioso auxiliar del geoquímico, pudiendo ser aplicado con facilidad y rapidez sobre el mismo terreno.

Una vez determinado el tenor del fondo geoquímico, se establece una escala de corte, ya sea sumando al mismo el equivalente a uno, dos o más valores del desvío tipo o bien procediendo empíricamente, incrementando el valor del fondo en progresión geométrica. Con cualquiera de esos procedimientos, se puede realizar una primera evaluación de las anomalías, sobre la base del siguiente principio: cuanto más elevado es un tenor, mayor es la probabilidad de que esté influenciado por la presencia de una concentración mineral.

No obstante y como se verá más adelante, otros importantes caracteres propios intervienen también en la apreciación de las anomalías, tales como el gradiente, la forma, la extensión, la homogeneidad, etc, junto a otros caracteres complementarios, como situación topográfica de la anomalía, relación con la geología, con la vegetación, con zonas húmedas, etc.

6.2. FASES DE LA INTERPRETACION

La elaboración del proceso interpretativo comprende tres fases, a saber: a) delimitación de las anomalías, b) evaluación de las anomalías y c) ajuste sobre el terreno.

La delimitación de las anomalías en prospección estratégica y detallada, se basa en el mismo principio: determinada la escala de corte, se establece una escala de colores en correspondencia, asignando a cada tenor de corte un color determinado; posteriormente se colorean los pequeños círculos de acuerdo al valor que le corresponde, apareciendo claramente definidos en el plano los sectores ocupados por los valores anómalos y su zona de influencia.

En prospección táctica se trazan curvas de isotenores (o isoanómalas) de acuerdo a la escala de corte establecida en la forma señalada oportunamente. En el caso de proceder empíricamente, la operación no ofrece ninguna dificultad en la práctica, observando las siguientes normas:

a) Realizar los cortes con una densidad suficiente para que el relieve sea preciso y el gradiente bien evidente.

b) Procurar que las curvas de isotenores resulten lo menos arbitrarias posible y respondan a gradientes netos; ligeras variaciones en exceso o en defecto no provocará desplazamientos ni deformación de la curva.

c) Toda porción de curva que no corresponda a un gradiente neto deberá ser trazada en líneas de puntos.

d) Al trazar una curva no es imprescindible ajustarse estrictamente al corte que la define; pequeñas oscilaciones en los tenores deben ser redondeadas para no modificar el gradiente (un tenor de 14 ppm puede incluirse den

tro de una curva de 15 ppm, por ejemplo).

e) Por razones prácticas conviene comenzar con el trazado de una curva de valor mediano, que ofrece la seguridad de estar ubicada por arriba del umbral de anomalía; a continuación se trazan las curvas superiores e inferiores. _

f) En el preciso momento en que el trazado de las curvas inferiores siembre el plano de anomalías puntuales, de contornos caprichosos y distribución desordenada, se habrá llegado al fin de la operación; en esas condiciones, la curva de valor más bajo corresponderá al umbral de anomalía.

Una vez trazadas todas las curvas posibles, el espacio delimitado por dos curvas sucesivas se colorea de acuerdo a una escala establecida de antemano, en correspondencia con los valores crecientes.

La evaluación de las anomalías tiene por objeto realizar un análisis de las anomalías registradas, descartando aquellas carentes de significación y preparando así la interpretación definitiva, que será realizada sobre el terreno.

El valor de una anomalía es función, además de su tenor, de una serie de caracteres propios como gradiente, forma, extensión, homogeneidad, etc. No existen criterios establecidos para la apreciación de esos caracteres resultando, esencialmente, un producto de la experiencia y larga práctica del operador.

No obstante, en términos generales se puede decir que una anomalía tiene más probabilidades de ser valedera, cuando: a) su tenor es más elevado, b) su gradiente, río arriba, es más fuerte, c) su extensión es más débil (guardando las proporciones), d) su heterogeneidad se aproxima a una media, e) sus límites son independientes de contactos geológicos, de la vegetación y de zonas húmedas, y f) su forma es más fácilmente comprensible.

Este último criterio es muy importante y merece preferente atención en la interpretación. Así por ejemplo, cuando la forma de una anomalía puede explicarse mediante un simple esquema estructural, tiene muchas posibilidades de ser valedera y la hipótesis estructural correcta.

El ajuste sobre el terreno es la última fase de la interpretación y se lleva a cabo en el área de operaciones, donde es posible apreciar directamente las características complementarias de las anomalías, como por ejemplo la posición topográfica, las relaciones con la geología, con la vegetación, con zonas húmedas, con puntos de posible polución, etc.

