

Ambientes geológicos uraníferos en Colombia *

CALIXTO ORTEGA MONTERO **

Geólogo
Universidad Nacional, Bogotá, Colombia

RESUMEN

Las investigaciones y exploraciones efectuadas en Colombia, encaminadas hacia la búsqueda de yacimientos de Uranio han permitido la determinación y comprobación de ambientes geológicos propicios para la existencia de este tipo de yacimientos en Colombia.

Hemos podido comprobar los siguientes ambientes favorables:

Relacionados a procesos ígneos: Pegmatitas, en los macizos orogénicos de las Cordilleras Oriental y Central (Macizo de Santander especialmente). Venas Hidrotermales: Macizo de Santander área California y Venas Hidrotermales Au-Ag de la Cordillera Central. Metasomáticos de Contacto: Macizo de Santander, NW de Bucaramanga, Macizos de Garzón y Sierra Nevada de Santa Marta. Granitos y Sienitas: San José del Guaviare y al sur del Cerro Cumare, los granitos de Convención, Pamplona (N. de S.). Volcánicos: Formaciones volcano-sedimentarias como las conocidas con los nombres de La Quinta, Guatapurí, San Lucas y Saldaña. Ignimimbritas de los valles altos del Magdalena y Cauca. Ambiente Metamórfico: Complejo migmatítico de Mitú en los Llanos Orientales.

Ambiente Sedimentario: Conglomerados Cuarzosos: formaciones Roraima y Pedrera en los Llanos Orientales. Areniscas: Jura-Triásicas Formación Girón. Sedimentos paleozoicos superiores del Macizo de Quetame, Sierra Nevada de

* Presentado en el Cuarto Congreso Colombiano de Geología, Cali, octubre de 1982.

** COLURANIO. Calle 35 No. 17-77, Piso 5°. Bucaramanga.

INTRODUCCION

El presente informe debe tomarse como un documento de trabajo, una aproximación preliminar susceptible de modificaciones y ampliaciones, en la medida que se intensifiquen las investigaciones geológicas en este campo y se amplíe el conocimiento geológico regional en áreas aún inexploradas.

Este documento tiene como objetivo central la actualización, a la luz del mejor conocimiento del contexto y ambiente geológico, en la medida que el desarrollo de las exploraciones efectuadas en los últimos años por las compañías extranjeras y nacionales así lo indica.

RELACIONADOS A PROCESOS IGNEOS

Pegmatitas

Es ampliamente conocida en el contexto mundial la existencia de pegmatitas radioactivas sieníticas y graníticas, con segregaciones y diseminaciones en intrusiones ácidas e intermedias y su importancia como fuente de Uranio y Torio. Normalmente están relacionados a plutones ricos en Uranio. Los minerales de Uranio principales son Uraninita y urano-torita; son comunes los fenómenos de albitización y argilitización.

Las más ricas pegmatitas están relacionadas a edades precámbricas, especialmente en el Escudo Canadiense; existen también ricas pegmatitas uranotoríferas en los escudos Brasileiro, Central Africano, de la India y Madagascar.

El depósito más grande conocido en el mundo de este tipo es el Brancroft (Ontario) y es del orden de las 2.000 toneladas de U_3O_8 y un tenor de 0.11%. En el distrito de Tate (Mozambique) existen interesantes depósitos aún poco conocidos. A excepción de los dos anteriores, las manifestaciones de Uranio en pegmatitas no constituyen un blanco atractivo de exploración debido a que son cuerpos pequeños y muy dispersos.

En Colombia tenemos pegmatitas esparcidas a lo largo de las cordilleras Oriental y Central, alrededor de los macizos orogénicos, como resultado de los últimos eventos magmáticos que permitieron el emplazamiento de masas plutónicas. (Fig. 1).

