

C.N.E.A. Biblioteca	
ARCHIVO PUBLICACIONES	
Nº 1	AÑO 1979

05.79.02

BOLETIN DE LA ACADEMIA NACIONAL DE CIENCIAS. CORDOBA, Argentina.
Tomo 53, entregas 1 - 2. Diciembre de 1979.

GEOQUIMICA DEL URANIO EN AGUAS SUBTERRANEAS DEL VALLE DEL RIO CONLARA, PROVINCIAS DE SAN LUIS Y CORDOBA: FACIES HIDROGEOQUIMICAS Y ESTUDIOS TERMODINAMICO-QUIMICOS RELACIONADOS CON PROCESOS DE LIXIVIACION, TRANSPORTE Y PRECIPITACION DE UO_2

HUGO B. NICOLLI * y MIRTHA A. GAMBA **

SYNOPSIS

Geochemical characteristics of ground waters related with lixiviation, transport and precipitation of uranium in the Conlara valley (provinces of San Luis and Córdoba) are studied.

Anions and cations' distributions, together with hardness, specific conductivity, pH, Eh, and uranium and vanadium contents, has been studied. Those parameters characterize four hidrogeochemical facies along an E-W profile: a calcic strong bicarbonate facies, an alkaline-calcic bicarbonate facies, an alkaline sulfate facies, and a strong alkaline sulfate facies. An "interphase zone" (transition from bicarbonate water to sulfate water), where changes in composition may define a geochemical environment capable of UO_2 precipitation, has been determined.

The chemical-thermodynamic studies give a dominance of UDC and UTC complex ions (even in sulfate waters), so they represent the 99 % of present ions. Besides, the calculated values required for equilibrium with uraninite or carnotite resulted much greater than those obtained in the performed experiments. It means that the precipitation of those minerals requires either the presence of greater amounts of uranium or vanadium, or a reducing environment with Eh values smaller than the observed ones.

Finally, the steps to be taken in future investigations are suggested in view to a drilling plan where:

- 1) Priority to the "interphase zone" areas is given.
- 2) The deepest aquifers in Tertiary sediments of the basin have to be reached in order to get the convenient environmental conditions (i.e. smallest Eh values) for uranium or uranium-vanadium precipitation.

SINOPSIS

Este trabajo comprende el estudio geoquímico de las aguas subterráneas del valle del río Conlara, provincias de San Luis y Córdoba, relacionadas con fenómenos de lixiviación, transporte y precipitación del uranio.

Se ha estudiado la distribución de sólidos disueltos (aniones y cationes), dureza, conductividad específica, pH, Eh y contenidos en uranio y vanadio, que caracterizan la distribución de cuatro facies hidrogeoquímicas sobre un

* Departamento de Geología Económica, Comisión Nacional de Investigaciones Espaciales; Investigador del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas.

** Gerencia de Exploración, Dirección de Suministros Nucleares, Comisión Nacional de Energía Atómica.

perfil idealizado E-O: facies bicarbonatada fuerte, cálcica; facies bicarbonatada, alcalino-cálcica; facies sulfatada, alcalina dominante; y facies sulfatada, alcalina fuerte. También se estableció una "zona de interfase" (transición entre aguas bicarbonatadas y sulfatadas) donde los cambios de composición pueden crear un medio adecuado para la precipitación del UO_2 .

Los estudios termodinámico-químicos revelan que las especies complejas dominantes son el UDC y el UTC (aún en aguas sulfatadas) los cuales, sumados, representan más del 99 % de los iones presentes. También se deduce que los valores calculados para el equilibrio con uraninita o carnotita son mucho mayores que los obtenidos experimentalmente, por lo que es necesario para la precipitación de esos minerales la presencia de mayores cantidades de uranio y/o vanadio o, en su defecto, un ambiente reductor con valores de Eh mucho menores que los observados.

Finalmente se dan las pautas para la programación de un plan de perforaciones en el cual: 1) se considere como prioritarias las áreas situadas en la "zona de interfase"; 2) se trate de alcanzar los acuíferos más profundos, en los sedimentos terciarios de la cuenca, donde se den condiciones ambientales adecuadas (valores de Eh más bajos) para la precipitación de uranio o uranio-vanadio.

INTRODUCCION

El faldeo occidental de la Sierra de Comechingones y el margen oriental de la Sierra de San Luis, por sus características geológico-tectónicas, petrográficas y la intensidad y tipo de la alteración observada, definen áreas en donde los fenómenos de lixiviación por acción de aguas bicarbonatadas juegan importante papel, constituyendo las principales fuentes del uranio del valle del río Conlara.

En trabajos anteriores (NICOLLI *et al.*, 1976a y b) se comprobaron tales fenómenos y, tomando en consideración resultados de análisis químicos de 140 muestras, proporcionadas por el Convenio Argentino Alemán de Aguas Subterráneas (CAAAS), se caracterizó una zonación en la distribución de las aguas subterráneas sobre perfiles idealizados E-O (zona de *recarga* - zona de *descarga* de la cuenca). En general, teniendo en cuenta los productos de solubilidad de las sales más comunes, se observa que la composición de las aguas subterráneas va variando desde la zona de recarga a la de descarga, haciéndose más salina y definiendo facies hidrogeoquímicas caracterizadas por el dominio de bicarbonatos, o de sulfatos, determinando una zona de transición en donde los cambios de composición pueden provocar fenómenos de precipitación de UO_2 .

Para evaluar la probabilidad de ese fenómeno y su intensidad ha sido necesario contar, en el presente trabajo, con un número mucho mayor de muestras seleccionadas de aguas subterráneas (285 contra 140) muchas de las cuales pertenecen al área de transición antes mencionada, y sumar a las determinaciones habituales de sólidos disueltos, dureza, conductividad específica y pH, otras muy importantes para cumplir con la finalidad de la presente investigación, como Eh y contenido en uranio y vanadio. El método de análisis estadístico de los datos es análogo al de un trabajo anterior (NICOLLI *et al.*, 1976b) pero con un mayor número de datos analíticos; se agrega un estudio termodinámico-químico detallado de las especies iónicas complejas del uranio, destacando sus rangos de estabilidad y los valores de equilibrio con sólidos, productos de fenómenos de precipitación, tal como el UO_2 .

Para la elaboración se ha dispuesto de todas las facilidades analíticas brindadas por el laboratorio de geoquímica de la Sede Central de la Comisión Nacional de Energía Atómica y de los laboratorios móviles del interior del país.

1. EL VALLE DEL RIO CONLARA

El valle del Conlara está ubicado en las provincias de San Luis y Córdoba. Sus límites son: al N la Sierra de Pocho y el río de los Sauces, al S las sierras de Tilisarao, la Estanzuela, San Felipe y Cerro del Morro, al E la Sierra de Comechingones y al O la Sierra de San Luis, siendo estas dos últimas serranías casi paralelas y de rumbo N-S.

La zona de estudio abarca desde el límite N del valle hasta el paralelo 63° 83', totalizando una superficie de 1.300 km² (ver mapa de la Fig. 1).

1.1. Hidrogeología regional

El valle es una depresión tectónica, entre dos bloques cristalinos (Sierra de Comechingones y de San Luis), rellena con productos de erosión de las regiones altas lindantes y, en menor proporción, por loess. En general, la parte inferior del paquete sedimentario del valle es de una granulometría fina y poco permeable, mientras que en la superior alternan capas de granulometría fina y gruesa que pueden ser consideradas en su totalidad con permeabilidad regular a buena. El mayor aporte de los sedimentos proviene de la Sierra de Comechingones, al E y NE, elevándose así la superficie del suelo en esa dirección y desplazando al río Conlara hacia el flanco occidental del valle.

En las muestras de perforaciones estudiadas por el Instituto Nacional de Ciencia y Técnica Hídricas, INCYTH (MERE A LLANO, 1977) se encontró abundante cantidad de trizas de vidrio volcánico hasta una profundidad variable entre 20 y 50 m, lo cual indicaría sedimentación eólica del Pleistoceno Superior. METHOL (1971) señala sedimentos terciarios aflorando al SO de Santa Rosa, en las márgenes del río Conlara, y supone su continuación en los niveles más profundos del valle. Los datos de perforaciones indican que se los encuentra, a partir de los 60 m de profundidad, en la faja vecina a la Sierra de San Luis.

Los pequeños relictos de sedimentitas terciarias están constituidos por areniscas con cemento calcáreo, de color pardo, y areniscas conglomerádicas micáceas, rojizas, que yacen en las partes profundas de las áreas deprimidas, supuestamente bajo el relleno más moderno. En el cuadro estratigráfico de METHOL (*op. cit.*) se las ubica en el Mioceno-Plioceno.

SANTA CRUZ (1974), bajo la denominación "Formación Papagayos", describe unas areniscas conglomerádicas finas con abundante matriz limosa y gran cantidad de cemento calcáreo, de color castaño rojizo claro, poco compactas, con estratificación mediana a gruesa, buzando 70° al O. Sus afloramientos se encuentran al NE

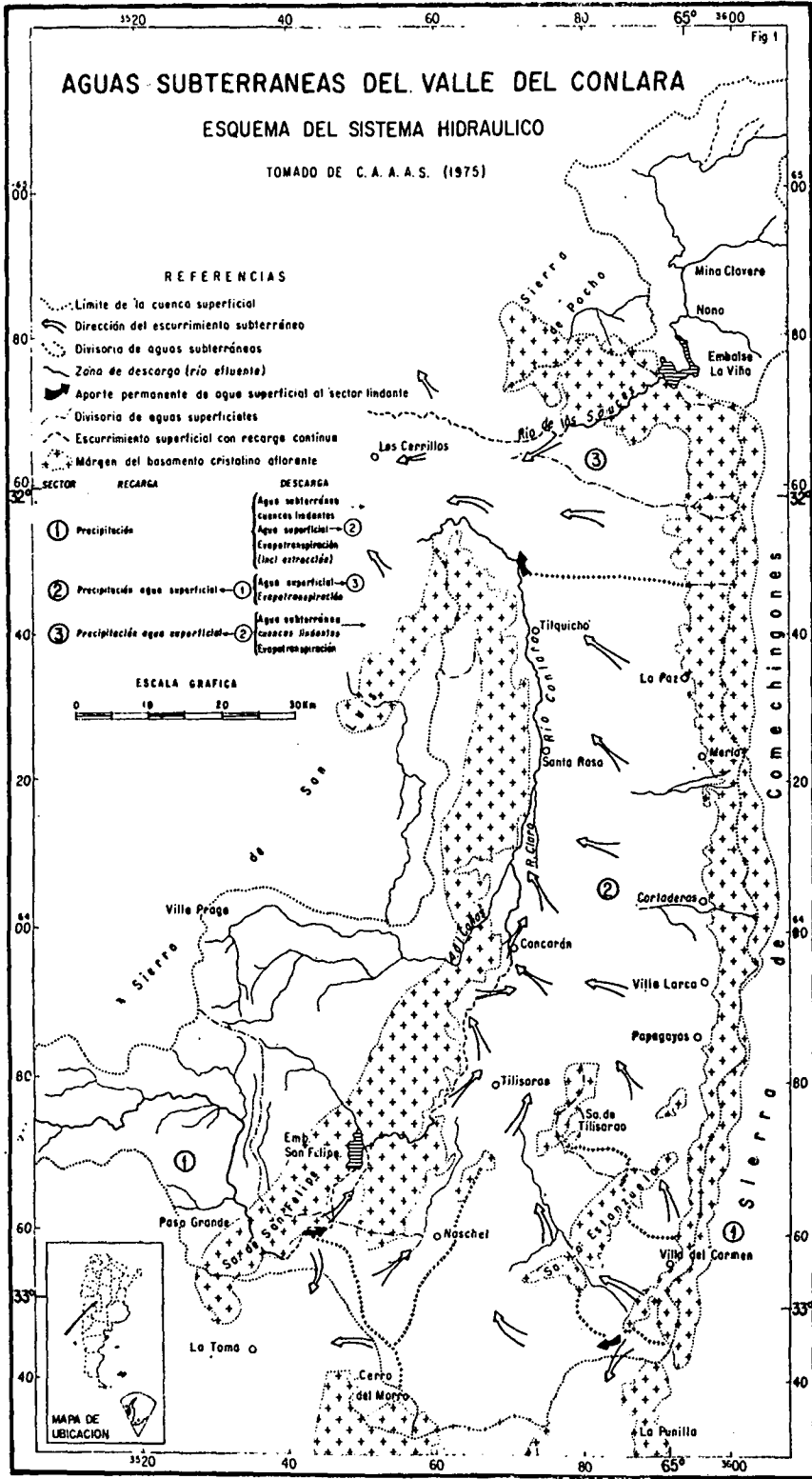


Fig. 1

de Villa del Carmen y, además, identifica dentro de esta Formación los afloramientos cortados por el arroyo Papagayos y por el río Conlara, entre San Pablo y Santa Rosa; tentativamente los considera dentro del Terciario Superior. En los sedimentos terciarios al O de Santa Rosa se reconocieron impregnaciones uraníferas, dentro de costras calcáreas que, probablemente, deben su origen a las mismas aguas circulantes que originaron la tosca.

El CAAAS (1975), mediante la aplicación de la técnica geoelectrónica, por medio de un gran número de mediciones, determinó la profundidad del basamento cristalino (ver mapa de la Fig. 19). De la observación de las isobatas del basamento se deducen tres cuencas:

1. *Norte*: desde la salida O del valle hasta la línea Merlo-Santa Rosa. Esta cuenca se va profundizando hacia el O (isobatas del basamento s.n.m. 700 m al O y 900 m al E). Los datos de perforación provienen de la efectuada en "El Medanita", hasta los 313 metros.
2. *Central*: entre Merlo-Santa Rosa al N y Sierra de Tilisarao al S; profundidad máxima aproximada, 300 m. En esta cuenca se hallan ubicadas, entre las localidades de Carpintería y Ojo del Río, dos perforaciones del CAAAS, "Los Espinillos N° 4" (pozo N° 1037) y "Ojo del Río N° 1" (pozo N° 788), cuyos testigos fueron estudiados en detalle por personal del INCYTH.
3. *Sur*: entre Sierra de Tilisarao y Cerro del Morro, con una profundidad máxima de 150 metros.

En la primera perforación mencionada, "Los Espinillos N° 4" (pozo N° 1037), se observa:

- *Suelo húmico* (hasta 1 m) con abundante materia orgánica.
- Alternancia de *arena gruesa a muy gruesa* con *fangolita arenosa* (hasta 13 m). La arena gruesa a muy gruesa, inconsolidada, tiene matriz de arena muy fina, de color gris rosado, poco calcárea; abundantes individuos de cuarzo, feldespato potásico, biotita, fragmentos líticos de esquistos y de granitos. La fangolita arenosa, de color castaño oscuro, presenta abundante cuarzo, feldespato potásico, biotita y fragmentos líticos de granitos y de esquistos; es friable.
- Alternancia de *arena gruesa a muy gruesa* (idem anterior) con *gravilla* gris verdosa y con clastos de gneis; inconsolidada (hasta 24 m).
- Alternancia de *fangolita arenosa*, color castaño claro a rosado (*muy calcárea*) consolidada, con *arena gruesa a mediana* color gris rosado, poco calcárea, friable a inconsolidada (hasta 130 m).
- *Pelita calcárea arenosa*, color rosado a gris verdoso, sin vidrio volcánico, consolidada (hasta 174 m).

Hasta los 98 m contiene entre un 4 y un 10 % de vidrio volcánico. De este pozo se obtuvieron tres muestras de testigos, cedidas por el INCYTH para el análisis por uranio y otros elementos.

En la segunda perforación, Ojo del Río N° 1" (pozo N° 788), se observa:

- A partir de los 29 m, *limolita arenosa* color castaño claro, con cuarzo, feldespatos y micas, abundantes fragmentos líticos de granitos y escasos de metamorfitas. Profundidad del pozo, 32 metros.

1.2. Balance hidrológico

El agua que se insume, sea de lluvia, granizo, nieve, etc., se almacena en el valle en forma de capas subterráneas, constituyendo una cuenca que es alimentada, además, por el aporte de los ríos y arroyos influentes y efluentes.

La zona de recarga está constituida por los ápices de los conos de deyección de la Sierra de Comechingones, debido a que las rocas son más permeables; allí se insume hasta un 10 % de las precipitaciones. A medida que nos apartamos de la sierra decrece paulatinamente la proporción de agua insumida como consecuencia de la menor permeabilidad de las rocas, hasta alcanzar valores de 2 a 3 % en los sedimentos lacustres del bajo de Concarán, río Claro y Santa Rosa (BOJANICH MARCOVICH, 1964). Al aporte de las precipitaciones se le agrega un gran número de arroyos desde el E, así como también el río de los Sauces en el N, y el río Conlara. Ellos entregan parte de sus aguas al subsuelo o se infiltran por completo.

Los acuíferos tienen, al igual que la superficie del terreno, una pendiente hacia el O, pero con menor inclinación y, por lo tanto, la profundidad del agua subterránea disminuye de oriente a occidente (entre cien metros y unos pocos metros). Debido a su poca profundidad, cerca de la zona de descarga las capas están bajo la influencia del fenómeno de evapotranspiración. En el flanco occidental, a lo largo de todo el valle, se encuentra una faja irregular de agua salada que puede atribuirse a ese fenómeno. Correlacionando la profundidad del agua y su salinidad se comprueba que existe una relación inversa entre ambos parámetros, esto es, a menor profundidad, mayor salinidad. El sentido de circulación de las aguas subterráneas está marcado en el mapa de la Fig. 1.

El nivel piezométrico de la primera capa es bajo, pero en las restantes es de mediano a alto, pudiendo sobrepasar en algunos casos el nivel freático.

2. PARTE EXPERIMENTAL

2.1. Muestreo

Un reservorio de agua subterránea suele asemejarse a uno de agua superficial, aunque en el primer caso los límites están poco definidos y la velocidad de circulación de sus aguas puede ser muy lenta. Por esta razón un pozo o perforación muestreado puede considerarse como puntual.

Las causas dominantes que tienden a mezclar las aguas son de diversa naturaleza, pero puede destacarse las diferencias de velo-

cidad provocadas por la circulación a través de materiales de permeabilidad heterogénea, por gradientes de presión o, en menor proporción, por fenómenos de difusión iónica. El movimiento inducido por bombeo y la descarga natural pueden influir en la composición del agua, la que puede variar entre uno y otro lugar del reservorio debido a las diferencias en la composición mineral de las rocas dentro del mismo y las variaciones en la velocidad y composición química de la recarga. También pueden observarse diferencias en las muestras recogidas en una misma fuente en distintas épocas del año; asimismo su composición puede estar sujeta a variaciones por detalles de la construcción del pozo y de la operación de bombeo (Brown *et al.*, 1970).

Al llevarse a cabo el muestreo se tuvieron en cuenta estas premisas, razón por la cual en cada punto muestreado se señaló: número del pozo y ubicación geográfica; tipo de pozo: perforación (bomba o molino) o pozo de balde; profundidad del pozo; cota (s.n.m.) del nivel freático; cota de la base y techo del acuífero (cuando era conocida); si la capa es libre o confinada (Censo de pozos del CAAAS), y fecha de recolección de la muestra.

De cada pozo se tomó un litro de agua en recipientes de polietileno y se procedió a medir "in situ" temperatura, pH, Eh y conductividad específica. Inmediatamente después, en el laboratorio móvil, se procedió a su filtrado agregándosele 2 a 3 gotas de formol para evitar su descomposición por acción de los microorganismos.

Se recolectaron en total 367 muestras correspondientes a 285 pozos, dando mayor densidad al muestreo desde la parte central del valle hacia el O, considerada como área prioritaria (NICOLLI *et al.*, 1976b).

En todas las operaciones de muestreo y preparación de la muestra para posteriores análisis, se tuvieron en cuenta las normas dadas, para este tipo de estudios, por el U.S. Geological Survey de los Estados Unidos de América (Brown *et al.*, *op. cit.*; Wood, 1976).

2.2. Técnicas de análisis

La fase químico-analítica se llevó a cabo en dos etapas: a) En el laboratorio móvil, establecido en el campamento base durante toda la tarea de muestreo; y b) En el laboratorio de geoquímica de la Sede Central de la Comisión Nacional de Energía Atómica.

En el cuadro I se incluyen todas las técnicas empleadas para las distintas determinaciones. Las mismas se basan en los esquemas del U.S. Geological Survey, ya citado y del C.E.A. (Commissariat à l'Energie Atomique) de Francia, adaptados a nuestras necesidades. También se consignan las correspondientes referencias bibliográficas.

3. COMPOSICION DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS

A continuación se hace una discusión general acerca de la composición de las aguas subterráneas del valle del Conlara sobre la base de un estudio estadístico de los resultados de análisis de las 285 muestras seleccionadas.