Con posterioridad se formulan las hipótesis que permitan explicar la formación de las anomalías y, frecuentemente, se programan trabajos complementarios destinados a obtener información que permitan verificar las hipótesis sustentadas. Esos trabajos pueden consistir en muestreos geoquímicos adicionales, investigación de otros elementos asociados al uranio o participación de otras técnicas en la prospección.

El muestreo geoquímico puede practicarse en aguas subterráneas, sue-

los, rocas o vegetales y su finalidad es la de permitir apreciar mejor algunas características propias de las anomalías. En los suelos se extraen muestras a diferente profundidad, sobre perfiles de corto desarrollo y con orientación normal al rumbo de las estructuras inferidas, o bien a la dirección de mayor elongamiento de la anomalía. Las rocas pueden ser investigadas por sus contenidos en uranio lábil y uranio total, y también por otros elementos asociados. En las aguas subterráneas, además del uranio, se determinan otros cationes como calcio, magnesio, sodio, potasio y los principales aniones, carbonato, bicarbonato, sulfato, cloruro; además se efectúan mediciones de pH, Eh y conductibilidad específica.

Cuando la anomalía se ubica en una pendiente, los flancos de una elevación del terreno por ejemplo, no debe descartarse la posibilidad de que su origen se encuentre topográficamente por arriba de la misma, muy especialmente en presencia de suelos espesos o con humedad más elevada que en zonas vecinas. En esos casos, la investigación del radio y la determinación de la relación radio equivalente/uranio en los suelos puede resultar muy ventajosa, permitiendo decidir frecuentemente, si se trata de una anomalía "in situ" o desplazada desde su fuente de origen.

En presencia de anomalías muy complejas, que no pueden ser explicadas mediante hipótesis coherentes, la participación en la prospección de otros métodos de investigación, suele aportar nuevos elementos de juicio que facilitan la interpretación. Además de la radiometría, cuya aplicación se realiza paralelamente al muestreo geoquímico, la utilización de otras técnicas geofísicas como la geoelectrónica, la sísmica de refracción y la emanometría, proporcionan información del subsuelo relativa a condiciones estructurales del terreno, espesor de la cubierta estéril y de unidades geológicas, profundidad del basamento, etc, que suelen contribuir eficazmente a la clarificación de algunas incógnitas que se presentan en la interpretación.

Señalemos por último, que en esta etapa de la labor el geólogo o el geoquímico deberá ser secundado por el técnico prospector que realizó el muestreo de rutina, quien podrá aclararle diversos aspectos del trabajo de campo que pueden revestir interés en la interpretación.

CUADRO I

MOVILIDAD RELATIVA DE LOS ELEMENTOS EN EL AMBIENTE SECUNDARIO

MOVILIDAD RELATIVA	CONDICIONES AMBIENTALES			
	OXIDANTE	ACIDO	NEUTRO A ALCALINO	REDUCTOR
Muy alta	Cl, I, Br S, B	Al, I, Br S, B	Cl, I, Br S, B Mo, V, U, Se, Re	Cl, I, Br
Alta	Mo, V, U, Se, Re Ca, Na, Mg, F, Sr, Ra Zn	Mo, V, U, Se, Re Ca, Na, Mg, F, Sr, Ra Zn Cu, Co, Ni, Hg, Ag, Au	Ca, Na, Mg, F, Sr, Ra	Ca, Na, Mg, F, Sr, Ra
Media	Cu, Co, Ni, Hg, Ag, Au As, Cd	As, Cd	As, Cd	
Baja	Si, P, K Pb, Li, Rb, Ba, Be Bi, Sb, Ge, Cs, Tl	Al, P, K Pb, Li, Rb, Ba, Be Bi, Sb, Ge, Cs, Tl Fe, Mn	Si, P, K Pb, Li, Rb, Ba, Be Bi, Sb, Ge, Cs, Tl Fe, Mn	Si, P, K Fe, Mn
Muy baja a inmóvil	Fe, Mn Al, Ti, Sn, Te, W Nb, Ta, Pt, Cr, Zr Th, tierras raras	Al, Ti, Sn, Te, W Nb, Ta, Pt, Cr, Zr Th, tierras raras	Al, Ti, Sn, Te, W Nb, Ta, Pt, Cr, Zr Th, tierras raras Zn Cu, Co, Ni, Hg, Ag, Au	Al, Ti, Sn, Te, W Nb, Ta, Pt, Cr, Zr Th, tierras raras S, B Mo, V, U, Se, Re Zn Co, Cu, Ni, Hg, Ag, Au Pb, Li, Rb, Ba, Be, Bi, Sb, Ge, Cs, Tl

