

COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA

GERENCIA DE EXPLORACION

GEOQUIMICA DE LAS PLUTONITAS EN LA SIERRA DE LOS GIGANTES PROVINCIA DE CORDOBA, REPUBLICA ARGENTINA: FENOMENOS RELACIONADOS CON LA DISTRIBUCION DEL URANIO.

Por: Hugo NICOLLI - Mirtha GAMBA - Raúl FERREYRA - Fernando LARUMBE.

1975

GEOQUÍMICA DE LAS PLUTONITAS EN LA SIERRA DE LOS GIGANTES, PROVINCIA DE
CORDOBA, REPUBLICA ARGENTINA: FENOMENOS RELACIONADOS CON LA DISTRIBUCION
DEL URANIO

por: Hugo B. Nicolli^{*}, Mirtha A. Gamba^{**},
Raúl E. Ferreyra^{**} y Fernando H. Larumbe^{**}

R e s u m e n:

Se han estudiado más de 500 muestras superficiales de rocas tomadas sobre 5 perfiles transversales a la falla principal de la sierra. La roca dominante es un granito microclínico, porfírico, muy alterado y con marcas evidencias de cataclasis. La alteración más frecuente es la sericitización, a veces muy intensa.

Se ha determinado U total, U lixiviable y eU (equivalente radimétrico) en más de 300 muestras; en un centenar de ellas se han determinado los elementos mayores y menores característicos. La distribución estadística del uranio responde a una hipótesis lognormal, en general con dos subpoblaciones. La mayor parte de los elementos responden a la misma distribución, excepto SiO_2 , Na_2O y K_2O , los cuales se ajustan bien a la ley gaussiana.

Del cálculo de los parámetros petroquímicos de la norma equivalente de Niggli se destaca: si, fm y alk tienen un buen ajuste a una distribución gaussiana con dos subpoblaciones; al, c y p (único parámetro secundario calculado) presentan un buen ajuste a una distribución lognormal con dos subpoblaciones. Contenidos relativamente altos de U total (> 7 ppm) se dan en muestras con valores de si entre 350 y 405; bajos contenidos (< 3 ppm) se presentan en muestras con si entre 405 y 460.

El U total en el conjunto de las rocas estudiadas tiene una mediana estimada en 3,4 ppm, de las cuales el U lixiviable representa una cuarta parte. Los valores de eU son muy altos (mediana estimada ≈ 51 ppm) lo cual indica un fuerte desequilibrio causado por la presencia residual de productos de desintegración de las familias del torio y del uranio-radio.

Se concluye que todo el área ha sufrido una intensa alteración a partir de fenómenos autometasomáticos; los eventos tectónicos que dieron origen a fracturación (estructuras diédricas) diaclasamiento intenso, marcada cataclasis, etc, facilitaron la circulación de soluciones; en tales condiciones se ha operado una intensa lixiviación de las rocas graníticas. La migración del uranio está ligada entonces al drenaje superficial y a la circulación por fisuras hacia el Este del área estudiada.

* Comisión Nacional de Estudios Geo-Heliofísicos; Investigador del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas; República Argentina.

** Comisión Nacional de Energía Atómica; República Argentina.

INTRODUCCION

Es conocido el hecho de que la actividad gamma crece en coincidencia con el emplazamiento de grandes unidades litológicas de composición granítica. Esta circunstancia ha llamado la atención sobre el papel de los elementos radiactivos, fuertemente concentrados en las rocas de la corteza por migraciones que tienen su origen en el manto.

Esta desigualdad en la repartición de los elementos radiactivos ha sido motivo de múltiples especulaciones. A medida que se aumenta la disponibilidad de datos analíticos obtenidos con criterio geoquímico y se perfeccionan los modelos estocásticos para su evaluación, es posible una mejor interpretación de la distribución de los mismos.

Las técnicas de prospección basadas en la detección de la actividad gamma, si bien constituyen una primera guía para el estudio de la repartición de los elementos radiactivos, puede no ser un reflejo aceptable del contenido uranífero de una roca, debido a la acción de los complejos procesos de cambio del estado de oxidación del uranio y al papel desempeñado por los productos de desintegración en el ciclo geoquímico de alteración.

Por esas razones, la idea básica que ha guiado la realización de esta investigación ha sido la de contribuir a orientar la metodología futura de prospección en el área, a través del mejor conocimiento de los principios que rigen el comportamiento de los elementos mayores y menores de las plutonitas, los cuales condicionan el medio geoquímico en el cual el uranio sufre procesos de oxidación, solubilización, transporte, precipitación, etc., alterando su distribución y su relación con la radiactividad.

1. GEOLOGIA DEL AREA

La Sierra de Los Gigantes forma parte de la Sierra Grande, cordón central de la provincia de Córdoba, República Argentina. El sector estudiado en detalle abarca una superficie de aproximadamente 140 km², la mayor parte dentro de la Hoja Geológica 20h* (Los Gigantes) y una parte menor en

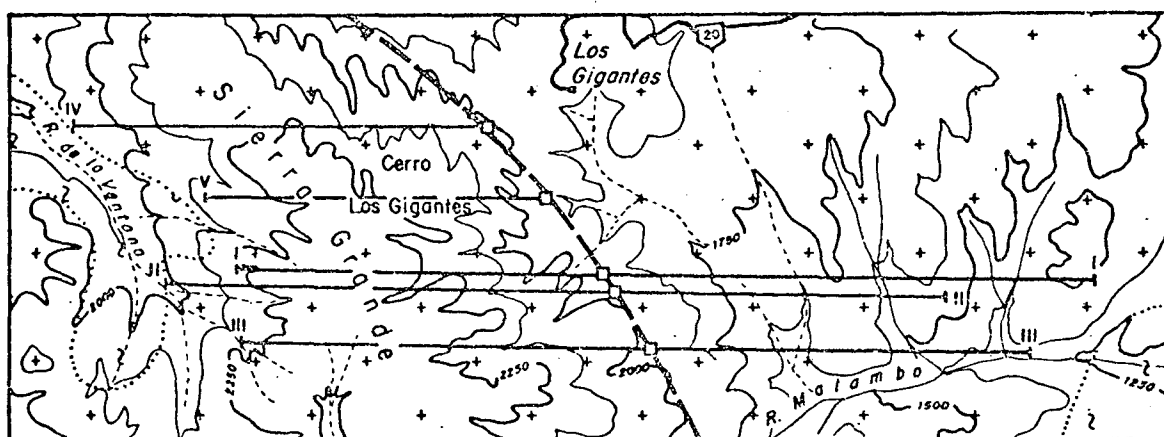
* OLSACHER, J. (1960). Descripción de la Hoja Geológica 20h: Los Gigantes.- Dir. Nac. de Geol. y Min., Anales XII, Buenos Aires.

1.

la Hoja Geológica 20ⁱ** (Córdoba).

El acceso al área se hace por la ruta nacional N° 20, desviando hacia el Sur en el Km 81 por una huella sólo transitable por vehículos de doble tracción.

Algunos pequeños cursos de agua surcan el área; los colectores principales, situados más al Este son los ríos Yuspe, Malambo e Ycho Cruz.



SIERRA DE LOS GIGANTES
PROV. DE CÓRDOBA - REPÚBLICA ARGENTINA
PLANO DE UBICACIÓN Y LÍNEAS DE MUESTREO

LEVANTAMIENTO EXPEDITIVO



222 ROCAS METAMÓRFICAS

+++ GRANITO

FALLA

20 RUTA NACIONAL

Fig. 1

Las rocas graníticas constituyen el elemento dominante en la región, acompañadas por un grupo de metamorfitas y otro de rocas filonianas de composición también granítica, las cuales afectan a ambos complejos.

Las dataciones radimétricas efectuadas permitieron demostrar que las mismas corresponden en gran parte al Paleozoico y probablemente a más de un

** PASTORE, F. (1932). Descripción de la Hoja Geológica 20ⁱ: Córdoba.- Dir. Nac. de Min. y Geol., Bol. N° 36, Buenos Aires.

1.

1.

ciclo magnético (Linares y Latorre, 1969; Halpern, Linares y Latorre, 1970). Las metamórficas más antiguas corresponderían a un ciclo ubicado entre los 450 y 540 m.a., mientras que las rocas graníticas encuadrarían en tres ciclos magnéticos; 450 - 520 m.a., 350 - 380 m.a. y 300 - 330 m.a. (Linares y Latorre, 1972).

Las plutonitas poseen muy variadas características macroscópicas, en contrándose granitos porfíricos, normales y aplíticos, con diversas pigmen taciones: grisáceas, claras a oscuras. La variedad porfírica es la más desarrollada arealmente, siguiéndole la equigranular mediana a gruesa y por último la de los tipos aplitoides. La datación por los métodos K/Ar y Sr/Rb de la primera variedad, dió una edad de 329 - 330 m.a. (Linares y La torre, 1969).

Los cortejos filonianos consisten esencialmente en pegmatitas de muy variada índole, observándose intercalaciones poco frecuentes de aplitas. El aporte pegmatítico se manifiesta según tres tipos principales: a) el perteneciente a un tipo de difusas limitaciones con el granito que lo con tiene; es de naturaleza simple en el sentido mineralógico y está muy poco representado en el ambiente; b) las pegmatitas tabulares; son también de composición simple, poseen límites y orientaciones netas y se alojan en las diaclasas, preferencialmente las de posición no muy alejada de la horizontal; c) el tercer tipo de pegmatitas, más elaboradas y con estructuras zonadas, lleva con frecuencia mineralizaciones beneficiables (berilo, minerales de litio, tantalita-columbita, wolframita, etc). La descarga pegmatítica ha sido más intensa en las áreas graníticas de grano grueso que poseen juegos de disyunción menos apretados y distanciados entre sí. Se nota un incremento de estas penetraciones hacia las vecindades de los afloramientos metamórficos que se encuentran inmediatamente al Este del área investigada.

Se interpreta que en el macizo de "Achala-Los Gigantes" una intensa denudación ha arrasado con los sectores cuspidales portadores de las pegmatitas tabulares y zonadas, respetando sólo las de situación más profunda (tipo a en la clasificación anterior) (Nicolli et al., 1972).

La naturaleza de las penetraciones filónicas postplutónicas existen

/.

tes en el área, de carácter exclusivamente esquizolítico (pegmatitas, aplitas y escasos lamprófiros) y la absoluta falta de representantes de la gama porfírica (pórfiros plutónicos o paraefusivos) llevan a la conclusión de que, petrológicamente, se está en presencia de una "provincia granítico-diasquística".

1.1. Tectónica

La Sierra Grande se caracteriza por un sistema de bloques que le da el estilo tectónico típico de las grandes unidades cristalinas de las Sierras Pampeanas (Gordillo y Lencinas, 1972)* con abruptas pendientes hacia el Oeste y tendidos perfiles decrecientes hacia el Este.

Existe en el área estudiada un sistema de fracturas subparalelas de primera magnitud relativa cuya acción conjunta estructuró el abrupto fal-deo occidental de la sierra. Se trata de un juego de fallas evidentemente compresivas, de rumbo general NNW-SSE y de alto ángulo, portadoras de milonitas arcillosas y de brechas de tipo muy cerrado. Las masas graníticas ocupan los peldaños más elevados.