CUADRO I

AGUAS SUBTERRANEAS DEL VALLE DEL CONLARA

Métodos de análisis químicos

CONSTITUYENTE	METODO	LABORATORIO	REFERENCIAS
$\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{=}$	Volumetría	Móvil	Kolthoff y Stenger (1947); Charlot (1966)
$\text{SO}_4^{=}$	Volumetría	Móvil	Fritz y Freeland (1954); Brown <u>et al.</u> (1970)
Cl^-	Volumetría	Móvil	Kolthoff y Stenger (1947); Brown <u>et al.</u> (1970)
Ca^{++} y Mg^{++}	Espectroscópía de Absorción Atómica	Sede Central	Fishman y Downs (1966); Brown <u>et al.</u> (1970)
Na^+ y K^+	Espectroscópía de emisión en llama	Sede Central	Fishman y Downs (1966); Brown <u>et al.</u> (1970)
U	Fluorescimetría (con extracción cromatográfica previa)	Móvil	Berthollet (1968)
U (en aguas salinas)	Fluorescimetría (previa separación en columnas Kel-F)	Móvil	Larumbe y Skrzywanek (1976)
V	Absorciometría	Sede Central	Brown <u>et al.</u> (1970)
Dureza	Volumetría (EDTA)	Sede Central	Brown <u>et al.</u> (1970)
Conductividad	Instrumental	"In situ"	Brown <u>et al.</u> (1970)
Eh	Instrumental	"In situ"	Wood (1976)
pH	Instrumental	"In situ"	Barnes (1964); Willard <u>et al.</u> (1965)

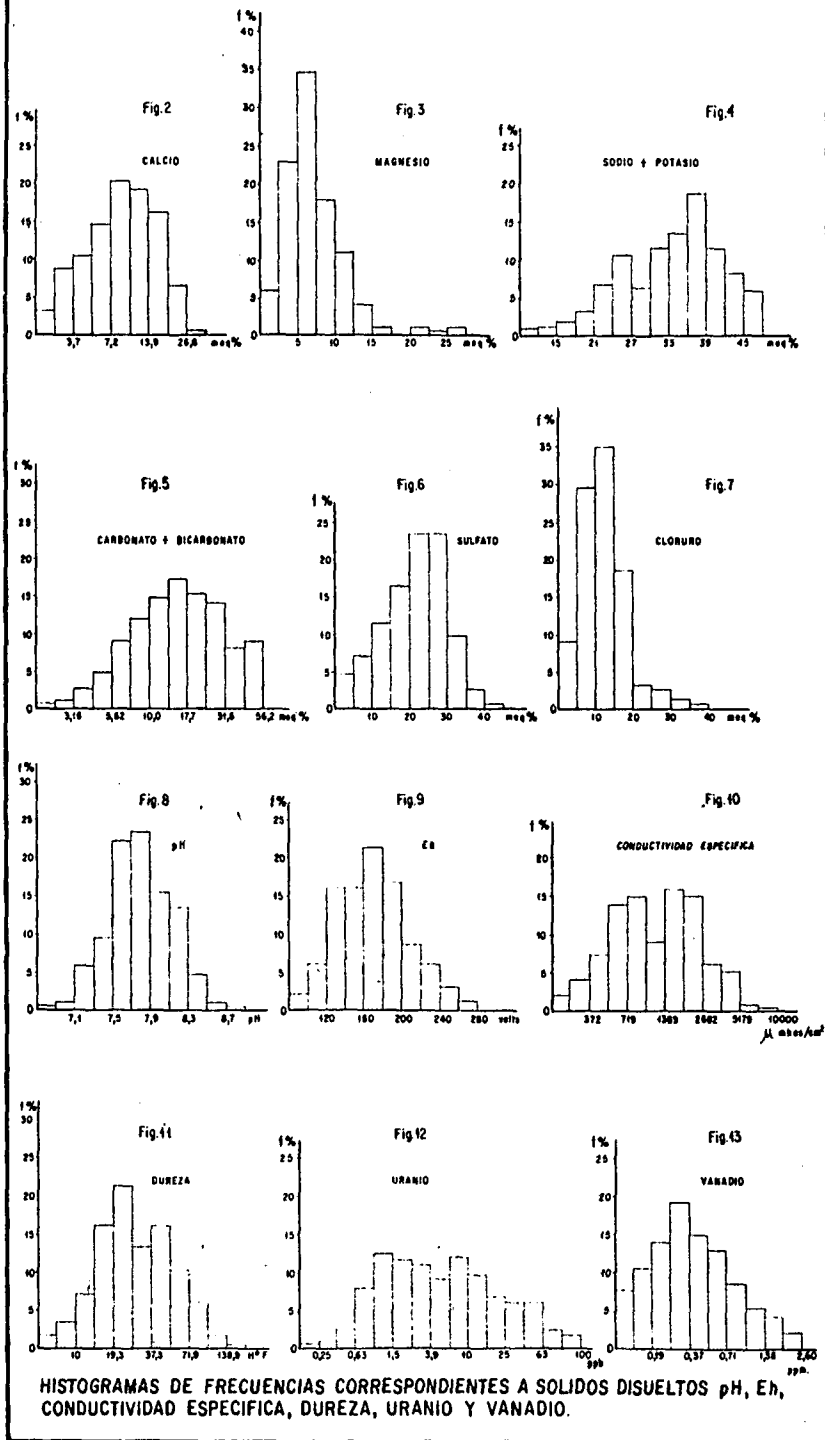
3.1. Distribución estadística de sólidos disueltos: composición aniónico-catiónica

Se han construido los histogramas de frecuencia correspondientes a las concentraciones de calcio, magnesio, metales alcalinos (sodio + potasio), bicarbonato (más carbonato), sulfato y cloruro, expresadas en miliequivalentes por ciento (Figs. 2 a 7). De los diagramas de frecuencias acumuladas (en escalas gauss-lineal y gauss-logarítmica) se han seleccionado los de las figuras 14 y 15 como ejemplos típicos.

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 d'ócima de Pearson o del χ^2 . Siguiendo las normas de RODIONOV (1965) el nivel de significación elegido p es del 5 %; con el objeto de aplicar correctamente esta d'ócima se unieron los intervalos en forma conveniente para tener, dentro de cada clase, un número de valores de la población de referencia nunca menor que 10 (ver cuadro II).

- El *calcio* varía entre 0,34 y 28,6 meq%, con una media de 9,46 meq%, mediana igual a 7,60 meq% y moda en 6,30 meq%. Su histograma (Fig. 2) es unimodal, con asimetría positiva. En el diagrama de frecuencias acumuladas (Fig. 14, escalas gauss-logarítmica) se separan dos subpoblaciones: la primera tiene una dispersión mayor que la segunda y ambas un muy buen ajuste a los valores de referencia. Se trata de una distribución bilognormal.
- El *magnesio* tiene una concentración que varía entre 0,76 y 26,9 meq%; su valor medio es de 7,12 meq%, su mediana de 5,3 meq% y su moda de 6,14 meq%. Presenta un histograma unimodal con asimetría positiva (Fig. 3). En el diagrama de frecuencias acumuladas (Fig. 14, escalas gauss-lineal) muestra dos subpoblaciones, la segunda con mayor dispersión que la primera, mostrando un excelente ajuste a los valores de referencia. Su distribución es binormal.
- Los *metales alcalinos* ($\text{Na}^+ + \text{K}^+$) tienen valores que oscilan entre 4,90 y 48,60 meq%, con una media de 33,42 meq% y el valor de la mediana muy próximo: 33,20 meq%. El histograma de frecuencias (Fig. 4) es bimodal (modas en 25 y 37 meq%) con asimetría negativa. Su correspondiente diagrama de frecuencias acumuladas (Fig. 14, escalas gauss-lineal) muestra claramente dos subpoblaciones con una dispersión un poco mayor en la primera y un excelente ajuste a los valores de referencia. La distribución de los metales alcalinos es binormal.
- El anión *bicarbonato* (más carbonato) está presente en cantidades muy variables cuyos valores oscilan entre 0,65 y 44,70 meq%. La media establecida es de 16,8 meq%, el valor de la mediana es de 13,0 meq% y el de la moda de 8,8 meq%. Su histograma de frecuencias (Fig. 5) es unimodal con asimetría

AGUAS SUBTERRANEAS DEL VALLE DEL CONLARA



Figs. 2 - 13

CUADRO II

DISTRIBUCION DE ELEMENTOS EN AGUAS SUBTERRANEAS DEL AREA

Ca⁺⁺: Ajuste a una distribución bilognormal

Límite de los intervalos (meq/l)	1,93	2,68	3,73	5,18	7,20	10	13,9	19,3	26,8	37,3
Frecuencia (n _i)	9	23	27	39	54	51	43	18	2	
Frecuencia %	3,4	8,7	10,2	14,7	20,3	19,2	16,2	6,8	0,8	
Frecuencia teórica	2,7	6,8	10,6	16,1	19	19	17,7	5,5	0,8	
Frecuencia teórica (N _i)	7,2	18,1	28,2	42,8	50,5	50,5	47,1	14,8	2	
$\frac{(n_i - N_i)^2}{N_i}$		1,79	0,05	0,34	0,24	0	0,35	0,03		
n = 266	x̄ = 9,46		Md = 7,60							
Intervalo de variación: X = 1,70% a 11,5%; Y = 11,6% a 28,5%.										
χ ² _N = 3,40 χ ² ₅ = 9,49 r - 3 = 4										

Mg⁺⁺: Ajuste a una distribución binormal

Límite de los intervalos (meq/l)	0	2,5	5	7,5	10	12,5	15	17,5	20	22,5	25	27,5
Frecuencia (n _i)	17	65	100	51	31	10	3	-	3	1	2	
Frecuencia %	6	23	35,3	18	11	3,5	1,1	-	1,1	0,4	0,7	
Frecuencia teórica	5,3	23	35,3	18	11,1	3,6	0,7	-	1,2	0,4	0,7	
Frecuencia teórica (N _i)	15	65	100	51	31,3	10,2	2	-	3,5	1,1	1,9	
$\frac{(n_i - N_i)^2}{N_i}$	0,3	0	0	0	0			0,021				
n = 293	x̄ = 7,12		Md = 5,25									
Intervalo de variación: X = 1,0% a 9,5%; Y = 9,5% a 24,8%												
χ ² _N = 0,27 χ ² ₅ = 7,81 r - 3 = 3												

Na⁺ + K⁺: Ajuste a una distribución binormal

Límite de los intervalos (meq/l)	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48
Frecuencia (n _i)	3	3	5	9	19	30	18	32	38	53	33	23	17	
Frecuencia %	1,1	1,1	1,8	3,2	6,7	10,6	6,4	11,3	13,4	18,7	11,7	8,1	6	
Frecuencia teórica	0,6	1,2	2,3	4,1	6,5	9,4	8,6	9,1	15,9	16,2	12,6	7,1	6,1	
Frecuencia teórica (N _i)	1,6	3,4	6,5	11,6	18,4	26,5	24,4	25,8	44,9	45,9	35,7	20	17,2	
$\frac{(n_i - N_i)^2}{N_i}$	0,47				0,02	0,46	1,7	1,5	1,1	1,1	0,2	0,4	0	
n = 283	x̄ = 33,42		Md = 33,20											
Intervalo de variación: X = 9,5% a 28,0%; Y = 28,0% a 43,5%														
χ ² _N = 6,90 χ ² ₇ = 14,07 r - 3 = 7														

CO₃^{H-} + CO₃²⁻: Ajuste a una distribución bilognormal

Límite de los intervalos (meq/l)	1,77	2,37	3,16	4,21	5,62	7,49	10,0	13,3	17,7	23,7	31,6	42,1	56,2
Frecuencia (n _i)	1	2	7	13	25	34	41	49	43	40	22	7	
Frecuencia %	0,4	0,7	2,5	4,6	8,8	12	14,4	17,3	15,1	14,1	7,8	2,5	
Frecuencia teórica	0,3	0,9	2,1	4,6	7,9	12	16	16,6	13,5	15,8	8,4	1,8	
Frecuencia teórica (N _i)	0,9	2,8	6	13	22,5	34	45	47	38,2	44,8	23,9	5,1	
$\frac{(n_i - N_i)^2}{N_i}$		0,01		0	0,23	0	0,36	0,1	0,6	0,5		0	
n = 284	x̄ = 16,62		Md = 13,0										
Intervalo de variación: X = 1,80% a 24,0%; Y = 24,0% a 47,0%													
χ ² _N = 2,71 χ ² ₅ = 12,60 r - 3 = 6													

CUADRO 11 (Continuación)

SD₄⁺: Ajuste a una distribución normal.

Límite de los intervalos (meq%)	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45
Frecuencia (n _i)	14	20	33	47	67	67	28	7	1	
Frecuencia %	4,9	7	11,6	16,6	23,6	23,6	9,9	2,5	0,4	
Frecuencia teórica %	4,9	6,6	12,5	16,1	23,6	23,6	9,9	2,4	0,4	
Frecuencia teórica (N _i)	14	18,6	35,5	45,8	67,1	67	28	6,9	1,1	
$\frac{(n_i - N_i)^2}{N_i}$	0	0,1	0,18	0,03	0	0	0	0	0	
n = 284 $\bar{x} = 20,96$ Md = 19,90										
Intervalo de variación: X = 2,0% a 21,8%; Y = 21,8% a 39,6%										
$\chi^2_N = 0,31$ $\chi^2_5 = 12,6$ r - 3 = 6										

Cl⁻: Ajuste a una distribución binormal.

Límite de los intervalos (meq%)	0	5	10	15	20	25	30	35	40
Frecuencia (n _i)	25	84	100	53	9	8	4	1	
Frecuencia %	8,8	29,6	35,2	18,7	3,2	2,8	1,4	0,4	
Frecuencia teórica %	8,6	28	36	18,3	4,2	2,3	0,9	0,4	
Frecuencia teórica (N _i)	24,4	79,5	102	51,8	11,8	6,4	2,6	1,2	
$\frac{(n_i - N_i)^2}{N_i}$	0,01	0,25	0,05	0,03		0			
n = 284 $\bar{x} = 12,2$ Md = 9,0									
Intervalo de variación: X = 1,5% a 15,0%; Y = 15,0% a 37,8%									
$\chi^2_N = 0,34$ $\chi^2_5 = 5,99$ r - 3 = 2									

pH: Ajuste a una distribución normal.

Límite de los intervalos	6,7	6,9	7,1	7,3	7,5	7,7	7,9	8,1	8,3	8,5	8,7	8,9
Frecuencia (n _i)	1	3	17	26	65	67	45	39	13	5	1	
Frecuencia %	0,4	1,1	5,9	9,9	22,9	23,6	15,8	13,7	4,6	1,8	0,4	
Frecuencia teórica %	0,4	1,4	5,1	11,4	21,8	23	18,8	11,5	4,7	1,6	0,4	
Frecuencia teórica (N _i)	1	3,9	14,3	32,4	61,9	65,3	53,4	32,7	13,3	4,6	1,1	
$\frac{(n_i - N_i)^2}{N_i}$		0,06	0,49	0,59	0,15	0,04	1,31	1,21		0		
n = 284 $\bar{x} = 7,9$ Md = 7,8												
Intervalo de variación: X = 6,7% a 8,8%												
$\chi^2_N = 3,85$ $\chi^2_5 = 11,1$ r - 3 = 5												

Eh: Ajuste a una distribución binormal.

Límite de los intervalos (mv)	80	100	120	140	160	180	200	220	240	260	280
Frecuencia (n _i)	7	18	47	47	62	48	24	18	9	4	
Frecuencia %	2,5	6,3	16,6	16,6	21,8	16,9	8,5	6,3	3,2	1,4	
Frecuencia teórica %	2	7,3	16,2	18,4	19,3	16,2	10,2	5,9	2,7	1,3	
Frecuencia teórica (N _i)	5,7	20,7	46	52,3	54,9	45,9	28,9	16,8	7,6	3,8	
$\frac{(n_i - N_i)^2}{N_i}$		0,03	0,02	0,54	0,92	0,2	0,83	0,09		0,22	
n = 284 $\bar{x} = 172$ Md = 156											
Intervalo de variación: X = 80% a 132%; Y = 132% a 270%											
$\chi^2_N = 2,90$ $\chi^2_5 = 11,1$ r - 3 = 5											

CUADRO II (Continuación)

CONDUCTIVIDAD ESPECÍFICA: Ajuste a una distribución bilognormal.

Límite de los intervalos ($\mu\text{hos}/\text{cm}^2$)	193	268	372	517	719	1000	1389	1930	2682	3727	5179	7196	10000
Frecuencia (n_i)	7	14	23	41	44	26	47	44	19	16	2	1	
Frecuencia \bar{x}	2,5	4,9	8,1	14,4	15,5	9,2	16,6	15,5	6,7	5,6	0,7	0,4	
Frecuencia teórica \bar{x}	2,3	4	8,5	13,5	16,4	9,2	19,4	13,5	7,6	3,4	1,2	0,3	
Frecuencia teórica (N_i)	6,5	11,4	24,1	38,3	46,6	26	55,2	38,3	21,6	9,7	3,4	0,9	
$\frac{(n_i - N_i)^2}{N_i}$		0,54	0,05	0,18	0,15	0	1,21	0,84	0,31		1,9		

$n = 284$ $\bar{x} = 1537$ $Md = 1100$
 Intervalo de variación: $X = 195\% \text{ a } 980\%$; $Y = 980\% \text{ a } 8000\%$
 $\chi^2_N = 5,18$ $\chi^2_5 = 12,6$ $r - 3 = 6$

DUREZA: Ajuste a una distribución bilognormal.

Límite de los intervalos (FH°)	5,17	7,19	10	13,9	19,3	26,8	37,3	52	71,9	100	139	193
Frecuencia (n_i)	4	10	21	47	61	39	47	29	17	5	1	
Frecuencia \bar{x}	1,4	3,6	7,5	16,7	21,7	13,9	16,7	10,3	6,1	1,8	0,4	
Frecuencia teórica \bar{x}	1,1	3,6	9	15,5	21,4	13,9	17,6	9,4	6,1	1,8	0,4	
Frecuencia teórica (N_i)	3,1	10	25,3	43,6	60,1	39	49,5	26,4	17	5	1	
$\frac{(n_i - N_i)^2}{N_i}$		0,05	0,7	0,3	0,1	0	0,13	0,25			0	

$n = 281$ $\bar{x} = 34,80$ $Md = 23,0$
 Intervalo de variación: $X = 5,2\% \text{ a } 40,0\%$; $Y = 40,0\% \text{ a } 145\%$
 $\chi^2_N = 1,44$ $\chi^2_5 = 11,1$ $r - 3 = 5$

U: Ajuste a una distribución multi-lognormal.

Límite de los intervalos (ppb)	0,16	0,20	0,39	0,63	1,0	1,58	2,51	3,98	6,30	10	15,8	25,1	39	63	100	>100
Frecuencia (n_i)	1	3	7	22	36	33	31	26	34	27	19	18	18	6	4	
Frecuencia \bar{x}	0,4	1,1	2,5	7,7	12,6	11,6	10,9	9,1	11,9	9,5	6,7	6,3	6,3	2,1	1,4	
Frecuencia teórica \bar{x}	0,3	1,1	2,8	7,4	12,6	11,6	10,8	9,6	11,8	9	7,2	5,8	6,2	2,7	1,1	
Frecuencia teórica (N_i)	0,9	3	7,9	21	36	33	30,8	27,4	33,6	25,7	20,5	16,5	17,7	7,7	3,1	
$\frac{(n_i - N_i)^2}{N_i}$			0,05	0,04	0	0	0	0,07	0	0,07	0,11	0,14	0,01	0,05		

$n = 285$ $\bar{x} = 13,64$ $Md = 3,8$
 Intervalo de variación: $X = 0,16\% \text{ a } 8,5\%$; $Y = 8,5\% \text{ a } 130\%$
 $\chi^2_N = 0,54$ $\chi^2_9 = 16,9$ $r - 3 = 9$

V: Ajuste a una distribución lognormal.

Límite de los intervalos (ppm)	0,1	0,13	0,19	0,26	0,37	0,51	0,71	1,0	1,38	1,93	2,60
Frecuencia (n_i)	7	10	13	10	14	12	0	5	4	2	
Frecuencia \bar{x}	7,5	10,8	14	19,4	15,1	12,9	8,6	5,4	4,3	2,2	
Frecuencia teórica \bar{x}	4	8,8	14,8	16,2	14	15	9,1	6,1	3,4	1,5	
Frecuencia teórica (N_i)	3,7	8,2	13,0	15,1	13	14	8,5	5,7	3,2	1,4	
$\frac{(n_i - N_i)^2}{N_i}$		2,19	0,05	0,56	0,08	0,29				0	

$n = 93$ $\bar{x} = 0,53$ $Md = 0,33$
 Intervalo de variación: $X = 0,1\% \text{ a } 2,3\%$
 $\chi^2_N = 3,17$ $\chi^2_3 = 7,82$ $r - 3 = 3$

positiva. El diagrama de frecuencias acumuladas (Fig. 15, escalas gauss-logarítmica) define dos subpoblaciones con buenos ajustes a los valores de referencia: la primera, que comprende más del 80 % de los citados valores, presenta mayor dispersión que la segunda. En consecuencia, se define esta distribución como bilognormal.

- El *sulfato* también está presente en proporciones muy variables que oscilan entre 0,40 y 42,90 meq% siendo la media correspondiente 21,0 meq%, la mediana 19,90 meq% y la moda 25,0 meq%. El histograma de frecuencias (Fig. 6) es también unimodal pero con asimetría negativa. El diagrama de frecuencias acumuladas (Fig. 15, escalas gauss-lineal) muestra una única población con excelente ajuste a los valores de referencia. Su distribución es normal.
- En cuanto al *cloruro*, los valores varían de 2,1 a 37,6 meq% con una media de 12,18 meq%, una mediana de 9,0 meq% y una moda de 10,8 meq%. Como en los otros aniones, su histograma de frecuencias (Fig. 7) es unimodal, con asimetría positiva. El diagrama de frecuencias acumuladas (escalas gauss-lineal) presenta dos subpoblaciones: la primera representa el 88% de la población, con menor dispersión que la segunda. Muy buen ajuste a los valores de referencia definiendo su distribución como binormal.

3.2. Distribución estadística de los valores de dureza, pH, Eh y conductividad específica

Se han considerado las distribuciones correspondientes a los parámetros dureza, pH, Eh y conductividad específica de las aguas estudiadas, para los cuales se construyeron también los histogramas de frecuencia y los diagramas de frecuencias acumuladas; se aplicó la dócima de Pearson.

- Los valores correspondientes a la *dureza* presentan una gran dispersión: oscilan entre 5,7 y 143 FH° con una media de 34,8 FH° y mediana de 23,0 FH°. El histograma de frecuencias (Fig. 11) es, al igual que el de la conductividad específica, bimodal (modas en 18,5 y 40,5 FH°), con asimetría positiva, y el diagrama de frecuencias acumuladas (escalas gauss-logarítmica), también presenta dos subpoblaciones con un buen ajuste a la distribución bilognormal.
- Los valores de *pH* presentan un rango de variación entre 6,9 y 10,2 unidades de pH, con una media de 7,9, mediana igual a 7,8 y moda de 7,7. El histograma de frecuencias (Fig. 8) es unimodal con asimetría positiva y el diagrama de frecuencias acumuladas (escalas gauss-lineal) corresponde a una única población con excelente ajuste a los valores de referencia. Su distribución es normal.
- Los valores de *Eh* tienen una variación muy amplia, desde valores negativos, -40 volts, a valores positivos, + 270 volts. Su

media estimada es de + 172 volts y la mediana de + 156 volts. En el histograma de frecuencias (Fig. 9) se observa que su distribución es unimodal (moda en +170 volts) simétrica, mientras que en el diagrama de frecuencias acumuladas (escalas gauss-lineal) se definen dos subpoblaciones: la primera correspondiente a un 26% de la población y la segunda al 74% restante; presentan un buen ajuste a los valores de referencia definiendo una distribución binormal.

- La *conductividad específica* presenta una fuerte dispersión. Varía entre 170 y 10.000 μ mho/cm con un valor medio de 1.537 μ mho/cm y mediana estimada en 1.100 μ mho/cm. Su histograma de frecuencias (Fig. 10) es bimodal (modas en 750 y 1.862 μ mho/cm) con asimetría positiva. El diagrama de frecuencias acumuladas (escalas gauss-logarítmica) presenta dos subpoblaciones que se ajustan a los valores de referencia. Se define como una distribución bilognormal.

3.3. Distribución estadística de elementos traza: uranio y vanadio

A continuación se consideran las distribuciones del uranio y del vanadio, únicos elementos traza estudiados en el presente trabajo. Como en los estudios de las distribuciones consideradas anteriormente, se han construido los histogramas de frecuencias, los diagramas de frecuencias acumuladas y se ha aplicado la dócima de Pearson.

- El *uranio* presenta una amplia variación de valores, los cuales oscilan de 0,21 a 187 ppb, con una media de 13,6 y mediana de 3,8 ppb. Su histograma de frecuencias (Fig. 12) es bimodal (modas en 1,48 y 9,40 ppb) con asimetría positiva. En cuanto a su diagrama de frecuencias acumuladas (escalas gauss-logarítmica) presenta tres subpoblaciones bien definidas. La primera, que representa un 28 % de la población, corresponde a la de valores más bajos; la segunda, que representa el 62 % de la población, corresponde a la subpoblación principal y presenta la mayor dispersión de valores, mientras que la tercera representa el 10 % del total y comprende a la subpoblación de valores más altos. Su distribución es multilognormal.
- El *vanadio* oscila de 0,1 a 2,5 ppm; su media es de 0,53, mediana de 0,33 y moda de 0,17 ppm. El histograma de frecuencias (Fig. 13) es unimodal con asimetría positiva. En el diagrama de frecuencias acumuladas (escalas gauss-logarítmica), se observa una única población con buen ajuste a la distribución lognormal.

3.4. Otras consideraciones acerca de la composición

En el cuadro III se presenta un resumen de la composición de las aguas subterráneas del valle del Conlara; se consignan los valores máximos y mínimos, así como los valores medios correspondientes a sólidos disueltos (en mg/l y en meq%), a dureza, a pH, a Eh, a

CUADRO III

AGUAS SUBTERRANEAS DEL VALLE DEL CONLARA: Sólidos disueltos, dureza, pH, Eh, conductividad específica y elementos traza
Características de sus distribuciones.

