

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

CURSO REGIONAL DE CAPACITACIÓN EN LA PROSPECCIÓN DE URANIO

BUENOS AIRES, 8 de setiembre - 31 de octubre 1969

II. YACIMIENTOS URANIFEROS

- 2. PRINCIPALES TIPOS DE YACIMIENTOS
URANIFEROS MUNDIALES
- b. Con control sedimentario y estruc-
tural

Dr. PEDRO N. STIPANICIC
Dr. CARLOS T. C. FRIZ

PRINCIPALES TIPOS DE YACIMIENTOS URANIFEROS MUNDIALES

CON CONTROL SEDIMENTARIO Y ESTRUCTURAL

PEDRO N. STIPANICIC - CARLOS T. C. FRIZ

Comisión Nacional de Energía Atómica

I. GENERALIDADES

I.1. Factores intervinientes en la formación de un yacimiento uranífero con control sedimentario.

Más del 90% de las reservas uraníferas del mundo occidental conocidas a la fecha y que actualmente se aprovechan o se recurrirá a ellas en las dos décadas próximas, están contenidas en depósitos que por lo general se catalogan como de carácter "sedimentario" o "con control sedimentario".

En realidad, esta designación no es lo suficientemente exacta, pues la misma, casi sin excepción, se aplica con sentido restrictivo a aquellos yacimientos estratiformes (que pueden ser singenéticos o epigenéticos con respecto a la roca portante) en los cuales el aporte de soluciones mineralizantes hidrotermales hipógenas es nulo (o casi nulo). Por ello, en general, no se hacen entrar en este grupo ciertos depósitos que si bien se alojan en sedimentos y presentan un cierto "control sedimentario", son de origen hidrotermal.

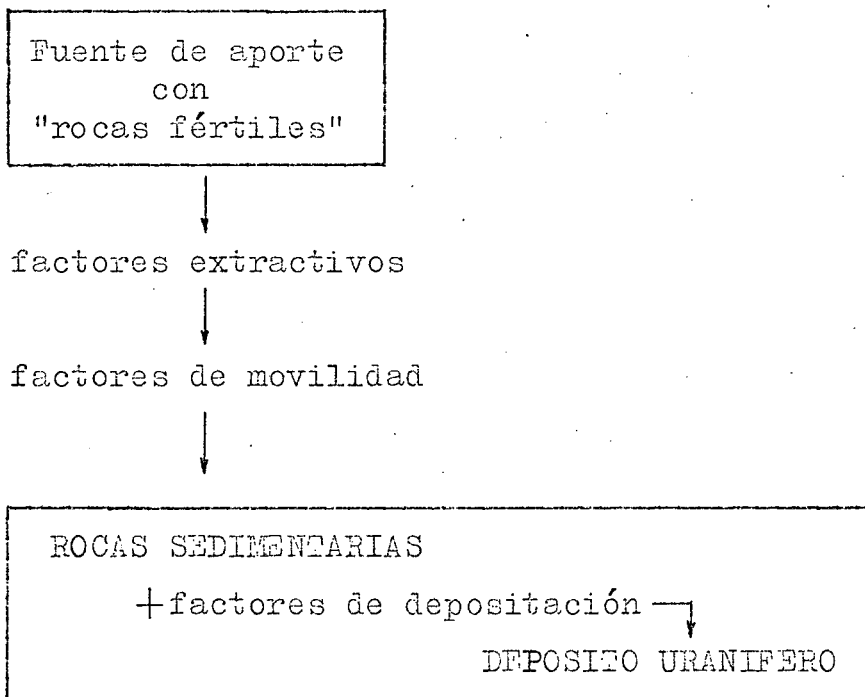
Antes de pasar revista a los distintos tipos de yacimientos uraníferos que entran en el rubro del epígrafe, es necesario considerar en primera instancia, aún en forma sucinta, aquellas condiciones que permiten la formación de un depósito de uranio dentro de un ambiente sedimentario.

En primer término, y ésto parecería obvio, debe contarse con una fuente de aporte del uranio y la misma la constituyen aquellas rocas fértiles que pudieron suministrar tal elemento a la cuenca sedimentaria vecina. De no disponerse de ese ambiente con "rocas fértiles" y por más favorable que resulte la conjugación de los otros factores que pueden intervenir en la génesis de un yacimiento uranífero, éste no se formará.

En segundo término, la sola presencia y/o existencia pretérita del elemento uranio en "rocas fértiles" dentro del ámbito de aporte no es suficiente condición para que pueda originarse un yacimiento del tipo sedimentario en los alrededores de aquel, pues aquí entra en juego otro factor primordial: el de la "movilización" del uranio, sea por vía física o química.

Sobreentendiéndose que para que exista un depósito uranífero del tipo sedimentario es condición sine qua non que existan tales sedimentos, el tercer factor principal que entra en juego se refiere a las condiciones que permiten que tal metal sea depositado y se engendren concentraciones anómalas del mismo. De no cumplirse este último factor, el de la "deposición", tampoco se originarán yacimientos uraníferos, a pesar de que pudo contarse con una fuente de aporte apta y que el uranio fué extraído y movilizado de la misma.

El esquema general del proceso puede sintetizarse así:



I.2. Fuente de aporte

Si bien en el concenso general se estima que el uranio es un elemento muy raro en la naturaleza, las tablas geoquímicas señalan que el mismo se encuentra en una proporción media de 2 gramos por tonelada en las rocas de la litosfera. El uranio resulta así dos veces más abundante que el wolframio, diez veces más que el antimonio, veinte veces más que la plata y casi quinientas veces más que el oro. Pero además, presenta otra característica muy importante y que se refiere a su distribución selectiva original de acuerdo con los tipos de rocas que lo contienen. Es mucho más abundante en las rocas ígneas ácidas que en las básicas y tal relación también se mantiene en las rocas piroclásticas de igual carácter.

Por ello, el contenido normal de uranio en los granitos es de 3-4 gr/tonelada; en las tobas riolíticas es de 4-6 gr/tonelada, etc, a la vez que no son raros los grandes cuerpos plutónicos con tenor anormal en uranio, del orden de 6-8 gr U/t y las extensas formaciones tobíferas con 10 gr U/t y aún con mayores leyes en uranio.

Al respecto, resulta muy ilustrativo el dato de que en un plutón granítico, y aún con un contenido normal de 4 p.p.m. de uranio, cada kilómetro cúbico del mismo encierra 10.000 t de uranio. Tomando como base unidades de superficie de 1 km x 1 km y distintas profundidades, el contenido es:

<u>Profundidades</u>	<u>Contenido</u>
1 km	10.000 t U ₃ O ₈
100 m	1.000 t U ₃ O ₈
10 m	100 t U ₃ O ₈
5 m	50 t U ₃ O ₈

Considerando cualquiera de las muchas áreas graníticas del mundo, puede adoptarse como ejemplo una que tenga 100 km x 100 km. El contenido en uranio de sus 5 primeros metros será de 500.000 t U₃O₈ y ya llega al 1.000.000 t U₃O₈ para los 10 metros de profundidad, a la que por lo general alcanza la alteración atmosférica, meteorización, circulación de aguas superficiales, efectos térmicos diarios y estacionales, etc.

I.3. Factores extractivos

La destrucción mecánica por erosión de rocas ricas en uranio puede constituir a veces un factor extractivo, el que llega a alcanzar cierto interés en los casos de que este metal se presente como tetravalente e integrando minerales pesados, los que luego, por efectos del transporte físico y la depositación gravitacional, pueden concentrarse y formar acumulaciones en las cuencas sedimentarias, valles, etc.

Sin embargo, el factor extractivo más importante es el químico y el agente que lo produce es el agua superficial, cargada de gases atmosféricos, de iones extraídos de otras rocas y que en conjunto le comunican una reacción ácida o alcalina.

El uranio se presenta en la naturaleza bajo dos formas: tetravalente (U^{+4}) y hexavalente (U^{+6}). La primera corresponde a su origen primario y bajo tal, el uranio es muy poco soluble, mientras que como hexavalente se solubiliza con facilidad y se puede combinar con otros elementos, dando una gran cantidad de compuestos: carbonatos, vanadatos, silicatos, fosfatos, etc.

La extracción del uranio a partir de las rocas fértiles se produce así, en la casi generalidad de los casos, cuando aquel es hexavalente y pasa en solución como ión uranilo.

Esta extracción química, por otra parte, se ve sensiblemente favorecida cuando la roca fértil está alterada, meteorizada, etc. y en tal sentido las mejores áreas de aporte son las grandes superficies peneplanizadas de los escudos o áreas estables, donde dominan las rocas magmáticas ácidas y mesosilícicas largamente expuestas a la acción de los agentes atmosféricos. Lo mismo puede decirse para las áreas estables cubiertas con formaciones tobíferas ácidas.

El uranio puesto en solución es así movilizado casi exclusivamente por las aguas, las que pueden circular en superficie o en profundidad (subterráneas). La migración del uranio, por ende, obedece o se subordina a las leyes que rigen el movimiento de los flúidos.

Debe destacarse que en esta etapa de incorporación del uranio a las aguas circulantes (y lo mismo acontece después, en el proceso inverso, de depositación), deben cumplirse determinadas condiciones físico-químicas, como facilidad y tiempo de contacto, afinidad o rechazo del medio, acidez o alcalinidad (pH) de las aguas, relación oxi-reductora de los elementos presentes en el medio solvente y/o en el continente, etc. Mención aparte debe hacerse de los factores bioló-

gicos, ya que la acción de los microorganismos pueden jugar un papel de importancia en la etapa de solubilización del uranio, y mucho más aún en la de precipitación.

I.4. Factores de depositación

El uranio puesto en solución y en circulación, se deposita y genera acumulaciones anómalas, sea en superficie o en el seno de estratos más o menos permeables, bajo el influjo de varios factores, los que pueden actuar en forma individual o en conjunto. Un factor depositante puede ser por entero efectivo en asociación con otro y en cambio puede resultar nulo frente a los demás.

Los principales factores depositantes son:

a) Reducción

El ión uranilo no es estable en ambientes reductores (presencia de H_2S , bacterias, material carbonoso, asfáltico, etc.), produciéndose la precipitación de óxidos negros de uranio, los que luego evolucionan a uraninita.

El estudio de los sedimentos del Plateau del Colorado demuestra que un buen número de yacimientos uraníferos se ubican a lo largo de bandas que se vinculan estrechamente con las áreas de cambio de ambiente oxidante a otro reductor, dentro de una misma formación (fig.1). Así, estratos continen tales rojos nunca o casi nunca albergan yacimientos uraníferos, los que en cambio aparecen en las mismas capas, cuando se pasa a un régimen reductor, el que además produce decoloración en los estratos rojos (bleaching).

b) Adsorción

Los procesos de adsorción, que constituyen un fenómeno de intercambio iónico, también pueden desempeñar un papel importante en la fijación del uranio. Los casos más comunes se producen por la acción de soles húmicos y de ciertos tipos de arcillas.

Bajo este último mecanismo se puede fijar directamente el ión uranilo y por ende también los minerales "amarillos", sin producirse ningún tipo de reducción inicial.

c) Gradiente de presión

La precipitación del uranio puede estar controlada por las condiciones internas presentes en el fluido mineralizante, el cual se desplaza en circulación confinada de acuerdo con su gradiente de presión.

Cuando este último decrece o aumenta hasta un punto en el cual se produce el desequilibrio químico interno, tiene lugar la precipitación del uranio, la que puede hacerse en cantidades apreciables.

Los casos más típicos que responden a este factor corresponden a dos esquemas principales:

1º) Cuando el fluido circula por un estrato poroso y permeable, confinado por techo y piso impermeable, la precipitación del uranio se produce en "bandas" o "cinturones" (belt), cuya ubicación coincide con determinados valores de cambio de presión (Uravan mineral belt, en Colorado; Lisbon Valley belt, en Utah; Southern San Juan belt, en Nueva México, etc). (fig.2).

2º) Cuando el fluido circula por un estrato de determinada porosidad y permeabilidad, y aquel se pone en contacto con otro banco (por falla, discordancia, etc) que posee distintas características de permeabilidad y porosidad, en dicho límite se produce un brusco cambio de presión, el que da lugar a la precipitación del uranio.

Buenos ejemplos de depósitos formados en el contacto de dos formaciones o estratos con distinta porosidad y permeabilidad se encuentran en el distrito de Big Indian (Utah), cuando la formación Chinle se apoya en discordancia sobre la de Cutler, cuyo miembro "Sugar sand" es muy poroso y permeable. (fig.3).

El mismo factor de gradiente de presión puede intervenir, junto con otros (adsorción, etc) en el caso de soluciones que precipitan uranio en contacto con fallas, diques clásticos o ígneos, etc. (fig.4).

d) Influencia de otros iones

El uranio puesto en solución puede precipitar cuando en su circulación a través de los estratos encuentra distintos contenidos composicionales (carbonatos, sulfatos, etc.)

Los factores anteriores son los que en esencia controlan la precipitación del uranio. Los mismos actúan en distinta forma y de acuerdo con otros factores que también pueden intervenir.