Un segundo juego de fracturas más tardías, compresivas y de rumbo ENE-WSW se agrega al anterior y determina con aquél una serie de estructuras diédricas.

Existen además juegos de fracturas transversales originadas por movimientos de acomodación, carentes de productos arcillosos de milonitización y con evidencias de agrietamientos por descompresión, circunstancias que señalan una naturaleza predominantemente tensional.

El diaclasamiento posee características propias para cada sector, pero existen juegos muy conspicuos que desempeñan un papel bien definido como controles de la penetración filónica.

1.2. Caracteres generales de las rocas estudiadas

Desde el punto de vista petrológico, la zona estudiada se encuentra dominada ampliamente por granito y, dentro de este tipo, la variedad porfírica representa aproximadamente los dos tercios de todas las rocas estudiadas. También se han encontrado microgranitos, granodioritas, adamelitas, y alguna tonalita, pero en proporciones muy subordinadas a aquélla.

* "Sierras Pampeanas de Córdoba y San Luis". En: Geología Regional Argentina; Acad. Nac. Ciencias, Córdoba, pág. 1 - 39; 1972.

1.

La textura dominante es la porfírica con fenocristales de microclino en una base hipidiomórfica granular, mediana a gruesa. En los granitos normales también se encuentra microclino.

Las rocas principales se caracterizan por una gran constancia en su composición. Los componentes esenciales, por orden relativo de abundancia son: cuarzo, microclino, plagioclasas, muscovita secundaria y biotita.

Es necesario destacar las evidencias de cataclasis que presentan todas las rocas estudiadas. Se observan los cristales muy fracturados y en algún caso "paquetes" de biotita flexurados.

El cuarzo se presenta anhedral, de tamaño variable (grano fino a grueso) con inclusiones de rutilo, extinción ondulada y fracturado (algunas de dichas fracturas están tapizadas por óxidos de hierro, productos de alteración de la biotita).

El microclino aparece como fenocristales (en las variedades porfíricas) y con tamaño mediano a grueso; en general es subhedral. Los fenocristales suelen poseer numerosas inclusiones pequeñas de biotita y plagioclasas que dan como resultado una textura poiquilítica; también las microperfitas son comunes. La alteración caolínica es escasa y la sericitica se presenta con variable intensidad: desde muy leve hasta reemplazar más de la mitad de los cristales. No se observó la presencia de ortoclasa.

El tipo de plagioclasa dominante, y con mucho, es la oligoclasa media. En alguna oportunidad se ha observado la presencia de andesina o albita pero en proporciones insignificantes. A veces aparecen cristales con desarrollo de zonación en su parte exterior. La alteración es mayor que la del feldespato potásico; la caolinización suele ser marcada, en especial en el centro de los cristales y la sericitización es un fenómeno generalizado, en algunos casos muy intenso. Las plagioclasas, al igual que el feldespato potásico, presentan inclusiones de plagioclasas anteriores y biotita. En algunas muestras se notó la presencia de mirmequitas.

La biotita es euhedral a anhedral, en este último caso debido al ataque de la muscovita y el cuarzo. Sus accesorios son apatita y zircón, con sus característicos halos pleocroicos. Se pueden observar todas las etapas de transición en la alteración de biotita a muscovita.

1.

La muscovita con desarrollo euhedral a subhedral aparece como mineral secundario originado por alteración de biotita, de feldespatos y como reemplazo en cuarzo. Su tamaño varía desde pequeñas partículas (sericita) hasta cristales de tamaño mediano. Este mineral suele contener las inclusiones primitivas de la biotita que reemplaza, es decir apatita y zircón.

Es necesario destacar el ataque del cuarzo sobre los demás minerales primarios, modificando los contornos cristalinos y reemplazándolos con variable intensidad.

2.- MUESTREO SISTEMATICO

Sobre la línea de falla principal (rumbo NNW-SSE) se encuentran una serie de manifestaciones radiactivas evidenciadas por anomalías radimétricas y algunas mineralizaciones. Ellas ponen de manifiesto la necesidad de caracterizar el comportamiento geoquímico del uranio en el área granítica, para lo cual se eligieron cinco líneas de muestreo aproximadamente transversales a dicha estructura y cuyos recorridos se indican en los planos de las fig. 1 y 2:

Línea de muestreo N° I: Manifestación nuclear "Schlagintweit" (sector Norte).

Línea de muestreo N° II: Manifestación nuclear "Schlagintweit" (sector Sur).

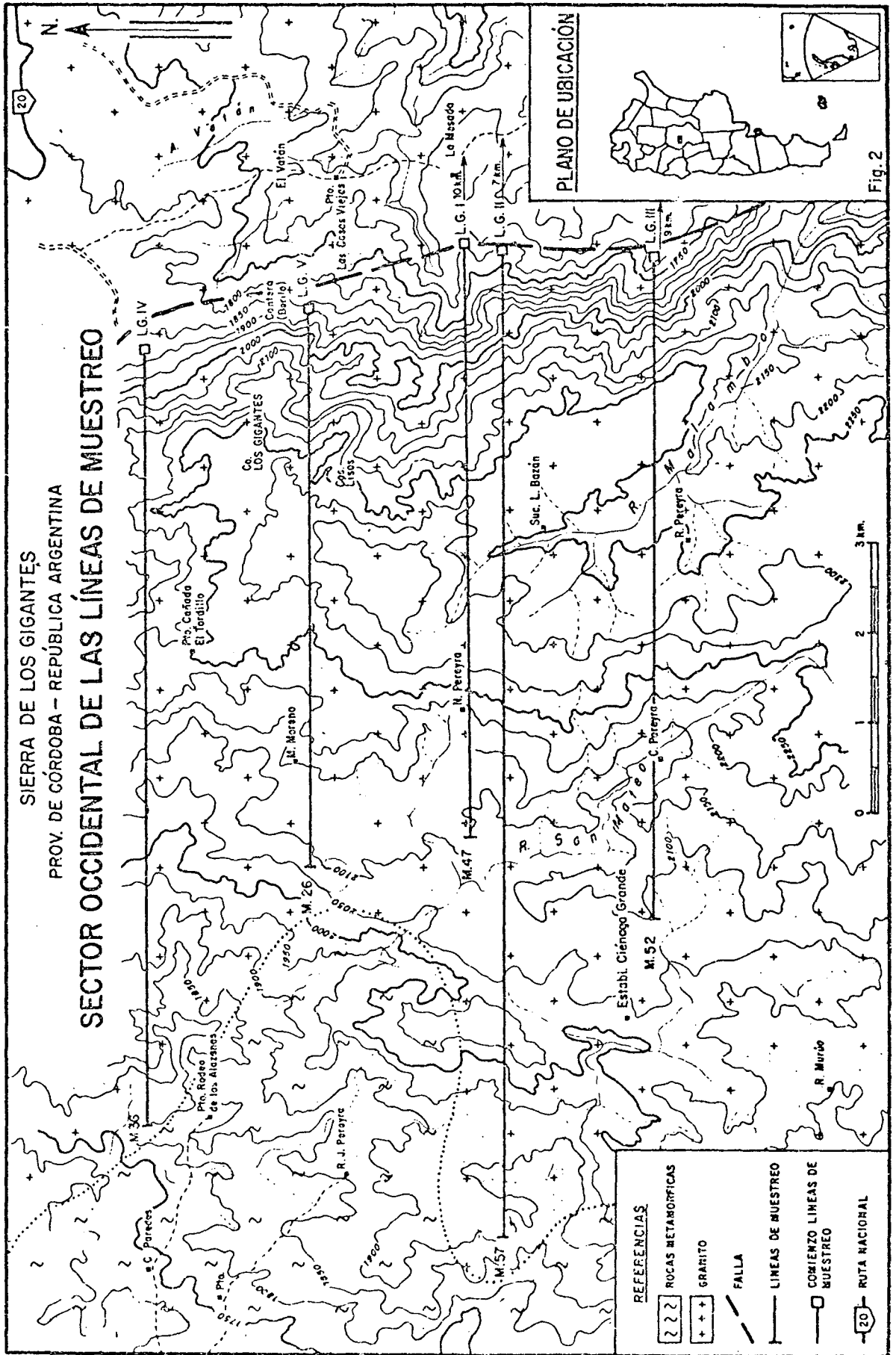
Línea de muestreo N° III: Manifestación nuclear "Co. Aspero".

Línea de muestreo N° IV: Manifestación nuclear "Los Europeos".

Línea de muestreo N° V: Manifestación nuclear "La Morenita".

El muestreo se llevó a cabo en dos etapas: la primera comprendió las líneas I, II y III y la segunda en las líneas IV y V. En la primera etapa se eligió un espaciamiento entre muestras de acuerdo con una ley logarítmica, recogiendo ocho muestras en cada ciclo, a partir de los puntos extremos de cada anomalía hasta completar 32 muestras en el primer kilómetro; desde allí se continuó con un espaciamiento de 250 m. En la segunda parte del muestreo (Líneas IV y V) sólo se tomaron muestras con una equidistancia de 250 m hacia el Oeste de la línea de falla principal y hasta alcan

/.



zar el contacto occidental con los esquistos.

En todos los casos, la toma de muestras se operó entre 0,50 y 2 m de profundidad, tratando de descartar las partes más afectadas por la meteorización. A pesar de esa precaución no fué posible la obtención de muestras frescas. Además se tuvo en cuenta la influencia del tamaño de los cristales, razón por la cual en ningún caso se recogió una cantidad menor que 5 kg de muestra y cuando los fenocristales de microclino eran mayores fué necesario muestrear entre 15 y 20 kg. Se reunieron así un total de 550 muestras, lo cual representa una densidad aproximada de casi 4 muestras por km².

3.- PARTE EXPERIMENTAL

En toda la planificación y ejecución del muestreo, así como en las distintas fases de preparación previa de las muestras (selección, pulverización, etc) se han respetado los principios y normas clásicos (Gy, 1954; Laffitte, 1957; Shaw, 1961).

Una primera trituración llevó el total de la muestra a trozos menores de 1 cm, de los cuales, por sucesivos cuarteos se separaron unos 300 g que fueron molidos en las vasijas de carburo de tungsteno de un molino vibratorio, hasta alcanzar un diámetro de partícula inferior a 0,147 mm (tamiz N° 100, normas Tyler). Esta fracción, perfectamente homogeneizada, se utilizó para los análisis químicos.

3.1. Análisis químicos

Las técnicas de análisis químicos empleadas están basadas fundamentalmente en los esquemas del U.S.Geological Survey (EE.UU.), del B.R.G.M. y C.E.A. (Francia), C.N.E.N. (Italia), etc, adaptadas a nuestras necesidades de acuerdo a la reseña dada en el cuadro I. Se ha utilizado un espectrofotómetro "Zeiss", mod. PMQ 2, con accesorio FA 2 para espectroscopía de emisión en llama y de absorción atómica.

3.2. Determinación de uranio

El método empleado se basa en la ya clásica técnica fluorescimétrica desarrollada por Berthollet (1968) y adaptada por Nicolli et al. (1972).

/.