ION (pH, Eh, etc)	mg/l		meq				s	Ka	Características de la distribución. (Smirnov, 1963) (*)
	Media	Valor mínimo	Valor máximo	Mediana	Moda principal				
Ca ⁺⁺	54,3	1,4	355	9,46	0,34	28,6	7,6	6,3	Tipo II: asimétrica (+), unimodal, <u>bilognormal</u>
Mg ⁺⁺	27,6	1,1	200	7,12	0,76	26,9	5,3	6,1	Tipo II: asimétrica (+), unimodal, <u>binormal</u>
Na ⁺ + K ⁺	327	15,8	3870	33,4	4,9	48,6	33,2	37	Tipo III: asimétrica (-), bimodal, <u>binormal</u>
HCO ₃ ⁻ (+CO ₃)	272	97,6	939	16,8	0,65	44,7	13,0	8,8	Tipo II: asimétrica (+), unimodal, <u>bilognormal</u>
SO ₄ ⁼	490,4	4,8	6965	21,0	0,40	42,9	19,9	25	Tipo III: asimétrica (-), unimodal, <u>normal</u>
Cl ⁻	186,1	7,1	1410	12,2	2,1	37,6	9,0	10,8	Tipo II: asimétrica (+), unimodal, <u>binormal</u>
Dureza (FH ²)				34,8	5,7	143	23,0	18,5	Tipo II: asimétrica (+), bimodal, <u>binormal</u>
pH				7,9	6,9	10,2	7,8	7,7	Tipo II: asimétrica (+), unimodal, <u>normal</u>
Eh (mv)				+172	-40	+270	+156	+170	Tipo I: simétrica, unimodal, <u>binormal</u>
Conductividad (µmho/cm)				1537	170	10000	1100	750	Tipo II: asimétrica (+), bimodal, <u>bilognormal</u>
U (ppb)				13,6	0,21	187	3,8	1,4	Tipo II: asimétrica (+), bimodal, <u>multilognormal</u>
V (ppm)				0,53	0,1	2,5	0,33	0,17	Tipo II: asimétrica (+), unimodal, <u>lognormal</u>

(*) Tipo I = $\bar{x} = Mo$

Tipo III = $\bar{x} < Mo$

Tipo II = $\bar{x} > Mo$

Tipo IV = en forma de J

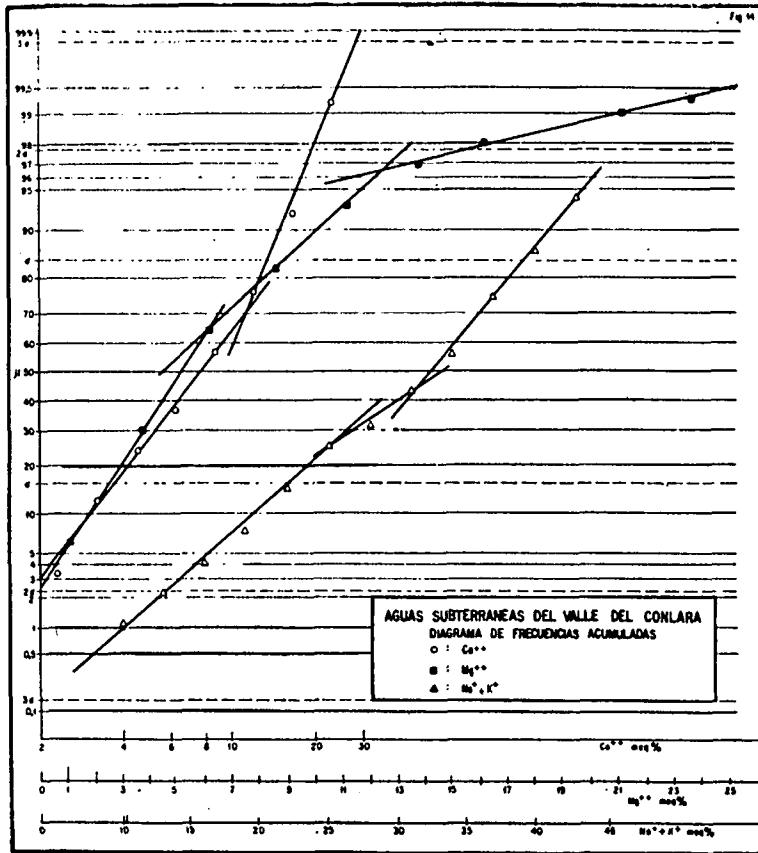


Fig. 14

conductividad específica y a elementos traza. Se han incluido también las características fundamentales de cada distribución y la clasificación dentro del esquema de SMIRNOV (1963).

De acuerdo con este autor, en el sistema sólidos disueltos-agua natural, existe una exacta correlación entre la clase de equilibrio fisicoquímico de los elementos (iones) y el tipo de distribución de sus concentraciones:

- el modelo estadístico del *equilibrio químico* es la *distribución normal*;
- el modelo correspondiente para diferentes estados de *equilibrio dinámico* continuo es la *distribución lognormal*.

El análisis de los datos muestra que la asimetría de la distribución correspondiente al equilibrio dinámico de difusión es causada principalmente por factores hidrodinámicos. Por lo tanto, en el ciclo geoquímico de lixiviación, la variación estadística de la composición iónica de las aguas naturales va desde una distribución lognormal, que corresponde al equilibrio dinámico de difusión, a una distribución normal que corresponde al equilibrio químico. Este cambio se

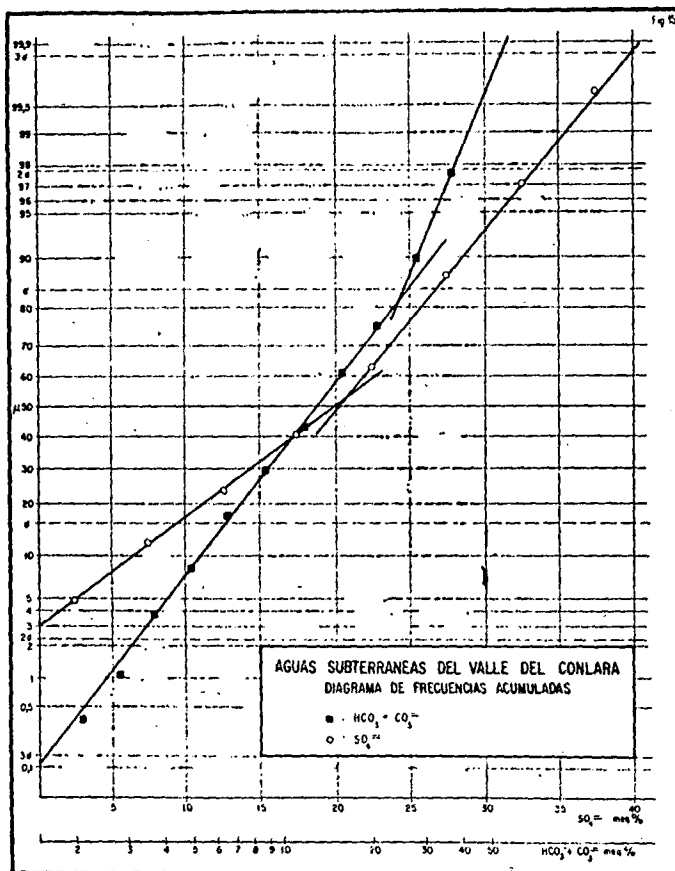


Fig. 15

explica por una variación gradual desde soluciones no saturadas a saturadas formadas como resultado de la lixiviación continua.

Por último, de acuerdo con los valores de Eh-pH, estas aguas se encuentran dentro del "tipo de transición M, grupos XI y XII", en la clasificación propuesta por PAVLOV y SHEMYAKIN (1967).

4. FACIES HIDROGEOQUIMICAS

Al igual que en un trabajo de investigación anterior sobre el área (NICOLLI *et al.*, 1976b) se ha considerado la distribución estadística del parámetro $\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}$ como el mejor criterio para la caracterización geoquímica de las aguas subterráneas del valle, ya que el uranio en solución forma diversos iones complejos estables con el CO_2 , hecho que ha sido probado experimentalmente desde el punto de vista fisicoquímico y por observaciones geológicas. Consecuentemente, sobre el diagrama de frecuencias acumuladas (Fig. 15) se ha establecido además del valor de la mediana, m (13,0

meq% $\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{=}$) los límites correspondientes a los "valores de fondo", $m - s$ y $m + s$ (6,50 y 26,3 meq% $\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{=}$, respectivamente).

Esos límites permiten separar cuatro grupos de valores de $\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{=}$ que corresponden a otros tantos "tipos fundamentales" de aguas subterráneas del valle:

aguas del "tipo 1" : $> 26,3$ meq% $\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{=}$

aguas del "tipo 2" : 13,0 a 26,3 meq% $\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{=}$

aguas del "tipo 3" : 6,5 a 13,0 meq% $\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{=}$

aguas del "tipo 4" : $< 6,5$ meq% $\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{=}$

Una vez caracterizados cada uno de los cuatro "tipos fundamentales" se ha podido calcular la composición media aniónico-catiónica correspondiente, la cual revela singulares diferencias según se desprende de la observación del cuadro IV. En efecto: al decrecimiento de los contenidos en Ca^{++} y Mg^{++} corresponde un aumento de los contenidos en metales alcalinos; al decrecimiento en los contenidos en bicarbonato corresponde el incremento en los del sulfato y del cloruro. Por otra parte la razón *bicarbonato/aniones totales* varía del 79,67% al 8,68% entre las aguas de los tipos 1 a 4, en tanto que la relación *metales alcalinos/cationes totales* crece del 37,71% al 91,34% entre las aguas de los mismos tipos.

El cuadro V revela diferencias igualmente significativas, llamando la atención el incremento de la dureza, del Eh y de la conductividad específica, frente al decrecimiento correspondiente de los valores de pH entre las aguas de los tipos 1 a 4.

Estos cambios de composición se observan también de manera muy clara en el diagrama de la Fig. 16, donde la variación de la composición catiónica está representada por una línea casi recta, cuyos puntos de referencia se desplazan hacia el vértice de los elementos alcalinos; la variación en la composición aniónica está representada por una curva cuyo primer valor de referencia está próximo al vértice de $\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{=}$. En el diagrama combinado aniónico-catiónico se observa una variación en la composición que va de aguas bicarbonatadas alcalinotérricas a sulfatado-cloruradas alcalino-alcalinotérricas.

En el mapa de la Fig. 17 se ha representado la distribución areal de las aguas subterráneas caracterizadas por los tipos 1, 2, 3 y 4, con los mismos símbolos que en la Fig. 16. En este mapa se puede apreciar que las aguas del tipo 1 se distribuyen en el área más próxima a la Sierra de Comechingones, zona de recarga de la cuenca. De manera más o menos paralela a la anterior, pero más hacia el centro del valle, se dispone el conjunto de muestras que constituyen las aguas del tipo 2. Las muestras del tipo 3 se distribuyen a continuación, más próximas al curso del río Conlara. Las muestras del tipo 4 tienen una distribución más irregular, en general ubicadas entre las muestras del tipo 3. Este esquema de distribución regional confirma las conclusiones de un trabajo anterior (NICOLLI *et al.*, 1976b); es de destacar que el número de muestras seleccionadas

CUADRO IV

AGUAS SUBTERRANEAS DEL VALLE DEL CONLARA

Composición media de los cuatro "tipos fundamentales"

caracterizados por la distribución $\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{=}$.

Límites en la distribución estadística del $\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{=}$	m + 2s a m + s	m + s a m	m a m - s	m - s a m - 2s
TIPO ION	1	2	3	4
$\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{=}$ (meq%)	33,63	18,73	9,45	4,73
$\text{SO}_4^{=}$ (meq%)	5,57	15,22	23,31	30,73
Cl^- (meq%)	3,01	6,77	11,55	19,02
Ca^{++} (meq%)	17,49	10,23	5,79	2,33
Mg^{++} (meq%)	12,72	6,89	4,17	1,78
$\text{Na}^+ + \text{K}^+$ (meq%)	18,29	28,15	36,71	43,37
$\frac{\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{=}}{\text{aniones totales}}$	79,67%	45,95%	21,32%	8,68%
$\frac{\text{Na}^+ + \text{K}^+}{\text{cationes totales}}$	37,71%	62,35%	78,66%	91,34%
$\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{=}$ (mg/l)	455,6	265,8	188,4	119,8
$\text{SO}_4^{=}$ (mg/l)	26,0	133,7	405,1	1221
Cl^- (mg/l)	18,2	63,6	170,8	457,9
Ca^{++} (mg/l)	124,0	41,2	16,9	8,4
Mg^{++} (mg/l)	72,0	23,9	10,7	4,1
Na^+ (mg/l)	29,5	82,1	268,9	804,4
K^+ (mg/l)	3,6	6,8	12,6	44,2

CUADRO V
AGUAS SUBTERRANEAS DEL VALLE DEL CONLARA

Composición aniónico-catiónica
y parámetros fisicoquímicos

COMPOSICION (meq%)	AGUA TIPO			
	1	2	3	4
Ca ⁺⁺	17,5	10,2	5,8	2,3
Mg ⁺⁺	12,7	6,9	4,2	1,8
Cl ⁻	3,0	6,8	11,6	19,0
SO ₄ ⁼	5,6	15,2	23,3	30,7
Ca ⁺⁺ +Mg ⁺⁺ +Cl ⁻ +SO ₄ ⁼	38,8	39,1	44,9	53,8
Na ⁺ +K ⁺	18,3	28,2	36,7	43,4
SO ₄ ⁼	5,6	15,2	23,3	30,7
Cl ⁻	3,0	6,8	11,6	19,0
Na ⁺ +K ⁺ +SO ₄ ⁼ +Cl ⁻	26,9	50,2	71,6	93,1
Na ⁺ +K ⁺	18,3	28,2	36,7	43,4
HCO ₃ ⁻ +CO ₃ ⁼	33,6	18,7	9,5	4,7
Na ⁺ +K ⁺ +HCO ₃ ⁻ +CO ₃ ⁼	51,9	46,9	46,2	48,1
Ca ⁺⁺	17,5	10,2	5,8	2,3
Mg ⁺⁺	12,7	6,9	4,2	1,8
HCO ₃ ⁻ +CO ₃ ⁼	33,6	18,7	9,5	4,7
Ca ⁺⁺ +Mg ⁺⁺ +HCO ₃ ⁻ +CO ₃ ⁼	63,8	35,8	19,5	8,8
Dureza (FH°)	9,48	17,90	33,94	71,11
pH	8,4	7,9	7,6	7,2
Conductividad (μ mhc./cm)	339	758	1607	3247
Eh (mv)	+ 85	+ 137	+ 175	+ 223

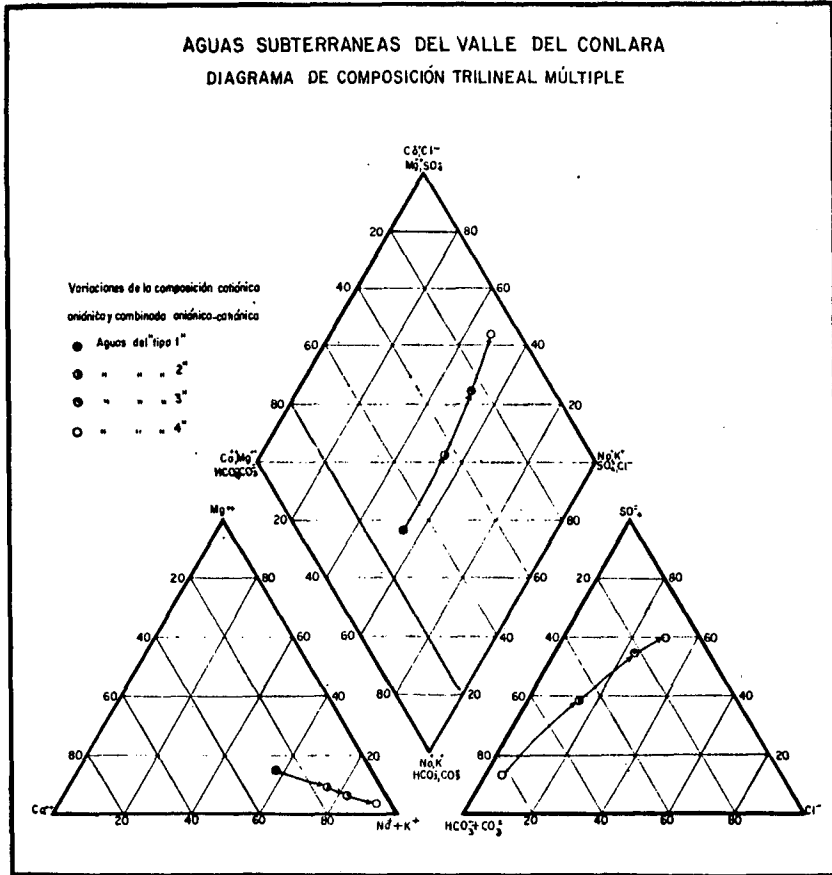


Fig. 16

para el presente estudio (285 contra 140 del trabajo anterior) da un alto índice de confiabilidad al tratamiento estadístico.

Todos estos indicios ratifican la existencia de una verdadera zonación en la distribución de los bicarbonatos con los contenidos más altos en la zona de recarga de la cuenca, donde la infiltración de las aguas meteóricas, ricas en CO_2 , determina tal distribución. Sobre esta base se construyó el perfil esquemático idealizado E-O, de la Fig. 18, en el cual se representa, en ordenadas, la variación en la composición iónica y en abscisas, las distancias a la zona de recarga (situada en la Sierra de Comechingones); tales distancias se valoraron estadísticamente sobre el mapa de la Fig. 17, haciéndose una estimación de los lugares en donde se produce la transición entre las aguas de los tipos 2 y 3. Ubicada el área de transición, que denominamos "zona de interfase", se han situado los puntos correspondientes al valor medio de cada uno de los sólidos disueltos en las aguas de los tipos 1 a 4 y trazado las curvas representativas de

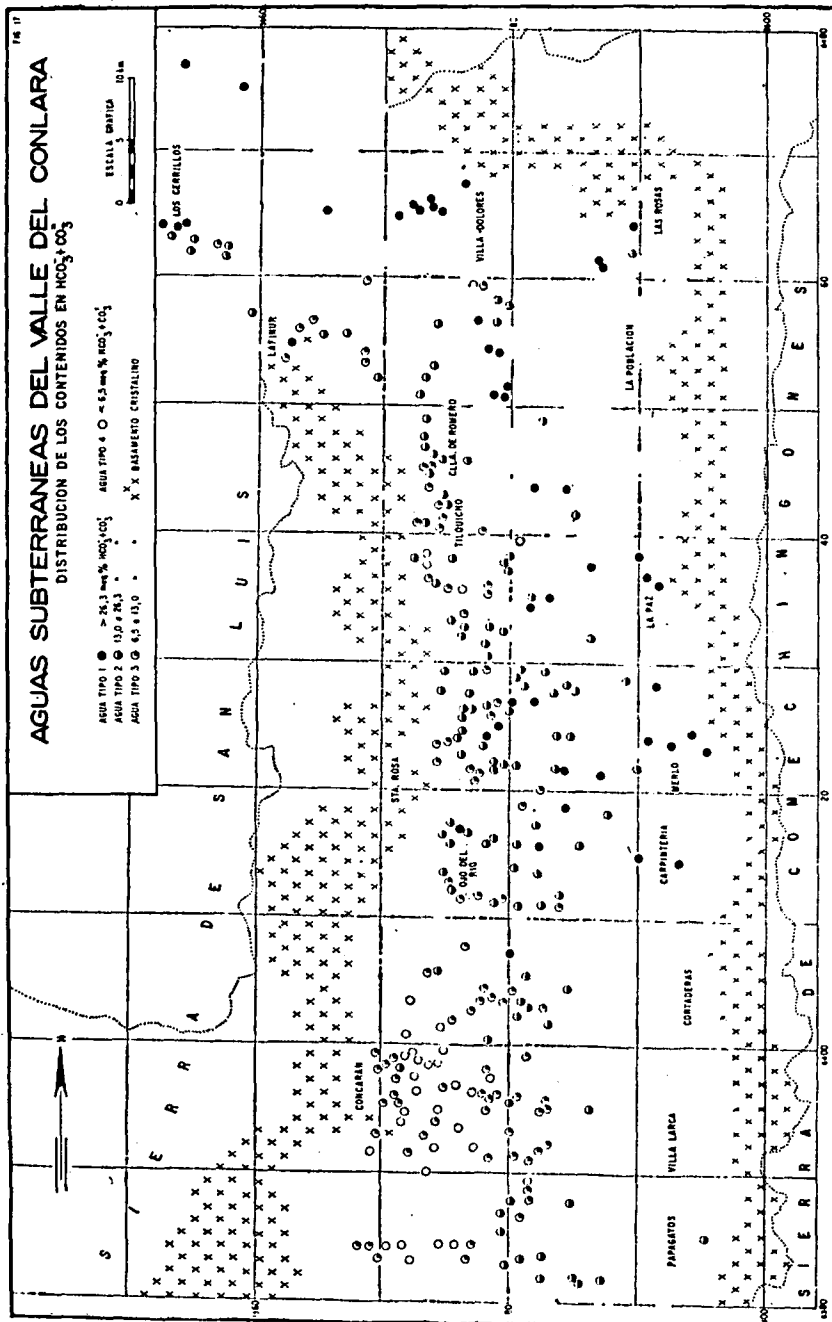


Fig. 17

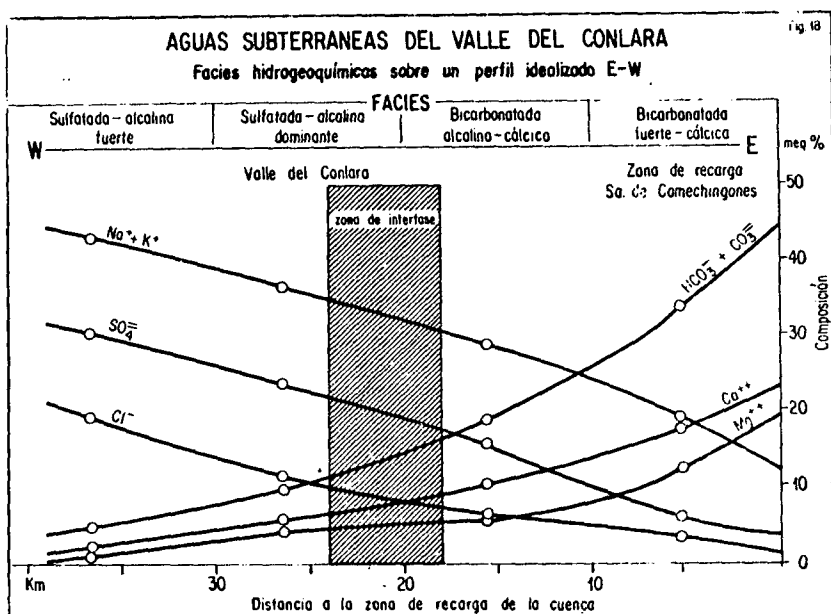


Fig. 18

los mismos, las cuales ilustran muy claramente las variaciones en la composición de las aguas, caracterizando *cuatro facies hidrogeoquímicas*: *facies bicarbonatada fuerte, cálcica*; *facies bicarbonatada alcalino-cálcica*; *facies sulfatada alcalina dominante* y *facies sulfatada alcalina fuerte*.