Así, se puede observar que en muchos casos la mineralización del uranio se vincula con paleocanales. En estos ejemplos, por lo general influyen dos factores: la presencia de materia orgánica en los bordes de los mismos y las distintas porosidades y permeabilidades de las rocas del substrato y la del viejo valle, las que condicionan cambios internos de presión en el fluido circulante (fig.5).

Hay casos en que la mineralización está controlada por el entrecruzamiento de los estratos arenosos (Chihuido del Medio, Neuquén). Los factores influyentes son los mismos (fig.6) que en el ejemplo anterior e igual función parecen cumplir también los "rods".

Por último debe citarse la importancia del aspecto estructural, el que muchas veces condiciona o modifica algunos de los factores señalados (gradientes de presión; cambio de las zonas de reducción-oxidación, etc) (fig.7) y el de la posición actual y pasada del "water table".

II. PRINCIPALES TIPOS DE YACIMIENTOS URANIFEROS CON CONTROL SEDIMENTARIO (Y PARCIALMENTE ESTRUCTURAL)

Con respecto a su génesis, se distinguen dos grupos principales dentro de los yacimientos uraníferos con control sedimentario:

A) Singenéticos

B) Epigenéticos

En los primeros, la mineralización tuvo lugar en el mismo momento en que se depositaron los sedimentos, o bien en forma inmediata, antes de su diagénesis. En los segundos, el proceso mineralizante es posterior a la consolidación de los sedimentos.

Si bien los ejemplos típicos para cada grupo son muy clásicos y no ofrecen ninguna duda en cuanto a su interpretación genética, hay una serie de depósitos que presentan tanto caracteres de singenetismo como de epigenetismo, por lo que su clasificación no resulta segura (Witwatersrand, Cosquín, etc).

En igual sentido, la gran mayoría de los yacimientos que se citan bajo el rubro de "sedimentarios" demuestran su total independencia con respecto a soluciones mineralizadoras hidrotermales, pero también hay algunos en los cuales si bien casi todos los argumentos señalan tal origen, ciertos antecedentes parecen no excluir por completo el aporte hipógeno, atenuado si se quiere.

Por dichos motivos, se pasará revista a los principales tipos de yacimientos con control sedimentario, sin ordenarlos desde el punto de vista genético.

1. Lutitas, pizarras, margas, etc. (a veces bituminosas)

Extensas y potentes masas de lutitas y pizarras, por lo general bituminosas y de origen marino, encierran en varias partes del mundo grandes acumulaciones uraníferas sin

genéticas, en general de baja ley, la que oscila normalmente entre 50 y 200 gr U_3O_8/t , aunque a veces se registran tenores más altos.

Formaciones lutíticas continentales, también pueden incluir depósitos uraníferos de carácter singenético (o presuntamente singenéticos). Las magnitudes de los mismos son más reducidas pero sus leyes, por lo general, más elevadas que los contenidos en lutitas y esquistos negros marinos.

Suecia

Una de las mayores acumulaciones uraníferas del mundo se encuentra en los esquistos y lutitas bituminosas del Cámbrico superior y límite Cámbrico-Ordovícico de Suecia, los que presentan extensos afloramientos.

El contenido medio es del orden de 100 gr U/t, pero se presentan niveles más enriquecidos, en relación con el mayor contenido de un tipo de material carbonoso (kolm). Así, en el área de Billigan-Falbydgen, de la provincia de Västergötland, los tenores medios llegan a 200 gr U/t y ciertas lentes, en las cuales abunda el kolm, incluyen hasta 3 kg U/t. La potencia media del sector lutítico uranífero que se considera aprovechable es de 3 m para un tenor medio de 300 gr U/t.

Las lutitas bituminosas son de grano muy fino (1 a 10μ) y se componen de sustancias orgánicas ricas en hidrógeno y pobres en oxígeno, aceites minerales (kerosene), pirita, cuarzo, illita, feldespato y caolinita. El uranio está finalmente diseminado y no se conoce su composición mineralógica.

Al principio, era concenso general que este depósito era de carácter singenético, pero ahora no se descarta que el uranio haya llegado a posteriori de la depositación de los sedimentos portantes.

En la provincia de Närke, el espesor de las lutitas uraníferas es de 5-6 m, su tenor medio es de 200 gr U/t y las

mismas se explotan a cielo abierto, destinándose las a destilar el aceite que contienen, en una proporción de 5%.

Los recursos uraníferos determinados a la fecha en estos esquistos y lutitas de Suecia alcanzan a 400.000 t U_3O_8 recuperables a costos estimados entre U\$S 10 y 15/lb U_3O_8 y otras 350.000 t U_3O_8 , beneficiables entre U\$S 15 y 30/lb U_3O_8 .
E.U.A.

Varias formaciones lutíticas o esquistosas marinas de E.U.A. muestran concentraciones anómalas de uranio. La más importante al respecto, por su gran extensión, es la "Chattanooga Shale", del Neodevónico y Eocarbónico, principalmente desarrollada en el Tennessee central, Kentucky y Alabama.

Su espesor varía desde pocos metros hasta más de 100 m, pero en Tennessee central, donde la explotación minera podría ser más factible, su potencia es de 10 m. Esta formación se compone de lutitas silíceas negras y arcilitas grises, con lentes locales de areniscas, calcáreos y nódulos fosfáticos y contiene abundantes restos vegetales (tallos, esporas, etc) y braquiópodos, conodontes, etc.

El sector de Chattanooga más radiactivo, del Tennessee central, muestra granos de cuarzo del tamaño de limo (25%), arcillas, feldespatos y mica (35%), materia orgánica (20%), piritita (15%) y cantidades menores de clorita, material fosfático, etc. La roca, por destilación, puede brindar de 10 a 60 litros de aceite por tonelada.

El contenido de uranio varía desde 10 a 350 gr/t y es remarcablemente persistente y uniforme sobre extensas áreas.

El volumen de uranio que encierran estas formaciones es muy grande y así, los sectores de las mismas que se desarrollan en Tennessee central y estados vecinos integran una reserva del orden de 5 a 6.000.000 t U_3O_8 , considerando

una ley media del mineral de 50 gr U_3O_8 /tonelada.

Argentina

El Ordovícico del oeste argentino presenta un potente sector lutítico negro, de varios centenares de metros de espesor, el que se extiende por más de 300 km a través de las provincias de San Juan y La Rioja.

En varios puntos de la primera (Calingasta, Rodeo, Jáchal) se localizaron depósitos de sulfatos solubles ("alumbres") en cantidades interesantes (epsomita, alunógeno, etc), los que actualmente se explotan. En relación con estos sectores mineralizados, se comprobó la presencia de acumulaciones anormales de uranio, las que oscilan entre 20 y 100 gr U_3O_8 /t.

Dentro del ambiente cristalino de las Sierras Pampeanas o Centrales de la Argentina, constituido por gneises, granitos, granodioritas, etc, en su gran mayoría de edad paleozoica, se desarrollaron largos valles estructurales, los que fueron rellenados por sedimentos continentales terciarios y cuaternarios.

En uno de estos grabens (valle de Punilla), los sedimentos eocénicos acusan entre 50 y 150 m de espesor, buzan entre 30 y 35°, se componen de areniscas limosas, limos arenosos y arcillosos, con alto contenido en carbonato de calcio y se apoyan en discordancia sobre el basamento cristalino, el que posee un tenor en uranio superior al normal (entre 6 y 9 p.p.m.).

A lo largo de esta faja sedimentaria se comprobó la existencia de acumulaciones de uranio en un intervalo de la sección eocénica, por una extensión de 24 km (fig.8). El sector mineralizado tiene entre 5 y 7 metros de potencia y se reparte en un intervalo estratigráfico de 9 a 12 m, siendo los minerales más comunes la carnotita, tyuyamunita y metatyuyamunita.

Este yacimiento fué explorado en detalle desde superficie hasta una profundidad de 160 m (fig. 9), a lo largo de 2.000 m de extensión, cumpliéndose trabajos más espaciados por otros 4.000 m. Estos estudios permiten evidenciar que la mineralización es continua y que los tenores varían entre 200 gr U_3O_8 hasta 2 kg U_3O_8/t , siendo la ley media cercana a 1 kg U_3O_8/t . Reconocimientos efectuados a más de 20 km de este sector, indican asimismo la continuidad de las acumulaciones radiactivas.

El contenido total en uranio de este depósito puede ser de varias decenas de miles de toneladas. Ciertos antecedentes señalan que el mismo pudo tener un carácter sin-genético, con aporte del uranio, tanto por vía física como química, a partir de las rocas fértiles vecinas, las que acusan contenidos en este metal muy superior al normal. A posteriori, se produjo una redistribución de la mineralización.

2. Rocas fosfáticas

En varios países del mundo hay extensos depósitos de fosforitas marinas, algunos de los cuales presentan contenidos uraníferos anormales. Estas fosforitas responden a dos tipos extremos principales, pero en realidad hay toda una transición de uno a otro.

Las fosforitas de facies geosinclinal son más potentes, la fluorapatita carbonatada de las mismas se presenta finamente granulada o en forma colítica y es frecuente la asociación con nódulos carbonosos y de calcedonia. Las fosforitas que se llaman de plataforma, son en cambio más delgadas, de granulación más gruesa y bioclásticas en muchos lugares, conteniendo cantidades apreciables de carbonatos, cuarzo, glauconita y materia carbonosa.

El contenido en uranio comúnmente es más alto en las de facies geosinclinal, pues en general el mismo aumenta en

relación al contenido de fosfato y las fosforitas geosinclinales son más ricas que las de plataforma.

Se estima que el uranio de las fosforitas marinas deriva del agua del mar o de soluciones percoladas a posteriori.

Las fosforitas sometidas a la meteorización por lo común se enriquecen en fósforo, pues la apatita es más resistente a la misma que los carbonatos, materias carbonosas, etc. En igual sentido, el contenido en uranio, vinculado a la apatita, también aumenta.

De los yacimientos fosforíticos sedimentarios que incluyen uranio, los más típicos e importantes son los de E.U.A., Marruecos e Israel.

En E.U.A., la Formación Fosforia, del Pérmico, cubre 250.000 km² de los estados de Montana, Idaho, Wyoming, etc, variando su espesor de 70 a 500 metros. El mayor tenor en P₂O₅ se localiza en la base y techo de los miembros arcillosos (donde llega a 25-33% P₂O₅), los que se intercalan entre capas de calcedonia, existiendo variaciones faciales hacia estratos arenosos y carbonáticos y finalmente a otros rojizos y evaporíticos. Se observa que en general hay una relación directa entre el contenido de uranio y fósforo (hay excepciones) e inversa entre el de uranio y carbonatos, siendo el tenor en uranio variable entre 35 y 80 gr U/t.

En Florida, varias formaciones terciarias fosfáticas incluyen concentraciones uraníferas anómalas. La Formación Hawthorn, del Mioceno inferior y medio, fosforítica, lleva 10 gr U/t tanto en su miembro inferior como en el superior, pero este último, cuando está meteorizado, se enriquece hasta 50 gr U/t. La Formación Bone Valley, del Plioceno medio, también fosforítica, acusa en su parte inferior un contenido de 80 gr U/t y en la superior de 30 gr U/t, valor que se eleva

a 120 gr U/t en las zonas meteorizadas.

En Marruecos, las rocas fosforíticas comprenden una reserva del orden de 30.000.000 de toneladas con grado comercial, de las cuales se estima que el uranio incluido en baja ley podrá ser recuperado, con un rendimiento del orden del 50%.

En Israel, los depósitos fosforíticos contienen 50 gr de uranio por tonelada, y este metal se recupera como subproducto.

3. Rocas carbonosas

Los carbones de buena calidad raramente incluyen uranio. En cambio, los de baja calidad, comprendiendo al lignito, carbón sub-bituminoso y pizarras carbonosas, encierran a veces grandes concentraciones de uranio.

Uno de los distritos lignito-uraníferos mejor conocido se ubica en la zona de los Grandes Llanos de Dakota del Sur, Dakota del Norte y Wyoming, en E.U.A., donde se distinguen dos tipos principales de depósitos.

Uno de ellos se relaciona con las capas de lignito de la Formación Fort Union, del Paleoceno, la que comprende varios niveles carbonaceos. El uranio se encuentra en concentraciones que varían desde 60 a 120 gr U/t, representando las cenizas el 10 al 14% del total de la roca. Cuando los bancos de lignito superan los 0,50 m de espesor, el uranio se concentra solamente en pocos centímetros de la base o techo de la capa portante.

Estas reservas uraníferas de baja ley están contenidas en más de 100.000.000 de toneladas de lignito, pero no se considera que sean económicamente aprovechables por el momento ni en el futuro inmediato.

Los depósitos uraníferos más interesantes desde este punto de vista y que se relacionan con rocas carbonosas

son aquellos que se vinculan con lignitos impuros y lutitas lignitíferas. Su distribución areal en E.U.A. es la misma que la de los lignitos más puros, antes citados, pues ambos se relacionan genéticamente.