CUADRO I
METODOS DE ANALISIS QUIMICOS

Constitu- yente	Método	Referencias
SiO ₂	Espectrofotometría (sílicomolib dico)	Mullin y Riley (1955); Weibel (1961)
Al ₂ O ₃	Espectrofotometría (alizarina)	Shapiro y Brannock (1956)
Fe ₂ O ₃ (Fe total)	Espectrofotometría (2,2'-dipi- ridilo	Falchi y Tonani (1964)
FeO	Titrimetría (dicromato)	Shapiro y Brannock (1956); Riley (1958)
MnO	Espectrofotometría (periodato) y espectroscopía de absorción atómica	Shapiro y Brannock (1956); Trent y Slavin (1964); Langmyhr (1968)
MgO	Espectroscopía de absorción ató mica	Nesbitt (1966); Langmyhr(1968)
CaO	Complejometría (E.D.T.A.; indi cador H.H.S.N.N.)	Hildebrand y Reilley (1957); Weibel (1961)
K ₂ O	Espectroscopía de emisión en llama	Vincent (1960); Grillo et <u>et</u> <u>al.</u> (1964)
Na ₂ O	Espectroscopía de emisión en llama	Vincent (1960); Grillo et <u>et</u> <u>al.</u> (1964)
TiO ₂	Espectrofotometría (peróxido)	Riley (1958); Weibel (1961)
P ₂ O ₅	Espectrofotometría (fosfomolib dico)	Kitson y Mellon (1944); Sha- piro y Brannock (1956); Char- lot y Bezier (1955); Weibel (1961).
H ₂ O	Método de Brush-Penfield	Hillebrand y Lundell (1953); Weibel (1961)
U	Fluorescimetría (extracción cromatográfica)	Berthollet (1968); Nicolli <u>et</u> <u>al.</u> (1972)

3.2.1. Uranio total

El procedimiento utilizado comienza con el ataque de un gramo de muestra mediante una mezcla ácida (fluorhídrico, perclórico y nítrico conc.) retomando el residuo con HNO₃ 2,5 N y separando el insoluble por /.

1.

centrifugación. De esta solución se toma una alícuota de 0,10 ml utilizando una micropipeta y se deposita sobre una banda de papel cromatográfico que luego se coloca en una cubeta conteniendo la mezcla extractante constituida por fosfato de tributilo y un solvente alifático (fracción de destilación entre 140 y 205°C). En esta fase se corta y separa la parte superior de la banda de papel que se calcina en navecillas de platino en donde se efectúa luego una fusión con una mezcla fundente (carbonato de sodio y fluoruro de sodio, 90:10). La medición de la fluorescencia se realizó con un fluorímetro "Jarrel-Ash" modelo 26-010 por comparación con patrones de 0,5; 1; 2; 5 y 10 $\mu\text{g U}$ procesados de la misma manera que las muestras. La precisión del método, intervalos de confiabilidad, etc, se encuadran en los límites detallados en un trabajo anterior (Nicolli et al., 1972).

3.2.2. Uranio lixiviable

a) en medio ácido:

La técnica utilizada (Nicolli, 1966) es esencialmente igual a la del uranio total, exceptuando la fase de disgregación. Sobre un gramo de muestra se ataca con HNO_3 0,01 N retomando el residuo con HNO_3 2,5 N separando previamente el insoluble por centrifugación. Las fases subsiguientes continúan de igual manera que para el U total.

b) en medio alcalino:

Varía con respecto al anterior en la solución de ataque: Na_2CO_3 0,01 N; se retoma el residuo con HNO_3 2,5 N.

3.2.3. Determinaciones radimétricas

Han sido efectuadas mediante un escalímetro "Nuclear" modelo ETS 70214, con lecturas de una hora. Los resultados se expresan en ppm eU (equivalentes radimétricos).

4.- ANALISIS ESTADISTICO

Publicaciones precedentes han considerado diversas características de las distribuciones de elementos en rocas: Ahren (1953 a 1966), Jizba (1959), Durovic (1959), Vistelius (1960), Shaw (1961), Rodionov (1965), Dolgushin y Amshinskiy (1966), Ondrick y Griffiths (1969), Nicolli (1969

1.

y 1970), Siegel (1974). Sobre la base de principios aportados por dichos autores, en los párrafos siguientes se hace un análisis de la naturaleza estadística de la distribución de los elementos más abundantes (mayores y menores) y del uranio en rocas graníticas del área. A tal efecto se ha empleado un conjunto de valores experimentales que constituyen poblaciones de referencia aceptables, construyéndose histogramas de frecuencias, diagramas de frecuencias acumuladas (rectas de Henry) y curvas teóricas de densidad de probabilidad.

Con el propósito de comprobar la bondad del ajuste entre los valores de referencia (distribución empírica) y la hipótesis matemática elegida (distribución teórica) se ha aplicado sistemáticamente en cada caso la dócina de Pearson o del χ^2 . Siguiendo las normas de Rodionov (1965) el nivel de significación elegido p es del 5% y con el objeto de aplicar correctamente esta dócina se unieron los intervalos en forma conveniente para tener, dentro de cada clase, un número de valores de la población de referencia nunca menor de 10 (ver cuadro II).

4.1. Elementos mayores y menores

Se consignan algunas características de la distribución estadística de elementos mayores y menores constituyentes de las rocas graníticas estudiadas.

El SiO_2 presenta un histograma bimodal (fig. 3); el valor medio es 71,91%. En el diagrama de frecuencias acumuladas (escala gauss-lineal) se definen dos subpoblaciones que se ajustan correctamente a una distribución binormal (gaussiana doble) según se desprende del valor de χ^2_N calculado para un grado de libertad (cuadro II).

El Al_2O_3 (fig. 4) con un valor medio de 15,34% asume una leve asimetría positiva (Ahrens, 1963a; Rooke, 1964; Nicolli, 1969). En el diagrama de frecuencias acumuladas (escala gauss-logarítmica) se separan dos subpoblaciones con un excelente ajuste a una distribución bilognormal (cuadro II).

El Fe_2O_3 (media= 0,97%) tiene un histograma (fig. 5) con asimetría positiva (Ahrens, 1963a y b; Rooke, op cit.; Nicolli, op cit.). En el diagrama de frecuencias acumuladas se destaca un buen ajuste a una sola población de referencia que sigue una hipótesis lognormal (cuadro II). /.

SiO₂: Ajuste a una distribución binormal.

- 16 -

Límite de los intervalos (%)	67	68	69	70	71	72	73	74	75
Frecuencia (n _i)	3	4	8	4	14	21	13	8	
Frecuencia %		4	5,3	10,7	5,3	18,7	28,0	17,3	10,7
Frecuencia teórica %		2,5	4,4	6,7	9,3	22,7	24,0	16,3	8,2
Frecuencia teórica (N _i)		1,9	3,3	5,0	7,0	17,0	18,0	12,2	6,2
$\frac{(n_i - N_i)^2}{N_i}$			0,19		0,53	0,50		0,37	
$\sum \frac{(n_i - N_i)^2}{N_i}$	71,61								
χ^2_N	1,59								
χ^2_S	3,80								
r - 3	1								

n = 73; $\bar{x} = 71,91\%$; Md = 71,61%
Intervalo de variación: X: 67,4 a 70,5%; Y: 70,5% a 74,93%

Al₂O₃: Ajuste a una distribución binormal.

Límite de los intervalos (%)	11,68	12,59	13,33	14,12	14,96	15,85	16,79	17,78	18,83	19,95
Frecuencia (n _i)	1	3	13	13	18	11	6	5	1	
Frecuencia %	1,4	4,2	18,3	18,3	25,4	15,5	8,5	7,0	1,4	
Frecuencia teórica %		1,2	5,2	13,0	22,5	25,6	16,4	9,9	4,3	1,5
Frecuencia teórica (N _i)		0,8	3,7	9,2	16,0	18,2	11,6	7,0	3,0	1,0
$\frac{(n_i - N_i)^2}{N_i}$			0,79		0,56	0,00	0,03		0,09	
$\sum \frac{(n_i - N_i)^2}{N_i}$	14,84									
χ^2_N	1,47									
χ^2_S	5,99									
r - 3	2									

n = 71; $\bar{x} = 15,35\%$; Md = 14,84%
Intervalo de variación: X: 12,56% a 15,24%; Y: 15,24% a 19,47%

Fe₂O₃: Ajuste a una distribución lognormal.

Límite de los intervalos (%)	0,31	0,39	0,50	0,63	0,79	1,00	1,25	1,58	1,99	2,51
Frecuencia (n _i)	2	3	9	11	29	14	7	7	1	
Frecuencia %	2,4	3,6	10,8	13,3	34,9	16,9	8,4	8,4	1,2	
Frecuencia teórica %		1,4	5,0	11,8	18,2	25,0	18,2	12,3	5,7	1,5
Frecuencia teórica (N _i)		1,2	4,1	9,8	15,1	20,7	15,1	10,2	4,7	1,2
$\frac{(n_i - N_i)^2}{N_i}$			0,08		1,11	3,33	0,08		0,08	
$\sum \frac{(n_i - N_i)^2}{N_i}$	0,978									
χ^2_N	0,35									
χ^2_S	2,18									
r - 3	2									

n = 83; $\bar{x} = 0,97\%$; Md = 0,80%
Intervalo de variación: 0,35% a 2,18%

FeO: Ajuste a una distribución binormal.

Límite de los intervalos (%)	0,17	0,23	0,31	0,42	0,56	0,74	1,00	1,33	1,77
Frecuencia (n _i)	5	3	15	13	22	23	4	1	
Frecuencia %	5,8	3,5	17,4	15,1	25,6	26,7	4,7	1,2	
Frecuencia teórica %		3,7	7,2	13,0	15,8	31,5	15,7	5,8	1,1
Frecuencia teórica (N _i)		3,2	6,2	11,2	13,6	27,1	16,9	5,0	0,9
$\frac{(n_i - N_i)^2}{N_i}$			0,28		0,03	0,96	2,20	0,14	
$\sum \frac{(n_i - N_i)^2}{N_i}$	0,621								
χ^2_N	0,20								
χ^2_S	0,48								
r - 3	2								

n = 86; $\bar{x} = 0,62\%$; Md = 0,52%
Intervalo de variación: X: 0,20% a 0,48%; Y: 0,48% a 1,40%

MnO: Ajuste a una distribución binormal.

Límite de los intervalos (%)	log 0,006	log 0,008	log 0,01	log 0,02	log 0,03	log 0,04	log 0,05	log 0,06	log 0,07	log 0,08	log 0,09	log 0,10	log 0,11
Frecuencia (n _i)	2	3	11	18	16	16	7	8	4	2	0	2	
Frecuencia %	2,2	3,4	12,4	20,2	18,0	18,0	7,9	9,0	4,5	2,2	0,0	2,2	
Frecuencia teórica %		1,6	3,8	11,5	23,0	15,0	18,0	11,7	6,5	3,6	1,9	1,1	0,7
Frecuencia teórica (N _i)		1,4	3,4	10,2	20,5	13,4	16,0	10,4	5,8	3,2	1,7	1,0	0,6
$\frac{(n_i - N_i)^2}{N_i}$			0,06		0,30	0,50	0,00					0,00	
$\sum \frac{(n_i - N_i)^2}{N_i}$	0,353												
χ^2_N	0,005												
χ^2_S	0,035												
r - 3	2												

n = 89; $\bar{x} = 0,035\%$; Md = 0,031%
Intervalo de variación: X: 0,005% a 0,035%; Y: 0,035% a 0,10%

MgO: Ajuste a una distribución binormal.