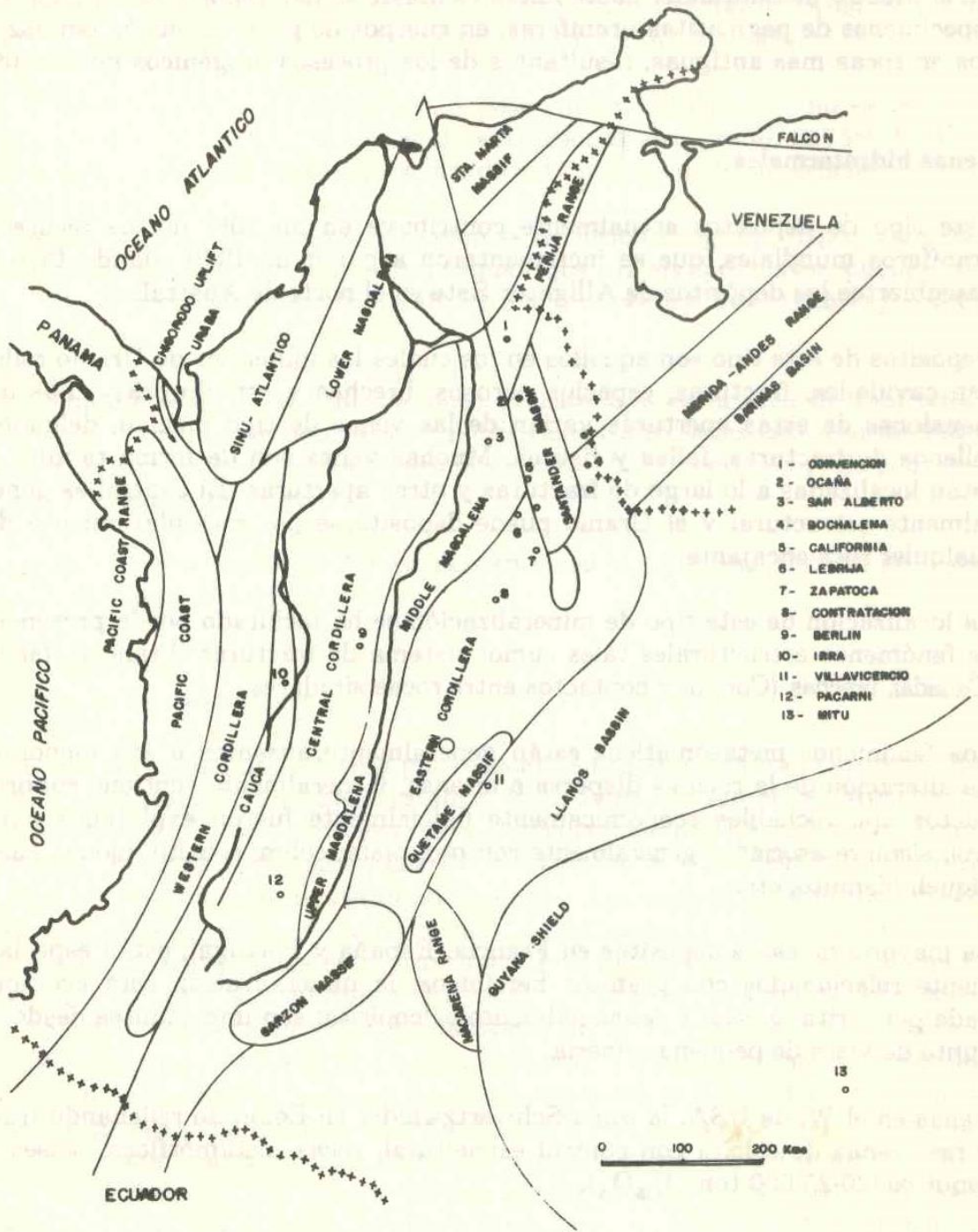


FIGURA 1 Geotectonic provinces and uranium prospects in Colombia.

En el escudo precambiano Guayanés, en su parte colombiana, es de esperar el desarrollo de cuerpos pegmatíticos importantes.

En el Macizo de Santander hasta ahora es donde se han reportado los mejores especímenes de pegmatitas uraníferas, en cuerpos de poca extensión emplazados en rocas más antiguas, resultantes de los procesos orogénicos hercínicos.

Venas hidrotermales

Este tipo de depósitos actualmente contribuye en un 20% de los recursos uraníferos mundiales, que se incrementaron a partir de 1970 cuando fueron descubiertos los depósitos de Alligator Este en el norte de Australia.