En estos tipos de depósitos de lignitos impuros, el uranio presenta una distribución menos homogénea que en los puros, pero su contenido es sensiblemente más alto y muchas veces supera 1 kg U_3O_8/t , distribuidos en espesores que varían desde 0,50 a 2 metros. Otra característica importante es que la roca portadora llega a tener un contenido de humedad cercano al 50% y que las cenizas representan casi el 50% de la porción seca.

Tanto en el caso de los lignitos puros como en el de los lignitos impuros y lutitas lignitíferas, se interpreta que el uranio proviene de la lixiviación de otras rocas, especialmente de tobas con contenido anómalo, y que fué adsorbido por el material carbonoso de los lignitos, a partir de las aguas circulantes (fig.7).

Otras lutitas carbonáceas de Idaho, contienen localmente hasta 1 kg U_3O_8/t y regionalmente hasta 100 gr U_3O_8/t , integrando un monto de varios millones de toneladas de rocas.

4. Rocas carbonáticas

Las rocas carbonáticas puras y de origen marino prácticamente no incluyen uranio singenético, pues su contenido es uno de los más bajos (1 gr/t). Cuando se trata de rocas carbonáticas impuras, en las que participan fosfatos, material detrítico y orgánico, el tenor en uranio de origen singenético puede subir hasta 10 gr/tonelada, es decir que desde el punto de vista utilitario siguen sin presentar interés.

En cambio, los depósitos epigenéticos en rocas carbonáticas, si bien no alcanzan grandes volúmenes, pueden ad-

quirir cierto valor, y de ellos los más importantes son los denominados peneconcordantes.

Un buen ejemplo al respecto lo constituye el "Todilto limestone", del Jurásico superior de Nueva México (E. U.A.), formación que en el distrito de Grants proveyó buena cantidad de uranio, hasta el punto de justificar la instalación de una planta para su tratamiento.

La Formación Todilto es no marina y presenta dos miembros principales: el superior, yesífero (30 m) y el inferior (15 m), constituido por una secuencia de limos lutíficos, calcáreos limosos y calcáreos fétidos, con predominio de estos últimos.

Los sedimentos del sector carbonático de Todilto se componen principalmente de carbonatos precipitados y escaso contenido de arcillas y detrito limoso, con trazas de materia orgánica, aunque siempre la proporción de clastos es menor del 10%.

Los cuerpos uraníferos descubiertos en la Formación Todilto se agrupan a lo largo de zonas de falla, pero la misma área de fracturación no está mineralizada. La mineralización uranífera primaria parece tener control estructural y se presenta en las crestas de pequeños anticlinales entre zonas falladas.

La uraninita, que es el principal mineral en estos calcáreos, forma cuerpos por lo común reducidos, de hasta 10 m de ancho por 100 de largo y 1 de espesor. Los minerales secundarios se redistribuyen generalmente a lo largo de superficies de fracturas menores, diaclasas, cavidades, etc. y por lo común son carnotita, tyuyamunita, uranofano.

Según Bell, el uranio de estas rocas calcáreas tiene el mismo origen epigenético que el que se encuentra en las areniscas de áreas vecinas, donde constituyen grandes depósi-

tos, en el distrito de Grants.

Los tenores en uranio son muy variables y oscilan entre cantidades insignificantes y leyes que superan el 1% U_3O_8 , siendo los contenidos medios en los cuerpos mineralizados del orden de 0,20 a 0,30 % U_3O_8 .

5. Conglomerados antiguos

Sudáfrica

Uraninita asociada con oro, sulfuros (esencialmente pirita) y otros minerales pesados, se halla presente en numerosos horizontes del Sistema de Witwatersrand y en la base de los de Dominion Reef, Ventersdorp y de Transvaal, entidades discordantes entre sí y de edad precámbrica. Las rocas madres que han provisto todo el uranio son las formaciones del Arcaico, en las cuales se reconocieron yacimientos pre-Witwatersrand de oro y otros minerales.

La distribución de uranio y oro en los sistemas sedimentarios señalados, está íntimamente ligada a determinados rasgos litológicos y estructurales de origen sedimentario. Las concentraciones de interés económico están, casi exclusivamente, circunscriptas a ciertos bancos conglomerádicos de relativamente poco espesor.

Los conglomerados más ricos ("bankets"), generalmente descansan sobre planos de discordancias intraformacionales. Estos "bankets" representan los depósitos iniciales, formados después de una pausa durante la sedimentación y consisten en material detrítico que fuera removido y reconcentrado por la erosión de las rocas subyacentes.

El uranio y el oro contenido en esos "bankets", guarda estrecha relación con los tenores de esos metales presentes en las rocas de las cuales derivan esos bancos. Análogamente, ocurren altas concentraciones de uraninita y oro en los conglomerados de la base de los sistemas de Ventersdorp

y Transvaal, los cuales descansan discordantemente sobre o no lejos de los bordes de los Witwatersrand "bankets".

Estos bancos consisten primordialmente de rodados de cuarzo con una matriz silíceea que alberga variada cantidad de minerales, tales como pirita y otros minerales metálicos, hidrocarburos, sericita, clorita, etc.

La alteración de la matrix suele mostrar frecuentemente rasgos texturales secundarios, de ataque y reemplazo, que le confieren una reminiscencia con los depósitos de origen hidrotermal.

Revisiones cuidadosas han mostrado que las fracturas, diques, vetas de cuarzo y ocasionalmente de calcita, no guardan relación con la distribución del uranio y el oro, y sólo excepcionalmente han favorecido algunos enriquecimientos locales.

Si bien aún se discute la génesis de estos yacimientos, la mayoría de los autores se inclinan por aceptar un sin genetismo para los mismos. Las mineralizaciones de uraninita, oro y pirita no se extienden más allá de los bancos de conglomerados, ni atraviesan la estratificación a las rocas vecinas. Al respecto, cabe destacar que las arenitas confinantes de los bancos conglomerádicos son estériles.

Canadá, Región de Blind River-Elliot Lake

En el extremo sur-oriental de Canadá, rodeando el Elliot Lake, se desarrolla uno de los distritos uraníferos más importantes del mundo, contenido en sedimentos antecámbricos (hurónicos), los que encierran reservas de varias decenas de millones de toneladas de mineral.

El contacto discordante de los mismos con su substrato pre-hurónico forma una gran "S" invertida, a lo largo de la cual se localizan grandes cuerpos mineralizados, los que explotaron 12 establecimientos mineros.

El principal mineral de uranio es la brannerita, pero también aparece uraninita y tucholita, pero en cantidades menores. El tenor medio de las menas es de 0,13 % U_3O_8 en el área de Río Algom, mientras que en Stanrock el mineral tratado hasta el presente acusó un tenor medio de 0,086 % U_3O_8 .

Todos los yacimientos del área de Blind-River-Elliott Lake se alojan en estratos proterozoicos (hurónicos), constituidos por cuarcitas, grauvacas conglomerádicas, limolitas y en menor escala por calizas cristalinas, los cuales descansan discordantemente y formando anchos pliegues abiertos, sobre rocas graníticas y gneisicas.

Estos sedimentos se formaron a expensas de las rocas pre-hurónicas, las cuales suelen acusar comúnmente contenidos de 10 a 20 p.p.m. de ThO_2 y de 5 a 10 p.p.m. de U_3O_8 equivalente.

Los contactos entre las rocas pre-hurónicas y los estratos hurónicos se produce gradualmente, pudiéndose interpretar que el pasaje está constituido por suelos residuales, desarrollados por la intemperización de aquellas, previamente a la depositación de los sedimentos hurónicos. Estos depósitos residuales, con espesores de hasta 15 m, muestran gradaciones que van desde el granito fresco a rocas sericíticas con granos de cuarzo e irregulares de microclino, muy similares a las que se encuentran en las superficies de erosión de los días presentes. Así, se han reconocido hematita, magnetita, zircón, monacita, torogumita, granate y anfíboles, etc. en estos residuos graníticos. Los análisis de los testigos de los sondeos exploratorios, acusan generalmente un tenor de uranio 3 veces menor que el registrado para el granito fresco.

Dado el carácter de esta síntesis, no se entrará en

consideraciones estratigráficas, como tampoco de los eventos estructurales más amplios, recomendándose para este propósito el trabajo que Roscoe y Steacy elaboraron sobre esta región.

En resumen, se puede admitir que los sedimentos hurónicos derivaron de un amplio sector que se extendía al norte y oeste de la actual ubicación de las fajas de rocas hurónicas.

A lo largo de gran parte de los tiempos hurónicos, ese sector estaba cubierto por detritos residuales, arcillas, limos, granos de cuarzo, remanentes granulares de feldespato, minerales accesorios más resistentes (zircón, etc), fragmentos de filones y de rocas cuarzosas, todos separados por la intemperización de sus rocas madres.

En cuanto a los eventos estructurales, estos no presentan ninguna relación significativa entre la intensidad de la deformación cataclástica o un eventual incremento de la radiactividad.

El metamorfismo tampoco es muy evidente, puesto que las rocas hurónicas en el área de Blind River sólo están levemente influenciadas por el mismo y caen dentro de la zona de baja cloritización del metamorfismo regional. Sólo localmente, donde fueron deformadas en forma intensa, se observa un clivaje secundario y en los casos extremos, la roca ha sido alterada en una filita.

Zonas de alteraciones rojizas, a lo largo de las fracturas, suelen presentarse en las cuarcitas. Albita secundaria ha sido también formada en estas zonas, lo cual indica un probable aporte de soluciones sódicas a través de las fracturas.

En muchos lugares de la mina "Pronto" y de los sectores de Quirke Lake y Elliot Lake, los conglomerados mineralizados se hallan en contacto o muy cercanos a arcillitas oscu-

ras, de grano muy fino, que no evidencian ningún efecto de alteración hidrotermal.

Las zonas mineralizadas de interés alcanzan espesores del orden de 3,5 m y localmente hasta 10 m.

Las relaciones entre el uranio y otros elementos presentes es bastante variable y así, capas con alto tenor en pirita contienen desde algunos centésimos a más de 1 % de U_3O_8 . La relación torio-uranio varía muy ampliamente de capa en capa en los conglomerados cuarzosos, de 0,1:1 a 5:1. Esta amplia gama en las relaciones indicadas, puede explicarse aduciéndolo a la separación hidráulica de los detritos más pesados de los minerales de uranio de los que contienen los toríferos.

La hipótesis de que las menas toríferas y uraníferas del área de Blind River y sus rocas asociadas reconocen un origen singenético, parecen estar más de acuerdo con los acontecimientos geológicos, que su opuesta de un origen epigenético.

No obstante, quienes no comparten este parecer, enfatizan que es muy difícil admitir la persistencia del uranio como material detrítico, e indican que también puede aportarse por medio de soluciones que invadieron las formaciones permeables y se basan para ello en el relativamente alto contenido de pirita, la que relacionan con procesos hidrotermales.

Sin embargo, no necesariamente la presencia de sulfuros de hierro debe tener origen alóctono, dado que minerales de hierro en rocas sedimentarias y volcánicas son convertidos en pirita por un muy leve metamorfismo regional, el que puede aportar agentes que hacen posible el proceso de conversión de óxidos en sulfuros, sin que para ello se requieran especiales condiciones hidrotermales.

Los datos geológicos y geoquímicos sugieren que ca-

si todo el torio y uranio son constituyentes singenéticos de los sedimentos hurónicos, y que, de no ser así, análogamente a lo argumentado por Liebenberg para la uraninita de los yacimientos de Witwatwrand (Sudáfrica), las menas uraníferas deberían haber reemplazado a otros materiales detríticos muy densos.

6. Areniscas

Distrito Big Indian (Utah, E.U.A.)

El distrito Big Indian comprende un número de depósitos que se ordenan a lo largo de una banda de 25 km, los que sirven para tipificar cuerpos uraníferos contenidos en areniscas, que alcanzan grandes volúmenes y altas leyes.

La Formación Chinle (neotriásica), que corresponde a un depósito fluvial, se integra con limolitas, areniscas, lutitas y conglomerados, que en conjunto alcanzan una potencia variable entre 100 y 230 metros. Normalmente, Chinle se apoya en discordancia sobre la Formación Moenkopi (eotriásica), pero en el distrito uranífero de Big Indian esta última falta, de manera que Chinle yace en discordancia directa sobre la Formación Cutler (pérmica), la que también representa un depósito fluvial, con conglomerados, arcosas, fangolitas, etc, de 600 a 2.400 m de potencia, y que en su parte alta incluye un conspicuo banco de arenisca casi suelta, blanca, de cuarzo ("Sugar Sand"), muy permeable y porosa.

Los depósitos uraníferos más importantes están confinados en forma exclusiva a la parte basal del miembro Moss Back, uno de los inferiores de la Formación Chinle, y aparecen siempre en las cercanías del contacto discordante de éste con el miembro "Sugar Sand" de la Formación Cutler (Fig. Nº 3).

Por ello, se interpreta que el principal factor que controló esta mineralización epigenética, además del conteni-

do en materia carbonosa de Chinle (que favoreció la fijación), es la neta diferencia de permeabilidad y porosidad, muy alta que la "Sugar Sand" con respecto a la mucho más reducida de Moss Back. Este factor condicionó una marcada diferencia de presión entre los flúidos que cargados de uranio circulaban por la primera y debían penetrar en Moss Back. Tal cambio alteró el equilibrio químico interno de la solución y permitió la precipitación del uranio.