Límite de los intervalos (%)	0,12	0,16	0,21	0,27	0,35	0,46	0,59	0,77	1,00
Frecuencia (n _i)	2	3	6	12	26	18	4	1	
Frecuencia %	2,8	4,2	8,3	16,7	36,1	25,0	5,6	1,4	
Frecuencia teórica %		1,8	4,5	9,6	15,4	36,0	23,5	7,3	1,1
Frecuencia teórica (N _i)		1,3	3,2	6,9	11,1	25,9	16,9	5,3	0,8
$\frac{(n_i - N_i)^2}{N_i}$			0,01		0,07	0,00		0,00	
$\sum \frac{(n_i - N_i)^2}{N_i}$	0,353								
χ^2_N	0,13								
χ^2_S	0,31								
r - 3	1								

n = 72; $\bar{x} = 0,35\%$; Md = 0,35%
Intervalo de variación: X: 0,13% a 0,31%; Y: 0,31% a 0,82%

CaO: Ajuste a una distribución binormal.

Límite de los intervalos (%)	0,42	0,50	0,59	0,71	0,84	1,00	1,20	1,42	1,71	2,03
Frecuencia (n _i)	1	1	5	11	17	20	20	11	2	
Frecuencia %	1,1	1,1	5,7	12,5	19,3	22,7	22,7	17,5	2,3	
Frecuencia teórica %		0,5	1,8	5,7	12,2	19,7	22,7	24,5	10,2	2,5
Frecuencia teórica (N _i)		0,4	1,5	5,0	10,7	17,3	20,0	21,6	9,0	2,2
$\frac{(n_i - N_i)^2}{N_i}$				0,01		0,01	0,00	0,12		0,29
$\sum \frac{(n_i - N_i)^2}{N_i}$	0,43									
χ^2_N	0,42									
χ^2_S	5,99									
r - 3	2									

n = 89; $\bar{x} = 1,11\%$; Md = 0,99%
Intervalo de variación: X: 0,42% a 1,09%; Y: 1,09% a 1,97%

Na₂O: Ajuste a una distribución binormal.

Límite de los intervalos (%)	1,90	2,20	2,50	2,80	3,10	3,40	3,70	4,00	4,30
Frecuencia (n _i)	1	17	12	11	10	12	6	2	
Frecuencia %	1,4	23,9	16,9	15,5	14,1	16,9	8,5	2,8	
Frecuencia teórica %		7,2	11,3	14,5	16,0	15,0	17,0	8,0	2,5
Frecuencia teórica (N _i)		5,1	8,0	10,3	11,4	10,6	12,1	5,7	1,8
$\frac{(n_i - N_i)^2}{N_i}$			1,83		0,28	0,01	0,03		0,01
$\sum \frac{(n_i - N_i)^2}{N_i}$	3,023								
χ^2_N	2,19								
χ^2_S	3,25								
r - 3	2								

n = 71; $\bar{x} = 3,02\%$; Md = 2,82%
Intervalo de variación: X: 2,19% a 3,25%; Y: 3,25% a 4,22%

K₂O: Ajuste a una distribución binormal.

Límite de los intervalos (%)	3,00	3,30	3,60	3,90	4,20	4,50	4,80	5,10	5,40	5,70	6,00
Frecuencia (n _i)	1	5	16	21	11	6	5	3	2	1	
Frecuencia %	1,4	7,0	22,5	29,6	15,5	8,4	7,0	4,2	2,8	1,4	
Frecuencia teórica %		1,5	7,5	20,1	31,3	13,5	10,7	7,3	4,3	2,2	1,0
Frecuencia teórica (N _i)		1,1	5,3	14,2	22,2	9,6	7,6	5,2	3,1	1,6	0,7
$\frac{(n_i - N_i)^2}{N_i}$			0,10		0,06	0,20			0,08		
$\sum \frac{(n_i - N_i)^2}{N_i}$	0,433										
χ^2_N	3,09										
χ^2_S	4,05										
r - 3	1										

n = 71; $\bar{x} = 4,13\%$; Md = 3,35%
Intervalo de variación: X: 3,09% a 4,05%; Y: 4,05% a 5,74%

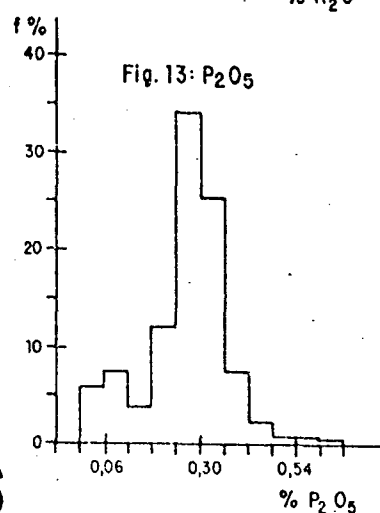
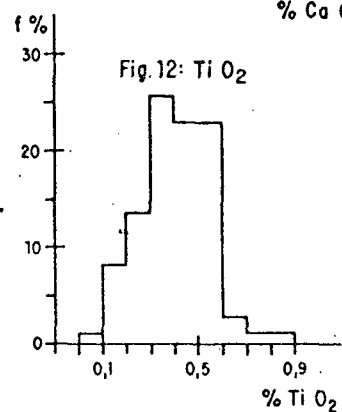
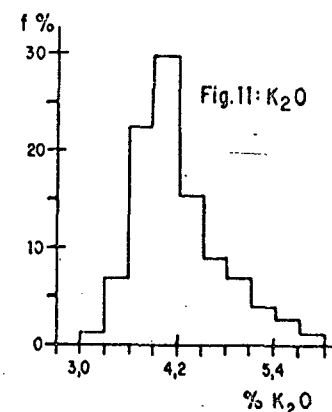
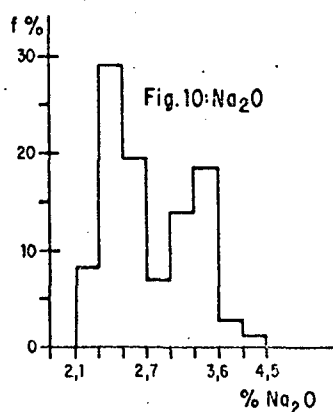
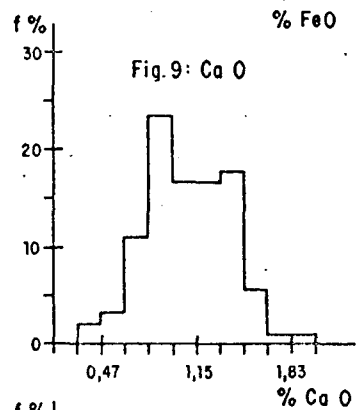
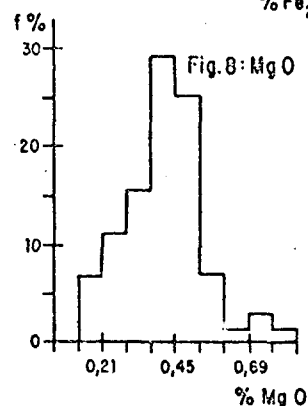
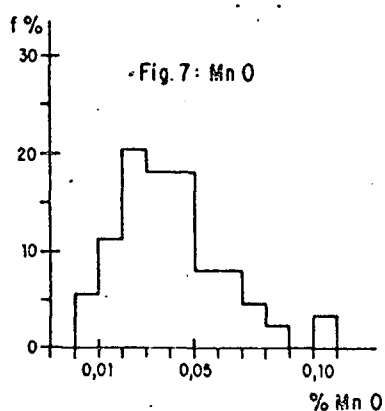
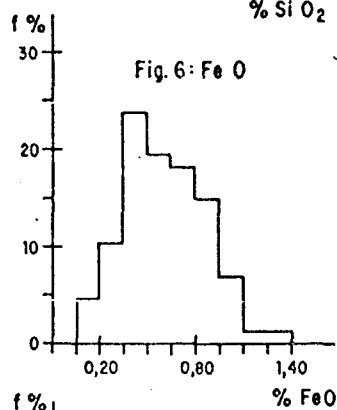
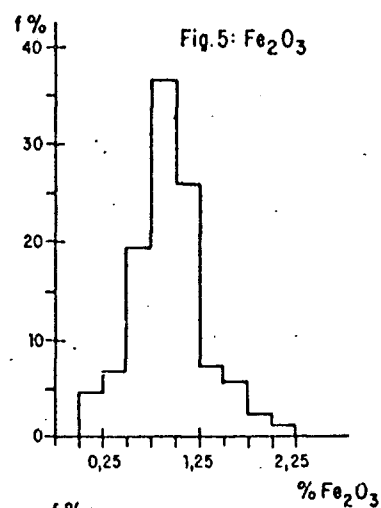
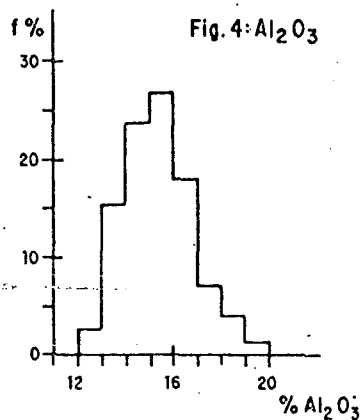
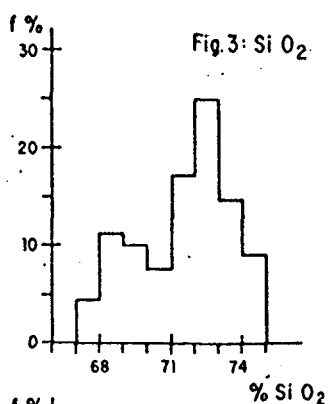
TiO₂: Ajuste a una distribución binormal.

Límite de los intervalos (%)	0,08	0,10	0,12	0,14	0,17	0,21	0,26	0,31	0,38	0,46
Frecuencia (n _i)	1	1	3	5	10	18	23	10	3	
Frecuencia %	1,4	1,4	4,1	6,8	13,5	24,3	31,1	13,5	4,1	
Frecuencia teórica %		0,6	1,9	4,0	7,8	12,5	29,5	26,0	13,4	3,5
Frecuencia teórica (N _i)		0,4	1,4	3,0	5,8	9,3	21,8	19,2	9,9	2,6
$\frac{(n_i - N_i)^2}{N_i}$			0,03			0,05	0,66	0,75		0,02
$\sum \frac{(n_i - N_i)^2}{N_i}$	0,261									
χ^2_N	0,009									
χ^2_S	0,19									
r - 3	2									

n = 74; $\bar{x} = 0,26\%$; Md = 0,23%
Intervalo de variación: X: 0,009% a 0,19%; Y: 0,19% a 0,46%

P₂O₅ (> 0,15%): Ajuste a una distribución binormal.

Límite de los intervalos (%)	0,15	0,18	0,21	0,25	0,29	0,34	0,39	0,46	0,54	0,63	0,73
Frecuencia (n _i)	5	12	28	72	61	33	9	3	2	1	
Frecuencia %	2,2	5,3	12,4	31,9	27,0	14,6	4,0	1,3	0,9	0,4	
Frecuencia teórica %		1,3	6,0	15,5	27,6	26,4	15,4	3,6	1,8	0,8	0



HISTOGRAMAS DE FRECUENCIA: ELEMENTOS MAYORES Y MENORES

El FeO, con una media aritmética de 0,62% presenta también asimetría positiva (histograma de la fig. 6). En el diagrama de frecuencias acumuladas se definen dos rectas de Henry correspondientes a dos subpoblaciones con muy buen ajuste bilognormal (cuadro II).