En el mapa de la Fig. 19 se trazaron perfiles idealizados en donde se representa la distribución de las aguas de los tipos 1, 2, 3 y 4, con especial atención a las zonas de "interfase 2-3" (de *bicarbonatada alcalino-cálcica* a *sulfatada alcalina dominante*) en donde podrían producirse precipitaciones de UO_2 .

5. GEOQUIMICA DEL URANIO

5.1. Lixiviación de rocas fuentes

En un trabajo anterior (NICOLLI *et al.*, 1976a) se dieron a conocer los resultados referentes al contenido en uranio de las plutonitas de la Sierra de Comechingones. De las muestras estudiadas surge una media de 3,1 ppm U, con una moda y una mediana en 2,7 ppm U. El estudio de los valores correspondientes a uranio lixiviable en medio ácido y alcalino denota la escasa disponibilidad actual de uranio móvil, con valores medios en 0,6 y 0,7 ppm U, respectivamente.

Los tipos de alteración identificados en los feldespatos de las rocas estudiadas, junto con los valores de uranio lixiviable en medio ácido y alcalino y las relaciones FeO/Fe_2O_3 , confirman la idea sobre

AGUAS SUBTERRANEAS DEL VALLE DEL CONLARA
 ÍSOBÁTAS DEL BASAMENTO Y FACIES HIDROGEOQUÍMICAS

Fig. 19

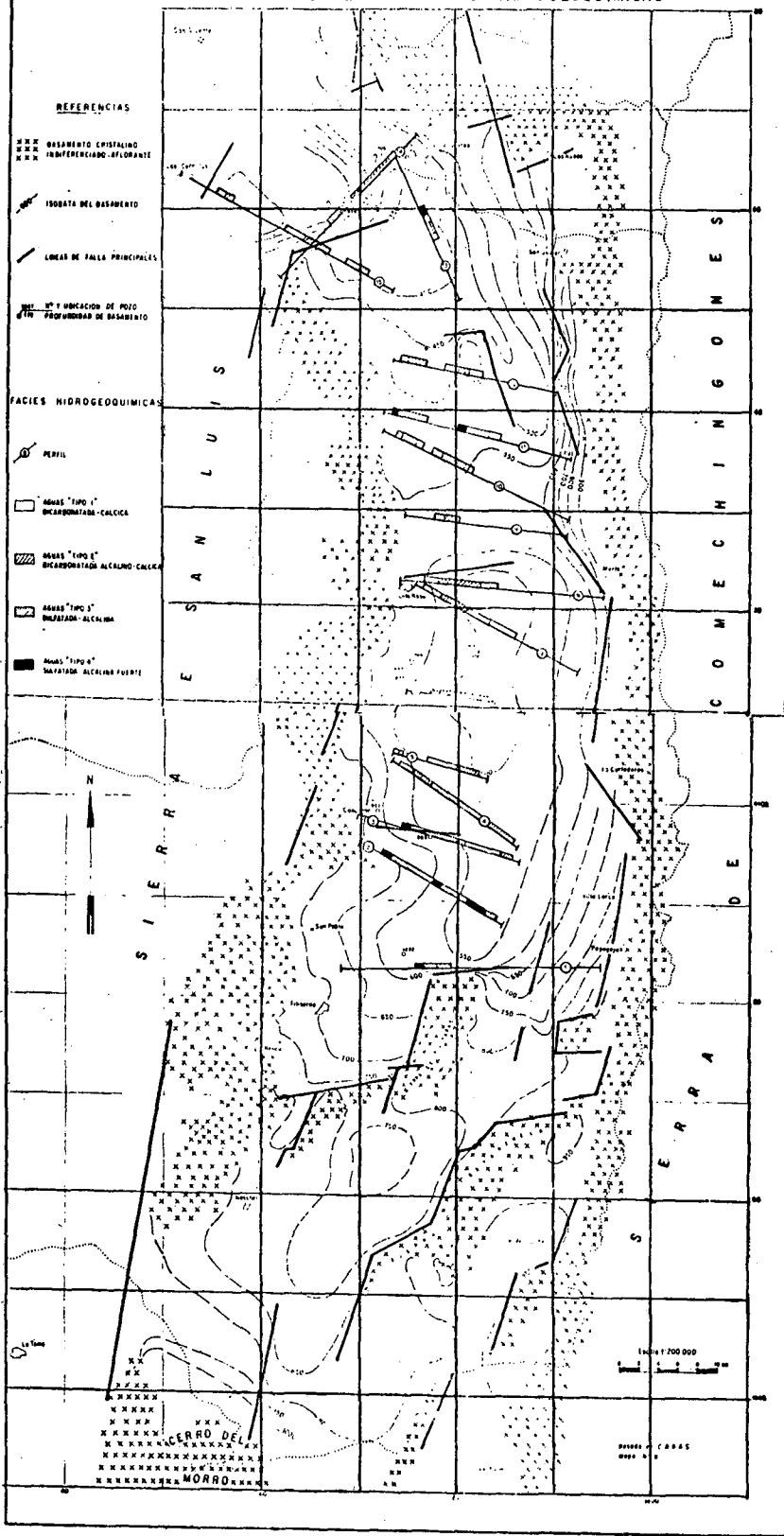


Fig. 19

la circulación descendente de soluciones alcalinas carbonatadas que atacaron los minerales fundamentales constituyentes de las plutonitas, especialmente en los niveles superficiales. Esas soluciones han lixiviado parte del uranio contenido en la roca fresca y provocado la solubilización de proporciones variables de Fe^{II} el cual, al oxidarse, precipita como material limonítico impregnando las tablillas de feldespatos previamente alterados por procesos de sericitización.

El análisis de aguas superficiales y de vertientes de la cuenca del arroyo El Tala (SANTOMERO, 1972; NICOLLI *et al.*, 1976a) revela que los valores correspondientes a uranio, oscilan entre 0,1 y 34 ppb U y entre 0,2 y 48 ppb U, respectivamente; para ambos la mediana estimada es 0,9 ppb U. Los aluviones de corrientes, por su parte, tienen valores comprendidos entre 0,8 y 105 ppm U, con una mediana de 4,0 ppm U y los aluviones de vertientes de 2,1 hasta 437 ppm U con una mediana estimada en 25 ppm U (SANTOMERO, *op. cit.*).

Los valores que se obtuvieron en la prospección general efectuada sobre la red de drenaje del faldeo oriental de la Sierra de San Luis (GAMBA, 1979) con una malla de muestreo entre 0,5 y 1 km, en el área del batolito de Las Chacras (drenado en parte por el arroyo de Las Cañas) oscilan entre 0,11 y 10 ppm U para los aluviones, con una mediana en 1,5 ppm U, y 0,45 a 12,35 ppb U para las aguas, con una mediana en 4,0 ppb U.

De lo expuesto anteriormente, y teniendo en consideración que la mayor parte de los sedimentos de relleno en el valle del Conlara provienen de la Sierra de Comechingones, es posible aseverar que una fuente importante de aporte de uranio a las aguas del valle, tal vez la principal, se encuentra en las plutonitas de esta sierra; el batolito de Las Chacras también contribuye con su aporte uranífero, aunque posiblemente en menor grado.

5.2. Transporte y distribución areal de contenidos uraníferos

De acuerdo con lo expresado en el punto 3.3., el uranio en las aguas subterráneas del valle presenta valores que oscilan entre 0,21 y 187 ppb U, con un valor medio de 13,6 ppb U y la mediana en 3,8 ppb U.

Para una mejor interpretación de su distribución areal se toma como límite inferior de los valores de fondo, la mediana ($m = 3,8$ ppb U) y como umbral de anomalía, $t = 7,4$ ppb U, valor correspondiente al punto medio del segmento representativo, según el criterio de LEPELTIER (1969). Consecuentemente, los valores anómalos se agrupan en las cuatro clases siguientes:

- 1) 7,4 a 20,5 ppb U: t a $(m + s)$
- 2) 20,5 a 62 ppb U: $(m + s)$ a $(m + 2s)$
- 3) 62 a 145 ppb U: $(m + 2s)$ a $(m + 3s)$
- 4) > 145 ppb U: > $(m + 3s)$

De esta agrupación de valores y de la observación del mapa de la Fig. 20, se puede deducir:

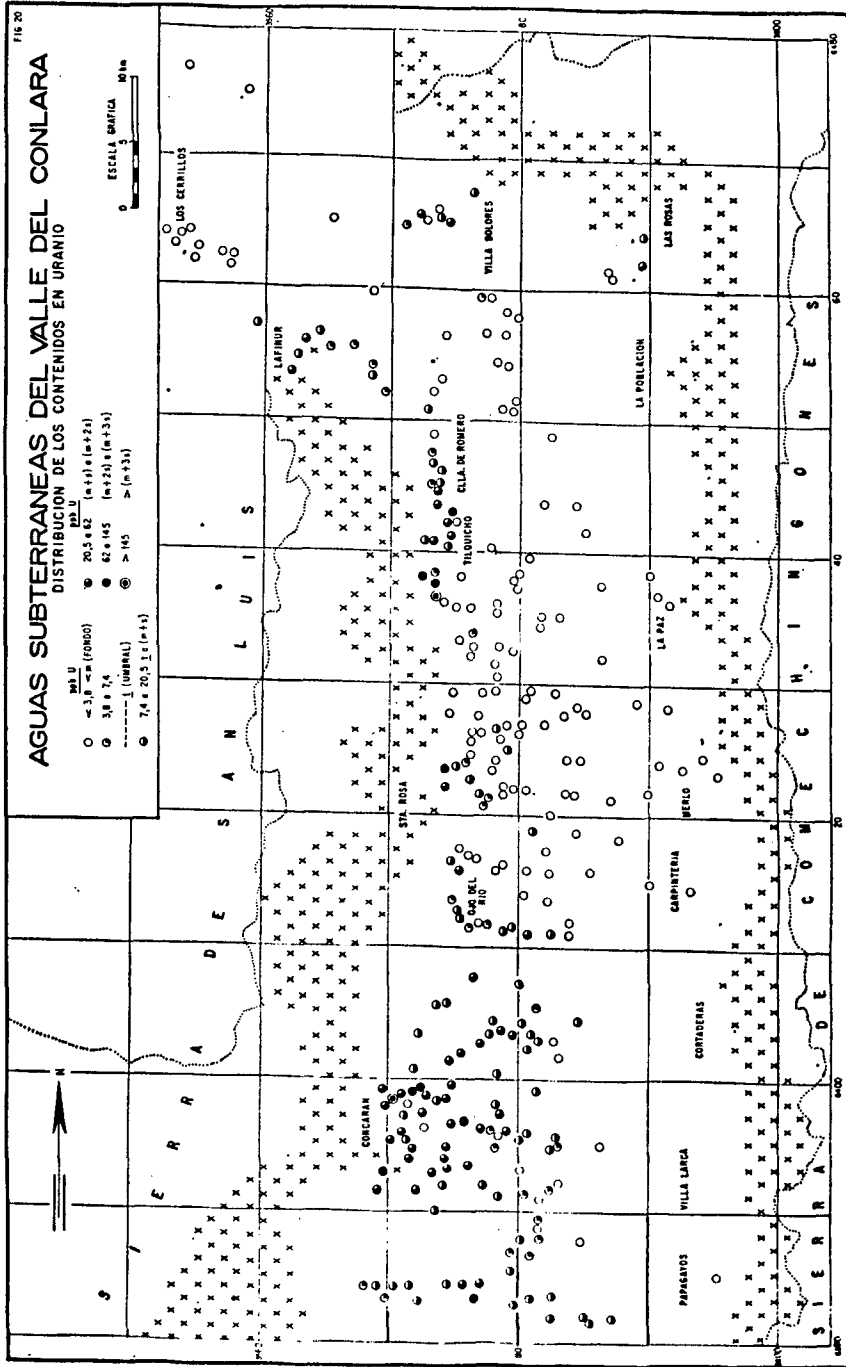


Fig. 20

- a) El 41 % de las muestras se encuentra por encima del valor de umbral.
- b) El incremento del contenido en uranio se verifica, en general, en el sentido de circulación de las aguas.
- c) La mayor concentración corresponde a las zonas comprendidas entre las aguas de los "tipos 3 y 4" (sulfatada alcalina dominante y sulfatada alcalina fuerte).

Dado que en estas zonas de mayor concentración existe un aumento de la salinidad, se efectuó una correlación entre los valores de uranio y los de la conductividad específica, obteniéndose un valor de $r = 1,7 \times 10^{-5}$, lo que hace descartar la posibilidad de un incremento del uranio debido sólo a una mayor concentración salina por efecto de la evapotranspiración (GAMBA, 1978).

Teniendo en cuenta la probabilidad de que exista una precipitación en la "zona de interfase 2 - 3" (bicarbonatada alcalino-cálcica a sulfatada alcalina dominante), la mayor concentración uranífera en las muestras de los tipos 3 y 4 podría, en principio, deberse a una redistribución del elemento por precipitación y posterior lixiviación del precipitado, o bien a fenómenos de mezcla producidos por los aportes de aguas de la Sierra de San Luis.

También debe tenerse en cuenta que el nivel freático asciende hacia el O del valle (la mayoría de los pozos muestreados en el área occidental tienen una profundidad entre 4 y 10 m y el nivel freático se encuentra entre 4 y 9 m), lo cual constituye un freno en el escurimiento de las aguas; en consecuencia su velocidad decrece y ello redundaría en una mayor concentración salina de las mismas.

5.3. Especies iónicas disueltas: estudios termodinámico-químicos

Para determinar las condiciones de depositación de minerales de uranio en rocas sedimentarias portadoras de acuíferos, es necesario conocer la forma bajo la cual se presenta el uranio en las aguas subterráneas. La determinación directa de los compuestos de uranio disueltos en el agua es un problema complicado; en el caso de las aguas subterráneas es aún más difícil dado que es necesario prevenir la reacción entre dichos compuestos y el aire. Sin embargo, la utilización de los datos fisicoquímicos referentes a soluciones uraníferas posibilita el cálculo de las proporciones en las cuales los diferentes compuestos de uranio pueden estar presentes en el agua (LISITSIN, 1962).

HOSTETLER y GARRELS (1962) y LISITSIN (*op. cit.*) discutieron las especies iónicas de uranio en las aguas naturales, enfatizando el papel del CO_2 disuelto en el incremento de la solubilidad de los minerales de uranio. Por ejemplo, una solución a pH 7 con 0,01 M de carbonato total contendría aproximadamente 10^{-4} M de dióxido de uranio dicarbonato (UDC) y sólo 10^{-8} M de UO_2^{++} en una solución libre de carbonatos, lo que da una proporción de 1 a 10.000 (NICOLLI, 1972).

El cálculo de los complejos acuosos del uranio presentes en las aguas subterráneas del valle del Conlara se realizó mediante la resolución de un sistema de ecuaciones cuyas constantes de disociación fueron tomadas de los trabajos de HOSTETLER y GARRELS (*op. cit.*) y LISITSIN (*op. cit.*):

$$K_{\text{UO}_2\text{OH}^+} = \frac{[\text{UO}_2^{+2}] [\text{OH}^-]}{[\text{UO}_2\text{OH}^+]} = 10^{-9,8} \quad (1)$$

$$K_{\text{UO}_2\text{Cl}^+} = \frac{[\text{UO}_2^{+2}] [\text{Cl}^-]}{[\text{UO}_2\text{Cl}^+]} = 10^{-9,39} \quad (2)$$

$$K_{\text{UO}_2\text{SO}_4} = \frac{[\text{UO}_2^{+2}] [\text{SO}_4^{-2}]}{[\text{UO}_2\text{SO}_4]} = 10^{-1,7} \quad (3)$$

$$K_{\text{UO}_2(\text{SO}_4)_2^{-2}} = \frac{[\text{UO}_2^{+2}] [\text{SO}_4^{-2}]^2}{[\text{UO}_2(\text{SO}_4)_2^{-2}]} = 10^{-2,55} \quad (4)$$

$$K_{\text{UO}_2(\text{SO}_4)_3^{-4}} = \frac{[\text{UO}_2^{+2}] [\text{SO}_4^{-2}]^3}{[\text{UO}_2(\text{SO}_4)_3^{-4}]} = 10^{-3,4} \quad (5)$$

$$K_{\text{UO}_2(\text{CO}_3)_2(\text{H}_2\text{O})_2^{-2}} = \frac{[\text{UO}_2^{+2}] [\text{CO}_3^{-2}]^2 [\text{H}_2\text{O}]^2}{[\text{UO}_2(\text{CO}_3)_2(\text{H}_2\text{O})_2^{-2}]} = 10^{-20,4} \text{ ó } 10^{-14,7} \quad (6)$$

$$K_{\text{UO}_2(\text{CO}_3)_3^{-4}} = \frac{[\text{UO}_2^{+2}] [\text{CO}_3^{-2}]^3}{[\text{UO}_2(\text{CO}_3)_3^{-4}]} = 10^{-24,2} \text{ ó } 10^{-11,9} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \Sigma U = [\text{UO}_2^{+2}] & \left[1 + \frac{[\text{OH}^-]}{10^{-9,8}} + \frac{m_{\text{Cl}^-} \gamma_{\text{Cl}^-}}{10^{-9,39}} + \frac{m_{\text{SO}_4^{-2}} \gamma_{\text{SO}_4^{-2}}}{10^{-1,7}} + \right. \\ & + \frac{(m_{\text{SO}_4^{-2}} \gamma_{\text{SO}_4^{-2}})^2}{10^{-2,55}} + \frac{(m_{\text{SO}_4^{-2}} \gamma_{\text{SO}_4^{-2}})^3}{10^{-3,40}} + \frac{(m_{\text{CO}_3^{-2}} \gamma_{\text{CO}_3^{-2}})^2}{10^{-20,4}} + \\ & \left. + \frac{(m_{\text{CO}_3^{-2}} \gamma_{\text{CO}_3^{-2}})^3}{10^{-24,2}} \right] \quad (8) \end{aligned}$$

La ecuación (8) es un balance de masa, tomada de KYUREGYAN y KOCHARYAN (1969) que corresponde a la suma de las especies iónicas complejas individuales.

Las constantes de disociación para dióxido de uranio dicarbonato hidratado, *UDC* (6) y dióxido de uranio tricarbonato, *UTC* (7) dadas por HOSTETLER y GARRELS (*op. cit.*), difieren de las obtenidas por LISITSIN (*op. cit.*) en una magnitud del orden de 10^{-6} . Se acepta generalmente la de los primeros autores, debido a que ellos informan una buena concordancia entre las dos fuentes de las cuales obtuvieron sus constantes. Se desprecian otras posibles especies acuosas tales como U^{+4} , UOH^{+3} y HUO_4^- , debido a las condiciones muy restringidas de Eh y pH bajo las cuales ellas predominan.

Para el método de cálculo se siguieron los lineamientos dados por GARRELS y CHRIST (1965) y BOBERG (1970). Se escribieron las ecuaciones (1) a (7) en términos de las actividades iónicas para la disociación de los complejos acuosos del uranio correspondientes. Las concentraciones determinadas de $CO_3^{=}$, $SO_4^{=}$ y Cl^- fueron sustituidas por los valores de actividad, empleando los coeficientes de actividad estimados a partir de la lámina N° 1 de HEM (1961) y de la Fig. 12-4 de BUTTLER (1964).

A continuación, una vez resuelto el sistema de ecuaciones, se calculó la concentración de cada especie a partir de la actividad correspondiente. La actividad iónica del uranio total se fijó en 10^{-6} y la presión de CO_2 en 10^{-2} , dado que son los valores más frecuentemente observados en los medios geológicos estudiados.

Los resultados (listados en el cuadro VI, para 70 muestras seleccionadas) demuestran que los *complejos del uranio dominantes*, aún en las muestras ricas en sulfatos, son el *UDC* y el *UTC*, los cuales comprenden más del 99 % de las especies presentes.

Si se consideran las constantes de disociación de LISITSIN (*op. cit.*) el hidróxido de uranio pasa a ser una de las especies significativas en algunas muestras, pero siempre subordinado al *UTC* que es la especie predominante con el 57 % o el 66 % según se consideren las constantes de HOSTETLER y GARRELS o las de LISITSIN, respectivamente.

5.4. Precipitación de minerales de uranio

Para investigar la posible precipitación de minerales de uranio en los sedimentos se efectuó una serie de cálculos basados en la composición de las muestras de aguas estudiadas y se analizaron tres muestras del sondeo "Los Espinillos N° 4" (pozo N° 1037) cedidas por el INCYTH. El mencionado sondeo está ubicado en el área delimitada por aguas de los tipos 2 y 3 (ver mapa de la Fig. 19 y cuadro VII).

Los cálculos de equilibrio para conocer las posibilidades de precipitación en el área se efectuaron teniendo en cuenta que la uraninita es uno de los minerales más comúnmente presente en los depósitos sedimentarios y considerando que se cuenta con una mayor disponibilidad de datos termodinámico-químicos sobre ese mineral y sobre los carbonatos de uranio (HOSTETLER y GARRELS, *op. cit.*).