Depósitos de este tipo son aquellos en los cuales los minerales de Uranio rellenan cavidades, fracturas, espacios porosos, brechas y «stockworks». Las dimensiones de estas aperturas varían de las venas de tipo masivo, delgados rellenos de fracturas, fallas y fisuras. Muchas venas son de forma tabular y están localizadas a lo largo de fracturas y otras aperturas. El control es generalmente estructural y el Uranio puede depositarse por reemplazamiento de cualquier roca encajante.

La localización de este tipo de mineralización se ha facilitado por la presencia de fenómenos estructurales tales como: sistema de fracturas (Francia), fallas (Canadá), brechas (Congo) y contactos entre rocas similares.

Los fenómenos metasomáticos están generalmente ausentes o son menores. La alteración de la roca es dispersa e intensa. Generalmente contiene subproductos aprovechables económicamente (inicialmente fueron explotados para oro), siempre asociados generalmente con oro, plata, cobre, cobalto, plomo, zinc, níquel, bismuto, etc.

La mayoría de estos depósitos en Francia, España y Portugal, están especialmente relacionados con granitos hercínicos; la mineralización está acompañada por piritita, galena y ocasionalmente calcopiritita; son importantes desde el punto de vista de pequeña minería.

Venas en el W. de USA, la mina Schwartzwald en Colorado rellena fracturas, venas de calcita con control estructural, rocas metamórficas, neises y esquitos (20-25.000 ton., U_3O_8).

En el NW del Canadá, en el área de Great Bear, asociada con fallas y fracturas en metasedimentos que forman techos colgantes de intrusivos graníticos.

También entre los distritos productivos más importantes de este tipo de mineralización está el Beaverlodge (Saskatchewan), al norte del Lago Athabasca.

Otro ejemplo de distritos de múltiples venas pequeñas están en Australia (Sur Valle Alligator) 0.13-2.45%, con depósitos entre 3-226 toneladas.

En el área adyacente (E. Alligator), a pesar de que el depósito no es de gran tamaño (12.000 ton de Uranio), es de excepcional alto grado. (2.73% U_3O_8) con 450.000 toneladas de mena localizada a 42 metros de la superficie.

En resumen este tipo de mineralización es de forma irregular, depósitos generalmente pequeños, bolsadas enriquecidas que en algunos casos pueden ser explotadas selectivamente. Generalmente son depósitos de 0.1-2.5% y 20.000 Ton de U_3O_8 .

En Colombia tenemos manifestaciones de este tipo en el área de California. Son venas en rocas metamórficas y porfíricas controladas estructuralmente, ricas en oro y otros metales con grado de 0.05 - 0.2%. de U_3O_8 . El principal mineral de ganga es cuarzo.

Las venas hidrotermales de Au-Ag existentes en la Cordillera Central no dejan de ser un objeto atractivo.

Metasomática de contacto

Este tipo de depósitos se forma por reacción entre emanaciones tardías metasomáticas durante los últimos estados de actividad magmática. Muchos depósitos se forman por removilización y concentración de Uranio en rocas encajantes por intrusivos adyacentes. Las rocas encajantes son generalmente «skarnas», esquistos y hornfelsas que están adyacentes a intrusiones plutónicas. Presentan una extensa silificación, albitización, sericitización y granatización. Están generalmente controlados estructuralmente en forma de fracturas y fallas en trampas adyacentes a plutones. La mineralización (generalmente Uraninita, Coffinita) se presenta en vetillas rellenando fracturas y en reemplazamientos. Genéticamente se consideran diseminaciones de Uranio relacionadas a estados tardíos de actividades magmáticas, enriquecimientos secundario, removilización y concentración durante metamorfismo. Ejemplo de este tipo de depósito: Apex (Nevada) que contiene 22.000 toneladas de mena con un tenor de 0.25% U_3O_8 (55.000 kg U_3O_8) y las menas son aproximadamente paralelas a la foliación. Las menas son de forma tabular a irregulares. La zona Midnite (Washington) presenta 1.2 millones de toneladas de mena con un tenor de 0.18% U_3O_8 . son depósitos de tonelaje medio a pequeño y de forma irregular.