El MnO, con una media de 0,036% presenta un histograma (fig. 7) con asimetría positiva (Ahrens, 1963a; Rooke, op cit.; Nicolli, op cit.). En el diagrama de frecuencias acumuladas se definen dos subpoblaciones con excelente ajuste a una distribución bilognormal (en el cuadro II, por razones de orden práctico, el límite de los intervalos es el logaritmo de los contenidos).

Los elementos alcalinotérreos, MgO y CaO presentan histogramas con asimetría positiva (figs. 8 y 9); los valores medios son 0,39% y 1,11% respectivamente. Ambos presentan, en el diagrama de frecuencias acumuladas, dos subpoblaciones excelentemente ajustadas a distribuciones bilognormales (ver cuadro II).

Los metales alcalinos tienen valores medios de 3,02% para el Na₂O y de 4,13% para el K₂O. Sus histogramas de frecuencia presentan distintas características: bimodal para el Na₂O y unimodal para el K₂O (fig. 10 y 11, respectivamente) pero ambos definen, en el diagrama de frecuencias acumuladas, dos subpoblaciones con buenos ajustes a la ley gaussiana (ver valores de χ^2_N en el cuadro II).

La distribución estadística del TiO₂ tiene asimetría positiva (fig. 12) con un valor medio de 0,25% destacando, en el diagrama de frecuencias acumuladas, dos subpoblaciones con un buen ajuste bilognormal (cuadro II).

El P₂O₅ presenta un histograma bimodal (fig. 13). Para estudiar su distribución se han considerado independientemente los valores de la población de referencia mayores de 0,15%. En el diagrama de frecuencias acumuladas se definen dos subpoblaciones con un buen ajuste a una distribución bilognormal. No es correcto incluir los valores de P₂O₅ < 0,15% por cuanto forman una población independiente; no se ha completado su análisis debido al insuficiente número de valores de referencia.

Total (s.18 pp) on form 1: Apply a unit deduction to 100 pps

Mérite de los intervalos (μ_m)	1,0	1,3	1,8	2,4	3,2	4,3	5,7	7,5	10,9	13,4	18,6
Frecuencia (n_i)	1	2	5	6	13	26	16	12	6	4	
Frecuencia %	1,1	2,2	5,5	6,6	14,3	28,6	17,6	13,2	6,6	4,4	
Frecuencia geográfica %	0,4	1,9	5,2	10,8	17,4	21,2	19,5	13,1	6,8	3,2	
Frecuencia teórica (%)	0,4	1,7	4,7	9,8	15,9	19,3	17,7	11,9	6,1	2,9	
$(n_i - N_1)^2$			0,41		0,50	2,33	0,16	0,00		0,34	
$N = 91$	$x = 6,0 \text{ mm}$							$M_1 = 4,5 \text{ mm}$			
Intervalo de variación: 1,1 a 16,4 μm											
	$\frac{\sum x}{N} = 3,74$				$\frac{\sum x^2}{N} = 7,80$				$r = 3 = 3$		

U total ($< 18 \mu\text{m}$) en Línea II: Ajuste a una distribución bilognormal.

Límite de los Intervalos (p.p.m)	1,0	1,3	1,8	2,4	3,2	4,3	5,7	7,5	10,0	13,4	18,0
Frecuencia (n_i)	3	4	12	10	7	14	14	7	5	7	
Frecuencia %	3,6	4,8	14,5	12,0	8,4	16,9	16,9	8,4	6,0	9,4	
Frecuencia teórica %	2,5	6,0	13,9	11,9	12,2	13,8	12,2	10,0	7,3	4,7	
Frecuencia teórica (N_i)	2,1	4,9	11,5	9,9	10,1	11,5	10,1	8,3	6,1	3,9	
$\frac{(n_i - N_i)^2}{N_i}$	0,01		0,45		0,54		0,37		0,21		
$n = 83$	$\bar{x} = 5,6$ p.p.m					$Md = 3,9$ p.p.m					
Intervalo de variación: $X: 1,0$ a $2,1$ p.p.m; $Y: 2,1$ a $15,4$ p.p.m											
$\chi^2_N = 1,50$ $\chi^2_N = 5,99$ $r - 3 = 2$											

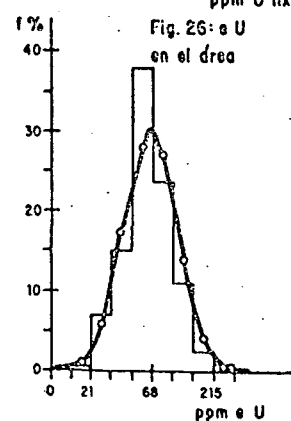
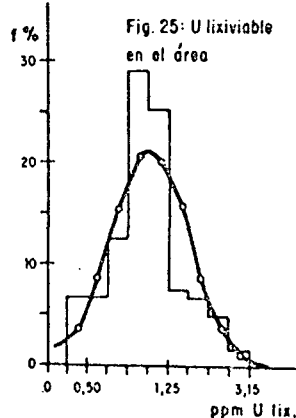
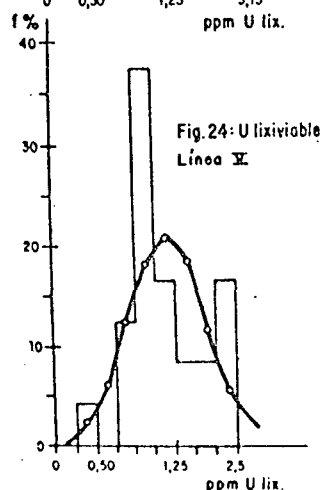
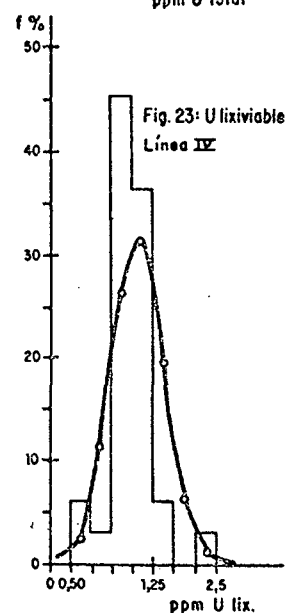
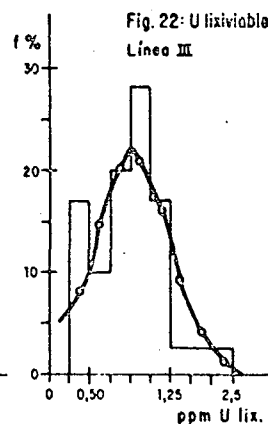
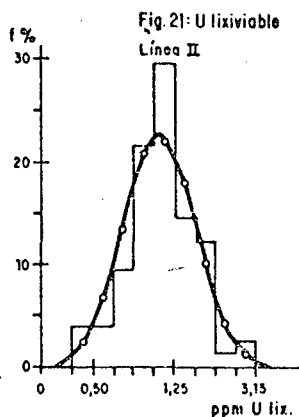
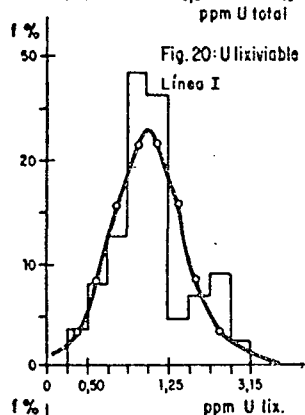
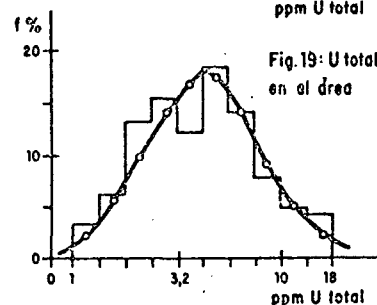
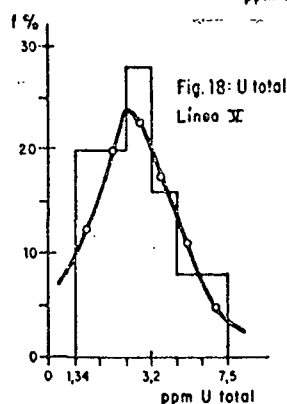
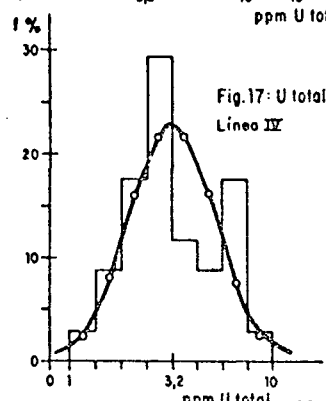
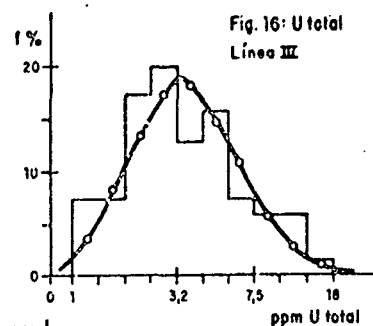
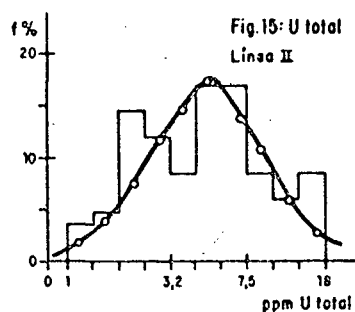
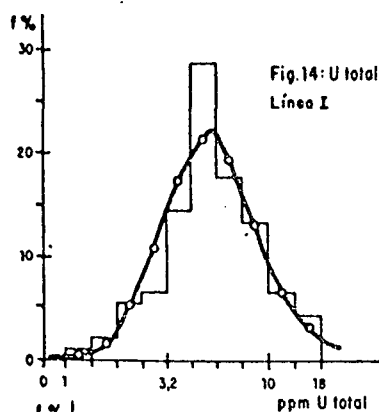
U total (<18 ppm) en Lima III: Ajuste a una distribución lognormal

Límite de los intervalos (ppm)	1,0	1,3	1,8	2,4	3,2	4,3	5,7	7,5	10,0	13,4	18,0
Frecuencia (n_i)	5	5	12	14	9	11	5	4	4	1	
Frecuencia %	7,1	7,1	17,1	20,0	12,9	15,7	7,1	5,7	5,7	1,4	
Frecuencia teórica %	3,8	8,3	13,5	17,3	18,2	15,5	11,0	5,8	2,8	1,1	
Frecuencia teórica (N_i)	2,7	5,8	9,5	12,1	12,7	10,9	7,7	4,1	1,9	0,8	
$\frac{(n_i - N_i)^2}{N_i}$	0,26		0,66	0,30	0,55		0,02				
$n = 70$	$\bar{x} = 4,2 \text{ ppm}$					$Ni = 3,0 \text{ ppm}$					
Intervalo de variación: 1,0 a 14,0 ppm											
$\chi^2_N = 1,79 \quad \chi^2_5 = 5,99 \quad x - 3 = 2$											

U total (<18 µm) en el fono: Ajuste a una distribución bilognormal.