CUADRO VI
AGUAS SUBTERRÁNEAS DEL VALLE DEL CONLARA

Muestra N°	U moles/l	Valores K de	Formas de los complejos del uranio (moles/l)									
			VALORES K PARA LOS COMPLEJOS DE URANIO SEGUN CONSTANTES DADAS POR HOSTETTLER Y GARRELS (1962) Y LISITSIN (1962)									
			UO ₂ ²⁺	UO ₂ OH ⁺	UO ₂ Cl ⁺	UO ₂ SO ₄	UO ₂ (SO ₄) ₂ ⁻²	UO ₂ (SO ₄) ₃ ⁻⁴	UO ₂ (CO ₃) ₂ (H ₂ O) ₂ ⁻²	UO ₂ (CO ₃) ₃ ⁻⁶		
21	1,05x10 ⁻⁷	Hostettler	1,79x10 ⁻¹⁷	2,86x10 ⁻¹⁴	1,95x10 ⁻²⁰	5,01x10 ⁻²⁰	1,32x10 ⁻²¹	6,17x10 ⁻²⁶	9,12x10 ⁻⁸	1,34x10 ⁻⁹		
		Lisitsin	4,86x10 ⁻¹²	1,09x10 ⁻⁸	1,35x10 ⁻¹⁶	1,91x10 ⁻¹³	5,01x10 ⁻¹⁴	2,34x10 ⁻²⁰	8,84x10 ⁻⁸	2,55x10 ⁻⁸		
73	1,95x10 ⁻⁷	Hostettler	6,02x10 ⁻¹⁸	2,75x10 ⁻¹⁴	7,94x10 ⁻²¹	9,77x10 ⁻¹⁹	8,91x10 ⁻²¹	2,45x10 ⁻²⁴	2,13x10 ⁻⁸	1,74x10 ⁻⁷		
		Lisitsin	1,25x10 ⁻¹²	5,71x10 ⁻⁹	1,66x10 ⁻¹⁶	2,04x10 ⁻¹³	1,86x10 ⁻¹⁵	6,13x10 ⁻¹⁹	8,84x10 ⁻⁸	1,80x10 ⁻⁷		
105	2,34x10 ⁻⁸	Hostettler	5,63x10 ⁻¹⁹	2,56x10 ⁻¹⁴	6,29x10 ⁻²²	3,88x10 ⁻²¹	3,74x10 ⁻²⁴	9,77x10 ⁻²⁰	2,35x10 ⁻⁹	2,01x10 ⁻¹²		
		Lisitsin	2,80x10 ⁻¹³	1,28x10 ⁻¹⁰	3,09x10 ⁻¹⁶	1,91x10 ⁻¹⁵	1,86x10 ⁻¹⁸	4,79x10 ⁻²³	2,33x10 ⁻⁸	6,01x10 ⁻¹²		
106	1,83x10 ⁻⁷	Hostettler	8,55x10 ⁻¹⁸	5,50x10 ⁻¹⁵	8,51x10 ⁻²¹	1,78x10 ⁻¹⁹	9,77x10 ⁻²³	4,17x10 ⁻²⁶	1,82x10 ⁻⁷	2,63x10 ⁻¹⁰		
		Lisitsin	4,21x10 ⁻¹²	2,72x10 ⁻⁹	4,17x10 ⁻¹⁵	8,71x10 ⁻¹⁴	4,79x10 ⁻¹⁷	2,04x10 ⁻²³	1,80x10 ⁻⁷	4,52x10 ⁻¹⁰		
258	8,67x10 ⁻⁸	Hostettler	3,91x10 ⁻¹⁸	1,32x10 ⁻¹⁴	5,01x10 ⁻²⁰	1,51x10 ⁻¹⁸	2,45x10 ⁻²⁰	8,71x10 ⁻²⁵	1,74x10 ⁻⁸	6,91x10 ⁻⁸		
		Lisitsin	8,55x10 ⁻¹³	2,90x10 ⁻⁹	3,10x10 ⁻¹⁴	3,31x10 ⁻¹³	5,37x10 ⁻¹⁵	1,91x10 ⁻¹⁸	7,91x10 ⁻⁸	9,62x10 ⁻⁸		
261	3,25x10 ⁻⁸	Hostettler	1,02x10 ⁻²⁰	8,92x10 ⁻¹⁷	1,45x10 ⁻²²	8,71x10 ⁻²²	1,89x10 ⁻²³	1,32x10 ⁻²⁸	2,79x10 ⁻¹¹	3,24x10 ⁻⁸		
		Lisitsin	1,48x10 ⁻¹⁵	1,00x10 ⁻¹¹	2,09x10 ⁻¹⁷	1,26x10 ⁻¹⁶	4,57x10 ⁻¹⁹	3,02x10 ⁻²⁴	6,62x10 ⁻¹²	2,35x10 ⁻⁸		
265	2,43x10 ⁻⁸	Hostettler	1,15x10 ⁻¹⁸	3,98x10 ⁻¹⁵	8,51x10 ⁻²¹	2,29x10 ⁻¹⁹	2,14x10 ⁻²¹	1,86x10 ⁻²⁵	8,24x10 ⁻⁹	1,90x10 ⁻⁸		
		Lisitsin	2,54x10 ⁻¹³	8,80x10 ⁻¹⁰	1,86x10 ⁻¹⁵	5,01x10 ⁻¹⁴	4,68x10 ⁻¹⁶	4,07x10 ⁻²⁰	2,31x10 ⁻⁹	2,11x10 ⁻⁸		
304	8,61x10 ⁻⁸	Hostettler	7,21x10 ⁻²⁰	4,57x10 ⁻¹⁶	6,92x10 ⁻²²	1,45x10 ⁻²⁰	6,61x10 ⁻²¹	9,33x10 ⁻²⁹	1,61x10 ⁻¹⁰	8,61x10 ⁻⁸		
		Lisitsin	1,44x10 ⁻¹⁴	9,12x10 ⁻¹¹	1,38x10 ⁻¹⁶	2,88x10 ⁻¹⁵	1,32x10 ⁻¹⁵	1,86x10 ⁻²³	6,03x10 ⁻¹¹	6,61x10 ⁻⁸		
323	9,13x10 ⁻⁸	Hostettler	9,42x10 ⁻¹⁹	1,58x10 ⁻¹⁵	1,86x10 ⁻²⁰	5,88x10 ⁻²⁰	1,29x10 ⁻²²	6,46x10 ⁻²⁸	8,32x10 ⁻⁸	7,24x10 ⁻⁹		
		Lisitsin	4,18x10 ⁻¹³	7,09x10 ⁻¹⁰	6,32x10 ⁻¹⁵	2,63x10 ⁻¹⁴	5,75x10 ⁻¹⁷	2,88x10 ⁻²²	7,43x10 ⁻⁸	1,62x10 ⁻⁸		
325	3,02x10 ⁻⁷	Hostettler	8,59x10 ⁻¹⁹	1,69x10 ⁻¹⁴	9,54x10 ⁻²⁰	2,69x10 ⁻¹⁸	3,02x10 ⁻²⁰	5,50x10 ⁻²⁵	3,38x10 ⁻⁸	2,69x10 ⁻⁷		
		Lisitsin	1,39x10 ⁻¹²	3,58x10 ⁻⁸	2,00x10 ⁻¹⁴	5,62x10 ⁻¹³	6,31x10 ⁻¹⁵	1,15x10 ⁻¹⁹	1,42x10 ⁻⁸	2,84x10 ⁻⁷		
326	1,33x10 ⁻⁷	Hostettler	8,01x10 ⁻¹⁸	2,14x10 ⁻¹⁴	1,07x10 ⁻¹⁹	3,16x10 ⁻¹⁸	5,37x10 ⁻²⁰	1,55x10 ⁻²⁴	4,47x10 ⁻⁸	8,71x10 ⁻⁸		
		Lisitsin	1,93x10 ⁻¹²	5,20x10 ⁻⁹	2,57x10 ⁻¹⁴	7,76x10 ⁻¹³	3,16x10 ⁻¹⁴	3,02x10 ⁻¹⁹	2,17x10 ⁻⁸	1,06x10 ⁻⁷		
341	3,21x10 ⁻⁷	Hostettler	1,15x10 ⁻¹⁷	1,41x10 ⁻¹⁶	3,31x10 ⁻¹⁹	1,12x10 ⁻¹⁷	2,09x10 ⁻¹⁹	2,09x10 ⁻²⁵	1,44x10 ⁻⁷	1,66x10 ⁻⁷		
		Lisitsin	3,15x10 ⁻¹²	3,67x10 ⁻⁹	9,12x10 ⁻¹⁴	3,09x10 ⁻¹²	5,75x10 ⁻¹⁴	5,75x10 ⁻¹⁵	7,91x10 ⁻⁸	2,28x10 ⁻⁷		
382	7,35x10 ⁻⁷	Hostettler	1,42x10 ⁻¹⁷	4,07x10 ⁻¹⁴	6,01x10 ⁻¹⁹	2,04x10 ⁻¹⁷	5,75x10 ⁻¹⁹	8,51x10 ⁻²⁵	7,76x10 ⁻⁸	6,81x10 ⁻⁷		
		Lisitsin	3,40x10 ⁻¹²	8,54x10 ⁻⁹	1,05x10 ⁻¹³	4,27x10 ⁻¹²	1,20x10 ⁻¹³	1,76x10 ⁻¹⁴	3,25x10 ⁻⁸	6,94x10 ⁻⁷		
451	4,83x10 ⁻⁷	Hostettler	3,93x10 ⁻¹⁷	3,80x10 ⁻¹⁴	1,15x10 ⁻¹⁸	1,38x10 ⁻¹⁶	8,12x10 ⁻¹⁹	2,82x10 ⁻²²	4,57x10 ⁻⁷	2,51x10 ⁻⁸		
		Lisitsin	1,75x10 ⁻¹¹	1,71x10 ⁻⁸	5,13x10 ⁻¹³	6,16x10 ⁻¹¹	4,07x10 ⁻¹²	1,26x10 ⁻¹⁶	4,09x10 ⁻⁷	5,68x10 ⁻⁸		
505	4,28x10 ⁻⁸	Hostettler	1,40x10 ⁻¹⁹	4,67x10 ⁻¹⁴	1,74x10 ⁻²¹	4,27x10 ⁻²⁰	4,17x10 ⁻²²	9,55x10 ⁻²⁷	8,16x10 ⁻⁹	4,27x10 ⁻⁹		
		Lisitsin	2,61x10 ⁻¹⁴	9,33x10 ⁻¹¹	3,67x10 ⁻¹⁴	8,51x10 ⁻¹⁵	8,32x10 ⁻¹⁷	1,91x10 ⁻²¹	2,45x10 ⁻¹⁰	4,25x10 ⁻⁸		
517	2,02x10 ⁻⁷	Hostettler	1,50x10 ⁻¹⁸	6,31x10 ⁻¹⁵	3,26x10 ⁻²⁰	1,12x10 ⁻¹⁸	2,63x10 ⁻²⁰	1,48x10 ⁻²⁴	5,01x10 ⁻⁹	1,99x10 ⁻⁷		
		Lisitsin	3,00x10 ⁻¹³	1,26x10 ⁻⁹	6,46x10 ⁻¹⁵	2,26x10 ⁻¹³	5,25x10 ⁻¹⁵	2,95x10 ⁻¹⁹	1,99x10 ⁻⁸	2,00x10 ⁻⁷		
534	1,59x10 ⁻⁸	Hostettler	1,90x10 ⁻¹⁹	5,37x10 ⁻¹⁸	4,68x10 ⁻¹⁹	4,79x10 ⁻²²	8,46x10 ⁻²⁶	1,99x10 ⁻³¹	1,15x10 ⁻⁹	2,45x10 ⁻¹⁰		
		Lisitsin	6,53x10 ⁻¹⁴	1,84x10 ⁻¹⁰	1,32x10 ⁻¹⁵	1,62x10 ⁻¹⁶	2,19x10 ⁻²⁰	6,76x10 ⁻²⁶	7,65x10 ⁻¹⁰	4,21x10 ⁻¹⁰		
537	1,07x10 ⁻⁷	Hostettler	9,47x10 ⁻¹⁹	1,58x10 ⁻¹⁴	1,66x10 ⁻¹⁹	6,31x10 ⁻¹⁸	1,29x10 ⁻¹⁹	3,67x10 ⁻²⁴	7,08x10 ⁻⁸	3,72x10 ⁻⁸		
		Lisitsin	2,97x10 ⁻¹²	4,89x10 ⁻⁹	5,23x10 ⁻¹⁴	1,95x10 ⁻¹²	3,98x10 ⁻¹⁴	1,05x10 ⁻¹⁹	4,36x10 ⁻⁸	6,75x10 ⁻⁸		
718	2,60x10 ⁻⁷	Hostettler	2,17x10 ⁻¹⁷	2,62x10 ⁻¹⁴	3,72x10 ⁻¹⁸	7,94x10 ⁻¹⁸	8,91x10 ⁻²⁰	1,32x10 ⁻²⁴	2,24x10 ⁻⁷	3,98x10 ⁻⁸		
		Lisitsin	8,43x10 ⁻¹²	1,09x10 ⁻⁸	1,45x10 ⁻¹³	3,09x10 ⁻¹²	3,47x10 ⁻¹⁴	5,13x10 ⁻¹⁸	1,72x10 ⁻⁷	7,69x10 ⁻⁸		
786	1,37x10 ⁻⁷	Hostettler	7,21x10 ⁻¹⁹	2,16x10 ⁻¹⁵	8,32x10 ⁻²¹	1,95x10 ⁻¹⁸	2,79x10 ⁻²¹	1,99x10 ⁻²⁵	2,63x10 ⁻⁹	1,35x10 ⁻⁷		
		Lisitsin	1,45x10 ⁻¹³	6,33x10 ⁻¹⁰	1,66x10 ⁻¹⁵	3,89x10 ⁻¹⁴	4,37x10 ⁻¹⁸	3,88x10 ⁻²⁰	1,05x10 ⁻⁹	1,35x10 ⁻⁷		
825	3,21x10 ⁻⁸	Hostettler	4,58x10 ⁻¹⁸	3,29x10 ⁻¹⁴	2,95x10 ⁻²⁰	7,08x10 ⁻¹⁹	6,46x10 ⁻²¹	2,34x10 ⁻²⁴	2,75x10 ⁻⁸	6,47x10 ⁻⁹		
		Lisitsin	1,63x10 ⁻¹²	4,58x10 ⁻⁹	1,05x10 ⁻¹⁴	2,51x10 ⁻¹³	2,29x10 ⁻¹⁵	8,32x10 ⁻¹⁹	1,96x10 ⁻⁸	7,96x10 ⁻⁹		
837	3,10x10 ⁻⁸	Hostettler	1,00x10 ⁻¹⁸	5,75x10 ⁻¹⁶	5,62x10 ⁻²¹	8,12x10 ⁻²⁰	3,98x10 ⁻²²	7,24x10 ⁻²⁶	3,09x10 ⁻⁸	4,47x10 ⁻¹²		
		Lisitsin	4,98x10 ⁻¹³	2,87x10 ⁻¹⁰	2,62x10 ⁻¹⁵	4,07x10 ⁻¹⁴	2,00x10 ⁻¹⁶	3,63x10 ⁻²⁰	3,07x10 ⁻⁸	1,12x10 ⁻¹¹		
852	1,79x10 ⁻⁷	Hostettler	1,87x10 ⁻¹⁸	1,02x10 ⁻¹⁴	2,04x10 ⁻²⁰	4,47x10 ⁻¹⁹	4,90x10 ⁻²¹	3,72x10 ⁻²⁵	4,27x10 ⁻⁹	1,74x10 ⁻⁷		
		Lisitsin	3,75x10 ⁻¹¹	2,04x10 ⁻⁹	4,07x10 ⁻¹⁵	1,78x10 ⁻¹³	5,50x10 ⁻¹⁶	7,94x10 ⁻¹⁹	1,70x10 ⁻⁹	1,74x10 ⁻⁷		
855	2,90x10 ⁻⁸	Hostettler	2,47x10 ⁻²⁵	2,19x10 ⁻¹⁹	3,39x10 ⁻²⁷	3,09x10 ⁻²⁶	2,29x10 ⁻²⁸	4,89x10 ⁻³²	4,68x10 ⁻¹⁸	2,88x10 ⁻⁸		
		Lisitsin	4,92x10 ⁻²⁰	4,37x10 ⁻¹⁴	6,76x10 ⁻²²	6,17x10 ⁻²¹	5,47x10 ⁻²³	1,00x10 ⁻²⁶	1,86x10 ⁻¹⁸	2,90x10 ⁻⁸		
898	4,79x10 ⁻⁸	Hostettler	7,01x10 ⁻¹⁹	4,90x10 ⁻¹⁵	1,74x10 ⁻¹⁹	2,19x10 ⁻¹⁹	3,09x10 ⁻²¹	5,50x10 ⁻²⁵	1,62x10 ⁻⁹	4,68x10 ⁻⁸		
		Lisitsin	1,40x10 ⁻¹³	9,77x10 ⁻¹⁰	1,48x10 ⁻¹⁵	4,37x10 ⁻¹⁴	6,17x10 ⁻¹⁶	1,10x10 ⁻¹⁹	6,39x10 ⁻¹⁰	4,43x10 ⁻⁸		
912	1,65x10 ⁻⁷	Hostettler	2,36x10 ⁻¹⁷	8,31x10 ⁻¹⁴	2,82x10 ⁻¹⁹	1,26x10 ⁻¹⁷	2,45x10 ⁻¹⁹	2,45x10 ⁻²³	1,32x10 ⁻⁷	3,24x10 ⁻⁸		
		Lisitsin	7,92x10 ⁻¹²	2,13x10 ⁻⁸	9,55x10 ⁻¹⁴	4,27x10 ⁻¹²	8,32x10 ⁻¹⁴	8,32x10 ⁻¹⁶	8,89x10 ⁻⁹	5,48x10 ⁻⁹		

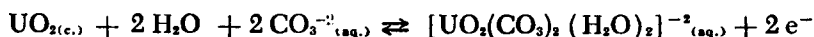
CUADRO VI (continuación)