La roca mineralizada es una arenisca de grano fino a grueso, que contiene material carbonoso diseminado, "clay galls" y entre 10 y 20% de carbonatos. Los minerales principales son la uraninita y la tyuyamunita.

El distrito comprende importantes depósitos, de los cuales los principales son los de las minas Radon, Ike-Nixon y Mi Vida, los que individualmente pueden alcanzar volúmenes de 3.000.000 t de mineral, con un tenor elevado de uranio: 0,40 % U_3O_8 .

Distrito Grants, Mina Jack Pile (Nueva México, E.U.A)

Corresponde a uno de los mayores depósitos uraníferos de los E.U.A., con tenores aprovechables de uranio.

El mineral está contenido en dos cuerpos mayores, los que se alojan en la "Arenisca Jackpile", que representa una lengua psamítica fluvial canalizada cerca del tope del miembro Brushy Basin, esencialmente lutítico, del techo de la Formación Morrison (Jurásico).

El miembro Brushy Basin tiene un espesor variable entre 0 y 300 m y se integra con arcilitas y fangolitas rojas, verdes, pardas y grises y con areniscas de grano fino, grises a pardas, con cemento arcilloso blanquecino. La lengua de "Arenisca Jackpile", cuyo espesor máximo es de 60 metros, muestra en cambio una estratificación entrecruzada, es esencialmente de grano medio, feldespática y tiene escaso contenido de fan-

golita, siendo sus colores más claros: gris a blanquecino y lleva restos carbonosos.

El cuerpo norte comprende dos niveles ondulados pero chatos, de 400 m de ancho y cerca de 1.000 m de largo, situándose en el medio de la "Arenisca Jackpile" (fig.10). Cada nivel puede llegar a 15 m de espesor, pero su potencia media es de 6 m.

El cuerpo sur también se reparte en dos niveles y ocupa la misma posición en la lengua arenosa que el anterior, pero es de menores dimensiones: 100 m de ancho, 230 de largo y hasta 15 m de espesor.

La mineralización, de neto carácter epigenético, consiste en una mezcla íntima de uraninita, coffinita y de material carbonoso. Las areniscas estériles son muy claras: desde gris tenue hasta blanco; las mineralizadas, en cambio, varían entre gris claro y gris oscuro.

Distrito Monument Valley (Arizona y Utah, E.U.A.)

Los depósitos de este distrito, si bien son numerosos, en su totalidad son de reducidas dimensiones, ya que salvo dos, que excedieron las 100.000 t de mineral, la mayoría de los restantes no superó las 50.000 t.

Estos cuerpos uraníferos constituyen uno de los mejores ejemplos de mineralización epigenética controlada por paleocanales, lo mismo que aquellos de San Rafael Swell.

Los depósitos de Monument Valley están contenidos en el miembro Shinarump de la base de la Formación Chinle (Triásico superior), el que se compone de areniscas cuarzosas, carbonáceas, poco cementadas y predominantemente entrecruzadas, con intercalaciones de conglomerados y fangolitas. Su espesor es reducido (medio de 25 m), pero el mismo varía mucho (entre 0 y 100 m) por tratarse de un depósito fluvial que rellenó valles erodados en la Formación Moenkopi (Triási-

co inferior), de litología más fina.

Todos los cuerpos uraníferos del distrito se localizan en sectores pequeños de estos paleocanales, y por lo común son de forma tabular, de 1,5 m de espesor medio y desarrollo horizontal de 10 a 30 metros. El uranio se distribuye irregularmente y casi siempre lo hace en relación con el contenido de materia carbonosa de la roca o bien con cuerpos arenosos cilíndricos (rods). Las leyes medias en uranio oscilan alrededor de 0,33% U_3O_8 y los minerales más comunes son uraninita, coffinita, calcopirita y pirita por debajo del "water table" y tyuyamunita, carnotita, torbernita, malaquita, azurita, etc. por arriba de tal nivel.

Distrito San Rafael (Utah, E.U.A.)

Comprende numerosos cuerpos uraníferos que se ubican en los flancos de un amplio anticlinal, en la porción noroeste del Plateau del Colorado.

Estos depósitos, junto con los de Malargüe (Mendoza, Argentina), constituyen muy buenos ejemplos de mineralización uranífera epigenética contenida en areniscas y asociada con material asfáltico.

Los cuerpos uraníferos están contenidos en los dos miembros inferiores (Monitor Butte y Moss Back) de la Formación Chinle (Triásico superior), la que llena paleocanales erosionados en la Formación Moenkopi (Triás inferior) (fig.11).

La dimensión de los cuerpos varió entre 1.000 y 200.000 t en el miembro Monitor Butte y entre 600 y 50.000 t en Moss Back, siendo las leyes de 0,25% U_3O_8 .

En el miembro basal (Monitor Butte), el mineral dominante fué uraninita mientras que en Moss Back aparecía uraninita y montroseita dispersos en asfaltitas: (1) como reemplazo de material carbonoso por asfaltitas que contenían el uranio; (2) como guijarros de asfaltitas uraníferas en conglo

merados y (3) como asfaltita uranífera intersticial entre los granos de cuarzo. También estaban presentes minerales de cobre.

Distrito Malargüe (Mendoza, Argentina)

Varios cuerpos uraníferos se alojan en areniscas y conglomerados finos en los bordes de una estructura anticlinal (fig.12). La roca portante, de edad cenomaniana-turoniana es de carácter continental pero señala la última etapa de relleno de un geosinclinal jurásico-eo y mesocretácico.

Los cuerpos mineralizados se ubican en un amplio intervalo estratigráfico de 500 metros, dentro del espesor total de 1.000 de la Formación Diamante y los mismos por lo general son pequeños, del orden de algunas decenas de miles de toneladas, salvo los de Huemul y Agua Botada, que superan las 100.000 t.

La mineralización, de carácter epigenética, se presenta en varios bancos de areniscas y conglomerados finos, grises, los que se intercalan entre limolitas y arcilitas pardas, rojizas (fig. 13). El uranio muestra una distribución irregular dentro del banco portante, acusando leyes variables entre 200 gr U_3O_8/t y tenores extremos de hasta 5% U_3O_8 , siendo el contenido medio de los cuerpos principales de 0,15% U_3O_8 .

El mineral dominante es la uraninita en los niveles que se sitúan por debajo del "water table", la que aparece con estructura de "rosario" (moniliforme), asociada a material asfáltico y calcopirita, calcosina, etc. En los niveles altos son comunes la carnotita, tyuyamunita, uranofano, fosfuranilita, metaautunita, etc, junto con las oxisales de cobre.

Dentro de los bancos portantes, la mineralización de uranio presenta tres controles: a) en muchos casos se asocia íntimamente con una de las cinco generaciones de asfaltita

de la región; b) muestra relación inversa con el contenido en carbonato de calcio y c) aparece en capas grises, decoloradas.

El contenido en cobre también es variable y oscila entre 0,5 y 3% y según estudios isotópicos, es independiente de la mineralización uranífera.

Manifestaciones similares dentro de la Formación Diamante se extienden hacia el sur, por varias decenas de kilómetros.

Distrito Chihuido (Neuquén, Argentina)

Si bien reviste muy escaso valor económico, adquiere interés por la significación genética y forma de ocurrencia de sus cuerpos mineralizados.

Las manifestaciones uraníferas se distribuyen en cuatro horizontes principales correspondientes a bancos arenosos-arcósicos, con estratificación entrecruzada, de la Formación Diamante (cenomaniense-turoniana), es decir en la misma roca huésped que en el Distrito Malargüe (Mendoza).

En realidad, no se está frente a verdaderos cuerpos uraníferos sino a un gran número de lentes mineralizadas, de pequeñas dimensiones, que oscilan entre 2 y 10 metros, en sentido horizontal y 0,10 y 0,30 m de espesor (fig. 6).

La mineralización presenta un típico control litosedimentológico, en relación con: a) las características físicas de los bancos arenosos; b) las lentes de entrecruzamiento de los mismos, pues el uranio aparece en sus porciones basales; c) la presencia de restos carbonosos; d) la presencia de minerales coloidales de hierro, que dominan en la base de entrecruzamiento y e) el contenido arcilloso (fragmentos de arcillas, "clay galls", etc.)

El mineral dominante es la carnotita, al que se asocian carbonatos de cobre, hematita, etc. Las leyes oscilan en-

tre 0,06% y 2,5% U_3O_8 (media 0,2% U_3O_8); 4% Cu y 3% V_2O_5 .

Se estima que estos depósitos epigenéticos fueron engendrados por aguas circulantes portadoras de uranio, el que fué fijado y/o precipitado por el material reductor carbonoso y por los coloides ferrosos y arcillosos.

Distrito La Poma - San Carlos (Salta, Argentina)

A 150 km al S y SW de la ciudad de Salta, se desarrolla uno de los distritos uraníferos más interesantes de la Argentina, el que comprende varios depósitos de distintas características (CUADRO I).

Todos ellos se alojan en sedimentos del Sistema de Salta (1) (Cretácico superior), depositados en los bordes de una cuenca, cuya parte central y de régimen más definidamente marino se encuentra hacia el norte (Bolivia) (Fig.14).

Los depósitos de la formación basal (Areniscas inferiores) están contenidos en areniscas calcáreas (yacimiento "La Despedida"), y si bien presentan un volumen considerable, superior al millón de toneladas, son de baja ley (0,03% U_3O_8), asociándose con cobre (0,02 a 0,25% Cu).

Otros cuerpos también se alojan en rocas calcáreas del Horizonte Calcáreo Dolomítico ("Don Bosco") y son de reducidas dimensiones (pocas decenas de miles de toneladas), apareciendo la mineralización en fracturas y diaclasas de la roca portante, con leyes variables (media 0,17% U_3O_8) y enriquecimientos locales que llegan a superar el 1% U_3O_8 .

En realidad, los cuerpos más importantes se enclavan en los términos clásticos (areniscas y lutitas) del Horizonte Calcáreo Dolomítico y de las Margas Coloradas Inferiores.

En el yacimiento "Don Otto", que presenta una corrida horizontal de más de 2.000 m y un desarrollo vertical (cer-

(1) Nomenclatura no adecuada al Código de Nomenclatura Estratigráfica, pero generalmente usada en los trabajos geológicos anteriores y en especial en los de Geología Económica.

tificado hasta la fecha) de más de 200 metros, la mineralización se localiza en los sectores oxidados exclusivamente en los bancos arenosos, finos, claros, alcanzando potencias medias de 1 metro y excepcionalmente mayores, de hasta 2 m, siendo los minerales más comunes la tyuyamunita, schroeckingerita, metaautunita y fosfuranilita. El tenor medio es de 0,15% U_3O_8 .

Dichos bancos arenosos están confinados en su piso y techo por delgadas capas de lutitas oscuras, impermeables, de 0,10 a 0,30 m de espesor. En profundidad, la mineralización está ausente en las areniscas y se confina en cambio a las lutitas, donde aparece con mayores leyes (Fig.15).

Es interesante destacar que la cantidad de uranio que se presenta en las lutitas y en las areniscas es igual por unidad de superficie considerada (se compensa la mayor potencia en las areniscas con la mayor ley en las lutitas).

CUADRO I

NOMENCLATURA REGIONAL		LITOLOGIA Y FACIES	MANIFESTACIONES DE URANIO	
S A L T A D E S I S T E M A	MARGAS MULTICOLORS	MARGAS COLORADAS SUPERIORES	Arcillas y margas rojizas en el centro de la cuenca; conglomerados, areniscas y arcillas rojas en el borde oeste.	Desconocidas
		MARGAS VERDES	Arcillas y margas verdes en el centro; conglomerados, areniscas y lutitas grises en el borde.	<u>Minerales amarillos</u> (fosfatos) en areniscas finas y lutitas arenosas, asociadas con restos carbonosos ("Providencia").
		MARGAS COLORADAS INFERIORES	Arcillas y margas rojizas en el centro; conglomerados, areniscas y lutitas rojas en el borde.	<u>Minerales amarillos</u> en areniscas y lutitas arenosas y <u>minerales negros</u> en lutitas ("Don Otto") asociados con vanadio.
	HORIZONTE CALCAREO - DOLOMITICO	CALCAREO	Calizas biogénicas en el centro de la cuenca; areniscas, lutitas y calcáreos en el borde.	<u>Minerales amarillos</u> en areniscas y lutitas arenosas, asociados con vanadio en "M.M.Güemes", "Don Bosco", "Los Berthos", etc y con cobre en "La Despedida". <u>Minerales negros</u> en lutitas ("Los Berthos", "Güemes").
		ARENISCAS CALCAREAS	Calcáreos y limos en el centro de la cuenca; conglomerados y areniscas calcáreas grises en el borde.	<u>Minerales amarillos</u> de baja ley, asociados con cobre, en Valle del Tonco.
	ARENISCAS INFERIORES		Conglomerados brechosos, areniscas y areniscas calcáreas.	<u>Minerales amarillos</u> de baja ley, asociados con Fe, Mn y Cu en areniscas calcáreas de "La Despedida".