En Colombia en el Macizo de Santander al NW de Bucaramanga emplazadas en neises precambianos (Neis de Bucaramanga), se encuentran manifestaciones controladas estructuralmente a lo largo del trazo de la Falla de Bucaramanga, relacionadas a vetillas diseminadas cloritizadas y epidotizadas, producto de fenómenos magmáticos tardíos (hidrotermalismo) aún insuficientemente conocidos.

Este fenómeno puede ser repetitivo en los Macizos de Garzón, Sierra Nevada de Santa Marta y Cordillera Central.

Diseminados en granitos y seinitas

Los depósitos más grandes de este tipo se encuentran localizados en el continente africano y son las minas de Rossing y Palaborowa, depósitos enormes con diseños de extracción a gran escala.

El depósito Pozos de Caldas en Brasil está planeado para una extracción a menor escala.

Generalmente estos depósitos tienden a ser grandes y de bajo grado; el depósito de Rossing contiene entre 10^5 y 10^6 toneladas (con tenores entre 500-1000 ppm con más de 100×10^6 toneladas de mena).

En Colombia, en San José del Guaviare al sur del Cerro Cumure, existen depósitos semejantes a los mencionados.

Evidencias de estas estructuras se encuentran en Ocaña, Convención, Pamploña, La Curva, (N. de S) Irra (Caldas), con anomalías reconocidas de Uranio, pero en la mayoría de los casos, son concentraciones autigénicas.

Volcánicos

Depósitos de Uranio en rocas volcánicas están relacionadas a extrusiones ácidas e intermedias; especialmente aquellas de finales de ciclos orogénicos.

El estudio de la distribución de depósitos de Uranio en volcanitas, muestran que están relacionadas a actividad volcánica tardía, pero también en casos donde intrusiones graníticas están ausentes (Italia, Alemania).

Las menas ocurren en rocas porfíricas ácidas-alcalinas, ricas en volátiles, finamente diseminados en cenizas, tobas, flujos y en sedimentos volcanoclásticos. Se consideran excelentes rocas fuentes de U fácilmente extraíble. En

algunos depósitos epigenéticos se considera que derivan su Uranio de la lixiviación de volcanitas uraníferas de bajo grado.

Los principales depósitos de este tipo se encuentran en Utah (USA), Italia y Alemania. En México (Chihuahua) existe un depósito de 4.500 toneladas de U_3O_8 con un tenor promedio de 0.2%.

Generalmente son depósitos de 100-1.000 ton de U_3O_8 con un tenor de 0.10 a 0.15% y entre 100.000 y 1.000.000 de toneladas de mena. Son pequeños múltiples depósitos lenticulares de geometría irregular, como el de Mina Cotaje en Bolivia, con un tenor promedio de 0.09%.

En Colombia existen espesos paquetes volcánicos, volcano-sedimentarios e hipoabisales del tipo anteriormente descrito, representando lo que se conoce como las formaciones Juratriásicas de La Quinta, Guatapurí, San Lucas, Saldaña (antigua post-Payandé) (Serranía Perijá, San Lucas, Valle Superior del Magdalena).

Los informes existentes reportan algunas anomalías puntuales en esta litología sin aparente continuidad.

Existen ignimbritas y generalmente tobas, capas volcano-sedimentarias de edad Terciario en los valles altos del Magdalena y Cauca que pueden aportar mineralizaciones de Uranio.

AMBIENTE METAMORFICO

En el ambiente metamórfico existen depósitos bastante importantes a nivel mundial. A veces se encuentran relacionados a inconformidades proterozoicas en rocas esquistosas y néisicas, cloríticas, grafiticas, o piríticas, cubiertas por sedimentos detríticos más jóvenes.

También se consideran relacionados a movilizaciones de Uranio durante metamorfismo progresivo, relacionados a fenómenos anatéticos y concentrados en fracturas, brechas y zonas de dilatación.