Muestra n.º	U moles/l	Valores K de	Formas de los complejos del uranio (moles/l)								
			UO ₂ ²⁺	UO ₂ OH ⁺	UO ₂ Cl ⁺	UO ₂ SO ₄	UO ₂ (SO ₄) ₂ ⁻²	UO ₂ (SO ₄) ₃ ⁻⁴	UO ₂ (CO ₃) ₂ (H ₂ O) ₂ ⁻²	UO ₂ (CO ₃) ₃ ⁻⁴	
920	7,06x10 ⁻⁷	Hostettler	8,48x10 ⁻¹⁹	5,75x10 ⁻¹⁵	8,32x10 ⁻²¹	4,07x10 ⁻¹⁹	6,91x10 ⁻²¹	6,46x10 ⁻²⁵	1,82x10 ⁻⁹	1,05x10 ⁻⁷	
		Lisitsin	1,71x10 ⁻¹³	1,15x10 ⁻¹⁰	1,66x10 ⁻¹⁵	8,13x10 ⁻¹⁴	1,38x10 ⁻¹⁵	1,29x10 ⁻¹⁹	7,27x10 ⁻¹⁰	1,05x10 ⁻⁷	
923	1,03x10 ⁻⁷	Hostettler	5,69x10 ⁻¹²	3,16x10 ⁻¹⁴	3,24x10 ⁻²⁰	1,95x10 ⁻¹⁸	3,09x10 ⁻²⁰	5,88x10 ⁻²⁴	1,55x10 ⁻¹⁸	8,91x10 ⁻⁸	
		Lisitsin	1,16x10 ⁻¹²	6,40x10 ⁻⁹	6,61x10 ⁻¹⁵	3,98x10 ⁻¹³	6,31x10 ⁻¹⁵	1,17x10 ⁻¹⁸	6,25x10 ⁻⁹	9,12x10 ⁻⁸	
944	1,22x10 ⁻⁷	Hostettler	1,04x10 ⁻¹⁷	2,29x10 ⁻¹⁴	1,15x10 ⁻¹⁹	1,89x10 ⁻¹⁸	6,60x10 ⁻²⁰	1,05x10 ⁻²³	7,59x10 ⁻⁸	4,67x10 ⁻⁸	
		Lisitsin	3,13x10 ⁻¹²	6,84x10 ⁻⁹	3,39x10 ⁻¹⁴	..26x10 ⁻¹⁷	2,40x10 ⁻¹⁴	4,27x10 ⁻¹⁸	4,52x10 ⁻⁸	7,00x10 ⁻⁸	
945	1,17x10 ⁻⁷	Hostettler	4,11x10 ⁻¹⁸	1,07x10 ⁻¹⁴	6,76x10 ⁻²⁰	1,78x10 ⁻¹⁸	2,63x10 ⁻²⁰	1,45x10 ⁻²⁴	2,04x10 ⁻⁸	9,55x10 ⁻⁸	
		Lisitsin	8,99x10 ⁻¹¹	2,34x10 ⁻⁹	2,24x10 ⁻¹²	3,89x10 ⁻¹³	5,61x10 ⁻¹⁷	3,16x10 ⁻¹⁹	8,99x10 ⁻⁹	1,06x10 ⁻⁷	
946	1,44x10 ⁻⁷	Hostettler	9,86x10 ⁻¹⁸	1,00x10 ⁻¹⁴	1,82x10 ⁻¹⁹	5,13x10 ⁻¹⁸	7,41x10 ⁻²⁰	7,59x10 ⁻²⁵	1,29x10 ⁻⁷	1,66x10 ⁻⁸	
		Lisitsin	4,02x10 ⁻¹²	4,07x10 ⁻⁹	1,00x10 ⁻¹¹	2,00x10 ⁻¹³	2,75x10 ⁻¹⁶	2,69x10 ⁻²²	1,05x10 ⁻⁷	3,42x10 ⁻⁸	
947	1,85x10 ⁻⁷	Hostettler	1,28x10 ⁻¹⁷	1,30x10 ⁻¹⁴	1,86x10 ⁻¹⁹	7,24x10 ⁻¹⁸	1,51x10 ⁻¹⁸	1,58x10 ⁻²³	1,82x10 ⁻⁷	5,13x10 ⁻⁹	
		Lisitsin	5,92x10 ⁻¹²	6,31x10 ⁻⁹	8,51x10 ⁻¹⁴	3,31x10 ⁻¹²	7,08x10 ⁻¹⁴	7,41x10 ⁻¹⁸	1,67x10 ⁻⁷	1,18x10 ⁻⁸	
951	3,10x10 ⁻⁷	Hostettler	2,18x10 ⁻¹⁷	2,29x10 ⁻¹⁴	7,58x10 ⁻²⁰	1,86x10 ⁻¹⁷	4,60x10 ⁻¹⁹	1,78x10 ⁻²³	3,02x10 ⁻⁷	8,12x10 ⁻⁹	
		Lisitsin	1,02x10 ⁻¹¹	1,07x10 ⁻⁸	3,55x10 ⁻¹³	8,91x10 ⁻¹²	2,19x10 ⁻¹³	8,51x10 ⁻¹⁸	2,82x10 ⁻⁷	1,90x10 ⁻⁸	
952*	7,06x10 ⁻⁷	Hostettler	5,91x10 ⁻¹⁷	9,55x10 ⁻¹⁷	6,03x10 ⁻¹⁹	4,17x10 ⁻¹⁷	7,94x10 ⁻¹⁹	1,10x10 ⁻²³	4,57x10 ⁻⁷	1,74x10 ⁻⁷	
		Lisitsin	1,78x10 ⁻¹¹	2,80x10 ⁻⁸	5,25x10 ⁻¹⁴	2,51x10 ⁻¹¹	9,55x10 ⁻¹³	2,63x10 ⁻¹⁷	2,73x10 ⁻⁷	4,85x10 ⁻⁷	
954	3,31x10 ⁻⁷	Hostettler	7,35x10 ⁻¹⁸	2,40x10 ⁻¹⁴	3,02x10 ⁻¹⁹	8,32x10 ⁻¹⁸	2,34x10 ⁻¹⁹	5,75x10 ⁻²⁴	3,16x10 ⁻⁸	3,02x10 ⁻⁷	
		Lisitsin	1,53x10 ⁻¹²	5,01x10 ⁻⁹	6,31x10 ⁻¹⁴	1,74x10 ⁻¹²	1,38x10 ⁻¹⁶	1,20x10 ⁻¹⁸	1,32x10 ⁻⁸	3,16x10 ⁻⁷	
955	1,85x10 ⁻⁷	Hostettler	1,48x10 ⁻¹⁷	3,72x10 ⁻¹⁴	3,72x10 ⁻¹⁹	1,41x10 ⁻¹⁷	3,09x10 ⁻¹⁹	2,14x10 ⁻²⁴	7,78x10 ⁻⁸	1,07x10 ⁻⁷	
		Lisitsin	3,75x10 ⁻¹²	9,33x10 ⁻⁹	9,55x10 ⁻¹⁴	7,24x10 ⁻¹²	3,16x10 ⁻¹³	4,27x10 ⁻¹⁸	3,89x10 ⁻⁸	1,38x10 ⁻⁷	
957	1,86x10 ⁻⁷	Hostettler	7,90x10 ⁻¹⁸	2,09x10 ⁻¹⁴	1,45x10 ⁻¹⁸	4,88x10 ⁻¹⁸	8,51x10 ⁻²⁰	3,88x10 ⁻²⁴	4,37x10 ⁻⁸	1,51x10 ⁻⁷	
		Lisitsin	1,78x10 ⁻¹²	4,68x10 ⁻⁹	3,72x10 ⁻¹⁴	1,05x10 ⁻¹²	1,91x10 ⁻¹⁴	8,91x10 ⁻¹⁹	1,95x10 ⁻⁸	1,70x10 ⁻⁷	
959	8,44x10 ⁻⁸	Hostettler	1,24x10 ⁻¹⁷	1,15x10 ⁻¹³	3,02x10 ⁻¹⁷	8,91x10 ⁻¹⁸	5,75x10 ⁻¹⁹	4,79x10 ⁻²¹	2,19x10 ⁻⁸	8,12x10 ⁻⁸	
		Lisitsin	2,45x10 ⁻¹³	2,29x10 ⁻⁹	6,17x10 ⁻¹³	1,78x10 ⁻¹³	1,49x10 ⁻¹⁴	9,55x10 ⁻¹⁷	8,71x10 ⁻¹⁰	8,13x10 ⁻⁸	
960	1,88x10 ⁻⁷	Hostettler	7,55x10 ⁻¹⁸	2,57x10 ⁻¹⁴	2,75x10 ⁻¹⁹	3,80x10 ⁻¹⁶	1,78x10 ⁻¹⁹	2,63x10 ⁻²³	3,39x10 ⁻⁸	1,55x10 ⁻⁷	
		Lisitsin	1,64x10 ⁻¹²	5,50x10 ⁻⁹	5,89x10 ⁻¹⁴	1,29x10 ⁻¹²	3,80x10 ⁻¹⁴	5,62x10 ⁻¹⁸	1,45x10 ⁻⁸	1,86x10 ⁻⁷	
962	9,43x10 ⁻⁸	Hostettler	6,04x10 ⁻¹⁸	7,07x10 ⁻¹⁵	6,76x10 ⁻¹⁸	2,16x10 ⁻¹⁸	6,76x10 ⁻²⁰	2,69x10 ⁻²²	9,33x10 ⁻⁸	7,41x10 ⁻¹⁰	
		Lisitsin	2,88x10 ⁻¹²	3,39x10 ⁻⁹	7,59x10 ⁻¹⁴	1,00x10 ⁻¹²	3,24x10 ⁻¹⁴	1,29x10 ⁻¹⁸	8,91x10 ⁻⁸	1,78x10 ⁻⁹	
963	2,47x10 ⁻⁷	Hostettler	5,37x10 ⁻¹⁹	3,47x10 ⁻¹⁵	2,09x10 ⁻²⁰	4,90x10 ⁻¹⁹	9,77x10 ⁻²¹	2,14x10 ⁻²⁵	1,15x10 ⁻⁹	2,45x10 ⁻⁷	
		Lisitsin	1,07x10 ⁻¹³	6,92x10 ⁻¹⁰	4,17x10 ⁻¹⁵	9,77x10 ⁻¹⁴	1,95x10 ⁻¹⁵	4,27x10 ⁻²⁰	4,67x10 ⁻¹⁰	2,45x10 ⁻⁷	
964	3,74x10 ⁻⁷	Hostettler	1,83x10 ⁻¹⁷	4,47x10 ⁻¹⁴	7,59x10 ⁻¹⁹	1,88x10 ⁻¹⁷	2,95x10 ⁻¹⁹	2,75x10 ⁻²⁵	3,91x10 ⁻⁸	2,82x10 ⁻⁷	
		Lisitsin	4,18x10 ⁻¹²	1,74x10 ⁻⁸	1,74x10 ⁻¹³	3,80x10 ⁻¹²	6,76x10 ⁻¹⁴	6,31x10 ⁻²⁰	4,07x10 ⁻⁸	3,24x10 ⁻⁷	
965	1,94x10 ⁻⁷	Hostettler	9,46x10 ⁻¹⁸	4,07x10 ⁻¹⁴	2,19x10 ⁻¹⁹	3,63x10 ⁻¹⁸	5,01x10 ⁻²⁰	3,47x10 ⁻²⁴	3,09x10 ⁻⁸	7,41x10 ⁻⁸	
		Lisitsin	2,10x10 ⁻¹²	8,91x10 ⁻⁹	4,90x10 ⁻¹⁴	7,94x10 ⁻¹³	1,10x10 ⁻¹⁴	7,59x10 ⁻¹⁹	1,35x10 ⁻⁸	8,13x10 ⁻⁸	
967	1,84x10 ⁻⁷	Hostettler	5,23x10 ⁻¹⁸	3,54x10 ⁻¹⁴	9,55x10 ⁻²⁰	2,34x10 ⁻¹⁸	3,98x10 ⁻²⁰	3,24x10 ⁻²⁴	1,07x10 ⁻⁸	1,74x10 ⁻⁷	
		Lisitsin	1,84x10 ⁻¹²	7,07x10 ⁻⁹	1,91x10 ⁻¹⁴	4,88x10 ⁻¹³	7,94x10 ⁻¹⁵	6,46x10 ⁻¹⁹	4,26x10 ⁻⁹	1,74x10 ⁻⁷	
969	1,09x10 ⁻⁷	Hostettler	4,88x10 ⁻¹⁸	3,31x10 ⁻¹⁵	7,41x10 ⁻²⁰	2,19x10 ⁻¹⁸	3,72x10 ⁻²⁰	2,95x10 ⁻²⁴	1,99x10 ⁻⁷	3,02x10 ⁻¹⁰	
		Lisitsin	2,34x10 ⁻¹²	1,62x10 ⁻⁹	3,83x10 ⁻¹⁴	1,07x10 ⁻¹²	1,82x10 ⁻¹⁴	1,45x10 ⁻¹⁸	1,07x10 ⁻⁷	1,35x10 ⁻¹⁰	
981	1,48x10 ⁻⁷	Hostettler	1,59x10 ⁻¹⁷	3,39x10 ⁻¹⁴	2,45x10 ⁻¹⁹	7,34x10 ⁻¹⁸	1,38x10 ⁻¹⁹	1,32x10 ⁻²³	1,12x10 ⁻⁷	3,55x10 ⁻⁸	
		Lisitsin	5,39x10 ⁻¹²	1,15x10 ⁻⁸	8,32x10 ⁻¹⁴	2,63x10 ⁻¹²	4,68x10 ⁻¹⁴	4,47x10 ⁻¹⁹	7,50x10 ⁻⁹	6,03x10 ⁻⁸	
982	2,84x10 ⁻⁷	Hostettler	2,37x10 ⁻¹⁷	2,95x10 ⁻¹⁴	2,34x10 ⁻¹⁹	1,29x10 ⁻¹⁷	2,04x10 ⁻¹⁹	5,13x10 ⁻²⁴	2,45x10 ⁻⁷	1,17x10 ⁻⁹	
		Lisitsin	9,80x10 ⁻¹²	1,25x10 ⁻⁸	2,39x10 ⁻¹¹	5,50x10 ⁻¹²	8,71x10 ⁻¹⁴	2,19x10 ⁻¹⁸	2,09x10 ⁻⁷	4,19x10 ⁻⁸	
993	1,92x10 ⁻⁷	Hostettler	5,93x10 ⁻¹⁸	2,51x10 ⁻¹⁴	8,12x10 ⁻²⁰	2,24x10 ⁻¹⁸	5,55x10 ⁻²⁰	1,45x10 ⁻²⁴	2,09x10 ⁻⁸	1,70x10 ⁻⁷	
		Lisitsin	1,23x10 ⁻¹²	8,28x10 ⁻⁹	1,70x10 ⁻¹⁴	4,68x10 ⁻¹³	7,41x10 ⁻¹⁵	3,02x10 ⁻¹⁹	8,71x10 ⁻⁸	1,78x10 ⁻⁷	
997	1,38x10 ⁻⁷	Hostettler	5,83x10 ⁻¹⁸	2,40x10 ⁻¹⁴	1,74x10 ⁻¹⁹	5,37x10 ⁻¹⁸	1,55x10 ⁻¹⁹	5,89x10 ⁻²⁴	1,91x10 ⁻⁸	1,20x10 ⁻⁷	
		Lisitsin	1,22x10 ⁻¹²	5,01x10 ⁻⁹	3,02x10 ⁻¹²	1,12x10 ⁻¹²	1,35x10 ⁻¹⁴	1,23x10 ⁻¹⁸	7,98x10 ⁻⁸	1,26x10 ⁻⁷	
998	1,92x10 ⁻⁷	Hostettler	1,89x10 ⁻¹⁷	3,09x10 ⁻¹⁴	5,13x10 ⁻¹⁹	1,51x10 ⁻¹⁷	3,39x10 ⁻¹⁹	1,17x10 ⁻²³	1,62x10 ⁻⁷	3,09x10 ⁻⁸	
		Lisitsin	7,35x10 ⁻¹²	1,17x10 ⁻⁸	1,98x10 ⁻¹³	5,75x10 ⁻¹²	1,29x10 ⁻¹³	4,47x10 ⁻¹⁸	1,23x10 ⁻⁷	5,89x10 ⁻⁸	
999	1,48x10 ⁻⁷	Hostettler	1,19x10 ⁻¹⁷	5,13x10 ⁻¹⁴	1,35x10 ⁻¹⁹	4,37x10 ⁻¹⁸	6,76x10 ⁻²⁰	8,51x10 ⁻²⁴	4,27x10 ⁻⁸	1,05x10 ⁻⁷	
		Lisitsin	2,85x10 ⁻¹²	1,16x10 ⁻⁸	3,02x10 ⁻¹⁴	1,00x10 ⁻¹²	1,55x10 ⁻¹⁸	1,95x10 ⁻¹⁸	1,92x10 ⁻⁸	1,18x10 ⁻⁷	
1.002	1,55x10 ⁻⁷	Hostettler	1,41x10 ⁻¹⁷	7,34x10 ⁻¹⁴	3,09x10 ⁻¹⁹	7,24x10 ⁻¹⁸	1,23x10 ⁻¹⁹	5,25x10 ⁻²⁴	1,26x10 ⁻⁷	2,95x10 ⁻⁸	
		Lisitsin	5,18x10 ⁻¹²	8,61x10 ⁻⁹	2,63x10 ⁻¹⁷	2,75x10 ⁻¹²	4,47x10 ⁻¹⁴	1,91x10 ⁻¹⁹	9,22x10 ⁻⁸	5,43x10 ⁻⁸	
1.004	8,90x10 ⁻⁸	Hostettler	4,06x10 ⁻²⁰	8,51x10 ⁻¹⁶	8,91x10 ⁻²²	2,19x10 ⁻²⁰	4,07x10 ⁻²²	1,62x10 ⁻²⁸	2,81x10 ⁻¹¹	6,90x10 ⁻⁸	
		Lisitsin	8,09x10 ⁻¹⁵	1,70x10 ⁻¹⁰	1,79x10 ⁻¹⁸	4,37x10 ⁻¹⁵	6,13x10 ⁻¹⁷	3,24x10 ⁻²¹	1,12x10 ⁻¹¹	6,90x10 ⁻⁸	

CUADRO V: (Continuación)

Muestra N°	U moles/l	Valores K de	Formas de los complejos del uranio (moles/l)							
			UO ₂ ⁺²	UO ₂ OH ⁺	UO ₂ Cl ⁺	UO ₂ SO ₄	UO ₂ (SO ₄) ₂ ⁻²	UO ₂ (SO ₄) ₃ ⁻⁴	UO ₂ (CO ₃) ₂ (H ₂ O) ₂ ⁻²	UO ₂ (CO ₃) ₃ ⁻⁴
1.005	2,52x10 ⁻⁷	Hostetler	1,01x10 ⁻¹⁸	5,50x10 ⁻¹⁵	1,41x10 ⁻²⁰	4,47x10 ⁻¹⁹	7,24x10 ⁻²¹	6,03x10 ⁻²⁵	2,88x10 ⁻⁹	2,51x10 ⁻⁷
		Lisitsin	2,03x10 ⁻¹³	1,10x10 ⁻⁹	2,82x10 ⁻¹⁵	8,91x10 ⁻¹⁴	1,45x10 ⁻¹⁵	1,20x10 ⁻¹⁹	1,15x10 ⁻⁹	2,51x10 ⁻⁷
1.007	1,57x10 ⁻⁷	Hostetler	6,26x10 ⁻¹⁸	2,04x10 ⁻¹⁴	1,70x10 ⁻¹⁹	4,07x10 ⁻¹⁸	8,13x10 ⁻²⁰	2,14x10 ⁻²⁴	2,69x10 ⁻⁸	1,29x10 ⁻⁷
		Lisitsin	1,38x10 ⁻¹²	4,47x10 ⁻⁹	3,39x10 ⁻¹²	8,91x10 ⁻¹³	1,77x10 ⁻¹⁴	4,68x10 ⁻¹⁹	1,17x10 ⁻⁸	1,41x10 ⁻⁷
1.008	1,22x10 ⁻⁷	Hostetler	1,20x10 ⁻¹⁸	1,05x10 ⁻¹⁴	1,90x10 ⁻²⁰	3,52x10 ⁻¹⁹	4,47x10 ⁻²¹	4,57x10 ⁻²⁵	2,23x10 ⁻⁹	1,20x10 ⁻⁷
		Lisitsin	2,38x10 ⁻¹³	2,09x10 ⁻⁹	3,72x10 ⁻¹⁵	6,76x10 ⁻¹⁴	8,13x10 ⁻¹⁶	7,76x10 ⁻²⁰	8,91x10 ⁻¹⁰	1,21x10 ⁻⁷
1.013	1,82x10 ⁻⁷	Hostetler	2,81x10 ⁻¹⁹	3,80x10 ⁻¹⁵	6,46x10 ⁻²¹	1,15x10 ⁻¹⁹	1,70x10 ⁻²¹	1,26x10 ⁻²⁵	3,16x10 ⁻¹⁰	1,82x10 ⁻⁷
		Lisitsin	5,60x10 ⁻¹⁴	7,59x10 ⁻¹⁰	1,29x10 ⁻¹⁵	2,29x10 ⁻¹⁴	3,39x10 ⁻¹⁶	2,51x10 ⁻²⁰	1,26x10 ⁻¹⁰	1,82x10 ⁻⁷
1.015	7,27x10 ⁻⁸	Hostetler	4,76x10 ⁻¹⁹	5,13x10 ⁻¹⁵	7,24x10 ⁻²¹	2,14x10 ⁻¹⁹	3,55x10 ⁻²¹	3,02x10 ⁻²⁵	6,91x10 ⁻¹⁰	7,24x10 ⁻⁸
		Lisitsin	9,41x10 ⁻¹⁴	1,90x10 ⁻⁹	1,41x10 ⁻¹⁵	4,17x10 ⁻¹⁴	6,92x10 ⁻¹⁶	5,89x10 ⁻²⁰	2,69x10 ⁻¹⁰	7,08x10 ⁻⁸
1.108	1,55x10 ⁻⁷	Hostetler	3,16x10 ⁻¹⁹	3,39x10 ⁻¹⁵	6,61x10 ⁻²¹	1,79x10 ⁻¹⁹	1,95x10 ⁻²¹	1,48x10 ⁻²⁵	4,27x10 ⁻¹⁰	1,55x10 ⁻⁷
		Lisitsin	6,28x10 ⁻¹⁴	4,75x10 ⁻¹⁰	1,32x10 ⁻¹⁵	2,57x10 ⁻¹⁴	3,89x10 ⁻¹⁶	2,95x10 ⁻²⁰	1,62x10 ⁻¹⁰	1,55x10 ⁻⁷
1.116	6,65x10 ⁻⁸	Hostetler	2,55x10 ⁻²⁰	2,08x10 ⁻¹⁶	3,39x10 ⁻²²	1,10x10 ⁻²⁰	1,66x10 ⁻²²	6,31x10 ⁻²⁷	2,39x10 ⁻¹¹	6,61x10 ⁻⁸
		Lisitsin	4,49x10 ⁻¹⁵	5,75x10 ⁻¹¹	2,95x10 ⁻¹³	2,04x10 ⁻¹⁵	2,95x10 ⁻¹⁷	1,07x10 ⁻²¹	9,54x10 ⁻¹²	6,61x10 ⁻⁸
1.135	6,54x10 ⁻⁸	Hostetler	9,51x10 ⁻¹⁸	2,69x10 ⁻¹⁴	1,05x10 ⁻¹⁹	1,20x10 ⁻¹⁸	8,51x10 ⁻²¹	1,82x10 ⁻²⁴	5,75x10 ⁻⁸	6,51x10 ⁻⁹
		Lisitsin	3,42x10 ⁻¹²	9,55x10 ⁻⁹	3,72x10 ⁻¹⁴	4,27x10 ⁻¹³	3,02x10 ⁻¹⁵	6,46x10 ⁻¹⁹	4,17x10 ⁻⁸	1,43x10 ⁻⁸
1.229	8,25x10 ⁻⁸	Hostetler	1,04x10 ⁻¹⁷	2,14x10 ⁻¹⁴	2,14x10 ⁻¹⁹	7,24x10 ⁻¹⁸	1,38x10 ⁻¹⁹	1,91x10 ⁻²⁴	7,08x10 ⁻⁸	1,26x10 ⁻⁸
		Lisitsin	3,83x10 ⁻¹²	7,76x10 ⁻⁹	7,76x10 ⁻¹⁴	2,63x10 ⁻¹²	5,01x10 ⁻¹⁴	6,92x10 ⁻¹⁹	5,13x10 ⁻⁸	2,29x10 ⁻⁸
1.232	6,80x10 ⁻⁸	Hostetler	4,07x10 ⁻¹⁸	3,24x10 ⁻¹⁵	1,12x10 ⁻¹⁹	3,09x10 ⁻¹⁸	5,62x10 ⁻¹⁹	5,75x10 ⁻²⁵	6,76x10 ⁻⁸	4,67x10 ⁻¹⁰
		Lisitsin	1,97x10 ⁻¹²	1,55x10 ⁻⁹	5,37x10 ⁻¹⁴	1,48x10 ⁻¹²	3,80x10 ⁻¹⁵	2,75x10 ⁻¹⁹	6,46x10 ⁻⁸	1,12x10 ⁻⁹
1.234	1,19x10 ⁻⁷	Hostetler	1,04x10 ⁻¹⁷	1,38x10 ⁻¹⁴	6,31x10 ⁻¹⁹	4,07x10 ⁻¹⁸	4,57x10 ⁻²⁰	7,94x10 ⁻²⁵	1,15x10 ⁻⁷	5,13x10 ⁻⁹
		Lisitsin	4,64x10 ⁻¹²	6,16x10 ⁻⁹	2,82x10 ⁻¹³	1,82x10 ⁻¹²	2,04x10 ⁻¹⁴	3,55x10 ⁻¹⁹	1,02x10 ⁻⁷	1,15x10 ⁻⁸
1.235	5,34x10 ⁻⁷	Hostetler	5,38x10 ⁻¹⁷	1,10x10 ⁻¹³	9,33x10 ⁻¹⁹	2,63x10 ⁻¹⁷	3,98x10 ⁻¹⁹	8,32x10 ⁻²⁴	3,63x10 ⁻⁷	1,67x10 ⁻⁷
		Lisitsin	1,70x10 ⁻¹¹	3,46x10 ⁻⁸	2,95x10 ⁻¹³	8,31x10 ⁻¹²	1,26x10 ⁻¹³	2,63x10 ⁻¹⁸	2,29x10 ⁻⁷	2,69x10 ⁻⁷
1.236	2,18x10 ⁻⁷	Hostetler	1,86x10 ⁻¹⁷	6,31x10 ⁻¹⁴	3,02x10 ⁻¹⁹	6,31x10 ⁻¹⁸	9,12x10 ⁻²⁰	1,05x10 ⁻²³	8,32x10 ⁻⁸	1,35x10 ⁻⁷
		Lisitsin	4,48x10 ⁻¹²	1,51x10 ⁻⁸	7,24x10 ⁻¹⁴	1,51x10 ⁻¹²	3,09x10 ⁻¹⁵	2,51x10 ⁻¹⁸	3,98x10 ⁻⁸	1,62x10 ⁻⁷
1.244	7,31x10 ⁻⁸	Hostetler	6,39x10 ⁻¹⁸	2,29x10 ⁻¹⁴	2,14x10 ⁻²⁰	6,76x10 ⁻¹⁹	4,07x10 ⁻²¹	1,00x10 ⁻²⁴	3,02x10 ⁻⁸	4,37x10 ⁻⁸
		Lisitsin	1,56x10 ⁻¹²	5,50x10 ⁻⁹	5,13x10 ⁻¹⁵	1,62x10 ⁻¹³	9,77x10 ⁻¹⁶	2,40x10 ⁻¹⁹	1,45x10 ⁻⁸	5,25x10 ⁻⁸
1.245	6,26x10 ⁻⁸	Hostetler	6,86x10 ⁻¹⁸	1,95x10 ⁻¹⁴	2,75x10 ⁻²⁰	7,59x10 ⁻¹⁹	4,79x10 ⁻²¹	1,23x10 ⁻²⁴	4,07x10 ⁻⁸	2,34x10 ⁻⁸
		Lisitsin	2,02x10 ⁻¹²	5,62x10 ⁻⁹	1,94x10 ⁻¹⁵	2,19x10 ⁻¹³	1,36x10 ⁻¹⁵	3,55x10 ⁻¹⁹	2,34x10 ⁻⁸	3,39x10 ⁻⁸
1.248	6,13x10 ⁻⁸	Hostetler	5,72x10 ⁻¹⁸	1,02x10 ⁻¹⁴	3,02x10 ⁻²⁰	8,13x10 ⁻¹⁹	6,17x10 ⁻²¹	1,07x10 ⁻²⁴	5,37x10 ⁻⁸	7,94x10 ⁻⁹
		Lisitsin	2,24x10 ⁻¹²	3,98x10 ⁻⁹	1,17x10 ⁻¹⁴	3,16x10 ⁻¹³	2,40x10 ⁻¹⁵	4,17x10 ⁻¹⁹	4,17x10 ⁻⁸	1,55x10 ⁻⁸
1.577	5,38x10 ⁻⁸	Hostetler	2,74x10 ⁻¹⁸	8,71x10 ⁻¹⁵	3,24x10 ⁻²¹	2,45x10 ⁻¹⁹	4,90x10 ⁻²²	3,09x10 ⁻²⁸	1,15x10 ⁻⁸	4,27x10 ⁻⁸
		Lisitsin	6,04x10 ⁻¹³	1,95x10 ⁻⁹	7,24x10 ⁻¹⁶	3,16x10 ⁻¹¹	1,10x10 ⁻¹⁴	6,92x10 ⁻²³	5,13x10 ⁻⁹	4,78x10 ⁻⁸

La ecuación para el equilibrio entre uraninita, agua, ión carbonato y UDC es la siguiente:



Dado que es una reacción de oxidación-reducción puede escribirse en la forma de la ecuación de Nernst:

$$Eh = E^0 + \frac{0,059}{2} \log \frac{[UO_2(CO_3)_2(H_2O)_2]^{-2}}{(CO_3^{2-})^2}$$

El cálculo de E⁰ a partir de los datos de energía libre a 25°C da un valor de -0,208 volts (GARRELS y CHRIST, *op. cit.*); con esta relación se pueden calcular los valores del Eh o de la actividad del UDC necesarios para el equilibrio con uraninita.

CUADRO VII

Análisis de testigos del sondeo "Los Espinillos N° 4" (pozo 1037)

MUESTRA N°	PROF. m	DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA	U TOTAL ppm	U LÁBIL (HNO ₃ 2,5N) ppm	U LÁBIL / U TOTAL	FeO %	Fe ₂ O ₃ %	FeO/Fe ₂ O ₃	CaCO ₃ %
1	94	Pelitas calcáreas arenosas de color gris rosado, con abundantes minerales arcillosos, muy carbonáticas.	3,86	0,52	0,24	0,24	5,33	0,045	4,37
2	100	Idem anterior.	4,52	1,17	0,26	0,21	5,06	0,042	3,52
3	103	Idem anterior, pero poco carbonáticas.	6,00	0,37	0,06	0,26	5,88	0,044	0,19

El Eh requerido para el equilibrio entre el UTC y el uranilo está dado por la ecuación:

$$Eh = E^{\circ} + \frac{0,059}{2} \log \frac{[UO_2(CO_3)_2]^{-4}}{(CO_3^{-2})^3}$$

En este caso el valor de E° es igual a -0,32 volts (LISTSIN, *op. cit.*).