(tomado de ANDREWS-JONES, 1968)

CUADRO II

ASOCIACIONES GEOQUIMICAS DE ELEMENTOS MENORES Y EN TRAZA

ROCA TIPO	ASOCIACION
1. <u>Asociaciones plutónicas</u> rocas ultramáficas rocas máficas rocas alcalinas carbonatitas rocas graníticas pegmatitas	Cr-Co-Ni-Cu Ti-V-Sc Ti-Nb-Ta-Zr-TR-F-P TR-Ti-Nb-Ra-P-F Ba-Li-W-Mo-Sn-Zr-Hf-U-Th-Ti Li-Rb-Cs-Be-TR-Nb-Ta-U-Th-Zr-Hf-Sc
2. <u>Depósitos de sulfuros hidrotermales</u> <u>asociaciones generales</u> depósitos de cobre porfíricos sulfuros complejos sulfuros de baja temperatura depósitos metalíferos metales preciosos metales preciosos asociados con rocas máficas	Cu-Pb-Zn-Mo-Au-Ag-As-Hg-Sb-Sc-Te-Co-Ni-U-V-Bi-Cd Cu-Mo-Re Hg-As-Sb-Sc-Ag-Zn-Cd-Pb Bi-Sb-As Pb-Zn-Cd-Ba Au-Ag-Cu-Co-As Au-Ag-Te-Hg NI-Cu-Pt-Co
3. <u>Rocas metamórficas de contacto</u> depósitos de Schealita-cassiterita depósitos de Fluorita-helvita	W-Sn-Mo Be-F-B
4. <u>Asociaciones sedimentarias</u> esquistos negros fosforitas evaporitas lateritas óxidos de Manganeso placeres y arenas capas rojas continentales capas rojas de origen volcánico bauxitas	U-Cu-Pb-Zn-Cd-Ag-Au-V-Mo-Ni-As-Bi-Sb U-V-Mo-Ni-Ag-Pb-F-TR Li-Rb-Cs-Sr-Br-I-B Ni-Cr-V Co-Ni-Mo-Zn-W-As-Ba-V Au-Pt-Sn-Nb-Ta-Zr-Hf-Th-TR U-V-Se-As-Mo-Pb-Cu Cu-Pb-Zn-Ag-V-Se Nb-Ti-Ga-Be
5. <u>Varios</u>	K-Rb; Rb-Cs; Al-Ga; Si-Ge; Zr-Hf; Nb-Ta; TR; S-Se; Br-I; Zn-Cd; Rb-Tl; Pt-Pd-Rh-Ru-Os-Ir

(Nota: TR = elementos de tierras raras)

(Tomado de LEVINSON, 1974)

CUADRO III

ELEMENTOS INDICADORES INDIRECTOS UTILIZADOS EN PROSPECCION

ELEMENTOS INDICADORES	TIPO DE DEPOSITO
As	Au, Ag; tipo vetiforme
As	Au-Ag-Cu-Co-Zn; depósitos de sulfuros complejos
B	W-Be-Zn-Mo-Cu-Pb; "skarns"
B	Sn-W-Be; vetas o "greisens"
Hg	Pb-Zn-Ag; depósitos de sulfuros complejos
Mo	W-Sn; depósitos metamórficos de contacto
Mn	Ba-Ag; depósitos vetiformes y cobre porfírico
Se, V, Mo	U; en areniscas
Cu, Bi, As, Co, Mo, Ni	U; tipo vetiformes
Mo, Te, Au	Cobre porfírico
Pd, Cr, Cu, Ni, Co	Platino en rocas ultramáficas
Zn	Ag-Pb-Zn; depósitos de sulfuros en general
Zn, Cu	Cu-Pb-Zn; depósitos de sulfuros en general
Rn	U; todo tipo de manifestaciones
SO ₄	Depósitos de sulfuros de todo tipo

Nota: En la mayor parte de los casos pueden muestrearse ciertos tipos de material (p. ej. roca, suelo, sedimento, agua y vegetación). En algunos casos, como en el del radón, sólo agua y gas del suelo. En el caso del sulfato, sólo agua.