Genéticamente, están relacionadas a deformación intensa durante el metamorfismo y recristalización diagenética, como resultado de enterramiento profundo. Representantes de este tipo tenemos en Australia, los grandes yacimientos de Jabiluka con 0.5% de tenor promedio y más de 200.000 toneladas cortadas U_3O_8 ; lo que implica más de 100 millones de toneladas de mena. Mencionamos también a Nabarlek con 10.000 Ton. U_3O_8 (tenor = 2.5% U_3O_8).

En el norte de Canadá en la región de Saskatchewan, los depósitos Key Lake (polimetálica de Ni, Pb, Zn Mo), con 50.000 ton. de U_3O_8 (tenor 2% de U_3O_8), Rabbit Lake, yacimientos también de un gran tonelaje con un tenor promedio de 0.4% de U_3O_8 y más de 30.000 ton. de U_3O_8 (aproximadamente 5 millones de ton. de mena).

En términos generales, los depósitos más representativos de este depósito están localizados cronológicamente en rocas metamórficas del Proterozoico Inferior.

En Colombia existe este tipo litológico perteneciente a eventos de esta época pre-Cambriana, en las partes oriental de los Llanos Orientales, hacia las fronteras con Brasil y Venezuela, en lo que se conoce como Complejo Migmatítico de Mitú (GALVIS *et al.*, 1979); perteneciente a la parte colombiana del Escudo de Guayana.

Las investigaciones efectuadas hasta la fecha no han sido lo suficientemente halagadoras, pero es necesario tener presente las dificultades climáticas de acceso y el poco conocimiento geológico del área para mantener vigente las posibilidades uraníferas del área (han sido reportadas algunas anomalías radiométricas) ya que es una área muy extensa, más de 100.000 km².

AMBIENTE SEDIMENTARIO

Conglomerados cuarzosos

Litológicamente son conglomerados oligomícticos, cuarzosos, fuertemente cementados con clorita y sericita, compactos, piríticos. Los minerales de Uranio están asociados a otros minerales pesados y son óxidos primarios generalmente.

Las evidencias de oxidación a través de toda su secuencia son escasas, predominando el color gris.

Sólo conglomerados más antiguos de 2.000 millones de años son propicios para contener depósitos de Uranio, debido esencialmente a que la estabilidad de los minerales de Uranio ha sido posible por la existencia de una atmósfera reductora, durante el transporte fluvial a que fueron sometidos. Dichas menas por lo tanto, están restringidas a estratos depositados durante el Proterozoico Inferior que descansan sobre el basamento granito-metamórfico Arqueano.

Depósitos comerciales de este tipo se encuentran en Canadá y Sur Africa (Witwatersrand), Brasil, India y Australia.

Los depósitos de este tipo son generalmente de bajo grado (.15%), gran tonelaje (100 a 150.000 toneladas y contienen coproductos (Au) de rentabilidad económica.

En nuestro país tenemos representantes de este tipo litológico en las formaciones Roraima y su equivalente La Pedrera en los Llanos Orientales colombianos (GALVIS, J. *et al.*, 1979). Sin embargo, es necesario considerar dos aspectos fundamentales.

- Una depositación posterior a las últimas movilizaciones graníticas existentes, o por el contrario,
- Una depositación anterior a este mismo fenómeno.

En el primer caso, si la depositación se produjo posterior a las últimas movilizaciones graníticas reflejadas por las dataciones radiométricas existentes, dichas formaciones serían muy «jóvenes» y posiblemente se depositaron en un ambiente de atmósfera oxigenada; lo que viene a eliminar totalmente la posibilidad de encontrar acumulaciones de Uranio de este tipo genético.

En el segundo caso la depositación debió suceder antes de que se produjera dicha movilización, por lo cual, tales formaciones serían anteriores a las dataciones reportadas; esto es, debido al hecho de que no se conocen formaciones de estas características posteriores a 1.700 m.a. y anteriores al Paleozoico en el Escudo de las Guayanas, y a la existencia de la pirita detrítica (GALVIS, *et al.*, 1979), y a su semejanza con las formaciones existentes en otras partes del mundo, nos hace pensar en un ambiente de depositación de atmósfera anóxica; lo que sí nos permite esperar depósitos uraníferos de este tipo en el área. La existencia de algunas anomalías radiométricas viene a confirmar lo anterior. Por otra parte, es necesario tener en cuenta estas formaciones sedimentarias, como posibles receptoras de depósitos epigenéticos de Uranio, al margen de las consideraciones singenéticas expuestas anteriormente.