Los datos calculados para las 70 muestras seleccionadas están listados en el cuadro VIII. De la observación del mismo se deduce

CUADRO VIII
Comparación de los datos de equilibrio para la oxidación de la uraninita a dióxido-uranio di-carbonato (UDC) y dióxido-uranio tri-carbonato (UTC)

MUESTRA N°	U observado (ppb)	pH observado	CO ₃ observado	Eh (volt) medido	Eh (volt) requerido para alcanzar el equilibrio entre uraninita y			
					UDC		UTC	
					UDC	UTC	UDC	UTC
					Hostettler y Garrels			
					Listsin			
21	24,88	7,6	10 ^{-5,06}	+ 0,130	- 0,116	- 0,101	- 0,130	- 0,138
73	46,34	7,9	10 ^{-4,58}	+ 0,205	- 0,163	- 0,067	- 0,185	- 0,156
105	5,58	6,9	10 ^{-5,88}	+ 0,125	- 0,084	- 0,141	- 0,095	- 0,175
106	43,67	7,1	10 ^{-5,57}	+ 0,135	- 0,076	- 0,106	- 0,087	- 0,140
258	20,64	7,8	10 ^{-4,65}	+ 0,170	- 0,161	- 0,116	- 0,183	- 0,161
261	7,74	8,1	10 ^{-3,90}	+ 0,035	- 0,293	- 0,195	- 0,320	- 0,244
265	5,78	7,8	10 ^{-4,66}	+ 0,170	- 0,177	- 0,132	- 0,198	- 0,177
304	15,74	8,1	10 ^{-4,08}	+ 0,130	- 0,258	- 0,168	- 0,280	- 0,214
323	21,73	7,5	10 ^{-4,77}	+ 0,110	- 0,134	- 0,135	- 0,146	- 0,170
325	71,85	7,7	10 ^{-4,53}	+ 0,195	- 0,160	- 0,109	- 0,182	- 0,154
326	31,68	7,7	10 ^{-4,72}	+ 0,200	- 0,145	- 0,107	- 0,165	- 0,150
341	73,97	7,4	10 ^{-4,68}	+ 0,200	- 0,132	- 0,102	- 0,151	- 0,147
382	175,00	7,7	10 ^{-4,53}	+ 0,200	- 0,150	- 0,097	- 0,171	- 0,143
451	115,00	7,3	10 ^{-5,13}	+ 0,180	- 0,090	- 0,086	- 0,102	- 0,113
505	10,00	7,8	10 ^{-4,24}	+ 0,130	- 0,199	- 0,190	- 0,252	- 0,205
517	48,10	7,9	10 ^{-4,36}	+ 0,185	- 0,195	- 0,129	- 0,218	- 0,153
534	0,33	7,7	10 ^{-5,03}	- 0,040	- 0,174	- 0,156	- 0,190	- 0,194
537	25,48	7,5	10 ^{-4,87}	+ 0,130	- 0,130	- 0,105	- 0,147	- 0,145
718	61,79	7,9	10 ^{-4,98}	+ 0,150	- 0,109	- 0,094	- 0,122	- 0,131
786	32,66	7,9	10 ^{-4,31}	+ 0,190	- 0,206	- 0,138	- 0,229	- 0,184
835	7,64	7,7	10 ^{-5,07}	+ 0,115	- 0,131	- 0,114	- 0,146	- 0,152
837	7,37	7,0	10 ^{-5,85}	+ 0,120	- 0,082	- 0,134	- 0,093	- 0,168
852	42,65	8,0	10 ^{-4,41}	+ 0,165	- 0,195	- 0,126	- 0,217	- 0,172
855*	0,69	10,2	10 ^{-2,71}	+ 0,125	- 0,565	- 0,332	- 0,588	- 0,378
898*	11,40	8,1	10 ^{-4,46}	+ 0,115	- 0,204	- 0,139	- 0,227	- 0,184
912	39,37	7,7	10 ^{-5,02}	+ 0,180	- 0,113	- 0,093	- 0,129	- 0,132
920	25,15	8,1	10 ^{-4,37}	+ 0,140	- 0,208	- 0,136	- 0,230	- 0,182
923	24,50	8,0	10 ^{-4,67}	+ 0,155	- 0,162	- 0,111	- 0,184	- 0,157
944	28,96	7,6	10 ^{-4,85}	+ 0,200	- 0,131	- 0,103	- 0,148	- 0,144
945	27,92	7,7	10 ^{-4,61}	+ 0,180	- 0,162	- 0,116	- 0,183	- 0,160
946	34,38	7,3	10 ^{-4,99}	+ 0,205	- 0,115	- 0,104	- 0,128	- 0,140
947	44,06	8,8	10 ^{-5,20}	+ 0,205	- 0,098	- 0,101	- 0,110	- 0,136
951	73,75	7,3	10 ^{-5,21}	+ 0,170	- 0,091	- 0,094	- 0,102	- 0,128
952*	187,00	7,5	10 ^{-4,82}	+ 0,170	- 0,109	- 0,081	- 0,126	- 0,121
954	78,75	7,8	10 ^{-4,53}	+ 0,170	- 0,161	- 0,108	- 0,183	- 0,153
955	44,12	7,7	10 ^{-4,72}	+ 0,180	- 0,135	- 0,099	- 0,154	- 0,142
957	46,14	7,7	10 ^{-4,64}	+ 0,150	- 0,150	- 0,107	- 0,171	- 0,151
959	20,09	8,2	10 ^{-4,46}	+ 0,135	- 0,170	- 0,181	- 0,223	- 0,177
960	44,66	7,8	10 ^{-4,63}	+ 0,175	- 0,154	- 0,108	- 0,176	- 0,152

CUADRO VIII (Continuación)

MUESTRA N	U observado (m.b)	pH observado	CO ₂ observado	Eh (volt) medido	Eh (volt) requerido para alcanzar el equilibrio entre uraninita y			
					UDC	UTC	UDC	UTC
					Hostetler y Garrels		Lisitsin	
962	22,45	7,3	10 ^{-5,37}	+ 0,230	- 0,097	- 0,111	- 0,108	- 0,145
963	58,70	8,1	10 ^{-4,18}	+ 0,165	- 0,225	- 0,142	- 0,248	- 0,188
964	89,11	7,7	10 ^{-4,67}	+ 0,200	- 0,193	- 0,096	- 0,160	- 0,140
965	24,82	7,9	10 ^{-4,77}	+ 0,060	- 0,147	- 0,105	- 0,168	- 0,149
967	43,86	8,1	10 ^{-4,56}	+ 0,170	- 0,174	- 0,112	- 0,196	- 0,158
969	25,87	7,1	10 ^{-5,47}	+ 0,240	- 0,089	- 0,113	- 0,099	- 0,147
991	35,20	7,6	10 ^{-4,95}	+ 0,175	- 0,120	- 0,098	- 0,135	- 0,137
992	62,92	7,4	10 ^{-5,09}	+ 0,190	- 0,100	- 0,130	- 0,113	- 0,129
993	45,62	7,9	10 ^{-4,58}	+ 0,175	- 0,164	- 0,111	- 0,165	- 0,156
997	32,88	7,9	10 ^{-4,63}	+ 0,100	- 0,162	- 0,111	- 0,184	- 0,156
998	45,62	7,5	10 ⁻⁵	+ 0,170	- 0,112	- 0,095	- 0,126	- 0,133
999	35,52	7,9	10 ^{-4,75}	+ 0,170	- 0,144	- 0,102	- 0,165	- 0,146
1002	36,87	7,5	10 ^{-4,96}	+ 0,160	- 0,117	- 0,099	- 0,132	- 0,137
1004	16,43	8,6	10 ^{-3,99}	+ 0,160	- 0,165	- 0,176	- 0,308	- 0,221
1005	59,91	8,0	10 ^{-4,27}	+ 0,190	- 0,208	- 0,134	- 0,230	- 0,179
1007	37,32	7,8	10 ^{-4,63}	+ 0,180	- 0,157	- 0,110	- 0,179	- 0,154
1008	28,96	8,2	10 ^{-4,40}	+ 0,130	- 0,204	- 0,132	- 0,227	- 0,177
1013	43,25	8,4	10 ^{-4,13}	+ 0,140	- 0,245	- 0,151	- 0,268	- 0,196
1015	17,31	8,3	10 ^{-4,34}	+ 0,150	- 0,222	- 0,144	- 0,245	- 0,190
1108	36,96	8,3	10 ^{-4,17}	+ 0,165	- 0,239	- 0,149	- 0,261	- 0,195
1116	15,85	8,4	10 ^{-3,91}	+ 0,180	- 0,292	- 0,184	- 0,314	- 0,229
1135	15,57	7,7	10 ^{-5,09}	+ 0,170	- 0,120	- 0,170	- 0,134	- 0,143
1229	19,62	7,6	10 ^{-5,04}	+ 0,185	- 0,120	- 0,103	- 0,135	- 0,141
1232	16,19	7,2	10 ^{-5,38}	+ 0,040	- 0,100	- 0,116	- 0,111	- 0,150
1234	28,25	7,4	10 ^{-5,17}	+ 0,165	- 0,106	- 0,103	- 0,118	- 0,139
1235	127,00	7,6	10 ^{-4,9}	+ 0,210	- 0,107	- 0,082	- 0,124	- 0,122
1236	51,82	7,8	10 ^{-4,78}	+ 0,170	- 0,134	- 0,096	- 0,154	- 0,139
1244	17,40	7,8	10 ^{-4,79}	+ 0,130	- 0,146	- 0,110	- 0,166	- 0,153
1245	15,15	7,7	10 ^{-4,89}	+ 0,140	- 0,136	- 0,109	- 0,154	- 0,150
1248	14,60	7,5	10 ^{-5,02}	+ 0,150	- 0,125	- 0,111	- 0,139	- 0,148
1577	12,80	7,8	10 ^{-4,67}	+ 0,110	- 0,166	- 0,121	- 0,186	- 0,145

que el Eh requerido para la precipitación de la uraninita debe ser del orden de $-0,084$ a $-0,565$ volts (para las constantes de Hostetler y Garrels y la reacción de equilibrio entre UDC y UO_2); considerando las constantes de Lisitsin los valores van de $-0,087$ a $-0,588$ volts. Con referencia al equilibrio entre UTC y UO_2 , el orden varía de $-0,067$ a $-0,332$, según los primeros autores y de $-0,113$ a $-0,378$ volts, según Lisitsin, mientras que los valores de Eh medidos en estas aguas tienen un rango de variación de $-0,040$ a $+0,240$ volts, es decir valores mucho mayores que el requerido.

Del análisis del cuadro IX se desprende que, en relación con los valores medidos de Eh en cada muestra, la cantidad necesaria de iones complejos UDC y UTC para alcanzar el equilibrio deberá ser mucho mayor que la observada.

CUADRO IX

AGUAS SUBTERRANEAS DEL VALLE DEL CONLARA

Cantidad necesaria de dióxido uránico dicarbonato dihidratado (UDC) y dióxido uránico tricarbonato (UTC) según constantes de Hostetler y Garrels (1962) para alcanzar el equilibrio con uraninita de acuerdo con los valores de Eh observados

Muestra N°	Eh observado	UDC		UTC	
		observado	requerido	observado	requerido
21	+0,130	10 ^{-7,04}	10 ^{-0,26}	10 ^{-7,87}	10 ^{-1,55}
73	+0,205	10 ^{-7,67}	10 ^{+4,84}	10 ^{-6,76}	10 ^{+4,06}
105	+0,125	10 ^{-7,63}	10 ^{-0,47}	10 ^{-11,7}	10 ^{-2,56}
106	+0,135	10 ^{-6,74}	10 ^{-0,49}	10 ^{-9,58}	10 ^{-1,29}
258	+0,170	10 ^{-7,76}	10 ^{+3,51}	10 ^{-7,16}	10 ^{+2,66}
261	+0,035	10 ^{-10,6}	10 ^{-0,44}	10 ^{-7,49}	10 ^{+0,33}
265	+0,170	10 ^{-8,28}	10 ^{+3,49}	10 ^{-7,72}	10 ^{+2,63}
304	+0,130	10 ^{-9,82}	10 ^{+3,29}	10 ^{-7,18}	10 ^{+3,01}
323	+0,110	10 ^{-7,08}	10 ^{+1,24}	10 ^{-8,14}	10 ^{+0,27}
325	+0,195	10 ^{-7,47}	10 ^{+4,60}	10 ^{-6,57}	10 ^{+3,87}
326	+0,200	10 ^{-7,35}	10 ^{+4,39}	10 ^{-7,06}	10 ^{+3,47}
341	+0,200	10 ^{-6,84}	10 ^{+4,47}	10 ^{-6,78}	10 ^{+3,59}
382	+0,200	10 ^{-7,11}	10 ^{+4,77}	10 ^{-6,18}	10 ^{+4,04}
451	+0,180	10 ^{-6,34}	10 ^{+2,89}	10 ^{-7,60}	10 ^{+1,56}
505	+0,130	10 ^{-8,21}	10 ^{+2,98}	10 ^{-8,37}	10 ^{+2,53}
517	+0,185	10 ^{-8,30}	10 ^{+4,60}	10 ^{-6,70}	10 ^{+4,04}
534	-0,040	10 ^{-8,94}	10 ^{-4,37}	10 ^{-9,61}	10 ^{-5,60}
537	+0,130	10 ^{-7,15}	10 ^{+1,72}	10 ^{-7,43}	10 ^{+0,64}
718	+0,150	10 ^{-6,65}	10 ^{+2,18}	10 ^{-7,40}	10 ^{+0,99}
786	+0,190	10 ^{-8,58}	10 ^{+4,87}	10 ^{-6,87}	10 ^{+4,36}
835	+0,115	10 ^{-7,56}	10 ^{-0,81}	10 ^{-8,35}	10 ^{-0,46}
837	+0,120	10 ^{-7,51}	10 ^{-0,58}	10 ^{-11,4}	10 ^{-2,63}
852'	+0,165	10 ^{-8,37}	10 ^{+3,82}	10 ^{-6,76}	10 ^{+3,21}
855'	+0,125	10 ^{-17,3}	10 ^{+5,87}	10 ^{-8,54}	10 ^{+6,85}
898'	+0,115	10 ^{-8,79}	10 ^{+2,03}	10 ^{-7,33}	10 ^{+1,37}
912	+0,180	10 ^{-6,88}	10 ^{+3,11}	10 ^{-7,49}	10 ^{+1,89}
920	+0,140	10 ^{-8,74}	10 ^{+3,06}	10 ^{-6,98}	10 ^{+2,78}
923	+0,155	10 ^{-7,81}	10 ^{+2,96}	10 ^{-7,05}	10 ^{+2,09}
944	+0,200	10 ^{-7,12}	10 ^{+4,13}	10 ^{-7,33}	10 ^{+3,08}
945	+0,180	10 ^{-7,69}	10 ^{+3,93}	10 ^{-7,02}	10 ^{+3,12}
946	+0,205	10 ^{-6,89}	10 ^{+4,02}	10 ^{-7,78}	10 ^{+2,83}
947	+0,205	10 ^{-6,74}	10 ^{+3,60}	10 ^{-8,29}	10 ^{+2,20}
951	+0,120	10 ^{-6,52}	10 ^{-0,70}	10 ^{-8,09}	10 ^{-0,71}

CUADRO IX (Continuación)

Muestra N°	Eh observado	UDC		UTC	
		observado	requerido	observado	requerido
952'	+0,180	10 ^{-6,34}	10 ^{+3,51}	10 ^{-6,76}	10 ^{+2,49}
954	+0,170	10 ^{-7,50}	10 ^{+3,75}	10 ^{-6,52}	10 ^{+3,02}
955	+0,180	10 ^{-7,11}	10 ^{+3,59}	10 ^{-6,97}	10 ^{+2,61}
957	+0,150	10 ^{-7,36}	10 ^{+2,86}	10 ^{-6,82}	10 ^{+2,01}
959	+0,135	10 ^{-7,66}	10 ^{+2,71}	10 ^{-6,09}	10 ^{+2,04}
960	+0,175	10 ^{-7,47}	10 ^{+3,72}	10 ^{-6,81}	10 ^{+2,89}
962	+0,230	10 ^{-7,03}	10 ^{+4,10}	10 ^{-9,13}	10 ^{+2,53}
963	+0,165	10 ^{-8,94}	10 ^{+4,28}	10 ^{-6,61}	10 ^{+3,90}
964	+0,200	10 ^{-7,05}	10 ^{+4,49}	10 ^{-6,55}	10 ^{+3,62}
965	+0,060	10 ^{-7,51}	10 ^{-0,46}	10 ^{-7,13}	10 ^{-1,43}
967	+0,170	10 ^{-7,97}	10 ^{+3,69}	10 ^{-6,76}	10 ^{+2,93}
969	+0,240	10 ^{-6,96}	10 ^{+4,25}	10 ^{-9,52}	10 ^{+2,57}
991	+0,175	10 ^{-6,95}	10 ^{+3,08}	10 ^{-7,45}	10 ^{+1,93}
992	+0,190	10 ^{-6,61}	10 ^{+3,31}	10 ^{-8,93}	10 ^{+2,02}
993	+0,175	10 ^{-7,68}	10 ^{+3,82}	10 ^{-6,77}	10 ^{+3,04}
997	+0,100	10 ^{-7,72}	10 ^{+1,18}	10 ^{-6,92}	10 ^{+0,35}
998	+0,170	10 ^{-6,79}	10 ^{+2,81}	10 ^{-7,51}	10 ^{+1,61}
999	+0,170	10 ^{-7,37}	10 ^{+3,31}	10 ^{-6,98}	10 ^{+2,36}
1002	+0,160	10 ^{-6,90}	10 ^{+2,55}	10 ^{-7,53}	10 ^{+1,39}
1004	+0,160	10 ^{-10,6}	10 ^{+4,49}	10 ^{-7,16}	10 ^{+4,0}
1005	+0,190	10 ^{-8,54}	10 ^{+4,95}	10 ^{-6,60}	10 ^{+4,48}
1007	+0,180	10 ^{-7,57}	10 ^{+3,89}	10 ^{-6,89}	10 ^{+3,06}
1008	+0,130	10 ^{-8,65}	10 ^{+2,66}	10 ^{-6,92}	10 ^{+2,05}
1013	+0,140	10 ^{-9,50}	10 ^{+3,54}	10 ^{-6,74}	10 ^{+3,20}
1015	+0,150	10 ^{-9,16}	10 ^{+3,46}	10 ^{-7,14}	10 ^{+2,91}
1108	+0,165	10 ^{-9,37}	10 ^{+4,30}	10 ^{-6,81}	10 ^{+3,93}
1116	+0,180	10 ^{-10,6}	10 ^{+5,33}	10 ^{-7,18}	10 ^{+5,22}
1135	+0,170	10 ^{-7,24}	10 ^{+1,63}	10 ^{-8,09}	10 ^{+1,34}
1229	+0,185	10 ^{-7,15}	10 ^{+3,24}	10 ^{-7,90}	10 ^{+2,00}
1232	+0,040	10 ^{-7,17}	10 ^{-2,35}	10 ^{-9,33}	10 ^{-3,95}
1234	+0,165	10 ^{-6,94}	10 ^{+2,30}	10 ^{-8,29}	10 ^{+0,93}
1235	+0,210	10 ^{-6,44}	10 ^{+4,35}	10 ^{-6,77}	10 ^{+5,69}
1236	+0,170	10 ^{-7,08}	10 ^{+3,25}	10 ^{-6,87}	10 ^{+2,27}
1244	+0,130	10 ^{-7,52}	10 ^{+1,88}	10 ^{-7,36}	10 ^{+0,88}
1245	+0,140	10 ^{-7,39}	10 ^{+2,02}	10 ^{-7,63}	10 ^{+0,92}
1248	+0,150	10 ^{-7,27}	10 ^{+2,10}	10 ^{-8,10}	10 ^{+0,87}
1577	+0,110	10 ^{-7,94}	10 ^{+1,44}	10 ^{-7,37}	10 ^{+0,57}

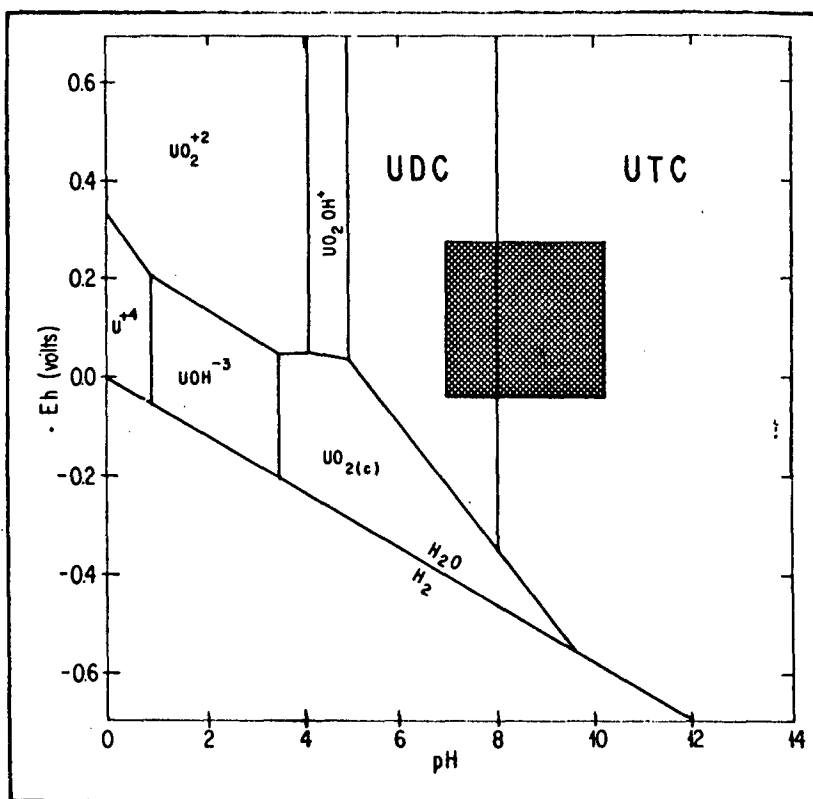


Fig. 21: Diagrama de equilibrio del sistema $U-O_2-H_2O-CO_2$ a $25^\circ C$ y 1 atm., para una actividad iónica del uranio $= 10^{-6}$ y $P_{CO_2} = 10^{-2}$ (tomado de Hostetler y Garrels, 1962 y simplificado). En el área sombreada se proyectan todas las muestras estudiadas de aguas subterráneas del valle del Conlara.

La Fig. 21 es un diagrama simplificado basado en el de HOSTETTLER y GARRELS (*op. cit.*) para el sistema $U-O_2-H_2O-CO_2$, con una presión de $CO_2 = 10^{-2}$ y una actividad iónica de uranio total $= 10^{-6}$. Los valores extremos de pH y de Eh medidos en las muestras de aguas estudiadas delimitan el área sombreada. Así se revela que las especies de uranio disueltas dominantes en estas aguas son el UDC y el UTC, y que valores más bajos de Eh o más altos del contenido en uranio son necesarios para la precipitación de uraninita, tal como se observara en los cuadros VI y VIII.

En el diagrama de la Fig. 22 se comprueba que los valores obtenidos para pH y Eh en las aguas del Conlara caen dentro del campo de estabilidad de la carnotita, $K_2(UO_2)_2V_2O_8 \cdot 3H_2O$. En un trabajo de PREMOLI (1976) referente a la formación y prospección de "toscas" (calcretes) uraníferas, se dan una serie de consideraciones geoquímicas que es oportuno mencionar.