BIBLIOGRAFIA PRINCIPAL

- /1/ - BELL, K.G., Uranium in Carbonate Rocks.- U.S. Geol. Surv., Prof. Pap. n° 474-A.
- /2/ - DENSON, N.M. and GILL, J.R., 1965. Uranium-Bearing Lignite and Carbonaceous Shale in the Southwestern Part of the Williston Basin - A Regional Study.- U.S. Geol. Surv., Prof. Pap. n° 463.
- /3/ - DIRECTION DES RECHERCHES ET EXPLOITATIONS MINIÈRES, 1959. Les Matières Premières Nucléaires. Etat des Connaissances apres la Conference de Geneve.- Commissariat à l'Energie Atomique, n° 261. Paris.
- /4/ - ELDORADO MINING AND REFINING LIMITED, 1964. Uranium in Canada.- Toronto.
- /5/ - KELLEY, V.C., 1963. Geology and Technology of the Grants Uranium Region.- Mem. 15, State Bur. Min. and Mineral Resources, Socorro, New Mexico.
- /6/ - NACIONES UNIDAS, 1956. Actas de la Conferencia Internacional sobre Utilización de la Energía Atómica con Paises Pacíficos, Ginebra 1955, Vol. VI. Geología del Uranio y Torio. (Incluye numerosos trabajos).
- /7/ - STIPANICIC, P.N., BAULIES, O.L., RODRIGO, F. y MARTINEZ, C.G., 1962. Depósitos uraníferos argentinos con control sedimentario.- 4th Inter-Amer. Symp. Peac. Appl. Nuclear Energy, México City,
- /8/ - UNITED NATIONS, 1958. Proceedings of the Second United Nations International Conference on the Peaceful Uses of Atomic Energy, Geneve. Vol. 2. Survey of Raw Materials Resources. (Incluye numerosos trabajos).
- /9/ - U.S. ATOMIC ENERGY COMMISSION, 1957. Geologic investigations of Radioactive Deposits.- TEI-690, Book 2. Oak Ridge.- (Incluye numerosos trabajos).

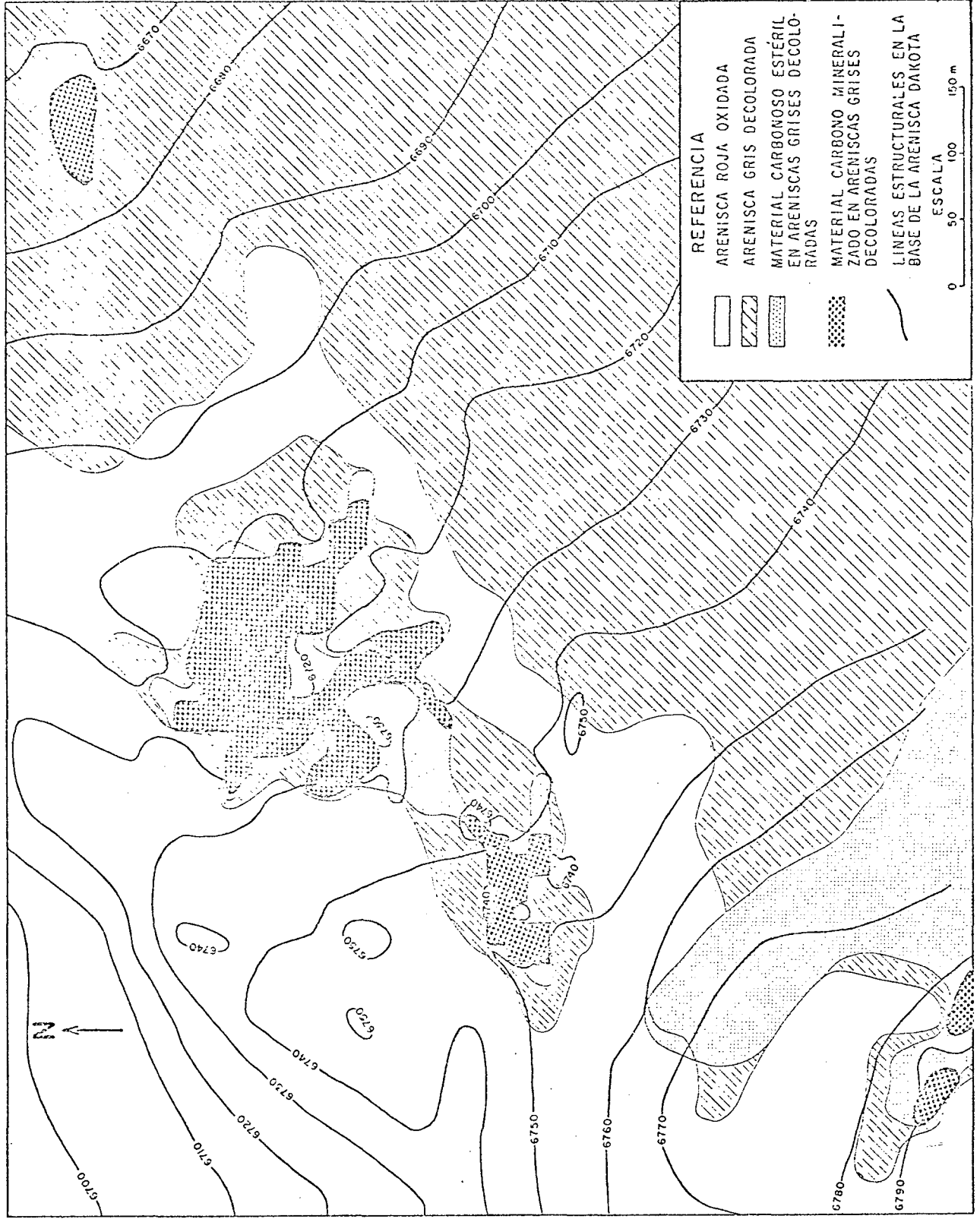
- /10/- U.S. ATOMIC ENERGY COMMISSION, 1959. Guidebook to Uranium Deposits of Western United States.
- /11/- U.S. GEOLOGIC SURVEY, 1956. Contributions to the Geology of Uranium and Thorium by the United States Geologic Survey and Atomic Energy Commission for the United Nations International Conference on Peaceful Uses of Atomic Energy, Geneva, Switzerland 1955.- US. Geologic Survey, Prof. Pap. 300. (Incluye numerosos trabajos).
- /12/- VINE, J.D., 1962. Geology of Uranium in Coaly Carbonaceous Rocks.- U.S. Geol. Surv., Prof. Pap. n° 356-D.

I N D I C E

I. GENERALIDADES.....	pág.	1
I.1. Factores intervinientes en la formación de un yacimiento uranífero con control sedimentario.....	"	1
I.2. Fuente de aporte.....	"	3
I.3. Factores extractivos.....	"	4
I.4. Factores de depositación.....	"	6
II. PRINCIPALES TIPOS DE YACIMIENTOS URANIFEROS CON CONTROL SEDIMENTARIO (Y PARCIALMENTE ES TRUCTURAL).....	"	9
1. Lutitas, pizarras, margas, etc. (a veces bituminosas).....	"	9
2. Rocas fosfáticas.....	"	13
3. Rocas carbonosas.....	"	15
4. Rocas carbonáticas.....	"	16
5. Conglomerados antiguos.....	"	18
6. Areniscas.....	"	23
BIBLIOGRAFIA.....	"	32

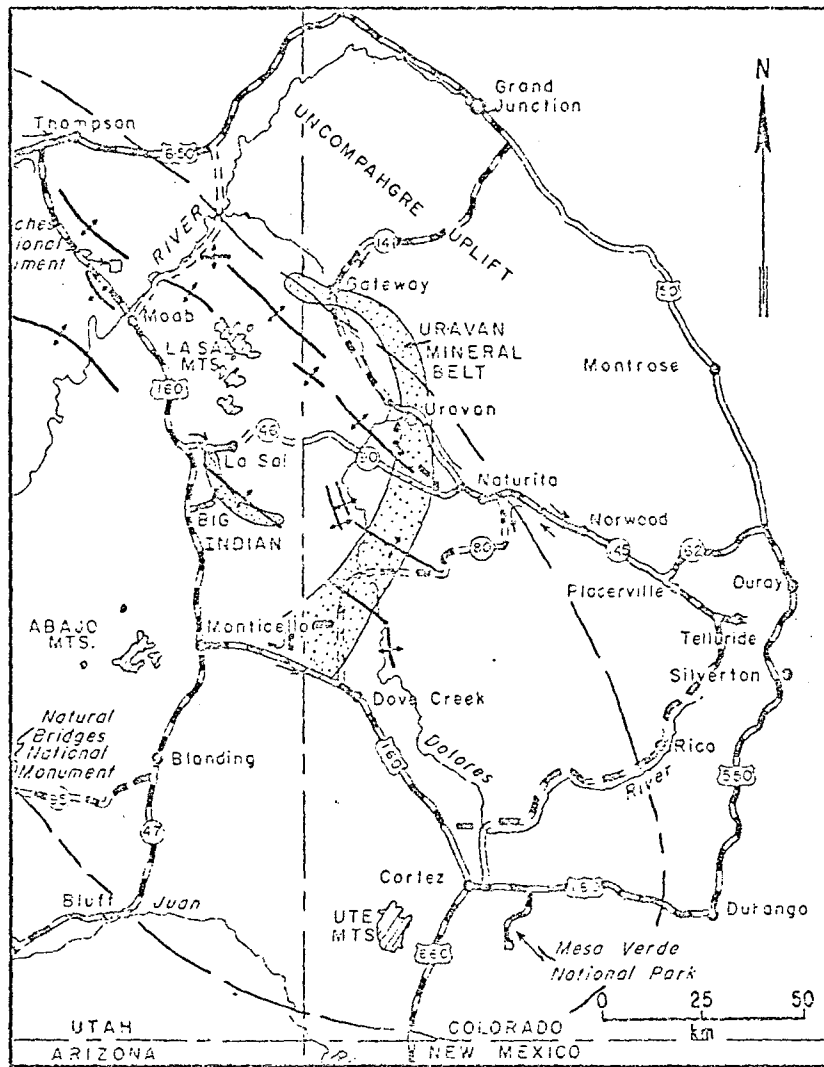
Fig. 1

MINA HOGAN, DISTRITO GRANTS, NUEVA MÉXICO, E. U. A.



Control de la mineralización en los cercanos del contacto entre las zonas de oxidación y reducción (Según Ropaport, 1965)

Fig. 2

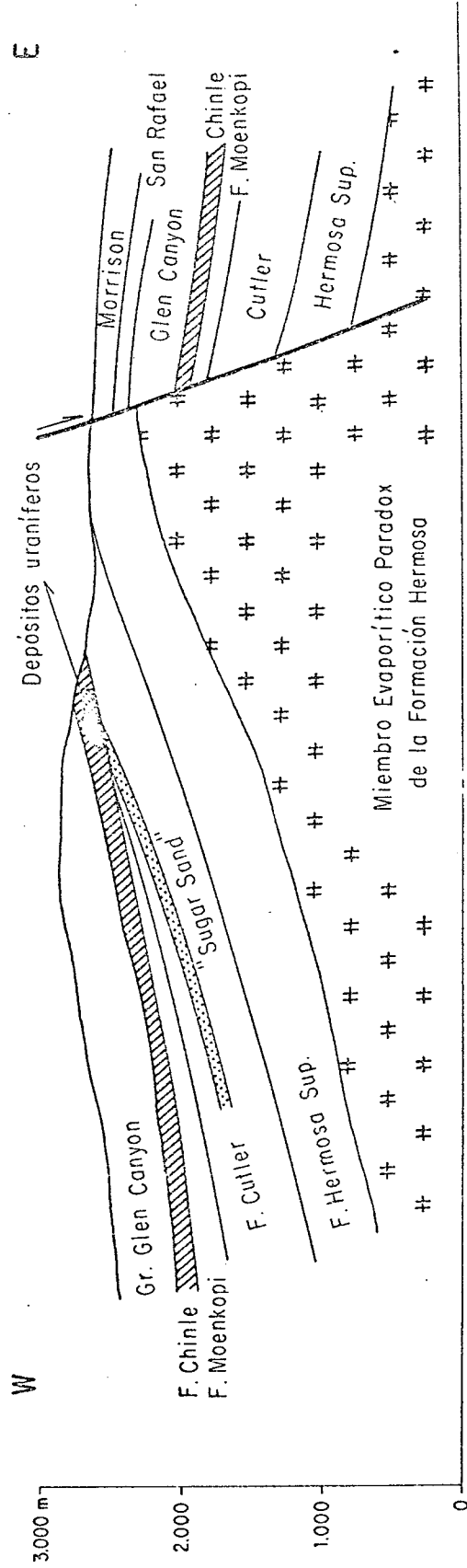


URAVAN MINERAL BELT, COLORADO, E. U. A.