[illegible]el en el átom: Ajuste a una distribución bilognormal.

Límites de los intervalos (µm)	15	22	31	46	68	100	146	215	310
Frecuencia (n_i)	1	16	35	88	55	28	6	3	
Frecuencia Relativa	0,4	6,9	15,1	37,9	23,7	12,1	2,6	1,3	
Frecuencia Relativa	0,6	5,3	20,0	34,3	24,1	11,4	3,5	0,6	
Frecuencia Relativa (N_i)	1,4	12,3	46,4	79,6	55,9	26,4	8,1	1,4	
$\frac{(n_i - N_i)^2}{n_i}$		0,79	2,80	0,89	0,01		0,03		
$n = 212$		$\bar{x} = 71 \mu m$					$MI = 51 \mu m$		
Intervalo de variación: X_1 : 17 a 56 µm; Y_1 : 56 a 253 µm									
$X_N^2 = 4,52$ $X_S^2 = 5,77$ $r^2 = 3 = 2$									



DISTRIBUCIÓN LOGNORMAL DE URANIO: HISTOGRAMAS DE FRECUENCIA

4.2. Uranio

Los 320 valores de U total (líneas I a V) oscilan entre 1,0 y 240 ppm. Para facilitar el análisis estadístico se considera la población empírica de U total < 18 ppm (se excluyen 16 muestras cuyos valores están comprendidos entre 18 y 240 ppm). Los histogramas de frecuencias (figs. 14 a 19) se han representado empleando escala logarítmica en abscisas ya que, como es habitual, se ha aplicado sistemáticamente un ajuste lognormal (Coulomb, 1959; Jurain, 1962; Nicolli, 1966 y 1969; Ranchin, 1967; etc).

La línea I, con el valor medio más alto (6 ppm U total) presenta histograma unimodal (fig. 14) y, en el diagrama de frecuencias acumuladas, una sola recta de Henry con un buen ajuste lognormal (cuadro III). En la línea II la media es de 5,6 ppm y el diagrama de frecuencias acumuladas separa dos subpoblaciones con excelente ajuste a una distribución bilognormal (ver cuadro III). El histograma de frecuencias es trimodal (fig. 15). La línea III tiene un valor medio de 4,2 ppm de U total. Como en el caso de la línea I, en el diagrama de frecuencias acumuladas se define una sola recta de Henry y el ajuste a una distribución lognormal es excelente. El histograma correspondiente (fig. 16) es bimodal. No se incluye un análisis de las líneas IV y V debido a que el número de muestras es insuficiente para poder concretarlo.

La consideración de la población total de valores en el área da una media aritmética de 4,9 ppm. En el diagrama de frecuencias acumuladas se separan dos subpoblaciones con un buen ajuste a una hipótesis bilognormal (ver cuadro III: $\chi^2_N = 8,60$ para 7 grados de libertad).

El análisis estadístico de los equivalentes radiométricos, eU, en el área (ver histograma de la fig. 26) demuestra un buen ajuste a una distribución bilognormal (ver valor de χ^2_N en el cuadro III).

En las figuras 20 a 25 se representan los histogramas de frecuencia correspondientes a los valores de U lixiviable en medio ácido en cada una de las cinco líneas de muestreo y en el área. En el cuadro IV se detallan algunos parámetros estadísticos: $\underline{n}$, el número de muestras considerado; $\bar{\underline{x}}$, la media aritmética; $\underline{Md}$, la mediana estimada para una distribución lognormal. También se consignan esos parámetros para el U lixiviable en medio alcalino y la razón entre los valores de las medianas correspondientes a U lixiviable y U total.

CUADRO IV

U lixiviable

Muestras de	Medio	n	$\bar{\underline{x}}$ (ppm)	Md estimada (ppm)	$\frac{\text{Md U lixiviable}}{\text{Md U total}}$
Línea I	ácido	88	1,09	0,90	0,20
Línea II	ácido	74	1,11	0,94	0,24
Línea III	ácido	70	0,87	0,71	0,24
En el área	ácido	289	1,03	0,89	0,26
En el área	alcalino	68	0,91	0,78	0,23

5.- PARAMETROS PETROQUIMICOS

Con el objeto de obtener un número relativamente reducido de parámetros que definan las características químicas de las rocas estudiadas y una más fácil interpretación de las variaciones en la composición de las mismas, se ha recurrido al cálculo sistemático de los parámetros petroquímicos basados en la norma equivalente de Niggli.

En el cuadro V se consigna la distribución estadística de los cinco parámetros fundamentales a los cuales se agrega, de los secundarios, únicamente el parámetro p en razón de la importancia que habitualmente se asigna al fósforo en la distribución del uranio en ambientes de rocas graníticas.

El parámetro si presenta un histograma de frecuencias bimodal. En el diagrama de frecuencias acumuladas se definen dos rectas de Henry con un buen ajuste a una distribución binormal (ver dócima del χ^2_N en el cuadro V). El valor medio de este parámetro es 410.

El parámetro al tiene una media aritmética de 51,3 y el histograma es, al igual que en el caso de si, bimodal. El diagrama de frecuencias acumuladas presenta dos subpoblaciones que dan un buen ajuste a la distribución bilognormal con un valor de χ^2_N de 1,10 para un grado de libertad.

El parámetro fm, con una media de 10,3, presenta un histograma unimodal. En el diagrama de frecuencias acumuladas se definen dos rectas de Henry, con un excelente ajuste a una distribución binormal. La aplicación de la dócima de Pearson da un $\chi^2_N = 0,20$, para dos grados de libertad.

Para el parámetro c observamos un histograma bimodal y un valor medio de 6,8, definiéndose, en el diagrama de frecuencias acumuladas, dos subpoblaciones con un buen ajuste a una distribución bilognormal (ver cuadro V).

La distribución estadística del parámetro alk presenta un histograma unimodal con asimetría positiva. Su media aritmética es de 31,7 y en el diagrama de frecuencias acumuladas se definen dos rectas de Henry que se ajustan a una distribución binormal (ver cuadro V).

El histograma correspondiente al parámetro p, es bimodal. La media aritmética es 0,43 y en el diagrama de frecuencias acumuladas las dos subpoblaciones presentan un buen ajuste a una hipótesis bilognormal; el χ^2_N tiene un valor de 1,91 para un grado de libertad (ver cuadro V).

sl: Ajuste a una distribución binomial.

Límites de los intervalos	330	345	360	375	390	405	420	435	450	465	480	495	
Frecuencia (n_i)	3	5	6	4	7	16	12	8	6	1	1	1	
Frecuencia %	4,4	7,3	8,7	5,8	10,1	23,2	17,4	11,6	8,7	1,5	1,5	1,5	
Frecuencia teórica %	3,0	4,7	6,3	8,2	10,1	21,8	18,8	13,0	6,8	2,5	0,7	0,7	
Frecuencia teórica (N_i)	2,1	3,2	4,3	5,7	7,0	15,0	13,0	9,0	4,7	1,7	0,5	0,5	
$\frac{(n_i - N_i)^2}{N_i}$	2,02			0,23			0,07			0,08			0,00
$n = 69$	$\chi^2 = 4,10$												
Intervalo de variación:	$\chi^2 = 4,10$												
	$\chi^2 = 2,40$ $\chi^2 = 5,99$ $\alpha - 3 = 2$												

al: Ajuste a una distribución billognormal.

Límites de los intervalos	41,4	43,0	44,7	46,4	48,2	50,1	52,1	54,1	56,2	58,4	60,7
Frecuencia (n_i)	1	2	3	11	7	14	15	11	4	1	
Frecuencia %	1,4	2,9	4,4	15,9	10,1	20,3	21,7	15,9	5,8	1,4	
Frecuencia acumulada %	0,9	2,9	6,0	10,7	15,5	18,4	23,6	14,2	5,5	1,4	
Frecuencia acumulada (N_i)	0,6	2,0	4,1	7,4	10,8	12,7	16,3	9,8	3,8	1,0	
$\frac{(r_i - N_i)^2}{N_i}$	0,60					0,27	0,10	0,13			
$n = 69$	$\bar{X} = 51,3$ Intervalo de variación: $X: 42,9$ a $51,1$; $Y: 51,1$ a $58,4$ $\chi^2_{N-1} = 1,10$ $\chi^2_{5-1} = 3,80$ $r - 3 = 1$ $sd = 50,5$										

fm: Ajuste a una distribución binomial.

Límites de los intervalos	5,0	6,5	8,0	9,5	11,0	12,5	14,0	15,5	17,0
Frecuencia (n _i)	4	7	13	20	15	8	1	1	
Frecuencia %	5,8	10,1	18,8	29,0	21,7	11,6	1,5	1,5	
Frecuencia teórica %	4,3	10,2	18,8	29,0	22,7	10,2	2,8	0,4	
Frecuencia teórica (N _i)	3,0	7,0	13,0	20,0	15,7	7,0	1,9	0,3	
$(n_i - N_i)^2$									
$\frac{1}{N_i}$		0,10	0,00	0,00	0,03		0,07		

$\bar{x} = 10,3$ $ME = 9,5$
 Intervalo de variación: X: 5,6 a 2,7; Y: 8,7 a 16,5
 $\chi^2_{N-1} = 0,20$ $\chi^2_5 = 5,99$ $\chi - 3 = 2$

c: Ajuste a una distribución billognormal.

Límites de los intervalos	1,8	2,1	2,6	3,1	3,8	4,6	5,6	6,8	8,2	10,0	12,0
Frecuencia (n_i)	1	0	0	1	5	14	11	22	13	1	
Frecuencia %	1,5	0	0	1,5	7,4	20,6	16,2	32,4	19,1	1,5	
Frecuencia teórica %	0,1	0,2	1,1	3,2	7,9	14,8	19,7	34,7	15,5	2,6	
Frecuencia (N_i)	0,1	0,1	0,7	2,2	5,4	10,1	13,4	23,6	10,5	1,8	
$(n_i - N_i)^2$											
$\frac{\sum (n_i - N_i)^2}{N_i}$											
$\bar{x} = \frac{\sum n_i}{n}$											
Intervalo de variación:	X: 1,9	a 6,2;	Y: 6,2	10,7							
χ^2_{N-1}	1,08	χ^2_5	= 3,80	r - 3	= 1						

alx: Ajuste a una distribución binomial.

[illegible]

p: Ajuste a una distribución bilomormal.

Límites de los intervalos	0,10	0,13	0,17	0,23	0,31	0,42	0,56	0,74	1,00	1,30
Frecuencia (n_i)	3	3	7	15	9	13	14	4	1	
Frecuencia %	4,4	4,4	10,1	21,7	13,0	18,8	20,3	5,3	1,5	
Frecuencia teórica %	2,1	6,2	10,7	16,0	18,0	19,5	19,5	6,5	1,4	
Frecuencia teórica (N_i)	1,4	4,3	7,1	11,0	12,4	12,8	13,5	4,5	1,0	
$(n_i - N_i)^2 / N_i$		0,00		1,45	0,41			0,05		
$\Sigma = 69$		$\bar{x} = 0,43$						Md = 0,30		
Intervalo de variación:	X: 0,10 a 0,41;	Z: 0,41 a 1,06								
	$x_N^2 = 1,91$	$x_5^2 = 3,80$	$r - 3 = 1$							

DISCUSION

El análisis de los resultados de las determinaciones químicas, radiométricas y fluorescimétricas, de la distribución estadística de sus valores, del cálculo de los parámetros petroquímicos de Niggli y de sus respectivas distribuciones estadísticas, conducen a la interpretación de los fenómenos geoquímicos ocurridos desde el emplazamiento de las rocas graníticas en el área.