(Tomado de LEVINSON, 1974)

CUADRO IV

RECOMENDACIONES PARA PROSPECCION GEOQUIMICA (Tomado de MORSE, 1971)

ESCALA DEL RELEVAMIENTO Y DENSIDAD DE MUESTREO	MATERIAL MUESTREADO		ELEMENTO DETERMINADO
<u>Reconocimiento</u> menos de 1 muestra cada 2 millas cuadradas	Sedimentos preferentemente, si no pueden extraerse otros a más bajo costo	Preferentemente clásticos	Radio o Uranio
	Aguas de lagos si el muestreo es aéreo	Orgánicos, si no hay clásticos	Radio o Uranio
<u>Intermedia</u> 0,5 a 200 muestras por milla cuadrada	Sedimentos preferentemente	Preferentemente clásticos	Radio o Uranio
	Aguas, si el análisis puede ser realizado inmediatamente	Orgánicos, si no hay clásticos	Radio o Uranio
	Horizonte A o B de suelos si no hay drenaje; densidad mayor que para muestreo de drenaje		Radón
<u>Detallada</u> más de 200 muestras por milla cuadrada	Suelo	Horizonte B	Radio o Uranio
		Horizonte A	Radio
	Plantas	Gas en suelo	Radón
	Rocas meteorizadas		Ha sido analizado Uranio; se sugiere ensayar Radio Radio si es más vieja que 1 millón de años; Uranio si es más joven

III-5-43

CUADRO V

COMPARACION DE DISTINTAS TECNICAS DE PROSPECCION POR URANIO

	CENTELLOMETRIA (Rayos Gamma)	EMANOMETRIA (radón del suelo)	RADIO EN SUELOS	URANIO EN SUELOS
Profundidad de penetración	aprox. 30 cm	Hasta 12 m	Variable	Variable
Resolución de áreas mineralizadas	Muy buena	Favorable	Favorable	Favorable
Repetición	Excelente	Favorable	Favorable	Favorable
Personal	1	1 ó 2	2 muestreadores 1 preparador de muestras 1 analista	4
Velocidad de prospección hombre/día	2 perfiles con 8 m espaciado	0,75 de perfil con 15 m espac.	1 perfil con 15 m de espaciado	1 perfil con 15 m espaciado
Datos aprovechables	Inmediatamente	Inmediatamente	Tiempo de secado más 4-5 días	Tiempo de secado más 1 día
Costo del equipo	U\$S 700-1.200	U\$S 2.400	U\$S 2.000-3.000	U\$S 15.000
Mineralización estimada de los resultados de campo	Buena	Favorable	Favorable	Favorable
Variaciones diurnas y estacionales	Ninguna	Si	Ninguna	Ninguna

(Tomado de SUTTON y SOONAWALA (1975))

PROSPECCION GEOQUIMICA

CUADRO VI

ESCALA DE RECONOGIMIENTO

ESCALA DE RELEVAMIENTO	OBJETIVO	CAMPO OPERATIVO	MALLA DE MUESTREO	COBERTURA	MATERIAL MUESTREADO	ELEMENTOS INVESTIGADOS	CARTOGRAFIA ESCALA APROX.
P. REGIONAL	Delimitación de áreas favorables	millares de Km ²	1 a 10 km ²	<1 muestra/km ²	Aguas Superficiales Sed.de corriente	U y Rn en agua U en sed.de corriente	1/250.000 a 1/100.000
P. ESTRATEGICA	Descubrimiento de anomalías relacionadas con indicioes uraníferos o pro-vincias geoquímicas	algunos centenares de Km ²	500 - 1000 m	> 1 muestra/Km ²	Aguas Superficiales-sed. de Corriente	U y Rn en agua U en sed.de corriente	1/100.000 a 1/50.000
P. DETALLADA	Definición del origen de las anomalías determinadas en la prospección estratégica y evaluación de las mismas	Algunas decenas Km ²	50-200 m	>20 muestras/Km ²	Aguas Superficiales y de manantiales. sed.de corriente y de manantiales. Suelos	U en aguas y sed. de corriente. U y Rn en agua de manantiales. U y Ra en suelos y sed.de manantiales	1/50.000 a 1/5.000
P. TACTICA	Ubicación del depósito. Precisas sus dimensiones. Establecer posibles relaciones con depósitos vecinos	Menos de 1 km ²	5 a 50m	>400 muestras/Km ²	Suelos Aguas y sedimento de manantiales Vegetales Rocas	U y Ra en suelos y sed.de manantiales U y Rn en agua de manantiales U en vegetales y rocas Rn en aire del suelo	1/5.000 a 1/1.000