Areniscas

Se estima que por lo menos la mitad de las reservas mundiales de Uranio son del tipo arenisca, depositadas bajo condiciones fluviales o marinas; areniscas lacustres también se encuentran algunas veces mineralizadas. Las mineralizaciones de Uranio son generalmente tabulares y estratiformes. En general esas ocurrencias se han formado por la depositación de minerales de Uranio de la circulación de aguas subterráneas. La presencia de ambientes reductores es entonces esencial para la formación de menas de Uranio, debido a la movilidad de éste en condiciones oxidantes y a su precipitación en condiciones reductoras.

Una combinación de areniscas piriticas carbonáceas y rocas tobáceas se considera favorable. Rocas graníticas cercanas, con un contenido de Uranio mayor que el contenido normal, se considera también favorable como fuentes de aporte de Uranio a la cuenca sedimentaria.

Ejemplos de este tipo de depósitos se encuentran en muchos países de Europa, Africa, Sur América, Australia, Pakistán y Canadá.

Gran parte de las reservas de Uranio en Estados Unidos se encuentra en depósitos de esta categoría. Los depósitos lenticulares de Nuevo México y Texas, los tipos roll-front de Wyoming y los de la meseta de Colorado; a pesar de que se consideran ligeramente diferentes en su configuración y mineralogía, se han desarrollado bajo el mismo proceso.

Depósitos de este tipo tienen un tamaño variable y algunas veces son extremadamente pequeños, que tienden a concentrarse en distritos definidos, lo que permite en algunos casos la utilización de una sola planta de tratamiento para varios depósitos (depósitos inferiores a 1.000 toneladas).

Los tenores son del orden de 0.05 a 0.3% U_3O_8 . Los depósitos más grandes de este tipo son del orden de 30.000 a 40.000 toneladas.

En Colombia tenemos condiciones propicias, confirmadas en algunos casos por la existencia de mineralizaciones ya reportadas, lo que viene a reforzar la favorabilidad de algunas formaciones sedimentarias y la existencia dentro de ellas de verdaderos prospectos con viabilidad de ser económicamente rentables. (Fig. 2).

Areniscas Trias-Jurásica. Formación Girón

El mayor número de anomalías reportadas se encuentran al W del Macizo de Santander.

El proyecto Contratación desarrollado por ENUSA presenta continuidad de niveles mineralizados a lo largo de varios kilómetros (11 kilómetros, 2 niveles).

Un poco más al norte de Zapatoca, continuando la estructura, se presenta una mineralización más irregular que la anterior donde se han efectuado algunos metros de sondeos (700 metros), pero hasta ahora sin el éxito esperado inicialmente.

Existen otros afloramientos tipo Girón en la Sierra Nevada del Cocuy y frontera venezolana escasamente exploradas.