En primer término se deben destacar los fenómenos postmagnéticos que afectaron a componentes esenciales y accesorios de las plutonitas. Esos fenómenos están caracterizados por la acción de soluciones de electrólitos fuertes que se traducen en procesos de microclinización o sericitización. Este último proceso se pone en evidencia de manera muy intensa en algunas áreas.

Por su naturaleza, estas soluciones acuosas son capaces de disolver considerables proporciones de sustancias completamente insolubles en agua pura. Tales soluciones provocan la formación de sericita, a partir de feldspatos, con liberación de sílice. La presencia de "islas" silíceas dentro de los cristales de microclino aseveran este hecho. Cabe destacar también los fenómenos de corrosión observados en los bordes de los cristales de apatita (conspícuo portador de uranio) dando lugar a la liberación de constituyentes que pasan a las soluciones circulantes.

Algunos autores soviéticos mencionados por Kalinin (1964) definen estos fenómenos y explican sus causas: mezclas de silicatos o de haluros de metales alcalinos contienen grupos separados de iones de un determinado signo rodeados de iones del signo opuesto, produciéndose un fuerte momento dipolar. Cuando entre ellos un catión tiene un alto potencial de ionización, tiende a entrar en la formación del anión complejo correspondiente; viceversa, si un anión tiene un alto potencial, tiende a formarse el catión complejo. Son comunes los ejemplos de complejos de Fe, Al y Si, actuando como "ligantes" iones OH^- , Cl^- o F^- . Como a alta temperatura la polaridad del H_2O disminuye considerablemente, ciertos metales suelen rodearse de H_2O con el más alto estado de coordinación sólo a bajas temperaturas. Estos compuestos de coordinación en solución representan verdaderos estados de transición entre el estado cristalino y el estado desordenado de alta

temperatura, donde la energía de los estados vibracionales es mayor que la energía de unión.

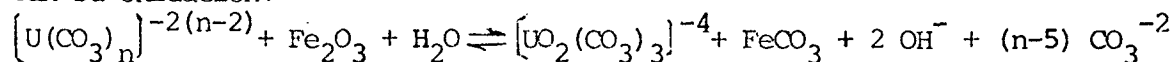
Imperando las condiciones físicoquímicas descritas, ¿qué ocurre con el uranio?. El uranio, al igual que otros metales tales como Cr, W, etc, tiende a la formación de complejos; los mismos iones actúan como ligantes: OH^- , Cl^- , F^- , etc.

Como los complejos del uranio tienen un extenso campo de estabilidad, es fácil suponer la puesta en solución del uranio disponible al estado de oxidación +6. Los complejos de UO_2^{++} con el F^- son: $[\text{UO}_2\text{F}]^+$, $[\text{UO}_2\text{F}_3]^-$, $[\text{UO}_2\text{F}_4]^{-2}$ y, posiblemente $[\text{UF}_6]^{-2}$; también puede formarse UO_2F_2 . Los complejos con el ión Cl^- son muy poco frecuentes y cuando están presentes lo hacen en ínfima proporción: $[\text{UO}_2\text{Cl}]^+$.

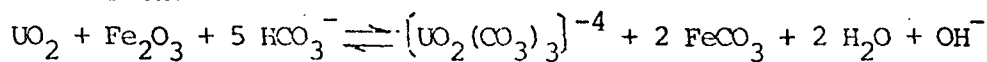
La naturaleza de los complejos silicatados es, por su parte, poco conocida. En cuanto a los complejos sulfatados: $[\text{USO}_4]^{+2}$, $[\text{UO}_2(\text{SO}_4)_2]^{-2}$, $[\text{UO}_2(\text{SO}_4)_3]^{-4}$; aún cuando algunos autores les asignan importancia en el transporte del uranio en soluciones hidrotermales, se debe tener en cuenta que sus campos de estabilidad están mucho más restringidos que los de los complejos con F^- o con CO_3^{-2} ; con estos últimos guardan ciertas similitudes estructurales; también pueden formarse: $\text{U}(\text{SO}_4)_2$ y UO_2SO_4 .

Cabe mencionar ahora los complejos carbonatados: $[\text{UO}_2(\text{CO}_3)_3]^{-4}$, $[(\text{UO}_2)_2(\text{CO}_3)_5(\text{H}_2\text{O})_2]^{-6}$, $[\text{UO}_2(\text{CO}_3)_2(\text{H}_2\text{O})_2]^{-2}$, $[(\text{UO}_2)_2(\text{CO}_3)_3\text{OH}(\text{H}_2\text{O})_5]^{-3}$, $[\text{UO}_2\text{CO}_3\text{OH}(\text{H}_2\text{O})_3]^-$; el primero y el tercero de la serie reseñada, conocidos como UTC y UDC, son los que adquieren mayor importancia en el transporte del uranio debido a que sus campos de estabilidad son amplísimos. La concentración de los otros complejos carbonatados suele ser a menudo despreciable.

También deben mencionarse algunos compuestos de U^{+4} que suelen formarse esporádicamente, ya que la presencia de iones Fe^{+3} (ya sea en los minerales constituyentes de las rocas o en las soluciones circulantes) provocan su oxidación:



También la presencia de Fe^{+3} provoca la oxidación de la pechblenda presente en la roca:



La acción de los complejos carbonatados tiene gran importancia cuando circulan soluciones a bajas temperaturas (entre 150°C y temperatura ambiente). Este hecho es relevante por cuanto posibilita una intensa lixiviación de los minerales esenciales (ya alterados) de las plutonitas sólo con el aporte de aguas meteóricas. Al respecto cabe señalar que más de la mitad del uranio presente en las rocas graníticas está en los minerales esenciales (Leonova y Renne, 1964) y que la mayor proporción suele estar en los feldespatos (Osipov et al., 1964, señalan que el 37,80% del uranio presente en un granito leucocrático está en los feldespatos).

En un trabajo anterior se incluye una discusión más amplia de los procesos donde intervienen complejos carbonatados (Nicolli et al., 1975).

Por último deben mencionarse los complejos de OH^- , de variada importancia geoquímica: $\{\text{UO}_2\text{OH}\}^+$, también suelen formarse $\text{U}(\text{OH})_4$ y $\text{UO}_2(\text{OH})_2$.

Los resultados de las determinaciones fluorescimétricas de uranio son congruentes con el hecho de que una intensa lixiviación ha afectado todo el cuerpo granítico del área ya que; considerando una distribución lognormal, la mediana estimada, 3,4 ppm de U total no es un valor alto para este tipo de roca; varios antecedentes bibliográficos así lo certifican (Coulomb, 1959; Jurain, 1962; Nicolli, 1966; Ranchin, 1967). Por otra parte, las líneas geoquímicas extendidas hacia el Oeste, donde la lixiviación ha sido más intensa, presentan valores de la mediana aún menores; este parámetro crece hacia el Este, lugares donde circunstanciales precipitaciones del ión UO_2^{++} están controladas por la presencia del ión PO_4^{-3} (se ha observado autunita y metaautunita en forma de pátinas sobre superficies de fracturación situadas al Este de la falla principal, en especial sobre la línea I, al Este de la manifestación Schlagintweit). Se destaca el valor relativamente alto de la mediana estimada para la línea I: 4,5 ppm U total; por otra parte la media aritmética $\bar{x} = 0,30\% \text{P}_2\text{O}_5$ y la mediana estimada para una hipótesis de distribución lognormal del fósforo, es igual a 0,27% P_2O_5 . Ambos valores son muy altos para este tipo de roca (Daly, 1933: 0,19 a 0,20% P_2O_5 en granitos y granodioritas; Sahama, 1945: 0,18% P_2O_5 en granitos ricos en potasio) debiendo destacarse que los valores mayores se agrupan al Este de la misma anomalía. Consecuentemente el parámetro petroquímico p toma valores muy altos: $\bar{x} = 0,43$; mediana estimada en 0,30 para una hipótesis bilognormal.

Destacamos otros hechos observados:

- La baja disponibilidad actual de U lixiviable en las rocas graníticas es estudiada (ver cuadro IV) ya que la relación de su mediana (0,89 ppm) con la mediana correspondiente a U total en el área es del orden del 26%.
- El alto valor de los equivalentes radimétricos (eU) que alcanzan una media de 71 ppm con una mediana estimada en 51 ppm. La relación entre la mediana correspondiente al U total y la del equivalente radimétrico es de sólo el 6,7%.

Este fuerte desequilibrio es otro de los fenómenos vinculados con la lixiviación del uranio. En efecto: la extraordinaria movilidad de los compuestos de uranio contrasta con los minerales de torio, por lo general prácticamente insolubles y, por lo tanto, muy poco móviles. Los productos de desintegración de la familia del torio y de la familia del uranio-radio participan de las mismas características. Es ésa la razón por la cual, en los ciclos de oxidación, el uranio se separa de sus productos de desintegración, los cuales permanecen in situ como productos residuales.

Se sabe (Jurain, 1962) que la actividad gamma está dada por $M\text{Th}_2$, ThC y ThC'' . Estos dos últimos son los principales emisores beta de su serie. En la familia uranio-radio en equilibrio, RaC y RaB representan el 83 y el 14%, respectivamente, de la actividad gamma de la familia y tan sólo el 2,1% corresponde a la subfamilia del uranio. La emisión beta está dada por Ux_2 , RaC , RaC'' y RaE .

- Los fenómenos tectónicos operados en el área, de los cuales resulta un notable aumento de la permeabilidad de las rocas, han facilitado la circulación de soluciones descendentes, las cuales, en las condiciones ambientales descritas, han provocado la referida lixiviación con la sola limitación dada por la magnitud del aporte de aguas meteóricas.

7.- CONSIDERACIONES FINALES

De todo lo expuesto precedentemente surgen las siguientes evidencias:

- Los valores de uranio total, uranio lixiviable y equivalentes radimétricos presentan distribuciones con un buen ajuste a una hipótesis lognormal.