7. BIBLIOGRAFIA

- AHRENS, L.H., 1954. The lognormal distribution of the elements, Geochim. et Cosmochim. Acta, 5, 49-53.
- ANDREWS, D.A. and JONES, Ph. D., 1968. Aplicación de Técnicas geoquímicas a la exploración minera. Mineral Industries Bulletin, Vol. II, N° 6.
- BERNER, R.A., 1973. Pyrite formation in the oceans, In: Proc. Symp. Hydrogeochemistry and Biogeochemistry, Tokyo, 1970. The Clarke Company, Washington, D.C., 1: 402-417.
- BERTHOLLET, P., 1966. Comparaison des méthodes de dosage de l'uranium par separation chromatografique sur papier et par separation a l'acetate d'ethyl. CEA, DP-DRM, Section de Géochimie, Fontenay-aux-Roses, inédito.
- BERTHOLLET, P., 1968. Methodes d'analyses utilisées par la section de géochimie: uranium, radon, radium. Rapport CEA, R-3557.
- BOWIE, S.H.U., BALL, T.K. y OSTLE, D., 1971. Geochemical methods in the detection of hidden uranium deposits. Canadian Inst. Min. Spec. Vol. 11, p. 103-111.
- BOYLE, R.W. and DASS, A.S., 1967. Geochemical prospecting. Use of the A horizon in soil surveys. Econ. Geol., 62, pp. 274-285.
- BOYLE, R.W., 1974. Elemental associations in mineral deposits and indicator elements of interest in geochemical prospecting. Geological Survey of Canadá Paper 74-45.
- BREGER, I.A., 1974. The role of organic matter in the accumulation of uranium: the organic geochemistry of the coal-uranium association. Proc. Series. Formation of uranium ore Deposits. IAEA, Vienna.
- BROWN, E., SKOUGSTAD, M.V. and FISHMAN, M.J., 1970. Methods for collection and analysis of water samples for dissolved minerals and gases. U.S. geological Survey Techniques Water Resources, Inv. T.W.I. 5-A1, 160 p.
- BRUNDIN, Nilo, 1939. Method of locating metals and minerals in the ground. U.S. patent 2.158.980. Granted May 16.
- CANNON, H.L., 1953. Geobotanical reconnaissance near Grants, N. Mex. U.S. Geol. Survey Circ. 264.
- CANNON, H.L., 1954. Botanical methods of prospecting for uranium. Min. Eng., 6, 217-220.
- CANNON, H.L., 1957. Description of indicator plants and methods of botanical prospecting for uranium deposits on the Colorado Plateau. U.S. Geol. Survey Bull. 1030-M.
- CANNON, H.L., 1960. The development of botanical methods of prospecting for

- uranium on the Colorado Plateau. U.S. Geol. Survey Bull., 1085-A.
- CANNON, H.L. y KLEINHIMPL, F.J., 1956. Métodos botánicos de prospección para el uranio. Actas de la Conf. Intern. sobre utilización de la Energía Atómica con Fines Pacíficos. VI, Ginebra.
- CAPPACCIOLI, J.H., 1965. Determinación de uranio en muestras de suelo, CNEA, Gerencia Materias Primas, GQ-1, Buenos Aires, inédito.
- COHEN, N.E., BROOKS, R.R. and REEVES, R.D., 1969. Pathfinders in geochemical prospecting for uranium in New Zealand, Econ. Geol., 64, N° 5.
- CHERBET, J. and COULOMB, R., 1958. Geochemical behavior of uranium in the alteration cycle. Proc. Second. U.N. Int. Conf. on the Peac. uses of Atomic Energy, II, Geneva.
- DALL'AGLIO, M., 1973. Geochemical Exploration for uranium. En: Uranium Exploration Method, IAEA, Vienna.
- DALL'AGLIO, M., TONANI, F., 1961. La prospezione idrogeochimica dell' uranio. Studi e Ricerche della Divisione Geomineraria, III, 345-386.
- DALL'AGLIO, M. y TOMANI, F., 1963. Méthodes de Prospection Géochimique. U.N. Conférence sur l'application de la Science et de la Technique dans l'intérêt des régions peu développées, 39/A/182, Geneve.
- DYCK, W., 1969-a. Field and laboratory methods used by the Geological Survey of Canada in geochemical surveys. N° 10: Radon determination apparatus for geochemical prospecting for uranium. Geol. Survey Canada. Paper 68-21.
- DYCK, W., 1969-b. Development of uranium exploration methods using radon. Geol. Survey Canada Paper, 69-46.
- DYCK, W., 1972. Radon methods of prospecting in Canadá. En: Uranium Prospecting Handbook, IMM, 212-241, London.
- DYCK, W., 1975. Geochemistry applied to uranium Exploration. Geol. Survey Can., Paper 75-26, 33-47.
- DYCK, W., DASS, A.S., DURHAM, C.C., HOBBS, J.D., PELCHAT, J.S. and GALBRAITH, J.H., 1971. Comparison of regional geochemical uranium exploration methods in the Beaverlodge area, Saskatchewan. En: CIM Special Vol. 11. Geochemical Exploration, 132-150.
- FERSMAN, A.E., 1922. La geoquímica en Rusia. Trad. Ingl. S.I. Tomkeieff, Nature 154, 814 (1944).
- FIX, P.F., 1956-a. Prospección geoquímica del uranio mediante extracción de muestras de aguas subterráneas y superficiales. Actas Conferenc. Int. sobre utiliz. de la Energía Atómica con fines pacíficos, VI, 911-917.