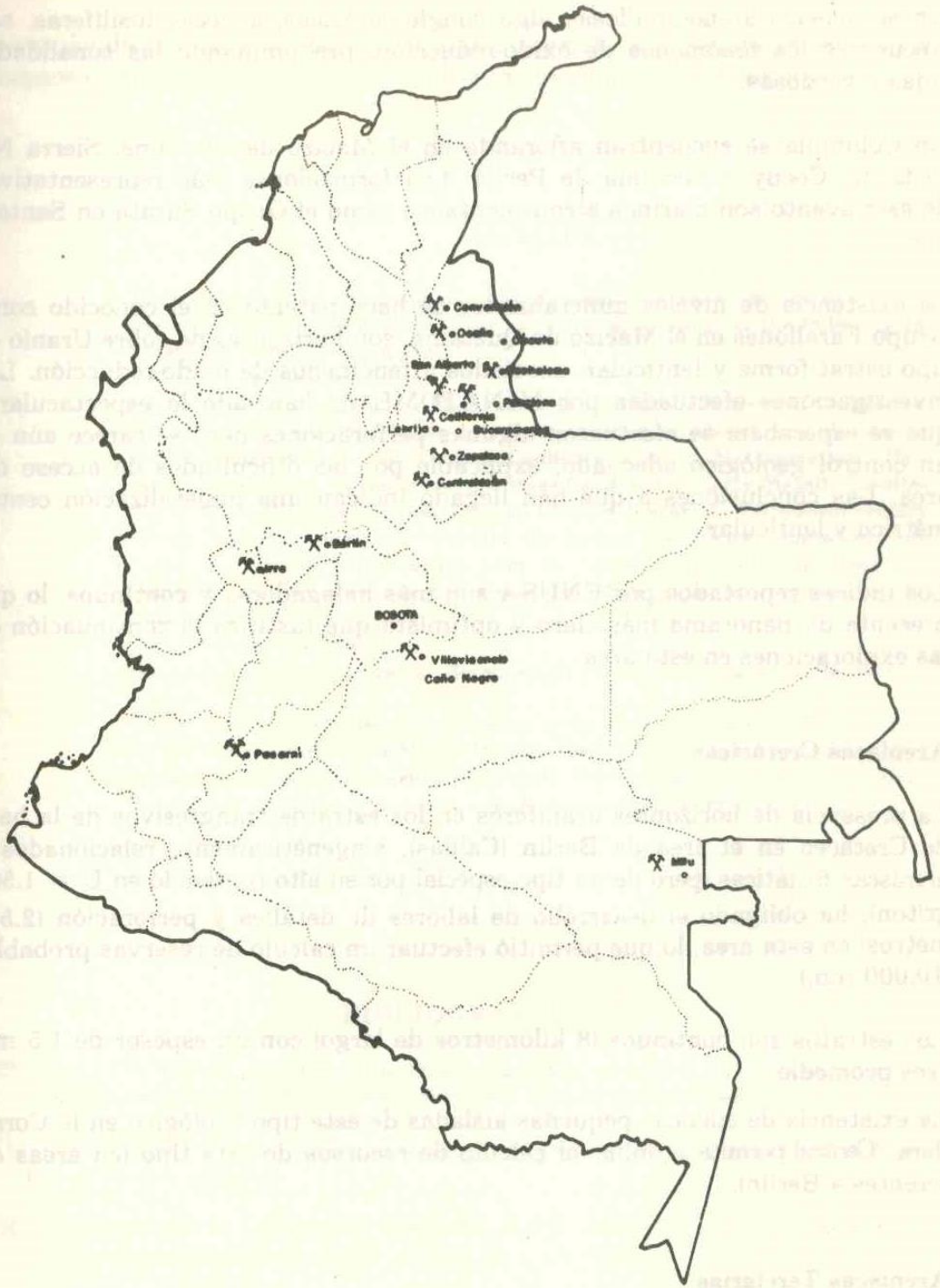


FIGURA 2 Manifestaciones uraníferas en Colombia. COLURANIO S.A.

Sedimentos del Paleozoico Superior

En secuencias areno-arcillosas algo conglomeráticas, a veces fosilíferas, son frecuentes los fenómenos de óxido-reducción, predominando las tonalidades rojas y verdosas.

En Colombia se encuentran aflorando en el Macizo de Quetame, Sierra Nevada del Cocuy y Serranía de Perijá. Las formaciones más representativas de este evento son marinas a continentales, como el Grupo Suratá en Santander.

La existencia de niveles mineralizados se hace patente en el conocido como Grupo Farallones en el Macizo de Quetame, son horizontes de cobre-Uranio de tipo estratiforme y lenticular, asociados a fenómenos de óxido-reducción. Las investigaciones efectuadas por MINATOME no han sido lo espectaculares que se esperaban; se efectuaron algunas perforaciones pero se carece aún de un control geológico adecuado, explicable por las dificultades de acceso del área. Las conclusiones a que han llegado indican una mineralización centrométrica y lenticular.

Los índices reportados por ENUSA son más halagadores y continuos, lo que presenta un panorama más claro y optimista que justifica la continuación de las exploraciones en esta área.