- Al_2O_3 , Fe_2O_3 , FeO , MnO , MgO , CaO , TiO_2 y P_2O_5 se ajustan a una distribución lognormal; SiO_2 , Na_2O y K_2O lo hacen a una gaussiana.
- Los parámetros petroquímicos de Niggli si, fm y alk dan distribuciones normales; al, c y p tienen distribuciones lognormales.
- En general, valores mayores de 7 ppm U total se dan en muestras cuyo parámetro si varía entre 350 y 405; valores menores de 3 ppm U total se dan en muestras con si comprendido entre 405 y 460.
- Los fenómenos de alteración observados (sericitización de plagioclasas y microclino, presencia de islas silíceas dentro de este mineral que no se deben a fenómenos de reemplazo y el ataque de los constituyentes esenciales y accesorios por parte del cuarzo) indican la acción de fenómenos autometamórficos.
- Los altos valores radimétricos ($\text{Md} \approx 51$ ppm) respecto de los valores de U total ($\text{Md} \approx 3,4$ ppm) demuestran un fuerte desequilibrio radiactivo.
- Los valores de U lixiviable ($\text{Md} \approx 0,89$ ppm) representan el 25% del U total.
- Los acontecimientos tectónicos operados en el área han producido fracturación con estructuras diédricas, diaclasamiento intenso, marcada cataclasis, etc, dando como resultado un aumento de la permeabilidad de las plutonitas, lo cual facilita notablemente la circulación de soluciones.
- En las condiciones descritas precedentemente se ha operado una intensa lixiviación de las rocas graníticas con la sola condición de la existencia de un aporte suficiente de aguas meteóricas.
- Se estima conveniente que las investigaciones futuras incluyan un estudio de sólidos disueltos, pH, Eh y contenidos uraníferos en las aguas superficiales y subterráneas del Este de la Sierra de Los Gigantes hasta el Valle de Punilla, complementado por un estudio comparativo de sedimentos del valle que comprenda porosidad, permeabilidad, textura, estructura, composición y contenido en uranio.

AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren expresar su agradecimiento por la ayuda de distintos sectores del Area de Materias Primas de la Comisión Nacional de Energía Atómica. En primer lugar al laboratorio de Mineralogía y Petrología y al laboratorio de Geoquímica por las facilidades brindadas para el desarrollo de la parte experimental; a la Delegación Centro por su colaboración en los trabajos de campo y muestreo sistemático; al Departamento de Recursos Minerales por el interés manifestado en el tema y a la Sección de Cartografía por el dibujo de mapas y diagramas.

Además resulta oportuno, con motivo de este II Congreso Iberoamericano de Geología Económica, la mención y el recuerdo de la Universidad de Salamanca, donde uno de los autores (H.B.N.) defendió su Tesis doctoral y de la Junta de Energía Nuclear de Madrid, en cuyos laboratorios se inició en los estudios geoquímicos del uranio, guiados sus primeros pasos por el Dr. D.Francisco de Pedro Herrera.

A todos lleguen las expresiones de reconocimiento y gratitud.

LISTA DE TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- AHRENS, L.H., 1953. A fundamental law of geochemistry. Nature, 172, 1148.
- AHRENS, L.H., 1954. The lognormal distribution of the elements. Geochim. Cosmochim. Acta, 5, 49-73.
- AHRENS, L.H., 1963a. Lognormal-type distributions in igneous rocks. IV. Geochim. Cosmochim. Acta, 27, 333-343.
- AHRENS, L.H., 1963b. Element distributions in igneous rocks. V. Geochim. Cosmochim. Acta, 27, 877-890.
- AHRENS, L.H., 1966. Element distributions in specific igneous rocks. VIII. Geochim. Cosmochim. Acta, 30, 109-122.
- BERTHOLLET, P., 1968. Méthodes d'analyses utilisées par la Section Géochimie. Rapport C.E.A., R-2557, París.
- COULOMB, R., 1959. Contribution a la géochimie de l'Uranium dans les granites intrusifs. (Tesis doct., Fac.Ciencias, Univ.París). Publ. Comm. a l'Energie Atomique. Rapport C.E.A., N° 1173.
- CHARLOT, G. y BEZIER, D., 1955. Analyse quantitative minérale. Mason, París.

- DALY, R.A., 1933. Igneous rocks and the depths of the earth. Vol. I, N.York y Londres.
- DOLGUSHIN, S.S. y AMSHINSKIY, N.N., 1966. Uranium distribution in certain Altay granitoid intrusives. Geochem. Int., 3, 862-866 (Geokhimiya, N° 9, 1081-1086, 1966).
- DUROVIC, S., 1959. Contribution to the lognormal distribution of the elements. Geochim. Cosmochim. Acta, 15, 330-366.
- FALCHI, G. y TONANI, F., 1964. Procedura Rapida per l'Analisi delle Rocce. Comitato Nazionale Energia Nucleare, RT/GEO (64) 6, Roma.
- GRILLOT, H.; BEGUINOT, J.; BOUCEITA, M.; ROUQUETTE, C. y SIMA, A., 1964. Méthodes d'Analyse quantitative appliquées aux roches et aux prélèvements de la prospection géochimique. Mém. Bur. Rech. géol. minér., N° 30, París.
- GY, P., 1954. L'échantillonnage des minerais. Erreur commise dans le prélèvement d'un échantillon sur un lot de minéral. Revue Ind. minér., Sect. A, 35, 311-345.
- HALPERN, M.; LINARES, E. y LATORRE, C.O., 1970. Estudio preliminar por el método estroncio-rubidio de rocas metamórficas y graníticas de la provincia de San Luis, República Argentina. Rev. Asoc. Geol. Arg., XXV, 293-302.
- HILDEBRAND, G.P. y REILLEY, C.N., 1957. New indicator (calcon) for complexometric titration of calcium in presence of magnesium. Analyt. Chem., 29, 258-264.
- HILLEBRAND, W.F. y LUNDELL, G.E.F., 1953. Applied inorganic analysis. John Wiley, N.York.
- JIZBA, J.V., 1959. Frequency distribution of elements in rocks. Geochim. Cosmochim. Acta, 16, 79-82.
- JURAIN, G., 1962. Contribution a la connaissance géochimique des familles de l'Uranium-radium et thorium dans les Vosges Méridionales. Application de certains résultats en prospection des gisements d'Uranium (Tesis doct., Fac. Ciencias, Univ. Nancy) Rapport C.E.A., N° 2154, París.
- KALININ, D.V., 1964. The role of strong electrolytes in post magmatic mineralizing solutions. Geochem. Int., 1, 86-88 (Geokhimiya, N° 2, 181-184, 1964).
- KITSON, R.E. y MELLON, M.G., 1944. Colorimetric determinations of phosphorus as molybdivanadophosphoric acid. Ind. Engng. Chem. analyt. Edn., 16, 379-383.
- LAFFITTE, P., 1957. Introduction al'étude des roches métamorphiques et de gîtes métallifères. Mason, París.

- LANGMYHR, F.J. y PAUS, P.E., 1968. The analysis of inorganic siliceous material by atomic absorption spectrometry and the hydrofluoric acid decomposition technique. Part I: The analysis of silicate rocks. Anal.Chim. Acta, 43, 397-408.
- LEONOVA, L.L. y RENNE, O.S., 1964. Distribution of uranium, thorium and potassium in homogeneous granites. Geochem.Int., 1, 775-781 (Geokhimiya, N° 8, 788-794; 1964).
- LINARES, E. y LATORRE, C.O., 1969. Edades Potasio-Argón y Plomo-Alfa de rocas graníticas de las Provincias de Córdoba y San Luis. Actas IVas. Jornadas Geol.Arg., II, 195-204 (Bs.Aires, 1970).
- LINARES, E. y LATORRE, C.O., 1972. Nuevas edades radiométricas por el método potasio-argón, de rocas graníticas de Córdoba y San Luis. Actas Vto. Congr.Geol.Arg., I, 405-410 (Bs.Aires, 1973).
- MULLIN, J.B. y RILEY, J.P., 1955. The colorimetric determination of silica with special reference to sea and natural waters. Anal.Chim. Acta, 12, 162-176.
- NESBITT, R.W., 1966. Determination of magnesium in silicates by Atomic Absorption Spectroscopy. Anal.Chim. Acta, 35, 413.
- NICOLLI, H.B., 1966. Estudio de la Geoquímica del Uranio en rocas graníticas españolas. Tesis doct., Fac.Ciencias, Univ.Salamanca, España.
- NICOLLI, H.B., 1969. Distribución estadística de elementos en rocas graníticas. Rev.Asoc.Geol.Arg., XXIV, 139-157.
- NICOLLI, H.B., 1970. Análisis estadístico de la distribución de elementos en rocas graníticas. Bol.Acad.Nac.Ciencias, Córdoba, XLVII, 273-281.
- NICOLLI, H.B.; LUCERO, H.N. y GAMBA, M.A., 1972. Observaciones geológico-tectónicas y consideraciones sobre la geoquímica del uranio en las plutonitas de las Sierras de Los Gigantes, Prov.de Córdoba, República Argentina. Actas Vto.Congr.Geol.Arg., II, 243-266 (Bs. Aires, 1974).
- NICOLLI, H.B.; LUCERO, H.N. y GAMBA, M.A., 1975. Geoquímica del uranio en el faldeo occidental de la Sierra de Comechingones y en el valle del río Conlara, provincia de San Luis. II. Aguas subterráneas y procesos de lixiviación, transporte y precipitación del uranio. Actas Acad.Nac.Cienc., Córdoba, LII, entregas 3-4 (en prensa).
- ONDRICK, C.W. y GRIFFITHS, J.C., 1969. Frequency Distribution of Elements in Rensselaer Graywacke, Troy, New York. Geol.Soc.America Bull., 80, 509-518.
- OSIPOV, D.K., ZHURAVLEV, R.S. y KOMARNITSKIY, G.M., 1964. Geochemistry of uranium in granitoids of the upper Kondoma massif (Gornaya Shoriya). Geochem. Int., 1, 340-345 (Geologiya i Geofizika, Acad.Cienc. URSS, 6, 48-57; 1964).

- RANCHIN, G., 1967. La distribution statistique de l'Uranium dans les roches de surface prélevées sur un massif granitique. Exemple du massif de Saint-Sylvestre (Limousin). Sci.de la Terre, XII, 249-274.
- RILEY, J.P., 1958. The rapid analysis of silicate rocks and minerals. Anal. Chim. Acta, 19, 413-428.
- RODIONOV, D.A., 1965. Distributions functions of the element and mineral contents of igneous rocks. Trad.del ruso, Consultant Bureau, N.York.
- ROOKE, J.M., 1964. Element distribution in some acid igneous rocks of Africa. Geochim. Cosmochim. Acta, 28, 1187-1197.
- SAHAMA, Th.G., 1945. On the chemistry of the east Fennoscandian rapakivi granites. Compt.rend. Soc.Geol.Finlande, 18; Bull.Com.geol.Finlande, 136, 15.
- SHAPIRO, L. y BRANNOCK, W.W., 1956. Rapid analysis of silicate rocks. U.S. Geol.Surv., Bull. 1036-C.
- SHAW, D.M., 1961. Element distribution laws in geochemistry. Geochim. Cosmochim. Acta, 23, 116-134.
- SIEGEL, F.R., 1974. Applied Geochemistry. J.Wiley, N.York. cap.8, 202-227.
- TRENT, D. y SLAVIN, W., 1964. Determination of the major metals in granitic and dibasic rocks by Atomic Absorption spectrophotometry. Atomic Absorption Newsletter, 19, 1-6.
- VINCENT, E.A., 1960. Analysis by gravimetric and volumetric methods, flame photometry, colorimetry and related techniques (En: Methods in Geochemistry, A.A.Smales y L.R.Wager, ed., Cap.III, 33-80) Interscience, N.York.
- VISTELIUS, A.B., 1960. The skew frequency distributions and the fundamental law of the geochemical processes. J.Geol., 68, 1-22.
- WEIBEL, E.A., 1961. Die Schnellmethoden der Gesteinsanalyse. Schweiz.miner. petrogr.Mitt., 41, 285-294.