- FIX, P.F., 1956-b. Hidrogeochemical Exploration for Uranium. U.S. Geological Survey. Prof. Paper 300, 667-671.
- FONTESCUE, J., 1965. Exploration Architecture. En: Some Guides to mineral Exploration. Geol. Survey Can., Paper 65-6, 4-14.
- GAMBA, M.A., 1978. Geoquímica del uranio en las aguas subterráneas del valle del río Conlara, provincias de San Luis y Córdoba: facies hidrogeoquímicas y estudios termodinámicos-químicos relacionados con fenómenos de transporte y precipitación de UO_2 . CNEA - Gerencia de Exploración, inf. 1234, inédito.
- GRABOVSKAYA, L.I., 1965. Prospección Biogeoquímica. Conferencia Seminario Inter. Metod. Geoq. de prospec. para becarios de la ONU, Moscú, 9-27 Agosto.
- GRANIER, C.L., 1973. Introduction a la prospection geochimique des gites Métallifères, Masson et Cie., Ed., Paris.
- GRIMBERT, A., 1959. Rapport sur l'état actuel de la technologie de la prospection géochimique appliquée a la recherche et a l'étude des gites uranifères. Colloque sur la prospection géochimique. Abbaye de Royaumont.
- GRIMBERT, A., 1971. Evolution et perspectives de la prospection géochimique des gites uranifères - Geochemical exploration (Proc. 3rd. Int. Symp. Geochem. Explor. Toronto, 1970). Can. Inst. Min. Metall., Special Vol. 11, 21.
- GRIMBERT, A., 1972. Use of geochemical techniques in uranium prospecting (Proc. of NATO - Sponsored Adv. Study Inst. on Methods of Prospecting for uranium minerals, London 1971). En: Uranium Prospecting Handbook, Inst. Min. Metall., London.
- GRIMBERT, A. et BERTHOLLET, P., 1959. Revue des techniques analytiques utilisées dans la prospection hydrogéochimique de l'uranium, CEA, Rapport 1203.
- GUIDI, F., 1977. Prospección geoquímica por uranio, Area El Rodeo, Dto. Belén, Prov. de Catamarca. CNEA, Gerencia de Exploración, Delegación Noroeste, inédito.
- HAWKES, H.E., 1949. Geochemical prospecting for ores, a progress report. Econ. Geology, 44, 706-712.
- HAWKES, H.F., 1954. Geochemical prospecting investigations in the Nyeba lead-zinc district, Nigeria. U.S. Geol. Survey Bull. 1.000-B.
- HAWKES, H.F., 1957. Principles of geochemical prospecting. Geol. Survey Bull. 1.000-F.
- HIGGINS, F.B. Jr., GRUNE, W.N., SMITH, B.M. and TERRILL, J.G. Jr., 1961. Methods for Determining Radon-222 and Radium-226. J. Am. Water Works Assoc., 53, N° 1, 63-74.