Si en acuíferos portadores de uranio y vanadio la carnotita precipita, esto se debe a:

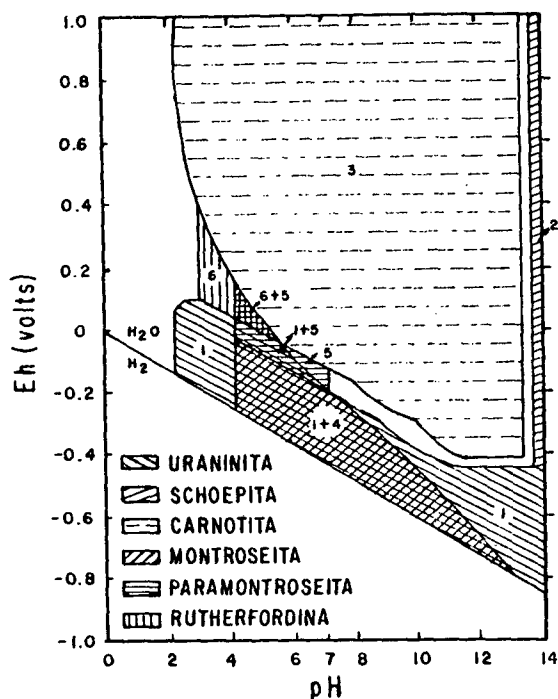


Fig. 22: Diagrama de equilibrio del sistema U-V-K-O₂-H₂O-CO₂ a 25°C y 1 atm., con $\Sigma \text{CO}_2 = 10^{-2}$ (tomado de Hostetler y Garrels, 1962).

- incremento local de la actividad del K⁺ (causado por la solubilidad del feldespato potásico o minerales arcillosos);
- cambio del pH;
- cambio de la presión parcial del CO₂;
- aumento de la salinidad (causado por la evaporación);
- cambio del potencial de oxidación-reducción (Eh);
- disociación de los complejos carbonatados del uranilo.

También destaca que ninguna de esas causas, por sí sola, es suficiente para la formación de un depósito y que todos los mecanismos generalmente están interrelacionados formando un esquema complejo, cuya complejidad aumenta al considerar que la carnotita puede moverse en estado coloidal y al tener en cuenta que las bacterias pueden desempeñar activo papel en los cambios del potencial Eh en el ambiente depositacional.

Cabe señalar que en estudios anteriores (NICOLLI, 1972; NICOLLI *et al.*, 1973; 1975; 1976b) se consideraron los mecanismos de transporte y depositación de minerales de uranio y las pautas que rigen los fenómenos de precipitación, coincidentes, en su mayor parte, con las destacadas posteriormente por PREMOLI (*op. cit.*).

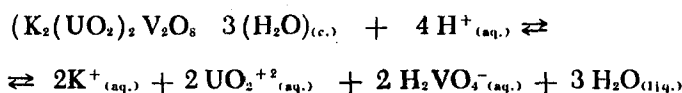
Las características geológicas del área estudiada definen condiciones ambientales propicias para la precipitación de minerales de uranio y vanadio, fenómeno que estaría regido por los princi-

prios anteriormente enunciados; por lo tanto, a continuación se analiza desde el punto de vista termodinámico-químico, la posibilidad de precipitación de carnotita en dicha área.

El producto de solubilidad del mineral, según HOSTETLER y GARRELS (*op. cit.*) es:

$$\frac{[K^+]^2 [UO_2^{+2}]^2 [H_2VO_4^-]^2}{[H^+]^4} = 10^{-13,7}$$

para la reacción:



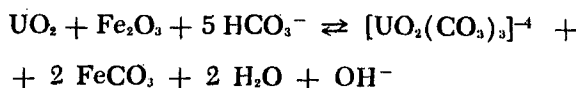
Se calculó la cantidad de vanadio que tendría que estar presente en equilibrio con la carnotita para los valores observados de pH, K y U total en las muestras de agua estudiadas. Los coeficientes de actividad necesarios para convertir la actividad del $H_2VO_4^-$ en concentración fueron estimados de la Fig. 12-4 de BUTLER (*op.cit.*).

En el cuadro X se consignan los valores de vanadio necesarios para el equilibrio y la cantidad presente en algunas muestras seleccionadas. De la comparación de los mismos queda establecido que *la cantidad de vanadio actualmente presente en el agua subterránea es varios órdenes de magnitud menor que la necesaria para alcanzar el equilibrio con la carnotita.*

6. DISCUSION

En trabajos anteriores se presentó una discusión sobre procesos de solubilización y transporte del uranio (NICOLLI, 1972; NICOLLI *et al.*, 1975 y 1976b) por lo tanto aquí sólo cabe destacar el papel desempeñado por los complejos carbonatados del uranio, UDC y UTC. En particular el UTC juega un importante papel en las soluciones circulantes a baja temperatura, que en el caso de las áreas estudiadas posibilitaron una intensa lixiviación de los minerales esenciales de las plutonitas ya alteradas, sólo con el aporte de las aguas meteóricas.

Estas aguas, ricas en CO_2 , que se infiltran en la zona de recarga de la cuenca del valle (el faldeo occidental de la Sierra de Comechingones) pueden dar lugar a un intenso proceso de lixiviación en las plutonitas y en las pegmatitas "fértiles", proceso facilitado no sólo por la tectónica del área que permite una fácil infiltración de las mismas, sino también por las condiciones excepcionales de estabilidad del complejo UTC allí formado (NICOLLI *et al.*, 1976b). La presencia del ión Fe^{+3} , ya sea libre (en solución) o combinado (en minerales) en contacto con soluciones carbonatadas facilita la formación de tal complejo:



AGUAS SUBTERRANEAS DEL VALLE DEL CONLARA

Cantidad requerida de vanadio para el equilibrio de la carnotita

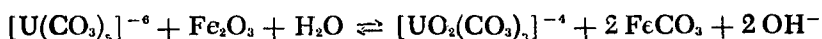
Muestra N°	pH	Eh (mvolts)	observados		requerido
			K (mg/l)	V (ppm)	V (ppm)
4	8,3	+ 0,180	4,29	0,30	2179
21	7,6	+ 0,130	7,02	0,10	1216
73	7,9	+ 0,205	7,80	0,10	592
105	6,9	+ 0,125	3,90	0,16	9,39x10 ⁴
106	7,1	+ 0,135	6,63	0,15	6,18x10 ⁴
341	7,4	+ 0,200	200	0,10	159
382	7,7	+ 0,200	46	0,50	19
451	7,3	+ 0,180	55	0,20	279
465	8,6	+ 0,200	4,29	2,20	6,30x10 ⁴
534	7,7	- 0,040	19,1	0,10	1,90x10 ⁴
855'	10,2	+ 0,125	17,2	0,10	1,64x10 ⁵
898'	8,1	+ 0,115	5,07	0,31	3274
920	8,1	+ 0,140	7,02	0,37	2138
923	8,0	+ 0,155	8,19	0,37	398
946	7,3	+ 0,205	26,1	1,08	170
951	7,3	+ 0,120	30,0	0,20	840
952'	7,5	+ 0,180	24,2	0,51	149
963	8,1	+ 0,165	50,0	0,30	540
964	7,7	+ 0,200	17,9	0,94	6,2
965	7,9	+ 0,060	7,41	0,22	452
991	7,6	+ 0,175	21,8	0,75	372
992	7,4	+ 0,190	17,2	1,35	850
998	7,5	+ 0,170	30,0	0,36	383
1005	8,0	+ 0,190	18,7	0,51	1047
1235	7,6	+ 0,210	19,9	0,32	120

Este fenómeno puede considerarse intenso en algunos sectores de las plutonitas estudiadas (NICOLLI *et al.*, 1976a y b) donde el incremento negativo de la relación Fe^{+2}/Fe^{+3} , causado por el aporte de material limonítico, puede haber activado notablemente el proceso descrito.

Además, el análisis del pH de las aguas subterráneas estudiadas demuestra el dominio de soluciones alcalinas (mediana de los valores de pH (= 7,8). En tales condiciones puede producirse lixiviación de uranio al estado de oxidación + 4 (NAUMOV y MRONOVA, 1960):

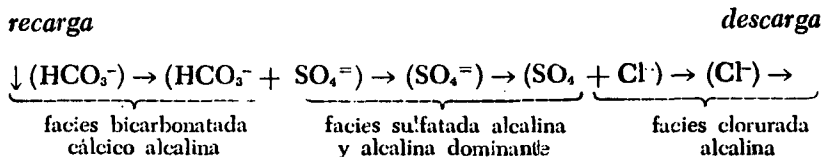


pero la presencia del ión férrico produce la oxidación del U^{IV} facilitando también la formación del complejo UTC (NAUMOV, 1961):



Se debe recordar que este complejo es el agente más eficiente de transporte del uranio en soluciones a baja temperatura (SHCHERBINA, 1957; NAUMOV, 1959) y por esta razón los minerales de uranio precipitados, asociados a los sistemas de circulación en una cuenca de aguas subterráneas, reconocen su fuente en las áreas más próximas a las zonas de recarga de la cuenca. Si se considera el equilibrio $U^{IV} \rightleftharpoons U^{VI}$, el decrecimiento de los valores de los potenciales de oxidación-reducción como consecuencia del aumento del CO_2 disuelto, toma singular significación ya que, en soluciones con concentraciones de CO_2 suficientemente grandes puede coexistir U^{VI} con importantes cantidades de agentes reductores.

Por otra parte, el agua subterránea de una cuenca tiende a hacerse más salina al pasar por las siguientes facies hidrogeoquímicas (LAAD HAGMAIER, 1971):



La extraordinaria estabilidad de los complejos carbonatados del uranio, en especial el UTC, hace que el uranio pueda migrar desde las áreas de lixiviación e infiltración, hacia las de descarga, incrementando sus concentraciones en las distintas facies hidrogeoquímicas. En el caso que nos ocupa las aguas van variando desde bicarbonatadas (recarga) a sulfatadas o sulfato-cloruradas (aguas tipos 1, 2, 3 y 4). Los cálculos termodinámico-químicos han revelado sin embargo que, en todos los tipos, los iones complejos de uranio presentes son el UTC y el UDC, en ese orden de importancia y con carácter casi excluyente, lo cual confirma anteriores presunciones (NICOLLI *et al.*, 1976) en el sentido de que "disolución y redepósito de UO_2 pueden estar gobernados casi exclusivamente por el régimen del CO_2 en las aguas circulantes", ya que una dis-

minución de la presión parcial de anhídrido carbónico causada por factores puramente tectónicos o por cambios de porosidad (o permeabilidad) del medio de circulación, pueden provocar precipitaciones del uranio, tanto más importantes cuanto mayor sea el decrecimiento de las concentraciones de CO_2 .

Otro de los factores importantes es el pH, ya que un aumento del mismo puede producir precipitación de carbonato de calcio y la disminución consecuente del ión HCO_3^- llevar a la precipitación de UO_2 . La presencia de materia orgánica o de sulfuro de hidrógeno en los sedimentos del valle puede crear un medio adecuado para acelerar los procesos de reducción y precipitación de minerales de uranio; el sulfuro de hidrógeno puede provenir de la actividad de bacterias anaeróbicas que utilizan sulfatos inorgánicos para sus procesos vitales. Tales cambios podrían producirse en los acuíferos más profundos, en particular en aquellos situados en los sedimentos terciarios de la cuenca.

7. CONSIDERACIONES FINALES Y PAUTAS PARA LA PROSPECCION FUTURA

Los estudios antes expuestos llevan a las siguientes consideraciones:

- Se comprobó la existencia de acuíferos portadores de uranio y de vanadio que corren a través de sedimentitas cuartarias.
- Se observó el incremento en la actividad de los metales alcalinos ($\text{Na}^+ + \text{K}^+$) y el decrecimiento de la actividad de los metales alcalinotérreos (Ca^{++} y Mg^{++}) desde la zona de recarga a la de descarga de la cuenca.
- Hay un incremento de la actividad de los aniones SO_4^- y Cl^- y un fuerte decrecimiento de la actividad de $\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^-$, en el sentido antedicho.
- Se observó un fuerte incremento de la salinidad desde la zona de recarga a la de descarga.
- Los complejos de uranio dominantes, incluso en aguas sulfatadas, son el dióxido uranio dicarbonato dihidratado (UDC) y dióxido uranio tricarbonato (UTC).
- Debido a que el rango de variación del pH en las aguas estudiadas va de 6,9 a 10,2, el UTC es el complejo de uranio predominante. Su importancia reside en que los valores de Eh necesarios para alcanzar el equilibrio en la precipitación de uraninita son menores para el UTC que para el UDC.
- A excepción de la muestra 534, todas las demás presentan valores de Eh positivo, dado que las capas muestreadas están sometidas a la influencia del oxígeno atmosférico.
- Los valores calculados para alcanzar el equilibrio entre las especies de uranio disueltas y uraninita o carnotita son mucho mayores que los obtenidos en las aguas estudiadas, razón por

la cual es necesario la presencia de mayores cantidades de uranio y/o vanadio o, en su defecto, un ambiente reductor con valores de Eh mucho menores que los observados.

- Las muestras de los pozos N° 21, 106, 534, 835, 837, 951, 965 y 1.232 (censo del CAAAS) presentan los valores de UTC más cercanos para alcanzar el equilibrio, aún cuando los mismos difieren de los calculados en una magnitud del orden de $10^{-4.01}$ a $10^{-8.77}$. Los valores de UDC de las mismas muestras difieren entre $10^{-4.82}$ y $10^{-7.05}$.

Para comprobar la precipitación de minerales de uranio en el área se deberá continuar con los estudios iniciados mediante la ejecución de sondeos testigados, por lo menos en los niveles que probablemente pertenezcan al Terciario. Sobre dichos niveles se deberán efectuar estudios comparativos con determinaciones de porosidad, textura, estructura, matriz y cemento, contenidos en uranio, materia orgánica, relación ferroso-férrico, carbonato de calcio y otros oligoelementos.

Dichas perforaciones deberán ubicarse preferentemente en las zonas de "interfase 2 y 3" y en especial donde la cuenca sedimentaria alcance profundidad suficiente para albergar los sedimentos terciarios y además exhibir las condiciones de oxidación-reducción (Eh) necesarias para la precipitación de uranio o de uranio-vanadio desde los acuíferos más profundos.

Como resultado de este estudio, los puntos más favorables son los correspondientes a los pozos que en el censo del CAAAS llevan los números: 342, 350, 382, 384, 387, 392, 394, 425, 426, 452, 453, 534, 718, 728, 735, 744, 834, 835, 837, 840, 845, 851, 852, 893, 912, 917, 918, 919, 920, 923, 949, 951, 955, 956, 959, 962, 964, 965, 936, 967, 967, 971, 974, 995, 997, 998, 1.005, 1.008, 1.015, 1.018, 1.110, 1.116, 1.118, 1.126, 1.225, 1.229, 1.230, 1.232 y 1.236.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean manifestar su agradecimiento al INCYTH por haber facilitado información adicional referida al CAAAS; por los análisis químicos de aguas, a los jefes y personal de los laboratorios de geoquímica de la CNEA, de Sede Central y móviles de Córdoba, Mendoza y Patagonia; por su colaboración en la confección de diagramas, a los sectores de Cartografía y Fotografía de la CNEA; y a los doctores Félix Rodrigo, Alberto L. Coco, Jorge A. Muset y Angel M. O. Sanromero por el interés manifestado en el tema.

BIBLIOGRAFIA CITADA

- BARNES, I., 1964. Field measurement of alkalinity and pH. *U.S. Geol. Survey Water-Supply Paper-1535 H*, 17 p.
- BERTHOLLET, P., 1968. Méthodes d'Analyses utilisées par la Section Géochimie. *Rapport C.E.A., R-3557*, París.
- BOBERG, W. W., 1970. Transportation and precipitation of uranium in the South Platte River, Colorado. *M.S. Thesis, Dept. of Geol. Sci. Univ. Colorado*, 98 p.

- BOJANICH MARCOVICH, E., 1964. Estudio Hidrogeológico del Valle del Río Conlara, al sur de la línea Santa Rosa - Merlo (San Luis). *Bol. Inst. Nac. Geol. y Minería* N° 105, 64 p.
- BROWN, E., M. V. SKOUGSTAD y M. J. FISHMAN, 1970. Methods for collection and analysis of water samples for dissolved minerals and gases. *U.S. Geol. Survey Techniques Water-Resources Inv. T.W.I. 5-A1*, 160 p.
- BUTLER, J. N., 1964. *Ionic Equilibrium, a Mathematical Approach*. Addison-Wesley Pub. Co. Inc., Reading, Mass., 547 p.
- CONVENIO ARGENTINO ALEMÁN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS (CAAAS), 1975. Recursos de agua subterránea y su aprovechamiento en la llanura pampeana y en el valle del Conlara (Provincias de Córdoba, Santa Fe y San Luis). *Instituto Federal de Geociencias y Recursos Naturales*, 1, Hannover, 75 p.
- CHARLOT, G., 1966. *Les Méthodes de la Chimie Analytique. Analyse Quantitative Minérale*. 5a. ed., Masson et Cie., París.
- FISHMAN, M. J. y S. C. DOWNS, 1966. Methods for analysis of selected metals in water by atomic absorption. *U.S. Geol. Survey Water-Supply Paper 1540-C: C26-C28*.
- FRITZ, J. S. y M. Q. FREELAND, 1954. Direct titrimetric determination of sulfate. *Anal. Chem.*, 26: 1593-1595.
- 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 termodinámico-químicos relacionados con fenómeno de transporte y precipitación de UO_2 . *CNEA, Gerencia de Exploración, Inf. N° 1234, inédito*.
- , 1979. Prospección geoquímica general en la Sierra de San Luis Oriental, provincia de San Luis. *Inf. int. CNEA*. (en preparación).
- GARRELS, R. M. y C. L. CHRIST, 1965. *Solutions, Minerals and Equilibria*. Harper and Row, N. Y., 450 p.
- HEM, J. D., 1961. Calculation and use of ion activity. *U.S. Geol. Survey Water-Supply Paper 1535-C*, 17 p.
- HOSTETLER, P. B. y R. M. GARRELS, 1962. Transportation and precipitation of uranium and vanadium at low temperatures, with special reference to sandstone-type uranium deposits. *Econ. Geol.*, 51: 137-167.
- KOLTHOFF, I. M. y V. A. STENGER, 1947. *Volumetric Analysis, II*. Interscience Pub., N. Y.
- KYUREGYAN, T. N. y A. G. KOCHARYAN, 1969. Migration forms of uranium in carbonate waters of Caucasian district. *Int. Geol. Rev.*, 11: 1087-1089.
- LAAD HÄGMAIER, J., 1971. The relation of uranium occurrences to ground water flow systems. *W.G.A. Earth Sc. Bull.*, June: 19-24.
- LARUMBE, F. H. y M. C. SKRZYWANEK, 1976. Separación de uranio de aguas salinas para determinación fluorimétrica. *CNEA, NT- 22/76*, 6 p.
- LEPELTIER, C., 1969. A simplified statistical treatment of geochemical data by graphical representation. *Econ. Geol.*, 64: 538-550.
- LISITSIN, A. K., 1962. Form of occurrence of uranium in ground waters and conditions for its precipitation as UO_2 . *Geochemistry*, N° 9: 876-884. (*Geokhimiya* N° 9: 763-769).
- MEREA LLANO, A. C., 1977. Comunicación personal.
- METHOL, E. J., 1971. Descripción geológica de la Hoja 22-H, Santa Rosa, provincias de Córdoba y San Luis. Carta Geológico-Económica de la República Argentina. *Boletín N° 124, Direcc. Nac. Minería y Geol.*, Bs. Aires, 73 p.
- NAUMOV, G. B., 1959. Transportation of uranium in hydrothermal solution as a carbonate. *Geochemistry* N° 1: 5-20.
- , 1961. Some physicochemical characteristics of the behavior of uranium in hydrothermal solutions. *Geochemistry* N° 2: 127-147 (*Geokhimiya* N° 2: 115-132).

- y O. F. MIRONOVA, 1960. Oxidation-reduction equilibrium in the system uranium-iron in a carbonate environment and its significance to geochemistry. *Geochemistry* N° 3: 286-293.
- NICOLLI, H. B., 1972. Consideraciones sobre la génesis de depósitos uraníferos en areniscas: distrito de Sierra Pintada, dpto. San Rafael, provincia de Mendoza, República Argentina. *Actas Quinto Cong. Geol. Arg.*, II: 223-242; Bs. Aires, 1974.
- , E. CHAAR y C. O. LATORRE, 1973. Características y génesis de los yacimientos nucleares "Dr. Baulies" y "Los Reyunos", departamento San Rafael, provincia de Mendoza. *Bol. Acad. Nac. Ciencias, Córdoba*, 50: 147-160.
- , M. A. GAMBA, R. E. FERREYRA y F. H. LARUMBE, 1975. Geoquímica de las plutonitas en la Sierra de los Gigantes, provincia de Córdoba, República Argentina: fenómenos relacionados con la distribución del uranio. *Actas Seg. Congr. Ibero-Americano Geol. Econ.*, VI: 189-216.
- , H. N. LUCERO MICHAUT y M. A. GAMBA, 1976a. Geoquímica del uranio en el faldeo occidental de la Sierra de Comechingones y en el valle del río Conlara, provincia de San Luis. I. Observaciones geológico-tectónicas y distribución del uranio en plutonitas y en aguas de vertientes y de corrientes. *Bol. Acad. Nac. Ciencias, Córdoba*, 51: 225-242.
- , H. N. LUCERO MICHAUT y M. A. GAMBA, 1976b. Geoquímica del uranio en el faldeo occidental de la Sierra de Comenchingones y en el valle del río Conlara, provincia de San Luis. II. Aguas subterráneas y procesos de lixiviación, transporte y precipitación del uranio. *Bol. Acad. Nac. Ciencias, Córdoba*, 51: 243-264.
- PAVLOV, A. N. y V. N. SHEMYAKIN, 1967. A geochemical classification of natural waters. *Geochem. Int.* N° 4: 1159-1164. (*Geokhimiya* N° 12: 1482-1488).
- PREMOLI, C., 1976. Formation of, and prospecting for, uraniferous calcrites. *Australian Mining*, April, 1976: 13-16.
- RODIONOV, D. A., 1965. *Distribution functions of the element and mineral contents of igneous rocks*. (Trad. del ruso), Consultant Bureau, N. York, 80 p.
- SANTA CRUZ, J., 1974. Mapa geológico del valle del Conlara, San Luis. *Inf. Int. INCYTH*, inédito.
- SANTOMERO, A. M. O., 1972. Prospección geoquímica detallada en la cuenca del A° El Tala, dpto. Chacabuco, prov. San Luis. *CNEA. M.P., d.p., Inf. N° 859*, inédito.
- SHCHERBINA, V. V., 1957. Behavior of uranium and thorium in the sulfate-carbonate and phosphate environments of the supergene zone. *Geochemistry* N° 6: 579-597.
- SMIRNOV, S. J., 1963. Statistical distribution of the concentrations of elements in natural waters. *Geochemistry* N° 4: 437-444. (*Geokhimiya* N° 4: 417-424).
- WILLARD, H. H., L. L. MERRITT jr. y J. A. DEAN, 1965. *Instrumental Methods of Analysis*. D. van Nostrand Co., N. York.
- WOOD, W. W., 1976. Guidelines for collection and field analysis of groundwater samples for selected unstable constituents. *Techniques of Water-Resources Investigations of the U.S. Geol. Survey*, D2 (1), 24 p.