Areniscas Cretácicas

La presencia de horizontes uraníferos en los estratos transgresivos de la base de Cretáceo en el área de Berlín (Caldas), singenéticamente relacionados a areniscas fosfáticas (pero de un tipo especial por su alto contenido en $U = 1.500$ gr/ton), ha obligado el desarrollo de labores de detalles y perforación (2.500 metros) en esta área, lo que permitió efectuar un cálculo de reservas probables (10.000 ton.).

Los estratos son continuos (8 kilómetros de largo) con un espesor de 1.5 metros promedio.

La existencia de cuencas pequeñas aisladas de este tipo litológico en la Cordillera Central permite ampliar el cálculo de recursos de este tipo (en áreas diferentes a Berlín).

Areniscas Terciarias

La presencia de anomalías radiométricas en el Valle Alto del Magdalena, Formación Gualanday, condujo a la realización de labores de detalle y perfora-

ción (5.700 metros triconados) pero desafortunadamente no se pudo ubicar concentración mineral de cualquier tipo.

Se recomienda una revisión de los registros tomados, y teniendo en mente los conceptos de frentes óxido-reducción, intentar una nueva interpretación.

ABSTRACT

The exploration in search for uranium deposits that have been carried out in Colombia allow us to determine the existence of uranium in the following favorable geological environments:

Related to Igneous processes:

Pegmatites.- In the Orogenic Massives of the Oriental and Central Cordilleras. **Hydrothermal Veins.**- California area in the Santander Massif, and the Au-Ag hydrothermal veins of the Central Cordillera. **Contact Metasomatism.**- Santander Massif, NW of Bucaramanga Massif and Santa Marta Massif. **Granites and Syenites.**- San José de Guaviare and Cumare. **Volcanics.**- Volcanic-sedimentary formation as the ones known under the names: La Quinta, Guatapurí, San Lucas and Saldaña. **Ignimbrites** from the Upper valleys of Magdalena and Cauca Rivers. **Metamorphic Environments.**- Mitú migmatite Complex in the Eastern Llanos.

Sedimentary Environment:

Quartz-pebbles conglomerates.- Roraima and Pedrera Formations in the Eastern Llanos.

Sandstones: Upper Paleozoic sediments of the Quetame Massif, «Sierra Nevada del Cocuy» and Santa Marta Massif. **Jura-Triassic sandstones:** Giron Formation. **Cretaceous Sediments** associated to phosphatic sandstones. **Tertiary Sandstones.** Gualanday Formation in the Upper Magdalena Valley.

BIBLIOGRAFIA

- CORTES, A., PFEIFFER, J., 1978.— Clasificación genética preliminar de las manifestaciones uraníferas en Colombia. II. Congreso Colombiano de Geología (resúmenes), Bogotá.
- DE VOTO, RICHARD., 1978.— Uranium Geology and Exploration. Colorado School of Mines, Denver, Estados Unidos.
- ECOCOMIC GEOLOGY., 1978. Special Issue devoted to the Geology and Geochemistry of Uranium, Vol. 73, No. 8.
- ENI., 1971.— The Geology of Uranium and Thorium, Scuole Enrico Mattei, Varese, Italia.
- ENUSA., 1982.— Informes Técnicos; archivos Coluranio, Bucaramanga.

- GALVIS, J., HUGETT, A. and RUGE, P., 1979.- Geología de la Amazonía Colombiana, Informe ISSN-0120-1425, Ingeominas, Bogotá.**
- IUREP., 1980.- World Uranium Geology and Resource Potential, report on phase 1.**
- LOOTENS, DOUGLAS., 1980.- Métodos para la producción de Uranio y consideraciones económicas.**
- MINATOME., 1982.- Informes Técnicos; archivos Coluranio, Bucaramanga.**
- MINOBRAS., 1979.- Uranium deposits in metamorphic environments.**
- OIEA., 1979.- Informes especiales, Viena.**
- WILLSTED, TERENCE., 1981.- economic aspects in the exploration and development of small uranium orebodies, First International Symposium on Small Mines, México.**