- KENNEDY, V.C., 1956. Geochemical studies in the southwestern Wisconsin zinc-lead area. U.S. Geol. Survey Bull. 1.000-E.
- LAKIN, H.W., ALMOND, H. and WARD, F.N., 1952. Compilation of field methods used in geochemical prospecting by the U.S. Geological Survey. U.S. Geol. Survey Circ. 161.
- LARUMBE, F.H. y SKRZYQANEK, M.C., 1976. Separación de uranio de aguas salinas para determinación fluorimétrica. CNEA. NT-22/76, 6p.
- LEPELTIER, C., 1969. A simplified statistical treatment of geochemical data by graphical representation. Econ. Geol., 64, N° 5, 538-550.
- LEVINSON, A.A., 1974. Introduction to exploration geochemistry. Applied Publishing Ltd., Calgary.
- LUNDBERG, H., 1941. New techniques in geoexploration. Mining and Metallurgy, 22, 257-258.
- MARTIN CALVO, M., 1974. Consideraciones sobre el papel que desempeñan las sustancias orgánicas naturales de carácter húmico en la concentración del uranio. En: Formation of Uranium Ore Deposits. (Proc. Symp. Athens). IAEA, Vienna, 125-137.
- MEYER, W.T., 1969. Uranium in lake water from the Kaipokok Region, Labrador. En: Inter. Geochem. Expl. Symp., Quarterly Colorado School Mine, 64, N° 1.
- MORSE, R.H., 1971. Comparison of geochemical prospecting methods using Radium with those using radon and uranium. Geochemical Exploration (Proc. 3rd. Int. Symp. Geochem. Explor., Toronto, 1970). Can. Inst. Min. Metall., Montreal, Special, vol., 11, 21.
- NICOLLI, H.B., LUCERO MICHAUT, H.N. y GAMBA, M.A., 1976-a. Geoquímica del uranio en el faldeo occidental de la sierra de Coméchingones y en el valle del río Conlara, Prov. de San Luis. I: Observaciones geológico-tectónicas y distribución del uranio en plutonitas y en aguas de vertientes y corrientes. Bol. Acad. Nac. Ciencias, Córdoba 51, 225-242.
- NICOLLI, H.B., LUCERO MICHAUT, H.N. y GAMBA, M.A., 1976-b. Geoquímica del uranio en el faldeo occidental de la sierra de Coméchingones y en el valle del río Conlara, Prov. de San Luis. II: Aguas subterráneas y procesos de lixiviación, transporte y precipitación del uranio. Bol. Acad. Nac. Ciencias, Córdoba 51, 243-264.
- OSTLE, D., COLEMAN, R.F. y BALL, T.K., 1972. Neutron activation analyses as an aid to geochemical prospecting of uranium (Proc. NATO - Sponsored Adv. Study Inst. on Methods of Prospe. for uranium minerals, London, 1971). En: Uranium Prospecting Handbook, Inst. Min. Metall. London, 95.

- OSTLE, D. and BALL, T.K., 1973. Some aspects of geochemical surveys for uranium (Proc. of a Panel, Vienna, May 10-14, 1972). En: Uranium Exploration Methods, IAEA.
- RANKAMA, K.K., 1940. On the use of trace elements in some problems of practical geology. Soc. geol. Finlande Comptes rendus, 14, 92-106.
- RANKAMA, K.K., 1947. Some recent trends in prospecting chemical, biochemical and geobotanical methods. Mining and Metall., 28, 282-284.
- SANTOMERO, A.M.O., 1969. Prospección táctica en Los Adobes - Campaña 1968, II parte, inf. final, CNEA, inéd.
- SANTOMERO, A.M.O., 1971. Aplicación de técnicas geoquímicas a la exploración minera en la R. Argentina. Primer Simposio Argentino de Geología Económica, San Juan.
- SANTOMERO, A.M.O., 1972. Prospección geoquímica detallada en la cuenca del río Seco, Dpto. Chacabuco, Prov. San Luis, CNEA, inéd.
- SAUKOV, A.A., 1960. Migration of chemical elements as a theoretical basis of geochemical search methods. Intern. Geol. Cong. Proc. of section 2: Geol. Results of Applied Geoch., Copenhagen, 28-37.
- SCINTREX Limited, 1978. Technical Description of UA-3 uranium Analyser, Ontario, Canadá.
- SEDLER, J., 1966. Radón and Radium: Treatise on Analytical Chemistry, Part. 2, 4, 219-366. Interscience Publishers, John Wiley and Sons.
- SERGEEV, E.A., 1950. Geochemical method of prospecting for ore deposits (in Russian), Translation by V.P. Sokoloff. En: "Selected Russian papers on geochemical prospecting for ores", U.S. Geol. Survey, p. 15-87.
- SERVICIO GEOLOGICO Y COMISION DE ENERGIA ATOMICA DE LOS ESTADOS UNIDOS, 1956. Técnicas para la prospección de uranio y torio. Actas de la Conf. Int. sobre utiliz. de la Energía Atómica con fines Pacíficos, VI, 370-374.
- SMITH, A.Y. and DICK, W., 1969. The application of radon method to geochemical exploration for uranium. CIM Bull., 62, 215 (Abstract).
- SMITH, A.Y. and LYNCH, J.J., 1969. Field and laboratory methods used by the Geological Survey of Canada in geochemical surveys - N° 11: uranium in soil, stream sediment and water. Geol. Surv. Canada, Paper 69-40.
- SMITH, A.Y., BARRETO, P.M.C. and POURNIS, S., 1976. Radon methods in uranium exploration (Proc. of a Symp. IAEA and NEA - (OECD), Vienna 29 march-2 april, 1976). En: Exploration for Uranium Ore Deposits, IAEA, Vienna.