Yacimientos uraníferos alojados en una banda o cinturón (belt), por control de gradiente de presión hidrostática de las soluciones mineralizantes (U. S. A. E. C., 1959, adecuado.)

Fig.3

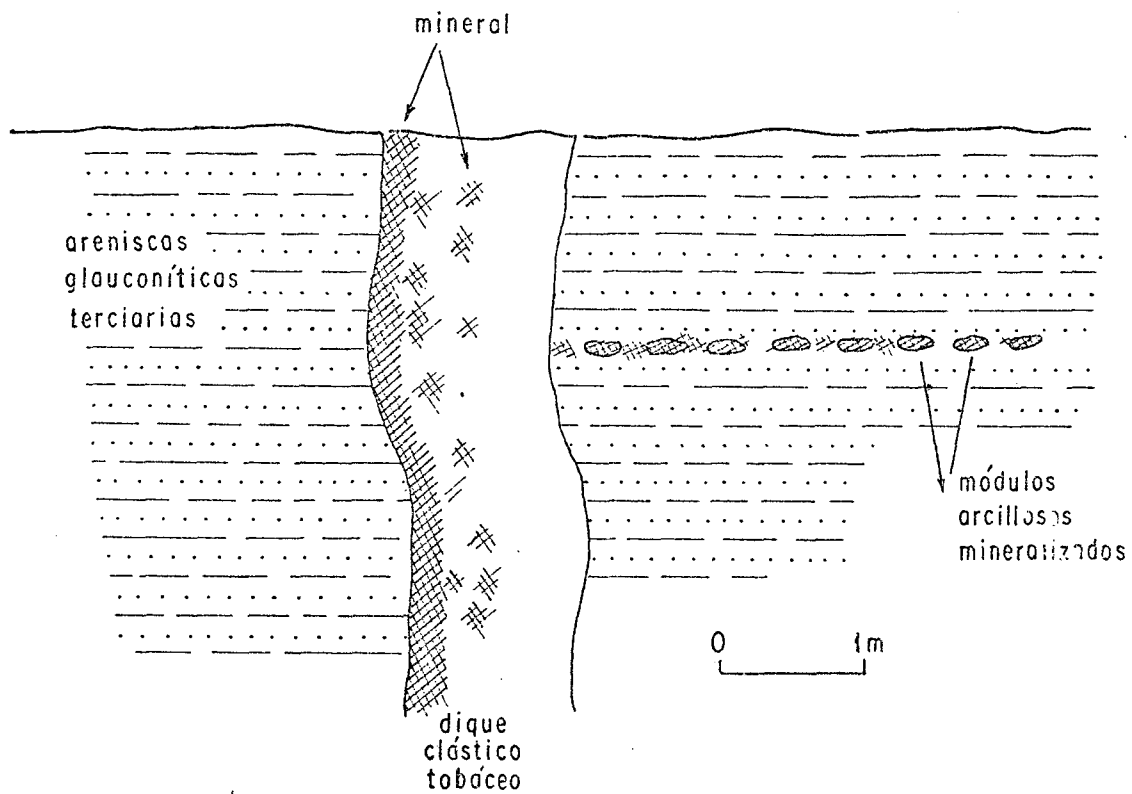
DISTRITO BIG INDIAN, UTAH, E.U.A.



Control de los depósitos uraníferos por diferencias de presión de las soluciones mineralizantes, en el contacto de la Formación Chinle con el "Sugar Sand" de la Formación Cutler (U.S.A.E.C. 1959).

Fig.4

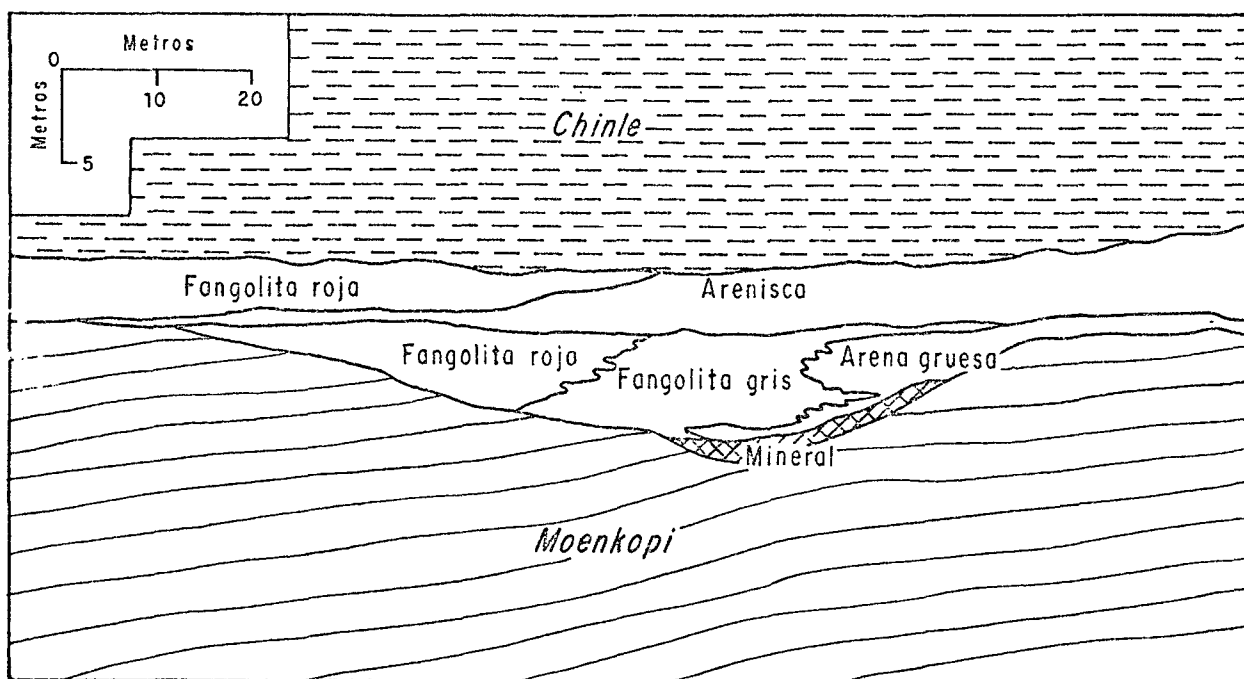
CAÑADON GATO, CHUBUT, ARGENTINA



Influencia del factor estructural (dique clástico) en el gradiente de presión de las soluciones circulantes e influencia del material adsorbente (Según Stipanovic, 1959).

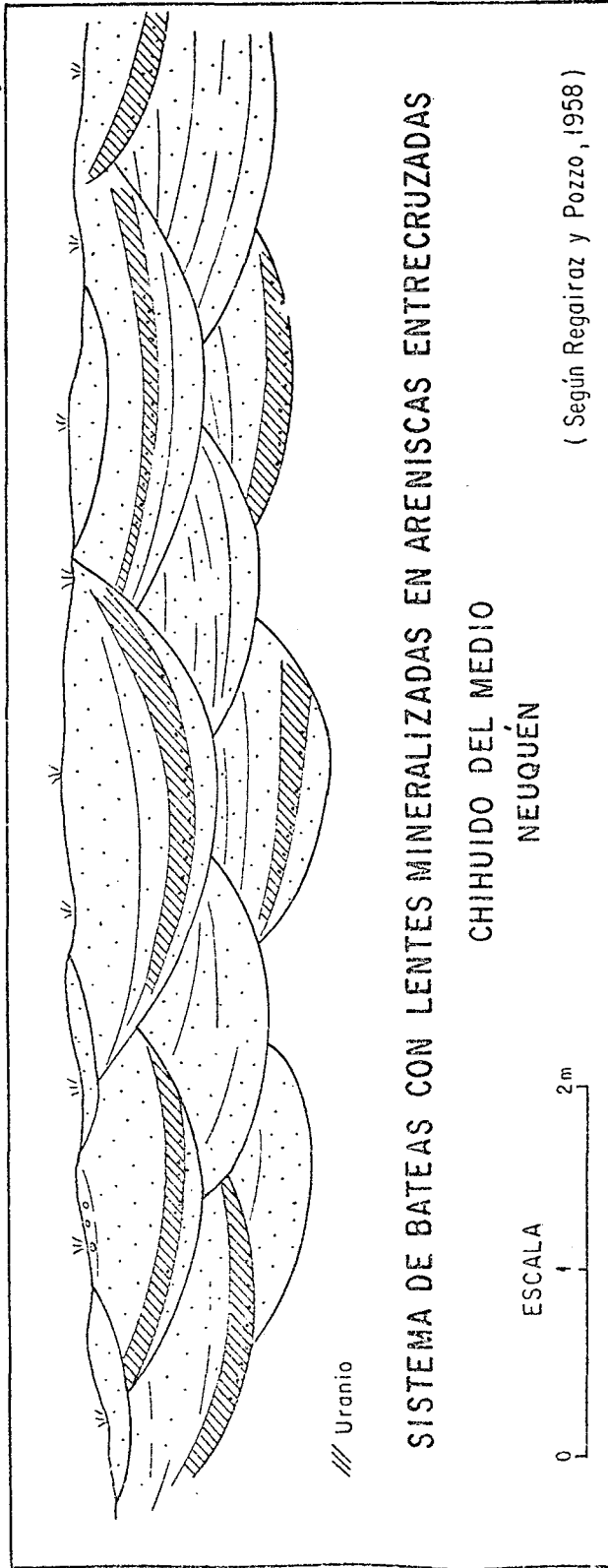
Fig.5

WHITE CANYON, UTAH, E. U. A.



Paleoconal con mineralización uranífera, erosionado en la Formación Moenkopi y rellenado por el miembro inferior (Shinarump) de la Formación Chinle (Según Miller, 1955, adecuado).

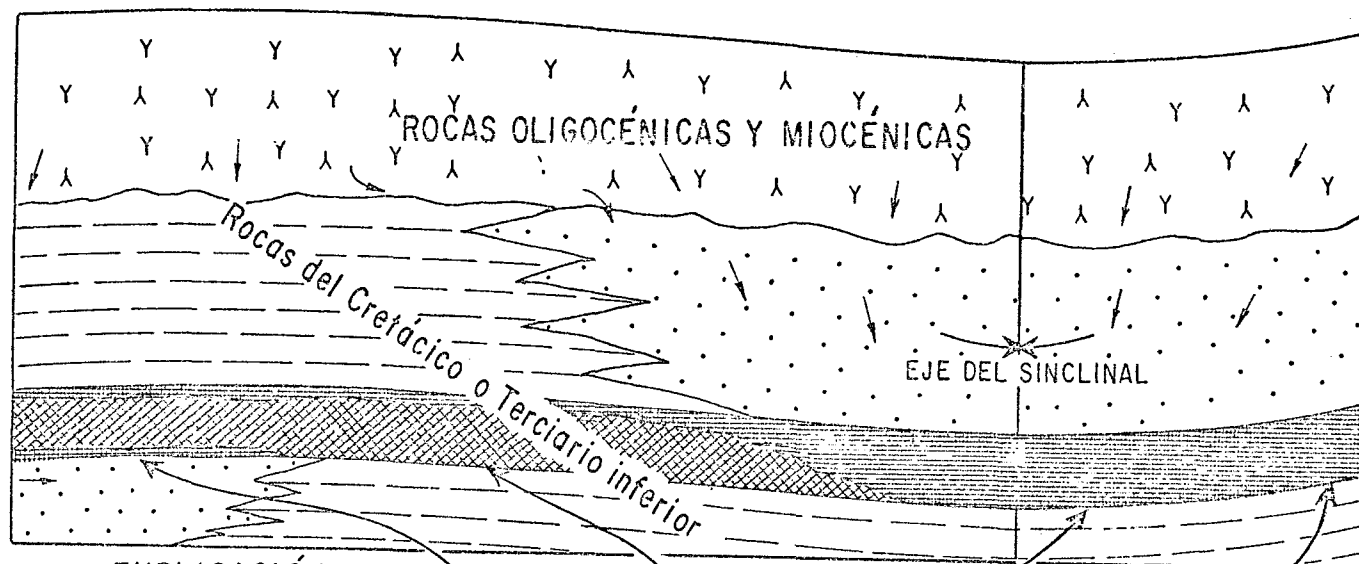
Fig. 6



Combinación de factores que controlan la mineralización uranífera (granulometría; material carbonoso, arcilloso y coloidal adsorbente)

Fig. 7

WILLISTON BASIN, DAKOTA DEL SUR, DAKOTA DEL NORTE Y MONTANA, E. U. A.