- SUTTON, W.R. and SOONAWALA, N.M., 1975. A soil radium method for uranium prospecting. CIM Bulletin, 68, N° 757, 51-56.
- SZALAY, A., 1964. Cation exchange properties of humic acids and their importance in the geochemical enrichment of UO_2^{++} and other cations. Geochim. Cosmochim. Acta, 28, 1609.
- TIESLEY, J.E. and ROWNTREE, J.C., 1966. A study of geochemical prospecting techniques in Northern Cape Breton. Program Geological and Mineralogical Association of Canada, Annual Meetings, Halifax.
- TITAYEVA, N.A., 1967. Association of radium and uranium with peat. Geochem. Int., 4 (6), 1168-1174. (Geokhimiya N° 12, 1493-1499).
- TONANI, F., 1960. L'utilizzazione della geochimica nella prospezione mineraria. C.N.R.N. Divisione Geomineraria, CNG-41.
- VINE, J.D., SWANSON, V.E. and BELL, K.G., 1958. The role of humic acids in the geochemistry of uranium. Proc. Second. U.N. Int. Conf. on the Peaceful uses of Atomic Energy, II, 187-191, Geneva.
- WARREN, H.V., DELAVault, R.E. and IRISH, R.I., 1952. Biogeochemical investigations in the Pacific Northwest. Geol. Soc. America Bull., 63, 435-484.
- WENRICH - VERBEEK, K.J., 1977. Uranium and coexisting element behaviour in surface waters and associated sediments with varied sampling techniques used for uranium exploration. Journal of Geochemical Exploration. 8, 337-355.
- YERMOLAYEV, N.P., ZHIDIKOVA, A.P. y ZARINSKIY, V.A., 1965. Transport of uranium in aqueous solutions in the form of complex silicate ions. Geochem. Int., 2, (4), 629-641.

I N D I C E

	<u>Pág.</u>
1. <u>ANTECEDENTES Y EVOLUCION DE LA GEOQUIMICA COMO TECNICA DE EXPLORACION</u>	1
2. <u>CONCEPTOS GENERALES SOBRE LA DISTRIBUCION Y MIGRACION DE LOS ELEMENTOS EN LA CORTEZA TERRESTRE</u>	3
2.1. AMBIENTE GEOQUIMICO - MOVILIDAD Y DISPERSION DE LOS ELEMENTOS	4
2.2. CONCEPTO DE ANOMALIA GEOQUIMICA	7
2.3. ASOCIACION DE LOS ELEMENTOS	8
3. <u>PROSPECCION GEOQUIMICA DEL URANIO - MATERIALES MUESTREADOS</u>	9
3.1. AGUAS NATURALES	9
3.2. SEDIMENTOS DE CORRIENTE	12
3.3. SUELOS	14
3.4. VEGETALES	16
3.5. ROCAS	19
4. <u>TECNICAS ANALITICAS PARA ANALISIS GEOQUIMICO DEL URANIO</u>	19
5. <u>SECUENCIA EXPLORATORIA - METODOS DE PROSPECCION.</u>	24
5.1. <u>Investigación Preliminar de Orientación</u>	24
5.2. <u>Prospección Estratégica</u>	26
5.3. <u>Prospección geoquímica detallada</u>	30
5.4. <u>Prospección Geoquímica Táctica.</u>	32
6. <u>INTERPRETACION DE RESULTADOS</u>	34
6.1. ESQUEMA ANALITICO	35
6.2. FASES DE LA INTERPRETACION	36
 <u>ANEXOS</u>	
<u>CUADRO I</u>	39
<u>CUADRO II</u>	40
<u>CUADRO III</u>	41

	<u>Pág.</u>
<u>CUADRO IV</u>	42
<u>CUADRO V</u>	43
7. <u>BIBLIOGRAFIA</u>	44