EXPLICACIÓN



 Areniscas y arcillitas
 tabáceas
Moderadamente permeable


 Lutita
Relativamente impermeable


 Arenisca
Permeable


 Lignito
Moderadamente permeable


 Lignito radiactivo
Moderadamente permeable


 Dirección de fluencia
 de las aguas subterráneas
 portadoras de uranio

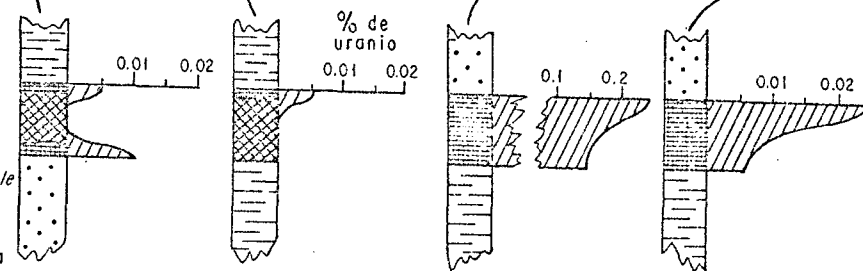
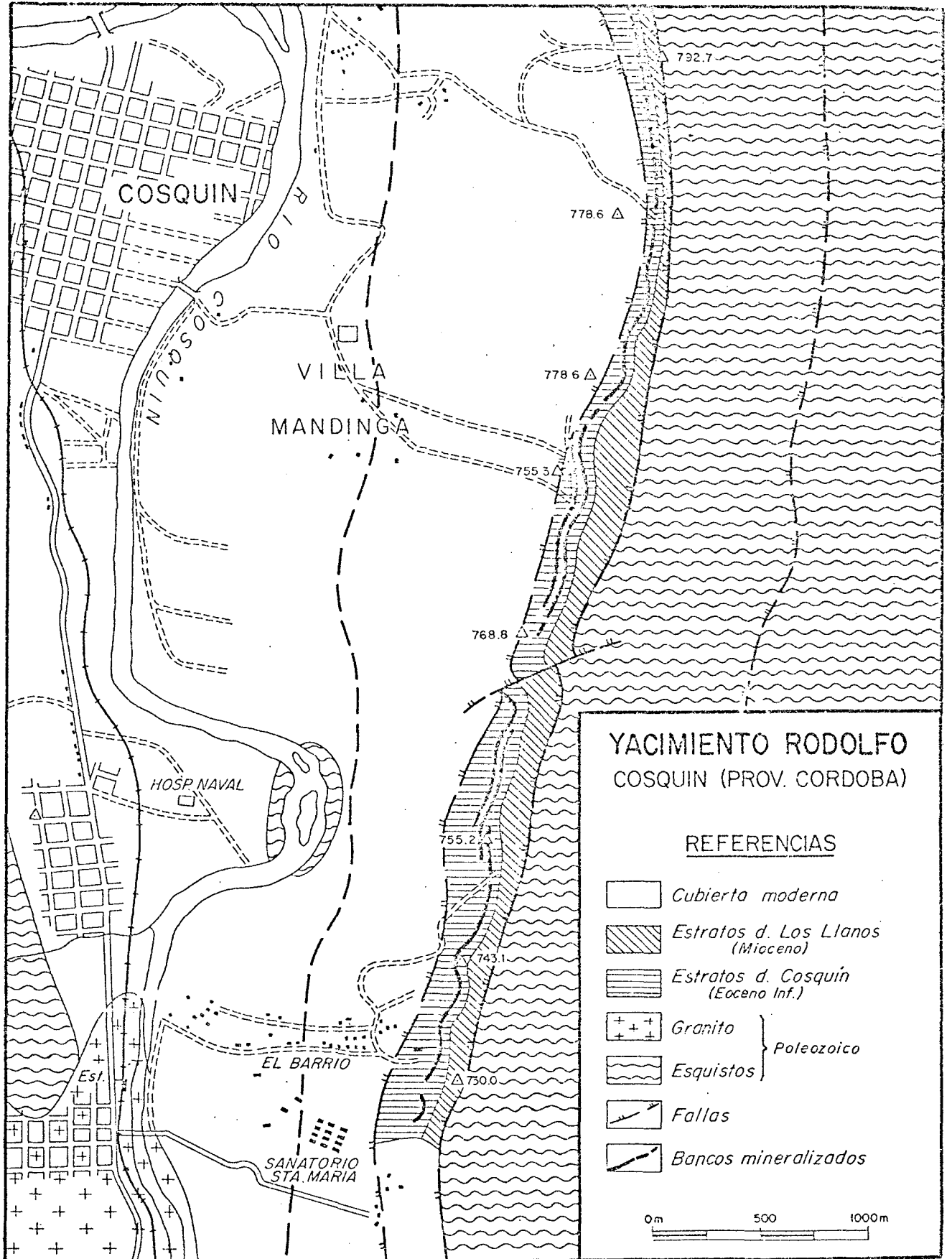


Diagrama mostrando los efectos estructurales y de permeabilidad sobre la mineralización uranífera (según Denson y Gill, 1965; Geol. Surv., Prof. Pap. 463).

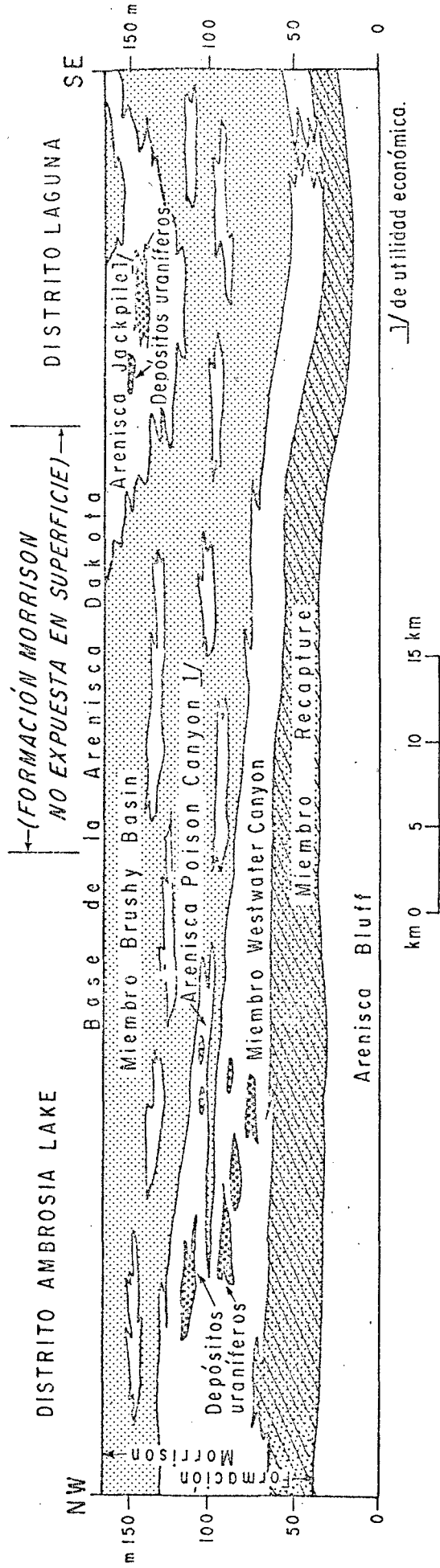
Fig. 8



Corrido de los bancos mineralizados en sedimentos continentales eocénicos (Según Stipanovic, et al, 1962).

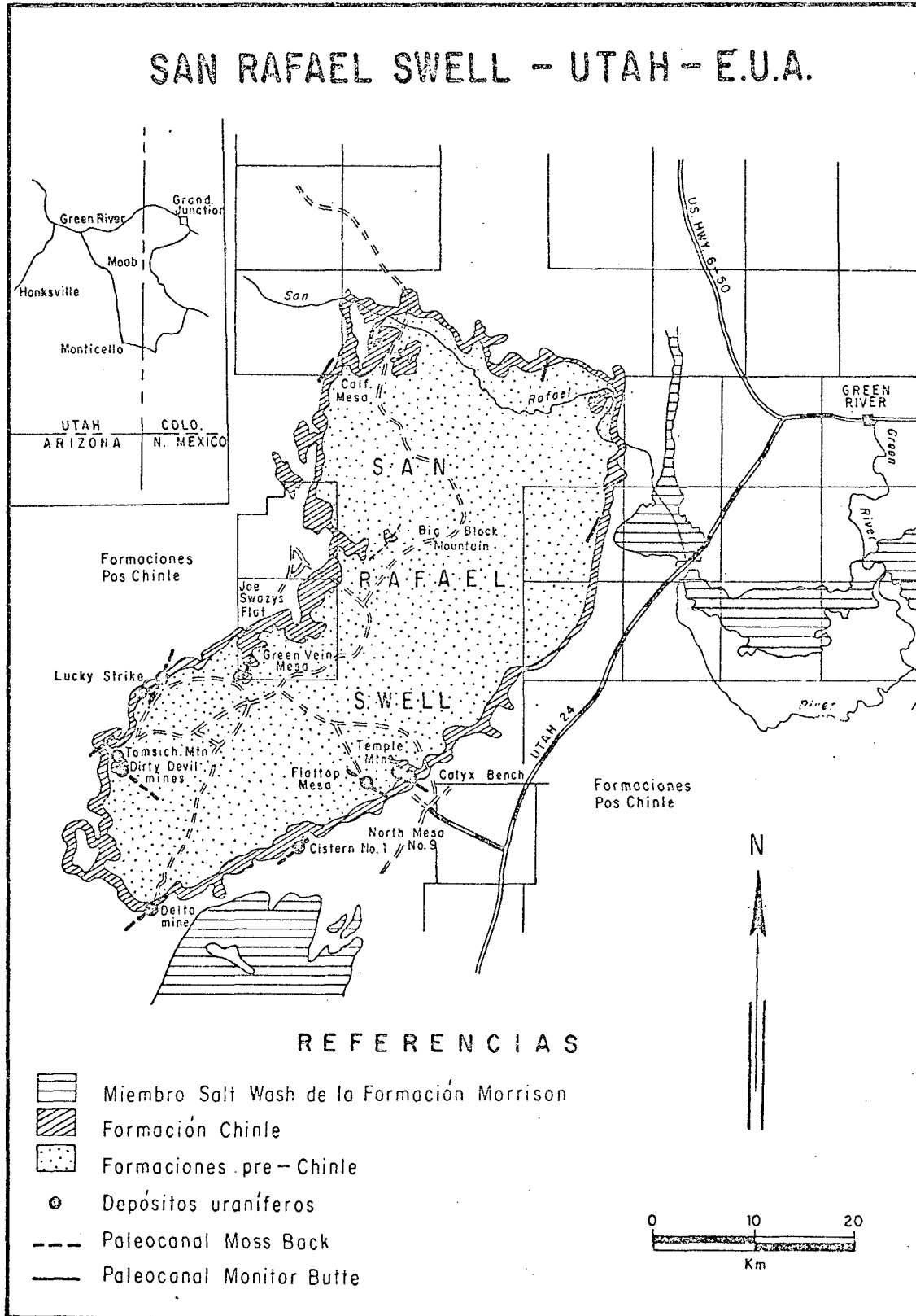
Fig. 10

DISTRITO GRANTS, NUEVA MÉXICO, E. U. A.



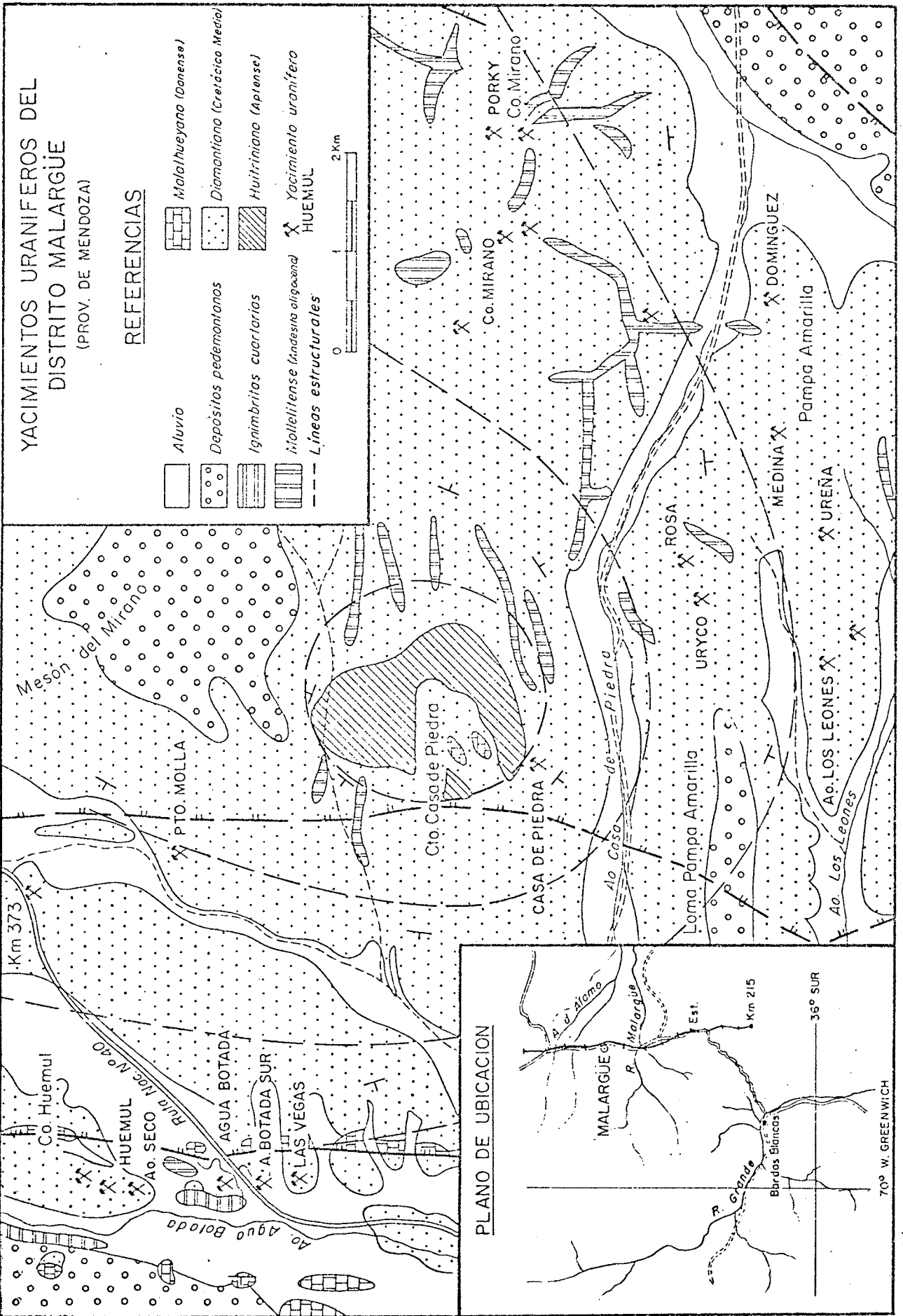
Sección geológica esquemática mostrando las relaciones estratigráficas de la Formación Morrison y las posiciones de los cuerpos uraníferos. (Según Hilpert, 1963).

SAN RAFAEL SWELL - UTAH - E.U.A.



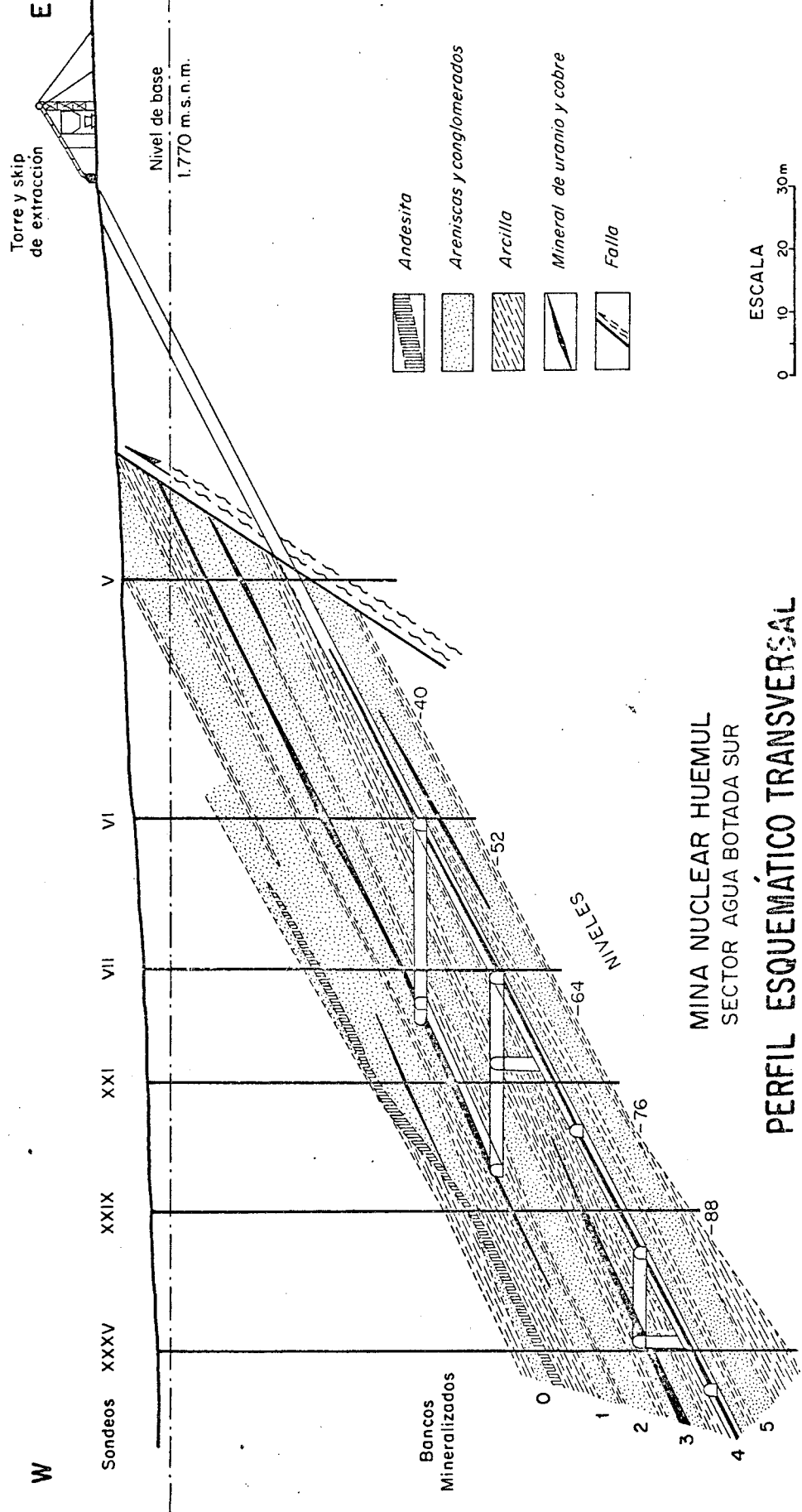
Ubicación de los cuerpos mineralizados y su relación con los paleocanales (U.S.A.E.C., 1959, adecuado)

Fig. 12



Ubicación de los cuerpos mineralizados: en los flancos de una estructura anticlinal (Stipanovic, et al, 1962)

Fig. 13



MINA NUCLEAR HUEMUL
SECTOR AGUA BOTADA SUR

PERFIL ESQUEMÁTICO TRANSVERSAL

Correlación de perfiles y labores mineras

Fig. 14

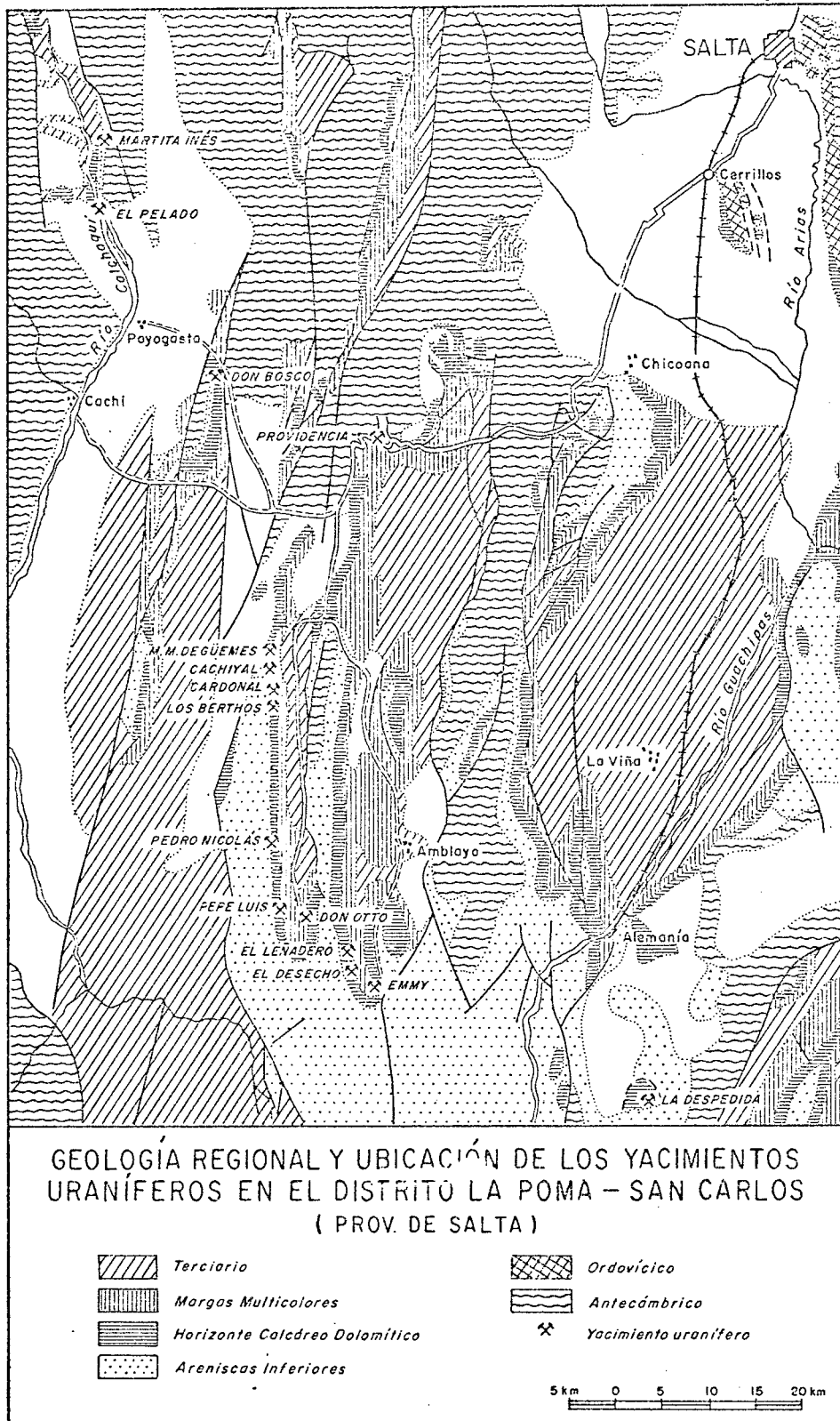
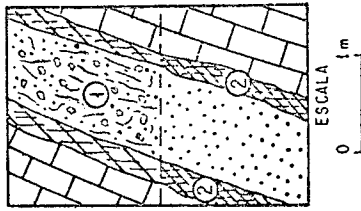
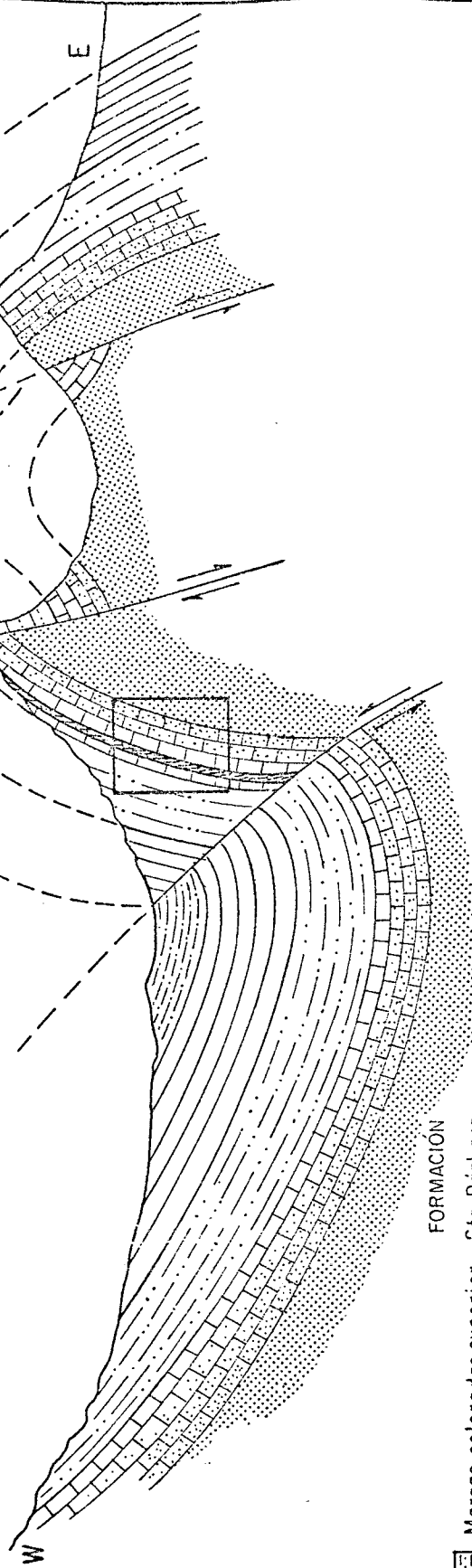


Fig. 15

DETALLE DE LA MINERALIZACIÓN

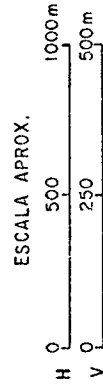


- 1 - Minerales amarillos diversos con arenisca
- W-T Nivel freático
- 2 Mineral negro, confinado en lutita



PERFIL ESQUEMÁTICO
YACIMIENTO "DON OTTO"
SALTA

- FORMACIÓN
- Margas coloradas superior Sta. Bárbara
 - Margas verdes "
 - Margas coloradas inferiores "
 - Calcareo Dolomítico Lecho y/o Yacoraite
 - Areniscas inferiores Pirgua



(Según Raskovsky)